

Corso di aggiornamento: I minerali: costituenti delle rocce e materie prime. Caratteristiche, applicazioni e rischi.

Rossella Arletti

Università di Modena e Reggio Emilia
Dipartimento di Scienze Chimiche e Geologiche
Via Campi 103 MODENA

Venerdì 3 novembre

Dipartimento di Scienze Chimiche e Geologiche,
UNIMORE

E-mail: rossella.arletti@unimore.it



UNIMORE
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI
MODENA E REGGIO EMILIA

Le materie prime

Figure 1: Raw Materials — Key enablers of all industrial value chains.



Le materie prime sono più che mai la linfa vitale dell'economia.

Negli ultimi anni, abbiamo assistito a un importante cambiamento di prospettiva da "le materie prime sono ciò di cui sono fatti gli oggetti intorno a noi" a "le materie prime sono la chiave di molti settori critici dell'economia, come l'automotive, la chimica e le industrie manifatturiere".

Cosa sono le risorse minerarie?

- Minerali metallici
 - Minerali industriali
 - Pietre da costruzione e aggregati.
-
- Si sono formati attraverso una vasta gamma di processi geologici, che sono spesso unici e sollevano interrogativi sulla storia del nostro pianeta e sulla natura dei suoi ambienti passati e presenti. In effetti, le risorse minerali portano "messaggi" sul modo in cui funziona il nostro pianeta, dagli ambienti magmatici profondi a quelli superficiali.
 - Le civiltà umane si sono basate, sin dai tempi più remoti, su un uso progressivamente più sofisticato delle risorse minerarie: è così che definiamo l'Età della Pietra, l'Età del Bronzo, l'Età del Ferro, la Rivoluzione industriale del XIX secolo, o la " Silicon Age "di oggi.

Cosa sono le risorse minerarie?

- La nostra attività economica si basa più che mai sulle risorse minerarie, che forniscono metalli e materiali minerali di uso quotidiano, ma anche (in senso lato) ceramica, vetro, cemento e gesso, piastrelle e mattoni, pigmenti e così via.
- Le risorse minerali ed i materiali che da esse derivano danno forma alla nostra vita quotidiana: ne abbiamo bisogno per edifici e lavori pubblici, automobili e aerei, tecnologie della comunicazione e fonti di energia rinnovabile, fertilizzanti, carte, cosmetici e farmaci, ecc.

Cosa sono le risorse minerarie?

Lo sfruttamento delle risorse minerarie è una forza trainante per lo sviluppo economico.

I **minerali** devono essere lavorati per estrarre i metalli e talvolta questa estrazione avviene in giacimenti di di bassa qualità e in luoghi remoti.

Esempi: 3,3 miliardi di tonnellate di minerale di ferro sono state estratte in tutto il mondo nel 2015 (U.S. Geological Survey 2016). Ciò ha portato allo sviluppo di reti di trasporto dedicate, che rappresentano un importante contributo al commercio internazionale.

I **minerali industriali** possono essere utilizzati come materie prime per prodotti ottenuti tramite fusione (es. vetri) o per formazione di nuove fasi (es. ceramica, piastrelle e mattoni, cemento). I minerali come additivi forniscono anche proprietà specifiche a determinati prodotti finali, ad es. carte, plastica e materiali compositi. I minerali industriali illustrano come le proprietà strutturali su scala atomica governino le loro proprietà e, quindi, il loro uso e valore economico.

Le **pietre e gli aggregati da costruzione**, utilizzati come materiali da costruzione e per opere pubbliche (es. dighe, ponti, strade), si caratterizzano per i grandi volumi estratti. Complessivamente, compresi gli aggregati utilizzati nella bonifica dei terreni, gli sviluppi delle coste e gli argini stradali, una stima prudente è che l'umanità utilizzi 40 miliardi di tonnellate di aggregato/pietra all'anno.

Problemi legati all'estrazione

L'estrazione mineraria soffre ancora di una cattiva opinione pubblica a causa delle cattive pratiche utilizzate in passato.

Le miniere sono state spesso teatro di **eventi tragici** e mortalità di massa, con incidenti spettacolari e alti livelli di inquinamento permanente e grave, che a volte si sono protratti per decenni o secoli e hanno portato alla morte, in totale, di diversi milioni di persone

Abusi dei diritti umani associati alla produzione di moderni "minerali di conflitto" in Africa centrale

Comportamento passato di alcune aziende che hanno **abbandonato e lasciato siti minerari e minerari** non bonificati o che si sono preoccupati poco dell'inquinamento risultante.

Il volume delle rocce estratte o semplicemente spostate dall'attività mineraria è necessariamente aumentato a causa di un calo della qualità dei minerali.

L'estrazione di risorse minerarie è intrinsecamente insostenibile. Le risorse, grandi o piccole che siano, sono limitate (diverse da evaporiti marine, dal guano fosfato e da alcuni depositi di carbonato di sodio).

Risorse minerarie nella società

- Fortunatamente, il potenziale minerario della Terra è ancora lontano dall'esaurirsi, il che è una buona notizia per la nostra necessità di costruire, ad esempio, dispositivi specifici per la produzione di energia a basse emissioni di CO₂.
- Come per altre nuove tecnologie, tali dispositivi si basano sull'ampio utilizzo di **materie prime critiche**, che vengono spesso sfruttate in pochi giacimenti di grande importanza economica.
- → dovranno essere prodotti più metalli entro il 2050 rispetto agli ultimi 100 anni. Le strategie per lo sviluppo di fonti energetiche per il futuro devono includere considerazioni sulla disponibilità di risorse minerali necessarie per la produzione di energia e per metodi di trasporto «puliti».

Risorse minerarie nella società

- Lo sfruttamento delle risorse minerarie è irreversibile e i minerali stessi sono non rinnovabili.
- Molti metalli e minerali industriali possono essere riciclati, a differenza degli idrocarburi naturali.
- Settore in crescita delle **materie prime secondarie** ed è una grande evoluzione verso la sostenibilità mineraria.
- L'approvvigionamento delle risorse minerarie illustra la difficoltà di soddisfare gli obiettivi contrastanti dei “tre pilastri” della sostenibilità: economia, ambiente ed equità sociale.
- La crescente consapevolezza dell'opinione pubblica sugli impatti ambientali, sull'equa ripartizione dei profitti tra i vari stakeholder (aziende, stati, popolazioni locali) o sulla gestione dell'uso del suolo, stimola il dibattito mediatico sull'attività mineraria.

