

Elementi del blocco f

La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Rf

Lantanide generico = Ln, $[\text{Xe}]4f^n6s^2$ (exc. Ce, Gd, Lu)

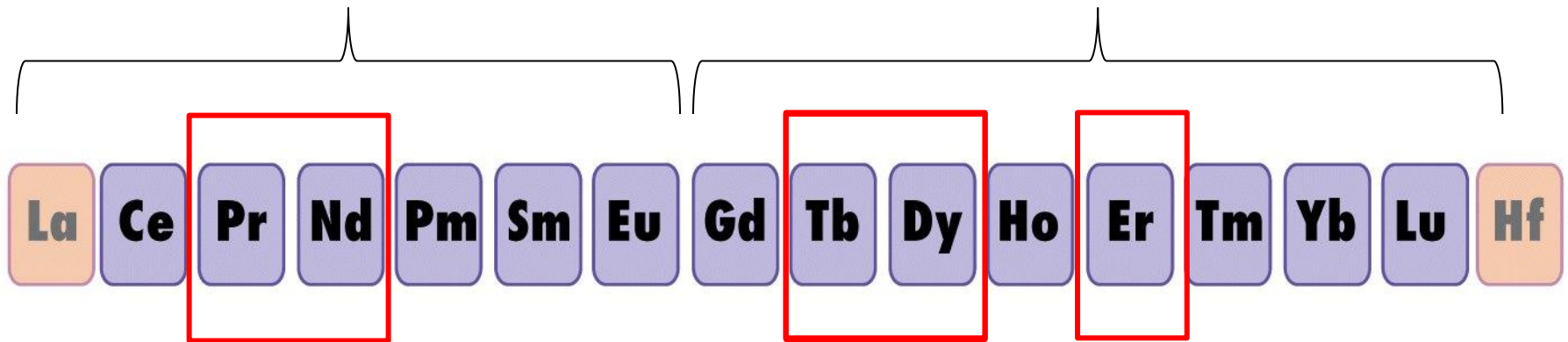
Attinide generico = An, $[\text{Rn}]5f^n7s^2$

Z	Nome	Simbolo	Configurazione elettronica	
			M	M ³⁺
57	Lantanio	La	[Xe]5d ¹ 6s ²	[Xe]
58	Cerio	Ce	[Xe]4f ¹ 5d ¹ 6s ²	[Xe]4f ¹
59	Praseodimio	Pr	[Xe]4f ³ 6s ²	[Xe]4f ²
60	Neodimio	Nd	[Xe]4f ⁴ 6s ²	[Xe]4f ³
61	Promezio	Pm	[Xe]4f ⁵ 6s ²	[Xe]4f ⁴
62	Samario	Sm	[Xe]4f ⁶ 6s ²	[Xe]4f ⁵
63	Europio	Eu	[Xe]4f ⁷ 6s ²	[Xe]4f ⁶
64	Gadolinio	Gd	[Xe]4f ⁷ 5d ¹ 6s ²	[Xe]4f ⁷
65	Terbio	Tb	[Xe]4f ⁹ 6s ²	[Xe]4f ⁸
66	Disprosio	Dy	[Xe]4f ¹⁰ 6s ²	[Xe]4f ⁹
67	Olmio	Ho	[Xe]4f ¹¹ 6s ²	[Xe]4f ¹⁰
68	Erbio	Er	[Xe]4f ¹² 6s ²	[Xe]4f ¹¹
69	Tulio	Tm	[Xe]4f ¹³ 6s ²	[Xe]4f ¹²
70	Itterbio	Yb	[Xe]4f ¹⁴ 6s ²	[Xe]4f ¹³
71	Lutezio	Lu	[Xe]4f ¹⁴ 5d ¹ 6s ²	[Xe]4f ¹⁴

Lantanidi e Terre Rare

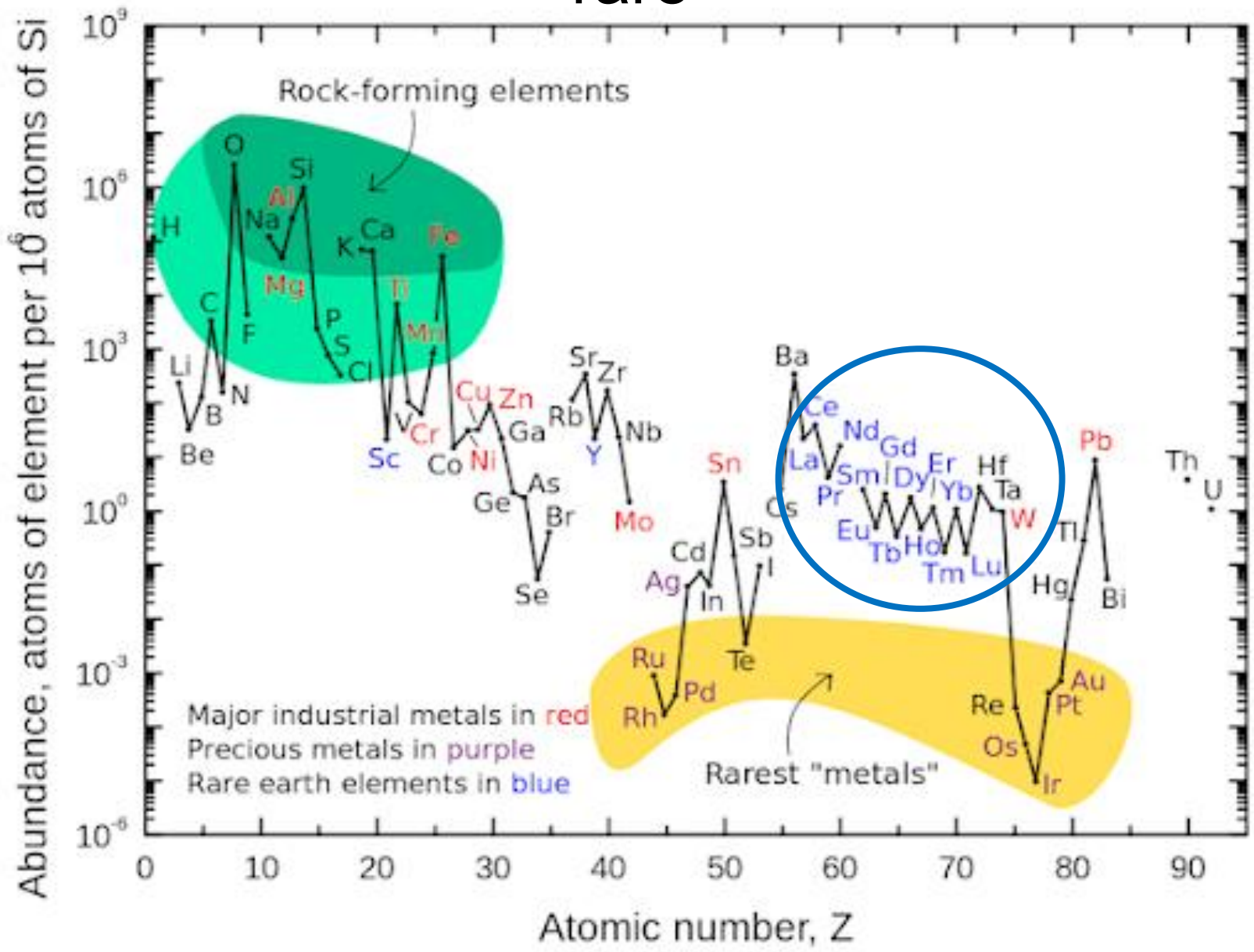
light

heavy

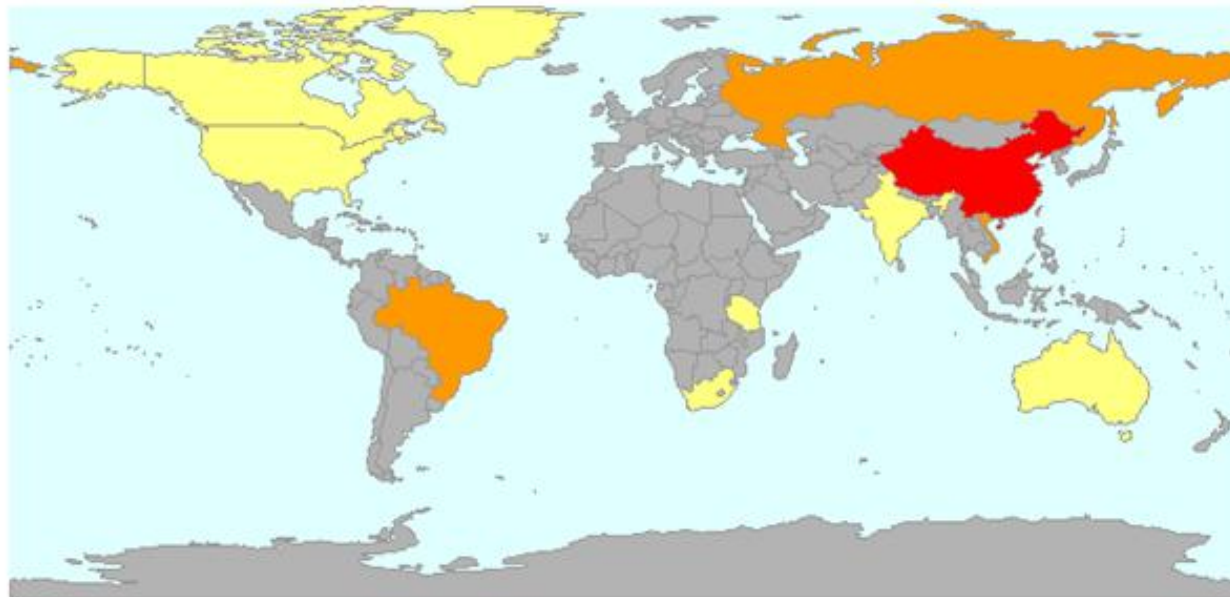


Le Terre Rare (*rare earth metals*, REM o RE) comprendono 17 elementi: 15 lantanidi La – Lu ($Z = 57-71$) + Sc ($Z = 21$) + Y ($Z = 39$)

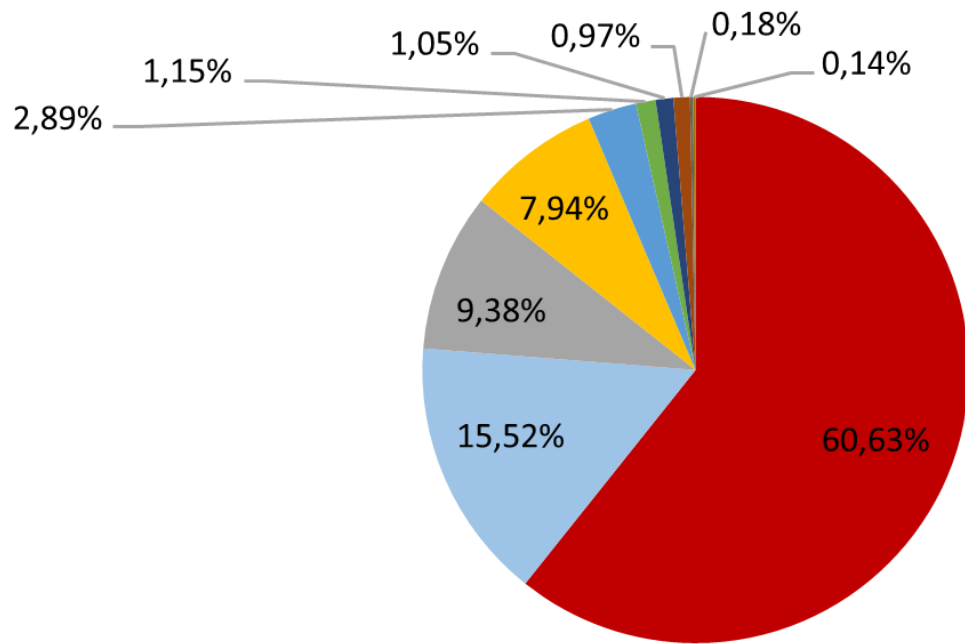
Le Terre Rare non sono terre e non sono (tanto) rare



Riserve di Terre Rare nel mondo (2021)



Lavorazione di Terre Rare nel mondo (2021)



Le terre rare 50 anni fa....

