

Osservatorio sulle materie prime strategiche

Il mercato mondiale delle terre rare
tra problemi di approvvigionamento
e opportunità di circolarità



OSSERVATORIO SULLE MATERIE PRIME STRATEGICHE PER LE IMPRESE ITALIANE

RAPPORTO

IL MERCATO MONDIALE DELLE TERRE RARE TRA PROBLEMI DI APPROVVIGIONAMENTO E OPPORTUNITÀ DI CIRCOLARITÀ

a cura di

*Francesca Nanni**, *Simona Mandile*** e *Francesco Salustri****

con il coordinamento di

*Beniamino Quintieri***

*Dipartimento di Ingegneria dell'Impresa "Mario Lucertini" e Fondazione Tor Vergata; **Presidente Fondazione Tor Vergata e Fondazione Manlio Masi; *** Università degli Studi Roma Tre, UCL e Fondazione Tor Vergata.

È consentita la riproduzione ai fini didattici e non commerciali, purché venga citata la fonte

Stampato nel mese di ottobre 2023

INDICE

Executive summary	1
1. Introduzione	2
2. Le terre rare	4
3. Il contesto economico, sociale e politico	6
4. Le applicazioni delle terre rare	10
5. Le categorie merceologiche e i flussi commerciali	14
5.1 I flussi commerciali a livello globale	14
5.2 I principali esportatori e importatori	16
BOX 1: Il ruolo della Cina nel commercio mondiale di terre rare	19
5.3 L'Unione Europea	20
5.4 La bilancia commerciale	22
6. Il potenziale dell'<i>urban mining</i> applicato alle terre rare: l'esempio degli smartphone	24
6.1 I principali fattori del recupero delle terre rare	24
6.2 Pratiche e rese del recupero	26
7. Conclusioni	31
Bibliografia	33
Appendice A: Codici associati alle terre rare	35
Appendice B: Analisi tecnica delle terre rare	37
Appendice C. Le schede prodotto	42
Scheda 1 - Categoria 280530: metalli delle terre rare, scandio e ittrio, anche miscelati o legati tra loro	42
Scheda 2 - Categoria 284690: composti, inorganici o organici (escluso il cerio) dei metalli delle terre rare, dell'ittrio, dello scandio o di miscele di questi metalli	45
Scheda 3 - Categoria 284610: composti del cerio	48

Executive summary

Questo rapporto intende offrire un quadro economico aggiornato sui flussi commerciali delle materie prime contenenti terre rare, con particolare riferimento al contesto sociale e geopolitico.

Il cambiamento tecnologico negli ultimi decenni ha visto crescere esponenzialmente le innovazioni ad alta tecnologia applicate in settori molto diversi fra loro, come i trasporti, il biomedicale e le telecomunicazioni, che hanno radicalmente cambiato la società e il modo di vivere delle persone. Per la produzione di queste tecnologie sono di cruciale rilevanza alcune materie prime critiche e, in particolare, le terre rare.

Le terre rare sono 17 elementi chimici, parte delle 35 materie prime critiche identificate in recenti documenti emessi della Commissione Europea. Le terre rare sono utilizzate per la produzione di componenti tecnologici avanzati in molti settori: elettronica, energia, automotive, difesa e telecomunicazioni, solo per citarne i principali. L'approvvigionamento e il commercio di terre rare è quindi questione di primaria importanza per le politiche industriali, soprattutto in Europa dove i Paesi sono prevalentemente esportatori.

La nostra analisi definisce in maniera chiara i paesi esportatori di materie prime e quelli produttori di semilavorati che utilizzano terre rare. I paesi asiatici sono protagonisti nel mercato delle terre rare: dal 2017 al 2021, Cina, Birmania e Malesia hanno esportato più del 50% del valore complessivo del mercato.

Questo rapporto prova inoltre a quantificare la quantità di terre rare potenzialmente estraibili in Italia da prodotti finiti, con lo scopo di fornire una prima analisi dei potenziali costi e benefici dell'*urban mining* in Italia (il recupero di materia prima seconda dai prodotti tecnologici a fine vita). Questa pratica implica la capacità tecnologica e organizzativa di gestire l'intero ciclo dei rifiuti in tutto il suo complesso, dalla raccolta, al *sorting*, ai trattamenti finali. I paesi importatori di terre rare come quelli europei potrebbero utilizzare l'*urban mining* per recuperare terre rare da manufatti non più utilizzabili, reimmettendole nel ciclo produttivo e riducendo quindi la loro dipendenza dai paesi produttori. Alla luce di questo potenziale, risulta importante capire quali sono i costi associati all'*urban mining* e quale resa possono dare gli attuali processi di riciclo e recupero.

Il rapporto termina con alcuni suggerimenti di policy, che riguardano i rapporti socioeconomici fra paesi produttori e paesi importatori; la raccolta e l'analisi di dati dettagliati e attendibili e l'utilizzo di nuovi strumenti tecnologici per politiche industriali sostenibili.

1. Introduzione

Il presente lavoro intende fornire un quadro economico aggiornato sul flusso delle materie prime contenenti terre rare, in rapporto al contesto sociale, economico e politico, sia europeo che globale. L'esigenza di questo studio nasce dall'importanza che le terre rare rivestono nella produzione di componenti tecnologici avanzati e, in particolare, nelle tecnologie energetiche pulite promosse dal Piano industriale europeo del *Green Deal*. Come vedremo più avanti, l'analisi dei flussi di commercio delle terre rare definisce in maniera abbastanza precisa la situazione globale ed evidenzia i principali attori del settore: da una parte i paesi esportatori di materia prima (fornitori), dall'altra i paesi che producono i componenti semilavorati come magneti e batterie, o i prodotti finiti come cellulari, schermi, o sistemi di produzione eolica contenenti le terre rare. Altro aspetto che verrà più volte menzionato in questo lavoro è la circostanza per cui i numeri associati all'economia delle terre rare non sono sempre disponibili e, laddove disponibili, non sono sempre univoci. È probabile che questa scarsità ed eterogeneità dei dati sia dovuta all'estremo valore strategico-politico che questi minerali rivestono oggi nelle economie e negli equilibri socioeconomici mondiali.

Il rapporto offre un punto di vista olistico dell'economia delle terre rare, prendendo in considerazione non soltanto le analisi dei flussi di commercio legate ai numeri delle categorie merceologiche di import-export, ma considerando anche i numeri delle produzioni attraverso l'analisi tecnico-scientifica dell'impiego, in termini di tipologia e quantità, delle terre rare contenute nei prodotti. Principalmente, dunque, si analizzeranno due flussi: da una parte, i dati europei e italiani di importazione delle terre rare come materia prima e di una selezione di prodotti finiti tecnologici che le contengono, al fine di avere una stima dell'importazione indiretta delle terre rare; dall'altra, si studieranno i flussi di esportazione di una selezione di prodotti finiti contenenti le terre rare come materia prima. La prima analisi serve ad avere una valutazione preliminare circa l'importanza delle produzioni ad elevato contenuto tecnologico in Italia, e a effettuare una previsione sul quantitativo di terre rare come materia prima seconda teoricamente recuperabili e re-immettibili nel circuito dell'economia circolare. Lo studio sulle esportazioni valuta, invece, il potenziale economico associato alla produzione di componenti tecnologici in Italia.

Per quanto concerne l'economia circolare, questo studio riporta il caso-studio degli smartphone per la valutazione del potenziale di recupero delle terre rare da componenti a fine vita. Gli smartphone, infatti, insieme a tablet e laptop, rappresenta uno dei 15 settori tecnologici definiti strategici dall'Unione Europea nel recentissimo documento sulle previsioni di domanda di materiali per i settori strategici delle produzioni europee [1], e su cui si prevede un'ingente crescita della diffusione in Europa entro il 2050.

Il tema del recupero di materia prima critica o preziosa, comprese le terre rare, da componenti a fine vita, è uno dei pillar della politica europea sulle materie prime critiche e strategiche [2]. Questa è una

pratica di relativa nuova formulazione conosciuta come *urban mining* che richiede, allo stato attuale, ancora uno sforzo tecnologico non indifferente [3].

Il rapporto è così articolato: nel Paragrafo 2 si definiscono e descrivono, dal punto di vista tecnico-scientifico, le terre rare, per poi analizzare, nel Paragrafo 3, il contesto geopolitico che ne caratterizza l'estrazione, l'uso e lo scambio. Segue il Paragrafo 4 in cui si illustrano le varie applicazioni che le terre rare possono avere. Nel Paragrafo 5 si analizza più nel dettaglio il commercio delle terre rare con riferimento alle categorie merceologiche riferibili alle terre rare come materia prima. Il Paragrafo 6 riporta una stima di prima approssimazione della potenzialità del recupero delle terre rare dall'*urban mining*. Il rapporto termina con il Paragrafo 7 e con degli approfondimenti in Appendice dedicati all'analisi tecnica delle terre rare.

2. Le terre rare

Con il termine terre rare ci si riferisce a 17 elementi chimici¹, ovvero i 15 lantanidi (lantano, cerio, praseodimio, neodimio, promezio, samario, europio, gadolinio, terbio, disprosio, olmio, erbio, tulio, itterbio e lutezio) più l'ittrio e lo scandio che, pur non ~~sono~~ essendo lantanidi, si trovano nei medesimi minerali. Le terre rare sono solo alcune delle 35 materie prime critiche. Come si vedrà in seguito, la classificazione merceologica delle terre rare riflette in parte le distinzioni della tavola periodica; verranno infatti definite terre rare i lantanidi a cui si aggiungono l'ittrio e scandio. Si vedrà, inoltre, che il cerio e i suoi composti sono distinti in merceologia. Una classificazione comune delle terre rare le suddivide in terre rare "leggere" (*light rare earth metals* - LREE, con numero atomico compreso tra 57 e 64, che sono cerio, samario, neodimio, disprosio e lantano) e terre rare "pesanti" (*heavy rare earth metals* - HREE, con atomico compreso tra 65 e 71, che sono i restanti 10 elementi). Con l'acronimo REE, invece, si identificano in genere le terre rare utilizzate nella produzione di magneti permanenti.

Le terre rare sono metalli, e in natura sono quasi esclusivamente presenti in forma di ossidi. La maggior parte delle terre rare è stata scoperta nel XIX secolo, ma il loro utilizzo commerciale è iniziato a partire dalla metà del 1900.

Nonostante il loro nome, le terre rare sono in effetti piuttosto abbondanti sulla crosta terrestre (220 ppm contro i 55 ppm e 70 ppm dei più comunemente usati rame e zinco [4]). Tuttavia, quello che le rende "rare", ovvero difficili da reperire, sono i processi di recupero dalle fonti naturali, a partire dalla loro estrazione che è critica, in quanto questi elementi non si trovano concentrati in singoli minerali, ma sono distribuiti in alcuni minerali in piccolissime quantità. Da questa situazione consegue che l'estrazione di terre rare, per ottenere quantitativi commercialmente e industrialmente interessanti, è estremamente costosa ed impattante per l'ambiente, perché occorre lavorare una grande massa di materiale per reperire quantità significative di materia prima.

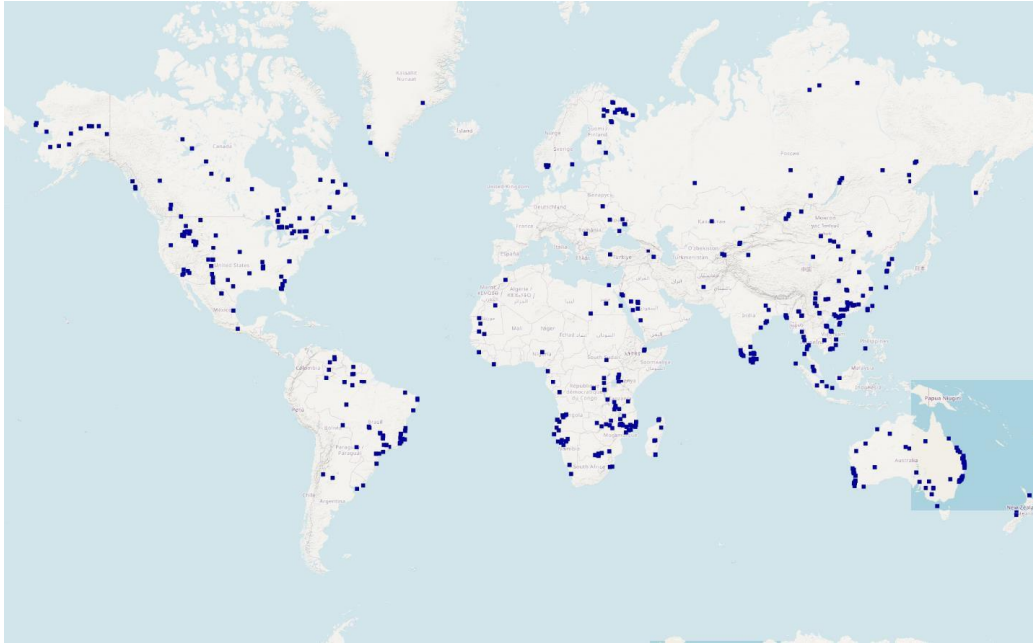
Gli elementi delle terre rare, inoltre, tendono ad essere presenti insieme in uno stesso minerale perché hanno proprietà chimico-fisiche molto simili tra loro, cosa che ne rende difficoltosa e costosa la separazione. Generalmente, le terre rare vengono ottenute con numerosi (circa 12) processi di raffinazione. Tra gli elementi contenuti come impurezze nelle terre rare vi sono il torio e l'uranio, elementi radioattivi, il che comporta onerosi accorgimenti di sicurezza nell'estrazione dei minerali e nella gestione delle scorie di lavorazione [5]. Più in generale, tutti i processi di raffinazione per l'ottenimento delle terre rare come materie prime o composti sono molto onerose dal punto di vista ambientale e della sicurezza. Attualmente, indipendentemente dal sito di estrazione, la quasi totalità di queste lavorazioni si svolge in Cina, evenienza che rafforza la posizione dominante di questo paese

¹ Per maggiori dettagli si veda l'Appendice B.

(che peraltro già possiede molti siti geologici ricchi di terre rare) nel panorama commerciale mondiale delle terre rare.

Le riserve mondiali di terre rare sono presenti in tutto il mondo (Figura 1).

Figura 1: *Giacimenti di terre rare nel mondo*



Fonte: <https://mrdata.usgs.gov/ree/map-us.html#home>.

Nei paragrafi successivi vedremo quali di questi paesi hanno investito di più in attività estrattive, quali esportano maggiori quantità e quali, invece, sono più dipendenti dalle importazioni.

