



**Corso di Laurea Triennale in Economia e
Management**

Cattedra in Economia e gestione delle imprese

***L'INNOVAZIONE NELL'ECONOMIA
CIRCOLARE DELLE TERRE RARE:
IL CASO INSPIREE UE***

Prof. Luigi Nasta

RELATORE

Alessio Messina - 283321

CANDIDATO

Anno Accademico 2024/2025

INDICE

INDICE.....	2
INTRODUZIONE	3
CAPITOLLO 1: TEORIA DELL' ECONOMIA CIRCOLARE	5
1.1 TEORIA DELL'ECONOMIA CIRCOLARE.....	5
1.2 STORIA DELL'ECONOMIA CIRCOLARE	11
1.3 STRATEGIE DI ECONOMIA CIRCOLARE	15
1.4 IL RUOLO DELL'EUROPA	20
CAPITOLO 2: ANALISI DEL MERCATO GLOBALE DELLE TERRE RARE	25
2.1 INTRODUZIONE E DEFINIZIONE DI TERRE RARE	25
2.2 PANORAMICA DELLA DOMANDA E DELL'OFFERTA GLOBALE DI TERRE RARE	27
2.3 TERRE RARE E RIFIUTI	31
2.4 LE MOSSE STRATEGICHE CHE HA FATTO L'UE PER LE TERRE RARE	36
CAPITOLO 3: IL CASO INSPIREE EU	41
3.1 LA SFIDA PER L'UNIONE EUROPEA.....	41
<i>Descrizione generale e obiettivi di INSPIREE</i>	44
3.2 INNOVAZIONI TECNOLOGICHE E RUOLO DEI PARTNER.....	46
3.3 PROGETTO DI IMPATTO ECONOMICO ED AMBIENTALE.....	48
3.4 POTENZIALI CLIENTI PER I MAGNETI AL NEODIMIO DA RICICLO.....	53
CAPITOLO 4: SCENARI FUTURI DI MERCATO DELLE TERRE RARE.....	59
4.1 L'UTILIZZO ATTUALE DELLE TERRE RARE RICICLATE	59
4.2. L'OBIETTIVO A LUNGO TERMINE DELLA UE	62
4.3 LE MIE IPOTESI DI POLITICA ECONOMICA SULLE TERRE RARE.....	66
4.4 ANALISI EMPIRICA SULLA CONOSCENZA GENERICA DI TERRE RARE	73
BIBLIOGRAFIA	77

INTRODUZIONE

Il concetto di economia circolare si propone quindi a tutti gli effetti come un'innovazione. Grazie ad un modello economico, il quale cerca di minimizzare il più possibile il consumo di risorse e accentuare il valore specifico di molti tipi di materiali, in modo da garantirne il conseguimento di una nuova vita senza mai esaurirli. Una nuova vita che permetterebbe di sostituire il modello lineare "estrazione, produzione, consumo, smaltimento", che presenta come unico scopo, il godimento del bene senza porsi alcun problema riguardo le conseguenze che quel prodotto potrebbe avere. Al contempo, l'economia circolare punta a sensibilizzare l'individuo ad un uso oculato del bene, partendo proprio dalla progettazione del bene, sino alla sensibilizzazione dell'utente finale. Nelle prossime pagine verranno analizzati i riflessi economici che questo modello apporta all'economia, soffermandosi su un aspetto peculiare di questo concetto, ovvero il riciclo di terre rare. Quest'ultime, considerate l'oro del nostro secolo, infatti, rappresentano un elemento indispensabile di moltissimi componenti chiave per la nostra economia, soprattutto in alcuni settori strategici come l'elettricità, l'energia solare o rinnovabile, la mobilità elettrica e tanti altri. La loro estrazione e preparazione, però, comporta un enorme impatto ambientale e sociale, oltre a ristrette dipendenze geopolitiche assegnate ai paesi titolari di molti giacimenti.

Pero, per fronteggiare tutte queste sfide, il progetto europeo LIFE INSPIREE può essere considerato il modello più all'avanguardia di innovazione riguardo l'economia circolare. Infatti, il progetto LIFE INSPIREE mira a costruire il primo impianto industriale in Europa per il recupero di terre rare da magneti permanenti esausti. Ovviamente, considerando i grandi risultati ottenuti in molteplici progetti pilota finanziati sempre dall'UE, INSPIREE ha sviluppato un processo idrometallurgico brevettato che permette di recuperare ossidi e carbonati di terre rare in maniera molto efficiente. In particolare, quello che rende molto interessante questo processo è appunto il fatto che non soltanto le performance tecniche sono aumentate rispetto alle tecnologie attuali, ma anche l'impatto ambientale verrà minimizzato, grazie alla creazione di un ciclo idrico chiuso e alla diminuzione dell'utilizzo di sostanze chimiche.

Il lavoro di seguito presentato intende infine svolgere un'operazione di informazione delicata e al tempo stesso molto utile. Attraverso un approccio interdisciplinare che coniuga investigazioni teoriche, analisi empiriche e osservazioni dirette, questa tesi svolge un'importante operazione di chiarificazione sulle potenzialità economiche dell'economia circolare applicata alle terre rare. Secondo lo studio in questione, le variopinte forme di economia circolare non rappresentano solo una risposta alle sollecitazioni di modello economico che viene dall'internazionale, ma esprimono anche una necessità intrinseca del modello europeo di sviluppo.

CAPITOLLO 1: TEORIA DELL' ECONOMIA CIRCOLARE

Nel prossimo capitolo verrà fornito il quadro e il contesto generale dell'economia circolare, un paradigma economico-ambientale che occupa sempre più il centro delle politiche di sviluppo sostenibile. Il paragrafo 1.1 illustra la teoria dell'economia circolare, definendo il concetto stesso, i principi di base e i benefici attesi di questo *modus operandi*. Il paragrafo 1.2 riassume l'evoluzione storica dell'economia circolare, dalle prime formulazioni teoriche passando per le tappe principali che hanno garantito la diffusione di questa pratica in tutto il mondo. Il paragrafo 1.3, descrive le principali strategie di implementazione dell'economia circolare, con particolare attenzione alle pratiche e ai modelli di business che ne favoriscono l'adozione. In conclusione, il paragrafo 1.4 si concentra sul ruolo che l'Unione Europea gioca nello sviluppo e nella promozione dell'economia circolare attraverso politiche, regolamenti, direttive e iniziative strategiche. Questo quadro generale costituirà la base teorica necessaria per l'analisi del caso di studio specifico dell'innovazione nell'economia circolare applicata alle terre rare (progetto INSPIREE-UE).

1.1 Teoria dell'economia circolare

Comunemente, l'economia circolare è definita come un modello di produzione e consumo basato sulla condivisione, prestito, riutilizzo, riparazione, ricondizionamento, riciclo dei materiali e dei prodotti esistenti con il fine di estenderne il ciclo di vita il più possibile¹. Di fatto, un prodotto, quando termina la sua funzione, i materiali di cui era composto non diventano un rifiuto ma vengono studiati e rielaborati per essere reintegrati nel ciclo economico per far sì che possano essere reimpiegati nuovamente così da poter ottenere un nuovo valore aggiunto nel loro processo di vita.

¹ Commissione Europea, *Cos'è l'economia circolare?*

Questo sistema chiuso e rigenerativo è opposto a quello lineare a cui l'industria tradizionalista tende a far capo, il modello “take-make-dispose”, cioè prendi, fai, getta. Il vecchio sistema è incentrato sull' utilizzo di risorse in grandi quantità, come se fossero inesauribili e sul consumo di energia a basso costo, presupponendo una disponibilità illimitata di quest' ultima. Inoltre, questo modello non prevede che i materiali vengano recuperati in fase di post-produzione ma tutto il processo produttivo è volto ad abbattere i costi di produzione dei prodotti e smaltimento delle risorse utilizzate. Il migliore esempio è l'obsolescenza programmata, che consiste nell'utilizzo di modelli di consumo e produzione che assegnino ai prodotti un ciclo di vita ben prestabilito², così da alzare il turnover dell'acquisto di quel determinato prodotto; ovvero i prodotti vengono progettati con determinate caratteristiche oppure dotati di software di “morte totale”, con un countdown prestabilito, che una volta raggiunto non darà altra scelta al cliente se non quella di comprare nuovamente il prodotto in questione. Oggi vi sono molte norme che limitano la produzione e il consumo dalla prospettiva dell'obsolescenza programmata, stimolando prodotti durevoli e facilmente riparabili. Al contrario, l'economia circolare mostra un approccio completamente diverso: quello che nel modello standard è considerato “rifiuto”, nel modello dell'economia circolare diventa “risorsa” e tutto il sistema economico si rigenera per sé stesso, riducendo al minimo lo spreco di risorse e l'emissione di rifiuti e sostanze inquinanti.

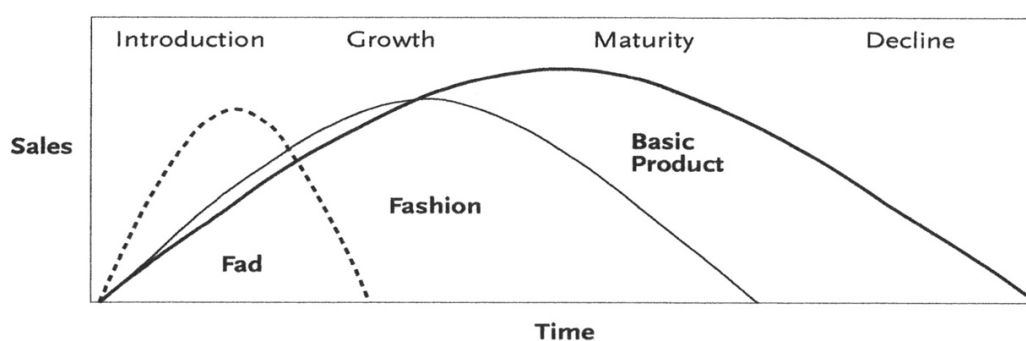


Figura 1: ciclo di vita del prodotto

Fonte: <https://www.linkedin.com/pulse/uno-sguardo-sul-settore-moda-il-prodotto-mariaelisa-nappi/>

² Parlamento Europeo, *Obsolescenza programmata: cosa significa e cosa si può fare*, 2022

Dal punto di vista teorico, l'economia circolare può esser vista come un modello che disaccoppia la crescita economica derivante dallo sfruttamento delle risorse naturali finite, sostenendo *“una crescita che è rigenerativa per l'ambiente, rigenera i sistemi naturali e contribuisce alla creazione di una ricchezza e prosperità paritetica”*. Nel dettaglio, secondo la definizione dell'Ellen MacArthur Foundation³, think-tank leader su questo tema, in un'economia circolare, i flussi di materiali sono distinti in: *“biologici, ossia materie organiche reintegrabili nella biosfera (attraverso processi come il compostaggio)”* e *“tecnici, ossia materiali non biodegradabili che possono essere recuperati e riutilizzati continuamente senza entrare nella biosfera”*. Questa visione sottolinea che l'economia operai similmente alle dinamiche cicliche naturali, dove ogni “rifiuto” della catena produttiva diventi poi “nutrimento” il successivo processo. In altri termini, l'economia circolare si propone quindi di riprendere l'idea di “cradle to cradle”⁴: partendo dall'affermare che “scarti” e “fine vita” non debbano esistere.

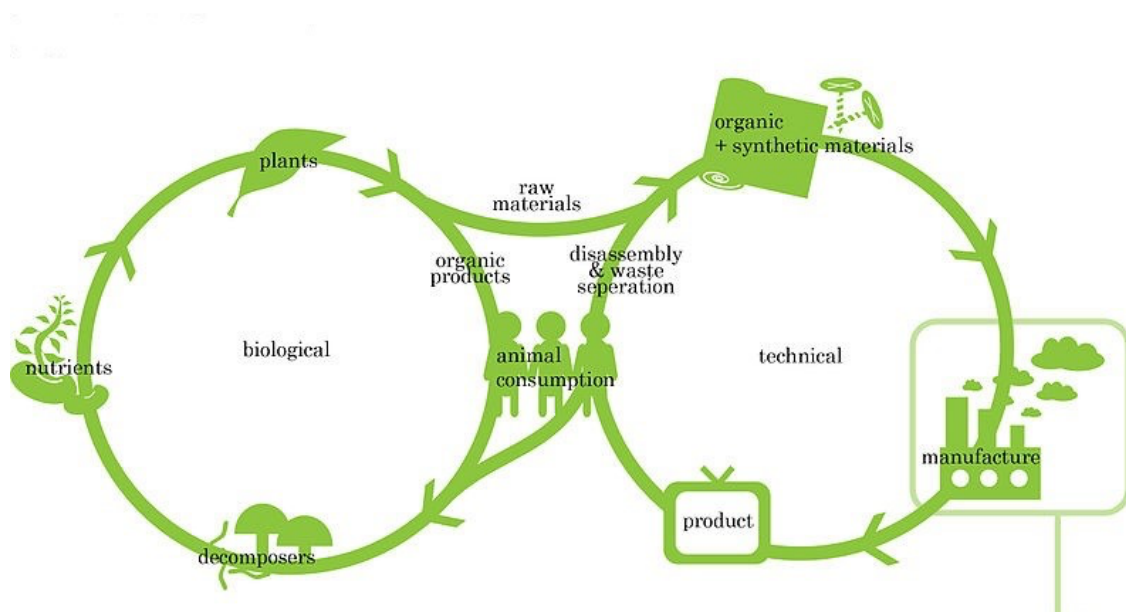


Figura 2: schema concettuale del modello a doppio ciclo dell'economia circolare, che distingue tra flussi biologici e tecnici

Fonte: <https://economiecircolare.com/certificazione-cradle-to-cradle-moda-fashion-edilizia>

³ Ellen MacArthur Foundation, *What is a Circular Economy?*

⁴ McDonough W. e Braungart M., *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*, North Point Press, 2002.

Le radici delle transizioni verso un modello circolare sono di natura necessaria. Da un lato, l'aumento della domanda di materie prime a livello globale⁵, direttamente correlata all'aumento della popolazione e lo sviluppo economico, danneggia l'elevata disponibilità di molte risorse essenziali. Dall'altra, la concentrazione geografica dell'estrazione delle risorse origina dipendenze strategiche: in molti casi, gli Stati, inclusi alcuni membri dell'UE, dipendono fortemente dalle importazioni di materie prime critiche. Ciò può comportare rischi geopolitici e rischi per la sicurezza economica in caso di shock nella dipendenza da materie prime.

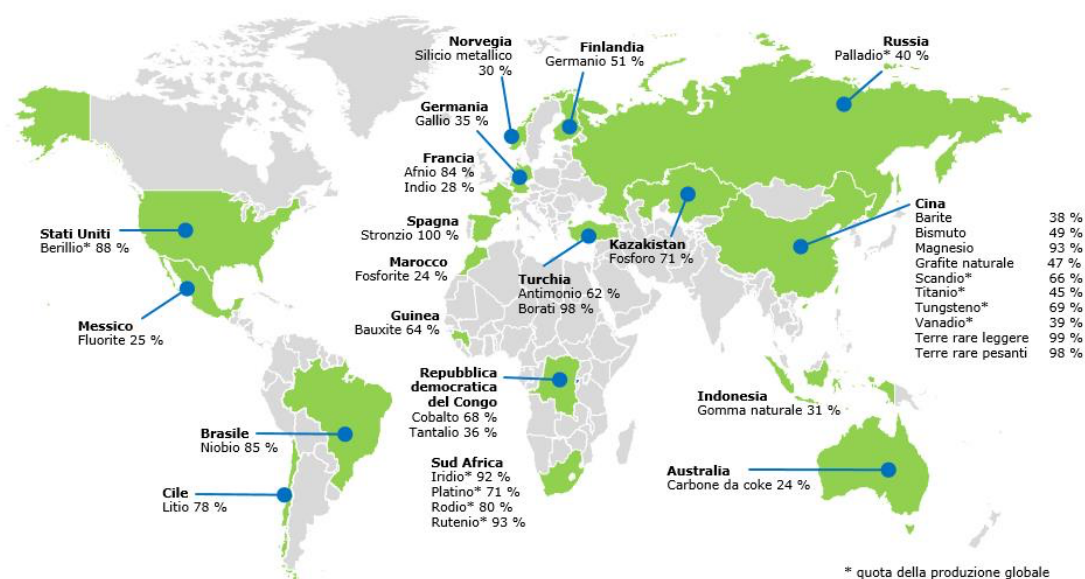


Figura 3: distribuzione geografica della produzione di terre rare

Fonte: https://publications.europa.eu/resource/cellar/160da878-edc7-11ea-991b-01aa75ed71a1.0016.03/DOC_1

In aggiunta, il modello lineare induce a elevati impatti ambientali e climatici: l'estrazione, la trasformazione e la fine della vita di una risorsa comportano un consumo energetico massiccio e gravi emissioni di gas serra. Ad esempio, la produzione dei materiali usati quotidianamente è responsabile del 45% del totale delle emissioni di CO₂⁶. Pertanto, l'adozione di un modello circolare comportante pratiche più sostenibili.

⁵ European Commission, *Critical Raw Materials Resilience: Charting a Path towards greater Security and Sustainability*, COM(2020) 474 final.

⁶ Ellen MacArthur Foundation, *Completing the Picture: How the Circular Economy Tackles Climate Change*, 2019.

Un uso più efficace delle risorse può ridurre la pressione che grava sull'utilizzo di risorse naturali e di conseguenza andare ad attenuare la velocità del cambiamento climatico in modo conformante agli accordi internazionali sul clima.

Le ragioni che spingono fortemente verso un cambio di modello sono dunque: ambientali, economiche o strategiche, affinché l'economia circolare venga vista come una risposta sistematica e risolutiva alla crisi della sostenibilità ambientale. Inoltre, questo cambio di paradigma sarebbe in grado di generare benefici su scala locale e globale, affinché si arrivi ad una crescita virtuosa con la forte consapevolezza dell'importanza che ha al giorno d'oggi la tutela ambientale.⁷

Principi fondanti le “3R”

Il modello di economia circolare si basa su principi di base, la cui sintesi può essere identificata nella struttura dell'elenco “3R”: ridurre, riusare, ripetere.⁸ Pertanto, imprese, governi e cittadini vengono guidati verso comportamenti sostenibili nell'intero modello economico:

Ridurre: consiste nel ridurre il prelievo di risorse naturali e minimizzare la produzione di rifiuti e scarti, ad esempio ottimizzando i processi produttivi e adottando modelli di consumo più consapevoli aumentandone l'efficienza nell'uso dei materiali e dell'energia eliminando sprechi superflui.

Riutilizzare: mira ad estendere la vita utile dei prodotti, ad esempio riutilizzandoli il più possibile o tramite la riparazione e la manutenzione. In un'economia circolare non si tratta di oggetti con un'unica vita ma di beni da mantenere nel ciclo economico; se il prodotto non può più svolgere la sua funzione originaria, allora si recuperano le componenti essenziali per il riuso.

Riciclare: trasforma i materiali di scarto in nuove risorse per la produzione di altri beni. Il riciclo è un'attività grazie alla quale recuperiamo materie prime secondarie come

⁷ European Environment Agency, *The circular economy and the environment — Europe's contribution*, 2016.

⁸ Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, *Strategia per l'economia circolare*, 2022.

metallo, plastica, vetro e carta dagli scarti⁹. Grazie a questo possiamo ridurre l'estrazione di materie prime primarie e di conseguenza il volume di scarti che finirebbero in discarica.

Oltre a questi principi fondanti, oggi riconosciamo altre leve strategiche che rendono concreto il passaggio ad una economia circolare. Le risorse impiegate, ad esempio, devono essere sostenibili: dobbiamo utilizzare materie prime rinnovabili o riciclabili e fonti d'energia pulita. Lo stesso vale per il processo di progettazione dei prodotti, che devono essere durevoli e rinnovabili. La eco-progettazione o eco-design consiste nell'ideazione, fin dalla fase embrionale, di beni di consumo che durino molto a lungo e che siano riparabili o smontabili con facilità al termine della loro vita.¹⁰

In conclusione, l'economia circolare implica un ripensamento a tutto tondo dell'intero sistema economico in modo che agisca in modo simile agli ecosistemi naturali, dove tutto è di nuovo creato e niente viene sprecato. Tale paradigma richiede cambiamenti nel senso di trasformazione lungo l'intera catena del valore ma, in cambio, fornisce grandi benefici. Secondo la letteratura scientifica i benefici attesi includono: riduzione dell'impatto sull'ambiente e sugli ecosistemi dei processi produttivi, sicurezza nell'approvvigionamento di materie prime, maggiore competitività per le imprese, stimolazione dell'innovazione e crescita economica e persino occupazione aggiuntiva.¹¹ Inoltre, secondo le stime, la transizione all'economia circolare in Europa potrebbe aumentare il PIL del 0,5% e creare 700.000 posti di lavoro entro il 2030.

⁹ ISPRA, *Rapporto Rifiuti Urbani - Edizione 2023*, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale.

¹⁰ European Commission, *Ecodesign for sustainable products*, 2022.

¹¹ European Commission, *Circular Economy Action Plan: For a cleaner and more competitive Europe*, COM(2020) 98 final.

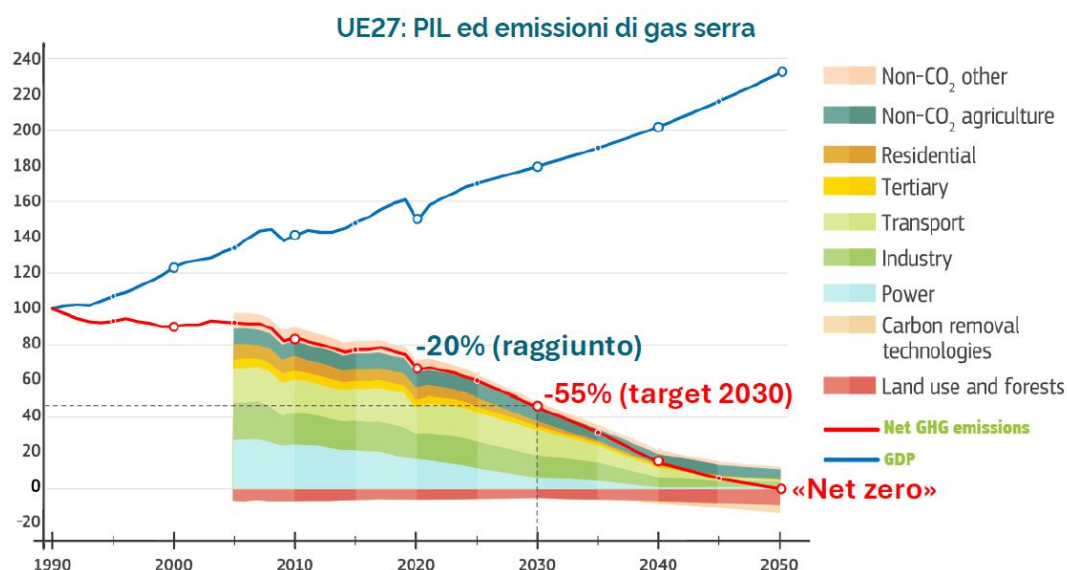


Figura 4: PIL contro emissioni di gas serra in Europa

Fonte: <https://www.bancagenerali.com/blog/impatto-pil-transizione-green>

Gli acquirenti beneficiano nel lungo termine di prodotti di alto valore duraturo e innovativo, ottenendo sia risparmi monetari che un migliore stile di vita a causa di costi di sostituzione più bassi. Unire tutti i benefici sopra menzionati, ambientali, economici e sociali rende l'economia circolare un aspetto fondamentale per lo sviluppo economico sostenibile a lungo termine.

1.2 Storia dell'economia circolare

Sebbene il termine economia circolare sia entrato nel nostro lessico economico solo di recente, le idee che la sottendono in realtà hanno radici più profonde. Già negli anni '50 alcuni studiosi iniziarono ad esplorare i limiti del modello lineare utilizzato senza restrizioni al consumo risorse in un pianeta che invece ha risorse molto limitate. Un riferimento precoce al concetto preliminare può essere trovato nello scritto dell'economista Kenneth E. Boulding "The Economics of the Coming Spaceship Earth" pubblicato nel 1966¹². In esso, l'autore oppone due visioni dell'economia che chiamò

¹² Boulding, K. E., *The Economics of the Coming Spaceship Earth*, in: H. Jarrett (a cura di), *Environmental Quality in a Growing Economy*, Johns Hopkins University Press, 1966.

“cowboy” e “astronauta”: l’economia del cowboy è la visione economica pionieristica che tende verso l’infinita possibilità di crescita e conquista delle risorse, dove tutto può essere esplorato, sfruttato e trasformato in denaro, con il riflesso di attribuire molta poca importanza all’etica dello scopo che viene riconcorso e per di più, non dare alcuna importanza alle conseguenze future delle proprie scelte. Al contrario, l’economia dell’“astronauta” è rappresentata da una metafora, in cui la terra è paragonata ad una piccola navicella spaziale che ha risorse molto limitate al suo interno che bisogna saper come utilizzare, preoccupandosi delle conseguenze future delle proprie scelte. La metafora di Boulding, già nel 1960, prefigurava l’immaginazione di un’economia futura. Ancor prima, egli sostenne che l’umanità avrebbe dovuto iniziare ad agire come astronauti, lavorando esclusivamente con cicli chiusi ed evitando qualsiasi attività di degradazione, poiché in una vera navicella spaziale non potrebbe esistere un’economia interna che crei residui non riutilizzabili o che utilizzi in modo errato le risorse limitate al suo interno. Queste intuizioni misero quindi le basi teoriche per considerare la sostenibilità e il riuso come principi cardine di un’economia futura.