The classic quote on the limited nature of rare-earth metal chemistry comes from Understanding Chemistry by Pimentel and Spratley in 1971:

Lanthanum has only one important oxidation state in aqueous solution, the +3 state. With few exceptions, that statement tells the whole boring story about the other 14 elements.

.... the properties of adjacent elements were very similar and therefore thought to be “boring”.

Senkaku 2010: la crisi (locale) che ha trasformato le materie critiche

Quando, il **7 settembre 2010**, un peschereccio cinese entrò in collisione con due unità della **Japan Coast Guard** nelle acque contese attorno alle **Isole Senkaku**, la crisi sembrò dapprima limitata a una disputa territoriale ricorrente. Ma l'arresto del capitano scatenò una reazione destinata a rivelarsi decisiva: Pechino interruppe l'export verso il Giappone delle **terre rare**, materiali essenziali per l'elettronica, l'energia e l'automotive.

Al tempo dell'incidente, Tokyo dipendeva dal grande Paese vicino al di là del mare per quasi il **90 per cento delle importazioni** di questi elementi, fondamentali per magneti ad alte prestazioni, batterie, motori elettrici, sistemi di guida e sensori. Il blocco cinese durò settimane, ma i suoi effetti si protrassero per mesi: il prezzo delle terre rare aumentò fino a **dieci volte** nel giro di un anno, mettendo sotto pressione l'industria nipponica.

La Repubblica 22 maggio 2019

BUSINESS INSIDER
ITALIA

**Alla Cina sono bastate
due parole perché gli
Usa congelassero il
bando a Huawei: terre
rare**



**Terre rare: ecco la
minaccia 'fine di mondo'
della Cina che ha portato
all'immediato
congelamento del bando
Usa a Huawei**

2023

terre rare

L'Europa trova le terre rare, in Svezia

Scoperto a Kiruna un deposito di un milione di tonnellate di metalli

80

per cento

La quota di minerale di ferro prodotta dalla miniera Lkab di Kiruna destinata al mercato Ue

di **Francesca Basso**

DALLA NOSTRA INVIATA

KIRUNA «Il più grande deposito conosciuto di **terre rare** in questa parte del mondo». L'annuncio del maxi giacimento arriva dal ceo della so-



che l'industria Ue mantenga la leadership nella tecnologia verde messa a rischio dalla concorrenza Usa e cinese.

La Commissione Ue sta lavorando al *Critical Raw Materials Act*, una proposta di legge sulle materie prime critiche che dovrebbe aiutare a

L'iniziativa

di **Lorenzo Salvia**

Alla ricerca delle **terre rare** «Serve un'Autorità per il traffico subacqueo»

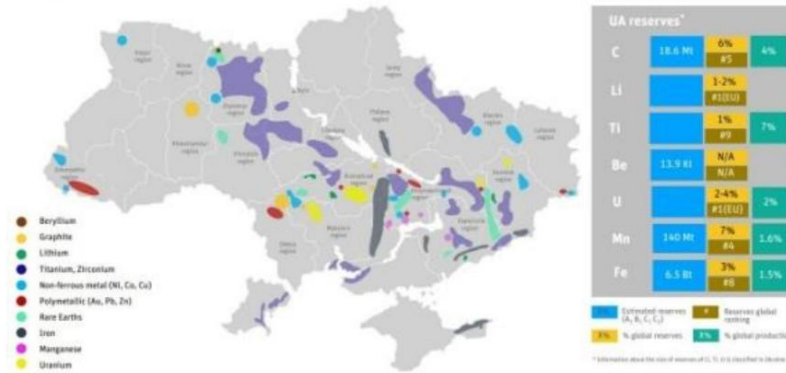
Violante e la proposta della Fondazione Leonardo

questa parte del pianeta ha dal punto di vista ambientale, economico, tecnologico e geostrategico. Una soluzione necessaria già oggi, secondo la Fondazione, visto il ruolo dell'Italia che nel Mediterraneo vede transitare il 20% del traffico marittimo mondiale, il 30% dei flussi di petrolio, il 65% del flusso energetico verso l'Unione europea.

Corriere della Sera 27 gennaio 2025

Ucraina, la corsa al nuovo oro: litio, titanio, uranio e grafite (a basso prezzo) piacciono a Trump

Map of Critical Raw Materials of Ukraine



Fonte: Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine

Corriere della Sera 3 febbraio 2025



Ucraina, Trump: «Terre rare in cambio degli aiuti». E Mosca chiede ancora elezioni a Kiev (per rimuovere Zelensky)



il futuro del Paese dopo la guerra prenderà forma attorno a tre grandi accordi da concludere con i governi occidentali. Il primo riguarda proprio il **titanio**, **l'uranio**, **la grafite**, **il litio**, **il berillio** e **le altre risorse strategiche di cui il Paese è ricco**. La

Corriere della Sera 24 febbraio 2025



MATERIE PRIME CRITICHE

Terre rare, cosa sono e perché i giacimenti dell'Ucraina fanno gola a Trump

di [Valentina Iorio](#)

In Ucraina si trovano 22 dei 50 materiali ritenuti critici dagli Stati Uniti e 20 delle 34 materie prime critiche per l'Ue

Corriere della Sera 4 aprile 2025

La Cina risponde a Trump: dazi del 34% e controllo su 7 prodotti, uno è il gadolinio «usato per le risonanze magnetiche»

di Paolo Salom

Pechino alza il livello della guerra commerciale e denuncia gli Stati Uniti al Wto. Controllo sull'export di 7 prodotti: uno, il gadolinio, è comunemente usato nelle risonanze magnetiche, mentre un altro, l'ittrio, è utilizzato nell'elettronica di consumo

Corriere della Sera 14 aprile 2025



Terre rare, la Cina sospende l'esportazione: danneggiate decine di produzioni tecnologiche, dalle auto (non solo elettriche) ai chip

Corriere della Sera 15 aprile 2025

Terre rare, perché lo stop della Cina mette l'Occidente all'angolo. «Un blocco totale? Come un'arma nucleare»

di Paolo Ottolina

La stretta di Pechino sul commercio di minerali strategici mette a rischio il futuro tecnologico dell'Occidente. Le prime scoperte sono state fatte in Europa, ma ora il Dragone ha il monopolio

Corriere della Sera 16 luglio 2025

Il Pentagono «nazionalizza» le terre rare: è la risposta alla Cina



di Federico Rampini | 16 luglio 2025

Il Pentagono entra in forze nel business delle terre rare e lo fa «nazionalizzando» la più grossa azienda domestica che estrae e raffina terre rare e minerali strategici. Questa mossa è funzionale a una strategia di lungo periodo, per ridurre la propria dipendenza in un settore dove la Cina ha saputo conquistarsi un semi-monopolio mondiale

Corriere della Sera 12 ottobre 2025

Giovedì 9, il ministero del Commercio cinese aveva annunciato **nuove limitazioni per l'esportazione e la lavorazione delle terre rare**, elementi fondamentali per molti settori industriali, dalle auto ai telefonini. Paese guidato da Xi Jinping aveva già imposto vincoli all'export di sette metalli, lo scorso 4 aprile. A partire dal 1° dicembre, le restrizioni toccheranno altri quattro materiali, compresi olmio ed erbio, utilizzati per applicazioni, tra l'altro, nel settore degli armamenti. Dall'8 novembre, inoltre, **la Cina limiterà anche l'export dei componenti per le batterie** delle auto elettriche. Da Pechino fanno sapere che la mossa è, a sua volta,

trattative. L'altro giorno, venerdì 10 ottobre, **Donald Trump** ha annunciato l'intenzione di applicare **dazi al 100% su tutti i beni importati dalla Cina**, a partire dal primo novembre. Il presidente americano ha spiegato che

Corriere della Sera 9 gennaio 2026

LA SFIDA

Terre rare, il Giappone scava negli abissi: primo tentativo di estrazione a 6 mila metri di profondità

di Valentina Iorio

Il progetto verrà avviato nell'area intorno all'isola di Minami-Torishima, con più di 16 milioni di tonnellate di terre rare. L'obiettivo è ridurre la dipendenza dalla Cina

Corriere della Sera 5 maggio 2026

Usa alla conquista della Groenlandia (via Wall Street): preso il controllo del più importante deposito di terre rare.

La compagnia Critical Metals sfrutterà il più grande giacimento di terre rare pesanti, al di fuori della Cina. Saranno poi lavorate in Louisiana, governata dall'inviato speciale nominato da Trump per controllare l'isola artica

Rare Earth – Key Applications



Magnetics

Nd Tb, Dy Pr

- Computer Hard Drives
- Disk Drive Motors
- Anti-Lock Brakes
- Automotive Parts
- Frictionless Bearings
- Magnetic Refrigeration
- Microwave Power Tubes
- Power Generation
- Microphones & Speakers
- Communication Systems
- MRI

CREOs
HREOs
LREOs



Phosphors

Nd, Eu, Tb, Y Er, Gd Ce, Pr

- Display phosphors - CRT, LPD, LCD
- Fluorescent Lighting
- Medical Imaging
- Lasers
- Fibre Optics



Ceramics

Nd, Y, Eu Gd, Lu, Dy La, Ce, Pr

- Capacitors
- Sensors
- Colorants
- Scintillators
- Refractories



Metal Alloys

Nd, Y La, Ce, Pr

- NimH Batteries
- Fuel Cells
- Steel
- Super Alloys
- Aluminium / Magnesium



Glass & Polishing

Nd Gd, Er, Ho La, Ce, Pr

- Polishing Compounds
- Pigments & Coatings
- UV Resistant Glass
- Photo-Optical Glass
- X-Ray Imaging



Catalysts

Nd La, Ce, Pr

- Petroleum Refining
- Catalytic Converter
- Fuel Additives
- Chemical Processing
- Air Pollution Controls



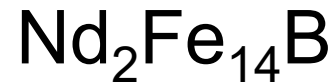
Defense

Nd, Eu, Tb, Dy, Y Lu, Sm Pr, La

- Satellite Communications
- Guidance Systems
- Aircraft Structures
- Fly-by-Wire
- Smart Missiles

Supermagneti

Leghe samario-cobalto



Boruro di neodimio e ferro

In realtà questi magneti contengono anche **Pr**, **Dy** e **Tb** oltre a **Nd**.

Nd e Pr determinano la forza del magnete, mentre Dy e Tb aumentano la resistenza alla demagnetizzazione, in particolare ad alta temperatura.

Un tipico magnete per turbine eoliche contiene 28.5% Nd e 4.4% Dy



Secondo il US Department of Defense (2024):

<https://www.defense.gov/News/News-Stories/Article/Article/3700059/dod-looks-to-establish-mine-to-magnet-supply-chain-for-rare-earth-materials/>

*In addition to the **F-35** (last generation fighter plane), **Virginia and Columbia class submarines**, magnets produced from rare earth elements are used in systems such as **Tomahawk missiles**, a variety of **radar systems**, **Predator** unmanned aerial vehicles, and the **Joint Direct Attack Munition** series of smart bombs. The **F-35**, for instance, requires more than **900 pounds of rare earth elements**. Each **Arleigh Burke DDG-51** destroyer requires 5,200 pounds, and a **Virginia class submarine** needs **9,200 pounds**.*

*Rare earth elements are also used in other ways that don't involve magnets. Vehicle-mounted **laser range finders**, such as those found on **Abrams M1A1/2 tanks**, make use of rare earth elements, as do their portable counterparts and target designators. Also making use of rare earth elements are: **fiber optics communication systems**; cerium-polished optical lenses; and **sonic transducers used in submarine sonar systems**.*

Terfenol-D è una lega metallica di composizione $Tb_{0,3}Dy_{1,7}Fe_2$ dotata di rilevanti **proprietà magnetostrittive**, cioè capace di modificare significativamente le sue dimensioni in presenza di un campo magnetico esterno.

È oggi ampiamente usato come elemento attivo di attuatori e trasduttori.

Ter = terbio

Fe = ferro

Nol = Naval Ordnance Laboratory (USA)

D = disprosio

A BREAKDOWN OF THE CRITICAL METALS IN A SMARTPHONE

Some vital metals used to build these devices are considered at risk due to geological scarcity, geopolitical issues or trade policy.