3. Il contesto economico, sociale e politico

Il cambiamento tecnologico negli ultimi decenni ha visto crescere esponenzialmente le innovazioni ad alta tecnologia in settori molto diversi fra loro, come trasporti, il biomedicale e le telecomunicazioni, che hanno radicalmente cambiato la società e il modo di vivere delle persone.

A spiegare questa accelerazione degli ultimi anni è la richiesta sempre crescente del mercato per i prodotti ad alta sostenibilità ambientale e sociale. Per esempio, l'ultimo Piano industriale europeo, il *Green Deal*, ha trasformato l'esigenza di sostenibilità ambientale in forte impulso alla tecnologia ad essa collegata, allocando allo scopo ingenti risorse. Il risultato di questo enorme afflato di rinnovamento tecnologico è stata la realizzazione di nuovi prodotti più performanti, il cui sviluppo non ha però sempre preso in considerazione importanti aspetti della catena produttiva. In particolare, le questioni principali possono essere riassunte in tre ambiti: 1) la sostenibilità economica, sociale e ambientale del progresso tecnologico; 2) il rapporto fra la società e le nuove tecnologie, legato anche ad aspetti di welfare, occupazione e interazione uomo-macchina, o uomo-software "intelligenti"; e 3) le implicazioni geopolitiche sulle materie prime necessarie alla produzione delle nuove tecnologie. Ed è su quest'ultimo aspetto che la presente ricerca si focalizza.

La forte spinta della domanda verso prodotti con prestazioni migliori e più efficienti ha ovviamente trainato la ricerca verso l'individuazione di nuovi materiali e composti in grado di migliorare le proprietà e le performance dei singoli componenti. Questo processo ha spinto spesso verso l'ottimizzazione del risultato tecnico, tralasciando i vincoli legati alla quantità, alla disponibilità e all'accessibilità delle materie prime necessarie. Oggi sappiamo che le prestazioni che chiediamo e troviamo nella maggior parte di prodotti a largo consumo domestico, dagli elettrodomestici ai telefonini, dai computer alle batterie e agli impianti di energia alternativa, sono dovute all'impiego di materie prime non facilmente reperibili e, in molti casi, presenti prevalentemente nelle risorse naturali di paesi terzi, per lo più dell'Est Europa e della fascia asiatica, con cui l'Unione Europea non sempre si trova in sereni rapporti politico-commerciali. Negli ultimi anni, complici le crisi geopolitiche legate alla pandemia e all'invasione russa dell'Ucraina, il mondo occidentale si è quasi bruscamente risvegliato dall'ebrezza dell'innovazione tecnologica con l'idea che quanto fatto dipenda, in ultima analisi, dalla capacità di procacciarsi materie prime di cui non si ha il pieno controllo. Mentre l'Europa procede nella lodevole direzione del *Green Deal*, nel pieno rispetto e della protezione dell'ambiente e della società, l'implementazione del Piano si trova ad affrontare il problema che la produzione di gran parte delle tecnologie necessarie, a partire dalle batterie per le auto elettriche fino alle tecnologie per la produzione di energia rinnovabile, dipende da materie prime strategiche e critiche, la cui difficoltà di reperimento è in grado di mettere a rischio intere *supply chain* [1]. D'altro canto, anche volendo, le politiche economiche che coinvolgono l'impiego da queste tecnologie, dalla mobilità alla produzione energetica, non si possono modificare, o invertire bruscamente, dal momento che le

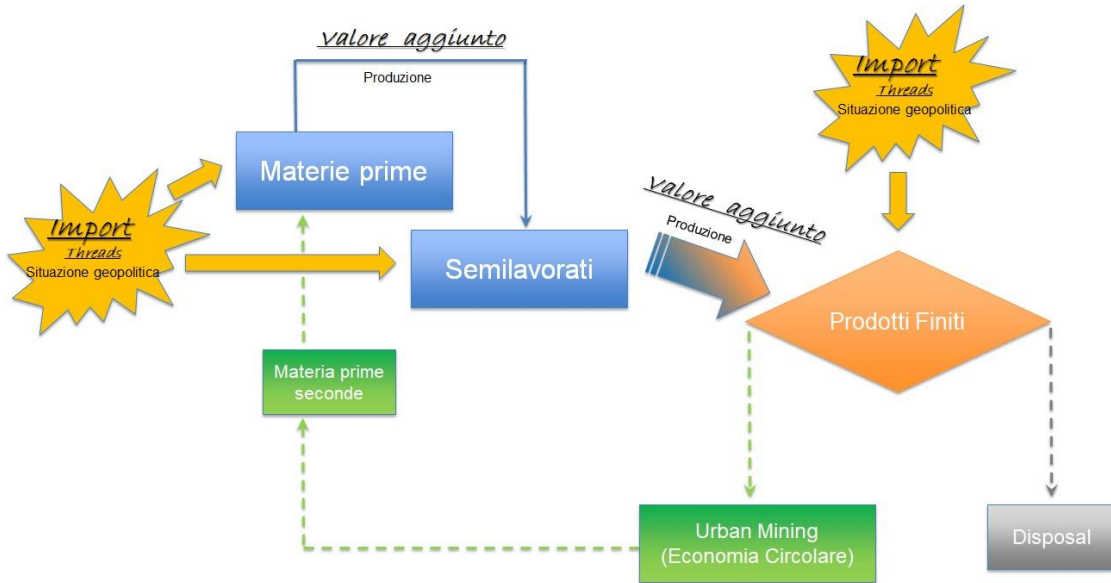
ricerche, gli sviluppi e i processi produttivi preliminari alle produzioni innovative comportano anni di preparazione e un'inerzia al cambiamento non trascurabile in termini di tempo e investimenti necessari.

I Governi occidentali stanno correndo ai ripari² [1], mettendo in atto diverse strategie politiche. Si è partiti dall'identificazione di quelle che vengono definite le “materie prime critiche” e le “materie prime strategiche” (sottoinsieme delle precedenti) [3], tra cui sono annoverate le terre rare, sulle quali questo rapporto si concentra nei paragrafi successivi. Le materie prime strategiche sono poi messe in relazione con le produzioni strategiche, per valutarne l'impatto e le relazioni. Un recente documento della Comunità Europea [1] propone un'interessante analisi che identifica 15 categorie di prodotti tecnologici definiti strategici per l'Europa (Paragrafo 4, Tabella 1), per ciascuno dei quali vengono valutati i rischi associati alle catene di approvvigionamento delle relative produzioni, a partire dalle materie prime, passando per le produzioni di semilavorati e componenti, per arrivare all'assemblaggio di insieme dei prodotti finiti. Il quadro che ne esce evidenzia come le terre rare siano quasi sempre ai primi posti tra le materie prime, la cui mancanza può generare un elevatissimo rischio per le produzioni europee. Il documento riporta anche una stima previsionale della domanda di materie prime associata a ciascuna delle 15 categorie tecnologiche fino al 2050.

Nell'affrontare il problema delle materie prime critiche, la principale differenza riguarda soprattutto il peso politico che si darà alle questioni di sostenibilità ambientale e sociale. In realtà, un aiuto insperato può venire proprio dalle implementazioni delle politiche di economia circolare che l'Europa ha caparbiamente sostenuto e continua a sostenere, e che possono giocare un ruolo non secondario nella partita del procurement delle materie prime critiche. Infatti, sebbene l'Europa sia limitata nelle risorse naturali/geologiche da cui trarre materie prime, un grande potenziale bacino di materie prime seconde è contenuto nei prodotti che in essa circolano. L'economia circolare può dunque assumere i connotati di quello che si identifica come *urban mining*, ovvero il recupero di materie prime critiche da componenti e prodotti a fine vita. Si consideri però che il costo ambientale ed economico del recupero o del riciclo è lontano dall'essere nullo, ma può essere tuttavia ben speso se porta verso una maggiore indipendenza politico-economica e al risultato di non dover sacrificare il livello ed il conseguente benessere tecnologico raggiunto. Nella Figura 2 riassumiamo i passaggi dei flussi commerciali di cui abbiamo tenuto conto nella stesura di questo rapporto.

² Si veda [1] per l'Europa e <https://www.mimit.gov.it/it/impresa/competitivita-e-nuove-imprese/materie-prime-critiche/materie-prime-critiche> per l'Italia.

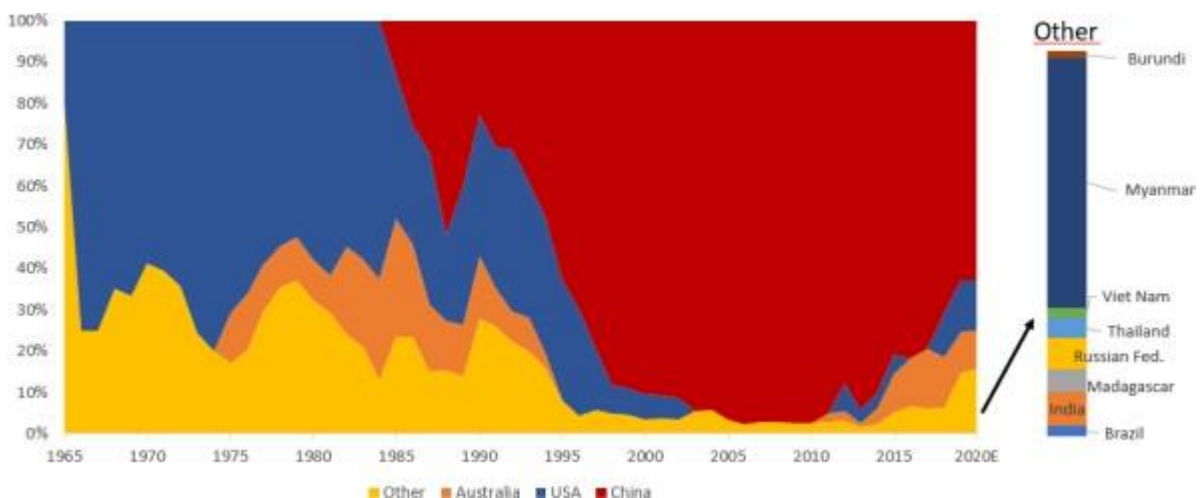
Figura 2: Schema logico dell'analisi dei flussi commerciali



Fonte: Elaborazione degli Autori.

In Figura 3 sono riportati i principali produttori di terre rare dal 1965 ad oggi. È interessante notare come la Cina abbia saputo conquistare una posizione centralissima nel mercato, nonostante abbia cominciato la produzione più tardi di altri paesi, in particolare degli Stati Uniti. I giacimenti nei paesi africani possono rappresentare una valida alternativa alla posizione monopolista dei paesi asiatici. Tuttavia, la Cina sta adottando una politica di forte penetrazione nei mercati dei paesi africani così da poter mantenere la posizione di leader non solo come produttore, ma anche come paese che processa e raffina i minerali rari.

Figura 3: I produttori di terre rare dal 1965 al 2020



Fonte: RMG Consulting, USGS, BGS e UNCTAD:
https://unctad.org/system/files/official-document/tn_unctad_ict4d16_en.pdf.

Come ultima considerazione di insieme, si vuole riportare l'attenzione sull'influenza che la criticità degli approvvigionamenti di materie prime critiche potrà avere nello sviluppo futuro della tecnologia. Infatti già da qualche tempo l'Unione Europea sta indirizzando la ricerca scientifica e tecnologica verso lo studio di soluzioni tecnologiche innovative, alternative alle presenti, in grado di offrire le medesime prestazioni senza necessitare dell'impiego di materie prime critiche. Questa prospettiva, che oggi appare ardua e lontana, riserverà sicuramente importanti sorprese e rivoluzionerà nel lontano periodo il mondo tecnologico.

4. Le applicazioni delle terre rare

Le terre rare sono utilizzate in molti settori che utilizzano alta tecnologia: per la produzione di componenti elettronici, per il settore delle energie rinnovabili, dell'automotive, della difesa e delle telecomunicazioni, solo per citare i principali ambiti applicativi. Non a caso, per queste peculiarità, in Giappone le terre rare sono chiamate “semi della tecnologia” e negli Stati Uniti “metalli tecnologici”. Sebbene in ciascun dispositivo le terre rare sono impiegate in quantità minime, esse sono tuttavia indispensabili per il funzionamento dei componenti in cui sono inserite. Ne consegue che, considerando l'enorme quantità di componenti tecnologici prodotti e commercializzati nel mondo, la quantità globale di terre rare necessarie allo sviluppo e commercializzazione di molti prodotti è molto elevata³, e sempre maggiore sarà probabilmente la quantità richiesta nei prossimi decenni.

Le terre rare sono presenti in piccole quantità anche nei prodotti tecnologici di largo consumo in diversi settori: telecomunicazioni, biomedicale, elettronica, catalisi, batterie, o sistemi di produzione di energie rinnovabili. In particolare, si trovano all'interno di cellulari, schermi video, TV, PC, schede elettroniche, batterie, motori elettrici, o magneti permanenti. Secondo l'*American Chemical Society*⁴, un i-phone contiene ben 16 delle 17 terre rare, ma il loro peso totale non supera l'1% del peso totale del dispositivo. Più precisamente, uno studio di *E-waste Lab* di Remedica, condotto con il Politecnico di Milano⁵, ha stimato che in ogni cellulare siano presenti 9 grammi di rame, 11 grammi di ferro, 250 milligrammi di argento, 24 milligrammi di oro, 9 milligrammi di palladio, 65 grammi di plastica, 1 grammo di terre rare. La Figura 4 rappresenta in quali parti e quali terre rare sono generalmente contenute negli smartphone. Più in avanti, nel Paragrafo 6 dedicato alle potenzialità dell'*urban mining* in Italia, si presenterà una stima del recupero di terre rare dagli smartphone a fine vita.

³ Si veda <https://www.rareelementresources.com/rare-earth-elements> (visitato il 6 maggio 2023).

⁴ Si veda <https://www.rsi.ch/news/oltre-la-news/Smartphone-miniera-di-terre-rare-14085004.html> (visitato il 6 maggio 2023).

⁵ Si veda <https://www.nonsprecare.it/metalli-contenuti-cellulari#:~:text=Secondo%20uno%20studio%20di%20E,1%20grammo%20di%20terre%20rare> (visitato il 6 maggio 2023).

Figura 4: Esempi di terre rare contenute in uno smartphone



Fonte: Elaborazione degli Autori da <https://www.rsi.ch/news/oltre-la-news/Smartphone-miniera-di-terre-rare-14085004.html>.