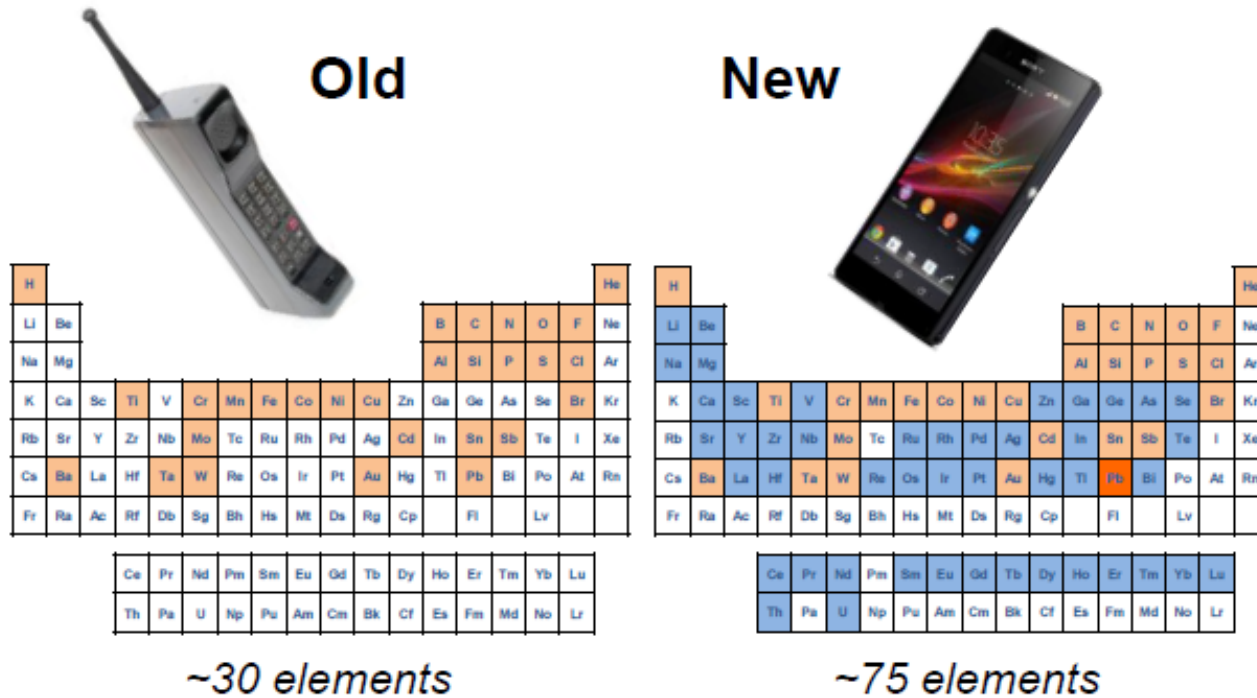
Distribuzione risorse minerarie

- Le risorse minerarie sono distribuite in modo non uniforme tra i paesi a causa della diversità geologica dei territori
- Il 70% del Pt mondiale è stato prodotto in Sud Africa nel 2015 (U.S. Geological Survey 2016) ed è stato estratto quasi esclusivamente nel Bushveld. I PGE sono importanti come metalli preziosi e come componenti vitali per i convertitori catalitici (industrie di scarichi automobilistici, industrie specializzate e della chimica fine, ecc.), L'importanza strategica del Sud Africa è notevole dato che detiene l'80%-90% delle riserve mondiali di PGE .
- L'85% del Nb mondiale, un metallo fondamentale utilizzato per produrre acciai ad alta resistenza, superconduttori e componenti elettronici, è prodotto dalla miniera di Araxa in Brasile.
- Il 50% della produzione mondiale di terre rare proviene dalla miniera di Bayan Obo nella Mongolia Interna.
- Questi giacimenti di prim'ordine di metalli critici hanno una grande importanza geostrategica. Inoltre, forniscono esempi dell'eccezionale efficienza di processi geologici insoliti per la concentrazione di elementi specifici, rivelando spesso caratteristiche originali della storia geologica regionale.

Risorse minerarie nella società

How Are Minerals Important?

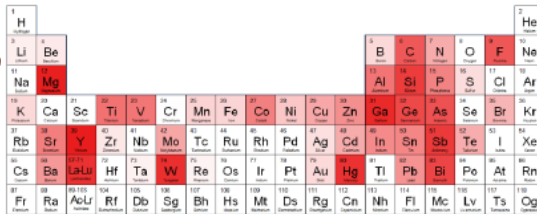
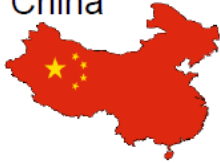
Technology is growing more complex...