This infographic details the critical metals that you carry in your pocket.

ALKALI METAL ALKALINE EARTH TRANSITION METAL BASIC METAL LANTHANOID

TOUCH SCREEN

It contains a thin layer of **indium tin oxide**, highly conductive and transparent, allowing the screen to function as a touch screen.



MICROPHONE, SPEAKERS, VIBRATION UNIT

Nickel is used in the microphone diaphragm (that vibrates in response to sound waves). Alloys containing **neodymium**, **praseodymium** and **gadolinium** are used in the magnets contained in the speaker and microphone. **Neodymium**, **terbium** and **dysprosium** are used in the vibration unit.



BATTERY

The majority of smartphones use **lithium-ion** batteries.

DISPLAY

The display contains several **rare earth elements**. Small quantities are used to produce the colors on the liquid crystal display. Some give the screen its glow.



ELECTRONICS

Nickel is used in electrical connections. **Gallium** is used in semiconductors. **Tantalum** is the major component of micro capacitors, used for filtering and frequency tuning.



CASING

Nickel reduces electromagnetic interference. **Magnesium** alloys are superior at electromagnetic interference (EMI) shielding.



Source: University of Birmingham

Produzione e riserve (in tonnellate)

World Mine Production and Reserves: Reserves for Australia, Russia, the United States, and “Other countries” were revised based on information from Government and industry reports.

	Mine production		Reserves ⁸
	2020	2021 ^e	
United States	39,000	43,000	1,800,000
Australia	21,000	22,000	⁹ 4,000,000
Brazil	600	500	21,000,000
Burma	31,000	26,000	NA
Burundi	300	100	NA
Canada	—	—	830,000
China	¹⁰ 140,000	¹⁰ 168,000	44,000,000
Greenland	—	—	1,500,000
India	2,900	2,900	6,900,000
Madagascar	2,800	3,200	NA
Russia	2,700	2,700	21,000,000
South Africa	—	—	790,000
Tanzania	—	—	890,000
Thailand	3,600	8,000	NA
Vietnam	700	400	22,000,000
Other countries	100	300	280,000
World total (rounded)	240,000	280,000	120,000,000

World Resources:⁸ Rare earths are relatively abundant in the Earth’s crust, but minable concentrations are less common than for most other mineral commodities. In North America, measured and indicated resources of rare earths were estimated to include 2.4 million tons in the United States and more than 15 million tons in Canada.

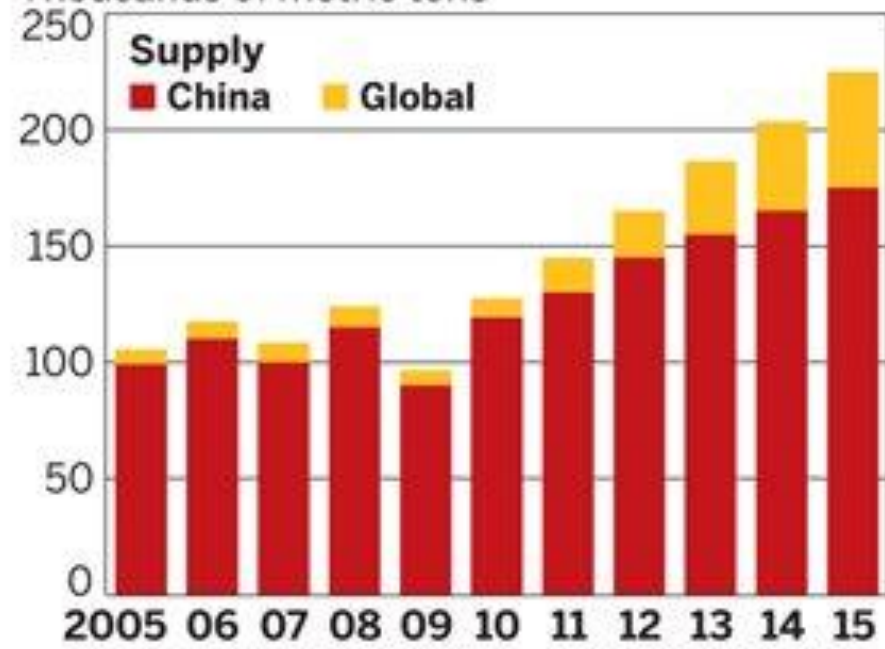
Substitutes: Substitutes are available for many applications but generally are less effective.

In 2019 China is responsible for the production of 85% of rare earth oxides and 90% of rare earth metals globally.

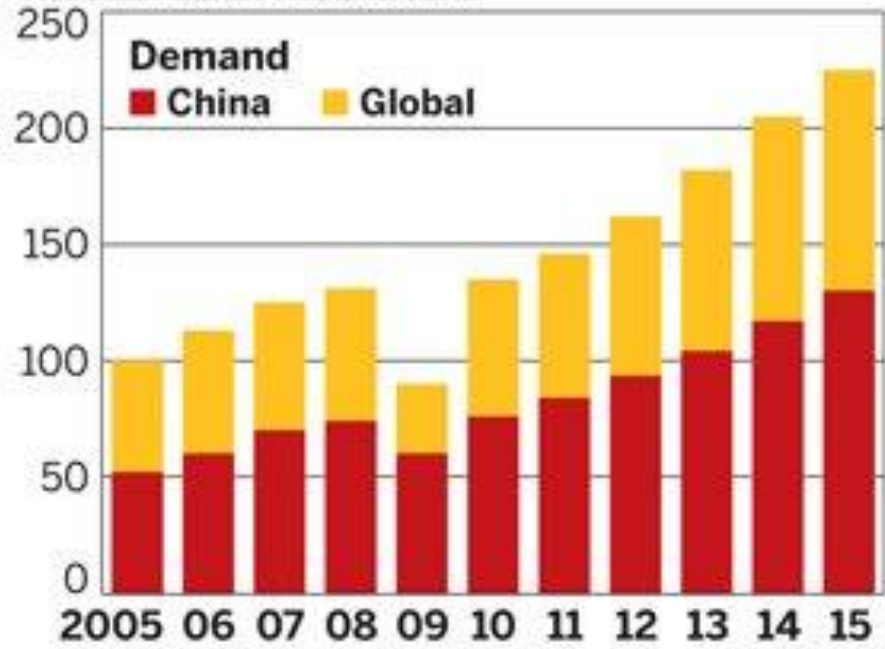
RARE-EARTH SUPPLY AND DEMAND

China's increasing demand for its own rare-earth materials is predicted to drive production in other countries

Thousands of metric tons



Thousands of metric tons



SOURCE: Dudley Kingsnorth/Industrial Minerals Co. of Australia

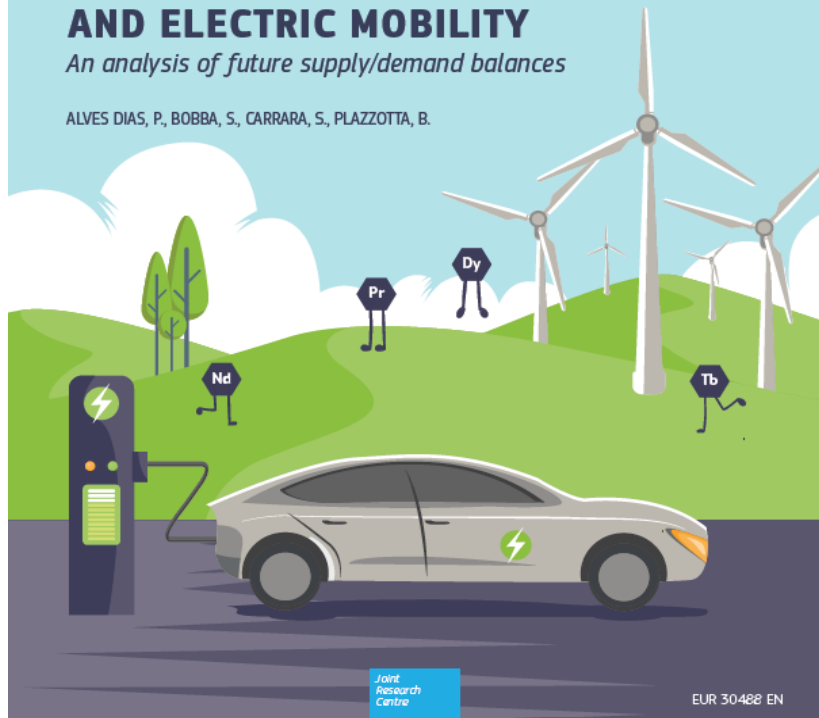


JRC SCIENCE FOR POLICY REPORT

THE ROLE OF RARE EARTH ELEMENTS IN WIND ENERGY AND ELECTRIC MOBILITY

An analysis of future supply/demand balances

ALVES DIAS, P., BOBBA, S., CARRARA, S., PLAZZOTTA, B.



Joint
Research
Centre

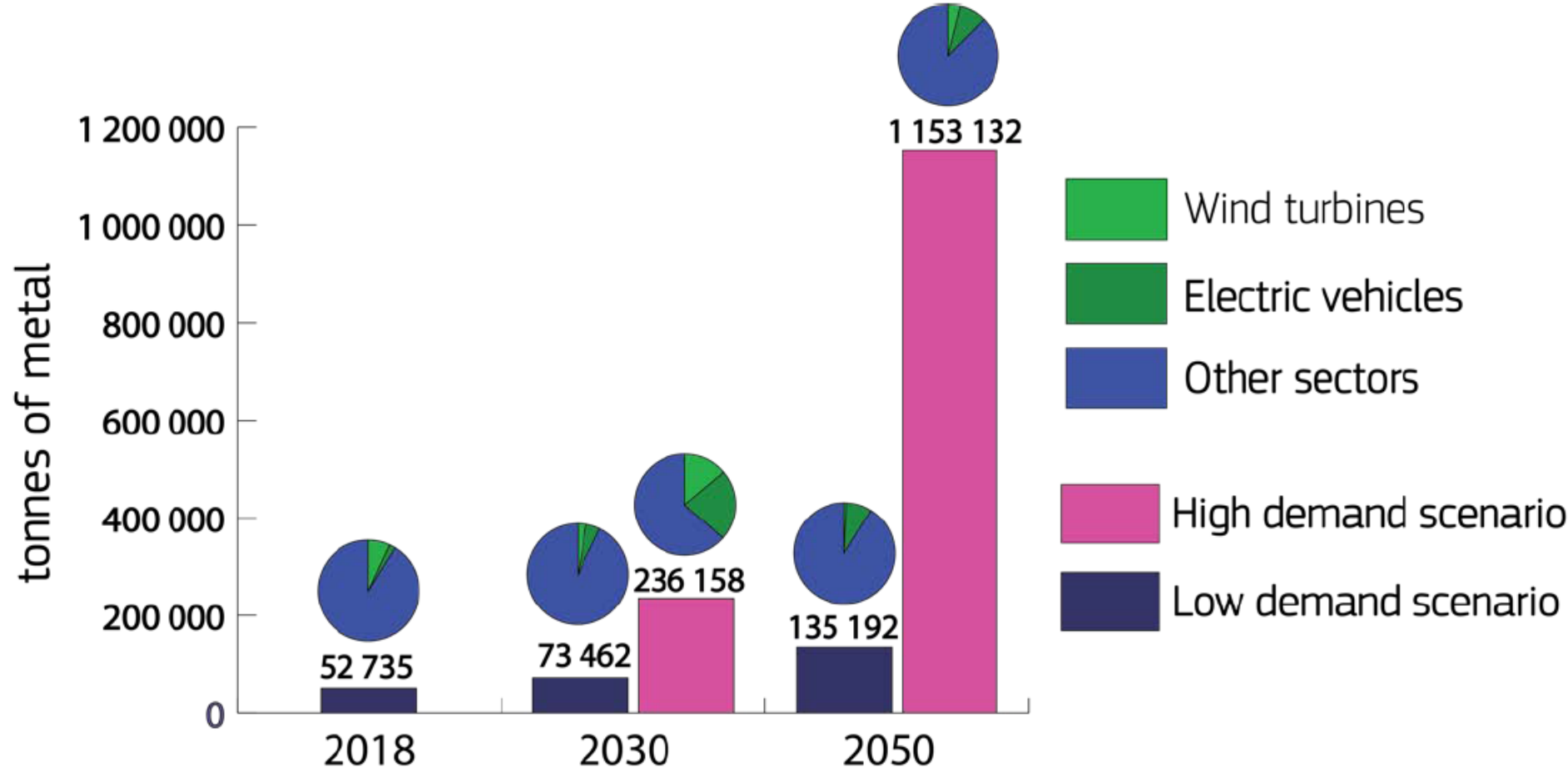
EUR 30488 EN

2020

Critical raw materials

I **supermagneti** di boruro di neodimio e ferro, $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$, in realtà contengono anche **Pr**, **Dy** e **Tb** oltre a **Nd**. Nd e Pr determinano la forza del magnete, mentre Dy e Tb aumentano la resistenza alla demagnetizzazione, in particolare ad alta temperatura.