È importante evidenziare che i dati su quantitativi, prezzi e impiego delle terre rare sono molteplici e lacunosi e raramente univoci se non, a volte, addirittura discordanti. Probabilmente ciò è anche dovuto all'importanza strategica che questi dati rivestono. Tuttavia, nel presente documento si è deciso di riportare alcuni dati numerici per fornire comunque un ordine di grandezza sul panorama di utilizzo delle terre rare in diversi settori tecnologici.

Come precedentemente accennato, nel documento [1] vengono individuati i 15 settori ritenuti strategici per l'Unione Europea che sono: batterie al litio, celle a combustibile, elettrolizzatori, turbine eoliche, motori a trazione, solare fotovoltaico, pompe di calore, fornaci ad arco elettrico, reti di trasmissioni dati, server e data storage systems, smartphone, tablet e computer, additive manufacturing, robotica, droni, lanciatori e satelliti. Nella Tabella 1 si riporta una rielaborazione di alcuni dei dati riportati in [1].

Tabella 1: Terre rare utilizzate nei 15 settori tecnologici strategici individuati in [1]

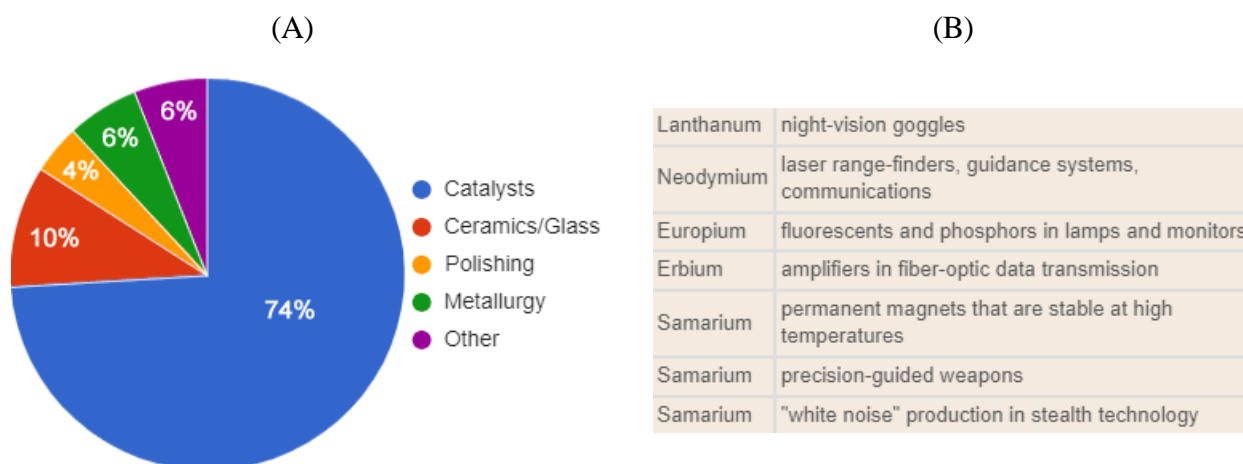
	Terre rare leggere (LREE)	Terre rare pesanti (HREE)	Magneti
Batterie al litio		<i>Nessun componente</i>	
Celle a combustibili	X	X	X
Elettrolizzatori	X	X	X
Turbine eoliche			X
Motori a trazione elettrica			X
Solare fotovoltaico		<i>Nessun componente</i>	
Pompe di calore			X
Fornaci		<i>Nessun componente</i>	
Reti trasmissione dati	X	X	X
Server e data storage		X	X
Smartphone, tablet e laptop	X	X	X
AM (3D printing)		X	
Robotica	X	X	X
Droni	X	X	X
Lanciatori e satelliti	X	X	X

Fonte: Rielaborazione degli Autori dai dati forniti dal *Critical Raw Material Act* [1].

Come si osserva, le terre rare sono sostanzialmente fondamentali nella *value chain* di quasi tutte le tecnologie avanzate ad esclusione dei settori riferibili alle categorie delle batterie al litio, del fotovoltaico e delle fornaci. Pertanto, si può concludere che la disponibilità e l'affidabilità degli approvvigionamenti di terre rare sono i presupposti necessari per la sicurezza delle *supply chain* associate alle produzioni tecnologiche avanzate.

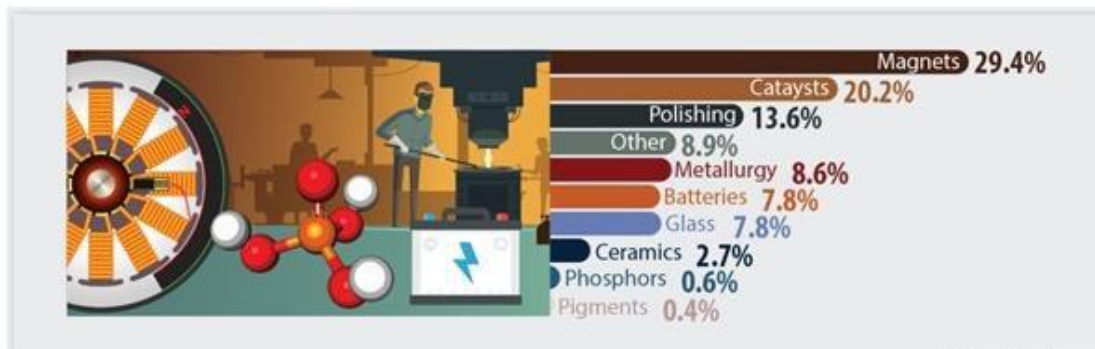
La Figura 5 e la Figura 6 riportano, rispettivamente, una classificazione percentuale dell'impiego delle terre rare negli USA e in Canada per settore applicativo e, in particolare, per gli USA anche il loro impiego in prodotti della difesa.

Figura 5: *Maggiori settori di impiego delle terre rare in USA (A) e dettaglio del loro impiego nei prodotti della difesa (B)*



Fonte: <https://geology.com/articles/rare-earth-elements/> (visitato il 6 maggio 2023).

Figura 6: *Maggiori settori di impiego delle terre rare in Canada nel 2020*



Fonte: <https://www.nrcan.gc.ca/our-natural-resources/minerals-mining/minerals-metals-facts/rare-earth-elements-facts/20522> (visitato il 6 maggio 2023).

Le terre rare, da sole o in combinazione con altri elementi, servono a produrre fosfori, ovvero elementi luminescenti, o elementi fluorescenti che, a loro volta, sono alla base della produzione di schermi (telefonini, TV, schermi luminosi, ecc.), ma anche illuminazione LED. I fosfori a base di ittrio, europio e terbio producono luci rosse, verdi e blu utilizzate in tutti gli schermi.

L'industria del vetro, che comprende la produzione di fibre ottiche (utilizzo di erbio) e lenti per fotocamere (incluse quelle dei cellulari) fa largo utilizzo delle terre rare (soprattutto lantanio), così come il settore della catalisi. Il lantanio, infatti, è anche l'elemento maggiormente utilizzato per la produzione di catalizzatori per la raffinazione del petrolio, mentre il cerio è utilizzato per la produzione di catalizzatori per le automobili. Il lantanio è molto usato anche nella produzione di leghe che trovano impiego come anodi nelle batterie delle auto elettriche e a trazione ibrida (batterie a idruri di metallo-nickel). Nel caso delle auto ibride, occorre un grande quantitativo di lantanio per la produzione di batterie (dai 10 ai 15kg per automobile [6]).

Un altro settore che impiega molto le terre rare è quello dei magneti permanenti. I magneti neodimio-ferro-boro sono i più forti esistenti, seguiti da quelli samario-cobalto. La loro diffusione è dovuta al fatto che le ottime proprietà magnetiche consentono di ridurre la quantità utilizzata nei prodotti, ottenendo quindi importanti risparmi di peso e volume. Questi magneti sono impiegati nella produzione di motori elettrici, turbine eoliche, computer, altoparlanti, speaker, sistemi di vibrazioni, attrezzature di diagnostica medica e dispositivi elettromedicali, CD-ROM e DVD e nell'automotive (servosterzo, vetri elettrici, ecc.).

Le terre rare sono impiegate anche nell'industria nucleare e nella produzione di laser (neodimio, olmio, samario, erbio) e, con grande importanza, in metallurgia, in quanto questi elementi (soprattutto cerio, lantanio, scandio, neodimio e praseodonio) sono usati come alliganti, anche in forma di ossidi, per la produzione di leghe speciali e anche nei processi metallurgici.

5. Le categorie merceologiche e i flussi commerciali

In questo paragrafo analizziamo i flussi commerciali di terre rare per quantificare, in termini di valore, il mercato delle terre rare. Inizialmente si è condotta un'analisi sui settori aggregati delle terre rare, ovvero metalli delle terre rare, scandio e ittrio, anche miscelati o legati tra loro (280530), composti, inorganici o organici (escluso il cerio) dei metalli delle terre rare, dell'ittrio, dello scandio o di miscele di questi metalli (284690) e composti del cerio (284610)¹. In particolare, abbiamo analizzato l'andamento del valore dei flussi commerciali mondiali delle sopradette terre rare dal 2017 al 2021.

5.1 I flussi commerciali a livello globale

La Tabella 1 riporta i valori dei flussi commerciali a livello globale per i settori di nostro interesse (280530, 284610 e 284690) nel periodo considerato (2017-2021).

Possiamo osservare che il valore è complessivamente in continua crescita (in media, ogni anno cresce del 18%), fenomeno in parte dovuto all'aumento dei prezzi delle terre rare sul mercato globale. La domanda annuale di terre rare è raddoppiata a 125.000 tonnellate metriche dal 2006 al 2021 e si prevede che raggiungerà le 315.000 tonnellate nel 2030. Infatti, gli ossidi di terre rare sono essenziali per molte industrie che valgono trilioni di dollari. Tuttavia, la produzione non è aumentata allo stesso tasso di crescita della domanda, e non si prevede lo farà nel prossimo futuro. Per esempio, dopo lo stop dovuto alla pandemia da Covid 19, il consumo globale di magneti al neodimio è aumentato del 18,1% nel 2021, soprattutto grazie all'aumento delle vendite di veicoli elettrici. Si prevede, però, che la carenza globale di leghe e polveri di magneti in neodimio ferro borro (NdFeb) ammonterà a 66.000 tonnellate all'anno entro il 2030 e a 206.000 tonnellate all'anno entro il 2035, quasi un terzo del mercato totale. Dal 2022 al 2035, si prevede che la domanda globale di magneti NdFeB aumenterà a un tasso di crescita annuale dell'8,6%, sostenuta dalla crescita a due cifre dei settori delle auto elettriche ed eolico. Tuttavia, nello stesso periodo si prevede che la produzione globale di neodimio, praseodimio, disprosio e terbio aumenterà collettivamente a un più lento tasso del 5,4%.

Lo squilibrio tra domanda e offerta ha già portato a un'impennata dei prezzi delle terre rare² e potrebbe peggiorare nei prossimi anni, dato che la nuova offerta mineraria non sembra essere in grado di tenere il passo con l'aumento della domanda.

¹ Per un dettaglio sulle categorie merceologiche si veda l'Appendice C.

² Per maggiori informazioni vedere il BOX 1 sul ruolo della Cina nel mercato globale delle terre rare.

Tabella 1: Valori dei flussi commerciali mondiali in valore assoluto per i settori 280530, 284610 e 284690 aggregati dal 2017 al 2021.

Anno	Valore
2017	1.333
2018	1.526
2019	1.584
2020	1.701
2021	2.551

Fonte: CEPII, BACI e calcoli degli Autori.

Note: Il valore è espresso in milioni di euro correnti.

5.2 I principali esportatori e importatori

Un ulteriore elemento d'analisi che merita attenzione è il ranking dei Paesi che nel mondo esportano e importano di più le terre rare, che vengono riportati nella Tabella 2 e nella Tabella 3, aggregando i settori 280530, 284610 e 284690.

Nella Tabella 3 si nota come, a livello globale, i Paesi che esportano maggiormente terre rare si trovano in Asia. La Cina è leader globale per quanto concerne il valore dei flussi commerciali. Ad occupare le prime posizioni della classifica dei maggiori esportatori mondiali di terre rare troviamo molti Paesi asiatici (Birmania, Malesia, Giappone e Vietnam) e, oltre a Stati Uniti e Australia, vi sono pochi Paesi europei (Francia e Estonia), che mostrano comunque percentuali molto inferiori a quelle dei Paesi asiatici. Il Vietnam ospita enormi riserve di terre rare, soprattutto lungo il confine nord-occidentale con la Cina e lungo la costa orientale. Per quanto riguarda la Malesia, l'US Geological Survey (USGS) stima che nella Malesia peninsulare si possano trovare circa 30.000 tonnellate di minerali di terre rare. In Birmania la maggior parte delle attività di estrazione delle terre rare è svolta nella zona di Kachin.

La Birmania merita una particolare attenzione: il rapporto Myanmar's Poisoned Mountains³, pubblicato da Global Witness, organizzazione con sede nel Regno Unito che si occupa di diritti umani nel mondo, mostra che negli ultimi anni la Cina ha esternalizzato gran parte della sua industria mineraria pesante delle terre rare oltre il confine, nello Stato di Kachin, area nel nord della Birmania.

³ Per un ulteriore approfondimento si veda <https://www.globalwitness.org/en/campaigns/natural-resource-governance/myanmars-poisoned-mountains/> (visitato il 7 maggio 2023).

Tabella 2: Primi dieci Paesi esportatori di terre rare (valore medio nel periodo 2017-2021).

Esportatore	Valore	Quota
Cina	416	23,9%
Birmania	244	14,0%
Malesia	239	13,8%
Giappone	196	11,3%
Vietnam	149	8,6%
Australia	68	3,9%
USA	65	3,7%
Francia	57	3,2%
Tailandia	40	2,3%
Estonia	31	1,8%

Fonte: CEPII, BACI e calcoli degli Autori.

Note: Il valore è espresso in milioni di euro correnti.