Negli anni successivi, e sempre negli anni ’70, queste idee passarono dall’astrazione alla realtà attraverso analisi più concrete sul funzionamento dell’economia e dell’industria. Un altro esempio pionieristico a cui si può fare riferimento è lo studio dell’architetto Walter R. Stahel che assieme all’economista Svizzera Geneviève Reday presentarono nel 1976 alla Commissione Europea dal titolo “*The Potential for Substituting Manpower for Energy*”¹³. In questo rapporto si trattava per la prima volta lo scenario di un’economia a ciclo chiuso, mostrando i potenziali benefici di una simile strategia, tra i quali: la creazione di nuovi posti di lavoro, il risparmio di risorse e la drastica riduzione dei rifiuti attraverso il riuso e il riciclo. Il concetto alla base della teoria di Stahel e Reday si basava sull’idea che prolungando la vita dei prodotti (mediante i fondamenti delle 3R), si potessero sia ridurre gli sprechi e l’utilizzo di materie prime vergini, ma anche sostituire l’energia con il lavoro umano andando quindi a generare occupazione e aumentando la crescita economica.

¹³ Reday, G. e Stahel, W.R., *The Potential for Substituting Manpower for Energy, report to the European Commission, Geneva, 1976.*

Questo concetto è molto moderno, infatti prelude al moderno principio della “*performance economy*”¹⁴ in cui gli attori giocano sul piano del “risultato”, piuttosto che sul prodotto e sulla produzione di oggetti. Facendo così, la vendita dell’uso dei prodotti come servizio massimizza i profitti sfruttando soluzioni di efficienza e sufficienza: prolungando perciò la vita utile degli oggetti il più a lungo possibile, mantenendone la proprietà e responsabilità per tutto il ciclo di vita così da avere anche interesse a riutilizzarlo.

Sempre nelle stesse decadi si iniziarono a formalizzare discipline accademiche nuove come l’ecologia industriale, che studia i flussi dei materiali e dell’energia negli ecosistemi industriali¹⁵, ma anche a diffondersi contemporaneamente i concetti affini come “*cradle to cradle*” ideato da Walter Stahel e poi reso famoso da McDonough e Braungart negli anni 2000. Il comune denominatore era la chiusura del cerchio della produzione senza alcuno spreco. Tuttavia, fino agli anni ’90, l’espressione economia circolare sia rimasta di nicchia e non pienamente formalizzata nelle politiche pubbliche.

La vera svolta importante si è verificata all’inizio degli anni 2000, quando il concetto di economia circolare è stato esplicitamente adottato da alcuni governi nazionali. La Cina fu tra i primi: il governo cinese aveva per la prima volta coniato il termine economia circolare, “*xúnhuán jīngjì*”, nel suo 11° Piano Quinquennale¹⁶, 2006-2010, e il 2008 aveva promulgato una Circular Economy Promotion Law. Questa legge, firmata durante la presidenza di Hu Jintao, mirava a “migliorare l’efficienza nell’uso delle risorse, proteggere e migliorare l’ambiente e realizzare uno sviluppo sostenibile” in Cina. L’adozione di un quadro giuridico per l’economia circolare da parte della Cina, prima economia emergente a farlo, rifletteva in parte le preoccupazioni ambientali (della Cina per inquinamenti e declino degli indicatori di qualità dell’aria e dell’acqua, spinti dallo sviluppo urbanistico) ma soprattutto la necessità pratica di garantire la sicurezza nell’approvvigionamento delle risorse in un paese in cui la crescita industriale è esplosa. Il termine circolare veniva usato in forma di garanzia in ottica di riduzione della pressione sulle risorse naturali e sulla dipendenza dalle importazioni di materiali critici.

¹⁴ Stahel, W.R., *The Performance Economy*, Palgrave Macmillan, 2006 (2^a ed. 2010).

¹⁵ Graedel, T. E., & Allenby, B. R., *Industrial Ecology*, Prentice Hall, 1995.

¹⁶ Yuan, Z., Bi, J., & Moriguchi, Y., *The Circular Economy: A New Development Strategy in China*, *Journal of Industrial Ecology*, 10(1-2), 2006.

Bensì, l'esigenza principale derivava dalla necessità di rispondere alla rapidità con cui la Cina era diventata una nazione industrializzata sviluppata.

In altre parole, la Cina riconobbe che questo modello poteva ridurre la pressione sulle risorse naturali critiche e ridurre la dipendenza dalle importazioni di materiali essenziali allo sviluppo economico. Non a caso, fu proprio in quegli anni che l'interesse internazionale per la circolarità crebbe rapidamente: l'esperienza cinese fornì l'esempio di un quadro politico chiaro per la circolarità, e l'Occidente ha intensificato il dibattito sui rifiuti, sul riciclo e sulla green economy.

Fu a partire dalla fine degli anni 2000 e soprattutto nel decennio 2010 che il concetto di economia circolare ricevette un impulso significativo grazie all'azione di fondazioni e organizzazioni internazionali attive nella sua promozione. Un attore chiave fu l'Ellen MacArthur Foundation, menzionata precedentemente, una fondazione impostata da Ellen MacArthur, una velista britannica, nel 2010 dopo aver compiuto il giro del mondo in solitaria. Attratta dalla poca disponibilità delle risorse a bordo (una metafora al pianeta Terra), MacArthur dedicò la sua fondazione ad accelerare la trasformazione verso il modello circolare, finanziando studi, pubblicazioni e progetti pilota in collaborazione con aziende e governi.

Grazie ad alcuni documenti, poi diventati molto influenti, come quello intitolato "*Towards the Circular Economy*"¹⁷, sviluppato dal 2012 al 2015, la fondazione ha cercato di quantificare le opportunità economiche del modello circolare, in termini di risparmi sui costi di materiali, creazione di valore aggiunto, riduzione del rischio relativo alla volatilità dei prezzi dei minerali, e ha aiutato a traghettare il concetto in modo facilmente comprensibile per il mondo imprenditoriale. Alla fine, sostenendo il cambiamento, ha reso molte multinazionali aperte alla transizione e ha creato il terreno per agenzie più incisive specialmente in Europa.

Per quanto concerne l'Unione Europea, prima del 2015 il tema era inclusa solo nella politica sui rifiuti e nella strategia per lo sviluppo sostenibile, ma non c'era un contesto unitario con l'espressione economia circolare. Tuttavia, sull'onda dell'esperienza

¹⁷ Ellen MacArthur Foundation, *Towards the Circular Economy Vol.1-3, 2012-2015*.

acquisita e delle pressioni dell'opinione pubblica attenta alle questioni ambientali, le istituzioni comunitarie avrebbero progressivamente incorporato la visione circolare per integrarla direttamente nelle politiche economiche. Le tappe cruciali, incluse il rilascio del primo pacchetto d'azione dell'economia circolare dalla Commissione Europea (2015)¹⁸ e misure legislative per aumentare il riciclaggio e ridurre lo smaltimento in discarica da parte di tutti gli Stati membri, sono state approvate tra il 2017 e il 2018. Da allora, l'economia circolare è stata una delle pietre miliari della strategia europea, in breve, nell'arco di circa cinquanta anni l'economia circolare è evoluta da mero concetto ideologico a priorità nella politica internazionale. La storia dell'economia circolare riflette lo sviluppo graduale della consapevolezza della mancanza di attenzione al futuro del modello economico lineare e la necessità di un design sistemico della produzione e dell'utilizzo delle risorse.

1.3 Strategie di economia circolare

Per tradurre in pratica i principi descritti dal concetto di economia circolare, occorre utilizzare alcune strategie operative lungo l'intero ciclo di vita dei prodotti. Bisogna esaminare ogni fase, dalla produzione, alla produzione, al consumo fino alla gestione del rifiuto prodotto e al nuovo utilizzo che verrà dato alla risorsa nel momento del suo reinserimento nei processi produttivi.

Queste strategie possono essere implementate sia a livello microeconomico, sia a livello macroeconomico. Di seguito verranno analizzate le principali strategie utilizzate.

Design circolare ed eco-design: il design è una fase critica per determinare la circolarità di un prodotto. L'eco-design stabilisce che i prodotti debbano essere progettati considerando tutto il ciclo di vita, largo uso di materiali sostenibili e soluzioni che agevolino la riparazione, l'upgrade, lo smontaggio e il riciclo. Ad esempio, è inutile progettare un ciclo produttivo separato in caso di componenti multimateriale che non posso essere separati oppure se le materie prime impiegate includono sostanze pericolose. La prevenzione dei rifiuti inizia proprio da questo aspetto, infatti se il prodotto dura di

¹⁸ Commissione Europea, *Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy*, COM(2015) 614 final, Bruxelles, 2015.

più e può essere recuperato al termine della vita utile, difficilmente diventerà rifiuto in breve tempo. Molte norme comunitarie incoraggiano l'eco-design, riconoscendo che più dell'80% dell'impatto ecologico di un prodotto può essere ridotto se progettato in anticipo.¹⁹

Estensione della vita produttiva, riuso e riparazione: altro pilastro del concetto di economia circolare consiste nella ricerca di donare ai prodotti e materiali una durata di utilizzo più lunga. La manutenzione, la riparazione e il riutilizzo vengono promossi dalla regolazione. Il rifornimento o la rigenerazione sono processi in grado di rimettere in funzione e quindi sul mercato prodotti usati. Questo implica la promozione di una cultura in cui l'usato di qualità e la riparazione siano da preferire all'acquisto del nuovo. L'estensione del ciclo di vita riduce quindi la necessità di produrre continuamente da zero e di conseguenza va a tagliare i costi per gli utenti del mercato ma anche l'impatto ambientale dello spreco di risorse.

Il riciclo e il recupero dei materiali: quando un prodotto raggiunge veramente la fine della sua vita e non è più riusabile come tale, gli sforzi vanno mirati a riciclare la maggior quantità possibile di materiali contenenti in esso per riportarli nel ciclo produttivo. Questo prevede sistemi di raccolta differenziata dei rifiuti ben organizzati, impianti di riciclo tecnologicamente all'avanguardia e mercati per le materie prime seconde. In un'economia circolare, gli scarti di un processo sono gli input per un altro: questo è il principio della simbiosi industriale²⁰, in cui sottoprodotti o rifiuti delle industrie sono i nutrienti di un altro. Ad esempio, gli scarti di calore di un impianto industriale possono riscaldare un'area urbana, o i residui agricoli possono essere convertiti in materiali o energia.

Il recupero include anche il flusso di rifiuti che non può essere riciclato, ad es. recupero termico tramite "Waste to energy", anche se il recupero energetico è considerato un last resort nella gerarchia di priorità circolare poiché dovrebbe essere utilizzato solo in assenza di altre opzioni. In breve, il riciclo e il recupero mirano a chiudere il cerchio,

¹⁹ Commissione Europea, *Making sustainable products the norm - Ecodesign for Sustainable Products Regulation (ESPR)*, 2022.

²⁰ Chertow, M. R., "Industrial Symbiosis: Literature and Taxonomy", *Annual Review of Energy and the Environment*.

reintroducendo materiali diventati scarti come input nei processi produttivi e allo stesso tempo a ridurre i rifiuti che andrebbero smaltiti.

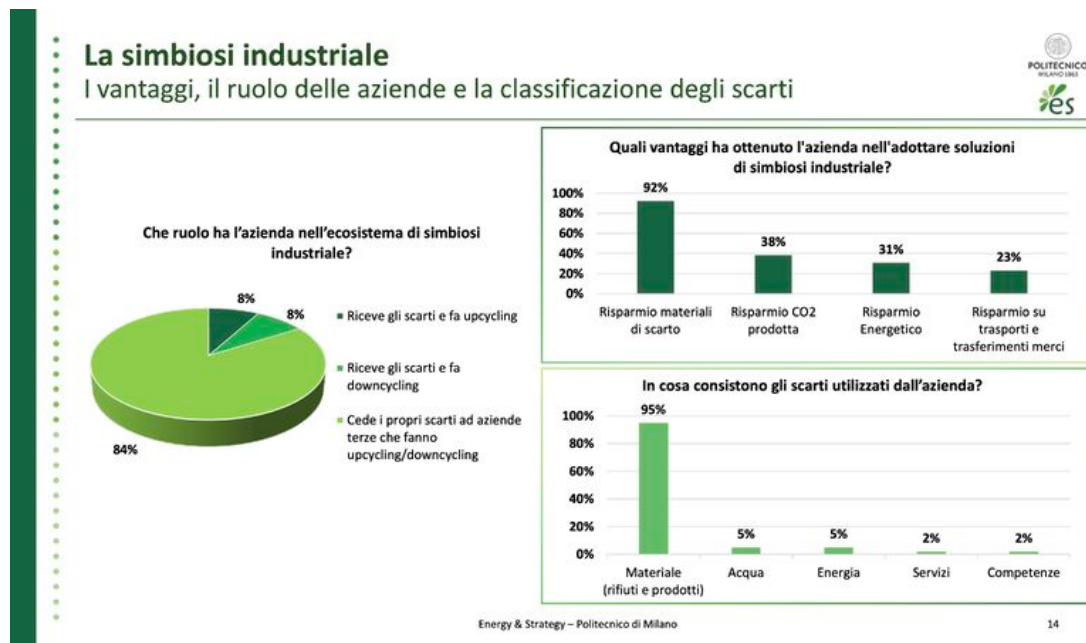


Figura 5: simbiosi industriale

Fonte: Circular Economy Report POLIMI Graduate School of Management

Modello “prodotto come servizio”: un modello di innovazione strategica estremamente radicale che riprende le idee di Walter Stahel, è quello che cambia il prodotto da un bene a un servizio²¹. L'azienda non vende il consumismo, il bene rimane di proprietà e in cambio viene noleggiato o fornito al cliente. Spetta all'organizzazione mantenere la performance, la manutenzione e l'aggiornamento del bene dopo ogni utilizzo unico. Ad esempio, attraverso il noleggio di automobili, elettrodomestici noleggio, le lampadine misurate e vendute per dimensione di lumen-ora piuttosto che per pezzo. Questa innovazione aumento l'incentivo per i produttori a produrre oggetti più costosi, sostituibili e durevoli perché il loro ritorno economico dipende dalla performance in termini di vita residua dei prodotti. Il consumatore riceverà tutto il valore dell'oggetto senza prendersi la briga della sua gestione a fine vita, è responsabilità dell'organizzazione. Questo non solo aumenta la resa in termini economici di ogni singolo

²¹ Tukker, A., Product services for a resource-efficient and circular economy - a review, *Journal of Cleaner Production*

prodotto, ma permette loro anche di concentrare le proprie risorse finanziarie sulla ricerca e sviluppo, sviluppando prodotti sempre più performanti, meno impattanti e quindi più sostenibili.

Sharing Economy: un'altra strategia fulcro, è la promozione in ottica di condivisione²² del singolo bene, così da limitare l'utilizzo di beni di nuova produzione e quindi di ridurre lo spreco di materie prime che possono quindi essere riutilizzate per altri scopi. Ad oggi, vi sono molte piattaforme digitali che fanno incontrare l'offerta e la domanda di bene o servizi che possono essere condivisi, alcuni esempio possono essere il car-sharing o il bike sharing, oppure piattaforme che mettono in contatto proprietari di immobili, con potenziali affittuari in modo tale che i primi citati riescono a sfruttare il tempo in cui non usano l'abitazione oppure addirittura piattaforme con l'intento di promuovere immobili condivisibili come co-working e co-housing.

Questa strategia permette di ottimizzare il consumo delle risorse, rendendole disponibili contemporaneamente a più utenti o in momenti diversi. Infatti, pensandoci, un solo veicolo condiviso potrebbe benissimo sostituire una decina di veicoli dello stesso genere andando ad abbattere costi, impatti ambientali e sprechi di risorse e attività. Un altro esempio potrebbe essere fatto con un occhio al fast-fashion, infatti un servizio di noleggio abiti o di attrezzature sportive, porterebbe sicuramente giovamento in ottica di economia circolare. Negli ultimi anni, per fortuna si sta assistendo al proliferarsi di queste piattaforme che aiutano questa strategia, ma è il consumatore che dovrebbe imparare ancora di più ad usufruire di questo; infatti, nell'ultimo anno solo il 15% della popolazione Europea ha usato questi servizi.²³

²² Belk, R., "You are what you can access: Sharing and collaborative consumption online", *Journal of Business Research*.

²³ Eurostat, *Sharing economy platforms - Statistics*

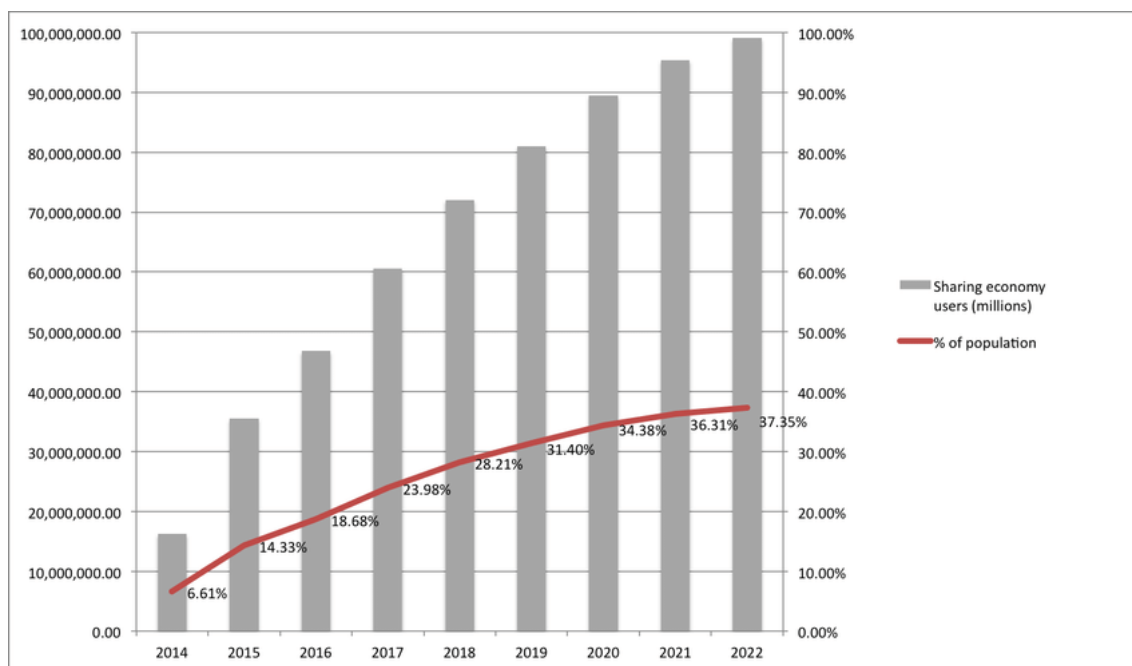


Figura 6: utilizzo della Sharing Economy
 Fonte: https://www.researchgate.net/figure/Size-and-Growth-of-the-Sharing-Economy-Source-eMarketer_fig1_326995058

Come notiamo, tutte queste strategie menzionate precedentemente possono essere benissimo combinate l'una con l'altra perché seguono un modello completo di business e di consumo. Inoltre, la sempre crescente sensibilità ambientale dei consumatori sta facendo in modo che molte aziende stiano ricorrendo a queste strategie innovative, andando quindi a ridurre i costi derivanti dall'acquisto di materie prime non rinnovabili. In aggiunta le pubbliche amministrazioni possono favorire lo sviluppo di un'economia basata su questi approcci semplicemente con alcuni incentivi economici o normative mirate a tal proposito. Per esempio, si sono rivelati molto efficaci alcune manovre come la detrazione fiscale dell'IVA in Italia per i prodotti ricondizionati oppure schemi EPR che obbligano i produttori a sostenere economicamente tutto il ciclo che avviene dopo che la vita dei loro prodotti è terminata.²⁴

²⁴ OECD, *Extended Producer Responsibility: Updated Guidance for Efficient Waste Management*

Molte di queste sono già in atto oppure in procinto di applicazione in Europa (come la normativa sulle plastiche monouso).²⁵

In qualsiasi caso, affinché questa strategia vengano applicate in larga scala e con effetti positivi a lungo termine, tutta una serie di organizzazioni dovrebbero collaborare in maniera sistematica e coordinata con un obiettivo comune.

Nel capitolo successivo, andremo ad approfondire la rilevanza delle terre rare all'interno di questi processi e strategie ed analizzeremo come la sinergia tra innovazione tecnologica, modelli di business sostenibili e sostegno delle amministrazioni pubbliche possa portare ad un andamento virtuoso dell'economia.

1.4 Il ruolo dell'Europa

L'Unione Europea, ad oggi ha un ruolo fondamentale nella diffusione del modello di economia circolare; infatti, sta assumendo il compito di arpista a livello mondiale in ottica di adozione di politiche e normative che supportano questo spettro dell'economia. Questa spinta deriva sia dalla consapevolezza delle sfide ambientali che ci attendono nel futuro prossimo, ma anche dalla influenza che questi fenomeni ambientali potrebbero avere nelle dinamiche economiche del continente. Di fatto, l'UE, ogni anno produce una grandissima quantità di rifiuti che è stata stimata attorno alle 2,5 miliardi di tonnellate nel 2025²⁶, a questo proposito nel 2021 il Parlamento Europeo ha votato per il nuovo piano d'azione per l'economia circolare, stilando misure aggiuntive per raggiungere un'economia a zero emissioni di carbonio entro il 2050.

In aggiunta l'Europa è povera di materie prime strategiche, dipendendo in maniera intensa da paesi esteri, come Cina, Vietnam, Cambogia ecc., una transizione verso un riciclo di prodotti che contengano queste materie prime strategiche sarebbe prospero anche in termini di crescita economica; ad esempio ricondizionare i veicoli commerciali leggeri anziché riciclarli porterebbe ad un risparmio di 6,4 miliardi di euro annui che corrispondono circa al 15% della spesa europea per materiali e a circa 140 milioni di euro

²⁵ Direttiva (UE) 2019/904 del Parlamento europeo e del Consiglio del 5 giugno 2019 sulla riduzione dell'incidenza di determinati prodotti di plastica sull'ambiente.

²⁶ Economia circolare: definizione, importanza e vantaggi: Casa per l'Europa di Gemona

in termini di risparmio energetico. Inoltre, si stima che nel UE potrebbero esserci settecentomila nuovi posti di lavoro entro il 2030 grazie allo sviluppo di questo modello economico.

Visti e considerati tutti questi aspetti, da numerosi anni l'Unione sta cominciando ad inglobare i principi cardine dell'economia circolare direttamente nel quadro normativo, come una vera e propria agenda volta allo scopo dello sviluppo sostenibile e la lotta al cambiamento climatico.

Un primo tassello è stato posto nel 2015, con il lancio da parte della Commissione Europea del Pacchetto per l'economia circolare. Questo includeva un vero e proprio piano d'azione con misure concrete, con alcune proposte di revisione che miravano al cambiamento di alcune direttive in materia di rifiuti, con lo scopo di elevare i target di riciclaggio e ridurre quindi il loro collocamento in discariche presenti nel territorio dell'UE. Queste proposte, dopo un lungo iter, si sono poi introdotte solo nel 2018 sotto l'aspetto di nuove normative vincolanti. Ad esempio, fu aggiornata la Direttiva quadro sui rifiuti, andando a fissare l'obiettivo di riciclare almeno il 55% dei rifiuti urbani entro il 2025, per poi salire al 60% nel 2030 e al 65% nel 2035, tutto questo andando a limitare il ricorso alle discariche al 10% entro il 2035.

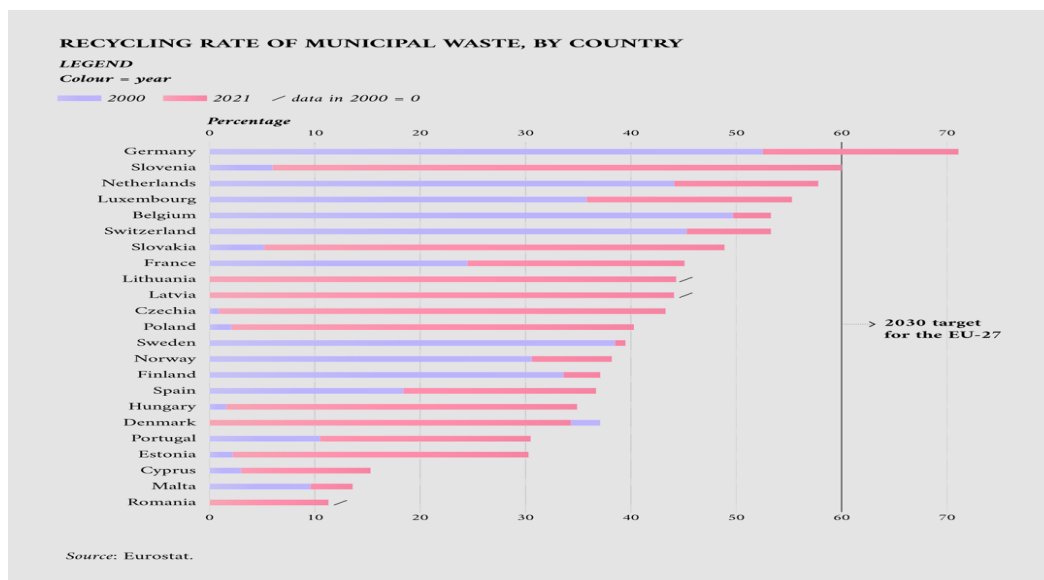
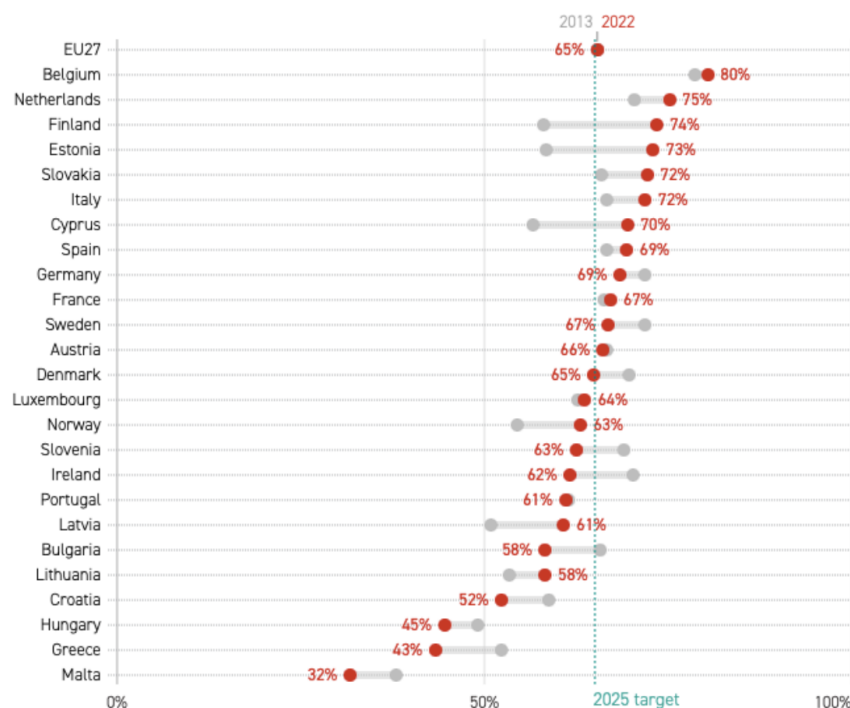


Figura 7: tasso di riciclo per nazione in Europa

Fonte: <https://www.infodata.ilsole24ore.com/2023/09/10/il-riciclo-i-dati-e-la-gestione-dei-rifiuti-in-europa-in-cinque-grafici/>

Analogamente furono inseriti degli obiettivi stringenti che mettevano sotto lente di ingrandimento gli imballaggi, andando quindi a cambiare il tipo di materiale che poteva essere utilizzato, con anche misure per sensibilizzare e responsabilizzare i produttori. Anche per quanto riguarda i rifiuti di imballaggio, i Paesi dell'UE hanno un obiettivo elevato da raggiungere. Devono riciclare il 65% dei loro rifiuti di imballaggio entro la fine del 2025. Inoltre, entro lo stesso anno, i funzionari dell'UE dovranno raccogliere il 77% delle bottiglie di plastica monouso per bevande. Inoltre, i produttori dovranno includere almeno il 25% di plastica riciclata in tutte le nuove bottiglie vendute in Europa a partire dal 2025.²⁷



Percentage of packaging waste recycled in EU countries in 2022. Courtesy of Politico (based on Eurostat data).

