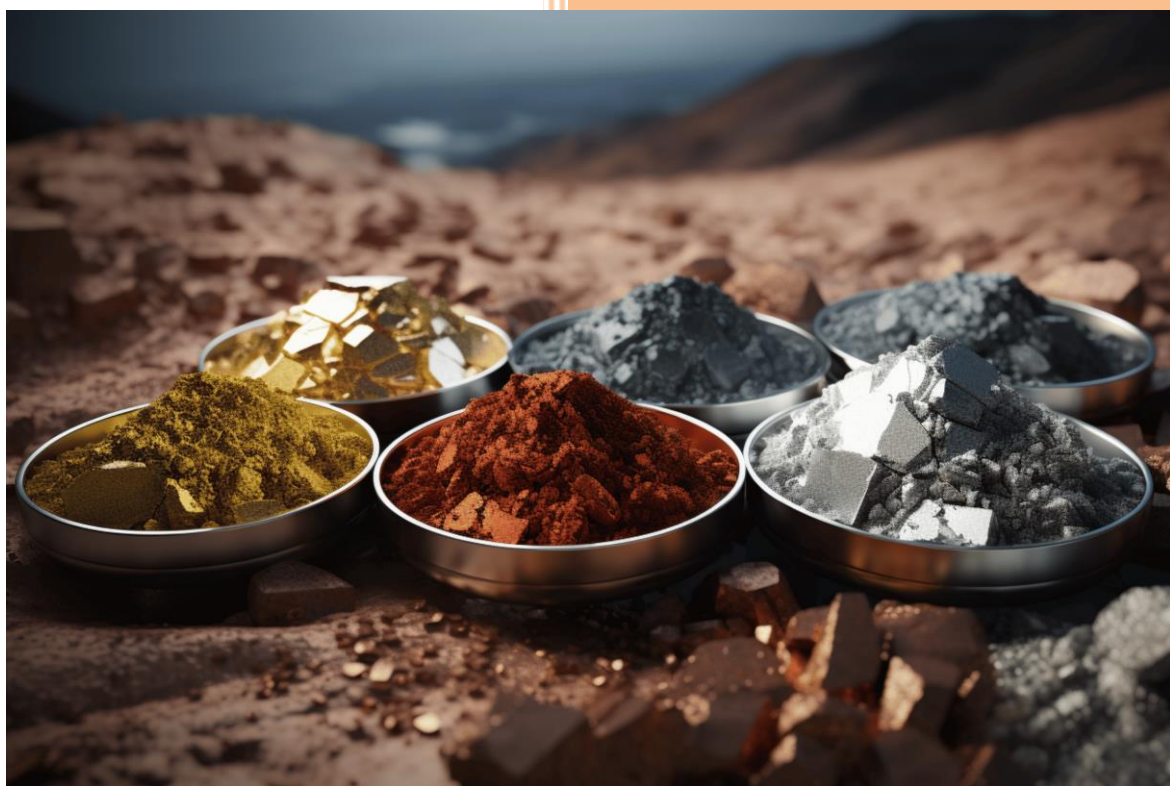


LE TERRE RARE



Giuseppe Buzzanca

2026

LE TERRE RARE

Il termine “terre” deriva dalla loro somiglianza con l’alluminio, il cui ossido veniva storicamente considerato una terra, mentre l’aggettivo “rare” fa riferimento alla loro presunta scarsità in natura. Oggi si sa, invece, che alcuni di questi elementi sono relativamente abbondanti: ad esempio, il cerio (circa 0,004% nella crosta terrestre) presenta un’abbondanza paragonabile a quella di stagno e cobalto, mentre ittrio, neodimio e lantanio risultano addirittura più abbondanti del piombo.

Le terre rare si trovano in concentrazioni significative nelle sabbie monazitiche, derivate dal minerale *monazite*, un fosfato contenente torio e terre rare. I giacimenti storicamente più importanti di tali depositi sono localizzati nella penisola scandinava.

Dal punto di vista chimico, questi elementi presentano tutti un carattere basico, superiore a quello dell’alluminio e crescente lungo la serie Scandio, Ittrio, Lantanio, Attinio.

Le terre rare sono un gruppo di 17 elementi chimici, composto dai 15 lantanoidi¹ (con numero atomico da 57 a 71) più scandio e ittrio. Questi elementi sono fondamentali per le tecnologie moderne e svolgono un ruolo chiave nella transizione energetica, nella produzione di magneti permanenti, nell’elettronica e nei veicoli elettrici.