Nella Tabella 3, invece, sono riportati i principali Paesi importatori di terre rare sulla base della media del valore dei flussi commerciali dal 2017 al 2021. Giappone, Cina e Vietnam sono casi interessanti, perché risultano sia tra i principali importatori che esportatori a livello globale. Questo perché l'analisi qui presentata considera tre settori diversi, riferiti al complesso delle terre rare e a livello aggregato. È possibile quindi che un Paese sia importatore di una categoria di terre rare ed esportatore di un'altra. Nelle Schede prodotto (Appendice C) presenteremo l'analisi per ciascuna categoria di codice prodotto. Per esempio, il Giappone, principale Paese importatore di terre rare a livello globale, è presente in entrambe le classifiche. Risulta essere un importante esportatore di terre rare appartenenti al settore 284690 (costituiscono infatti il 57% del totale del valore dell'export di terre rare in uscita dal Giappone); allo stesso tempo, è importatore di metalli delle terre rare, scandio e ittrio, anche miscelati o legati tra loro (280530) (costituiscono il 50% del totale del valore dell'import di terre rare in Giappone). La Cina è un caso ancora più interessante poiché importa ed esporta principalmente la stessa categoria di terre rare, ovvero quelle relative al codice 284690. Approfondiamo questo e altri temi nel BOX1 dedicato alla Cina. Il Vietnam importa soprattutto da Malesia e Giappone: l'89% del suo import è costituito da composti inorganici o organici (escluso il cerio) dei metalli delle terre rare, dell'ittrio, dello scandio o di miscele di questi metalli (284690). Per quanto riguarda l'export, il Vietnam è principalmente esportatore mondiale di metalli delle terre rare, scandio e ittrio, anche miscelati o legati tra loro (280530)⁴. Gli Stati Uniti, che solo nel secolo scorso detenevano il monopolio mondiale sul commercio delle terre rare, risultano essere i quarti importatori di terre rare a livello globale.

⁴ In questo caso, l'export di terre rare del settore 280530 costituisce il 90% dell'export vietnamita.

Considerando la media dei flussi commerciali nel periodo considerato (2017-2021), risulta che gli Stati Uniti hanno soddisfatto più del 50% della loro domanda interna di terre rare dalla Cina, soprattutto per quanto riguarda composti, inorganici o organici (escluso il cerio) dei metalli delle terre rare, dell'ittrio, dello scandio, o di miscele di questi metalli (284690).

Tabella 3: Primi dieci Paesi importatori di terre rare (valore medio nel periodo 2017-2021)

Importatore	Valore	Quota
Giappone	450	25,9%
Cina	413	23,7%
Vietnam	159	9,1%
Stati Uniti	123	7,1%
Malesia	76	4,4%
Tailandia	70	4,0%
Corea del Sud	65	3,8%
Altri Paesi asiatici	45	2,6%
Germania	29	1,7%
Federazione Russa	26	1,5%

Fonte: CEPII, BACI e calcoli degli Autori.

Note: Il valore è espresso in milioni di euro correnti.

BOX 1: Il ruolo della Cina nel commercio mondiale di terre rare

Nel corso degli ultimi decenni la Cina ha sempre mantenuto una posizione di leadership, sia prima che dopo lo shock del 2011. Nel 2011, infatti, i prezzi medi delle terre rare sono aumentati drasticamente e la Cina ha ricoperto un ruolo chiave in questo processo, controllando circa il 95% della produzione mondiale e il 62% del valore dei flussi commerciali mondiali di terre rare e decidendo in quell'anno di reprimere il commercio. Questo enorme aumento del prezzo delle terre rare ha inizialmente migliorato la situazione dei produttori internazionali. La prospettiva di maggiori ricavi di vendita ha attirato investitori e portato a un significativo aumento dei prezzi delle azioni. Ma l'ottimismo iniziale è stato rapidamente frenato da costi e ritardi non contabilizzati, perché il processo di estrazione delle terre rare è molto più difficile rispetto a quello per altre materie prime. Inoltre, molte società non disponevano del necessario know-how che la Cina, invece, ha acquisito negli anni. Tutto ciò è avvenuto in un contesto di mercato generalmente difficile a causa della crisi economica e finanziaria. Nell'autunno del 2011 il mercato ha subito una rapida flessione. I prezzi internazionali di alcune terre rare leggere, come il cerio e il lantanio, sono scesi fino a due terzi, mentre le terre rare altamente magnetiche, come il neodimio, sono diminuite di circa un terzo. Molte grandi aziende negli Stati Uniti, in Europa e in Giappone hanno spostato le attività in Cina, riducendo

riducendo le scorte, passando a materiali alternativi, o addirittura interrompendo la produzione per evitare i prezzi elevati. Questo calo nei prezzi, verificatosi a partire da metà 2011 in poi, ha a sua volta causato un drastico calo nel valore dei flussi commerciali. Quello che però è interessante notare ed è riportato nella Tabella B1 è la tendenza a decrescere negli anni della quota di export cinese rispetto al commercio mondiale di terre rare, almeno fino al 2020. Questo indica che effettivamente la Cina, a partire dalle decisioni strategiche del 2011 di limitare l'export di terre rare, ha ridotto negli anni la sua predominanza nei flussi commerciali mondiali, pur mantenendo un ruolo di leader nel settore.

Tabella B1: Peso dell'export cinese rispetto al commercio mondiale di terre rare in termini di flussi commerciali nel periodo 2017-2021 (valori assoluti e percentuali).

Anno	Valore	Quota
2017	382	28,7%
2018	429	28,1%
2019	411	25,9%
2020	303	17,8%
2021	554	21,7%

Fonte: CEPII, BACI e calcoli degli Autori.

Note: Il valore è espresso in milioni di euro correnti.

La Cina esporta soprattutto in Giappone, Stati Uniti, Corea del Sud, Vietnam e Olanda. Da nostre elaborazioni sui dati BACI osserviamo che, in media, il 43% dei flussi commerciali di terre rare in Giappone arriva dalla Cina e che questa dipendenza è particolarmente rilevante per la categoria di terre rare avente codice 284690, ovvero composti, inorganici o organici (escluso il cerio) dei metalli delle terre rare, dell'ittrio, dello scandio, o di miscele di questi metalli. Anche gli Stati Uniti sono fortemente dipendenti dalla Cina, nello specifico, il 54% del valore dei flussi commerciali di terre rare importate negli Stati Uniti viene da Pechino; come per il Giappone, questa dipendenza risulta preponderante per la categoria 284690 (costituisce l'82% dell'import statunitense dalla Cina).

Tabella B2: Primi cinque Paesi in cui la Cina esporta di più (valore medio nel periodo 2017-2021).

Importatore	Valore
Giappone	194
USA	67
Corea del Sud	30
Vietnam	22
Olanda	16

Fonte: CEPII, BACI e calcoli degli Autori.

Note: Il valore è espresso in milioni di euro correnti.

Dalla Tabella B.3 emerge come la Cina ha esternalizzato gran parte della sua industria mineraria pesante delle terre rare oltre il confine, nello specifico nello Stato di Kachin in Birmania e nello Stato di Kedah in Malesia. Infatti, vediamo i due Paesi coprire i primi due posti del ranking dei principali esportatori di terre rare in Cina. Il valore dei flussi commerciali provenienti dalla Birmania in Cina è passato da 10 milioni di euro nel 2017 a 703 milioni nel 2021. Ci sono evidenze che lo stesso stia facendo Pechino in Malesia. Per esempio, è solo di gennaio 2023 la notizia che il Governo dello Stato di Kedah della Malesia ha firmato un memorandum d'intesa con il partner tecnico cinese Xiamen Tungsten Co Ltd per attingere a 60 miliardi di elementi di terre rare nello Stato. Sembrerebbe quindi che la strategia di Pechino sia quella di esternalizzare il più possibile le estrazioni di terre rare in Paesi limitrofi, ricchi di risorse e materie prime, per poter soddisfare la propria domanda interna e mantenere il proprio ruolo di leader del commercio globale di terre rare.

In ogni caso, l'export delle terre rare a livello globale rimane un tema critico e di estrema attualità. Infatti, a inizio febbraio 2023 le autorità governative cinesi hanno annunciato una revisione di una lista di tecnologie e materiali soggetti a restrizioni e proibizioni commerciali. È una mossa che vuole rafforzare la presa di Pechino lungo la supply chain delle terre rare. In particolare, tra gli elementi su cui verterà una totale proibizione alle esportazioni risultano importanti tecnologie per la produzione e l'estrazione di terre rare, per la rifinitura dei materiali in metalli e leghe, la preparazione di magneti al samario-cobalto e al neodimio (due prodotti che attualmente rappresentano la maggior parte del mercato dei magneti). Questo significa che gran parte del know-how produttivo per trasformare le terre rare da materiali grezzi in valore aggiunto non potranno più essere esportati fuori dalla Cina.

Tabella B3: Primi cinque Paesi da cui la Cina importa maggiormente (valore medio nel periodo 2017-2021).

Esportatore	Valore
Birmania	244
Malesia	83
Stati Uniti	40
Vietnam	15
Giappone	10

Fonte: CEPII, BACI e calcoli degli Autori.

Note: Il valore è espresso in milioni di euro correnti.

5.3 L'Unione Europea

Abbiamo visto nei paragrafi precedenti che i Paesi dell'Unione Europea non giocano un ruolo da protagonista nel mercato mondiale del commercio delle terre rare. Per di più, i Paesi europei, così come anche gli Stati Uniti, sono dipendenti dalle importazioni di terre rare dalla Cina. Infatti, circa il 40% dell'import dei Paesi membri dell'Unione Europea arriva da questo Paese. Questo tema richiede

un'attenzione particolare per tanti motivi diversi. Infatti, come già riportato in precedenza, è possibile che la Cina ridurrà le esportazioni di tali elementi per soddisfare la propria domanda interna. Inoltre, la potenziale chiusura in Occidente delle miniere più inquinanti e impattanti in termini ESG farà aumentare ancora di più la dipendenza da Paesi esteri. Questa potenziale maggiore dipendenza dalle importazioni cinesi di terre rare potrebbe creare una pressione al rialzo sui prezzi di quest'ultime. Per questo Stati Uniti e Unione Europea si stanno muovendo per cercare di ridurre la dipendenza dalle forniture cinesi di terre rare e già se ne intravedono i risultati. Infatti, l'Unione Europea è passata dal ricevere nel 2017 dalla Cina più del 43% del proprio import extra UE, al 34% del 2021 (dato che non è il risultato solo dalle conseguenze della pandemia da Covid-19, perché è dal 2018 che assistiamo a una tendenza decrescente nella dipendenza da import di terre rare da Pechino). Si è assistito, quindi, all'emergere di nuovi player come, per esempio, la Federazione Russa, che nel 2017 garantiva all'Europa l'8% del totale del valore dei flussi commerciali provenienti dai Paesi non appartenenti all'Unione Europea, al 18% nel 2021⁵. Un altro Paese che ha consolidato la sua posizione, tra i Paesi extra UE, di principale fornitore di terre rare ai Paesi europei è la Malesia. Tra le azioni messe in atto dall'Occidente per ridurre la dipendenza dall'import di terre rare dalla Cina, ma non solo, una delle più interessanti è la Minerals Security Partnership⁶. Questa consiste in un'alleanza strategica multilaterale, a cui hanno già aderito Australia, Canada, Finlandia, Francia, Germania, Giappone, Corea del Sud, Svezia, Regno Unito e Unione Europea, per rafforzare le catene di approvvigionamento di minerali critici e renderle più sostenibili.

Tabella 4: Primi cinque Paesi dell'Unione Europea esportatori di terre rare (valore medio nel periodo 2017-2021).

Esportatore	Valore
Francia	57
Estonia	31
Austria	21
Finlandia	19
Germania	15

Fonte: CEPII, BACI e calcoli degli Autori.

Note: Il valore è espresso in milioni di euro correnti.

⁵ Ovviamente, questa evidenza è valida sulla base dell'osservazione dei dati fino al 2021.

⁶ Si veda <https://www.iea.org/policies/16066-minerals-security-partnership> (visitato il 7 maggio 2023).

Le Tabelle 4 e 5 riportano, rispettivamente, i primi cinque Paesi dell'Unione Europea esportatori e importatori di terre rare. La Francia è il primo Paese europeo per esportazioni ed esporta soprattutto in Giappone, Corea del Sud e Stati Uniti; specificatamente, il suo export riguarda le terre rare appartenenti alla categoria 284610, che costituisce il 74% dell'export totale francese di terre rare.

Come già abbiamo visto nel caso dell'analisi sui più importanti esportatori e importatori a livello globale, anche in questo caso, i principali importatori europei sono anche quelli che esportano maggiormente: Germania, Francia ed Estonia (Tabella 7). La Francia è rispettivamente il primo esportatore e il secondo importatore di terre rare. Se però la Francia risulta essere un importante esportatore di terre rare appartenenti al codice 284610, il Paese importa prevalentemente (circa l'86%) composti, inorganici o organici (escluso il cerio) dei metalli delle terre rare, dell'ittrio, dello scandio o di miscele di questi metalli (284690). La Francia, come anche la Germania, importa soprattutto dalla Cina; la Germania, al contrario, importa ed esporta soprattutto la stessa categoria di terre rare, ovvero quelle facenti capo al settore 284690. L'Estonia, invece, risulta essere dipendente soprattutto dalla Russia (più del 94% del suo import), ed esporta principalmente composti, inorganici o organici (escluso il cerio) dei metalli delle terre rare, dell'ittrio, dello scandio o di miscele di questi metalli (284690). Per quanto concerne l'import, l'Estonia importa principalmente terre rare afferenti alla categoria 284690 e composti del cerio (284610).

Tabella 5: Primi cinque Paesi dell'UE importatori di terre rare (valore medio nel periodo 2017-2021) .

Importatore	Valore
Germania	29
Francia	22
Irlanda	21
Olanda	21
Estonia	20

Fonte: CEPII, BACI e calcoli degli Autori.

Note: Il valore è espresso in milioni di euro correnti.

5.4 La bilancia commerciale

Presentiamo, infine, nella Tabella 6, i dati riassuntivi della bilancia commerciale italiana ed europea per le terre rare nel 2021, ultimo anno disponibile.

Dalla nostra analisi emerge come l'Italia e l'Unione Europea nel 2021 abbiano registrato un saldo della bilancia commerciale positivo. L'Italia è un esportatore netto delle terre rare, con un avanzo commerciale nel 2021 relativamente basso, ovvero di circa 300 mila di euro. Lo stesso vale per l'Unione Europea, che registra un avanzo commerciale di 6,7 milioni di euro.

Tabella 6: Valore dei flussi commerciali delle terre rare nel 2021

Paese	Export	Import	Saldo
Italia	9,4	9,1	0,3
EU	199,9	193,2	6,7

Fonte: CEPII, BACI e calcoli degli Autori.

Note: Il valore è espresso in milioni di euro correnti.