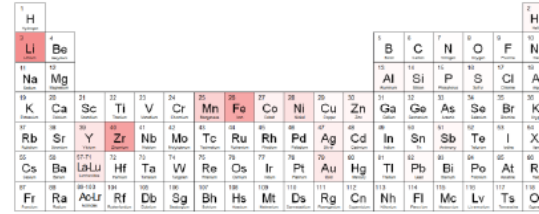
Distribuzione disomogenea delle risorse

Share of each element's global production from various countries

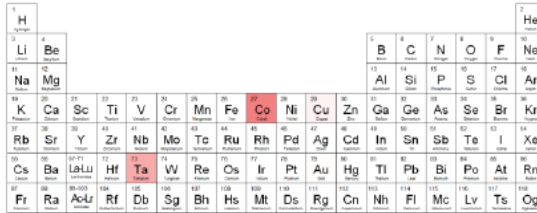
China



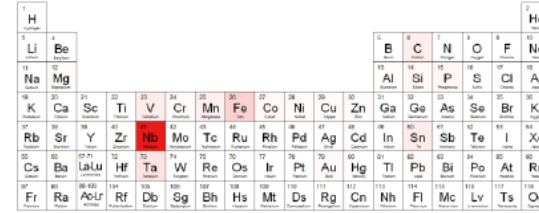
Australia



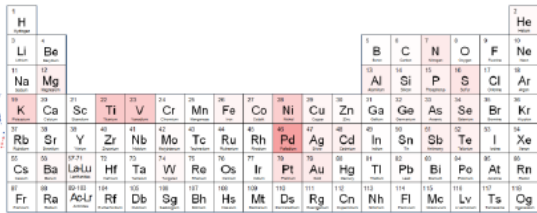
D.R. Congo



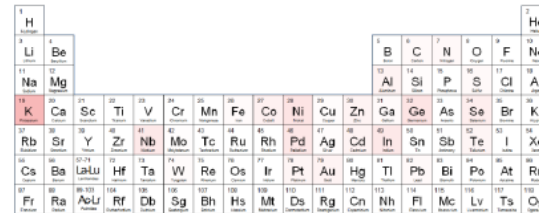
Brazil



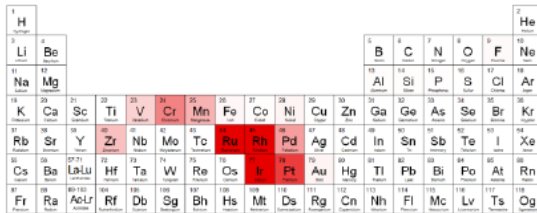
Russia



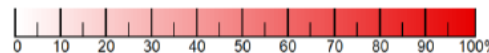
Canada



South Africa

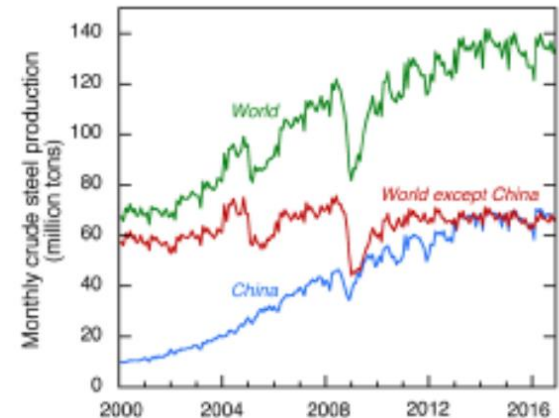


Chile

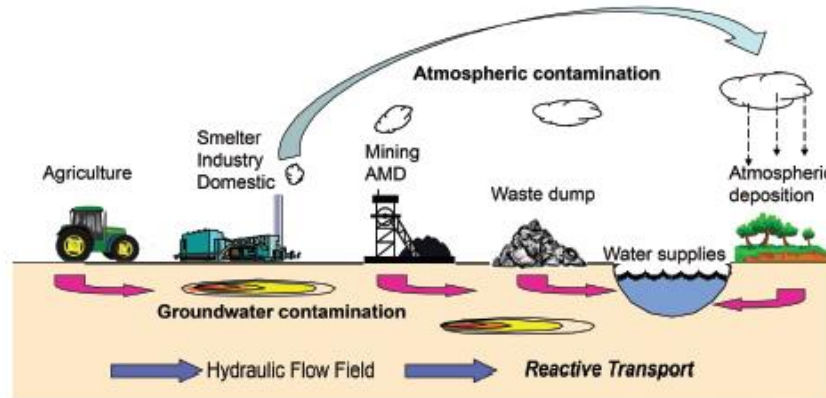


Distribuzione risorse minerarie

- Metalli «di base» e le risorse di ferro sono distribuiti in modo non uniforme.
- **Ferro:** solo un numero limitato di depositi di prim'ordine è operativo a causa delle grandi dimensioni necessarie per garantire la redditività.
- I maggiori giacimenti di ferro si trovano in Australia e Cina e, in misura minore, in Brasile, India e Russia.
- La produzione mondiale di ferro è stata trasformata negli ultimi 20 anni, con il drammatico aumento della produzione di acciaio da parte della Cina. La Cina produceva solo il 15% circa dell'acciaio mondiale all'inizio del 21° secolo, ma, nel 2017, rappresenta ora circa il 50%.



Impatto ambientale



- L'ambiente può essere danneggiato sia dalle operazioni di estrazione e lavorazione sia a causa delle notevoli quantità di rifiuti prodotti.
- Nella fase di estrazione, gli impatti maggiori sono causati dalle polveri minerali di minerali ausiliari indesiderati, come la silice o l'amianto.
- La contaminazione atmosferica da metalli pesanti e arsenico è principalmente causata da fonderie che rilasciano polvere o elementi contenenti metalli con basse temperature di vaporizzazione, come As, Pb, Zn o Hg.
- La contaminazione delle acque sotterranee può anche essere un grave problema in alcuni siti minerari e di lavorazione dei metalli

Impatto ambientale

- Anche **rock waste** e **tailings** intorno alle miniere possono essere problematici.
 - **rock waste** : lastre con concentrazioni di metalli troppo basse per essere sfruttate economicamente o che devono essere rimosse per accedere al corpo mineralizzato.
 - **tailings** : polveri derivanti dalla lavorazione dei minerali e contengono solo concentrazioni residue di metalli; sono reattivi a causa di precedenti lavorazioni chimiche e macinazioni.
- Lo sfruttamento di minerali sempre più «scadenti» porta ad un notevole aumento del volume sia dei rifiuti, le cui elevate superfici ne favoriscono la reattività durante l'esposizione alle acque correnti. Nel tempo, il deflusso dell'acqua ossida i minerali metallici e, quindi, mobilita i metalli pesanti, che possono diventare biodisponibili
- La contaminazione dell'ambiente da miniere "storiche" può potenzialmente avere un impatto su aree con una lunga storia mineraria quando non esisteva una regolamentazione ambientale. I siti abbandonati devono essere monitorati nel tempo.

Sostenibilità ambientale

- La sostenibilità di una determinata risorsa potrebbe essere potenzialmente migliorata utilizzando **tecnologie innovative di lavorazione dei minerali**, come l'idrometallurgia o altre tecniche di lavorazione a umido. Questo approccio consentirebbe estrazioni diverse e selettive dei vari metalli o minerali industriali presenti in un minerale, ottimizzando così l'uso della risorsa iniziale.
- Il **recupero dei sottoprodotti**: solo quando economicamente fattibile, cioè quando il prezzo dei metalli e dei minerali industriali è sufficientemente alto.

RISORSE E RICICLO

- Il **Riciclo** continua ad acquisire importanza con l'aumentare della domanda di materie prime/ risparmio energetico.
- Il riciclo (in senso lato, compreso il riutilizzo) è una componente importante dello sviluppo sostenibile.
- Elevati tassi di riciclo: elementi di transizione, come rame o ferro, nonché metalli preziosi, oro, metalli del gruppo del platino e argento relativamente facili da fondere e raffinare a causa della loro stabilità chimica.
- I tassi di riciclo di elementi rari - come REE, Zr e Ta - potrebbero continuare a essere disperatamente bassi (metalli utilizzati in quantità minime in telefoni cellulari, computer, pacchi batteria o celle a combustibile)
- ➡ dovrebbe essere un requisito includere il concetto di riciclo nella fase di progettazione dei moderni prodotti ad alta tecnologia per recuperare autentiche "materie prime secondarie" alla fine della vita di un prodotto.