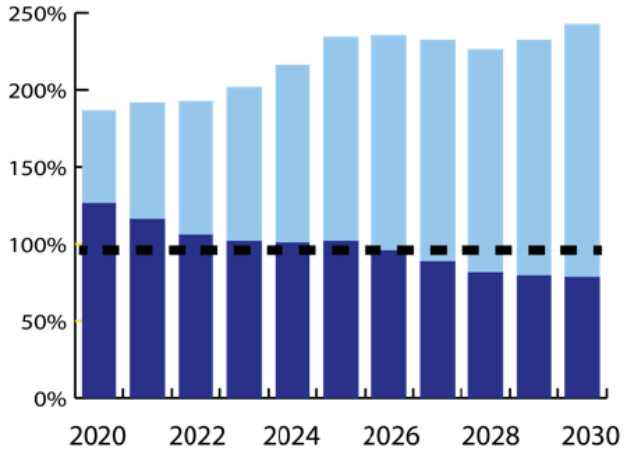
Estimated global demand for Nd, Pr, Dy, and Tb



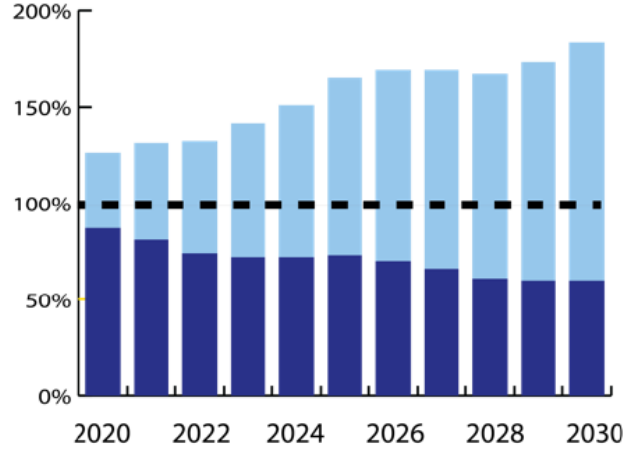
Other sectors = Information and Communication Technology (ICT), healthcare and defence

Demand/supply ratio for Nd, Pr, Dy, and Tb

Neodymium



Praseodymium



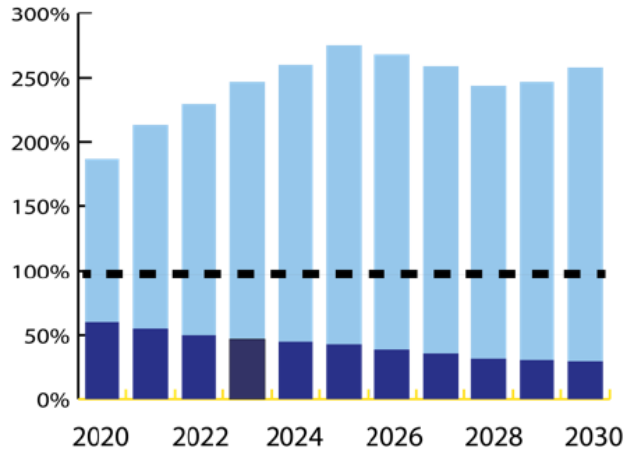
Demand/Supply ratio (%)