6. Il potenziale dell'*urban mining* applicato alle terre rare: l'esempio degli smartphone

L'*urban mining* implica la capacità tecnologico-organizzativa di gestire l'intero ciclo dei rifiuti in tutto il suo complesso, dalla raccolta, al *sorting*, ai trattamenti finali. Queste fasi sono lunghe e costose, e per questo motivo la buona pratica legata ai principi dell'economia circolare indica di favorire, ove possibile, il riuso dei componenti recuperati da prodotti a fine vita, eventualmente ricondizionati, prima di procedere con azioni di recupero di materia prima seconda dagli stessi. Per quanto concerne il recupero di terre rare da prodotti a fine vita, c'è da evidenziare che i processi di trattamento sono ancora per lo più in fase di sviluppo, taluni in fase di pre-industrializzazione, ma comunque, sono tutti sostanzialmente innovativi e la loro efficienza (in termini di stabilità e resa) dipende fortemente dall'efficacia delle operazioni a monte, in particolare dal *sorting* e dal pre-trattamento dei rifiuti, perché gli impianti di recupero hanno bisogno di input di lavorazione il più possibile omogenei in quantità e composizione.

I potenziali costi e benefici del processo di recupero delle terre rare, al netto di considerazioni geopolitiche, dipende dunque da una serie di fattori, e qui di seguito discuteremo nel dettaglio i principali.

6.1 I principali fattori del recupero delle terre rare

Quantità della materia prima seconda a disposizione

Affinché il recupero sia economicamente vantaggioso, occorre mappare e individuare i prodotti che contengono quantità significative di terre rare e che siano presenti sul mercato in quantità più o meno costanti per un numero di anni sufficiente almeno ad ammortizzare il costo dell'impianto di trattamento. Seguendo questo criterio, uno studio del 2018 [7] indica i magneti, le lampade a fluorescenza, le batterie ricaricabili a base di nickel/idruri e i catalizzatori (a base lantanio per il *cracking* del petrolio) quali principali prodotti da cui recuperare le terre rare. Tuttavia, la quantità del rifiuto è spesso la discriminante nella strategia di circolarità. Si consideri l'esempio dei magneti contenenti le terre rare (tipicamente NdFeB). I magneti di grandi dimensioni (provenienti dalle batterie auto, o dalle turbine eoliche a fine vita) sono generalmente ricondizionati e ri-immessi nel mercato, e non avviati al trattamento di recupero delle terre rare in essi contenuti. Questa scelta deriva da considerazioni economiche legate al limitato numero di pezzi in operatività (condizione da verificare in futuro, in base alla penetrazione sul mercato della mobilità elettrica) e alla lunghezza della loro vita in esercizio (circa 20-30 anni [8]). Al contrario, i magneti contenuti nei rifiuti della cosiddetta elettronica di consumo, comunemente indicati come WEEE (*Waste Electric and Electronic Equipment*), vengono preferibilmente inviati ai processi di recupero delle materie prime, vista la limitata durata della loro vita in esercizio (circa 2-3 anni), l'elevata quantità (sono prodotti di largo

consumo) e la piccola dimensione dei pezzi (costi di ricondizionamento molto elevati rispetto al costo del prodotto nuovo).

Costo delle operazioni di sorting e di pre-trattamento del rifiuto

Queste fasi (in particolare il pre-trattamento) rappresentano sicuramente un collo di bottiglia importante in termini di tempi e costi per l'implementazione dei processi di recupero. Il *sorting* riguarda la suddivisione dei rifiuti per tipologia. Sebbene potenzialmente lungo e costoso se operato su una massa di rifiuti indifferenziati, il processo può essere facilmente snellito se supportato da opportune policy di incentivo al recupero degli WEEE nel loro fine vita (si veda il Paragrafo 7). La parte di pre-trattamento invece rimane lunga e, per molti versi, piuttosto artigianale e, dunque, costosa. Il trattamento a cui ci si riferisce, infatti, prevede lo smontaggio del prodotto/rifiuto pezzo per pezzo, il recupero dei componenti, la loro suddivisione per tipologia, l'ulteriore lavorazione per arrivare al solo pezzo da trattare (ad esempio un toroide di metallo magnetico) e l'invio poi all'impianto di trattamento per il recupero della materia prima seconda. Questi trattamenti vengono tipicamente svolti a mano da operatori esperti, anche se vi sono nuovi studi volti a robotizzare il processo [9]. Nel caso degli smartphone, ad esempio, in media ciascun apparecchio contiene il 45% wt (in peso) di metalli (più di 50 elementi metallici diversi), il 32% wt di vetro e il 17% wt di plastica, che sono presenti in diversi componenti del dispositivo, quali schermo, telecamere, altoparlanti, microfoni, scocca, pcb, batteria, ecc. (Figura 8).

Figura 8: Dal *sorting* al pre-trattamento: separazione di componenti e materiali



Fonte: Rielaborazione da <https://www.bbc.com/future/article/20161017-your-old-phone-is-full-of-precious-metals> e <https://www.greenbiz.com/article/why-rare-earth-recycling-rare-and-what-we-can-do-about-it>, <https://www.fairphone.com/wp-content/uploads/2016/09/Fairphone-Urban-Mining-Leaders-Guide.pdf> e [8].

Note: Raccolta di cellulari dopo fase di *sorting* da discarica e separazione dei componenti e dei materiali per andare poi al trattamento finale di recupero materia prima seconda.

Un sostanziale apporto positivo alla riduzione dei tempi e dei costi delle fasi di pre-trattamento degli WEEE, incrementando, al contempo, l'efficienza del processo, sarebbe quello di introdurre i principi dell'ecodesign nella progettazione dei nuovi dispositivi. L'ecodesign prevede che la progettazione dei componenti non sia realizzata solo nell'ottica di massimizzarne le prestazioni in esercizio (che rimane ovviamente fondamentale da assicurare per il successo del prodotto), bensì di considerare

anche le operazioni a fine vita necessarie a gestire la circolarità del rifiuto, o il suo corretto smaltimento. Ovviamente, questa pratica è applicabile solo ai prodotti futuri di nuova generazione e non all'esistente; tuttavia, in una visione prospettica, è importante che l'applicazione dei principi di ecodesign diventi consuetudine tra gli sviluppatori e i progettisti di nuovi prodotti.

Resa dell'impianto di trattamento

Le rese dei processi di recupero variano da impianto ad impianto in funzione della soluzione tecnologica adottata e messa a punto. Tuttavia, a parità di impianto, l'omogeneità di composizione del materiale in ingresso è tra i principali fattori che possono influenzare le rese. La sua variazione, infatti, genera spesso la necessità di modificare i parametri del processo al fine di ottimizzarne la resa, e questo comporta il fermo dell'impianto e l'individuazione del miglior set di parametri per il lotto in ingresso. Oggi è pensabile introdurre nuove soluzioni tipiche dell'Industria 4.0 per mitigare l'effetto della variazione della composizione del materiale da trattare sulle rese, ad esempio implementando sistemi basati su algoritmi di intelligenza artificiale in grado di condurre *retrofitting* in tempo reale l'ottimizzazione dei parametri di processo in funzione dei risultati delle caratterizzazioni condotte in-linea sui prodotti.

6.2 Pratiche e rese del recupero

Attualmente la pratica più consolidata per il recupero delle terre rare dai componenti a fine vita è il processo idrometallurgico, che trova maggiore attenzione rispetto ai processi pirometallurgici e all'estrazione in fase gassosa [7]. Questo processo impiega la lisciviazione (estrazione solidoliquido), ovvero l'estrazione di elementi da una massa solida attraverso l'impiego di solventi liquidi che, nel caso dei processi per il recupero di terre rare, sono tipicamente acido nitrico, acido solforico, acido cloridrico e idrossido di sodio. Come si intuisce, questi processi non sono propriamente "green" e hanno dunque bisogno quindi di particolari accortezze (che si traducono in costi aggiuntivi e penalizzazione sul calcolo LCA) per limitarne l'impatto sull'ambiente.

Le rese dei processi di recupero delle terre rare variano da impianto ad impianto in funzione della soluzione tecnologica messa a punto e a seconda della tipologia di materia prima in ingresso (magneti provenienti da prodotto diversi, oppure fanghi di scarto delle lavorazioni metallurgiche, ecc.).

Nel caso dei magneti a base di terre REE, questi sono soprattutto leghe NdFeB, o Nd(Pr,Dy) FeB (visto che questi magneti contengono spesso anche il Pr perché difficilmente separabile dal Nd), il cui contenuto di REE varia nel range compreso tra il 27-32% wt, mentre il resto è per lo più Fe (67-73% wt) e B (circa 1% wt) in funzione della tipologia di magnete [10].

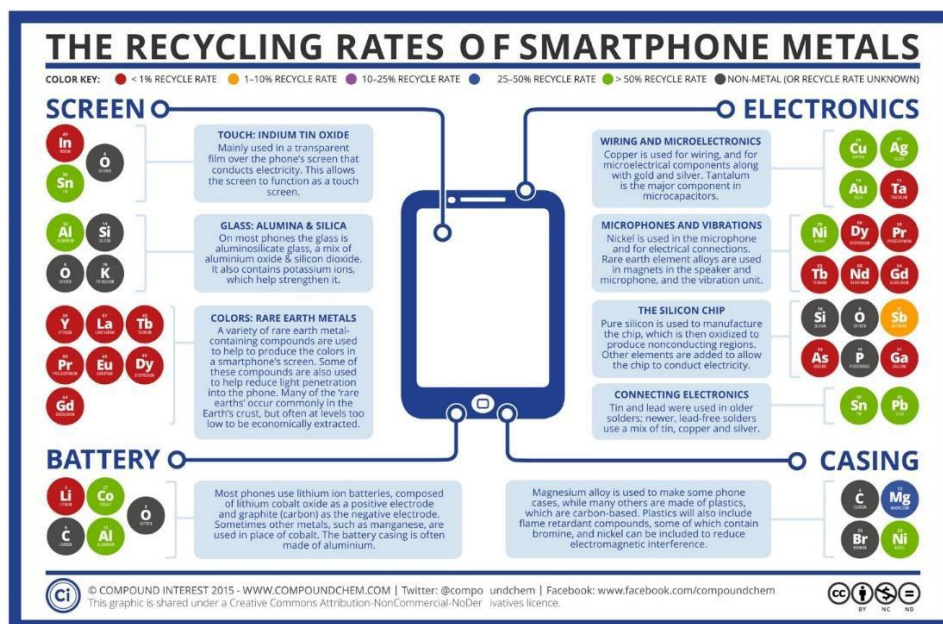
Relativamente alle rese, alcuni studi suggeriscono recuperi per lisciviazione pari al 91,5% wt di Nd e all'81,8% wt di Dy nel caso di recupero a partire dai fanghi di scarto delle lavorazioni dei magneti

[11]; del 58,62% wt di Nd, 98,46% wt di Dy e 85,59% wt di Pr nel caso di recupero da magneti permanenti a fine vita [12] e del 57% wt di Nd, 58% wt di Pr e poco Gd dai magneti derivanti da scarti di telefoni cellulari, in particolare dai magneti presenti negli speaker e nei sistemi di vibrazione [13]. Il recupero di terre rare dai display degli smartphone, invece, non è generalmente ritenuto conveniente data la limitatissima quantità di numerosi e diversi elementi delle terre rare contenuta nel display, rispetto ai costi del processo [14][16] (Figura 9).

Nel presente paragrafo si riporta una stima degli ordini di grandezza del quantitativo delle terre rare recuperabile a fine vita dai magneti contenuti negli smartphone. La scelta di questo caso-studio è stata condotta in considerazione dell'elevato quantitativo di smartphone circolanti in Italia. Va anche tenuto in considerazione che questi, insieme a laptop e tablet, sono una delle categorie di prodotto individuata come strategica dall'Unione Europea [1].

Ciascun smartphone, così come la maggior parte degli apparecchi dell'elettronica di consumo, contiene una quantità non elevata di terre rare, ma indispensabile per il proprio funzionamento (Figura 9).

Figura 9: Elementi metallici e non metallici contenuti negli smartphone e quota di riciclo dei metalli



Fonte: <https://www.compoundchem.com/2015/09/15/recycling-phone-elements/>.

Dunque le terre rare sono alla base di diversi componenti degli smartphone, che sono concentrati soprattutto nel display e nell'elettronica (altoparlanti, microfoni, sistemi di vibrazione, fotocamere e sistemi autofocus)¹⁶. Il contenuto di terre rare negli smartphone è aumentato nel tempo di pari passo

¹⁶ Si veda Small NdFeB Magnets in Smartphones and Personal Electronics, disponibile su <https://idealmagnetsolutions.com/knowledge-base/small-ndfeb-magnets-in-smartphones-and-personal-electronics/> (visitator il 7 maggio 2023).

con le incrementate funzionalità offerte dagli apparecchi più recenti. Lo studio [13] riporta un incremento dal 28,1% wt al 34,4% wt di contenuto di terre rare nel passaggio dai modelli di telefoni cellulari degli anni 2000-2005, a quelli degli anni 2019-2020. Il 90% del contenuto delle terre rare degli smartphone, tuttavia, è concentrato nei magneti impiegati nei citati componenti elettronici.

Sebbene la letteratura sia discordante nel riportare stime univoche sulla quantità di terre rare presente negli smartphone (ciò è soprattutto dovuto alla citata evoluzione degli apparecchi nel tempo e alla naturale variabilità costruttive dei diversi modelli e fornitori presenti sul mercato), nella Tabella 10 si riporta una stima della quantità di terre rare presenti nei citati principali componenti degli smartphone. Il totale delle terre rare per apparecchio è circa in media pari a 1,03g, il 57% dei quali, ovvero 0,587g, è di neodimio [13], perché impiegato nei magneti che sono alla base di diversi componenti elettronici. La composizione media dei magneti di terre rare contiene il 30% di REE [13] di cui, in media, 19-21 wt-% Nd, 6 wt-% Pr, fino a 2 wt-% Gd e 1 wt-% Dy [14]. In [8] si suggerisce di procedere al recupero delle REE solo dai sistemi di vibrazione e dai microfoni degli smartphone (che contengono un totale stimato del 13,5%w di REE sul totale del peso di questi due componenti, pari a 0,087g a smartphone, dati riferibili al 2018), perché il contenuto di terre rare negli altri dispositivi è troppo basso e neanche interamente recuperabile, considerando le rese dei processi, per essere considerato economicamente vantaggioso.

Tabella 10: *Contenuto REE nei principali componenti di smartphone*

Componenti di smartphone	Elemento	Presenza media nei componenti	Contenuto REE
Magneti in altoparlanti, microfoni, videocamere e sistemi di vibrazione	Nd, Pr, Dy	0,1g < Nd < 1g 0,01g < Pr < 0,1g 0,01g < Dy < 0,1g	0,32g totali di cui 0,082g in microfoni e sistemi vibrazione [8], il resto in negli altoparlanti, telecamere e altri componenti (Figura 9).
Display e altri componenti	Sc, La, Ce, Sm, Eu, Tb, Ho, Er, Yb, Lu, Gd, Te, Y (in ITO)	< 0,01g	0,71g per dispositivo. Tanti elementi delle terre rare sono presenti in quantità molto limitate.
Totale			1.03g

Fonte: [13][14][16].