TABLE 1 RECYCLING RATES FOR SELECTED METALS. Base metals and precious metals have a recycling rate of over 50%, but among the 'Others' category would be the rare-earth elements. DATA FROM UNEP (2011)

> 50%	Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Al, Nb, Rh, Pd, Ag, Sn, Re, Pt, Au, Pb
> 25–50%	Mg, Mo, Ir
> 10–25%	Ru, Cd, W
1–10%	Sb, Hg
< 1%	Others

RISORSE E RICICLO

VETRO

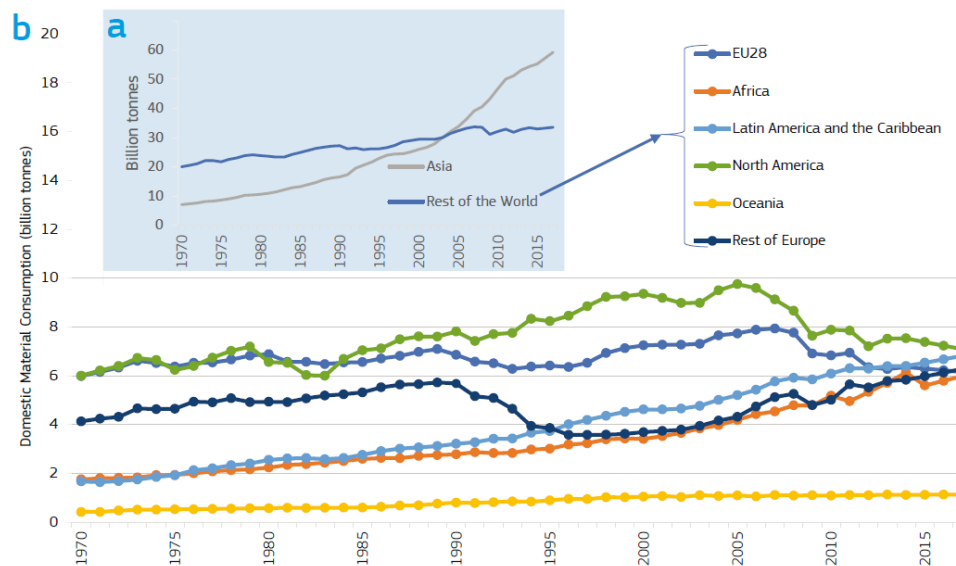
- 28 paesi dell'Unione europea (UE): vetro → tasso di riciclo medio del 70% (superiore al 90% in alcuni paesi) → risparmio energetico e di materie prime.
- il vetro riciclato → vetro di bassa qualità (vetro da imballaggio o per aggregati nell'industria edile)

ALLUMINIO

- Al riciclato rispetto alla produzione totale di alluminio dal 19% nel 1950 al 36% nel 2014 (produzione globale di alluminio aumentata da 1,5 Mt a 49 Mt durante questo lasso di tempo)
- Le proiezioni per la produzione di alluminio nel 2020 prevedono un tasso di riciclaggio del 40% per una produzione globale di 70 Mt, condividendo il carico con i minerali di alluminio primari in questa produzione di alluminio in rapido aumento.

RISORSE PER IL FUTURO

- Cina rapida industrializzazione e urbanizzazione: fabbisogno di materie prime come acciaio e cemento



Consumo di materiale per regione (1970-2017):

- mostra il consumo di materiale dall'Asia e dal resto del mondo;
- mostra il consumo di materiale dell'UE, dell'Africa, di altri paesi europei, dell'Oceania, dell'America Latina e dei Caraibi e del Nord America.

RISORSE PER IL FUTURO

2,692 lbs.
BAUXITE (ALUMINUM)

11,614 lbs.
CLAYS

21,645 lbs.
IRON ORE

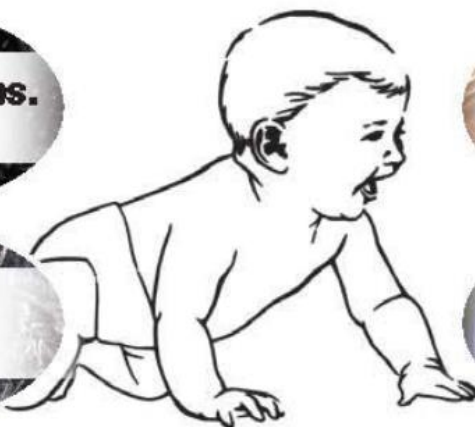
13,231 lbs.
PHOSPHATE ROCK

Every American Born Will Need...
3.19 MILLION POUNDS
of minerals, metals, and fuels in their lifetime

282,444 lbs.
COAL

871 lbs.
LEAD

30,091 lbs.
SALT



1.42M lbs.
STONE, SAND
& GRAVEL

950 lbs.
COPPER

7.97 million cu. ft.
NATURAL GAS

502 lbs.
ZINC

53,847 lbs.
CEMENT

1.54 Troy oz.
GOLD

75,114 gallons
PETROLEUM

+58,767 lbs.
OTHER MINERALS/
METALS

RISORSE PER IL FUTURO

China used more cement in the last three years than the U.S. used in the entire 20th century.

U.S.
in 100 years



4.5 gigatons
[1901-2000]

CHINA
in 3 years



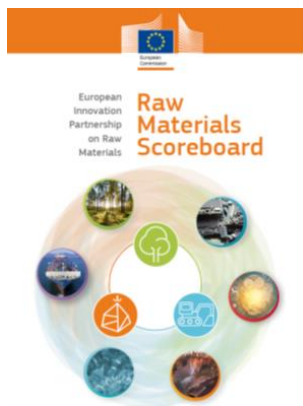
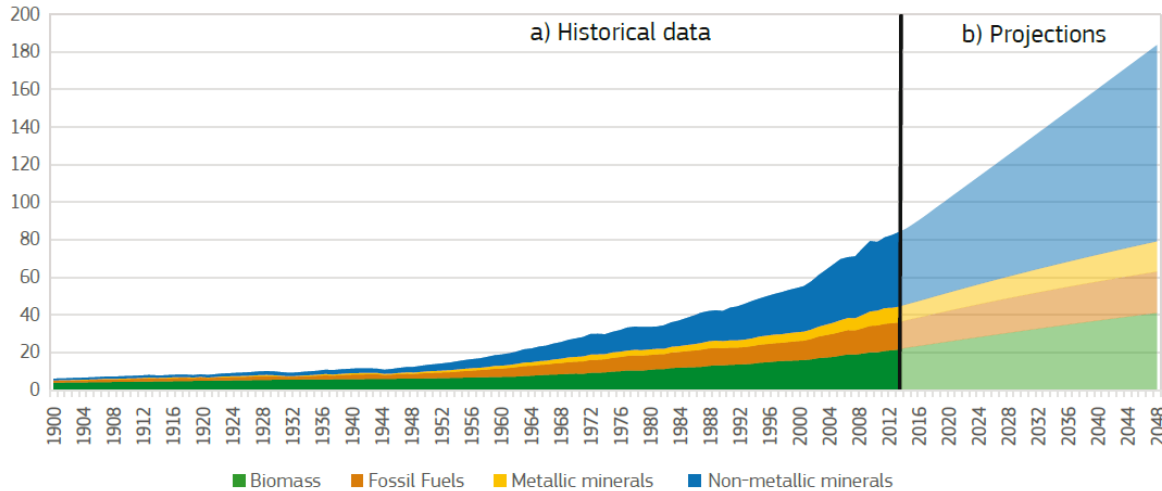
6.6 gigatons
[2011-2013]