High demand scenario

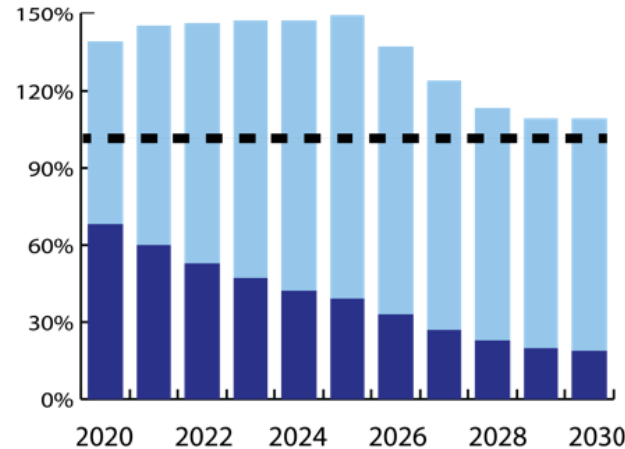
Low demand scenario

Projected supply

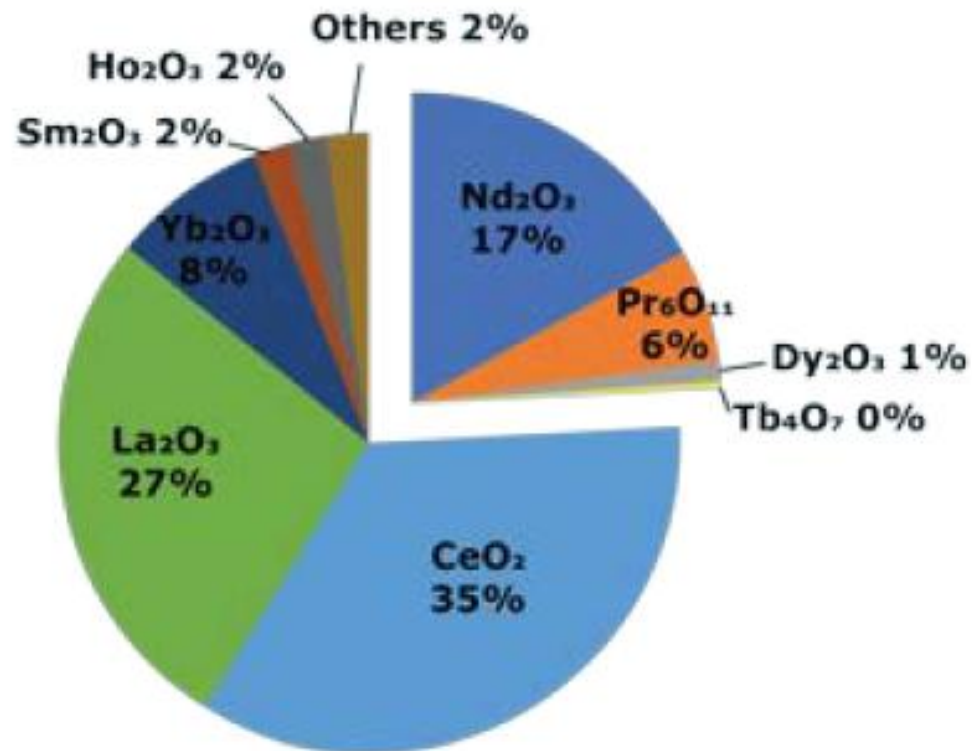
Dysprosium



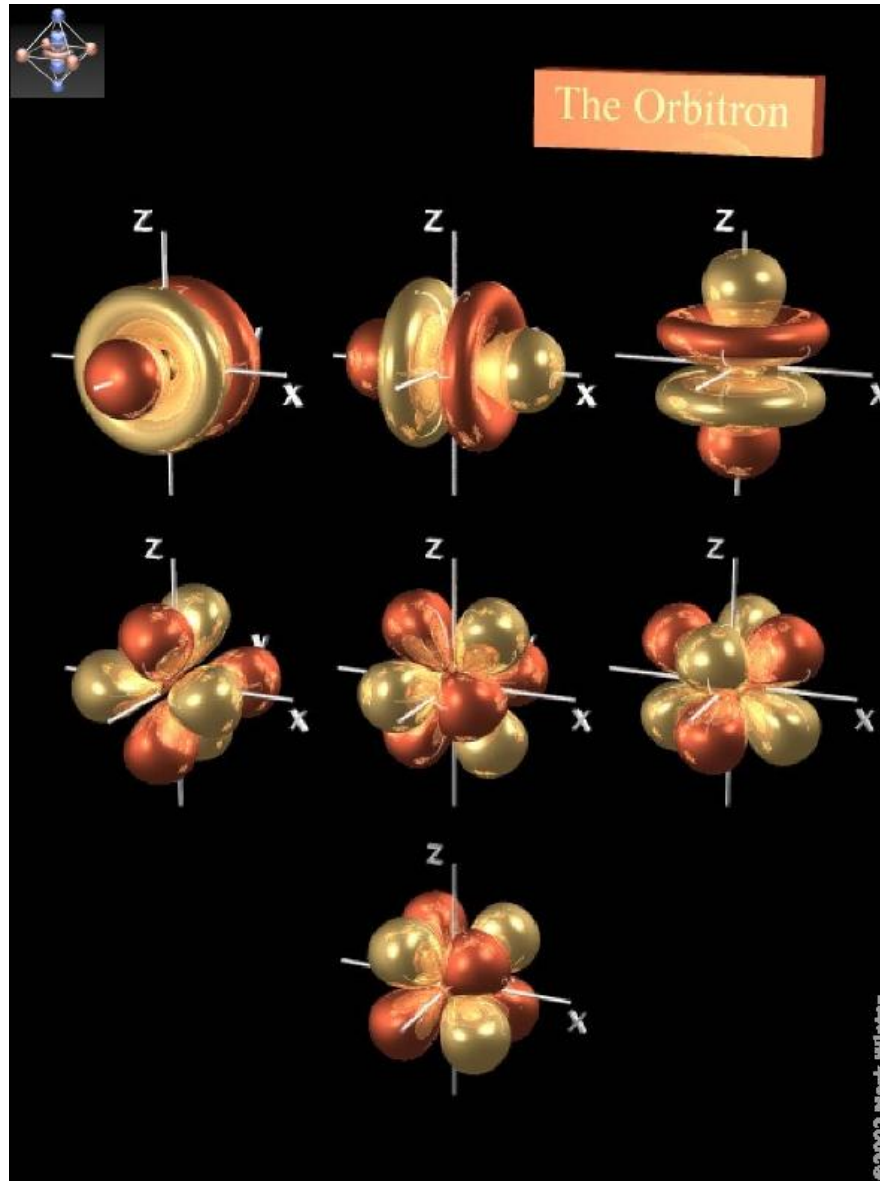
Terbium



Production shares of rare earth oxides per oxide



Il set cubico di orbitali f



3 piani nodali

$4f = 0$ nodi
radiali

$5f = 1$ nodo
radiale

$$f_{x^3} \quad f_{y^3} \quad f_{z^3}$$

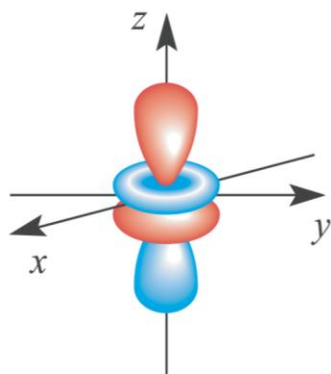
$$f_{x(z^2 - y^2)}$$

$$f_{z(x^2 - y^2)}$$

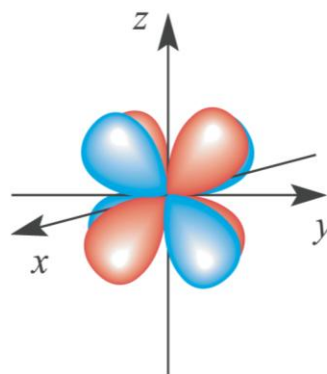
$$f_{y(z^2 - x^2)}$$

$$f_{xyz}$$

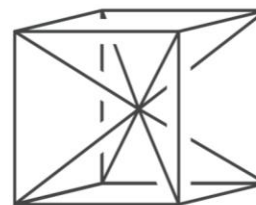
Il set cubico di orbitali f



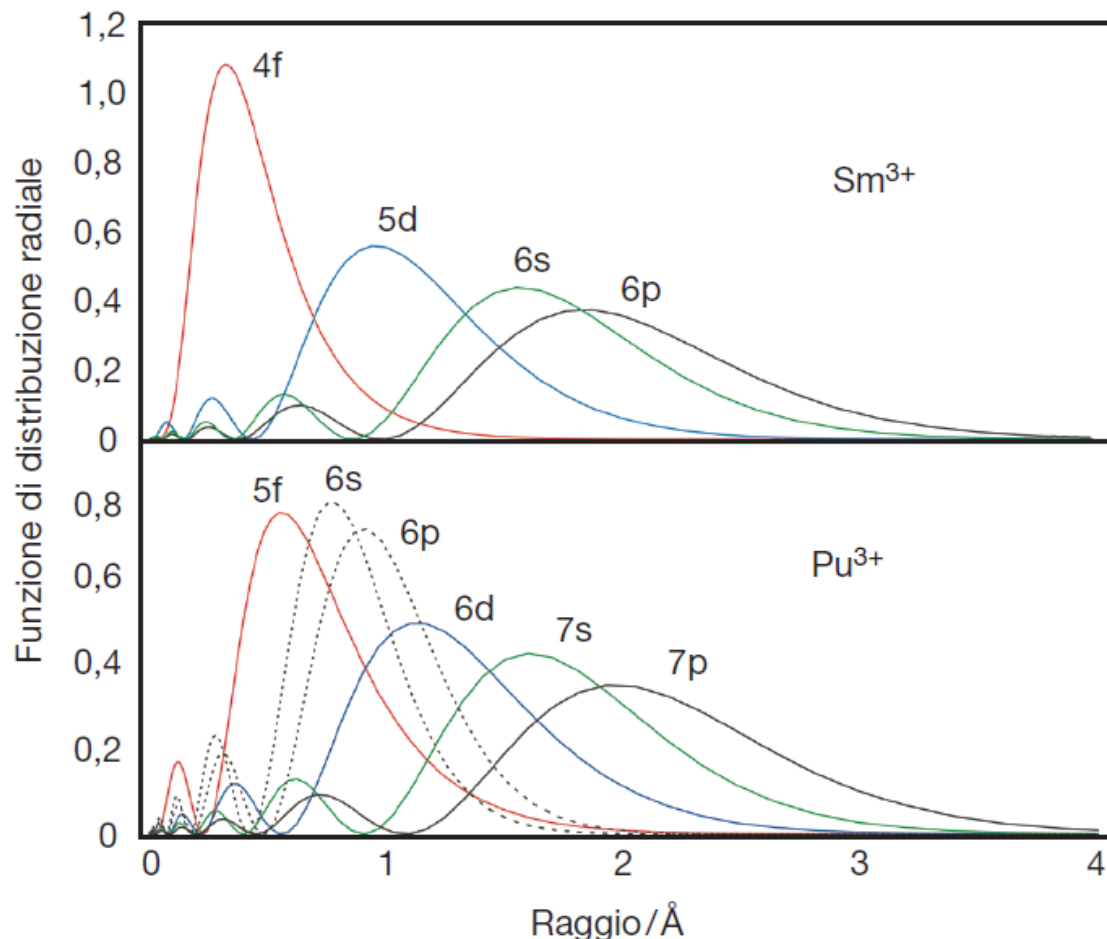
$4f_{z^3}$



$4f_{xyz}$

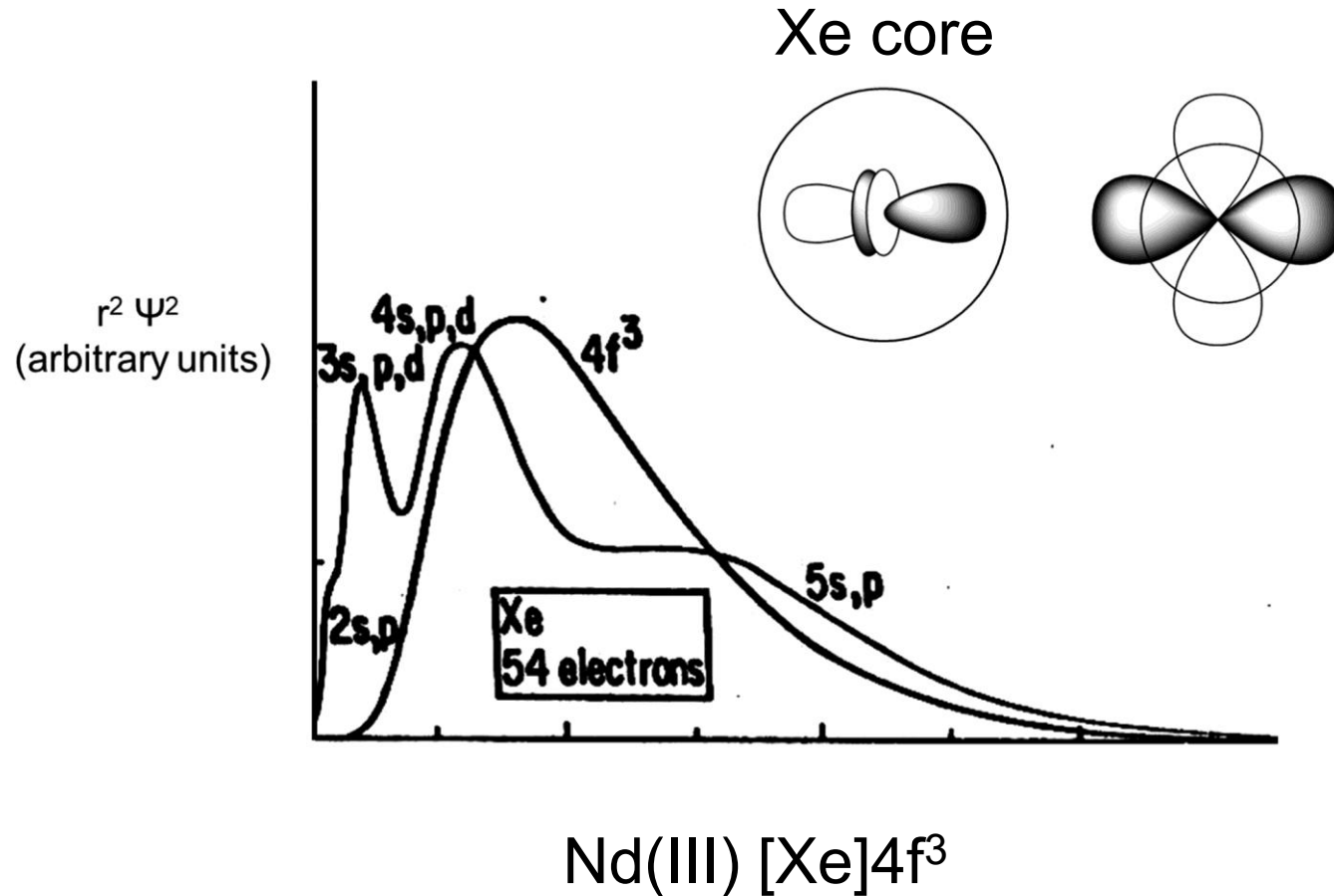


gli orbitali nf sono molto più contratti degli orbitali $(n+1)d$ e $(n+2)s$



Questo vale soprattutto per i 4f che **non hanno nodi radiali**.
Nei cationi Ln^{3+} la contrazione è ovviamente ancora maggiore e gli orbitali 4f diventano di *core* (i 5d e 6s sono vuoti).

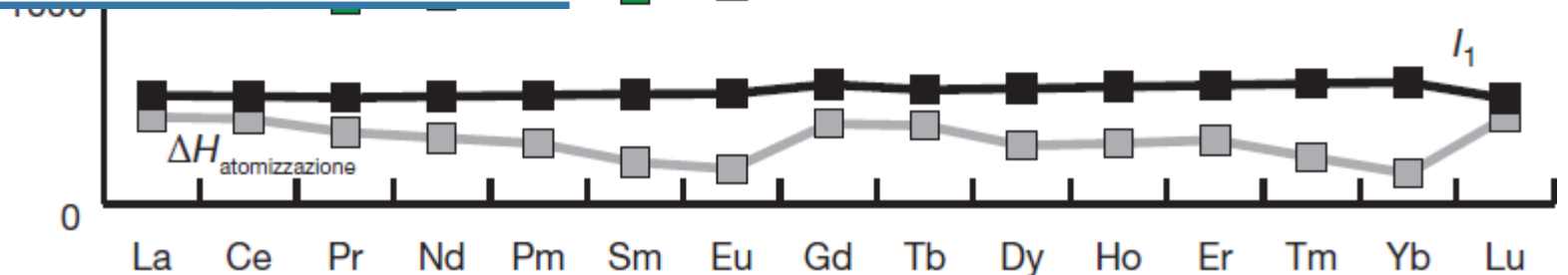
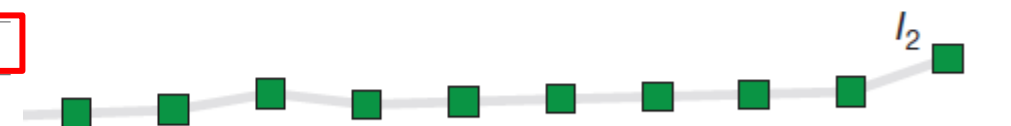
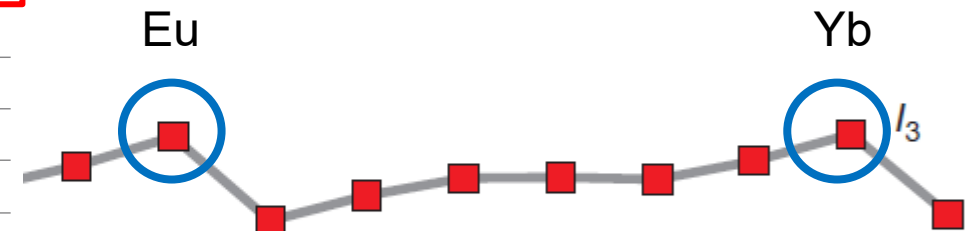
Estensione radiale degli orbitali atomici di Nd(III)



Negli orbitali 4f, senza nodi radiali, la repulsione interelettronica e l'energia di correlazione di spin sono molto rilevanti

Energie di ionizzazione e atomizzazione e configurazione elettronica

Z	Nome	Simbolo	Configurazione elettronica	
			M	M ³⁺
57	Lantanio	La	[Xe]5d ¹ 6s ²	[Xe]
58	Cerio	Ce	[Xe]4f ¹ 5d ¹ 6s ²	[Xe]4f ¹
59	Praseodimio	Pr	[Xe]4f ³ 6s ²	[Xe]4f ²
60	Neodimio	Nd	[Xe]4f ⁴ 6s ²	[Xe]4f ³
61	Promezio	Pm	[Xe]4f ⁵ 6s ²	[Xe]4f ⁴
62	Samario	Sm	[Xe]4f ⁶ 6s ²	[Xe]4f ⁵
63	Europio	Eu	[Xe]4f ⁷ 6s ²	[Xe]4f ⁶
64	Gadolinio	Gd	[Xe]4f ⁷ 5d ¹ 6s ²	[Xe]4f ⁷
65	Terbio	Tb	[Xe]4f ⁹ 6s ²	[Xe]4f ⁸
66	Disprosio	Dy	[Xe]4f ¹⁰ 6s ²	[Xe]4f ⁹
67	Olmio	Ho	[Xe]4f ¹¹ 6s ²	[Xe]4f ¹⁰
68	Erbio	Er	[Xe]4f ¹² 6s ²	[Xe]4f ¹¹
69	Tulio	Tm	[Xe]4f ¹³ 6s ²	[Xe]4f ¹²
70	Itterbio	Yb	[Xe]4f ¹⁴ 6s ²	[Xe]4f ¹³
71	Lutezio	Lu	[Xe]4f ¹⁴ 5d ¹ 6s ²	[Xe]4f ¹⁴