Partendo dai dati sulle quantità di REE teoricamente recuperabili da ciascun apparecchio smartphone, si può arrivare ad una stima dell'economicità del processo di *urban mining* di terre rare applicata al caso italiano. Recenti stime¹⁷ riferiscono che in Italia, nel 2022, fossero presenti 78.220.000

¹⁷ Si veda il recente *Global Digital Report* (<https://wearesocial.com/it/blog/2022/02/digital-2022-i-dati-italiani/>) o

<https://www.avvenire.it/speciali/pagine/1-italia-e-il-paese-dei-cellulari-1-3-smartphone-per-ogni-abitante> (visitati il 7 maggio 2023).

smartphone. Alla luce delle considerazioni precedenti, e in considerazione dei dati della Tabella 10, si può dedurre che il valore massimo teorico di Nd (Dy e Pr) recuperabile da processi di *urban mining* dagli smartphone a fine vita in Italia è pari a 14.517,63kg, sotto le seguenti ipotesi:

- recupero di REE solo dai magneti contenuti negli smartphone;
- si ammette il recupero congiunto di Nd, Dy e Pr senza ulteriore separazione;
- si considera un valore medio in peso di REE nei magneti di ciascun smartphone pari a 0,32g;
- si considera in contemporaneo il recupero delle REE dai 78.220.000 dispositivi presenti in Italia (come se tutti i *device* circolanti in Italia giungessero insieme a fine vita);
- si ipotizza una resa di processo pari al 58% (solo il 58% delle REE presenti nei magneti vengono effettivamente recuperate).

Considerando che il costo del Nd per investitori privati, alla data della scrittura del presente documento, è pari a circa 146 USD/kg¹⁸, il recupero equivarrebbe a circa 2.119.574 USD di materiale. Il costo del recupero è naturalmente composto da ricorrenti e non-ricorrenti. Il maggior peso dei costi non-ricorrenti è a carico dell'impianto di recupero, di cui non è facile stimarne il costo perché esso dipende dalla tipologia, dalla capacità produttiva (in kg/h di materiale lavorato) e dalle aziende fornitrici. Tuttavia, secondo quanto riportato in [16], una stima realistica per un impianto di grandi dimensioni si aggira intorno ai 20 milioni di USD, mentre per impianti più piccoli si possono considerare 3-4 milioni di USD.

Altre considerazioni relative al recupero

La valutazione dei costi ricorrenti è invece più complessa, perché riguarda l'energia, il costo del lavoro, l'accesso alle infrastrutture di trasporto, ecc. In un recente studio sull'importanza del recupero dei magneti [13] viene proposta un'analisi del valore del recupero del Nd applicato al caso degli Stati Uniti, in cui si prendono in considerazione i pesi economici legati alla *reverse supply-chain* (punti di raccolta, pre-processo, riciclo e vendita) e alla relativa *reverse logistic*, dalla quale emerge che, mentre la California è lo stato più promettente per la raccolta (evidentemente legato all'elevato numero di consumatori), Stati quali il Delaware e il Nevada sono da preferirsi per il pre-trattamento e per il riciclo, perché *low-cost* e perché più geograficamente vicini agli impianti che richiedono il Nd riciclato come materia prima per i propri prodotti.

Vi sono in letteratura anche considerazioni sul confronto dei costi di produzione del Nd recuperato rispetto a quello prodotto da minerale. Nel lavoro di Karal *et al.* sulla valutazione del LCA del Nd

¹⁸ Si veda <https://strategicmetalsinvest.com/neodymium-prices/#:~:text=The%20current%20price%20of%20Neodymium%20is%20%24153.20%20per%20kg.&text=For%20bulk%20neodymium%20purchases%2C%20whether,us%20directly%20for%20a%20quotation> (visitato il 7 maggio 2023).

prodotto da materia prima, o recuperato da hard disk a fine vita [14], si riporta una sensibile riduzione dei costi di produzione per produrre Nd da rifiuti rispetto a quelli del Nd da miniera, rispettivamente da 8.55 USD/kg a 3.98 USD/kg (il calcolo è basato sui soli costi ricorrenti). Questo dato sembrerebbe indicare che, al netto dei costi non-ricorrenti di impianto, a regime il recupero sia (almeno economicamente) conveniente.

I dati sopra riportati evidenziano che il tema del recupero da componenti a fine vita è tecnologicamente complesso, economicamente impegnativo e potenzialmente impattante per la sostenibilità ambientale dei processi coinvolti. Tuttavia, è da considerare che, alla luce dei citati recenti documenti emessi dall'EU, la valenza strategica del recupero di materie prime critiche potrebbe essere, in un futuro non troppo lontano, la chiave di lettura dell'imporsi di tale pratiche.

7. Conclusioni

Questo rapporto ha analizzato il mercato mondiale delle terre rare, descrivendo i settori strategici di maggiore applicazione, i rischi e le opportunità che il quadro geopolitico offre ai principali esportatori e importatori, e in che modo il recupero dai prodotti finiti possa diventare, per paesi come l'Italia, una pratica da esplorare. Sebbene l'Italia risulti fra i paesi europei più importanti nel mercato delle terre rare, il suo ruolo è principalmente riferibile al mercato dei prodotti finiti. Il nostro Paese, infatti, non esporta materia prima e ne importa una quantità ridotta, riflettendo una produzione interna ad alta tecnologia limitata rispetto ad altri paesi europei.

Dall'analisi fin qui svolta, possiamo evidenziare alcune raccomandazioni di politica economica che ci auguriamo possano essere utili ai *policy maker*:

- la prima raccomandazione è sicuramente sull'importanza di mantenere rapporti commerciali e avviarne di nuovi con i paesi produttori di materia prima. Sviluppare e potenziare attività diplomatiche volte al rafforzamento delle vie commerciali già in essere e all'apertura di nuovi canali permetterebbe ai paesi europei, specialmente all'Italia, di ridurre il rischio di instabilità legato a possibili shock che potrebbero colpire un già delicato equilibrio geopolitico;
- la seconda raccomandazione riguarda il monitoraggio delle terre rare in quanto materie prime critiche dal punto di vista economico, ambientale e sociopolitico. L'Europa non vuole farsi trovare impreparata di fronte allo scenario in cui le terre rare saranno estratte in pochissimi paesi, ma necessarie per tutte le economie più avanzate. Per far fronte a questo possibile scenario, è necessario innanzitutto cominciare a implementare un monitoraggio frequente e capillare degli esportatori e degli importatori di terre rare, nonché dei prodotti che le contengono. Le politiche da adottare in ambito economico e industriale necessitano di dati di buona qualità e affidabili che, solo con un monitoraggio costante nel tempo, capillare a livello geografico e integrato a livello europeo, può fornire;
- la terza raccomandazione riguarda la diversificazione dei paesi da cui l'Europa e l'Italia importa terre rare. Abbiamo visto nell'analisi precedente come il mercato europeo delle terre rare sia un oligopolio, fortemente concentrato sulla Cina, che può dettare oggi - e soprattutto in futuro - condizioni da monopolista. La pratica dell'economia circolare è un buon passo per la diversificazione di fonti di approvvigionamento, ma da sola non basta. L'Europa sta esplorando nuovi giacimenti di minerali rari che possono rappresentare una fonte alternativa e riequilibrare il mercato, soprattutto in prospettiva futura.
- la quarta raccomandazione riguarda la disponibilità e la qualità dei dati a disposizione. Una corretta valutazione dei costi-benefici, che guidi le scelte di politica economica e industriale, non può prescindere da una disponibilità di dati attendibili e quanto più possibili granulari. Informazioni sul numero di dispositivi in Italia, sulla quantità di terre rare in ogni dispositivo,

sui costi di recupero dovrebbero essere messe a sistema per far interagire esperti di diversi settori e poter analizzare correttamente l'opportunità delle pratiche di *urban mining*. A questo proposito, l'uso dell'intelligenza artificiale può essere di grande supporto all'analisi di dati che richiedono competenze specifiche (*retrofitting* degli impianti di trattamento).

- un'ultima raccomandazione riguarda l'introduzione dell'*urban mining* all'interno delle politiche di sviluppo economico. Il potenziale dell'estrazione dai manufatti contenenti terre rare è ancora in gran parte da sfruttare. Le politiche di economia circolare riguardano sia la domanda con le scelte d'acquisto e i comportamenti delle famiglie, sia l'offerta con un eco-design volto a facilitare il riciclo rendendolo il più economico possibile e un più alto uso delle materie prime seconde. In questo contesto, le politiche di economia circolare dovrebbero essere integrate alle politiche di sviluppo economico e di industrializzazione. In particolare, i criteri con i quali vengono classificati i beni e servizi nelle categorie merceologiche dovrebbero essere ripensati in funzione dell'*urban mining*.

Infine, è necessario ribadire come la politica industriale del nostro Paese ed europea devono tenere conto dell'importanza che queste esportazioni ricoprono e ricopriranno nei prossimi decenni, per poter pianificare un potenziamento nei settori dove possiamo specializzarci e guadagnare un vantaggio competitivo. Inoltre, l'Italia ha già mostrato un grosso potenziale di riuso e riciclo che permetterebbe uno sviluppo avanzato di pratiche legate all'economia circolare. In questa direzione, le nuove tecnologie possono contribuire in maniera significativa al potenziamento dell'*urban mining* in Italia, che potrebbe rivelarsi un innovativo campo dove industria ad alta tecnologia e sostenibilità permetterebbero di aumentare l'efficienza del sistema produttivo e al tempo stesso ridurre i rischi di approvvigionamento.

Bibliografia

- [1] Carrara, S., Bobba, S., Blagoeva, D., Alves Dias, P., Cavalli, A., Georgitzikis, K., Grohol, M., Itul, A., Kuzov, T., Latunussa, C., Lyons, L., Malano, G., Maury, T., Prior Arce, Á., Somers, J., Telsnig, T., Veeh, C., Wittmer, D., Black, C., Pennington, D., Christou, M., Supply chain analysis and material demand forecast in strategic technologies and sectors in the EU – A foresight study, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2023, doi:10.2760/386650, JRC132889.
- [2] Blengini, G. A., Blagoeva, D., Dewulf, J., Torres de Matos, C., Nita, V., Vidal-Legaz, B., ... & Ciupagea, C. (2017). Assessment of the methodology for establishing the EU list of critical raw materials: Background report. JRC Technical Reports.
- [3] Gislev, M., Grohol, M., Mathieux, F., & Ardente, F. et al. (2018). Report on critical raw materials and the circular economy. Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- [4] Long, K. R., Van Gosen, B. S., Foley, N. K., & Cordier, D. (2012). The principal rare earth elements deposits of the United States: a summary of domestic deposits and a global perspective (pp. 131-155). Springer Netherlands.
- [5] Judge, W. D., & Azimi, G. (2020). Recent progress in impurity removal during rare earth element processing: A review. *Hydrometallurgy*, 196, 105435.
- [6] Van Gosen, B. S., Verplanck, P. L., Long, K. R., Gambogi, J., & Seal II, R. R. (2014). The rare-earth elements: vital to modern technologies and lifestyles (No. 2014-3078). US Geological Survey.
- [7] Jowitt, S. M., Werner, T. T., Weng, Z., & Mudd, G. M. (2018). Recycling of the rare earth elements. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 13, 1-7.
- [8] Kumari, A., Jha, M. K., & Pathak, D. D. (2018). Review on the processes for the recovery of rare earth metals (REMs) from secondary resources. In *Rare Metal Technology 2018* (pp. 53-65). Springer International Publishing.
- [9] Noll, R., Ambrosch, R., Bergmann, K., Britten, S., Brumm, H., Chmielarz, A., ... & Veglia, F. (2017). Next generation urban mining—Automated disassembly, separation and recovery of valuable materials from electronic equipment: overview of R&D approaches and first results of the European project ADIR. In *Proceedings of EMC* (p. 1).
- [10] Peiró, L. T., Méndez, G. V., & Ayres, R. U. (2013). Material flow analysis of scarce metals: Sources, functions, end-uses and aspects for future supply. *Environmental science & technology*, 47(6), 2939-2947.
- [11] Rabatho, J. P., Tongamp, W., Takasaki, Y., Haga, K., & Shibayama, A. (2013). Recovery of Nd and Dy from rare earth magnetic waste sludge by hydrometallurgical process. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 15, 171-178.

- [12] Ni'am, A. C., Wang, Y. F., Chen, S. W., Chang, G. M., & You, S. J. (2020). Simultaneous recovery of rare earth elements from waste permanent magnets (WPMs) leach liquor by solvent extraction and hollow fiber supported liquid membrane. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*, 148, 107831.
- [13] Stein, R. T., Kasper, A. C., & Veit, H. M. (2022). Recovery of rare earth elements present in mobile phone magnets with the use of organic acids. *Minerals*, 12(6), 668.
- [14] Bookhagen, B., Bastian, D., Buchholz, P., Faulstich, M., Opper, C., Irrgeher, J., ... & Koeberl, C. (2020). Metallic resources in smartphones. *Resources Policy*, 68, 101750.
- [15] Reimer, M. V., Schenk-Mathes, H. Y., Hoffmann, M. F., & Elwert, T. (2018). Recycling decisions in 2020, 2030, and 2040-when can substantial NdFeB extraction be expected in the EU? *Metals*, 8(11), 867.
- [16] Smodis, M., Samec, N., Kosec, B., Donik, C., Godec, M., Rudolf, R. (2018). The content of rare-earth elements in mobile-phone components. *Materiali in tehnologije*, 52(3), 259-268.
- [17] Jin, H., Song, B. D., Yih, Y., & Sutherland, J. W. (2019). A bi-objective network design for value recovery of neodymium-iron-boron magnets: A case study of the United States. *Journal of cleaner production*, 211, 257-269.
- [18] Karal, E., Kucuker, M. A., Demirel, B., Coptu, N. K., & Kuchta, K. (2021). Hydrometallurgical recovery of neodymium from spent hard disk magnets: A life cycle perspective. *Journal of cleaner production*, 288, 125087.