Tavola periodica degli elementi

1 H Idrogeno																	2 He Elio														
3 Li Litio	4 Be Berillio											5 B Boro	6 C Carbonio	7 N Azoto	8 O Ossigeno	9 F Fluoro	10 Ne Neon														
11 Na Sodio	12 Mg Magnesio											13 Al Alluminio	14 Si Silicio	15 P Fosforo	16 S Zolfo	17 Cl Cloro	18 Ar Argon														
19 K Potassio	20 Ca Calcio	21 Sc Scandio	22 Ti Titanio	23 V Vanadio	24 Cr Cromo	25 Mn Manganese	26 Fe Ferro	27 Co Cobalto	28 Ni Nichel	29 Cu Rame	30 Zn Zinco	31 Ga Gallio	32 Ge Germanio	33 As Arsenico	34 Se Selenio	35 Br Bromo	36 Kr Cripton														
37 Rb Rubidio	38 Sr Stronzio	39 Y Ittrio	40 Zr Zirconio	41 Nb Niobio	42 Mo Molibdeno	43 Tc Tecnicio	44 Ru Rutenio	45 Rh Rodio	46 Pd Palladio	47 Ag Argento	48 Cd Cadmio	49 In Indio	50 Sn Stagno	51 Sb Antimonio	52 Te Tellurio	53 I Iodio	54 Xe Xenon														
55 Cs Cesio	56 Ba Bario	57 La Lantanio	58 Ce Cerio	59 Pr Praseodimio	60 Nd Neodimio	61 Pm Promezio	62 Sm Samario	63 Eu Europio	64 Gd Gadolinio	65 Tb Terbio	66 Dy Disprosio	67 Ho Osmio	68 Er Erbio	69 Tm Tulio	70 Yb Ytterbio	71 Lu Lutezio	72 Hf Hafnio	73 Ta Tantalio	74 W Tungsteno	75 Re Reniio	76 Os Osmio	77 Ir Iridio	78 Pt Platino	79 Au Oro	80 Hg Mercurio	81 Tl Tallio	82 Pb Piombo	83 Bi Bismuto	84 Po Polonio	85 At Astatio	86 Rn Radon
87 Fr Francio	88 Ra Radio	89 Ac Attinio	90 Th Torio	91 Pa Protattinio	92 U Uranio	93 Np Neptunio	94 Pu Plutonio	95 Am Americio	96 Cm Curio	97 Bk Berkelio	98 Cf Californio	99 Es Einsteinio	100 Fm Fermio	101 Md Mendelevio	102 No Nobelio	103 Lr Lawrencio	104 Rf Rutherfordio	105 Db Dubnio	106 Sg Seaborgio	107 Bh Bohrio	108 Hs Hassium	109 Mt Meitnerio	110 Ds Darmstadtio	111 Rg Roentgenio	112 Cn Copernicio	113 Nh Nihonio	114 Fl Flerovio	115 Uup Ununpentio	116 Lv Livermorio	117 Uus Ununseptio	118 Uuo Ununoctio

Gli elementi delle terre rare [evidenziate in rosso] includono:

Scandio (Sc), Ittrio (Y), Lantanio (La), Cerio (Ce), Praseodimio (Pr), Neodimio (Nd), Promezio (Pm), Samario (Sm), Europio (Eu), Gadolinio (Gd), Terbio (Tb), Disprosio (Dy), Olmio (Ho), Erblio (Er), Tulio (Tm), Itterbio (Yb) e Lutezio (Lu).

In base al peso atomico, le terre rare si suddividono in:

Terre rare leggere (LREE): dal Lantanio al Samario

Terre rare pesanti (HREE): dall’Europio al Lutezio, più l’Ittrio

Le terre rare iniziano a essere conosciute alla fine del XVIII secolo, con la scoperta del minerale nero *ytterbite* (oggi noto come *gadolinite*) da parte del chimico svedese Carl Axel Arrhenius nel 1787, in una cava situata nel villaggio di Ytterby, in Svezia.

La classificazione delle *Rare Earth Elements* (REE) viene generalmente effettuata in base al peso atomico, ma può risultare incoerente tra diversi autori. Una delle suddivisioni più comunemente adottate distingue le REE in tre gruppi principali:

Terre rare leggere (LREE): dal Lantanio (La, Z = 57) al Neodimio (Nd, Z = 60)

Terre rare intermedie (MREE): dal Samario (Sm, Z = 62) all’Olmio (Ho, Z = 67)

Terre rare pesanti (HREE): dall’Erbio (Er, Z = 68) al Lutezio (Lu, Z = 71)

Dal punto di vista chimico, le REE si presentano generalmente come ioni trivalenti (REE^{3+}). Fanno eccezione il Cerio e l’Europio, che possono assumere rispettivamente gli stati di ossidazione Ce^{4+} ed Eu^{2+} .