Figura 8: percentuale di rifiuti derivanti dal Packaging

Fonte: Politico Europe, Percentage of packaging waste recycled in EU countries in 2022, elaborazione su dati Eurostat.

²⁷ Can the EU Hit Its 2025 Recycling Targets?

Un altro passo per il rafforzamento dell'impegno europeo è stato il lancio del Green Deal Europeo, una nuova strategia di crescita dell'UE con l'obiettivo di centrare la neutralità climatica entro il 2050. In questo contesto, nel 2020, la commissione Europea ha presentato un piano d'azione soltanto per l'economia circolare con l'obiettivo di dare una svolta alla transizione economica Europea. Infatti questo piano²⁸ comprende norme che spaziano dal riciclo di rifiuti a norme che prevedono rivoluzioni di processi, come per esempio nel caso della progettazione di alcune tipologie di prodotti, che deve essere resa ecosostenibile fin dalla fase embrionale.

In tal senso, l'UE sta puntando alla diffusione del cosiddetto "diritto alla riparazione", affinché i consumatori europei abbiano consapevolezza e accesso a tutta una serie di servizi di riparazione a costi ragionevoli.

In questo stesso piano, sono stati inoltre identificati alcuni settori nei quali viene usata una grande quantità di risorse strategiche, come ad esempio il settore elettronico oppure il settore edile. Questi saranno destinatari di interventi mirati, con l'ambizione di raggiungere un'autonomia circolare nella vita dei prodotti in questione. Come affrontato precedentemente, nel settore elettronico si punta ad eliminare l'obsolescenza programmata e a favorire il riciclo delle componenti critiche come le terre rare.

Si aggiunge poi il Parlamento a confermare il ruolo di guida dell'Europa. Infatti, il 10 febbraio 2021, il Parlamento Europeo ha votato a larga maggioranza una risoluzione che sostiene il nuovo piano d'azione per l'economia circolare²⁹. Il PE ha fatto appello per misure aggiuntive volte a stimolare la transizione, ponendo come obiettivo del 2050 un'economia europea climaticamente neutra e sostenibile dal punto di vista ambientale, senza tossicità e completamente circolare.

Inoltre, il 9 marzo 2021, il Commissario Breton, responsabile del mercato interno e i servizi, ha dovuto confermare che "tutti i materiali dovranno essere riciclati al 100% ". Come richiesto dall'Europarlamento, si chiedono regole più dure sul riciclo e a livello UE, si chiede agli Stati membri di impegnarsi a ridurre l'uso di sostanze vergini e

²⁸ *Circular Economy Action Plan 2.0*

²⁹ *Parlamento Europeo, Risoluzione del Parlamento Europeo del 10 febbraio 2021 sul nuovo piano d'azione per l'economia circolare*

diminuire drasticamente l'importazione di materie prime entro il 2030³⁰. In pratica, oltre a definire gli obiettivi di riciclo già noti, l'Europa si metterà al lavoro per definire obiettivi tangibili per ridurre l'impatto ambientale e l'utilizzo di materie prime strategiche. Questi obblighi indurranno gli Stati membri a una politica energetica e a una tecnologia più avanzata che andrà ad impattare fortemente la transizione ecologica di questi. Un altro aspetto degli obiettivi europei è anche quello di incentivare l'innovazione e gli investimenti per la circolarità. Infatti, l'UE finanzia una vasta gamma di progetti di ricerca e sviluppo in economia circolare³¹, che vanno dai progetti di riciclo ad alta tecnologia es. riciclo chimico della plastica, metallurgia per il recupero di metalli rari, sino a progetti sull'economia circolare che riguardano lo sviluppo di modelli di business nelle PMI, progetti circular cities per aiutare le città a diventare dei veri e propri esperti nella gestione circolare integrata di rifiuti, acqua, energia, mobilità sostenibile, ecc..

Un risultato europeo particolarmente rilevante in questo contesto è il caso delle materie prime critiche, direttamente legato al caso di studio di questa tesi, ovvero le terre rare. Infatti, la Commissione dell'UE dal 2008 ha regolarmente mantenuto un'aggiornamento della sua lista di Critical Raw Materials CRM³², ovvero materiali considerati essenziali per l'industria e l'innovazione, ma ad alto rischio di rifornimento.

Ad esempio, dopo la crisi delle terre rare del 2010-2011, l'UE ha ufficialmente riconosciuto la necessità di ridurre la propria dipendenza esterna, costringendo il recupero interno di queste materie prime. Nel 2020, la Commissione ha adottato un piano d'azione sulle materie prime critiche e nel 2023 ha proposto la nuova regolazione, chiamata "Critical Raw Materials Act"³³, che prevede un approvvigionamento sicuro e sostenibile dei materiali critici attraverso la diversificazione delle fonti, accordi internazionali, e una maggiore circolarità riciclo e sostituzione all'interno dell'UE. In questo contesto, l'economia circolare viene quindi vista come uno strumento di promozione

³⁰ Commissione Europea, *Towards a Sustainable Products Initiative - Staff Working Document, SWD*

³¹ Horizon Europe, *Research and Innovation for Circular Economy 2021-2027*

³² European Commission, *Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU - A Foresight Study*, 2020.

³³ Commissione Europea, *Proposal for a Regulation on Critical Raw Materials, COM(2023) 160 final*, Bruxelles, 2023.

dell'autonomia strategica³⁴ europea: l'economia circolare di terre rare dai rifiuti elettronici o dai magneti a fine vita, può essere una fonte significativa di queste risorse per l'industria e andrebbe così a ridurre la dipendenza europea dagli shock stranieri. L'Unione Europea opera, di fatto, in tutti i suoi Paesi membri un investimento totale di 572.7 miliardi di euro, questo rappresenta un “investimento strategico” poiché ha come obiettivo quello di massimizzare l'economia attraverso il raggiungimento della libertà energetica.

CAPITOLO 2: ANALISI DEL MERCATO GLOBALE DELLE TERRE RARE

2.1 Introduzione e definizione di terre rare

Le terre rare sono un gruppo di 17 elementi chimici come lo scandio, l'ittrio e i 15³⁵ lantanoidi; fondamentali per una vasta gamma di tecnologie avanzate. Nonostante il nome, questi metalli non sono “rari” per abbondanza, ma piuttosto per la loro concentrazione in forme economicamente sfruttabili. Le terre rare sono ampiamente utilizzate in settori strategici e vengono impiegate per la realizzazione di dispositivi elettronici di uso quotidiano, per applicazioni mediche e militari avanzate e tecnologie EGD. Sono i componenti chiave dei magneti permanenti ad alte prestazioni utilizzati nelle turbine eoliche, nei motori elettrici e nelle batterie ricaricabili dei veicoli.

Inoltre, sono materiali fondamentali per la realizzazione di fibre ottiche, schermi e chip di smartphone e PC e di apparecchiature per la risonanza magnetica. A causa delle loro vaste applicazioni, sono anche chiamate “vitamine dell'industria”³⁶.

³⁴ Commissione Europea, *REPowerEU: A plan to rapidly reduce dependence on Russian fossil fuels and fast forward the green transition*, COM(2022)

³⁵ European Commission, *Study on the Critical Raw Materials for the EU - Final Report*, 2020

³⁶ Roskill, *Rare Earths Market Report*

L'intero settore produttivo europeo sta per realizzare il New Green Deal, ovvero la transizione verde e digitale. Le terre rare sono nell'elenco delle materie prime fondamentali selezionate dalla Commissione Europea; pertanto, la politica industriale europea riconosce il ruolo centrale di questi materiali a cui è associato un livello critico di approvvigionamento.

La distinzione idealistica e chimica che possiamo fare riguarda il numero atomico, e quindi il peso, degli elementi. In genere i lantanoidi, dal La all'Eu, sono LREE³⁷ mentre i nuclei più pesanti, da Gd a Lu e lo stesso ittrio per affinità atomica, sono HREE³⁸. Questa divisione è valida anche dal punto di vista economico. Le terre rare HREE sono meno comuni e più richieste, in particolari in applicazioni hi-tech. Un esempio sono il disprosio ed il terbio, fondamentali per i magneti resistenti al calore.

Tuttavia, la rilevanza economica di questi elementi si basa sull'assenza di sostituti³⁹ piuttosto che sulla rarità di questi materiali. Le terre rare sono fondamentali poiché moltissime tecnologie si basano su di esse e senza di loro non potrebbero funzionare o persino esistere. Per queste ragioni sarebbe fondamentale un approccio legato all'economia circolare. Da un lato, la necessità di scegliere i materiali è insostenibile, poiché l'estrazione e la raffinazione sono altamente tossiche per l'ambiente (verranno descritte in seguito) e minacciano il modello estrai-produci-usa-smaltisci. D'altro canto, proprio l'incomparabile valore di queste materie prime ha alimentato il dibattito sul recupero, sul riutilizzo, sulla minimizzazione degli scarti e sui modi per garantire un approvvigionamento sostenibile. Pertanto, i paragrafi seguenti avranno come tema la domanda e l'offerta mondiale di terre rare, gli aspetti di conservazione e sociali della filiera marittima e le prospettive europee.

³⁷ *Elementi di terre rare - Periodic Table of the Elements*

³⁸ *Binnemans, K. et al., Recycling of Rare Earths: a critical review, Journal of Cleaner Production*

³⁹ *U.S. Department of Energy, Critical Materials Strategy*

2.2 Panoramica della domanda e dell'offerta globale di terre rare

La domanda globale di terre rare cresce rapidamente con le tecnologie pulite e digitali. Il World bank e altre istituzioni hanno previsto che, nei prossimi decenni, la domanda globale di terre rare crescerà⁴⁰ sempre più velocemente e sarà moltiplicata esponenzialmente con l'accelerazione della transizione energetica. La domanda di alcune delle terre rare, come neodimio, praseodimio, disprosio e terbio, che vengono utilizzate per la produzione di magneti per motori elettrici e generatori eolici, è aumentata notevolmente a causa della mobilità elettrica e dell'incremento delle energie rinnovabili.

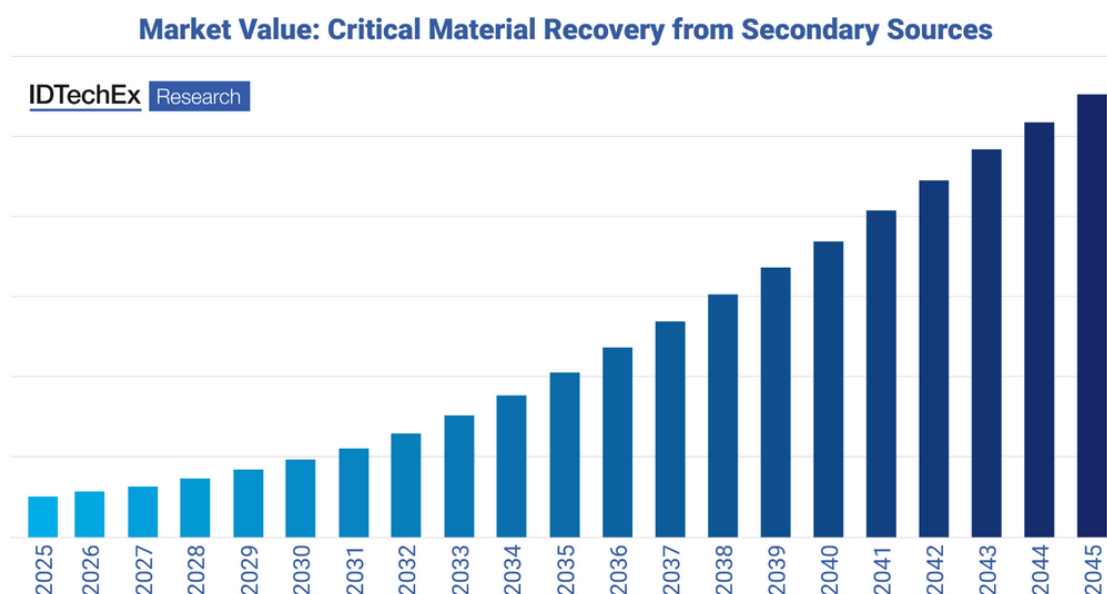


Figura 9: proiezione del valore di mercato del recupero di materiali critici da fonti secondarie (2025-2045)

Fonte: <https://www.greenplanner.it/2024/10/30/cresce-il-mercato-di-recupero-delle-terre-rare-ecco-perche/>

L'Unione europea ha previsto che la domanda di terre rare crescerà di un fattore di cinque volte maggiore⁴¹ a causa della rapida crescita delle vendite di veicoli elettrici e della ristrutturazione delle centrali elettriche. Le stesse tendenze sono state osservate negli Stati

⁴⁰ World Bank, *Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition*

⁴¹ Commissione Europea, *Action Plan on Critical Raw Materials*, COM(2020)

Uniti, in Giappone e in altri contesti internazionali. Si prevede che presto la domanda supererà l'offerta a meno che non vengano scoperti nuovi giacimenti.

Diversamente da un tale crescente, l'offerta globale di terre rare è estremamente concentrata e oligopolistica. La Cina è ancora il maggiore produttore mondiale: estrae circa il 68-70%⁴² delle terre rare mondiali e possiede una quota ancora più grande di capacità di raffinazione e separazione, stimata per 85-90% della produzione globale. Significa che molti materiali estratti in altri paesi come concentrati di minerali dal Vietnam o dall'Australia vengono inviati in Cina per ulteriore lavorazione sperimentando, infatti, un quasi-monopolio cinese lungo tutta la catena di approvvigionamento. Altri paesi che producono terre rare includono gli Stati Uniti, con la miniera di Mountain Pass in California, riavviata nel 2018, che attualmente copre circa il 12% della produzione mondiale, e il Myanmar, che contribuisce con una quota variabile tra lo 0 e il 5%. Il restante 20% delle riserve mondiali stimate è diviso tra vari paesi diversi. Vietnam e il Brasile detengono riserve significative, ma il loro uso commerciale è stato drasticamente ridotto. Complessivamente, la produzione globale annuale nel 2020 era di oltre 240.000 tonnellate di ossidi di terre rare e continua a crescere, ma si concentra in pochi paesi.

⁴² *US Geological Survey, Mineral Commodity Summaries 2023 - Rare Earths*

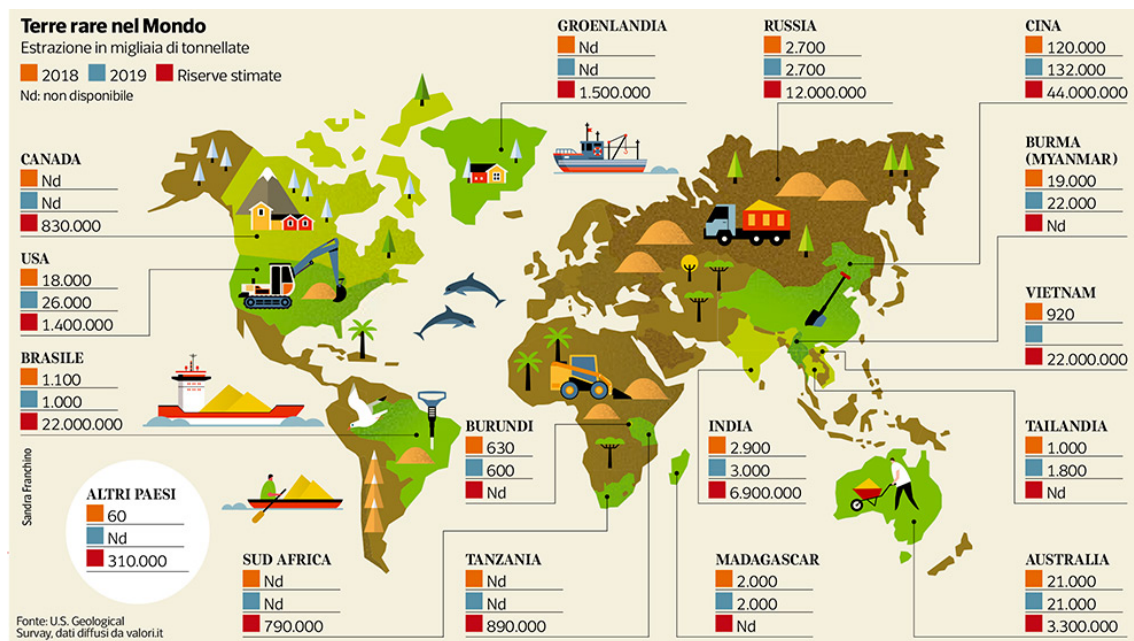


Figura 10: distribuzione di terre rare nel mondo
Fonte: https://www.corriere.it/sette/attualita/21_ottobre_28/quali-riserve-dove-vengono-estratte-classifica-terre-rare-mondo-d77200a6-367c-11ec-9169-9535c00f6f72.shtml

Questa risorsa altamente concentrata è associata a forti rischi geopolitici e di mercato. Un singolo paese, la Cina, che gioca un ruolo centrale nella determinazione dei flussi di terre rare; ha già provocato tensioni in passato. Il caso forse più noto è quello del 2010 quando il paese ridusse drasticamente le sue quantità di Terre rare esportate verso il Giappone⁴³, causando improvvisamente un aumento dei prezzi che ha spinto Tokyo a diversificare rapidamente i fornitori, riducendo la quota cinese da un'85% a un 58%, in pochi anni. Più di recente, la continua instabilità politica in Myanmar ha dimostrato la fragilità di queste catene di approvvigionamento. Nel biennio 2024-2025, i conflitti interni scoppiati nel Kachin, sede di miniere di terre rare pesanti governate da milizie locali, hanno ridotto le esportazioni di ossidi in Cina, innescando aumenti dei prezzi di molti minerali come il terbio⁴⁴, che è aumentato del 22% in sei mesi. Questi sono solo due degli esempi che dimostrano quanta il settore sia influenzato da shock geopolitici, ed economici, con effetti immediati sui mercati internazionali, nonché sui interi comparti industriali.

⁴³ Humphries, M., *Rare Earth Elements: The Global Supply Chain*, Congressional Research Service

⁴⁴ Adamas Intelligence, *Rare Earth Market Outlook*,

Lo sbilanciamento è anche ovviamente uno dei contendenti in termini di distribuzione delle risorse e delle riserve geologiche. Anche se la Cina possiede le risorse minerarie più grandi, in particolare il bacino di Bayan Obo⁴⁵, nella Mongolia Interna cinese, che da solo fornisce circa un terzo dell'offerta mondiale, sono stati rilevati depositi rilevanti anche in Brasile, Vietnam, Russia, India e Australia, e Tanzania e Madagascar in Africa. Questa dispersione implica la possibilità del futuro di nuovi fornitori, se i progetti minerari si svilupperanno nelle località precedentemente nominate, sarà possibile prevedere scorte di terre rare più varie. Tuttavia, è difficile aprire nuove miniere di terre rare, infatti queste richiedono grandi somme di denaro e molti anni di sviluppo, dove le imprese devono affrontare molte sfide come quello di mitigare gli impatti ambientali oppure come la legislazione severa e le procedure di autorizzazione. Intanto Il settore industriale dell'offerta sta affrontando innanzitutto un altro paradosso: le terre rare sono parte integrante delle tecnologie verdi del XXI secolo e della società digitale, e al tempo stesso rimangono un'industria mortale, stanziata nei paesi in via di sviluppo. Questa connettività strategica ha indotto i governi e le imprese a passare attraverso entrambi gli estremi, sviluppando strategie sia su "l'offerta" di nuove miniere, accordi intergovernativi che su "domanda" utilizzo più efficiente, riciclaggio e sostituzione con altri elementi, di cui si parlerà nella Sezione 2.5.

In questo contesto di domanda regionale, è decisamente rilevante sottolineare che Europa e Stati Uniti si distinguono come grandi consumatori effettivi di terre rare, ma detengono capacità produttive praticamente nulle. L'UE, ad esempio, importa quasi il 100% dell'intero fabbisogno: la quantità importata nel 2023 avrebbero raggiunto circa 18.300 tonnellate, contro quantità praticamente nulle prodotte in territorio europeo. I principali fornitori dell'UE sono la Cina, che totalizzava il 39% in peso delle importazioni nel 2023, seguita dalla Malesia con il 33% e dalla Russia con il 22%⁴⁶. Si precisa, tuttavia, che la Malesia ha impianti di raffinazione, come l'impianto della Lynas Co, e che la Russia produce particolari sottoprodotti. In definitiva, la filiera resta a forte dominio cinese. Si stima, ad esempio, che oltre il 90% delle terre rare importate sul territorio europeo si siano originariamente estratte in territorio cinese. Questo squilibrio ha contribuito alla

⁴⁵ USGS, *Rare Earth Element Mines, Deposits, and Occurrences*

⁴⁶ Eurostat, *Extra-EU imports of selected raw materials*

percezione di vulnerabilità politica dell'offerta, delineando una domanda strutturale verso le materie prime. E' questo il motivo per cui l'Unione europea ha già inserito le terre rare tra i materiali critici sin dal 2011 e ha adottato strategie per ridurre tale vulnerabilità, come sarà esplicitato in §2.5 mosse strategiche europee. Riassumendo il panorama della domanda e dell'offerta globale di terre rare descrive uno squilibrio strutturale: domanda in crescita, offerta necessariamente concentrata. Tale squilibrio conduce a mercati volatili attraverso prezzi variabili e potenziali insufficienti e rende gli stati importatori vulnerabili a rischi geopolitici.

Come si vedrà nei paragrafi successivi, questa situazione influenzerà profondamente due aspetti chiave nei paesi interessati: l'attività estrattiva e le politiche commerciali.

2.3 Terre rare e rifiuti

L'estrazione e la raffinazione di questi elementi generano rifiuti sociali e ambientali estremamente elevati, direttamente o indirettamente noti alle comunità locali e ai Paesi produttori, ma spesso sconosciuti al consumatore finale. Come accennato in precedenza, gli elementi terrestri rari sono presenti in natura in concentrazioni molto basse, mescolati ad altri minerali; di conseguenza, la produzione di un elemento terrestre raro richiede la movimentazione e la lavorazione di grandi quantità di roccia e terra, utilizzando reagenti chimici. Secondo la Conferenza delle Nazioni Unite sul commercio e lo sviluppo, il processo di estrazione delle terre rare è “un processo lungo, contorto e altamente inquinante”. In questo processo, i fluidi grezzi vengono frantumati e trattati chimicamente in soluzioni acide o basiche a seconda del livello di pH; questo perché, ad esempio, i fluidi contengono metalli pesanti che inquinano l'acqua. In seguito, il composto frantumato viene convertito o può assumere forme metalliche, e ogni separazione e conversione emette reagenti di scarto come sali ionici, ad esempio alogenuri, come solventi organici nell'estrazione quantitativa con solventi. Infine, la maggior parte dei minerali di terre rare comprende elementi radioattivi come l'uranio torio; i fanghi radioattivi risultanti dal processo di raffinazione sono pronti per essere smaltiti.

La Cina, nel secolo scorso, è stata poco attenta a controllare le emissioni delle industrie. Il caso più noto e orribile di un polo noto per l'estrazione è Baotou, nella Mongolia interna della Cina settentrionale. Negli anni '90, la città è diventata il più enorme complesso minerario e di raffinazione di terre rare al mondo, e ciò ha comportato l'inquinamento e la contaminazione di un lago con la riversione diretta di scarichi industriali. Il PH dell'acqua era esternamente basso e il contenuto radioattivo altissimo. In questi luoghi, i tassi di cancro legati all'estrazione delle terre rare sono estremamente elevati. Tutto questo è frutto della mentalità cinese, legata alla crescita negli anni futuri con un semplice e fisso slogan: "cresci prima, sporca dopo". Solo con l'apertura del tredicesimo piano quinquennale in Cina rilasciato una legge speciale⁴⁷ per regolare il settore delle terre rare, questo fenomeno sembra essersi alleviato. Il fatto è che dopo trent'anni di produzione non protetta, molte zone sono già compromesse e inquinate in maniera irreversibile.