Appendice A: Codici associati alle terre rare

I dati sul commercio mondiale che utilizziamo¹⁹ riportano i prodotti secondo la classificazione a 6 cifre. In particolare, sono 5 i codici a 6 cifre che raccolgono le 17 terre rare. Per completezza, nelle tabelle che seguono, riportiamo il dettaglio delle categorie a 8 cifre riferibile al settore aggregato identificato con il codice a 6 cifre. I codici 284442 e 284443, relativi agli isotopi radioattivi, non vengono né importati, né esportati, di conseguenza sono stati esclusi dall'analisi. Le Schede prodotto analitiche (Appendice C), quindi, esaminano solo i seguenti tre codici: metalli delle terre rare, scandio e ittrio, anche miscelati o legati tra loro (280530), composti, inorganici o organici (escluso il cerio) dei metalli delle terre rare, dell'ittrio, dello scandio, o di miscele di questi metalli (284690) e composti del cerio (284610).

Tabella A1: *Dettaglio delle categorie a 8 cifre riferibile al settore aggregato 280530*

Codice	Descrizione della categoria
28053010	Metalli delle terre rare, scandio e ittrio, miscelati o in lega fra loro
28053020	Cerio, lantanio, praseodimio, neodimio o samario, di purezza, in peso, maggiore o uguale al 95% (escl. miscelati o in lega tra loro)
28053030	Europio, gadolinio, terbio, disprosio, olmio, erbio, tulio, itterbio, lutezio e ittrio, di purezza, in peso, maggiore o uguale al 95% (escl. miscelati o in lega tra loro)
28053040	Scandio di purezza, in peso, maggiore o uguale al 95% (escl. miscelati o in lega tra loro)
28053080	Metalli delle terre rare, scandio e ittrio, di purezza, in peso, minore del 95% (escl. miscelati o in lega tra loro)
28053090	Metalli delle terre rare, scandio e ittrio, diversi dai miscelati o in lega fra loro

Tabella A2: *Dettaglio delle categorie a 8 cifre riferibile al settore aggregato 284442*

Codice	Descrizione della categoria
28444210	Isotopi radioattivi artificiali e loro composti di attinio-225, attinio-227, californio-253, curio-240, curio-241, curio-242, curio-243, curio-244, einsteinio-253, einsteinio-254, gadolinio-148, polonio-208, polonio-209, polonio-210, radio-223, uranio-230 o uranio-232 (Euratom)
28444290	Attinio-225, attinio-227, californio-253, curio-240, curio-241, curio-242, curio-243, curio-244, einsteinio-253, einsteinio-254, gadolinio-148, polonio-208, polonio-209, polonio-210, radio-223, uranio-230 o uranio-232 e loro composti; leghe, dispersioni incl. cermet, prodotti ceramici e miscele contenenti tali elementi o composti [escl. isotopi radioattivi artificiali e loro composti (Euratom)]

¹⁹ CEPII, BACI.

Tabella A3: Dettaglio delle categorie a 8 cifre riferibile al settore aggregato 284443

Codice	Descrizione della categoria
28444310	Uranio derivato da uranio U 233 e suoi composti; leghe, dispersioni (compresi i cermet), prodotti ceramici e miscele e composti derivati da uranio U 233 o composti di tali prodotti
28444320	Isotopi radioattivi artificiali e loro composti [escl. trizio, attinio-225, attinio-227, californio-253, curio-240, curio-241, curio-242, curio-243, curio-244, einsteinio-253, einsteinio-254, gadolinio-148, polonio-208, polonio-209, polonio-210, radio-223, uranio-230, uranio-232 e loro composti (Euratom)]
28444380	Elementi e isotopi e composti radioattivi; leghe, dispersioni incl. cermet, prodotti ceramici e miscele contenenti tali elementi, isotopi o composti [escl. uranio naturale, uranio arricchito e impoverito in U 235; plutonio, torio, trizio, attinio-225, attinio-227, californio-253, curio-240, curio-241, curio-242, curio-243, curio-244, einsteinio-253, einsteinio-254, gadolinio-148, polonio-208, polonio-209, polonio-210, radio-223, uranio-230, uranio-232, uranio derivato da U 233, isotopi artificiali e loro composti (Euratom), e leghe, dispersioni, prodotti ceramici e miscele contenenti tali elementi o composti]

Tabella A4: Dettaglio delle categorie a 8 cifre riferibile al settore aggregato 284610

Codice	Descrizione della categoria
28461000	Composti del cerio

Tabella A5: Dettaglio delle categorie a 8 cifre riferibile al settore aggregato 284690

Codice	Descrizione della categoria
28469000	Composti, inorganici od organici, dei metalli delle terre rare, dell'ittrio o dello scandio o di miscele di tali metalli (escl. composti del cerio)
28469010	Composti, inorganici od organici, di lantanio, praseodimio, neodimio o samario
28469020	Composti, inorganici od organici, di europio, gadolinio, terbio, disprosio, olmio, erbio, tulio, itterbio, lutezio e ittrio
28469030	Composti, inorganici od organici, di scandio
28469090	Composti di miscele dei metalli delle terre rare, inorganici od organici, dell'ittrio e dello scandio

Appendice B: Analisi tecnica delle terre rare

Lantanio

Il lantanio è un metallo argenteo malleabile, poco tossico. In aria si ossida rapidamente. I principali impieghi sono:

- *miscele piroforiche*: miscele/leghe piroforiche (in genere in tenore compreso tra il 25% e 45% in peso), ovvero in grado di incendiarsi spontaneamente in presenza di aria, anche a temperatura ambiente;
- *metallurgia*: in metallurgia trova impiego come elemento riducente, favorisce la formazione della grafite sferoidale nella ghisa e migliora la resistenza ad ossidazione delle leghe metalliche in cui viene inserito; la si aggiunge al titanio per migliorarne la lavorabilità alle macchine utensili (minore lunghezza dello sfrido);
- *produzione di vetri, lenti e ceramiche*: l'ossido di lantanio ad elevata purezza si usa nella produzione di vetri e in dispositivi ottici, anche per la produzione di lenti per occhiali, telescopi, fotocamere e cineprese; i *lanthanglass* sono caratterizzati da offrire un elevato indice di rifrazione a bassa dispersione (indice di rifrazione che cambia poco in funzione della lunghezza d'onda); nelle vetroceramiche e porcellane consente di sostituire il piombo tossico e di incrementare allo stesso tempo la resistenza chimica (resistenza agli alcali e proprietà "dishwasher safe"); si utilizza anche per la produzione di vetri senza silice e per condensatori;
- *produzione di catodi*: l'esaboruro di lantanio si utilizza per la produzione di catodi di elevata qualità per la produzione di elettroni liberi e per catodi caldi per tubi elettronici;
- *produzione di termistori*: il titanato di bario drogato con lantanio si impiega nella produzione di termistori PTC (resistori che dipendono dalla temperatura);
- *celle a combustibile*: insieme a cobalto, ferro, manganese, stronzio ed altri elementi [strontium-doped lanthanum manganite ($\text{La}_{0.84}\text{Sr}_{0.16}\text{MnO}_3$)] si utilizza per formare catodi delle celle a combustibile per le alte temperature (SOFC);
- *batterie*: la lega LaNi_5 si utilizza per lo stoccaggio di idrogeno nelle batterie a idruro di nickel;
- *magneti*: in lega con il cobalto (lega LaCo_5) si utilizza per la realizzazione di magneti;
- *catalisi*: in aggiunta alle zeoliti per il *cracking* catalitico dei fluidi nella raffinazione di petrolio.

Praseodimio

Il praseodimio è un metallo malleabile e morbido, argenteo-giallo, prende il nome dal colore verde dei suoi composti. È paramagnetico. Si ossida meno del lantanio, europio e cerio, ma forma un prodotto di corrosione in scaglie verdi che si distaccano facilmente. I suoi principali impieghi sono:

- *metallurgia*: formazione di leghe alto-resistenti a base di magnesio per applicazioni aeronautiche;
- *magneti*: magneti permanenti forti, in lega con cobalto e ferro;
- *produzione di vetri e ceramiche*: i composti del praseodimio si usano come colorante di smalti e vetri (verde); i vetri con i composti del praseodimio hanno ottimo assorbimento della radiazione UV e si impiegano per la realizzazione di occhiali per la saldatura.

Neodimio

Il neodimio (letteralmente il gemello del lantanio) è un metallo giallo-argento lucente, che si ossida ad alte temperature formando un composto rosa-violetto. La reazione con acqua dà l'idrossido e rilascia idrogeno, ed è prodotto per il 97% dalla Cina. Si estrae dai minerali di monazite e bastnaesite come il lantanio. La sua lavorazione ha elevato impatto ambientale, poiché si creano rifiuti altamente inquinanti ed elementi radioattivi quali uranio e thorio sono rilasciati durante il *mining*. I principali usi sono:

- *magneti permanenti*: i magneti neodimio-ferro-boro sono i magneti permanenti più forti (fino a 1.4T) e vengono utilizzati nelle risonanze magnetiche, negli hard disk, nei motori a magneti permanenti (turbine eoliche, motori elettrici per trazione ibrida, servo-motori, motori lineari per macchine CNC, ecc.); rispetto ai magneti samario-cobalto, i magneti a neodimio sono più potenti e meno cari, ma più sensibili al calore;
- *produzione di vetri e ceramiche*: i sali di neodimio sono utilizzati per colorare in blu gli smalti ceramici; l'ossido di neodimio invece è un colorante per vetri (da violetto, a marrone a grigio); i vetri al neodimio hanno picchi di assorbimento delle radiazioni molto netti e sono utilizzati per la calibrazione di strumenti astronomici. I vetri al neodimio assorbono l'UV;
- *laser*: laser neodimio-YAG;
- *componenti elettrici*: condensatori a titanato di bario drogato con neodimio;
- *gomme*: il neodimio è impiegato come catalizzatore nella sintesi di gomme polibutadiene;
- *pietre focaie*: insieme al cerio, ha proprietà piroforiche.

Promezio

Il promezio (il nome deriva dal Dio greco Prometeo) è un metallo tenero. Tutti i suoi isotopi sono radioattivi. A causa del veloce decadimento degli isotopi e della scarsità di questo elemento, il promezio è molto poco usato e solo in ambito tecnico-scientifico. Vi sono delle batterie a radionuclidi per applicazioni aerospaziali che contengono il promezio. Si usa sempre in applicazioni aerospaziali per generare calore nelle sonde spaziali.

Samario

Il samario (dal nome dello scopritore) è un metallo dei lantanidi dall'aspetto argenteo-bianco. È utilizzato nella produzione di magneti permanenti nei registratori, cuffie, hard disk, ecc. Si utilizza anche in medicina, in applicazioni spaziali e nella produzione di laser.

Europio

L'europio (l'unico altro elemento dopo l'Americium con il nome di un continente) è un metallo argenteo morbido ed è utilizzato nella produzione di LED, lampade a fluorescenza e televisori al plasma (rosso fosforescente) e anche come elemento drogante nella produzione di laser.

Gadolinio

Il gadolinio (dal nome dello scopritore) è un metallo bianco grigio-argento, duttile e malleabile. È stabile in assenza di umidità, altrimenti reagisce con l'ossigeno formando uno strato di ossido non protettivo, perché scarsamente aderente al substrato. Reagisce lentamente in acqua e si dissolve negli acidi diluiti. I principali utilizzi industriali riguardano la produzione di:

- *garnet*: si utilizza soprattutto il garnet gadolinio-ferro, anche in lega con altri elementi, ad esempio il boro, per applicazioni nel campo delle microonde (radar, antenne, *phase shifter*, ecc.); il garnet gadolinio-gallio è utilizzato nella produzione di compact disk riscrivibili (desueto);
- *schermi fosforescenti*: gli ossido-solfidi di gadolinio sono utilizzati per gli schermi fosforescenti verdi dei radar;
- *elementi raffreddanti*: a causa della temperatura di Curie del gadolinio, che è prossima alla temperatura ambiente, il gadolinio può essere utilizzato per realizzare raffreddatori magnetici, sfruttando il principio della magnetizzazione adiabatica, al posto dei componenti refrigeranti con CFC;
- *impieghi medicali*: i composti contenenti il gadolinio sono impiegati nella produzione di liquidi di contrasto per la diagnosi medica; il gadolinio è tossico.

Terbio

Il terbio è un materiale ferromagnetico. Si utilizza per produrre magneti permanenti e ha composti fosforescenti.

Disproso

Il disproso nome ha il significato greco di "inaccessibile". È un metallo bianco-argentato piuttosto duro. Reagisce lentamente con l'acqua, ma si dissolve velocemente in acidi diluiti. In acido fluoridico

reagisce formando un *layer* inattaccabile di fluoruro di disprosio, Se ne produce meno di 100 tonnellate/anno. È molto caro e poco disponibile. La Cina ne controlla il prezzo, immettendo più o meno quantità sul mercato.

Le principali applicazioni industriali sono:

- *magneti*: l'impiego principale è come drogante dei magneti neodimio ferro boro, in parte come sostituito del neodimio, per migliorare la temperatura di curie e la coercitività, e la resistenza a maggiori temperature; è presente in leghe per magneti speciali;
- *schermi nucleari*: si usa nella produzione di barre di controllo nei reattori nucleari e in lega con il piombo per la realizzazione di schermature alle radiazioni nucleari; si trova nelle turbine delle pale eoliche.

Olmio

L'olmio è un elemento metallico di colore bianco-argenteo, relativamente tenero e malleabile, stabile in aria secca a temperatura ambiente e si utilizza nei reattori nucleari, in componenti medicali, magneti ad elevate prestazioni e laser.

Erbio

L'erbio è un metallo morbido, malleabile, brillante e argenteo e si utilizza nei laser, nelle fibre ottiche e in metallurgia nella produzione dell'acciaio al vanadio.

Tulio

Il tulio è un metallo lucido, grigio-argenteo, molto tenero. È l'elemento più raro di tutti e si usa nelle tecnologie a raggi X come sorgente della radiazione.

Itterbio

L'itterbio è un metallo soffice ed elastico di color argento. I principali impieghi industriali sono in:

- *metallurgia*: si utilizza come alligante dell'acciaio inossidabile;
- *magneti*: si utilizza nella realizzazione delle leghe ferre-itterbio-cobalto-manganese per la realizzazione di magneti permanenti ad elevata qualità;
- *laser*: i cristalli drogati con itterbio sono utilizzati come materiali rinforzanti nei laser YAG.

Lutezio

Il lutezio è un metallo soffice e si impiega nella catalisi e nella produzione di tomografi PET (apparecchi biomedicali).