A differenza dell’Ittrio, i lantanoidi sono caratterizzati dal progressivo riempimento dell’orbitale *4f*. Tale orbitale non è quello più esterno e, di conseguenza, gli elettroni *4f* non partecipano direttamente ai legami chimici, non rientrando tra gli elettroni di valenza. Questi ultimi sono invece rappresentati dai due elettroni dell’orbitale *6s* e dal singolo elettrone dell’orbitale *5d*.

Questa configurazione elettronica è ben evidenziata dalla funzione di distribuzione radiale degli elettroni attorno al nucleo dei lantanoidi per i diversi orbitali esterni. Da tale funzione emerge chiaramente che l’orbitale *4f* risulta più

¹ In passato si chiamavano lantanidi, termine coniato da Victor Moritz Goldschmidt nel 1925.

interno e maggiormente schermato rispetto agli orbitali $6s$ e $5d$, i quali si estendono a distanze maggiori dal nucleo. Questo comportamento non si applica all'Ittrio, poiché tale elemento non possiede elettroni negli orbitali $4f$, presentando quindi una struttura elettronica differente rispetto ai lantanoidi.

Da queste caratteristiche elettroniche deriva una marcata somiglianza nella reattività chimica dei lantanoidi, che si manifesta in un comportamento geochimico seriale dell'intera serie, piuttosto che in proprietà distintive riconducibili ai singoli elementi.

Questi elementi formano un gruppo a sé poiché sono caratterizzati dal progressivo inserimento dei 14 elettroni $4f$, i quali esercitano un'influenza molto limitata sugli elettroni di valenza. L'aumento della carica nucleare lungo la serie, dal Lantanio ($Z = 57$) al Lutezio ($Z = 71$), non essendo completamente schermato dagli elettroni $4f$, determina una progressiva contrazione degli orbitali elettronici esterni. Di conseguenza, il raggio degli ioni trivalenti diminuisce gradualmente di circa il 25% passando dal Lantanio al Lutezio, fenomeno noto come *contrazione lantanoidea*.

Tale variazione strutturale influisce direttamente sulle proprietà chimiche dei lantanoidi: la basicità degli ossidi, che dipende dal rapporto raggio/carica del catione, diminuisce regolarmente lungo la serie. Si passa così dall'ossido di Lantanio, fortemente basico e capace di reagire con l'acqua con intenso sviluppo di calore, all'ossido di Lutezio, che risulta solo lievemente più basico dell'allumina.

La *contrazione lantanoidea* ha importanti conseguenze anche sugli elementi che seguono i lantanoidi nella tavola periodica. In generale, all'interno di una stessa famiglia o sottogruppo (ad esempio As-Sb-Bi oppure K-Rb-Cs), i raggi atomici aumentano con l'aumentare del numero atomico. Ciò avviene perché, passando da un elemento al successivo, gli elettroni vanno a occupare orbitali progressivamente più esterni.

Nel caso dei lantanoidi, tuttavia, il passaggio dal Lantanio al Lutezio è accompagnato da una contrazione del raggio atomico, dovuta all'incompleto effetto schermante degli elettroni $4f$. Di conseguenza, l'elemento che segue immediatamente il Lutezio, ovvero l'Afnio, presenta un raggio atomico inferiore rispetto a quello che ci si aspetterebbe in assenza del riempimento degli orbitali $4f$.

Lantanio e Lantanoidi

Numero atomico (Z)	Elemento e simbolo	Massa atomica	Raggio ione Me^{3+}	Punto fusione. ($^{\circ}C$)
57	Lantanio - La	138,91	1,16	920 $^{\circ}$
58	Cerio - Ce	140,12	1,14	804 $^{\circ}$
59	Praseodimio - Pr	140,907	1,12	935 $^{\circ}$
60	Neodimio - Nd	144,24	1,10	1024 $^{\circ}$
61	Promezio - Pm	---	1,08	1035 $^{\circ}$
62	Samario - Sm	150,35	1,07	1072 $^{\circ}$
63	Europio - Eu	151,96	1,05	826 $^{\circ}$
64	Gadolinio - Gd	157,25	1,03	1312 $^{\circ}$
65	Terbio - Tb	158,974	1,02	1356 $^{\circ}$
66	Disprosio - Dy	162,50	1,00	1407 $^{\circ}$
67	Olmio - Ho	164,930	0,99	1461 $^{\circ}$
68	Erbio - Er	167,26	0,98	1497 $^{\circ}$
69	Tulio - Tm	168,934	0,96	1450 $^{\circ}$
70	Itterbio - Yb	173,04	0,96	824 $^{\circ}$
71	Lutezio - Lu	174,97	0,93	1652 $^{\circ}$

Un'ulteriore conseguenza della *contrazione lantanoidea* riguarda la basicità dello Scandio e dell'Ittrio in relazione ai lantanoidi. Lo Scandio risulta essere l'elemento meno basico dell'intero sottogruppo.