Un altro esempio eclatante è il Myanmar, noto anche come Birmania. Nella regione remota di Kachin, lungo il confine tonchinese, negli ultimi dieci anni è avvenuta una forte espansione di miniere di terre rare. La lisciviazione in sito delle argille ioniche, un modo per iniettare soluzioni chimiche nel sottosuolo e sciogliere così le terre rare, viene utilizzata a scopo produttivo. Un rapporto del'NGO Global Witness⁴⁸ ha identificato foto sorprendenti di satelliti: più di 2700 pozze di decantazione blu scavate nella foresta pluviale per raccogliere i preziosi depositi di fango tossici. Questa regione non è sotto il controllo del governo centrale. Le aree sono controllate da bande armate private illegali ed erano zone franche in cui la natura e le comunità autoctone pagano per l'estrazione più deregolamentata di qualsiasi altra. Global Witness chiama la regione "un'altra area di sacrificio, un'altra frontiera in cui un ecosistema di un Paese fragilmente governato paga il conto per le economie industrializzate in trasformazione energetica". Dall'altra parte del mondo, in nome di tecnologie sostenibili ed elettriche rinnovabili, abbiamo tutte le altre tracce. Bilanciare gli impatti sociali e ambientali è molto difficile in questo caso, perché le terre rare hanno anche un altro lato. Alcuni dei redditi dell'estrazione finanziavano i conflitti armati. Inoltre, la commercializzazione non porta ai beni in natura; al contrario, privava le comunità delle case e delle fonti di base. In altre parole, le

⁴⁷ *State Council of China, 13th Five-Year Plan for Economic and Social Development of the People's Republic of China.*

⁴⁸ *Global Witness, Rare Earths in Myanmar: Uncovering the Dirty Secrets of the Clean Energy Transition*

economie industrializzate beneficiano dell'energia pulita trasformata mentre le popolazioni indifese e più meno istruite ecologicamente e socialmente del pianeta ne pagavano il prezzo.

In breve, non c'è attività mineraria sostenibile per le terre rare come si intendeva per la grafite e i minerali critici analoghi. Scendendo nei dettagli, è possibile elencare i seguenti impatti:

- ambientali: deforestazione e perdita di biodiversità per fare spazio a miniere e bacini di decantazione, contaminazione di falde acquifere e corsi d'acqua da parte di acidi, metalli pesanti, radionuclidi, polveri e gas nocivi di dispersioni impiantistiche, enorme impronta materiale, con tonnellate di sterile per pochi chilogrammi di ossidi utili
- sociali: problemi di salute pubblica, conflitti per il controllo delle risorse, sfruttamento della manodopera spesso impiegata in condizioni precarie o pericolose e iniqua distribuzione degli introiti dalla vendita delle terre rare. Va notato che anche in paesi sviluppati l'attività estrattiva delle terre rare non manca di scatenare alcune critiche: negli Stati Uniti, per esempio, la miniera di Mountain Pass fu costretta a chiudere negli anni '90 dopo una serie di sbocchi di acque reflue radioattive; fu riaperta solo dopo i necessari investimenti in standard ambientali.

Tuttavia, in prospettiva, la consapevolezza di tali impatti sta spingendo verso soluzioni più sostenibili. Da un lato, in atto c'è la sperimentazione e lo sviluppo di nuove tecnologie estrattive. Si tratta di ridurre l'impronta ecologica delle miniere coi silent blocks. Ad esempio, ricercatori cinesi hanno sperimentato metodi di estrazione elettrocinetica⁴⁹: i campi elettrici applicati al sottosuolo, controllati da fuori con fili stretti di pochi millimetri d'alimentazione, di ferro barite permettono di mobilitare terre rare con il 95-98% in meno di reagenti chimici. Promettendo un'attività estrattiva molto più pulita. Pur essendo ancora in fase pilota, queste nuove opzioni indicano la direzione verso cui i processi estrattivi potrebbero evolvere per mitigare gli impatti ambientali alla fonte. Dall'altro, è

⁴⁹ Wu, C. et al., *Electrokinetic Techniques for Rare Earth Element Recovery from Ion-Adsorption Deposits*, *Journal of Environmental Management*

già in atto un incremento dell'economia circolare delle terre rare. Naturalmente, questa strategia si basa sul recupero e riciclo di terre rare da "prodotti giunti a fine vita utile".

Le prospettive future, tuttavia, mostrano che le terre rare saranno sempre più critiche per le prossime decadi a causa dell'enorme domanda in rapida crescita dovuta alle trasformazioni mondiali della produzione tecnologica. I segnali di mercato mostrano che entro il 2030-2040, saranno necessarie enormi quantità per soddisfare la domanda. L'Agenzia Internazionale dell'Energia, ad esempio, prevede che lo scenario della politica energetica attuale vedrà la domanda del settore automobilistico superare l'offerta già a metà degli anni Venti e lo scenario di sviluppo sostenibile persino prima. L'UE consumerà 5 volte di più terre rare rispetto ad ora nel 2030 e la Commissione stima che entro lo stesso anno aumenteranno i consumi anche di altri materiali critici come il litio (del 1200%) e il cobalto (del 500%). La tendenza sarà quindi quella di avere una discrepanza sempre maggiore tra domanda ed offerta.

Diversi paesi stanno cercando di ridurre il monopolio cinese attraverso nuovi impianti di separazione o l'espansione di quelli esistenti. Negli Stati Uniti e in Australia, ad esempio, sono state create delle collaborazioni, ad esempio la joint venture MP Materials del Dipartimento della Difesa degli Stati Uniti, per costruire impianti di separazione e porre fine alla dipendenza della raffinazione cinese. Nel secondo più grande impianto occidentale, Lynas in Australia, la produzione è in rapida espansione, con l'apertura di nuovi stabilimenti e impianti sorgenti nazionalizzati. In Africa, il Sudafrica, la Tanzania e il Malawi sono ricchi di terre rare e attirano nuovi investimenti, spesso in accordo con società statali o internazionali. Anche l'Europa ha segnalato nuove scoperte. A gennaio 2023, la scoperta di una miniera di ossidi di terre rare nel Nord della Svezia è stimata in oltre 1 milione di tonnellate di terre rare, sebbene ci vorrà vorranno 10-15 anni, se verrà mai effettuata. La Norvegia, invece, ha rinvenuto un vastissimo giacimento di terre rare, fino a 8.8 milioni di tonnellate, all'interno di un antico cratere vulcanico, che potrebbe essere addirittura rivoluzionare l'Europa settentrionale. Tuttavia, tutto questo è applicabile a medio-lungo termine. In molte circostanze, "il mercato internazionale sarà vincolato da una capacità che non viene liberata a seconda dell'offerta". Ai picchi di domanda, pertanto, i prezzi sono destinati a destabilizzarsi fortemente. Un deficit di ossido di terre rare fece salire i prezzi del 3000% nel 2011, allo stesso modo del terbio

per il 2024. Lo scenario di prospettiva comune è che la recente vicenda dei prezzi delle terre rare includerà ancora maggiore volatilità. In particolare, i prezzi alti o incerti delle terre rare possono inibire o rendere eccessivamente costosa la transizione verde in Occidente.

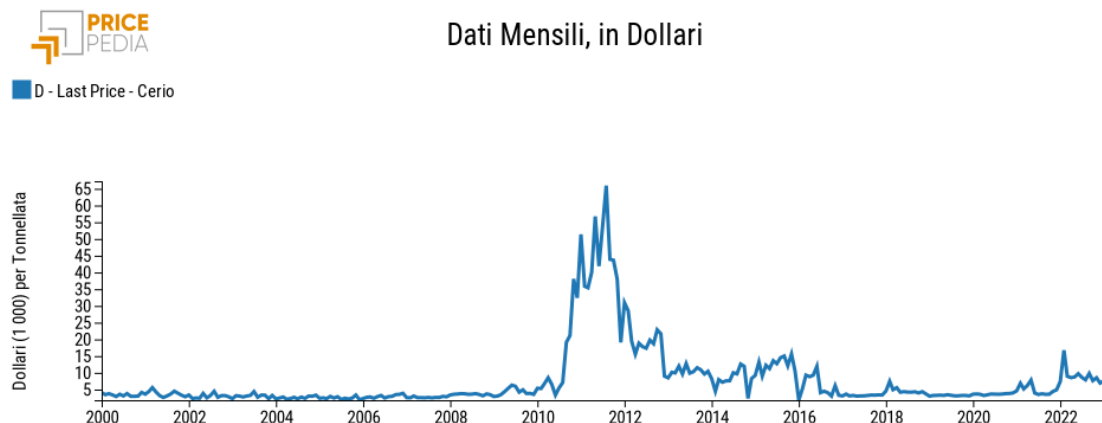


Figura 11: fluttuazione prezzi terre rare in dollari

Fonte: <https://www.pricepedia.it/it/magazine/article/2023/02/27/terre-rare-nel-libero-commercio-cerio-ittorio/>

Ma anche le “miniere urbane” saranno una grande fonte di risorse, poiché “al momento, il riciclaggio di terre rare dai prodotti a fine vita è ben al di sotto delle potenzialità” Questa parte dell’offerta secondaria è da tempi immemorabili sottosviluppata: le terre rare si trovano mischiate e accomunate con altri materiali impossibili da separare e riutilizzare e troppo dispersi per essere riutilizzati. Questa situazione verrà superata in futuro, infatti cresceranno grandi volumi di dispositivi a fine vita, con le prime generazioni di auto e turbine eoliche elettriche installate negli anni 2010 e le scorte spazzature dei 25 anni precedenti che dovranno essere riciclate e riutilizzate. È probabile, secondo le stime, che la circolarità possa eliminare la necessità di altre 600.000 tonnellate di nuove terre rare⁵⁰. La circolarità può ridurre la necessità e la pressione sulle miniere e su altri set aggiuntivi di terre rare e ridurre il volume di scarti. Ciò richiederà ricerca e investimenti infrastrutturali per il riciclaggio e modifiche regolamentari per rendere possibile il riutilizzo. Utilizzando nuovamente l’esempio dei magneti sui diversi PCB, cambiare la

⁵⁰ IEA, *Sustainable Recovery: Critical Minerals Outlook*

legislazione per dare incentivi in tal senso, ad esempio attraverso normative che incoraggino il design ecocompatibile dei prodotti a ridurre il “dissolvimento” dei magneti all’interno dei PCB.

L’altra tendenza tecnologica è la ricerca di materiali alternativi o design alternativi per ridurre la dipendenza dalle terre rare. Alcuni produttori di materiali elettrici sono attualmente impegnati a sviluppare motori a induzione o a riluttanza che non utilizzano magneti permanenti a base di neodimio, o magneti con minori quantità di disprosio e terbio a causa delle leghe ottimizzate. Anche nel settore eolico, turbine con trasmissione a moltiplicatore vengono esplorate invece del generatore direct-drive a magneti al neodimio per diminuire l’uso di risorse rare, a seconda del valore aggiunto. Nessuna di queste offre prestazioni migliori dei materiali esistenti, però l’innovazione potrebbe offrire i margini di efficienza necessari, insieme alla sostituzione parziale sul medio-lungo periodo. I Convertitori catalitici sono un classico esempio di riduzione e dipendenza da alcuni materiali. Hanno ridotto l’impiego di cerio e l’abbattimento delle emissioni, grazie ad una formula più efficace. In futuro, una combinazione fra scienza dei materiali e processo produttivo ridurranno le criticità al singolo elemento. In altre parole, le future tendenze per quanto concerne questi materiali delineano uno scenario bifronte: ci sarà da aspettarsi un notevole aumento dell’offerta in quanto la domanda crescerà, ma sarà necessaria una crescita compatibile coi principi della sostenibilità e della sicurezza dell’approvvigionamento.

Si può vedere chiaramente, che l’equilibrio domanda-offerta delle terre rare sarà indicato dallo spirito imprenditoriale, dalle scelte politiche e dall’azione di diverse dinamiche specifiche del mercato. Pertanto, l’UE intende essere attiva per garantire forniture stabili di queste materie prime agli impianti industriali dell’UE. Negli ultimi paragrafi, vedremo come L’UE stia facendo passi strategici e come essi si legano ai fatti descritti in precedenza.

2.4 Le mosse strategiche che ha fatto l’UE per le terre rare

L’UE ha fatto vari passi negli ultimi dieci anni per avere forniture sicure e sostenibili di terre rare e altre risorse critiche a causa della dipendenza delle importazioni. A giugno

2008-2011, ad esempio, la CE ha presentato la sua lista di materie prime e ha incluso le terre rare pesanti. Tuttavia, la situazione è cambiata drasticamente negli ultimi anni a causa della crescente importanza del Green Deal e delle tensioni geografiche. Ad aprile 2020, l'UE rilasciò il suo Piano d'Azione per le materie prime critiche e un anno dopo è stata fondata l'ERMA⁵¹. Quest'ultimo è una nuova iniziativa pubblico-privata nell'UE volto a mobilitare investimenti per una filiera di materie prime sostenibile, dall'estrazione al riciclaggio nell'UE. Questi sviluppi sono stati seguiti anche dal punto di vista legislativo, ovvero il CRMA. Il Critical Raw Materials Act è stato proposto dalla Commissione a marzo 2023 e ha trovato un accordo politico a febbraio 2024⁵². Esso pone le norme vincolanti e le misure di supporto per garantire l'autonomia dell'UE.

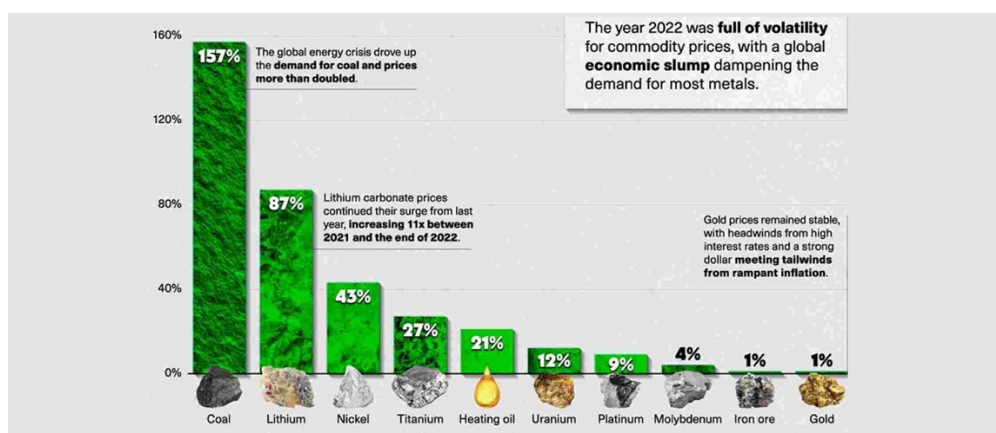


Figura 12: variazione percentuale dei prezzi delle principali materie prime

Fonte: <https://www.energiaitalia.news/policy/policy-italia/tutto-pronto-per-il-critical-raw-materials-act-italiano/21818/>

Il piano prevede: almeno il 50% del consumo di ciascuna categoria dovrà avvenire tramite estrazione e lavorazione/raffinazione e materiale riciclato interno all'UE. Ancora, almeno il 10% del consumo annuo dovrà provenire da estrazione interna dell'Unione per stabilire un'ulteriore riserva di mercati nazionali in contrasto con paesi terzi; almeno il 40% del consumo annuo dovrà essere coperto da lavorazione/raffinazione interna, il che rende i processi europei di trasformazione lungo la catena del valore competitivi, se non leader, all'interno dell'Unione; almeno il 25% del consumo dovrà essere soddisfatto tramite

⁵¹ European Raw Materials Alliance (ERMA), *About ERMA - Strengthening Europe's Rare Earth Supply Chain*, EIT RawMaterials

⁵² European Commission, *Proposal for a Regulation on the Critical Raw Materials Act*, COM

materiale riciclato da flussi di rifiuti o rottami, al fine di promuovere un'economia circolare a livello comunitario. Allo stesso tempo, per evitare di essere troppo dipendenti, nessun paese terzo, alleato o concorrente, potrà fornire più del 65% del consumo annuo dell'UE per ciascuna categoria imponendo un requisito di dispersione geografica a livello mondiale.

Questi target ambiziosi richiedono un contesto, anzi un progetto per poter essere realizzati. Al giorno d'oggi, come descritto sopra l'UE "estrae" 0% di terre rare, ne raffina pochissime e ne ricicla una percentuale irrisoria <5%. Raggiungere i target 2030 implica azioni diverse, su più fronti e coordinate. Vi sono tre step principali. Il primo è sviluppare progetti minerari in Europa dove possibile: la scoperta citata prima in Svezia è l'esempio più ovvio, ma esistono anche altri giacimenti potenziali e risorse secondarie. Il CRMA include procedure accelerate per "progetti strategici" di estrazione all'interno dell'UE: il permesso potrebbe essere rilasciato entro massimo 24 mesi e i progetti avrebbero accesso a finanziamenti di miliardi di euro come incentivo alla transizione verde, a condizione che i proponenti aderiscano a standard ambientali e sociali elevati. Il secondo è il più complesso, creare capacità di lavorazione e separazione in Europa, favorendo l'apertura di impianti di separazione chimica degli ossidi di terre rare, e.g. magari attraverso il coinvolgimento volontariato di aziende già esperte. L'UE ha già avviato dialoghi con paesi alleati: un memorandum con gli Stati Uniti consente la condivisione di tecnologie di separazione; e sono stati firmati accordi con l'Australia ed il Canada per l'apertura in Europa di parte delle filiere a valle dell'estrazione. Il terzo step è centrale, e prevede un forte investimento nell'economia circolare delle terre rare. L'UE mira a diventare leader nel riciclo di magneti e componenti che contengono terre rare, poiché questo aiuterebbe a raggiungere il 25% target e l'obiettivo ambientale più ampio; il CRMA include misure per promuovere la raccolta specifica di RAEE e l'estrazione delle terre rare da stesse. Si tratta anche di incentivi mirati: nel 2022-2024, molti progetti pilota sono stati sostenuti attraverso programmi europei per testare varianti innovative di recupero.

Un esempio particolare di queste politiche è la selezione di 47 progetti strategici dell'UE sui materiali critici, tra cui quattro in Italia, annunciati a marzo 2025⁵³. Tutti e quattro i

⁵³ *European Commission, List of Strategic Projects under the Critical Raw Materials Act, Press Release*

progetti riguardano il riciclaggio di elementi critici: INSPIREE⁵⁴, sviluppatore di un impianto industriale per il recupero delle terre rare con cui ho collaborato si occupa di estrarre i minerali contenute nei magneti permanenti da rigeneratori di dischi rigidi e motori elettrici. Tratterò più in dettaglio l'argomento in un prossimo capitolo: il progetto è stato selezionato come progetto pilota del “rare other circular economy” in base alle normative UE. “Portovesme CRM Hub”, sviluppa un processo che recupera il litio nelle batterie morte; “Alpha Project”, riciclo del platino dell'industria automobilistica, “RECOVER-IT”, riciclo del rame, del nichel e dei platinoidi dai rifiuti tecnologici. Ognuno di essi è stato selezionato tra i progetti strategici in base all'UE e ricevono decine di milioni di euro, ciascuno. INSPIREE è parte dell'ecosistema di recupero e rafforza la catena prendendo ispirazione da competenze acquisite in progetti precedenti, come New-RE dell'EIT Raw Materials, portatile a scala industriale. L'impianto tratta 2,000 tpa di magneti e produrrà 700 tpa di ossalato di terre rare, che verrà rivenduto fra industrie europee di magneti come materie prime secondarie. Ancora una volta, sono numeri piccoli sulla domanda complessiva, ma cruciali per chiudere il cerchio. Seguendo il calcolo presentato da ENEA e del nucleare del Ministero dello Sviluppo Economico, la capacità di recupero delle terre rare dai WEEE e i rifiuti in Italia potrebbe crescere fino al 10-15% della domanda nazionale nel 2030, se gli impianti saranno costruiti.

L'Europa sta anche cercando strategie alternative di diversificazione delle importazioni. Questo Protocollo prevede che l'Unione europea cerchi di avviare un partenariato tramite accordi diplomatici e commerciali con paesi fornitore che non siano la Cina. Questi accordi possono essere più o meno espliciti o associati a un progetto-pilota; ad esempio, ci sono stati memorandum d'intesa con il Canada e vari paesi africani che hanno firmato accordi di collaborazione sulla materia prima critica. In modo più aperto, l'Italia ha proposto il Piano Mattei per l'Africa⁵⁵. Inizialmente orientato all'energia, il Piano è stata esteso a tutto il settore minerario. In breve, l'idea era di raggiungere un vero e proprio partenariato con l'Africa per l'accesso al litio, cobalto, terre rare e altre materie prime strategiche. Come hanno notato giornalisti italiani, sarebbe garantire un rapporto equo e

⁵⁴ *INSPIREE Project, Pilot project for rare earth element recycling in Europe, EU Circular Economy Program*

⁵⁵ *Presidenza del Consiglio dei Ministri, Piano Mattei per l'Africa: strategia per un partenariato equo e sostenibile*

non ripetere schemi neocoloniali che ci vedano soli sfruttare risorse altrui. Questa politica è supportata dal fatto che l’Africa ospita gran parte dei territori estrattivi mondiali, ancora poco sfruttati e che potrebbe essere sviluppato in modo da migliorare attività locali e garantire l’approvvigionamento all’Europa. L’EU sta considerando una riserva strategica analoga a quella impiegata per il petrolio; accumulare in grandi parchi materiali critici in modo da poter fronteggiare in caso di interruzione del mercato. Al contrario del petrolio, gran parte dei materiali critici una volta sfruttati non possono essere recuperati ma restano dormienti all’interno dei prodotti.

Riguardo al contesto italiano, il nostro paese, pur non avendo giacimenti conosciuti significativi di terre rare, sta cercando di fare la propria parte nella filiera dei minerali critici, attraverso l’innovazione e l’industria. Una recente analisi commissionata da Iren e realizzata da TEHA Group stima che con investimenti dell’ordine di circa 1,2 miliardi di euro, l’Italia potrebbe soddisfare con produzione nazionale fino a un terzo della propria richiesta interna, entro il 2040⁵⁶, generando 6 miliardi di euro di valore aggiunto, utilizzando cioè capacità di recupero e raffinazione oggi in larga parte inutilizzate sul territorio nazionale. Al momento l’Italia soffre di una carenza di impianti specializzati: circa il 90 % dei RAEE da cui estrarre terre rare e altri metalli critici viene esportato all’estero per il trattamento, mancando cioè sul territorio le filiere di riciclo, i cosiddetti impianti di separazione. Ne esistono in Italia 47 su circa 1000 impianti autorizzati di gestione di rifiuti, dato che l’Italia soffre anche di una bassa percentuale di raccolta differenziata, che viene in parte estratta dalle discariche nazionali e inviata alle filiere e in parte finisce con stoccare i materiali differenziati insieme a prodotto da fare smaltire all’est. Progetti come INSPIREE vanno in questa direzione, e l’Italia è molto attiva nella definizione di standard europei e normative; in particolare ha sostenuto l’innalzamento dell’obiettivo di recupero nel CRMA dal 15% al 25% date le competenze esistenti.

In conclusione, l’Europa può riassumere l’azione in tre principali pilastri.

1. sviluppo di resilienza endogena abilitata costituita dallo sviluppo di miniere quando fattibile e primariamente di capacità di raffinazione e riciclo in Europa;

⁵⁶ TEHA Group per Iren, *Italia e terre rare: potenzialità industriali nella filiera critica, Analisi strategica*

2. esternalizzazione da diverse fonti e facilitata da partnership e accordi costituiti da Paesi affidabili e ricchi di risorse, in modo da allentare l'eccessiva dipendenza dalla Cina;
3. innovazione costituita dall'impiego di sostenibilità, come investimenti in ricerca sui nuovi processi di estrazione e di sostituzione e il ruolo centrale che gioca la circular economy, trasformando il problema del rifiuto hi-tech in un'innata opportunità di approvvigionamento.

Le parole d'ordine alla base di queste strategie, come tutte le altre, sono: equilibri di lungo periodo, densità, e sostenibilità.

Garantendo allo stesso momento però anche stabilità nel presente, con un occhio di riguardo verso l'inquinamento e le ineguaglianze sociali che ciò comporta.

CAPITOLO 3: IL CASO INSPIREE EU

3.1 La sfida Per l'Unione Europea

L'Unione Europea si trova ora ad affrontare una sfida molto importante riguardo la gestione sostenibile delle terre rare, i materiali fondamentali per la rivoluzione verde e

digitale del continente. Esg360.it afferma⁵⁷ che sono diciassette gli elementi più importanti (e allo stesso tempo presenti in basse concentrazioni): in particolare neodimio e il disprosio, entrambi necessari per lo sviluppo della tecnologia primaria, come turbine eoliche, auto elettriche, batterie, TV e sistemi d'arma.

La domanda di terre rare continua a crescere rapidamente in tutto il mondo, raggiungendo circa 450.000 tonnellate all'anno entro il 2035⁵⁸, fabbisogno più che raddoppiato rispetto alle 200.000 tonnellate stimate nel 2021. L'aumento è dovuto dalla maggiore attenzione posta sugli obiettivi globali di decarbonizzazione e digitalizzazione. Entrambi questi scopi richiedono l'estrazione e la lavorazione di una quantità significativa di materie prime critiche.