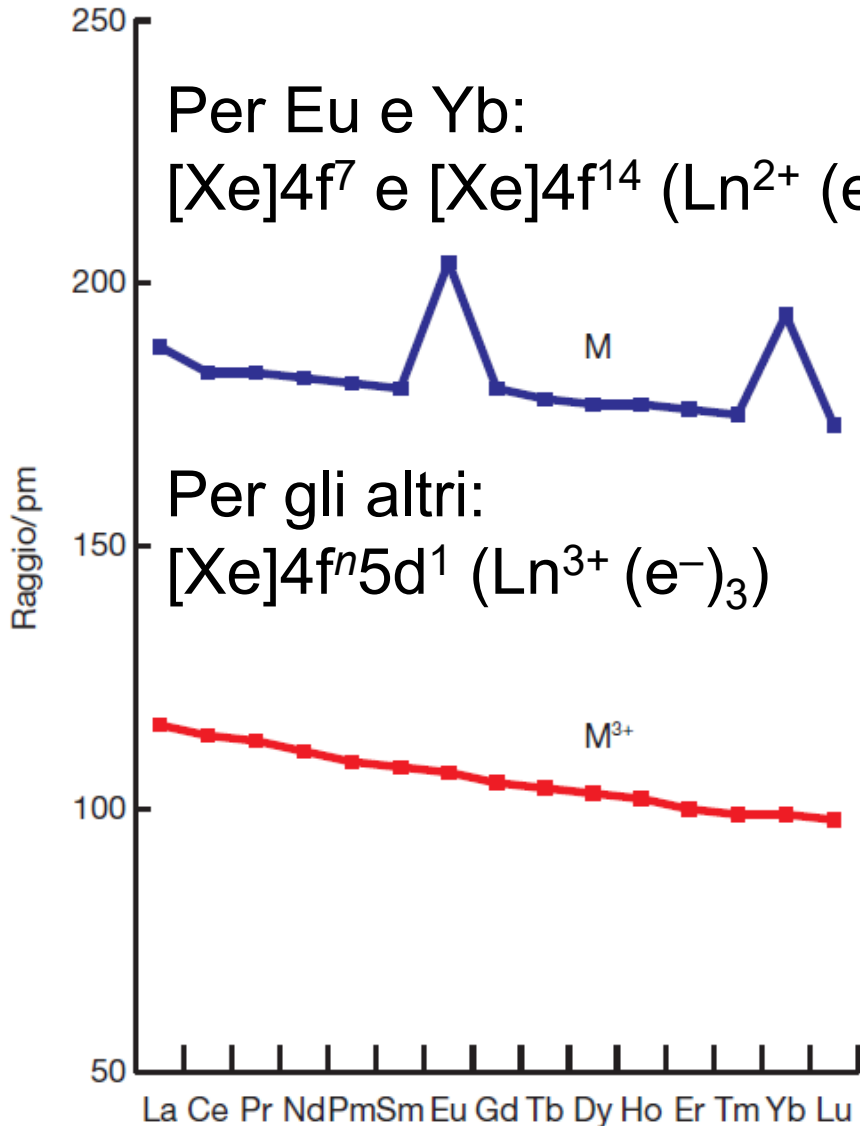
Legame metallico nei lantanidi

Il legame metallico praticamente non coinvolge gli elettroni di quasi-nocciolo 4f, ma risente dell'occupazione degli orbitali 5d che si sovrappongono per formare una banda che contiene elettroni delocalizzati ("mobili").

Quando gli atomi si condensano per formare lo stato metallico è energeticamente favorevole, nella maggior parte dei casi, **promuovere un elettrone 4f nell'orbitale 5d.**

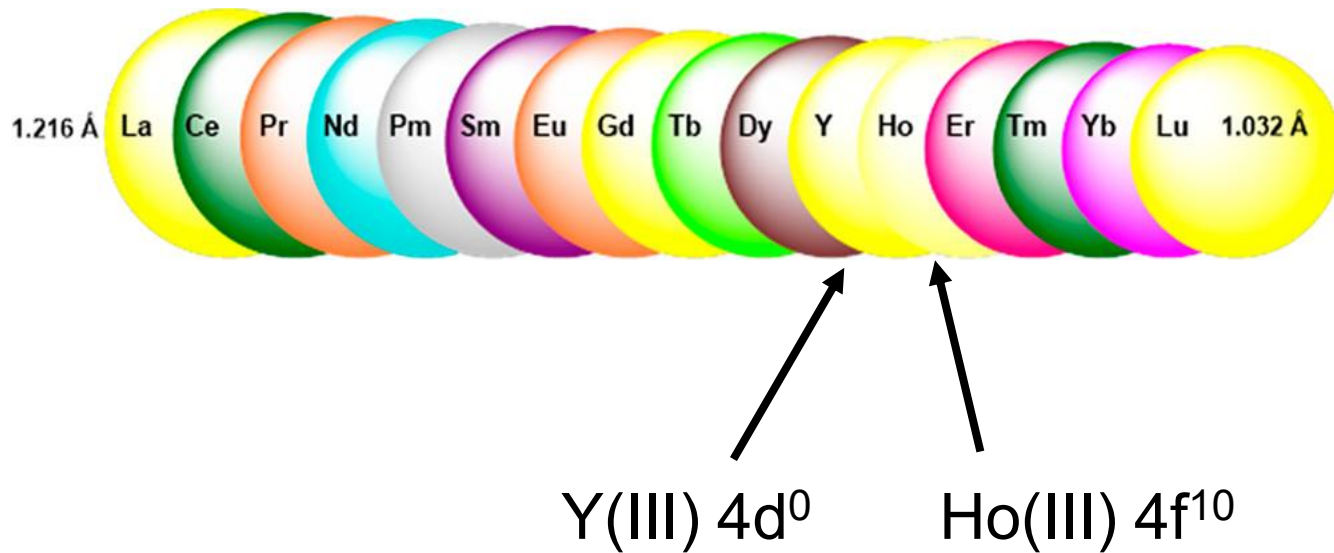
Eu e Yb mantengono le loro configurazioni elettroniche $4f^7$ e $4f^{14}$ piuttosto che promuovere un elettrone nell'orbitale 5d. Di conseguenza il legame metallico è più debole, come indicato dall'andamento del ΔH di atomizzazione. Gd e Lu hanno già un elettrone nei 5d.

Raggi metallici dei lantanidi



Z	Nome	Simbolo	Configurazione elettronica	
			M	M ³⁺
57	Lantanio	La	$[\text{Xe}]5d^1 6s^2$	$[\text{Xe}]$
58	Cerio	Ce	$[\text{Xe}]4f^1 5d^1 6s^2$	$[\text{Xe}]4f^1$
59	Praseodimio	Pr	$[\text{Xe}]4f^3 6s^2$	$[\text{Xe}]4f^2$
60	Neodimio	Nd	$[\text{Xe}]4f^4 6s^2$	$[\text{Xe}]4f^3$
61	Promezio	Pm	$[\text{Xe}]4f^5 6s^2$	$[\text{Xe}]4f^4$
62	Samario	Sm	$[\text{Xe}]4f^6 6s^2$	$[\text{Xe}]4f^5$
63	Europio	Eu	$[\text{Xe}]4f^7 6s^2$	$[\text{Xe}]4f^6$
64	Gadolinio	Gd	$[\text{Xe}]4f^7 5d^1 6s^2$	$[\text{Xe}]4f^7$
65	Terbio	Tb	$[\text{Xe}]4f^9 6s^2$	$[\text{Xe}]4f^8$
66	Disprosio	Dy	$[\text{Xe}]4f^{10} 6s^2$	$[\text{Xe}]4f^9$
67	Olmio	Ho	$[\text{Xe}]4f^{11} 6s^2$	$[\text{Xe}]4f^{10}$
68	Erbio	Er	$[\text{Xe}]4f^{12} 6s^2$	$[\text{Xe}]4f^{11}$
69	Tulio	Tm	$[\text{Xe}]4f^{13} 6s^2$	$[\text{Xe}]4f^{12}$
70	Itterbio	Yb	$[\text{Xe}]4f^{14} 6s^2$	$[\text{Xe}]4f^{13}$
71	Lutezio	Lu	$[\text{Xe}]4f^{14} 5d^1 6s^2$	$[\text{Xe}]4f^{14}$

Andamento dei raggi dei cationi delle terre rare



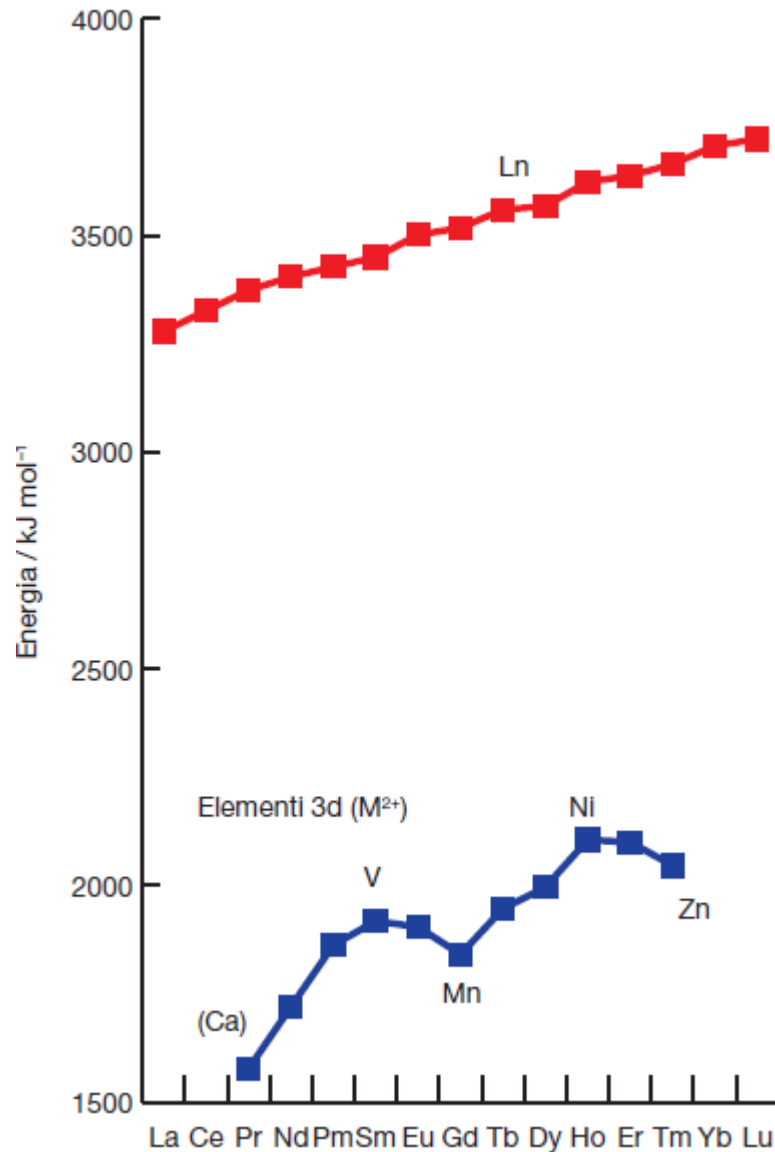
Potenziali standard e chimica redox

Metal	$\Delta_a H^\circ(\text{Ln}) / \text{kJ mol}^{-1}$	$IE_1 + IE_2 + IE_3 / \text{kJ mol}^{-1}$	$\Delta_{\text{hyd}} H^\circ(\text{Ln}^{3+}, \text{g}) / \text{kJ mol}^{-1}$	$E^\circ_{\text{Ln}^{3+}/\text{Ln}} / \text{V}$	$E^\circ_{\text{Ln}^{2+}/\text{Ln}} / \text{V}$
La	431	3455	-3278	-2.38	
Ce	423	3530	-3326	-2.34	
Pr	356	3631	-3373	-2.35	-2.0
Nd	328	3698	-3403	-2.32	-2.1
Pm	348	3741	-3427	-2.30	-2.2
Sm	207	3873	-3449	-2.30	-2.68
Eu	177	4036	-3501	-1.99	-2.81
Gd	398	3750	-3517	-2.28	
Tb	389	3792	-3559	-2.28	
Dy	290	3899	-3567	-2.30	-2.2
Ho	301	3924	-3613	-2.33	-2.1
Er	317	3934	-3637	-2.33	-2.0
Tm	232	4045	-3664	-2.32	-2.4
Yb	152	4195	-3724	-2.19	-2.76
Lu	428	3886	-3722	-2.28	