Scandio

Lo scandio è un metallo bianco-argenteo che si trova in tracce in molti minerali. È presente in quantità più concentrate solo nei minerali rari (thortveitite, l'euxenite e la gadolinite) provenienti dalla Scandinavia (sito di Iveland-Evje in Norvegia) e dal Madagascar. Nella crosta terrestre è il 35° elemento per abbondanza, con una presenza stimata tra i 18 e 25 ppm (simile all'abbondanza del cobalto). La produzione mondiale è pari a 15-20 tonnellate/anno in forma di ossido. Nel 2003 solo le miniere di Zhovti Vody in Ucraina (miniera di uranio e ferro di cui lo scandio è un sottoprodotto), quelle di Bayan Obo, in Cina (miniere di terre rare) e di Kola in Russia producevano scandio. Successivamente, anche le Filippine (*Nickel Asian Corporation e Siminoto Metal Mining*) e gli USA (NioCorp, sito di estrazione di niobio a Elk Creek, Nebraska) hanno iniziato a produrre scandio. Si stima che quest'ultimo sito potrebbe arrivare a produrre fin a 95 tonnellate/anno.

Lo scandio è il componente essenziale per la produzione delle celle a combustibile solide. In particolare, si utilizza nello strato che compone l'elettrolita solido, che è composto da zirconia stabilizzata con scandio, che è un elettrolita ad alta efficienza.

Si usa anche come elemento rafforzante delle leghe di alluminio (SCALMALLOY®), che trovano applicazione in componenti aerospaziali, ma anche per attrezzature sportive ad alte prestazioni (mazze da baseball, telai e componenti di biciclette, bastoni di lacrosse) e come *feedstock* per 3D printing. Queste leghe contengono mediamente tra lo 0,1% e lo 0,5% di scandio. La lega $Al_{20}Li_{20}Mg_{10}Sc_{20}Ti_{30}$, in particolare, è resistente come le leghe di titanio, leggera come le leghe di alluminio e ha durezza pari a quella dei materiali ceramici. La scarsità di reperimento dello scandio ne ha limitato e ne limita l'espansione tecnologica, soprattutto perché le aziende non vogliono puntare su prodotti per i quali la fornitura di materie prime non è certa, né affidabile. L'Europa non produce scandio, ma sta avviando una serie di interessanti iniziative di recupero di questo elemento, in particolare dai rifiuti delle operazioni metallurgiche²⁰.

Ittrio

L'ittrio è un metallo grigio-argenteo. I principali impieghi sono nei radar (*phase shifter*), come drogante per la produzione di laser (YAG) e per la produzione di *coating* trasparenti conduttivi (ITO).

²⁰ Progetto Scale-Up: <https://scaleup.tesmet>

Appendice C: Le schede prodotto

Scheda 1: Categoria 280530 - Metalli delle terre rare, scandio e ittrio, anche miscelati o legati tra loro

Analisi Economica

Le Tabelle C1.1, C1.2, C1.3 e C1.4 che seguono riportano le dinamiche del valore dei flussi di commercio nel mondo, i principali esportatori e importatori nel mondo e nella sola Europa delle terre rare riferite alla categoria prodotto 280530.

Tabella C1.1: 5 maggiori Paesi esportatori mondiali del prodotto 280530 - periodo 2017-2021.

Esportatore	Valore
Vietnam	135
Cina	103
Australia	67
Tailandia	37
Giappone	10

Fonte: CEPII, BACI e calcoli degli Autori.

Note: Il valore è espresso in milioni di euro correnti.

Il Vietnam è il principale esportatore mondiale di metalli delle terre rare, scandio e ittrio, anche miscelati o legati tra loro, mentre il Giappone, che abbiamo visto essere il principale Paese importatore di terre rare a livello globale, risulta essere il principale importatore delle terre rare appartenenti alla categoria 280530, le quali costituiscono circa il 51% del totale del valore dell'import di terre rare in Giappone. Il Vietnam e la Cina esportano soprattutto in Giappone; in particolare, l'89% dell'export in partenza dal Vietnam e il 68% di quello cinese di terre rare appartenenti alla categoria 280530 arriva in Giappone. L'Australia, invece, esporta quasi solamente in Malesia.

Tabella C1.2: 5 maggiori Paesi importatori mondiali del prodotto 280530 - periodo 2017-2021.

Importatore	Valore
Giappone	226
Malesia	68
Tailandia	19
Vietnam	16
USA	8

Fonte: CEPII, BACI e calcoli degli Autori.

Note: Il valore è espresso in milioni di euro correnti.

Come si evince dalle tabelle qui sopra riportate, l'Europa non gioca un ruolo importante nel commercio mondiale dei metalli delle terre rare, scandio e ittrio, anche miscelati o legati tra loro. I Paesi esportatori più importanti sono Estonia, Olanda e Austria. L'Estonia esporta quasi esclusivamente in Tailandia, l'Olanda esporta principalmente in Italia, mentre l'Austria commercia principalmente con la Germania e acquista terre rare soprattutto da Stati Uniti e Cina. Anche Spagna e Francia importano principalmente dalla Cina, dati che richiamano, di nuovo, alla forte dipendenza dei Paesi europei dalle importazioni cinesi di terre rare. In ogni caso, i valori dei flussi commerciali sono estremamente irrisori relativamente a quelli di altri Paesi extra UE.

Tabella C1.3: 5 maggiori Paesi esportatori europei del prodotto 280530 – periodo 2017-2021.

Esportatore	Valore
Estonia	7
Olanda	2
Austria	2
Germania	0,37
Belgio	0,27

Fonte: CEPII, BACI e calcoli degli Autori.

Note: Il valore è espresso in milioni di euro correnti.

Tabella C1.4: 5 maggiori Paesi importatori europei del prodotto 280530 – periodo 2017-2021.

Importatore	Valore
Olanda	4
Italia	3
Germania	2
Spagna	2
Francia	1

Fonte: CEPII, BACI e calcoli degli Autori.

Note: Il valore è espresso in milioni di euro correnti.

Analisi tecnica

In questa categoria merceologica si trovano i lantanidi, lo scandio e l'ittrio in forma metallica o di ossidi.

Scheda 2: Categoria 284690 - Composti, inorganici o organici (escluso il cerio) dei metalli delle terre rare, dell'ittrio, dello scandio o di miscele di questi metalli

Analisi Economica

Le Tabelle C2.1, C2.2, C2.3 e C2.4 che seguono riportano le dinamiche del valore dei flussi di commercio nel mondo, i principali esportatori e importatori nel mondo e nella sola Europa delle terre rare riferite alla categoria prodotto 284690.

Tabella C2.1: 5 maggiori Paesi esportatori mondiali del prodotto 284690 - periodo 2017-2021.

Esportatore	Valore
Cina	278
Birmania	244
Malesia	231
Giappone	112
USA	56

Fonte: CEPII, BACI e calcoli degli Autori.

Note: Il valore è espresso in milioni di euro correnti.

La Cina è il principale esportatore e importatore mondiale di composti, inorganici o organici (escluso il cerio), dei metalli delle terre rare, dell'ittrio, dello scandio o di miscele di questi metalli. Questo Paese, soprattutto negli ultimi anni, ha iniziato ad esternalizzare le attività di estrazione delle terre rare, nello specifico di quelle facenti parte della categoria 284690, in Malesia e Birmania, in modo tale da poter soddisfare la propria domanda interna e quella mondiale, senza dover sostenere l'impatto ambientale di nuove miniere sul proprio territorio. Di conseguenza, la Cina risulta importatrice di terre rare appartenenti alla categoria 284690, perché le acquista da Malesia e Birmania, e poi le esporta nel mondo e/o le utilizza per soddisfare la domanda domestica. In particolare, il 61% dell'import cinese proviene dalla Birmania e il 20% dalla Malesia. È interessante notare che il 34% dell'export della Malesia sia diretto in Cina, e che la totalità delle esportazioni di terre rare appartenenti alla categoria 284690, in partenza dalla Birmania, sia diretto a Pechino. Tutti questi dati ci raccontano di una storia di interdipendenza tra questi tre Paesi, che permette alla Cina di rimanere in una posizione di leader del commercio mondiale delle terre rare. La Cina esporta soprattutto in Giappone e Stati Uniti, entrambi, come abbiamo già visto, fortemente dipendenti dalle esportazioni di terre rare cinesi.

Tabella C2.2: 5 maggiori Paesi importatori mondiali del prodotto 284690 - periodo 2017-2021.

Importatore	Valore
Cina	399
Giappone	179
Vietnam	142
USA	85
Tailandia	51

Fonte: CEPII, BACI e calcoli degli Autori.

Note: Il valore è espresso in milioni di euro correnti.

L'Europa non è tra i principali player per quanto riguarda il commercio globale di terre rare appartenenti alla categoria 284690. L'Estonia è il primo Paese esportatore di composti, inorganici o organici (escluso il cerio) dei metalli delle terre rare, dell'ittrio, dello scandio o di miscele di questi metalli. In particolare, l'Estonia esporta in Tailandia, Cina e Spagna e importa principalmente dalla Russia. Analizzando i dati di commercio mondiale, al quinto posto dei primi Paesi esportatori europei afferenti alla categoria 284690 compare l'Italia. L'Italia esporta soprattutto in Giappone e Regno Unito; in particolare il 47% circa dell'import britannico dipende dalle esportazioni italiane. La Francia, invece, esporta soprattutto negli Stati Uniti e Germania, ma compare anche tra i principali importatori di terre rare della categoria 284690 e acquista quest'ultime soprattutto dalla Cina. L'Irlanda, uno dei principali Paesi importatori di terre rare della categoria 284690, importa quasi esclusivamente dalla Norvegia, mentre, come abbiamo già visto, la Germania è fortemente dipendente dalle importazioni cinesi.

Tabella C2.3: 5 maggiori Paesi esportatori europei del prodotto 284690 - periodo 2017-2021.

Esportatore	Valore
Estonia	20
Finlandia	19
Francia	15
Austria	13
Italia	13

Fonte: CEPII, BACI e calcoli degli Autori.

Note: Il valore è espresso in milioni di euro correnti.

Tabella C2.4: 5 maggiori Paesi importatori europei del prodotto 284690 - periodo 2017-2021.

Importatore	Valore
Irlanda	21
Francia	19
Germania	18
Olanda	14
Spagna	11

Fonte: CEPII, BACI e calcoli degli Autori.

Note: Il valore è espresso in milioni di euro correnti.

Analisi tecnica

Questa categoria è riferita ai composti organici e inorganici delle terre rare, scandio e ittrio, ad esclusione del cerio.

Scheda 3 Categoria 284610 - Composti del cerio

Analisi Economica

Le Tabelle C3.1, C3.2, C3.3 e C3.4 che seguono riportano le dinamiche del valore dei flussi di commercio nel mondo, i principali esportatori e importatori nel mondo e nella sola Europa delle terre rare riferite alla categoria prodotto 284610.

Tabella C3.1: 5 maggiori Paesi esportatori mondiali del prodotto 284610 - periodo 2017-2021.

Esportatore	Valore
Giappone	74
Francia	42
Cina Federazione	35
Russa	10
Stati Uniti	7

Fonte: CEPII, BACI e calcoli degli Autori.

Note: Il valore è espresso in milioni di euro correnti.

Come possiamo notare dalle Tabelle C3.1 e C3.2, il Giappone è sia il maggiore esportatore che importatore dei composti del cerio a livello globale: esporta principalmente in Asia, come in Corea del Sud, Singapore e Cina, ma anche negli Stati Uniti, i quali importano da Tokio più della metà del loro import totale di composti del cerio (circa il 61%). Al contrario, il Giappone importa soprattutto dalla Francia e dalla Cina. Anche la Cina è un importante Paese esportatore di composti del cerio; in particolare dal 2017 al 2021 ha esportato principalmente in Giappone e Corea del Sud in Asia e Stati Uniti e Regno Unito in Occidente. In particolare, il Regno Unito ha soddisfatto circa il 41% della sua domanda di composti del cerio dalla Cina, mentre il Giappone e la Corea del Sud hanno percentuali di “dipendenza” dall’export cinese più basse, rispettivamente 28% e 15%, ma comunque significative. La Francia, che a livello di export è uno dei pochi Paesi in Europa ad essere caratterizzata da valori di flussi commerciali significativi, esporta soprattutto in Giappone, Corea del Sud e Germania, ma anche Cina e Polonia.

Tabella C3.2: 5 maggiori Paesi importatori mondiali del prodotto 284610 - periodo 2017-2021.

Importatore	Valore
Giappone	44
Stati Uniti	30
Altri paesi asiatici	28
Corea del Sud	21
Singapore	13

Fonte: CEPII, BACI e calcoli degli Autori.

Note: Il valore è espresso in milioni di euro correnti.

Gli Stati Uniti sono rilevanti importatori dei composti del cerio a livello globale. Importano soprattutto da Giappone (61% dell'import statunitense proviene da Tokio), Cina (19%) e Corea del Sud (9%). In misura minore gli Stati Uniti importano anche da Estonia e Austria (in entrambi i casi siamo intorno al 4% di import statunitense proveniente da questi Paesi). Come il Giappone, anche gli USA compaiono sia tra i principali importatori che esportatori di composti del cerio a livello mondiale. In particolare, come abbiamo già in parte visto, la Corea del Sud esporta principalmente negli Stati Uniti, mentre importa principalmente da Francia, Giappone e Cina.

Tabella C3.3: 5 maggiori Paesi esportatori europei del prodotto 284610 - periodo 2017-2021

Esportatore	Valore
Francia	42
Austria	6
Estonia	4
Germania	3
Polonia	1

Fonte: CEPII, BACI e calcoli degli Autori.

Note: Il valore è espresso in milioni di euro correnti.

Come abbiamo già visto nelle schede precedenti, l'Europa non gioca un ruolo preminente nel commercio mondiale delle terre rare. Lo stesso vale per i composti del cerio, ad eccezione della Francia, che risulta essere, invece, un importante esportatore di questa categoria di terre rare, con valori paragonabili a quelli dei competitor asiatici.

Tabella C3.4: 5 maggiori Paesi importatori europei del prodotto 284610 - periodo 2017-2021

Importatore	Valore
Estonia	10
Germania	9
Polonia	6
Olanda	3
Francia	2

Fonte: CEPII, BACI e calcoli degli Autori.

Note: Il valore è espresso in milioni di euro correnti.

Analisi tecnica

Il cerio viene utilizzato per gli elettrodi di carbonio delle lampade ad arco, per i mantelli ad incandescenza per l'illuminazione a gas. Il cerio viene anche utilizzato nelle leghe di alluminio e ferro, nell'acciaio inossidabile come agente di tempra e per la produzione di magneti permanenti.