Domanda di materie prime nell'Unione europea (scenario di domanda elevata):

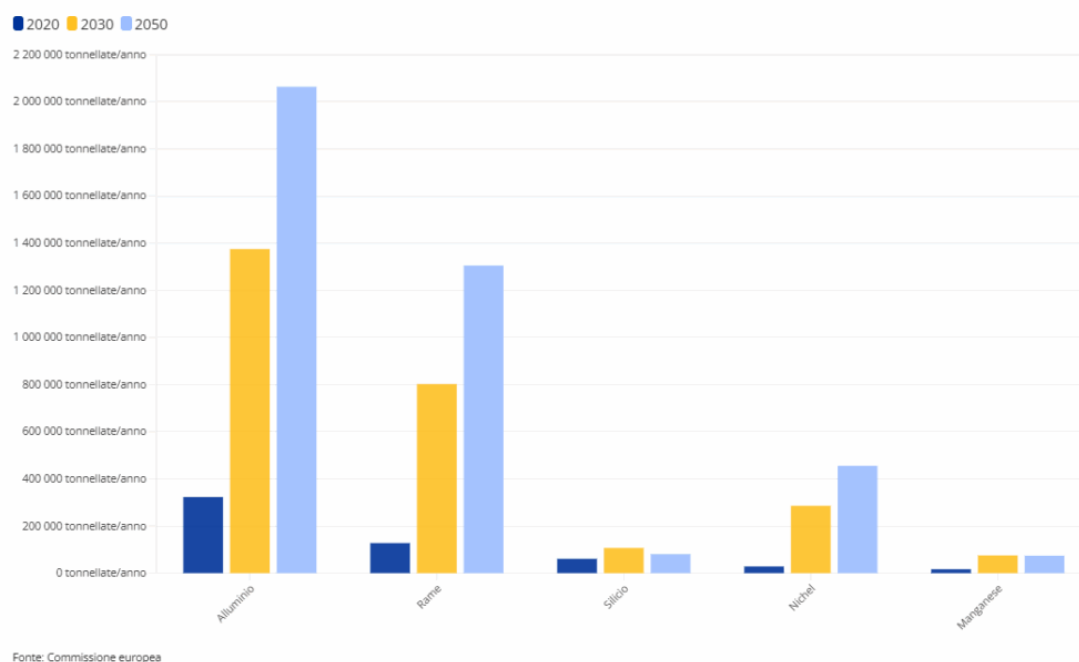


Figura 13: domanda di materie prime nell' UE

Fonte: <https://ilmondo-rivista.it/terre-rare-terre-pericolose/>

⁵⁷ ESG360, Terre rare, il nodo dell'approvvigionamento europeo nella transizione energetica

⁵⁸ IEA - International Energy Agency, The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions

L'Europa, d'altra parte, non è in grado di soddisfare la domanda. Oggi, circa il 90% dell'intera produzione di terre rare lavorate proviene dalla Cina, nota come la catena di approvvigionamento mondiale delle terre rare, che detiene un quasi-monopolio sull'intera catena del valore, dall'estrazione dei minerali alla lavorazione delle terre rare. "La Cina rappresenta la maggior parte delle forniture di terre rare lavorate, mentre il resto del mondo estrae la maggior parte delle materie prime ma non dispone di capacità di lavorazione". Tale situazione comporta rischi considerevoli. Se la Cina decidesse di interrompere le sue forniture di terre rare, circa 241 GW di nuova capacità eolica e 33,8 milioni di veicoli elettrici, ovvero quasi tutto l'obiettivo di decarbonizzazione europeo entro la fine del decennio, sarebbero a rischio. Ciò contribuisce alle preoccupazioni geopolitiche e industriali dell'Europa.

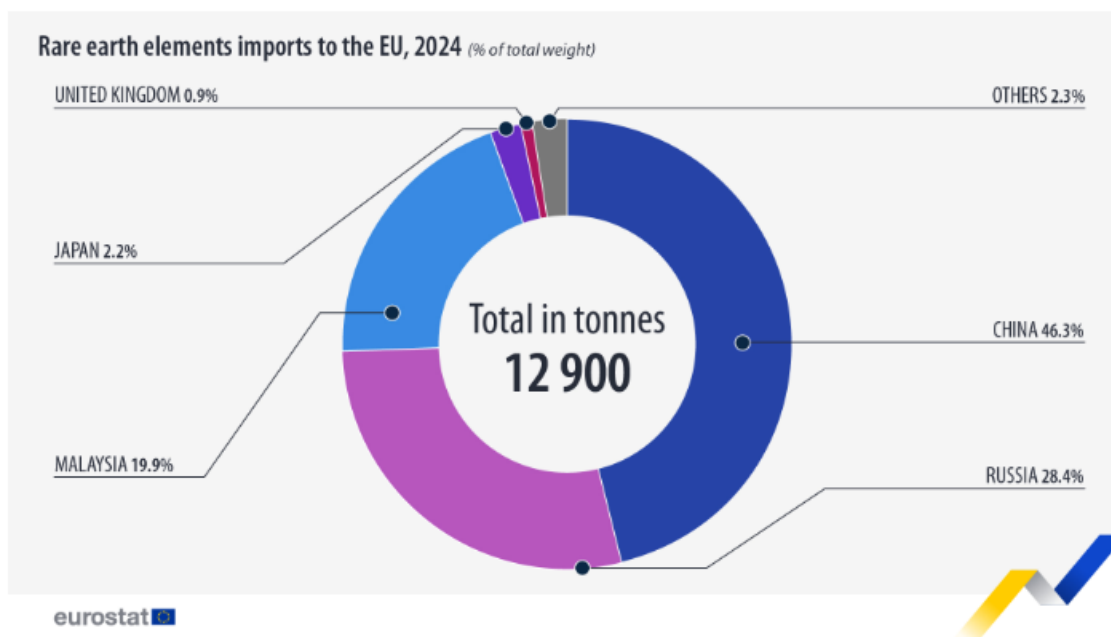


Figura 14: importazione di materie prime in EU per paese

Fonte: <https://ilmondo-rivista.it/terre-rare-terre-pericolose/>

È quindi necessario che l'Europa ricerchi rapidamente pratiche di lavorazione adeguate e investa nell'estrazione di materie prime, senza però dimenticare gli impatti morali e sociali sulla popolazione e sull'ambiente.

L'Unione Europea ha scelto di mettersi in gioco e definire degli slot temporali per far fronte a queste sfide. Entro il 2030 l'UE vorrebbe un consumo annuale di almeno il 10% di materie prime estratte nel continente, una capacità di lavorazione di almeno il 40% e oltre il 15% di terre rare provenienti da riciclo. Entro tale limite nessuno stato extra UE potrà fornire più dell'85% di uno specifico materiale strategico, riducendo in questo modo la dipendenza da altri paesi.

Un altro elemento chiave è l'approccio circolare, fondamentale per migliorare la resilienza, la quale ha un ruolo centrale nel nuovo piano d'azione europeo. Lo scopo principale è quello di riciclare il maggior numero di rifiuti elettronici, i metalli rari e i RAEE recuperando parti di materie prime adatte poi ad essere riutilizzate.

L'estrazione delle terre rare ha un enorme impatto ambientale, in particolare in Asia e Africa. Nel bacino di Congo, nell'Africa Centrale, si stima anche il 60% delle attività estrattive legate alle terre rare ed al coltan (usato nell'elettronica) siano la causa di una guerra civile⁵⁹ che flagella la regione dall'inizio del 1966. Gli sforzi dell'Europa sono quindi concentrati sull'innovazione e sulla realizzazione di una tecnologia capace di migliorare il processo di riciclaggio, con il fine di ridurre l'impatto ambientale e le situazioni sociali, allineandosi agli altri obiettivi entro il 2030.

Descrizione generale e obiettivi di INSPIREE

Il progetto LIFE22-INSPIREE, avviato ufficialmente il 1 ° ottobre 2023, rappresenta un connubio tra innovazione ed economia circolare delle terre rare in Europa. INSPIREE è una co-finanziata dal programma UE LIFE e riceverà fondi per 46 mesi fino a marzo 2027, diventando il primo impianto su scala industriale in Europa per il riciclo delle terre rare da magneti permanenti esausti. In particolare, INSPIREE si concentra sul recupero di neodimio, praseodimio e disprosio dai magneti presenti in prodotti o componenti a fine vita, come ad esempio apparecchiature elettroniche generiche come dischi rigidi, motori elettrici, generatori eolici e altre apparecchiature elettroniche esauste tramite tecnologia idro-metallurgica. Il prodotto finale è la progettazione e la messa in opera di un impianto

⁵⁹ Amnesty International, *This is what we die for - Human rights abuses in the Democratic Republic of the Congo power the global trade in cobalt*

modulare di riciclo dei magneti nella divisione Itelyum di Ceccano. La prima parte del progetto prevede il riciclo di 500 t/anno di magneti permanenti esausti, con potenziale fino a 2.000 t/anno. Con un investimento supplementare di circa 9,5 M € entro il 2030, l'impianto potrebbe espandersi fino ad una capacità di lavorazione di più di 20.000 t/anno di magneti trattati compresa la LN-B e altri REE dalle batterie al litio e LDC pannelli. Ciò recupererà diverse migliaia di tonnellate di ossidi di terre rare all'anno, poiché i magneti NdFeB sono costituiti tipicamente dal 25% al 35% in peso di ossidi NdPr e tracce di DyTb⁶⁰.

Da un punto di vista organizzativo, il progetto INSPIREE vede coinvolti un partenariato industriale e scientifico che comprende la filiera del valore. Itelyum Regeneration S.p.A., denominata italiana nel recupero e raffinazione di rare earths, sarà la coordinatrice e la capofila progettuale; con il sito di Ceccano e le competenze impiantistiche. Itelyum coopera con società chiave come GlobEco S.r.l., concessionaria di PMI che tratta rare earths e rifiuti speciali, e Erion, il maggiore consorzio italiano per la gestione dei rifiuti elettronici, insieme responsabili dell'approvvigionamento di materie prime secondarie per magneti permanenti a fine vita, oltre alla gestione operativa del dispositivo di raccolta. Da un punto di vista scientifico accademico, l'Università degli Studi dell'Aquila mette a disposizione 10 anni di esperienza nello sviluppo di processi idrometallurgici per terre rare e contribuisce in tal senso al consorzio nello specifico dell'attività nel progetto PERSEO⁶¹, dal lato scientifico operativo. Il lato organizzativo chiave è dato da EIT RawMaterials che, contribuisce al progetto ad alto tasso tecnologico in termini di solarità e network. La somma di tutti i contributi ha un ammonta a circa 8 milioni, di cui 3,24 co-finanziati dalla UE. Itelyum avrà un ruolo coordinativo e si occuperà dell'ingegneria e gestione dell'impianto, UNIVAQ dei processi scientifici e dei brevetti innovativi, GlobEco ed Erion della materia prima secondaria e del supporto regolatorio-logistico e EIT della replicabilità e visibilità a livello europeo. INSPIREE è dunque un modello replicabile di economia circolare, in linea con i traguardi del percorso APE e nel rispetto della strategia dell'UE in relazione all'autocrazia strategica sulle critical raw materials.

⁶⁰ Binnemans, K. et al., *Recycling of rare earths: a critical review*, *Journal of Cleaner Production*

⁶¹ PERSEO Project, *Hydrometallurgical recovery of rare earths from end-of-life products*, Università degli Studi dell'Aquila - Dipartimento di Ingegneria Industriale e dell'Informazione

3.2 Innovazioni tecnologiche e ruolo dei partner

Il cuore del progetto di INSPIREE è il processo tecnologico brevettato sviluppato dall'Università dell'Aquila per il recupero delle terre rare nei magneti permanenti. Il processo è composto da due fasi principali:

1. smontaggio e pretrattamento meccanico dei magneti dai rifiuti
2. estrazione idrometallurgica delle terre rare con precipitazione come ossalati e con convertibili in ossidi ultra-puri.

Nel primo passo i dispositivi end of life, ex. hard disk, motori EV, generatori, vengono de-manufatti per isolare i magneti: si devono rimuovere i magneti dai supporti, demagnetizzare per sicurezza e macinarli in polvere. Questi passaggi sono effettuati adottando sistemi automatizzati di robotica industriale sviluppati con il supporto di OSAI A.S. per l'automazione ed ottimizzati sfruttando il know-how della KU Leuven in progettazione di processi di de-manufacturing partner scientifico in progetto correlato "NEW-RE"⁶².

GlobEco gioca un ruolo chiave in questa fase. Con la sua lunga esperienza nel campo di trattamento di RAEE e rottami metallici, GlobEco estrae magneti permanenti da motori elettrici e altri prodotti e li smagnetizza preparandoli per la fase chimica. Vengono anche estratti magneti da hard disk con il supporto di aziende specializzate come Treee S.r.l. e addirittura polveri fluorescenti da lampade esauste contenenti europio e ittrio; con un ampliamento della gamma dei materiali critici. Al termine la fase di preparazione chimica rimangono magneti finemente macinati, pronti per la lisciviazione.

Il progetto INSPIREE si inserisce nella strategia europea di riduzione della dipendenza dalle importazioni di materie prime critiche. L'idea di recuperare le terre rare dai magneti permanenti esausti nasce infatti dalla volontà di affrontare una sfida strategica di portata continentale. In particolare, il CEO di GlobEco ha sottolineato come il progetto sia nato da un problema pratico riscontrato in un impianto industriale pugliese:

⁶² *EIT RawMaterials, NEW-RE - New Ways for the Recovery of Rare Earths*

Intervista al CEO di GlobEco, Loredana Lezoche: “L’idea di riciclare i magneti permanenti è nata circa quattro anni fa. Siamo stati contattati dall’amministratore dello stabilimento Marelli (ex Magneti Marelli - Fiat) di Bari per una consulenza su nuovi scarti industriali... Da lì è nata la nostra curiosità: ci siamo chiesti cosa ci fosse davvero dentro questi rotor. Analizzando il processo produttivo, abbiamo scoperto che ogni rotore conteneva tra 80 e 120 magneti... Dopo anni di sperimentazioni con partner tecnici e scientifici, abbiamo ideato un processo per il recupero. INSPIREE nasce da questa intuizione e si inserisce perfettamente nella strategia europea per ridurre la dipendenza da importazioni extra-UE. Nei prossimi anni il numero di rotor elettrici aumenterà in modo esponenziale: riuscire a recuperarne le terre rare è una sfida strategica che GlobEco ha deciso di affrontare in prima linea.”

Questa visione strategica guida le decisioni del progetto INSPIREE, focalizzando il progetto sugli obiettivi di autonomia europea e di economia circolare delle materie prime critiche.

Il secondo contributo tecnologico è il processo idrometallurgico per recuperare selettivamente le terre rare dai magneti polverizzati, brevettato dall’Università dell’Aquila. Più specificatamente, il processo scaturisce da una dissoluzione chimica innovativa seguita da precipitazione controllata. I magneti polverizzati, composti principalmente da ossidi veicolanti ferro e terre rare legati al boro, vengono fatti reagire con apposite soluzioni unite metodo reagenti. Questi ultimi precipitano selettivamente terre rare sotto forma di ossalati solidi insolubili. Ciò porta alla separazione degli elementi Nd, Pr, Dy dal resto del campione. Gli ossalati delle terre rare ottenuti reagiscono per calcinazione, ottenendo ossidi Nd_2O_3 , Pr_2O_3 , Dy_2O_3 ad alta purezza pronti da riutilizzare nel processo industriale, obbiettivo chiave del progetto. Uno dei principali vantaggi di questo approccio è l’assenza di reazioni chimiche in fase gassosa ad alta temperatura, il che conferisce un’elevata efficienza energetica e un migliore controllo della purezza del prodotto terminale. Questo processo avrà inoltre un impatto ambientale estremamente ridotto. L’impianto sarà a ciclo idrico chiuso, quindi le soluzioni potranno essere riciclate riducendo del tutto gli scarichi liquidi. Verrà ridotto al minimo l’uso di reagenti e prodotti chimici pericolosi che causerebbero grandi quantità di rifiuti pericolosi. Data la natura dell’agente precipitante, ossalati, questi rifiuti possono essere

facilmente filtrati senza l'utilizzo di solventi organici e acidi concentrati. La tecnologia è quindi una scelta valida se confrontata con le alternative tradizionali.

Dunque, all'interno del consorzio INSPIREE, ciascun partner contribuisce all'innovazione tecnologica in base alla propria area di competenza. Itelyum, in quanto leader e proprietario del sito industriale, ingegnerizza il processo su scala industriale: ossia, traduce i risultati della ricerca in un impianto funzionante, realizzandolo e adattandolo nelle specifiche. Faciliterà inoltre l'integrazione delle due fasi e le prove tecniche e normative per l'autorizzazione dell'impianto, utilizzando il proprio know-how nel trattamento di rifiuti liquidi e solidi per assicurare elevati standard ambientali dell'impianto. UNIVAQ, in quanto socio scientifico, ha sviluppato il processo chimico. I ricercatori supportano l'ingegnerizzazione del processo tramite l'ottimizzazione dei parametri, la registrazione delle performance ed analisi tecnico-economiche e ambientali. GlobEco, in quanto partner dell'industria, è responsabile del front-end del processo, Erion fornisce la propria piattaforma nazionale di raccolta RAEE per associare un flusso costante di magneti esausti online con il progetto, facilitando la definizione di standard di sistema per la raccolta e il riciclaggio di magneti su scala nazionale. Infine, EIT RawMaterials contribuisce come facilitatore all'innovazione. In definitiva, INSPIREE integra competenze complementari, funge da caso esemplare di PPP⁶³ di occhio sinergico e presenta innovazioni economiche imprescindibili.

3.3 Progetto di impatto economico ed ambientale

L'accordo prevede anche una parte economica relativa ad un significativo fatturato dalla vendita degli ossidi di terre recuperati. Questi potranno essere posti in vendita a un prezzo competitivo di circa il 30% inferiore rispetto ai prezzi correnti delle terre rare, mantenendo comunque un ottimo margine di profitto. Il fatturato del progetto già prevede il relativo utilizzo e i proventi per i servizi di trattamento rifiuti in modo da stimare esattamente un quadrante per l'investimento di 4 anni e un EBITDA⁶⁴ di quasi 16 milioni e 600.000 euro al quinto anno. Utilizzando integralmente la capacità dell'impianto, il

⁶³ Il Partenariato Pubblico-Privato (PPP) è una modalità di collaborazione tra settore pubblico e attori privati per la realizzazione e gestione di progetti di interesse pubblico.

⁶⁴ EBITDA (Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization) è un indicatore della redditività operativa

progetto si stima avrà un'EBITDA cumulato di quasi 50 milioni entro il 2031 e un utile netto di circa 11 milioni. Sono numeri positivi in un'ottica di reddito, senza considerare il crescente prezzo di mercato delle terre rare, di centinaia di euro al kg per ossidi Nd/Pr puri e la crescita prevista della domanda. La quota di co-finanziamento dell'UE copre una parte dell'esposizione finanziaria iniziale, escludendo eventuali proposte non ammesse, e integra l'asse delle entrate previste. Tramite un incremento graduale degli investimenti dei privati sarà possibile migliorare la produttività.

La sostenibilità economica del progetto INSPIREE dipende sia dall'investimento iniziale necessario sia dal supporto pubblico disponibile. Come illustrato nel piano economico, l'EBITDA atteso di oltre 16 milioni al quinto anno e il contributo UE coprono una parte rilevante dei costi iniziali. Dal punto di vista finanziario, il CFO di GlobEco evidenzia che la fase sperimentale, con un investimento di circa 600.000 €, deve dimostrare la redditività del riciclo rispetto all'approvvigionamento tradizionale:

Intervista al CFO di GlobEco, Angelo Messina: “Dal punto di vista finanziario, la sfida principale di INSPIREE riguarda l'investimento necessario per la smagnetizzazione e l'estrazione dei magneti: parliamo di circa 600.000 euro. Attualmente siamo in una fase sperimentale. Stiamo valutando la redditività del riciclo rispetto all'approvvigionamento tradizionale. Se i risultati saranno positivi, passeremo all'industrializzazione. Riciclare terre rare non è solo una questione ambientale, ma potenzialmente anche economica, considerando i rischi legati all'instabilità dei mercati e all'aumento dei costi delle materie prime. Il supporto pubblico è fondamentale: 300.000 euro dell'investimento sono co-finanziati dall'UE tramite il programma LIFE. Questo tipo di sostegno favorisce la collaborazione tra partner industriali e scientifici, aumentando le probabilità di successo. Per il futuro, immaginiamo uno sviluppo importante sia sul fronte tecnologico che su quello della raccolta: se INSPIREE dimostrerà di funzionare, potremmo espandere il modello a livello europeo.”

Il CFO conclude sottolineando come il cofinanziamento UE e l'incremento graduale degli investimenti privati possano rendere il progetto sostenibile a lungo termine.

INSPIREE ha impatti diretti neutri e impatti indiretti molto positivi per quanto riguarda PDE e società. Parlando dei primi, il processo idrometallurgico proposto ha un'intensità

ecologica di PDE inferiore rispetto alla produzione ottenuta con mining tradizionale. L'impianto di Ceccano lavorerà con emissioni controllate e senza cessioni significative dei rifiuti liquidi. Tutta l'acqua utilizzata in processi di lavoro sarà riciclata. Tutti i rifiuti solidi, come frazioni ferrose, condensati provenienti dal processo di fosfatazione o prodotto di dissoluzione di magneti, saranno inviati per recupero metallurgico e evitando così la produzione di scarti pericolosi per l'ambiente. Ciò ridurrà significativamente gli impatti tipici della gestione dei rifiuti elettronici, come la contaminazione del suolo o dell'acqua sottostante. L'aspetto più importante è che il recupero delle terre rare dalle fonti secondarie porta ad un enorme vantaggio a livello ambientale. Poiché ogni chilogrammo di ossidi di Nd-Pr-Dy riciclati è un chilo meno estratto da miniere, spesso luoghi sensibili.

Infatti, PDE erosivi ambientali, poiché l'estrazione degli OR ha un impatto distruttivo⁶⁵. Gli studi che sono stati condotti nell'ambito del progetto evidenziano quindi i seguenti aspetti: molta meno CO₂ emessa o consumata rispetto alla produzione ottenuta da processi estrattivi e soprattutto una produzione molto più contenuta di rifiuti tossici o radioattivi. Consente anche di preservare risorse quando si valuta il recupero di un flusso che, altrimenti, genererebbe attività inquinanti o indesiderate.

Un'analisi estensiva dell'impatto socioeconomico potrebbe suggerire che INSPIREE possa costituire l'apripista per un'intera filiera industriale in Italia, con benefici che vanno ben oltre il singolo impianto. A livello locale, la realizzazione e la gestione dell'impianto danno vita a occupazione qualificata, chimici, esperti di processo, tecnici di impianto e indotto sul territorio laziale. A livello del sistema Paese il progetto offre un'alternativa, rispetto alla dispersione delle terre rare in discarica, partecipando contestualmente a mettere un freno alla dipendenza di materie prime critiche, contribuendo infine a potenziare la sicurezza economica del Paese. Il recupero efficiente dei magneti esausti richiede una catena logistica adeguata e comporta importanti benefici ambientali.

Intervista al Responsabile Operativo di Globeco, Leonardo Spaccavento: "I magneti esausti vengono raccolti singolarmente, perché molto magnetici, e trasportati in contenitori speciali. Una volta arrivati in sede, vengono trattati con inibitori chimici,

⁶⁵ European Commission, "Study on the EU's list of Critical Raw Materials - Final Report

smagnetizzati tramite induzione termica, e infine separati dai rotori. I magneti estratti vengono inviati a Itelyum per la fase di idrometallurgia, da cui si ottengono ossidi di neodimio, cobalto e terre rare. Attualmente trattiamo circa 1000 tonnellate/anno in un'area di 1000 mq dedicata esclusivamente alla lavorazione dei magneti permanenti. Il reperimento dei magneti è ancora difficile: molte tecnologie (auto elettriche, pale eoliche, risonanze magnetiche) non sono ancora giunte a fine vita, ma nei prossimi anni i volumi cresceranno. I benefici ambientali sono evidenti: rispetto ai processi estrattivi tradizionali, stimiamo una riduzione del 35% delle emissioni e dei rifiuti generati. Questi dati vengono elaborati e comunicati con l'aiuto della startup Osense, che ha sviluppato un sistema AI per monitorare e quantificare l'impatto ambientale di ogni processo. In futuro, il modello INSPIREE potrà essere applicato anche ad altri flussi critici, come il silicio dei pannelli fotovoltaici.”

L'intervista al Responsabile Operativo sottolinea come, in linea con gli obiettivi di economia circolare, INSPIREE migliori l'efficienza ambientale del trattamento delle terre rare secondarie.

Il management di Itelyum è convinto che l'Italia, già leader del settore per il riciclo di alcuni rifiuti, tra cui gli oli minerali usati, possa confermare la propria leadership tecnologica anche nel campo del riciclo di terre rare, guadagnando un vantaggio competitivo in un settore in crescita. Gli stakeholder esterni consultati, che includono alcune aziende manifatturiere, potenziali acquirenti delle terre rare secondarie, ma anche alcune istituzioni ed osservatori di settore, hanno ritenuto il progetto enfatizzando la perfetta coerenza con strategia dell'Unione nell'ottica di autonomia strategica e transizione ecologica.

D'altra parte, infine, è essenziale prestare attenzione alla replica su scala europea dell'impatto potenziale che iniziative come INSPIREE potrebbero avere. Con analogie davvero ragionate, possiamo prevedere che ogni fabbrica europea di magneti con smantellamento su larga scala possa essere costruita basandosi su un impianto simil-INSPIREE⁶⁶. Per esempio, 10 impianti con capacità intorno alle 2.000 t/anno, cioè 20.000 t/anno insieme, che è quanto potrebbe fare l'impianto di Ceccano dopo il 2030,

⁶⁶ EIT RawMaterials, “Recycling of Rare Earth Magnets in Europe: Market and Technology Report

costituirebbero una rete abbastanza grande per gestire un numero significativo di magneti permanenti nei rifiuti europei. 20.000 tonnellate di magneti possano contenere fino a 6.000 tonnellate di ossidi di terre rare; su scala UE, coprirebbe un terzo della produzione annuale di neodimio e praseodimio, circa 10-15%, con la restante parte destinata al riciclo entro il 2030. Se le prossime tecnologie renderanno il riciclo redditizio, entro il 2040 l'Europa sarà in grado di autoprodurre circa un terzo delle materie critiche necessarie, un altro terzo sarà recupero con ispezioni specialistiche degli impianti e l'ultima parte sarà importata. Le nostre previsioni prospettiche sono basate sulla combinazione dei dati ufficiali provenienti dal progetto e le interviste con esperti, oltre a osservazioni sul campo degli impianti. Ad esempio, i coefficienti di resa del processo e i costi operativi unitari a Ceccano sono stati utilizzati per proiettare i possibili output e i relativi costi per difetto in impianti multipli, i quali saranno innalzati su scale e contesti nazionali differenti. Nonostante si tratti di predizioni, i dati enfatizzano quanto la diffusione di soluzioni come INSPIREE su scala europea avrebbe un impatto estremamente rilevante in termini di riduzione di costi di importazione, generando meno rifiuti e minori esternalità negative.