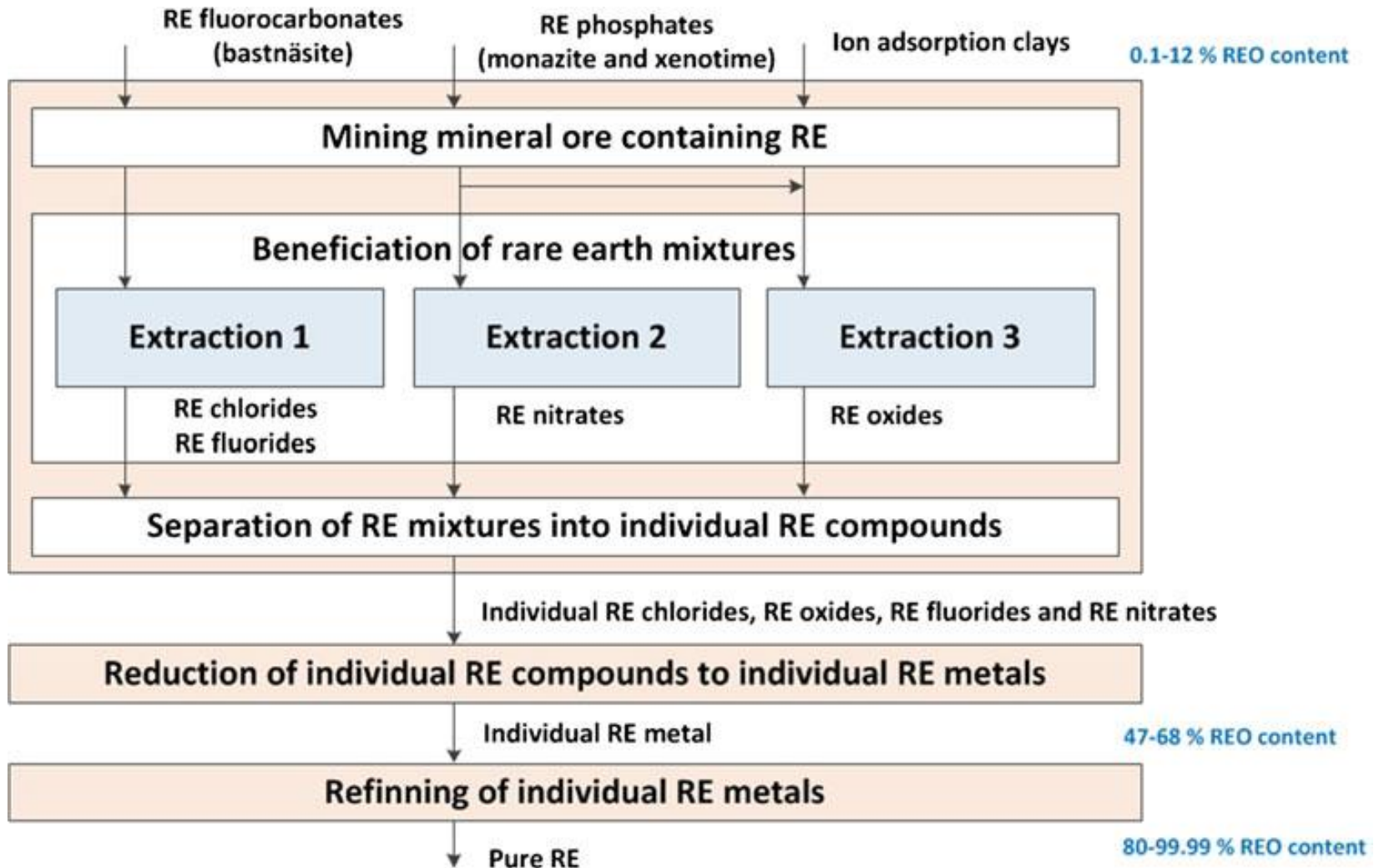
[†] Values of $\Delta_{\text{hyd}} H^\circ(\text{M}^{3+}, \text{g})$ are taken from: L.R. Morss (1976) *Chem. Rev.*, vol. 76, p. 827.

I potenziali standard dei lantanidi (Ln^{3+}/Ln) sono tutti molto simili e vicini a quello di Mg^{2+}/Mg .

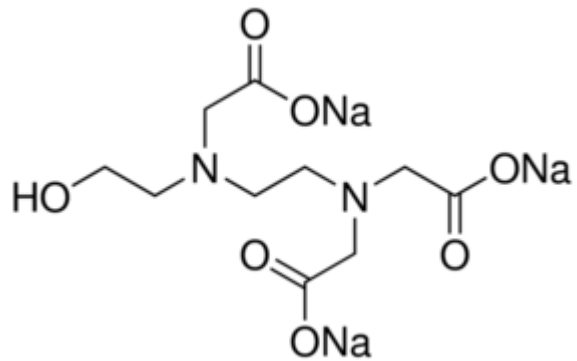
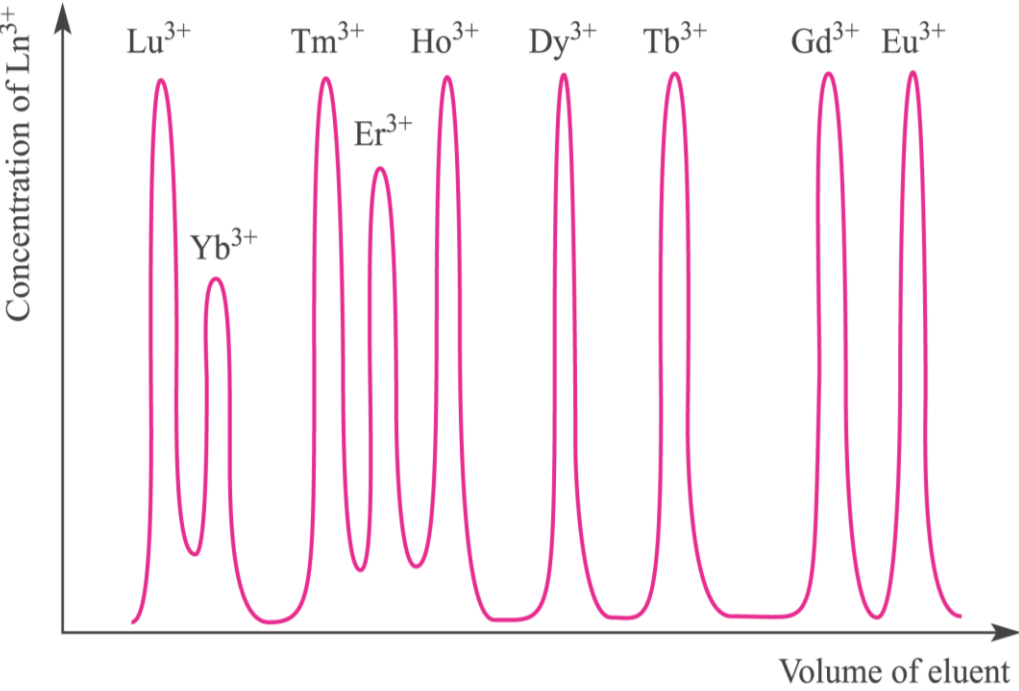
Energie di idratazione a confronto: LFSE trascurabile nei Ln^{3+}



- **bastnäsite** $[\text{Ce,La,Nd}](\text{CO}_3)\text{F}$
 - **monazite** $[\text{Ce,La,Nd,Th}](\text{PO}_4)$
 - **xenotime** $[\text{Y, Ln,Th}](\text{PO}_4)$
- } Ln leggeri
Ln pesanti

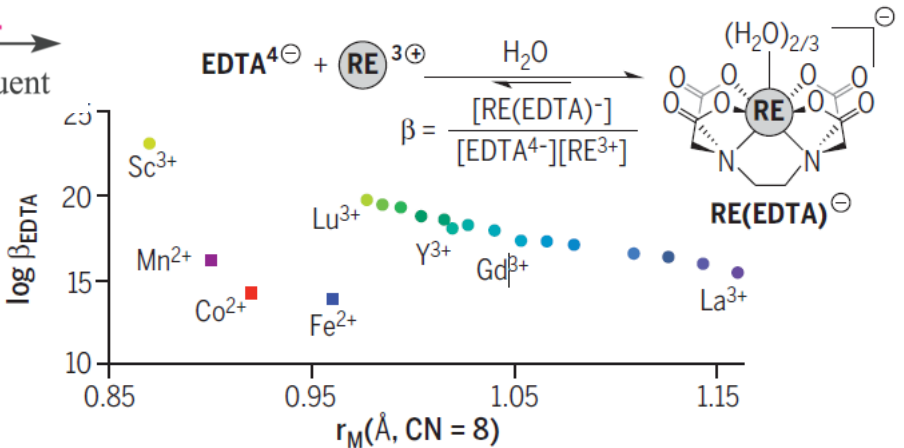


Sequenza di eluizione da una colonna a scambio cationico (fase stazionaria non selettiva, e.g. Dowex) dei complessi dei lantanidi più pesanti eluendo con una soluzione di EDTA⁴⁻



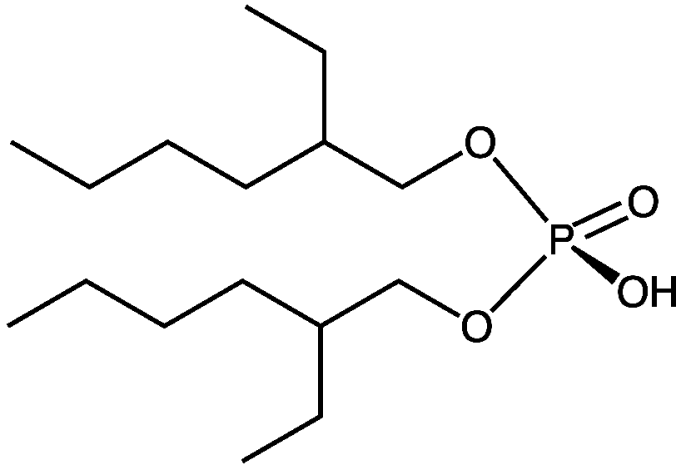
HEDTA = acido N-idrossietil-etilendiaminotriacetico

La differenza di *binding affinity* verso EDTA per RE adiacenti è < 1,5 kcal/mol

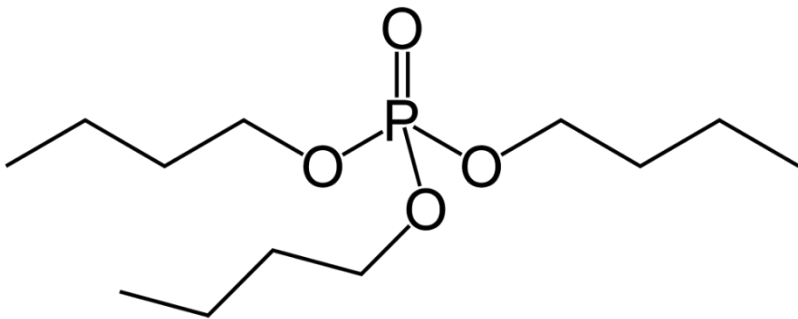


SX, Solvent eXtraction

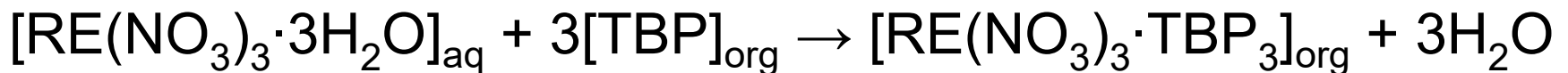
fattore di separazione $\alpha_B^A = \frac{D_A}{D_B}$