SOURCES: USGS, Cement Statistics 1900-2012; USGS, Mineral Industry of China 1990-2013

RISORSE PER IL FUTURO

- Come conseguenza dell'aumento della popolazione e della riduzione della povertà, illustrate da "“Nearly 1 billion people taken out of extreme poverty in 20 years” (The Economist 2013), ci sarà un inevitabile aumento della produzione di materie prime minerali per far fronte all'aumentata necessità di una migliore qualità della vita

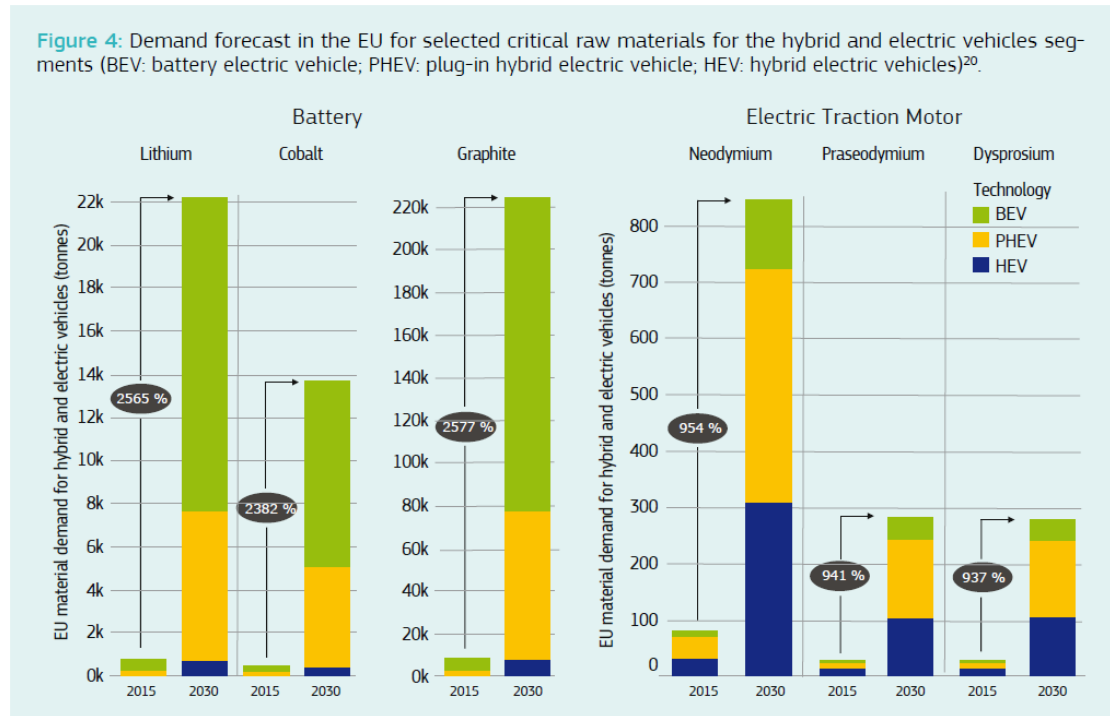
Figure 2: Global material extraction by resource type: a) historical (world, 1900-2015) and b) projected data (world, 2015-2050)¹⁰.



Raw materials scoreboard (EU)

RISORSE PER IL FUTURO

I maggiori aumenti nella produzione globale di risorse minerali nel prossimo futuro saranno per gli elementi necessari per **le tecnologie a basse emissioni di carbonio** (ad esempio energia eolica, celle solari fotovoltaiche, generazione di elettricità) e mobilità a basse emissioni di carbonio (mobilità elettrica). Alcuni degli elementi necessari per tutte queste tecnologie includono **disprosio, cromo, cobalto, gallio, indio, neodimio e silicio**.



CRITICAL RAW MATERIALS

- Giacimenti limitati/estrazione problematica
- Tassi di riciclo bassi
- Rischio di fornitura elevato

“materie prime critiche”

Il concetto di "criticità" viene solitamente calcolato da una combinazione di:

- importanza economica delle materie prime,
- la difficoltà di sostituire un'altra materia prima,
- il rischio di fornitura

(European Commission 2014- British Geological Survey 2015)

Poiché molti di questi metalli critici sono utilizzati in tecnologie green, sembra opportuno cercare di garantire che la loro produzione non danneggi di per sé l'ambiente, e persone che le producono → [Estrazione responsabile](#)