Intervista al Responsabile di Progetto, Luca Tangari.: “Nel progetto INSPIREE abbiamo sviluppato un processo innovativo di riciclo dei magneti permanenti che si articola in due fasi: una prima fase meccanica per la smagnetizzazione, e una seconda chimica basata su trattamenti ad alta temperatura e reazioni controllate. Abbiamo progettato anche strumenti specifici per estrarre i magneti dai rotori, e stiamo brevettando il sistema. Le principali difficoltà sono state capire come posizionare i magneti per evitare che il magnetismo si accumulasse, e determinare la temperatura ottimale per la smagnetizzazione. Lavoriamo a stretto contatto con l'Università dell'Aquila, che ha curato la parte di analisi chimica e studio dei materiali, e con Itelyum, che si occupa della fase impiantistica. Crediamo che il modello sviluppato sia altamente replicabile, sia in Europa che altrove. Ovunque ci siano fonti di magneti a fine vita, il processo può essere adattato, offrendo una valida alternativa all'estrazione mineraria tradizionale.”

Questa intervista evidenzia come la tecnologia di INSPIREE sia stata progettata non solo per essere efficiente, ma anche facilmente trasferibile ad altri contesti europei o globali.

3.4 Potenziali clienti per i magneti al neodimio da riciclo

Gli attori del mercato in Italia e Europa acquisteranno grandi quantità di terre rare riciclate come neodimio, praseodimio e disprosio per i seguenti cinque anni per impiegarle nella realizzazione di magneti permanenti di nuova produzione. Di seguito vengono descritte le informazioni chiave sugli attori ed i settori di impiego.

EU rare earth magnet demand in the emerging wind energy and automotive markets

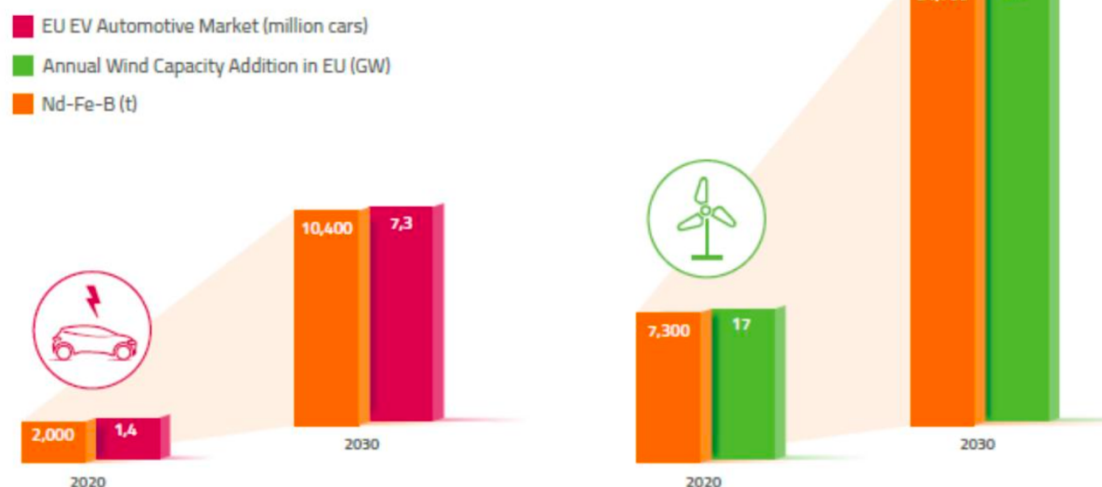


Figura 15: domanda di magneti con terre rare nel settore automobilistico ed eolico

Fonte: <https://astrolabio.amicidellaterra.it/node/3228>

- Mobilità elettrica (automotive e trasporto): Come è emerso, il mercato primario per le terre rare recuperate sarà quello della mobilità elettrica⁶⁷. I magneti NdFeB ad alte prestazioni sono materiali essenziali nei motori elettrici di tutti i veicoli; dal bus fino allo scooter, in particolare per trazione e generazione. Si prevede che il numero di veicoli elettrici a zero emissioni in circolazione in Europa crescerà con un ritmo molto veloce e l'UE avrà più di 30 milioni di veicoli a zero emissioni in circolazione entro il 2030. L'Italia si sta muovendo a un ritmo crescente, fungendo da catalizzatore del cambiamento e allineandosi con il blocco della commercializzazione di nuovi veicoli con trasmissioni motrici endotermiche

⁶⁷ IEA (International Energy Agency), "Global EV Outlook 2023."

previsto per il 2035. Tutto lascia supporre che assisteremo a un'esplosione della domanda complessiva in ogni scenario possibile nei prossimi cinque anni. Ogni autoveicolo in movimento o veicolo simile in media contiene da 1 a 2 kg di magneti NdFeB nei motori e in vari sensori; quindi, i potenziali ordini sono nell'ordine dei milioni di chilogrammi di Nd, Pr e Dy in tutti i settori dell'automotive. I produttori di automobili europei come Volkswagen, Stellantis, Renault, BMW, Daimler, sono in fase di contrattazione per la fornitura di terre rare. Un gruppo come Stellantis (l'ex Fiat in Italia) ha già proclamato la riconversione di alcune linee produttive alla fabbricazione di veicoli elettrici e potrebbero trarre vantaggio dalle materie prime rigenerate a chilometro zero se le prime ricerche avranno successo. I produttori di scooter elettrici come Energica e Ducati, bici elettriche e monopattini avranno comunque necessità, ma in volumi minori. Avere un forte vantaggio competitivo in questo settore potrebbe essere un'ulteriore fonte di reddito per il nostro Paese.

- Eolico e rinnovabili: I magneti permanenti trovano una grande applicazione anche nell'energia eolica. I moderni aerogeneratori, qui gli offshore ad elevato rapporto di capacità, fanno uso di generatori a magneti permanenti al posto dei tradizionali sistemi a riduttore, che contengono nelle loro bobine un'elevata quantità di Nd, Pr e Dy nel motore dell'albero connesso all'aerogeneratore. Per un aerogeneratore da 3-5 MW con generatore direct-drive, si parla di diverse centinaia di chili di magneti NdFeB. L'Europa ha obiettivi di nuova capacità eolica ambiziosi: progetti di centinaia di GW in più entro il 2030; soltanto un blackout potrebbe essere abbastanza grave da impedire i 241 GW di progetti. Le compagnie più rilevanti a tal proposito sono i fabbricanti degli aerogeneratori come Siemens Gamesa, Vestas, General Electric e altri, che a loro volta forniscono gli sviluppatori dei parchi eolici ad esempio Enel Green Power, ERG in Italia. Hanno un grande interesse su alternative sorgenti di terre rare: ad esempio, Vestas ha attivato un'attività pilota di riciclaggio dei magneti dai vecchi impianti⁶⁸, e in

⁶⁸ Vestas, "Sustainability Report 2022."

generale il settore è molto favorevole all'uso di materiali riciclati nel ciclo di vita dei nuovi aerogeneratori. È previsto un enorme aumento della domanda di magneti permanenti per i prossimi cinque anni⁶⁹ con le eoliche offshore, sia nel Mare del Nord, ma soprattutto nel Mediterraneo. Le terre rare recuperate da impianti come INSPIREE dovranno essere immediatamente considerate nella produzione di magneti per i generatori eolici poiché garantirebbero ai produttori di impianti una fornitura resiliente. Vi sono altre rinnovabili in crescita che usano magneti come i generatori a magneti per le mareomotrici o i nuovi sistemi di accumulo, ma l'eolico sarà di gran lunga il maggiore consumatore di NdFeB dell'industria energetica.

- Elettronica di consumo e industria Hi-tech: l'elettronica di consumo è un grande ma “frammentato” utilizzatore di RE - ci sono migliaia di dispositivi. Smartphone, laptop, tablet, HHI-Apps, elettrodomestici e tutti hanno un elenco di magneti permanenti (negli altoparlanti, per i micromotori negli attuatori, nei dischi rigidi tradizionali) e altri materiali a base di RE schermi al fosforo per l'Europio e l'Ittrio, sensori, laser a base di Itterbio, ecc. In generale, se si considera l'enorme volume di consumo della CE, più di 1,5 miliardi di smartphone venduti ogni anno nel mondo, decine di milioni di televisori e computer portatili, ecc. la domanda di RE da parte di questo settore è significativa. In Europa la maggior parte dei grandi produttori è parzialmente vincolata, perché maggioranza dei dispositivi provengono dall'Asia. Nonostante ciò, ci sono catene speciali di qualità specializzate anche in Europa: ad esempio, Bosch per i componenti di auto e elettrodomestici e i piccoli motori, Philips per l'elettronica medica e di consumo o Siemens per le attrezzature industriali, fino ai produttori di elettrodomestici come Whirlpool, Electrolux, con impianti in Italia. Queste aziende potrebbero utilizzare l'elettricità nei magneti prodotti per i loro prodotti, soprattutto in applicazioni in cui non sono richieste grandi quantità. E, naturalmente, i produttori

⁶⁹ Adamas Intelligence, “Rare Earth Magnet Market Outlook to 2035,

di infrastrutture ICT e di telecomunicazioni, che si tratti di stazioni radio 5G, di data center con sistemi di raffreddamento magnetici o di IOT-d.

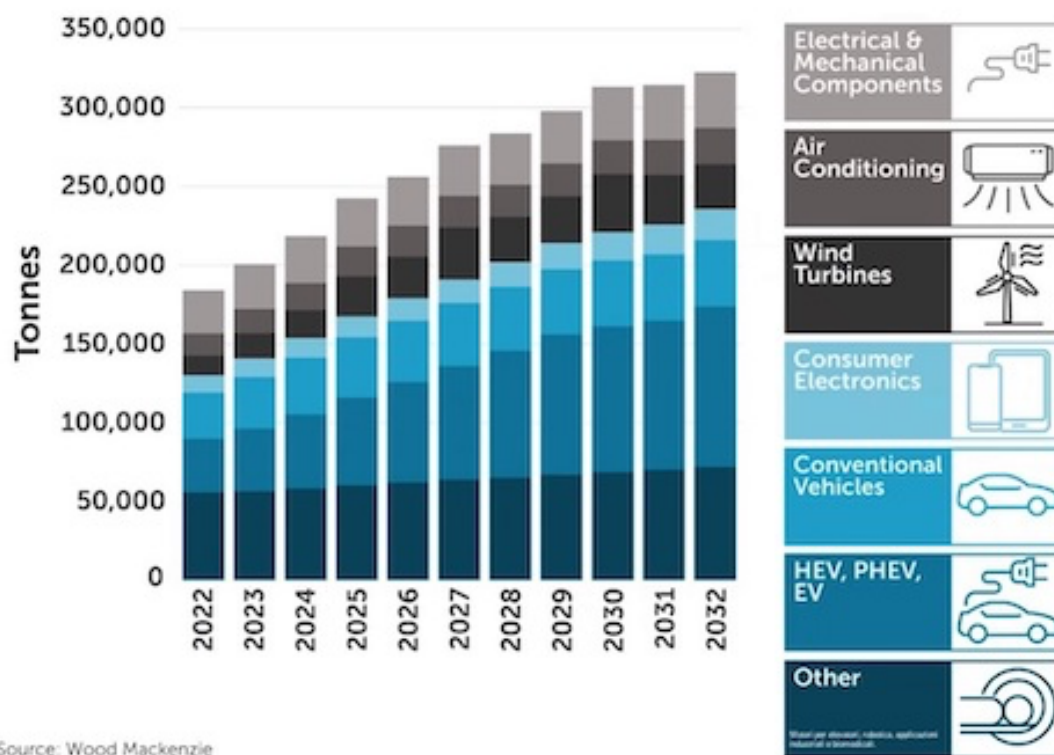


Figura 16: proiezione della domanda globale di terre rare per settore applicativo (2022-2032)

Fonte: Wood Mackenzie

Le terre rare sono state identificate come risorse critiche anche per la difesa nazionale⁷⁰ e per lo spazio, anche se in minori quantità rispetto all'automotive ed all'Elettronica di consumo. La qualità strategica della domanda è altissima: magneti al neodimio e samario-cobalto sono parte integrante di attuatori nelle pinne di guida di missili, sistemi di puntamento e di comunicazione, motori elettrici destinati a veicoli e navi militari. Un solo F-35 ne richiede centinaia di chilogrammi per i suoi sistemi elettronici e motori. In Europa, aziende come BAE Systems, Thales, Airbus Defence, Leonardo e altri costruttori producono radar, sonar, satelliti e interventi aerospaziali. La sicurezza dell'approvvigionamento è di vitale importanza: in caso di "guerra fra Mezzogiorno" sia essa aperta o solo in termini protettivi, come il recente embargo di Pechino ai contingenti

⁷⁰ European Commission, "Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU - A Foresight Study,"

di terre rare verso gli Stati Uniti. La Cina potrebbe decidere di non esportare verso l'occidente le sue terre rare, creando problemi per l'intero settore. Il punto di vista delle authority di settore è dunque a favore di fonti "di casa" di terre rare, com'è ben evidenziato dalle recenti vestigia dell'Amministrazione del Presidente Biden e dalla crescente attenzione della Commissione Europea e dell'Italia per questo settore. In altre parole, le terre rare riciclate dai produttori europei dovranno raggiungere standard di qualità e volumi tali da poter essere considerate una risorsa di riferimento per gli acquisti strategici, come quelli del Ministero della Difesa italiano e degli equivalenti governi nazionali europei. Inoltre, anche in aerospazio, oltre che per la difesa, l'esternalizzazione crea filiere globali: i satelliti osservano il mondo grazie a stabilizzatori guidati da magneti coi REE, ma anche i motori di piccoli lanciatori ed i sistemi per il decollo e l'atterraggio degli aerei di linea sono pieni di terre rare. Gli investimenti di AVIO⁷¹ in prodotti a forte potenziale commerciale, come i lanciatori Vega-C e il programma Space Rider, potrebbero portare profitti significativi, anche grazie a missioni simulate o effettive da basi come Vandenberg AFB, rafforzando la presenza europea nel settore spaziale. Thales Alenia Space e Airbus potrebbero includere nei loro prodotti componenti che incorporano terre rare riciclate, qualora ciò sia consentito dalle policy europee di procurement verde che supportano il riacquisto (buyback) di terre rare secondarie da riciclatori certificati. La domanda di materiali strategici per la difesa, come acciai speciali, materiali riciclati e terre rare, è in crescita, spinta anche dalla produzione di carri armati, veicoli corazzati e altri sistemi bellici.

Uffici della difesa e produttori di armamenti stanno aumentando gli ordini. La dipendenza da materiali critici (terre rare, leghe speciali) è aumentata notevolmente. Progetti come quello spiegato saranno quindi di fondamentale importanza per fornire le quantità richieste di materiali anche a questo settore in forte espansione. Infatti, le attività legate alla difesa potrebbero sostenere la produzione industriale ai massimi livelli degli ultimi anni.

In conclusione, l'analisi dei potenziali clienti di INSPIREE mostra che un'ampia varietà di settori a partire dai veicoli elettrici all'energia, beni di consumo elettronici fino alla

⁷¹ AVIO S.p.A., "Annual Report 2023." *Descrive i progetti Vega-C e Space Rider come strategie di punta per l'espansione nel mercato spaziale europeo.*

difesa trarrebbero vantaggio dalle terre rare riciclate. Si ridurrebbero i rischi di approvvigionamento aumentando i target di sostenibilità ambientale. Mentre la previsione della domanda d'arco per magneti permanente ad alte prestazioni mostra la prospettiva di una crescita annua significativa dell'ordine della quota di mercato del 7-12%.⁷²

Ciò che spesso non viene evidenziato è la crescente obsolescenza dei magneti permanenti ad alte prestazioni in Europa occidentale. Impianti come INSPIREE, se replicati su larga scala, potrebbero soddisfare fino al 50% della domanda attuale, contribuendo in modo significativo alla sicurezza dell'approvvigionamento di componenti strategici.

In conclusione, un approccio circolare potrebbe veramente portare degli enormi benefici al mercato europeo, diminuendo notevolmente le dipendenze dalle forniture esterne e rendendo più sostenibile il continente. Un altro aspetto da non sottovalutare è quello sociale ed ambientale. Riducendo la necessità di nuove forniture minerali sarà possibile limitare l'impatto ecologico di queste operazioni migliorando notevolmente la vita delle persone circostanti.

⁷² Il CAGR previsto per i magneti NdFeB ad alte prestazioni è compreso tra il 7% e il 12%.

CAPITOLO 4: SCENARI FUTURI DI MERCATO DELLE TERRE RARE

4.1 L'utilizzo attuale delle terre rare riciclate

In Italia e in Europa si è sviluppata una crescente attenzione verso il tema del riciclo delle terre rare. Tale incremento è stato favorito da diversi fattori, come la necessità di ridurre una dipendenza ormai eccessiva dall'importazione delle materie prime e l'impatto ambientale dello smaltimento dei rifiuti tecnologici. Per molto tempo il tasso di recupero delle terre rare da prodotti a fine vita è stato praticamente trascurabile, rimanendo molto lontano da livelli significativi. La spiegazione è soprattutto di natura economica: le terre rare, infatti, sono spesso presenti in quantità talmente piccole negli scarti, che si mescolano ad altri materiali. Inoltre, questi materiali sono estremamente costosi da gestire durante il processo di riciclaggio. Questo valeva per la maggior parte delle terre rare contenute in magneti, come i magneti a scomparsa e molti altri dispositivi, che accumulavano così scarti pesanti e critici per l'ambiente.

Ora però la situazione sta cambiando. Grazie a nuovi processi di smaltimento selettivo, tramite tecnologie innovative, è possibile recuperare più materiale rendendo l'intero processo più profittevole. In Italia, questo processo è in forte crescita grazie ai progetti finanziati dall'Unione Europea. Nel 2023, la Commissione ha avviato 47 iniziative con l'obiettivo di rafforzare l'intera filiera delle materie prime critiche in Europa, puntando in modo significativo sul recupero. Di questi progetti, ben quattro sono attualmente in corso in Italia.

In Veneto, la startup padovana Circular Materials⁷³ ha sviluppato una tecnologia per estrarre metalli preziosi e critici, come Ni e Cu, dalle acque reflue provenienti da raffinerie, processi galvanici e industriali. Il laboratorio di Cadoneghe, sostenuto dai fondi EIT RawMaterials dell'Unione Europea, propone di “azzerare lo spreco di materiale prezioso” recuperando 3000ton/anno di metalli: Ni, Cu, Zn, Sn, Cr dai reflui industriali. Ciò ridurrebbe di due terzi l'inquinamento delle acque, permettendo inoltre di rielaborare questi materiali per il loro recupero come metalli preziosi. Quello appena citato non è l'unico esempio di come il recupero dei materiali possa integrarsi con l'estrazione mineraria e, in molti casi, sostituirla. Vicino a Rosignano (LI) lo stabilimento Solvay ha creato un impianto dedicato⁷⁴ a recuperare i metalli del gruppo del platino, in particolare il palladio, dai processi chimici esausti. L'elemento è utilizzato nella catalisi della produzione di acqua ossigenata e nel trattamento post-processo organico; viene poi reintegrato al 100% durante le fasi di raffinazione, riducendo costi, tempi e perdite nel ciclo produttivo. L'investimento in metalli come platino e palladio che, pur non essendo terre rare in senso stretto sono comunque metalli nobili, è coerente con il rilancio della strategia industriale legata alla metallurgia avanzata.

Il gruppo Glencore sta realizzando in Sardegna, presso Portovesme, uno dei più grandi hub europei per il riciclo di batterie di litio e scarti di produzione delle stesse. Sebbene non siano direttamente terre rare, questo quarto progetto italiano, appena approvato dalla Commissione, completa comunque il panorama delle iniziative di economia circolare nel settore delle materie critiche. A Portovesme, l'impianto avrà invece capacità per trattare materiali equivalenti a 600 mila veicoli elettrici all'anno, ricavando litio, cobalto e nichel dalle vecchie batterie. Gli esperti affermano che l'incremento della capacità di riciclo delle batterie riduce la pressione su altre materie prime critiche e crea sinergie industriali basate su un'economia circolare.

Sono quattro gli esempi italiani di innovazione. INSPIREE e Circular Materials si concentrano sul NdFeB e, in misura minore, su altri materiali delle terre rare; i due progetti restanti riguardano altri metalli critici nelle aree tematiche ad esse dedicate. In questo settore l'Italia sta diventando un laboratorio dell'innovazione nel tema del riciclo

⁷³ *Circular Materials, Scheda progetto EIT RawMaterials*

⁷⁴ *Solvay Italia, Bilancio di sostenibilità 2022*

avanzato ed un esempio da seguire. È un tema che l'Unione Europea ha deciso di mettere ulteriormente al centro nel proprio CRMA. Infatti, mentre la Commissione punta a utilizzare le materie prime critiche (CRMs) e le terre rare (TRs) provenienti dai progetti sopra menzionati per rendere l'Unione autonoma, sia tramite produzione interna sia attraverso partnership con soggetti europei, l'Italia si colloca principalmente in quest'ultima categoria. È infatti riconosciuta come il primo player a livello continentale per capacità tecnologica e risultati ottenuti nel recupero di CRMs e TRs.

Tale somiglianza sarebbe un problema molto rilevante se l'idea europea fosse quella di riprogettare le esportazioni comunitarie per evitare l'obbligo di dover interrare i propri impianti. Tuttavia, dalle ricerche e dalle interviste sul campo, sembra che l'Unione Europea svolga soprattutto un ruolo di partner logistico e tecnologico. Questo vale ancor di più per l'Italia, che non si occuperà di questa parte dell'economia, ma si concentrerà sul riciclo.

Un'altra osservazione chiave dello stato dell'arte è che, sebbene i quantitativi assoluti riciclati siano ora significativi, sono ancora piccoli rispetto alla domanda complessiva. Le ~500 ton/anno di ossalati di REE che l'impianto INSPIREE potrà fornire a regime possono coprire solo una frazione ridotta del fabbisogno totale europeo di Nd-Pr per magneti, stimato in diverse migliaia di tonnellate annue. Tuttavia, questi numeri dovrebbero essere visti come un inizio promettente: questi quattro progetti creano, per la prima volta, una filiera di recupero e dimostrano che il riciclo su scala industriale è tecnicamente ed economicamente fattibile. Il processo innovativo sviluppato nell'ambito di INSPIREE fornisce anche benefici ambientali tangibili. Produce quasi zero rifiuti, oltre ai REE, il sistema recupera ossalati di ferro e concentrati di nichel, che possono essere riutilizzati in un circolo chiuso e non utilizza reagenti aggressivi come l'acido nitrico nell'estrazione chimica, al contrario della tecnologia convenzionale. È possibile notare come in Italia siano nate filiere di riciclo ad alto valore aggiunto, supportate da un ecosistema di ricerca e industria in forte sinergia, spesso con interventi dell'Unione Europea. Anche in altri Paesi europei sono attive iniziative simili. In Francia, ad esempio, lo Stato supporta il recupero di magneti e fosfori contenenti terre rare e il recupero di usato attraverso il riciclo di apparecchi rimossi, quindi installati dopo il 1980. In Germania, l'accento è sull'uso di tecnologie di separazione per “urban mining”, il

recupero di terre rare dai rifiuti elettronici. Tuttavia, il livello della produzione proveniente da riciclo è attualmente stimato come inferiore al 5% in Europa, segno che c'è ancora molta strada sia ancora da fare anche se la percentuale è destinata a salire drasticamente nei prossimi dieci anni.

4.2. L'obiettivo a lungo termine della UE

La Cina monopolizza la filiera mondiale delle terre rare, coprendo circa il 93% della produzione globale e fornendo il 100% degli elementi delle terre rare pesanti ai paesi europei.⁷⁵

L'eccessiva concentrazione di produzione e approvvigionamento comporta un elevato rischio sia economico che geopolitico. Qualsiasi restrizione o conflitto con il partner commerciale più grande dell'UE provocherebbe carenze mondiali di materiali fondamentali per l'industria europea facendo oscillare notevolmente i prezzi. L'esperienza passata conferma queste preoccupazioni. Nel 2011, a causa delle restrizioni alle esportazioni dalla Cina, i prezzi di questo gruppo di ossidi sono aumentati fino al 3000% in un solo mese per alcuni elementi. Eventi simili si sono verificati negli ultimi due anni, dal 2022 al 2024, ad esempio con il terbio, utilizzato per produrre magneti ad alte prestazioni e le previsioni indicano una maggiore volatilità nei prossimi decenni se l'UE non ridurrà la sua dipendenza.

Dei prezzi volatili e soggetti a forti incrementi potrebbero rallentare la transizione economica e verde, poiché sono materiali fondamentali per turbine eoliche e grosse batterie d'accumulo. Per far fronte a queste sfide, l'Unione Europea ha sviluppato il Critical Raw Materials Act, CRMA, un pacchetto di misure presentato dalla Commissione nel marzo 2020 e approvato nel 2024. Questo programma include azioni per aumentare e diversificare le fonti di approvvigionamento di materie prime critiche, aumentare la circolarità e sostenere il ruolo delle tecnologie e dei sostituti, ridurre la dipendenza da Paesi terzi e aumentare la resilienza delle filiere industriali dell'UE. Due principi che richiamano il concetto di autonomia strategica sotteso da Green Deal Industrial Plan.