L'Ittrio, invece, occupa una posizione intermedia: se si considera il solo Lantanio come rappresentativo del gruppo dei lantanoidi, esso si colloca tra Scandio e Lantanio in termini di basicità. Tuttavia, prendendo in esame tutti i lantanoidi, l'Ittrio si posiziona all'undicesimo posto, risultando meno basico dei dieci elementi compresi tra Lutezio ed Europio.

Di conseguenza, nei processi di separazione delle terre rare, che si basano su sottili differenze di proprietà chimiche legate alla basicità, l'Ittrio si comporta in modo analogo agli elementi compresi tra Europio e Neodimio, collocandosi tra questi nella sequenza di separazione.

In passato, la separazione delle terre rare rappresentava una delle operazioni più complesse della chimica inorganica. I metodi allora disponibili si basavano principalmente sulle differenze di solubilità e sulla stabilità termica dei sali; tuttavia, l'ottenimento di pochi grammi di un composto anche solo parzialmente puro di un singolo elemento richiedeva il trattamento di grandi quantità di materiale di partenza e l'esecuzione di migliaia di operazioni di frazionamento.

Il loro impiego industriale, di conseguenza, è rimasto a lungo molto limitato, fino allo sviluppo di tecniche di

separazione efficienti quali lo scambio ionico, la cristallizzazione frazionata e l'estrazione liquido-liquido, introdotte tra la fine degli anni Cinquanta e l'inizio degli anni Sessanta.

Oggi, invece, la separazione viene effettuata facendo passare una soluzione contenente la miscela dei diversi metalli, complessati da opportuni agenti chelanti (ad esempio sotto forma di citrati), attraverso resine a scambio cationico. L'impiego di colonne di elevata altezza consente di ottenere una separazione relativamente efficiente di tutti i diversi elementi delle terre rare.

Allo stato metallico, gli elementi di questo sottogruppo si presentano come metalli argentei, generalmente duri e facilmente ossidabili in presenza di aria umida. Il calore di formazione dei loro ossidi è superiore a quello dell'Alluminio e i valori delle tensioni normali li collocano tra i metalli più elettropositivi.

Dal punto di vista chimico, i loro composti derivano quasi esclusivamente dallo stato di ossidazione trivalente e mostrano una notevole somiglianza con i composti dell'Alluminio. Le principali eccezioni a questo comportamento, come si è detto, si riscontrano nel Cerio e nell'Europio.

Il Cerio, primo elemento dopo il Lantanio, può infatti assumere il numero di ossidazione +4. La stabilità dello ione Ce^{4+} , isostero (stesso numero di elettroni) con La^{3+} , è attribuita alla sua configurazione elettronica a guscio chiuso, priva di elettroni $4f$.

L'Europio, che precede il Gadolinio, può invece formare lo ione Eu^{2+} , isostero con Gd^{3+} . La stabilità di questa specie è legata alla presenza di sette elettroni $4f$, corrispondenti a una configurazione semipiena degli orbitali $4f$, particolarmente favorevole dal punto di vista energetico.

Gli ioni con struttura elettronica completa, come Sc^{3+} , Y^{3+} , La^{3+} , Lu^{3+} e Ac^{3+} , sono incolori e diamagnetici. Al contrario, gli ioni con sottogruppo $4f$ incompleto risultano colorati e paramagnetici (tranne il Gd^{3+} che è incolore).

La nuova tecnologia non può fare a meno di queste terre, per cui c'è una ricerca dei minerali che le contengono in Africa e America latina. La Cina possiede i giacimenti più ricchi (oltre il 90% della produzione mondiale) seguita da Myanmar, Australia e Stati Uniti. Si pensa che anche in Groenlandia ci siano copiosi giacimenti, anche se risulta quasi impossibile estrarli per le note difficoltà climatiche. L'estrazione di questi minerali, rilasciano rifiuti tossici che, nelle zone non controllate, inquinano le falde acquifere a discapito delle popolazioni che vivono vicini alle miniere.

Ad esempio il Disprozio viene utilizzato nella costruzione di motori di veicoli ibridi, l'Erbio come elemento drogante per fibre ottiche (ha l'effetto di amplificazione dei segnali che passano nelle fibre ottiche).

Per quanto riguarda gli usi pratici, questi elementi si usano nei superconduttori, nei magneti, nella tecnologia laser, nei risonatori a microonde, come alliganti in numerose leghe metalliche, una lega ferro-cerio viene utilizzata come "pietra focaia" negli accenditori automatici, mentre gli ossidi trovano applicazione principalmente in ceramica, per ottenere diverse colorazioni, e come abrasivi speciali per la pulizia di materiali delicati, come il cristallo; mescolati al Tungsteno migliorano le proprietà alle alte temperature per saldature, rimpiazzando il Torio che è pericoloso da lavorare.