CRITICAL RAW MATERIALS

Criticality Matrix

Figure 1. Short-Term (0–5 years) Criticality Matrix

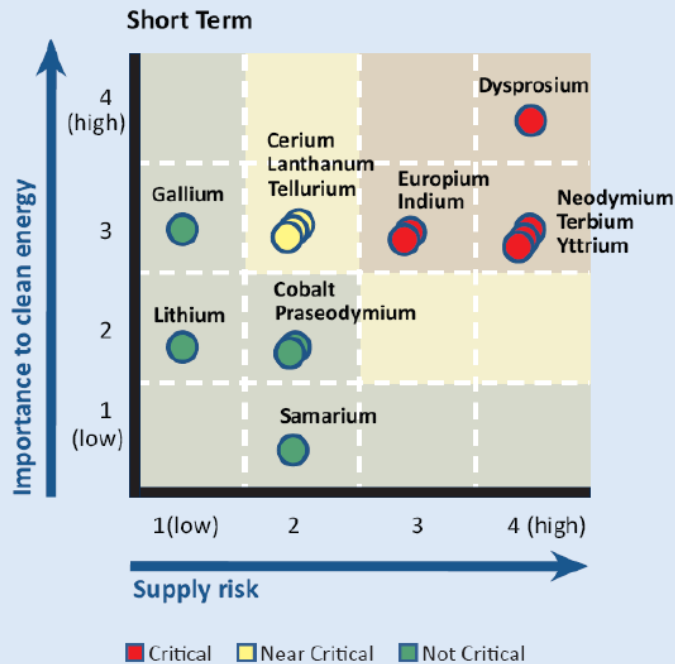
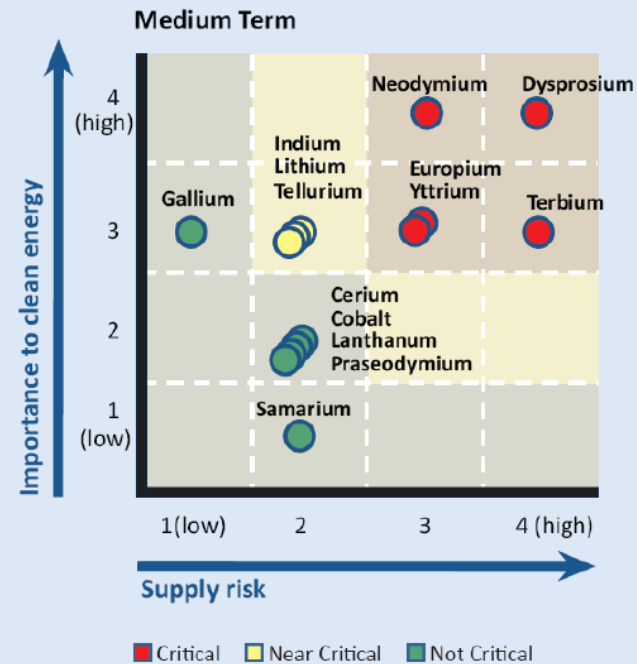


Figure 2. Medium-Term (5–15 years) Criticality Matrix

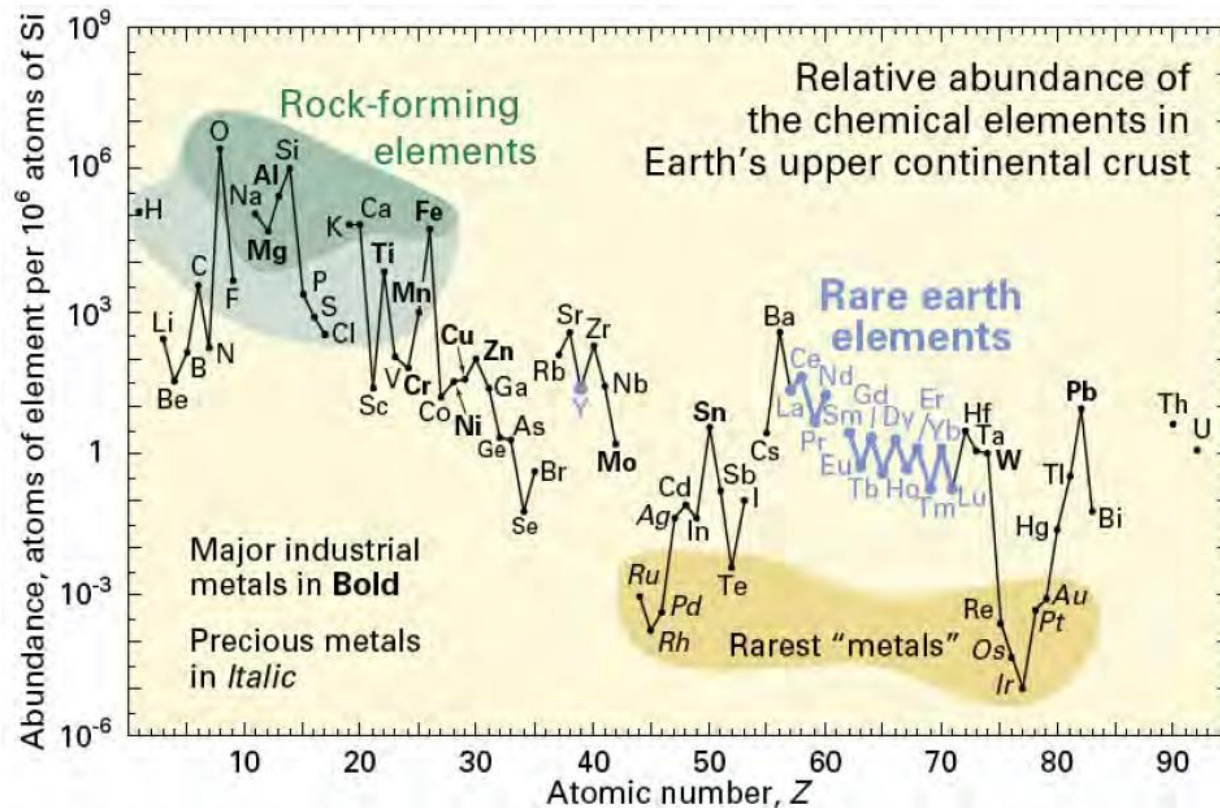


REE

- Il termine REE è utilizzato principalmente in chimica come sinonimo della serie dei lantanidi.
- Questi elementi hanno proprietà fisico-chimiche simili, che cambiano periodicamente con il numero atomico
- Il termine "terre rare" è fuorviante, in quanto non si riferisce alla loro abbondanza nella crosta terrestre, ma dalla limitata disponibilità dei minerali in cui sono presenti, spesso in bassa quantità.
- Quasi tutti gli elementi delle terre rare (REE) nella crosta terrestre sono più abbondanti dell'oro, dell'argento o del platino, mentre il cerio (Ce) è il più abbondante di tutte le REE ed è più comune nella crosta terrestre del rame o del piombo.
- Le REE non si presentano come metalli nativi e si trovano (solitamente associati) in una varietà di minerali accessori (fosfati, carbonati, fluoruri e silicati).
- Nonostante l'abbondanza di oltre 200 minerali noti che contengono REE, solo tre di essi sono considerati i principali minerali REE sfruttabili per l'estrazione : bastnäsite $[(Ce, La) (CO_3) F]$, xenotime (YPO_4) e monazite $[(Ce, La) PO_4]_2$.