⁷⁵ European Commission, "Study on the Critical Raw Materials and the Circular Economy,"

Da un punto di vista numerico, CRMA definisce targets diversi da quelli per il 2030 spesso citati come key reference per l'attuazione della strategia UE. In particolare, secondo la bozza iniziale e le integrazioni adottate dal Consiglio Ue, almeno il 10% del consumo annuale di tutta la materia prima strategica dovrebbe provenire da un'estrazione interna all'UE; almeno il 40% dovrebbe essere coperto da capacità di raffinazione e lavorazione domestiche e almeno il 25% della domanda dovrebbe essere rifornita con materiale riciclato interno. Parallelamente, nessun singolo paese può dipendere da un esportatore extra-UE per più del 65% delle materie ad ogni stadio della filiera. In altre parole, 10% estrazione, 40% lavorazione, 25% produzione, queste sono le attese del CRMA. Nel 2022 l'Europa non ha estratto terre rare e ne ha riciclato meno del 5%. Più del 90% delle terre rare che l'Ue utilizza sono infatti estratte in Cina. Come specificato da un accordo bilaterale con l'UE, la Cina non deve esportare a nessuno paese più del 65% del totale di minerali. Il CRMA manda quindi un segnale importante agli investitori: sapendo che nel giro di otto anni la domanda probabilmente si moltiplicherà per quattro, soprattutto nei due anni precedenti la scadenza del 2029 e che la spesa pubblica coprirà solo un quarto del fabbisogno, è necessario agire con decisione in Europa.

D'altra parte, va sottolineato che l'urgenza di tali misure deriva anche dalle proiezioni di crescita relativa ai consumi futuri. Ad esempio, la commissione europea prevede, al 2030, un consumo che sarà 5-6 volte quello attuale, ossia tra 5 e 6 milioni di tonnellate totali di terre rare. Questa proiezione deriva dall'allargamento della domanda per veicoli elettrici, generatori eolici, sistemi di difesa e altre applicazioni high-tech di magneti e componenti contenenti REE e si estende ad altre materie prime critiche: solo il fabbisogno di litio potrebbe crescere del 1200% entro il 2030, e quello del cobalto di circa il 500%. Questi numeri delineano uno scenario di crisi in cui, senza soluzioni idonee, l'Europa si troverebbe a confrontarsi con un enorme divario tra domanda interna e capacità di offerta, un gap che attualmente viene colmato sfruttando spedizioni dannose di materie prime tramite itinerari ecologicamente insostenibili, come il tragitto Tibet - Rotterdam. CRMA, così come le iniziative ad esso collegate, come, ad esempio, l'European Raw Materials Alliance ha l'intenzione di proporre un ventaglio di soluzioni a questa problematica: nuove miniere sostenibili in Europa, accordi con partner affidabili per importare in modo differenziato e, soprattutto, uno sforzo di gran lunga maggiore in termini di riciclo e recovery. I numeri restano comunque preoccupanti e la sfida molto complessa, soprattutto

riguardo l'aumento previsto della domanda UE entro il 2030 per alcuni materiali critici chiave.

La necessità di terre rare potrebbe quintuplicare, mentre altre materie come litio e cobalto mostrano crescite ancor più esponenziali. Tale scenario, presentato dalla Commissione europea, sottolinea l'urgenza dell'autosufficienza e della strategia per il riciclo.

A livello interno, alcuni paesi stanno ripensando alla loro capacità estrattiva. Per esempio, la scoperta tra 2022 e 2023, di un grande giacimento di terre rare in Norvegia e di un piccolo giacimento in Svezia ha acceso le speranze di una miniera europea. Tuttavia, queste miniere non saranno disponibili nel breve termine. Il giacimento norvegese costerà circa 900M di euro e non sarà operativo prima del 2030, dopo esser stato sottoposto ad una valutazione ambientale molto attenta. Ridurre l'impatto ambientale sarà fondamentale poiché l'estrazione e la raffinazione delle terre rare producono una quantità enorme di rifiuti tossici e radioattivi e sono necessari iter autorizzativi molto lunghi (5-10) anni per ridurre al minimo gli impatti.

Il CRMA prevede delle procedure amministrative snellite per progetti strategici. standard per essere I tempi massimi per la messa in opera dei progetti saranno di 27 mesi per le miniere e 15 mesi per i siti di riciclo. In parallelo all'estrazione, l'UE punta tantissimo alla raffinazione e separazione dei metalli critici. Ad oggi, anche se materie prime come le terre rare sono spesso estratte ovunque, il 90% della separazione grezza e raffinata avviene lo stesso in Cina. Il 40% di capienza interna vuole quindi dire che l'UE vorrebbe incentivare la creazione di impianti europei che separino, raffinando, prodotto in ossidi, leghe e magneti finiti il minerale greggio. Alcuni progetti sono stati già partiti. Ad esempio, l'Estonia ha cominciato a mettere macchinari ai suoi processi di separazione quest'anno, il SOURCES di Finlandia ha due nuove miniere e stanno per iniziare il secondo stadio degli impianti.

Nel frattempo, sul fronte esterno, l'UE pensa a partnership strategiche per le materie prime. Son stati avviati dialoghi e accordi con paesi ricchi di risorse come Canada, Australia, Cile, Namibia e altri, per diversificare le importazioni e ridurre il monopolio cinese. Inoltre, l'UE vuole far leva sugli strumenti commerciali esistenti, accordi di libero scambio e sull'investimento sostenibile e potenziamento dell'OMC per combattere

pratiche sleali. Una proposta di cooperazione proviene anche dall'Italia che vorrebbe proporre una cooperazione scientifica sulle terre rare considerando che gli USA, come la Cina, stanno rilanciando la produzione con accordi già firmati con l'Australia sul flusso delle terre rare. Infine, l'Europa sembra cercare di presentarsi unita al mondo esterno per acquisto e gestione delle terre rare.

Il secondo pilastro dell'autosufficienza promossa dalla strategia dell'UE è la circolarità dell'economia. Secondo CRMA, il riciclo delle terre rare e di altri materiali critici non è la chiave per diventare sostenibile, ma una reale richiesta strutturale. La difficoltà attuale di aprire nuove miniere in Europa e la limitazione degli approvvigionamenti dall'estero portano alla conclusione che “diventare forte su un ciclo integrato è la cosa più importante su cui affidarsi.” CRMA intende creare un ciclo integrato facendo in modo che le materie prime presenti nei rifiuti elettronici, automobilistici e industriali siano estratte e riciclate in modo strutturale, diventando materie prime secondarie da reinserire in un nuovo ciclo. In questo modo l'Unione europea dovrà semplificare le esigenze di importazioni e abbattere la quantità totale di materiale necessario, salvando le risorse delle materie prime. L'UE cerca di raggiungere questo obiettivo finanziando il recupero e il trattamento delle scorie e dei rifiuti contenenti terre rare, sostenendo l'apertura di nuove miniere di ferro, rame, terbio e neodimio, e creando strumenti normativi adeguati.

L'OCE sostiene che vi saranno “criteri di ecodesign facilitando lo smontaggio della produzione e l'estrazione delle terre rare”, inserendo l'obbligo di riciclabilità per alcuni componenti e includendo una unione normativa per il riciclo di rifiuti elettronici contenenti REE. Turbine eoliche, pannelli solari e veicoli elettrici saranno progettati per durare più a lungo, facilitando così la loro riparazione e il riciclo. Questo approccio contribuirà a ridurre la domanda di nuove materie prime e la quantità di rifiuti prodotti.

In conclusione, l'obiettivo a lungo termine dell'UE richiede l'integrazione di un sistema in cui produzione e consumo delle terre rare e prodotti correlati siano in equilibrio sostenibile, con un approvvigionamento diversificato e affidabile⁷⁶. L'obiettivo è quello di adottare un approccio bilanciato con uno sviluppo controllato delle risorse out-of-season, uno spettacolare slancio verso l'economia circolare raggiungibile per metà, entro

⁷⁶ European Commission, “Strategic Technologies for Europe Platform (STEP),”

il 2050 e partner internazionali affidabili per il fabbisogno restante. Questo sforzo complesso e multidimensionale riesce a mettere un punto cruciale nelle complesse tensioni geopolitiche internazionali. L'Europa aspira all'indipendenza industriale ed energetica ma l'obiettivo sarà molto difficile da raggiungere. Lo scenario più prossimo e più realistico è quello che mira ad aumentare la sicurezza dell'approvvigionamento e la capacità di essere flessibili, potendo mantenere un'industria solida, così da ottenere una transizione ecologica sicura.

4.3 Le mie ipotesi di politica economica sulle terre rare.

In questa sezione descriverò alcuni scenari futuri costruiti sui dati INSPIREE e tendenze, osservando da diverse prospettive l'impatto di ipotesi di politica economica sulle terre rare. Allo stesso modo mi chiedo: e se il modello INSPIREE fosse adattato su tutta l'UE, quale sarebbe oggi l'effetto economico di un massiccio investimento strutturale in termini quantitativi e internazionali?

Per rispondere a queste domande, combinerò quei metadati sino al 2030-2040 in diverse ipotesi.

Scenario base: in questo scenario l'Europa continua ad aumentare il consumo di terre rare secondo le proiezioni, ma non punta ad uno sviluppo completo delle misure del CRMA. Ciò significa che la domanda di terre rare cresce fino a cinque volte entro il 2030 continuando poi con un tasso ridotto fino al 2050, mentre l'offerta interna è limitata. Nella pratica, l'UE rimarrebbe dipendente dall'importazione per oltre il 90% delle terre rare, con la Cina come fornitore principale. Questo scenario "business as usual" implica rischi elevati. La filiera rimarrebbe vulnerabile ed in caso di carenza di materiali a causa di limitazioni imposte dal governo cinese o altro shock geopolitico, le industrie pagherebbero prezzi elevati in termini di volatilità. I paesi in cui si estrae senza rigide regole continuerebbero a subire i costi ambientali. Tutto sommato, l'Europa rimarrebbe follower della filiera evoluta, adattandosi ai prezzi e alle condizioni poste dal mercato globale delle terre rare.

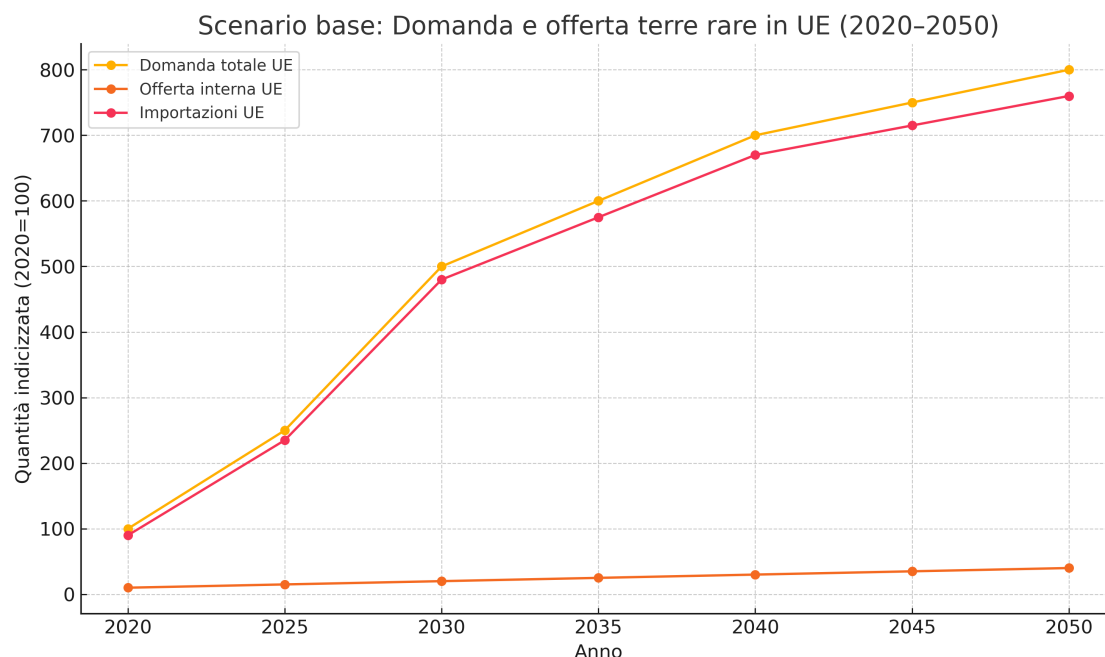


Figura 17: scenario base, evoluzione della domanda e offerte di terre rare

Fonte: Elaborazione propria su dati INSPIREE (CINEA LIFE22-ENV-IT-INSPIREE) e stime CRMA

Lo scenario del CRMA dell'UE ha un focus quasi esclusivo sugli obiettivi. Si tratta di un'alternativa in cui l'Unione Europea raggiungerebbe gli obiettivi del Critical Raw Materials Act entro il 2030. Questo comporta l'apertura di alcune miniere nel territorio dell'UE, l'avvio di raffinerie in Europa in grado di processare almeno il 40% delle materie prime, comprese quelle importate e cosa ancora più importante, la creazione di una rete sufficientemente ampia di impianti di riciclo delle terre rare (R2) per coprire almeno il 25% della domanda. Tradotto in numeri, considerando che la domanda sarà circa cinque volte superiore all'attuale, si stima un consumo annuo entro il 2030 di circa 50.000 tonnellate di ossidi. Il 25%, corrispondente a 12.500 tonnellate annue di terre rare, recuperate dai rifiuti. Con impianti simili a quelli del progetto INSPIREE, che producono circa 500 tonnellate all'anno di terre rare, sarebbero necessari circa 25 impianti di queste dimensioni distribuiti in tutta Europa per raggiungere questo volume. Se questi impianti fossero distribuiti tra vari Paesi: Italia, Francia, Germania, Europa orientale, ecc... la raccolta di magneti e RAEE sarebbe più uniforme su tutto il territorio europeo. Considerando che l'UE consumerebbe 5.000 tonnellate di ossidi di terre rare etichettati come "estratti in Europa" e 32.500 tonnellate ancora importate, "dal 32,5% al 65%", ma

da fonti diversificate, in questo scenario l'Europa ridurrebbe significativamente la sua dipendenza: nessun Paese terzo avrebbe il potere di interrompere le forniture e una quota sufficientemente ampia dei volumi necessari sarebbe coperta internamente. Le industrie high-tech sarebbero meno esposte alla volatilità dei mercati e avrebbero garantito l'accesso ad almeno un quarto della domanda grazie alla produzione interna. Inoltre, le regioni minerarie e i distretti del riciclo in Europa trarrebbero benefici economici dagli investimenti e dal rinnovamento occupazionale lungo la catena del valore.

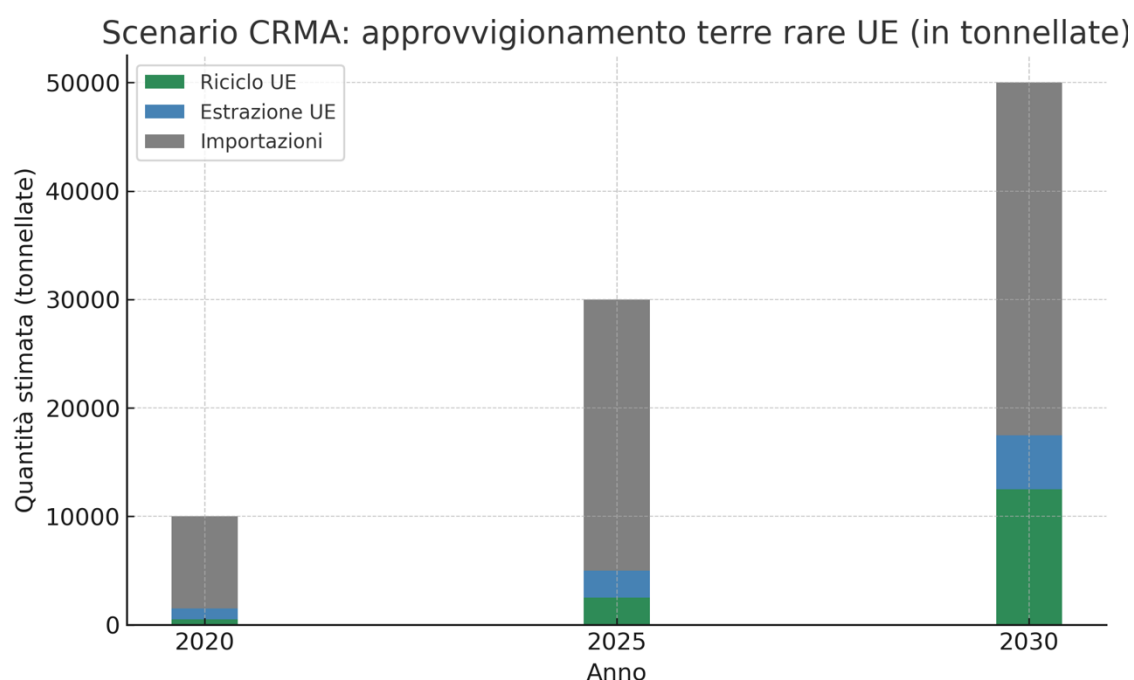


Figura 18: scenario CRMA: composizione dell'approvvigionamento UE di terre rare (in tonnellate)

Fonte: Elaborazione propria su dati INSPIREE (CINEA LIFE22-ENV-IT-INSPIREE) e stime CRMA

Scenario Circularity Extended

Questo scenario rappresenta un caso molto difficile e lontano, in cui l'intera Europa si avvicina molto alla piena adozione del modello di economia circolare delle terre rare. Questa opzione è molto oltre i target e quindi ritenuta abbastanza remota. Se, ad esempio nel 2040, il 50% della domanda continentale provenisse dal riciclo grazie a progressi tecnologici significativi e massicci investimenti politici, ricicleremmo il doppio di tutte le terre rare estratte ogni anno; innescando modalità a circuito chiuso. Si creerebbe quindi

un modello UE basato sull'economia circolare delle terre rare che farebbe da esempio al mondo. Ciò vuol dire che saremmo in grado di presentare i prezzi su importazioni di terre rare, creare un nuovo settore industriale con molteplici imprese che riciclano terre rare da discariche elettroniche. Un'altra conseguenza sarebbe la creazione di posti di lavoro, stabilizzando i prezzi delle materie prime; poiché più del 50% di esse sarebbero provenienti da flussi in discarica riciclati e altri flussi di recupero.

Tuttavia, questo sottolinea la necessità di una cooperazione tra gli Stati membri, non solo a livello politico, ma anche per quanto riguarda il trattamento delle discariche, gli obiettivi di riciclo e i target, che dovrebbero essere stabiliti a livello dell'UE e non frammentati tra i singoli Stati membri. Per questo motivo, una rete logistica paneuropea risulterebbe fondamentale.

Scenario Circularity Extended: approvvigionamento terre rare UE (in tonnellate)

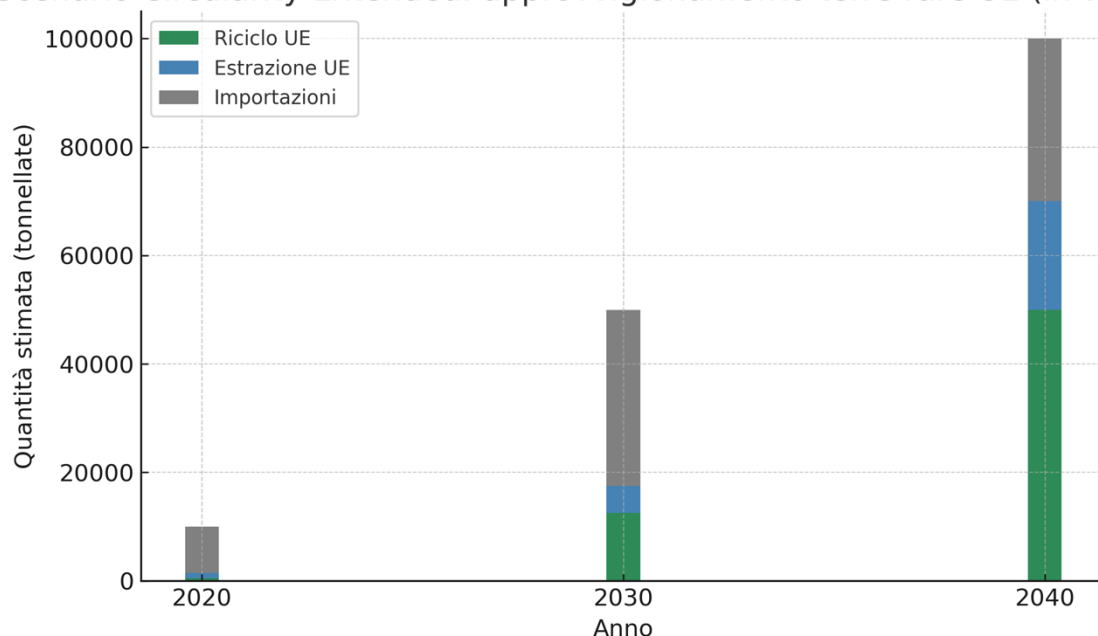


Figura 19: scenario "Circularity Extended", composizione dell'approvvigionamento di terre rare

Fonte: Elaborazione propria su dati INSPIREE (CINEA LIFE22-ENV-IT-INSPIREE) e stime CRMA

In prospettiva futura, si prevede l'introduzione di sviluppi tecnologici significativi: alcuni motori elettrici saranno progettati per funzionare senza l'impiego di terre rare, mentre sono già in fase di diffusione magneti con un contenuto ridotto di disprosio e terbio. Tali

evoluzioni potrebbero contribuire a semplificare i processi di riciclo, rendendoli più efficienti e meno onerosi sotto il profilo economico.

In questo momento però l'importazione di materie prime dirette rimane la principale fonte di approvvigionamento europea. Stanno nascendo delle alternative, ma che non rendono ancora possibile sostituire completamente Nd, Pr, Dy nei magneti di calibro netto.

Un altro tema fondamentale è la sicurezza ambientale e la riduzione dell'impatto su questo. Anche se, come affermato, tale fertilizzazione sarebbe virtualmente priva di elementi inquinanti, l'estrazione mineraria tradizionale delle terre rare è caratterizzata da una grande impronta di carbonio. L'alta intensità energetica necessaria e le conseguenti emissioni di CO₂ e inquinanti sono delle conseguenze della bonifica del territorio e dei processi chimici di separazione. Al contrario, il riciclo tende ad avere un'impronta ecologica inferiore. Ad esempio, i risultati preliminari già menzionati del progetto INSPIREE mostrano, inoltre, che il processo idro-metallurgico di riciclo sviluppato da Itelyum riduce effettivamente le emissioni rispetto al ciclo estrattivo. Secondo il ciclo di vita accumulato delle emissioni, le emanazioni di CO₂ in termini di ossidi di terre rare recuperati sono il 60% inferiori rispetto all'estrazione di metallo in flussi uguali.

Maggiore sarà la quantità di terre rare riciclate invece che estratte, minore sarà l'impatto del settore. Il risultato previsto dal CRMA, ovvero il raggiungimento del 25% di riciclo, rappresenta già un traguardo significativo in termini di riduzione delle emissioni associate alla filiera di approvvigionamento delle terre rare. Un obiettivo ancora più ambizioso, pari al 50% di riciclo, raddoppierebbe questo impatto positivo, contribuendo in misura sostanziale alla sostenibilità ambientale del settore.

Ci sono molti altri benefici da segnalare. Il riciclo locale riduce le emissioni legate al trasporto, riducendo l'impatto ambientale totale. Il progetto INSPIREE, per esempio, contiene dichiarazioni dirette sul fatto che la realizzazione di cinque impianti analoghi nel Lazio permetterebbe di interrompere il trasporto dei rifiuti elettronici verso Francia e Germania, con spese ridotte del 77%. Un altro aspetto importante è il trattamento di rifiuti pericolosi, residui dell'attività estrattiva contaminati da solfati e altri metalli dannosi alla salute umana, comportando rischi a livello sanitario ed ambientale.

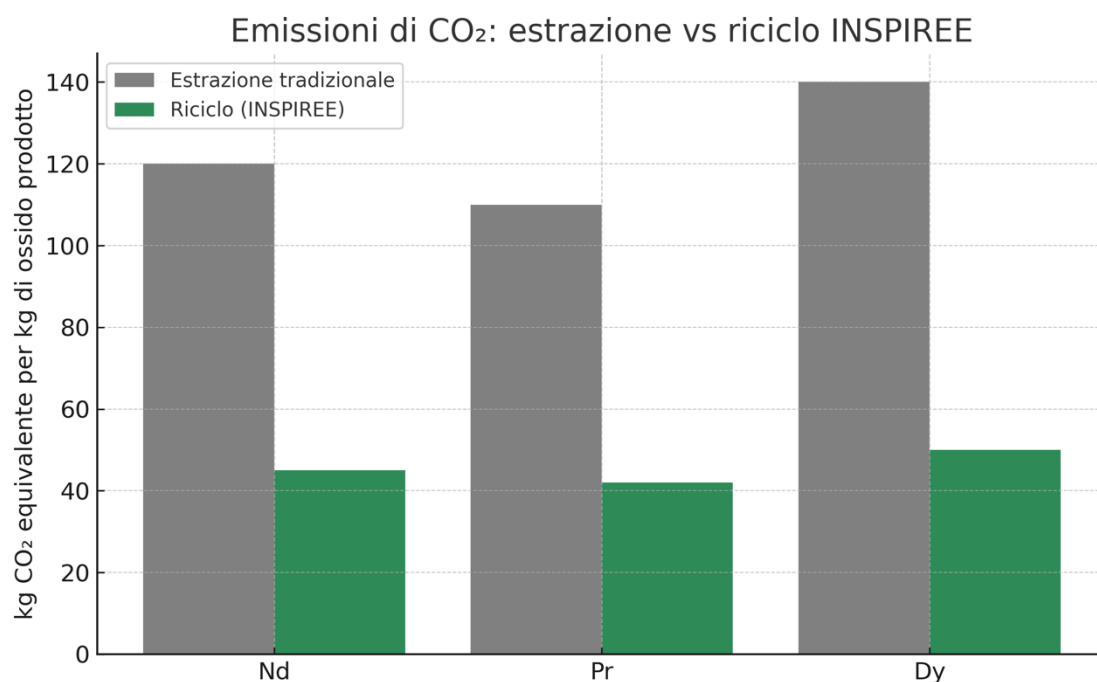


Figura 20: confronto indicativo delle emissioni di CO₂ associate alla produzione di ossidi di terre rare tramite estrazione mineraria tradizionale vs riciclo chimico processo INSPIREE

Fonte: Elaborazione propria su dati INSPIREE (CINEA LIFE22-ENV-IT-INSPIREE) e stime CRMA.