REE

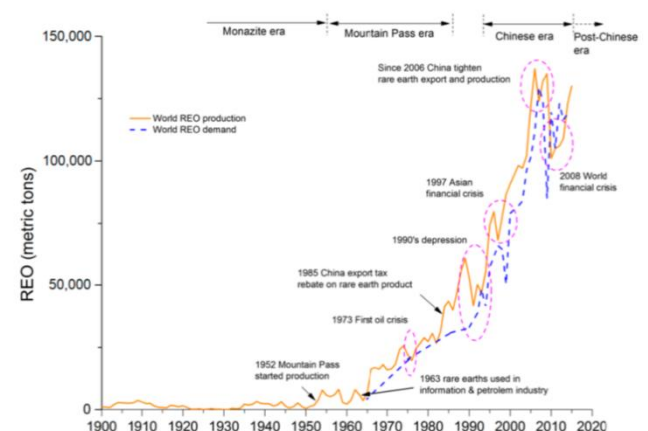
Abundance



Ref [23]

REE

- Gli elementi delle terre rare (REE) furono scoperti per la prima volta nel 1788
- Tra gli anni '50 e il 1960 la produzione e il consumo annuo globale di REE era inferiore a 5000 tonnellate e solo poche miniere erano in funzione in Sud Africa, India e Brasile.
- Dagli anni '60, le applicazioni delle terre rare si sono gradualmente estese (schermi televisivi, industria petrolifera e sistemi informatici) → aumento della produzione e del consumo di REE globali.
- Tra gli anni '60 e '80, il complesso Mountain Pass in California è diventato il più grande produttore mondiale fino al 2002 (chiusura).
- Successivamente, la Cina ha iniziato la produzione su larga scala. Attualmente, è il produttore mondiale di elementi delle terre rare che producono circa il 97% dell'offerta mondiale totale.



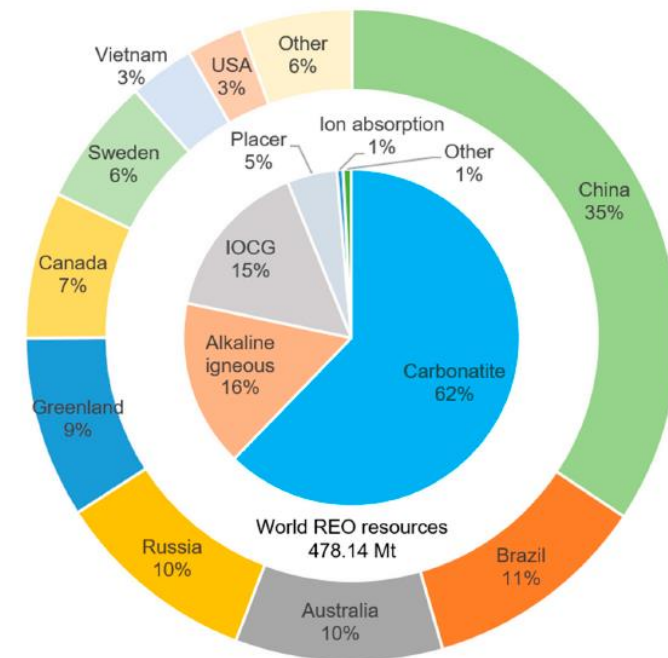
DEPOSITI DI REE

- I dati pubblicati riportano un totale di 478 Mt (mega tons) di REO (Rare Earth Oxides) in:

- ✓ Cina (164 Mt),
- ✓ Brasile (55 Mt),
- ✓ Australia (49 Mt),
- ✓ Russia (48 Mt),
- ✓ Groenlandia (43 Mt),
- ✓ 119 Mt spread in Canada, Svezia, USA, Vietnam (Figure 1)

Si tratta di depositi di carbonatite, rocce ignee alkaline, depositi iron-oxide copper-gold (IOCG), depositi “ion adsorption” types

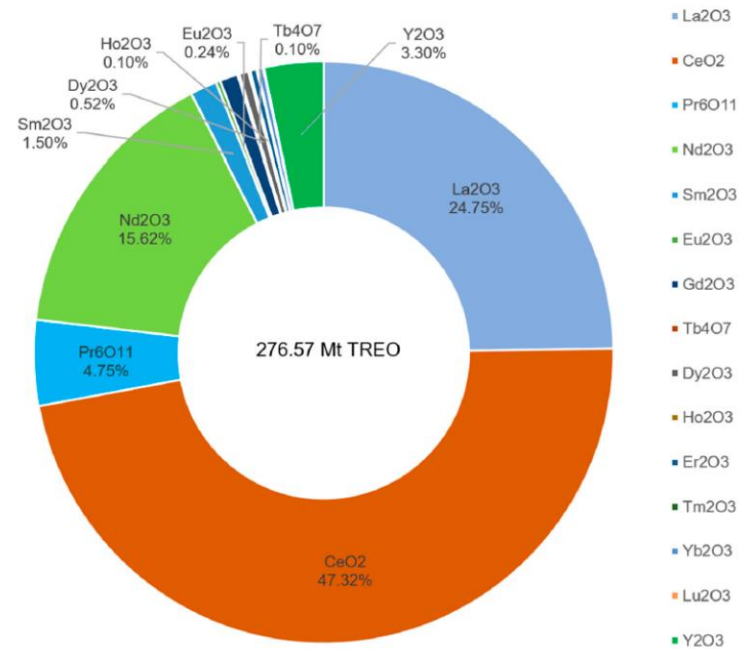
- Queste risorse potrebbero fornire REE per 100 anni all’attuale tasso di produzione (130 kt REO)



ABBONDANZA DI REE

Tenuto conto dei 59 giacimenti di REE, dei 178 in esercizio nel mondo, che rappresentano il 58% delle risorse totali e sono giunti ad uno stadio avanzato (in fase di esplorazione e di valutazione economica), si può dedurre che:

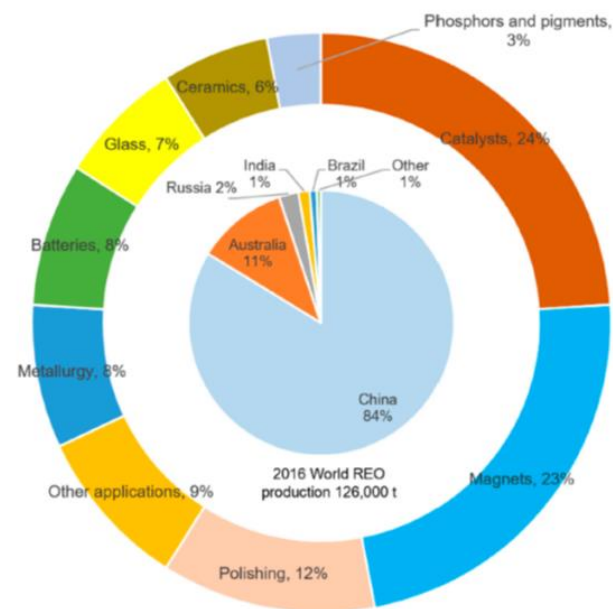
Ce il più abbondante (130 Mt),
La (68 Mt),
Nd (43 Mt),
Pr (13 Mt)
Y (9 Mt)



SFRUTTAMENTO DI REE

Le REE sono ora ampiamente utilizzate in automotive, nei catalizzatori, metallurgia, sistemi medici, alta tecnologia, energia pulita e sistemi di difesa militare e sono particolarmente indispensabili nelle tecnologie energetiche green, come turbine eoliche, veicoli elettrici, a basso consumo energetico, illuminazione e convertitori catalitici.

Nel 2016 la produzione globale di REE è stata di 126.000 tonnellate di REO, che comprendeva principalmente Cina (85%) e Australia (10%), e il resto distribuito tra Malesia, Brasile, India, Russia e Vietnam. Inoltre, una notevole produzione illegale viene effettuata principalmente nella Cina meridionale. Sebbene non sia possibile presentare uno schema uniforme, si stima che la produzione illegale raggiunga il 20% della produzione legale in Cina.



Lanthanum Uses

- ◆ Toyota's Prius hybrid car contains about 10 pounds of lanthanum.
- ◆ The car's battery is nickel-metal hydride, where the "metal" is lanthanum.
- ◆ Nickel-lanthanum hydride batteries are about twice as efficient as the standard lead-acid car battery.
- ◆ Toyota's Prius represents 8 percent of their production.
- ◆ With other hybrid cars and the batteries used in small mopeds in China, there's not enough lanthanum on the market today.



Slide 9

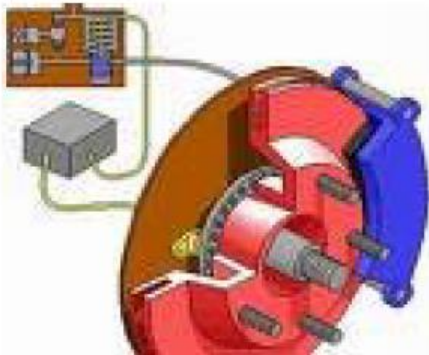


NiMH battery

EWI

Neodymium (Nd)

- ◆ Strong but small permanent magnets and capacitors:
- ◆ Cell phones
- ◆ Portable CD players
- ◆ Laptop computer hard drives
- ◆ ABS brakes
- ◆ Air bags
- ◆ Anti-glare glass and mirrors



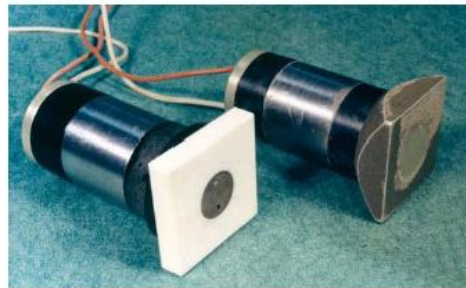
Terbium Uses

Component of Terfenol-D (an alloy that expands and contracts when exposed to magnetic fields more than any other alloy)

- ◆ Actuators for military systems
- ◆ Sonar systems
- ◆ Transducers for oil & gas production
- ◆ Dopant in solid-state devices
- ◆ Crystal stabilizer for fuel cells
- ◆ Phosphors combined with europium for indoor lighting



Slide 11



Terfenol-D actuators



Oil field transducer

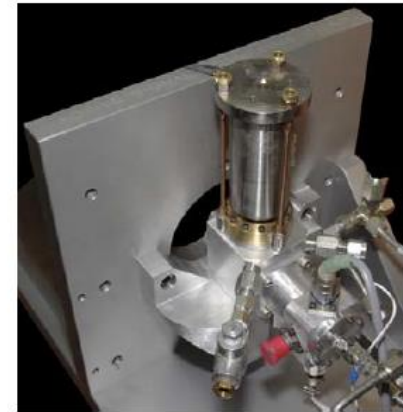
EWI

Dysprosium Uses

- ◆ Replaces up to 6% of neodymium in NdFeB magnets to increase:
 - Magnetic strength,
 - Corrosion resistance, and
 - High temperature performance.
- ◆ Dysprosium is one of the components of Terfenol-D, along with iron and terbium. Used in:
 - Transducers
 - Wide-band mechanical resonators, and
 - High-precision liquid fuel injectors, hydraulic pumps.



Slide 10



Hydraulic pump

Europium (Eu)



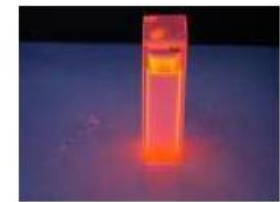
Red phosphor



CFL bulbs



Plasma TVs



Bio tracer

- ◆ Essential as the red phosphor for plasma color televisions and computer screens
- ◆ Phosphor in fluorescent lighting
- ◆ Fluorescent properties enable use as a bio-tag material during living tissue research.

Yttrium Y



Yttria-stabilized zirconia oxygen sensors



Nd:YAG laser rods



Yttrium-iron-garnet (YIG) crystals

- ◆ Yttria-stabilized zirconia ceramics used to make oxygen sensors for controlling fuel combustion in automobiles
- ◆ Microwave communication devices for defense and satellite industries
- ◆ Yttrium Iron Garnets (YIG) are used as resonators for use in frequency meters, magnetic field measurement devices, tunable transistors and Gunn oscillators.
- ◆ Stabilizer, crucibles, and mold former for casting light-weight titanium jet engine turbine parts and rocket nose cones



Tunable oscillator



Erbium (Er)

- ◆ Nearly only way to make a stable pink glass and used for sunglasses and decorative glass
- ◆ Added to optical fibers to amplify light pulses
- ◆ Used as the gain medium in lasers for dental and skin surgeries, because of low heat generation



Fiber optic communication systems



Slide 14 *Erbium added to glass for stable pink*



Er:glass fiber fractional laser system for dermal surgery.

Ref [x]

EWI.

ESTRAZIONE DI REE

- L'estrazione di REE dai minerali è impegnativa a causa della complessa mineralogia e della costosa lavorazione.
- REE generalmente non sono concentrate in quantità economicamente sostenibili
- Avendo raggi ionici simili sono difficili da estrarre, separare e recuperare
- Sono normalmente associate a Th e U, rendendo lo sfruttamento dei depositi REE pieno di problematiche ambientali.
- Per questo motivo, il recupero dei minerali delle terre rare deve essere realizzato attraverso complessi metodi di lavorazione
- I minerali contenenti REE hanno proprietà strutturali e chimiche che non facilitano la loro separazione dai minerali ganga (ad esempio, carbonati, fosfati, silicati, ecc.).
- Elevati livelli di consumo di acqua, input di energia e utilizzo di sostanze chimiche.

MASSIMIZZARE IL RICICLO