Il riciclo di magneti NdFeB nel modello INSPIREE è stato progettato in modo tale che non ci fossero contaminazioni di acqua. Cioè, il rischio di inquinamento del suolo o di falde acquifere è trascurabile rispetto alla controparte estrattiva che utilizza ancora grandi quantità di acidi agglomeratici e imponenti bacini di liquame. Come i nostri scenari implicano, l'impatto totale sull'ambiente diminuirebbe all'aumentare delle quantità riciclate e non estratte.

Dal punto di vista economico e geopolitico, l'applicazione su larga scala del modello INSPIREE e del riciclo, è qualcosa di simile a una redistribuzione del potere lungo la catena delle terre rare. Come suggerito, il monopolio virtuale su vasta scala del mercato mondiale posseduto dalla Cina, consente all'ultimo polarizzatore di influenzare parzialmente le dinamiche globali evidentemente, come dimostrato nel 2010-2011. Ma se il continente europeo sarà in grado di produrre al proprio interno una quantità significativa del proprio fabbisogno, pari alla metà o superior, diventerebbe molto più difficile da scalare e molto più semplice avere una leva di negoziazione su tutta la filiera.

Se, ad esempio, la componente di autosufficienza europea raggiungesse circa il 50% e le restrizioni imposte da Pechino riducessero ulteriormente le nostre importazioni rispetto ai livelli attuali, nel frattempo Stati Uniti, Giappone e altri Paesi sviluppati, che continueranno a mantenere una posizione ferma sulla questione, si coordinerebbero per sviluppare sia insediamenti estrattivi primari sia infrastrutture di riciclo secondario all'interno di nazioni avanzate e geopoliticamente affidabili.

Esiste il rischio astratto che si parta dal presupposto che il riciclo possa crescere senza ostacoli in modo lineare. In realtà, potrebbero verificarsi colli di bottiglia. Si potrebbe, ad esempio, premiare eccessivamente la raccolta di rifiuti anche se i consumatori e le aziende non restituiscono correttamente i loro apparecchi a fine della vita. I costi del riciclo potrebbero rimanere elevati se le economie di scala non si attuano rapidamente, rendendo il materiale riciclato in alcuni casi molto meno concorrenziale rispetto al vergine. Un'altra questione è la qualità del materiale riciclato. Gli idruri di terre rare riciclati rilasciano ossidi di terre rare, che l'industria deve riusare per creare nuovi magneti o altri utilizzi. Pertanto, i riciclatori devono lavorare meglio con i produttori e andare direttamente dalle case automobilistiche o dai produttori di macchine industriali.

Su questo punto, il progetto INSPIREE ha avviato alcune iniziative preliminari, talvolta affrettate, di coordinamento con gli utilizzatori finali. Tuttavia, sul piano della sostenibilità commerciale, è fondamentale garantire che tali sinergie possano essere sviluppate su larga scala. Un sistema informatico dedicato alla tracciabilità delle terre rare riciclate ripetibile, trasparente e dotato di propri standard di qualità costituirà l'infrastruttura immateriale indispensabile da affiancare a investimenti concreti nelle attività fisiche.

In conclusione, le ipotesi di politica economica di cui sopra mostrano che l'innovazione associata all'economia circolare delle terre rare sarebbe molto positiva per l'Europa, ed è esattamente ciò verso cui mira INSPIREE in generale, garantendo allo stesso tempo maggiore sicurezza economica, certezza per i vantaggi ambientali e nuove opportunità industriali. Ovviamente, lo scenario più attraente è quello circolare e poco dipendente, che richiederebbe un supporto finanziario massiccio, coordinamento e impegno politico a lungo termine ma il percorso è già stato avviato. In termini più generali, l'innovazione

associata all'economia circolare delle terre rare in generale non risolve un deficit strutturale temporaneo, ma rappresenta un modello di sviluppo che può essere attuato insieme alla norma europea. In altre parole, crescita economica, salvaguardia ambientale e indipendenza tecnologica. Ordinate le simulazioni di cui sopra, anche se priva di dati dettagliati, perché non ancora disponibili vista la fase embrionale del progetto, dimostrano che l'aumento della circolarità è conveniente.

4.4 Analisi empirica sulla conoscenza generica di terre rare

I risultati del sondaggio (N=100 risposte) offrono uno spaccato sulle percezioni di esperti e cittadini riguardo alle terre rare e all'economia circolare. Il campione eterogeneo per età e professione è così suddiviso:

Studenti: 30 rispondenti (30%)

Impiegati (pubblico/privato): 26 rispondenti (26%)

Ricercatore/Docenti: 20 rispondenti (20%)

Manager/Imprenditori: 16 rispondenti (16%)

Altro (es. tecnico, libero professionista): 8 rispondenti (8%)

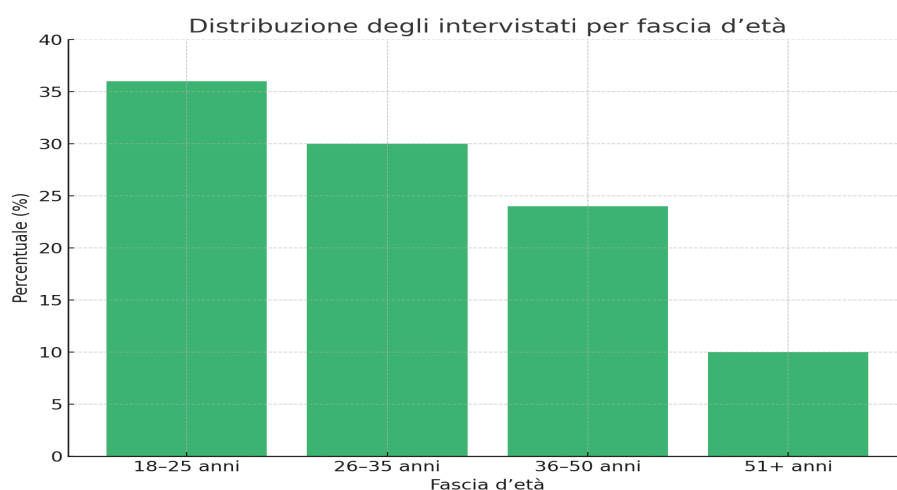


Figura 21: distribuzione per fasce di età

Fonte: Elaborazione propria su dati INSPIREE (CINEA LIFE22-ENV-IT-INSPIREE) e stime CRMA

La distribuzione per fasce d'età è risultata: 36% tra 18-25 anni, 30% tra 26-35 anni, 24% tra 36-50 anni e 10% oltre i 51 anni. In generale, la categoria degli studenti è sovrarappresentata tra i giovani, mentre i professionisti e i ricercatori occupano le fasce centrali di età.

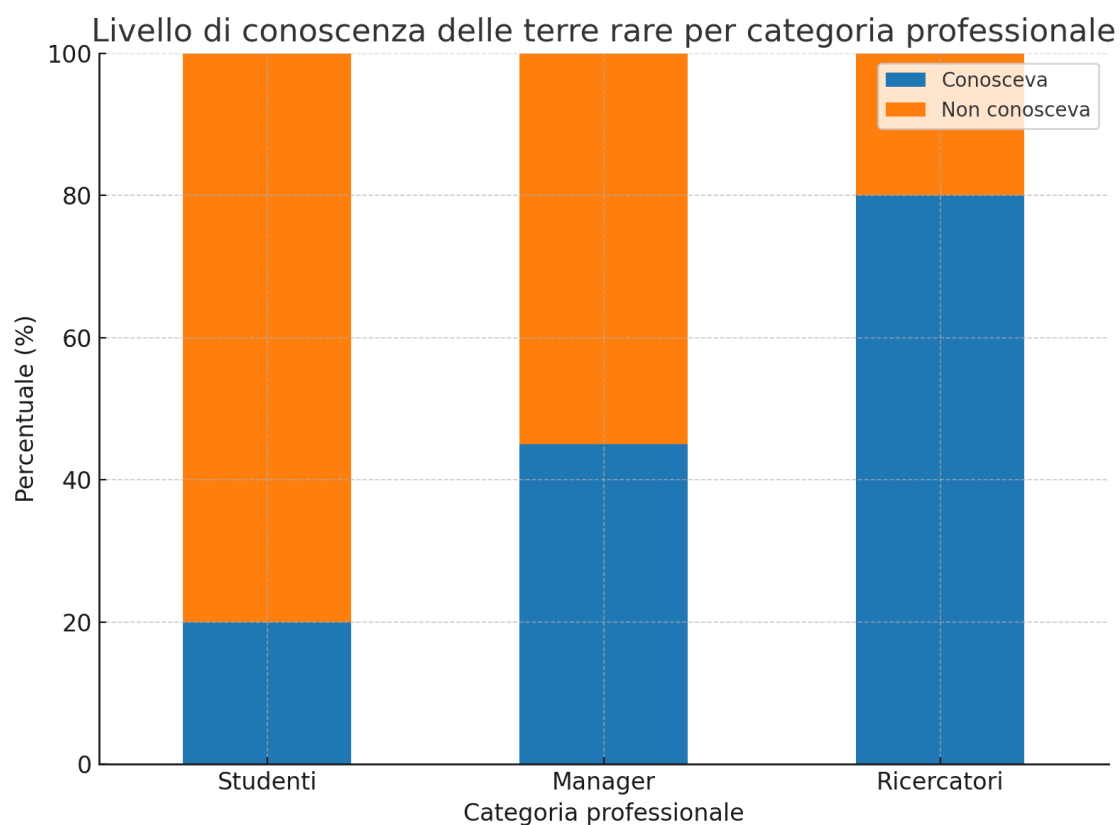


Figura 22: Distribuzione percentuale del livello di conoscenza delle terre rare

Fonte: Elaborazione propria su dati INSPIREE (CINEA LIFE22-ENV-IT-INSPIREE) e stime CRMA

La maggioranza degli studenti (barre arancioni) dichiara di non aver mai sentito parlare delle terre rare, mentre tra i ricercatori una quota rilevante afferma di conoscerne almeno a grandi linee il significato. Dal grafico emergono chiare differenze tra le categorie professionali. In particolare, quasi l'80% degli studenti non conosceva le terre rare prima del sondaggio, contro solo il 20% dei ricercatori. Viceversa, la percentuale di rispondenti che ne sapeva «a grandi linee» è minima tra gli studenti, e massima (oltre il 50%) tra i ricercatori. Il manager presenta un profilo intermedio. Questo conferma che la consapevolezza sulle terre rare aumenta con il livello di istruzione/esperienza scientifica: lo dimostra anche l'incrocio tra età e professione (es. giovani studenti vs. ricercatori più

maturi). Parallelamente, la percezione di problemi ambientali e di politiche di circolarità è mediamente elevata in tutto il campione. Ben l'85% dei rispondenti considera “molto” o “abbastanza” importante il riciclo delle terre rare dai dispositivi elettronici (in linea con la Figura 22) e lo stesso si registra sull'indipendenza dell'UE nell'approvvigionamento (il 90% vota “molto” o “abbastanza”). In generale, gli intervistati mostrano forte interesse per le tematiche di economia circolare: oltre il 70% risponde di essere «molto/abbastanza» interessato ai temi dell'economia circolare e alle politiche UE a sostegno delle materie prime critiche. Un'analisi incrociata rivela che chi dichiara maggior conoscenza delle terre rare tende anche a dare maggiore importanza alle politiche di circolarità. Ad esempio, tra i rispondenti più informati (>65% di conoscenza almeno a grandi linee) l'80% si dichiara “molto interessato” alle politiche europee in materia di materie prime critiche, contro il 40% tra chi non conosceva affatto il concetto. Questo suggerisce che maggiore consapevolezza conduce a maggiore supporto alle iniziative di economia circolare.

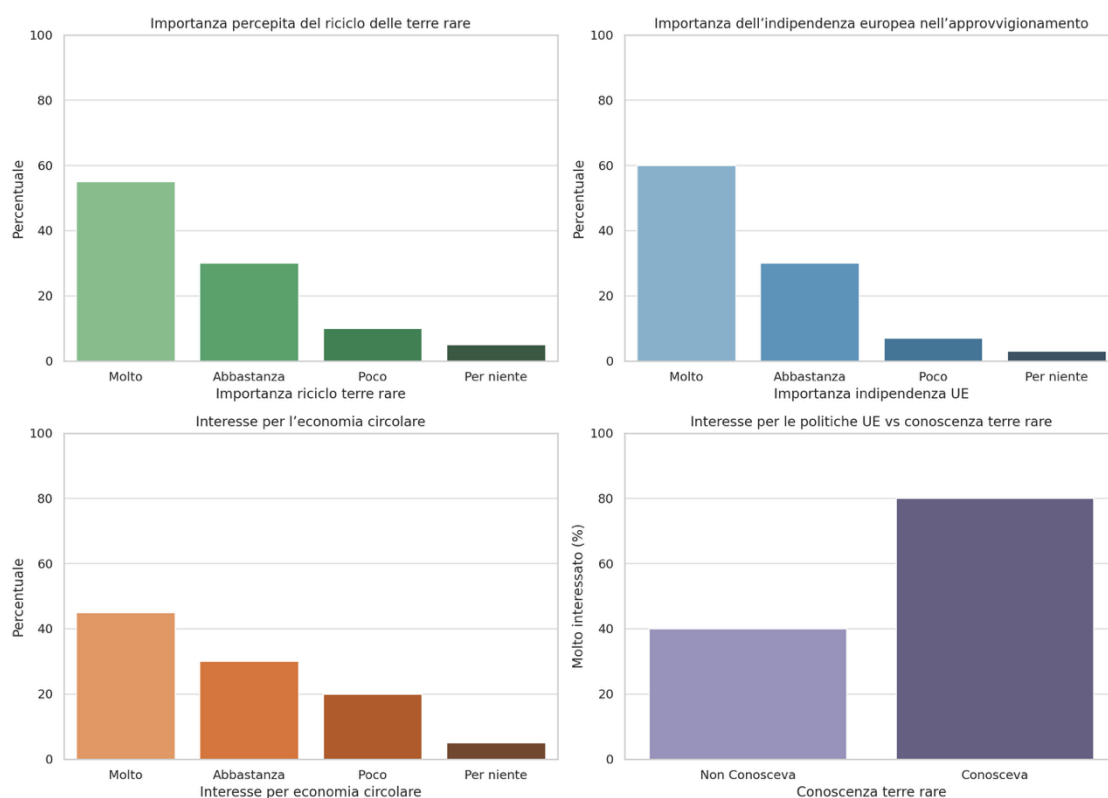


Figura 23: Percezione pubblica sulle terre rare, riciclo e politiche UE

Fonte: Elaborazione propria su dati INSPIREE (CINEA LIFE22-ENV-IT-INSPIREE) e stime CRMA

In sintesi, i dati del sondaggio indicano che nonostante la scarsa familiarità con il concetto di “terre rare” nel campione complessivo esiste un consenso trasversale sull’importanza di ridurre l’impatto ambientale con il riciclo e di potenziare le politiche industriali europee. Questo evidenzia il potenziale favore del pubblico verso progetti come INSPIREE e la necessità di interventi di sensibilizzazione rivolti in particolare ai più giovani e a chi non è esperto del settore. Riferimenti ai dati: I risultati statistici qui riportati sono stati elaborati sui dati del sondaggio (N=100) e raggruppati per fasce d’età e categoria professionale. Le percentuali sono calcolate sul totale dei rispondenti di ciascun gruppo.

BIBLIOGRAFIA

- Adamas Intelligence, Rare Earth Magnet Market Outlook to 2035.*
- Adamas Intelligence, Rare Earth Market Outlook.*
- ADEPP (2025). Terre rare: accelerare nella corsa globale.*
- Agenda Digitale (n.d.). Lo sporco segreto della transizione ecologica.*
- AGI (n.d.). Economia circolare.*
- Amnesty International, This is what we die for - Human rights abuses in the Democratic Republic of the Congo power the global trade in cobalt.*
- Aspenia Online (n.d.). L'Europa e l'indipendenza energetica.*
- Astrolabio Amici della Terra (n.d.). Domanda e riserve di terre rare.*
- AVIO S.p.A., 2023, Annual Report.*
- Banca Generali (n.d.). Impatto del PIL nella transizione green.*
- Belk, R., You are what you can access: Sharing and collaborative consumption online, Journal of Business Research.*
- Binnemans, K. et al., Recycling of Rare Earths: a critical review, Journal of Cleaner Production.*
- Boulding, K. E., 1966, The Economics of the Coming Spaceship Earth, in: H. Jarrett (a cura di), Environmental Quality in a Growing Economy, Johns Hopkins University Press.*
- Casa per l'Europa di Gemona, Economia circolare: definizione, importanza e vantaggi.*
- Chertow, M. R., Industrial Symbiosis: Literature and Taxonomy, Annual Review of Energy and the Environment.*
- China Files (n.d.). L'UE a scuola di economia circolare dalla Cina.*
- CINEA (2023). Grant Agreement - LIFE22-ENV-IT-INSPIREE (n. 101113882).*
- Circular Materials, Scheda progetto EIT RawMaterials.*
- Commissione Europea (2020). Circular Economy Action Plan. publications.europa.eu.*
- Commissione Europea, 2015, Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy, COM(2015) 614 final.*
- Commissione Europea, 2020, Circular Economy Action Plan: For a cleaner and more competitive Europe, COM(2020) 98 final.*

Commissione Europea, 2020, Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU - A Foresight Study.

Commissione Europea, 2020, Critical Raw Materials Resilience: Charting a Path towards greater Security and Sustainability, COM(2020) 474 final.

Commissione Europea, 2020, Study on the Critical Raw Materials for the EU - Final Report.

Commissione Europea, 2022, Ecodesign for sustainable products.

Commissione Europea, 2022, Making sustainable products the norm - Ecodesign for Sustainable Products Regulation (ESPR).

Commissione Europea, 2022, REPowerEU: A plan to rapidly reduce dependence on Russian fossil fuels and fast forward the green transition, COM(2022).

Commissione Europea, 2023, Proposal for a Regulation on Critical Raw Materials, COM(2023) 160 final.

Commissione Europea, Action Plan on Critical Raw Materials, COM(2020).

Commissione Europea, Circular Economy Action Plan 2.0.

Commissione Europea, Cos'è l'economia circolare.

Commissione Europea, List of Strategic Projects under the Critical Raw Materials Act, Press Release.

Commissione Europea, Proposal for a Regulation on the Critical Raw Materials Act, COM.

Commissione Europea, Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU - A Foresight Study.

Commissione Europea, Strategic Technologies for Europe Platform (STEP).

Commissione Europea, Study on the Critical Raw Materials and the Circular Economy.

Commissione Europea, Study on the EU's list of Critical Raw Materials - Final Report.

Consilium Europa (n.d.). Critical raw materials: infografica.

Corriere del Veneto (2025). Rincorsa globale alle terre rare: l'Europa investe sul riciclo.

Corriere della Sera (2021). Classifica terre rare nel mondo.

Corriere della Sera (2025). Il riciclo a quota 72,5%: un trend in crescita.

Direttiva (UE) 2019/904 del Parlamento europeo e del Consiglio del 5 giugno 2019 sulla riduzione dell'incidenza di determinati prodotti di plastica sull'ambiente.

EconomiaCircolare.com (n.d.). Certificazione Cradle to Cradle: moda, fashion, edilizia.

EIT RawMaterials, NEW-RE - New Ways for the Recovery of Rare Earths.

EIT RawMaterials, Recycling of Rare Earth Magnets in Europe: Market and Technology Report.

Elementi di terre rare - Periodic Table of the Elements.

Ellen MacArthur Foundation, 2012-2015, Towards the Circular Economy Vol.1-3.

Ellen MacArthur Foundation, 2019, Completing the Picture: How the Circular Economy Tackles Climate Change.

Ellen MacArthur Foundation, What is a Circular Economy?

Erion (n.d.). Terre rare: cosa sono e perché sono centrali nella transizione.

ESG360 (n.d.). High-tech, green e difesa: i pilastri sono le terre rare.

ESG360, Terre rare, il nodo dell'approvvigionamento europeo nella transizione energetica.

Euractiv (n.d.). Terre rare.

Eurostat, Extra-EU imports of selected raw materials.

Eurostat, Sharing economy platforms - Statistics.

Fondiesicav (2024). Infografica terre rare.

Geopop (n.d.). Mappa delle terre rare in Italia.

Global Witness, Rare Earths in Myanmar: Uncovering the Dirty Secrets of the Clean Energy Transition.

GreenIdea Energia (n.d.). Terre rare: risorsa strategica.

GreenPlanner (2024). Cresce il mercato del recupero delle terre rare.

Greenreport.it (n.d.). Nuova tecnologia cinese per l'estrazione sostenibile delle terre rare.

Gruppo A2A (n.d.). Economia circolare e transizione ecologica.

Gruppo Iren (2025). Il ruolo strategico delle terre rare.

Horizon Europe, Research and Innovation for Circular Economy 2021-2027.

Humphries, M., Rare Earth Elements: The Global Supply Chain, Congressional Research Service.

IAI (2013). Le terre rare nell'era digitale.

IEA (International Energy Agency), Global EV Outlook 2023.

IEA - International Energy Agency, The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions.

IEA, *Sustainable Recovery: Critical Minerals Outlook*.

Il Mondo Rivista (n.d.). *Terre rare: terre pericolose*.

Il Sole 24 Ore (n.d.). *Le terre rare e i piccoli investitori*.

Infodata Il Sole 24 Ore (2023). *Il riciclo: i dati e la gestione dei rifiuti in Europa*.

INSPIREE Project, *Pilot project for rare earth element recycling in Europe, EU Circular Economy Program*.

ISPRA, 2023, *Rapporto Rifiuti Urbani - Edizione 2023, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale*.

LaVoce.info (2022). *Terre rare: solo l'economia circolare ci rende indipendenti*.

LinkedIn (n.d.). *Il riciclo dei REE (Rare Earth Elements)*.

McDonough W. e Braungart M., 2002, *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*, North Point Press.

Metalli Rari (n.d.). *Cresce la produzione di terre rare: i Paesi leader*.

Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, 2022, *Strategia per l'economia circolare*.

MPI (n.d.). *Cina: aumenta il prezzo delle terre rare*.

Nappi M. (n.d.). *Uno sguardo sul settore moda: il prodotto*. LinkedIn.

OECD, *Extended Producer Responsibility: Updated Guidance for Efficient Waste Management*.

Pandora Rivista (n.d.). *Le terre rare e il grande gioco sulla tavola periodica*.

Parlamento Europeo (2015). *Economia circolare: definizione, importanza e vantaggi*. europarl.europa.eu.

Parlamento Europeo, 2021, *Risoluzione del Parlamento Europeo del 10 febbraio 2021 sul nuovo piano d'azione per l'economia circolare*.

Parlamento Europeo, 2022, *Obsolescenza programmata: cosa significa e cosa si può fare*.

PERSEO Project, *Hydrometallurgical recovery of rare earths from end-of-life products*, Università degli Studi dell'Aquila - Dipartimento di Ingegneria Industriale e dell'Informazione.

Politecnico di Milano (POLIMI) (n.d.). *Circular Economy Report*. Graduate School of Management.

Politico, *Can the EU Hit Its 2025 Recycling Targets?*

PPP - Il Partenariato Pubblico-Privato è una modalità di collaborazione tra settore pubblico e attori privati.

Presidenza del Consiglio dei Ministri, Piano Mattei per l'Africa: strategia per un partenariato equo e sostenibile.

PricePedia (2023). Terre rare nel libero commercio.

Reday, G. e Stahel, W.R., 1976, The Potential for Substituting Manpower for Energy, report to the European Commission, Geneva.

Renewable Matter (n.d.). CSRD e standard ESRS per uno sviluppo sostenibile.

Renovables.blog (n.d.). Impatto ambientale della miniera di terre rare.

Reuters (2025). Kazakhstan: scoperto giacimento da 20 milioni di tonnellate di terre rare.

RGA Online (n.d.). Terre rare: rischi e opportunità ambientali.

Roskill, Rare Earths Market Report.

Solvay Italia, Bilancio di sostenibilità 2022.

Stahel, W.R., 2006, The Performance Economy, Palgrave Macmillan (2^a ed. 2010).

State Council of China, 13th Five-Year Plan for Economic and Social Development of the People's Republic of China.

TCE Magazine (n.d.). Minerali critici: a che punto è l'offerta.

TEHA Group per Iren, Italia e terre rare: potenzialità industriali nella filiera critica, Analisi strategica.

Tondo Tech (n.d.). Domanda e offerta nelle terre rare nell'economia circolare.

Tukker, A., Product services for a resource-efficient and circular economy - a review, Journal of Cleaner Production.

U.S. Department of Energy, Critical Materials Strategy.

US Geological Survey, 2023, Mineral Commodity Summaries - Rare Earths.

USGS, Rare Earth Element Mines, Deposits, and Occurrences.

Vestas, Sustainability Report 2022.

Wired Italia (n.d.). Riciclo terre rare: progetti italiani.

Wise Society (n.d.). Terre rare.

World Bank, Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition.

Wu, C. et al., Electrokinetic Techniques for Rare Earth Element Recovery from Ion-Adsorption Deposits, Journal of Environmental Management.

Yuan, Z., Bi, J., & Moriguchi, Y., 2006, The Circular Economy: A New Development Strategy in China, Journal of Industrial Ecology, 10(1-2).