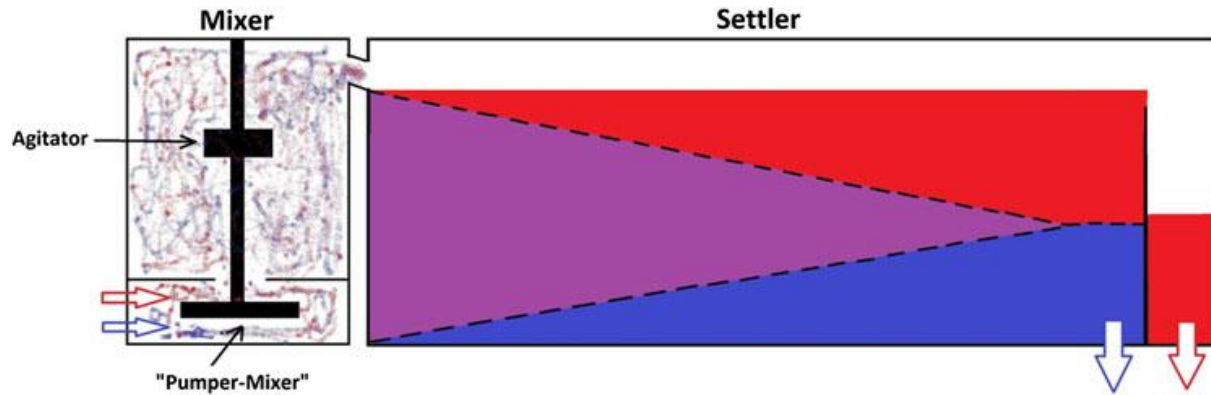
acido di-2-etil-esilfosforico
(**HDEHP** o DEHPA) per RE
come cloruri o solfati



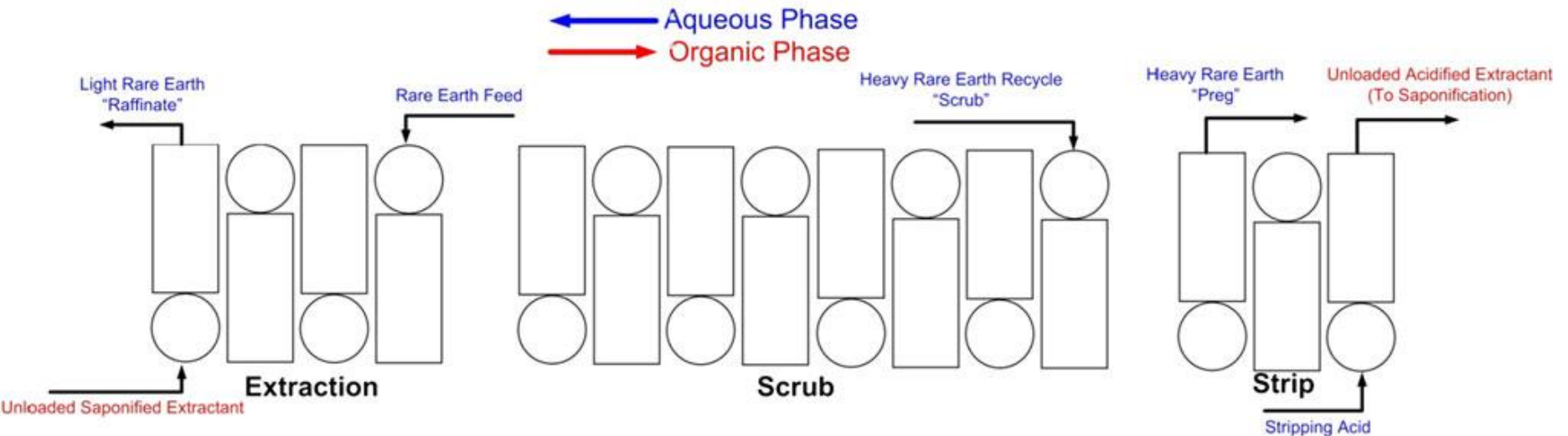
tri-*n*-butil fosfato (**TBP**) per RE
come nitrati

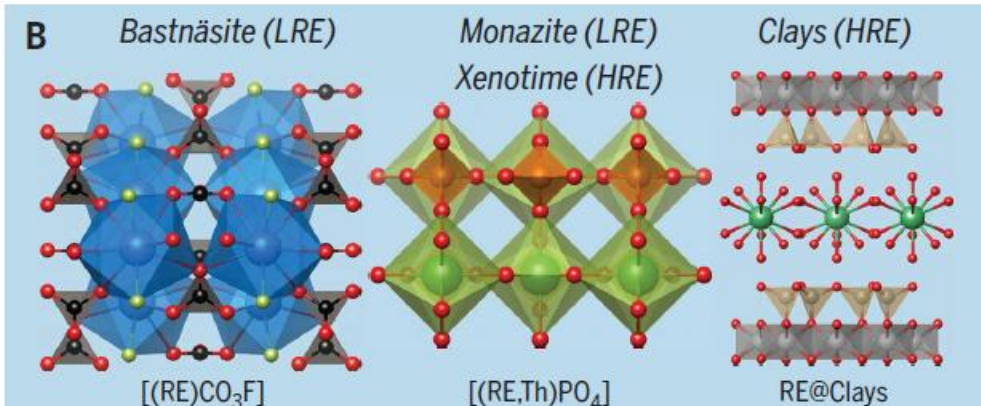
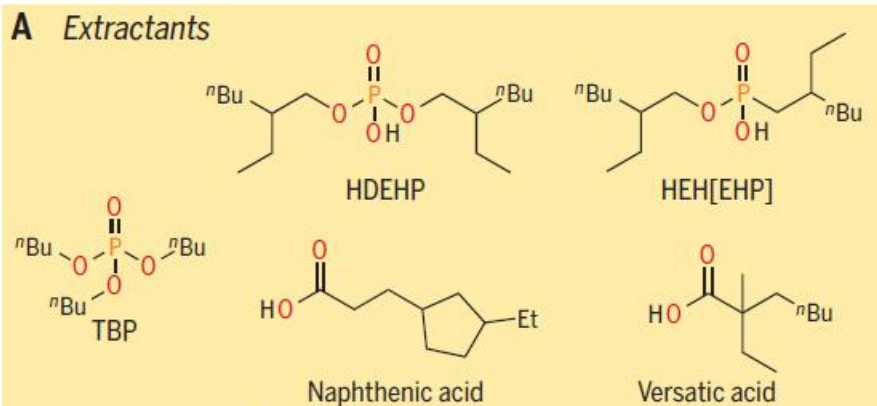


Unità *mixer-settler*



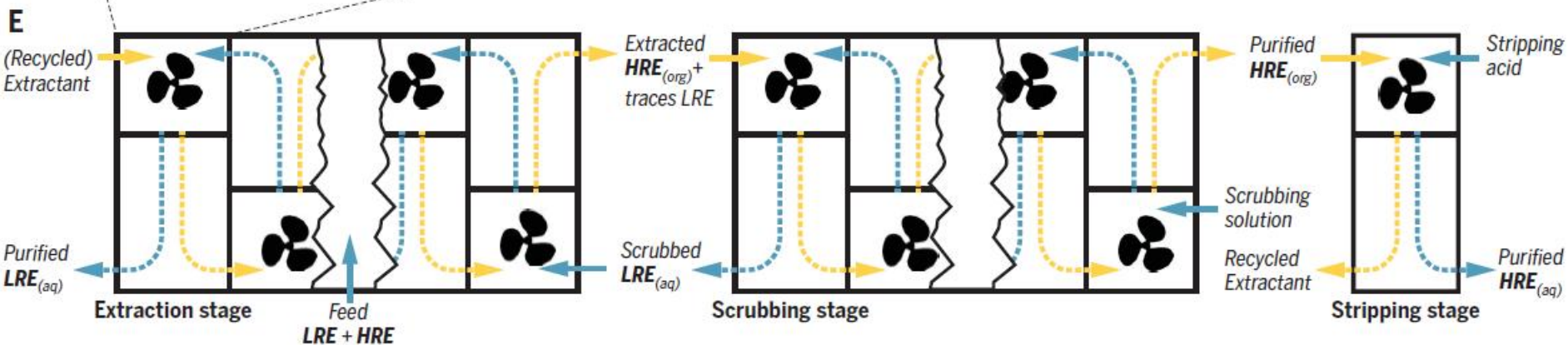
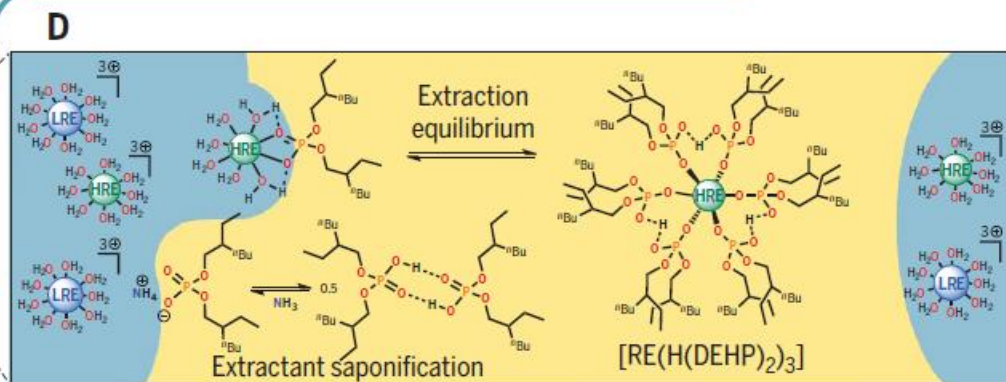
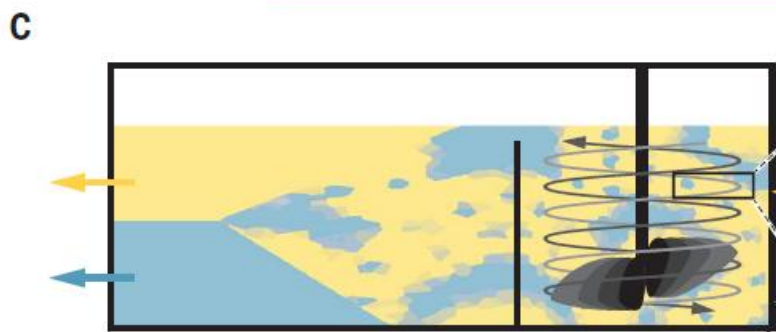
Schema di impianto SX





Dilution in solvent, saponification

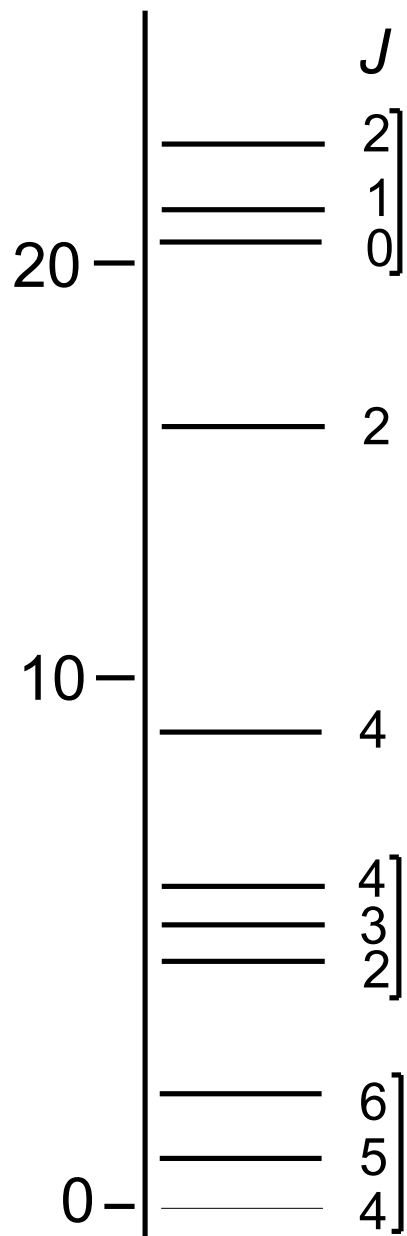
Dissolution in aqueous acid, ores beneficiation



Proprietà ottiche degli ioni dei lantanidi

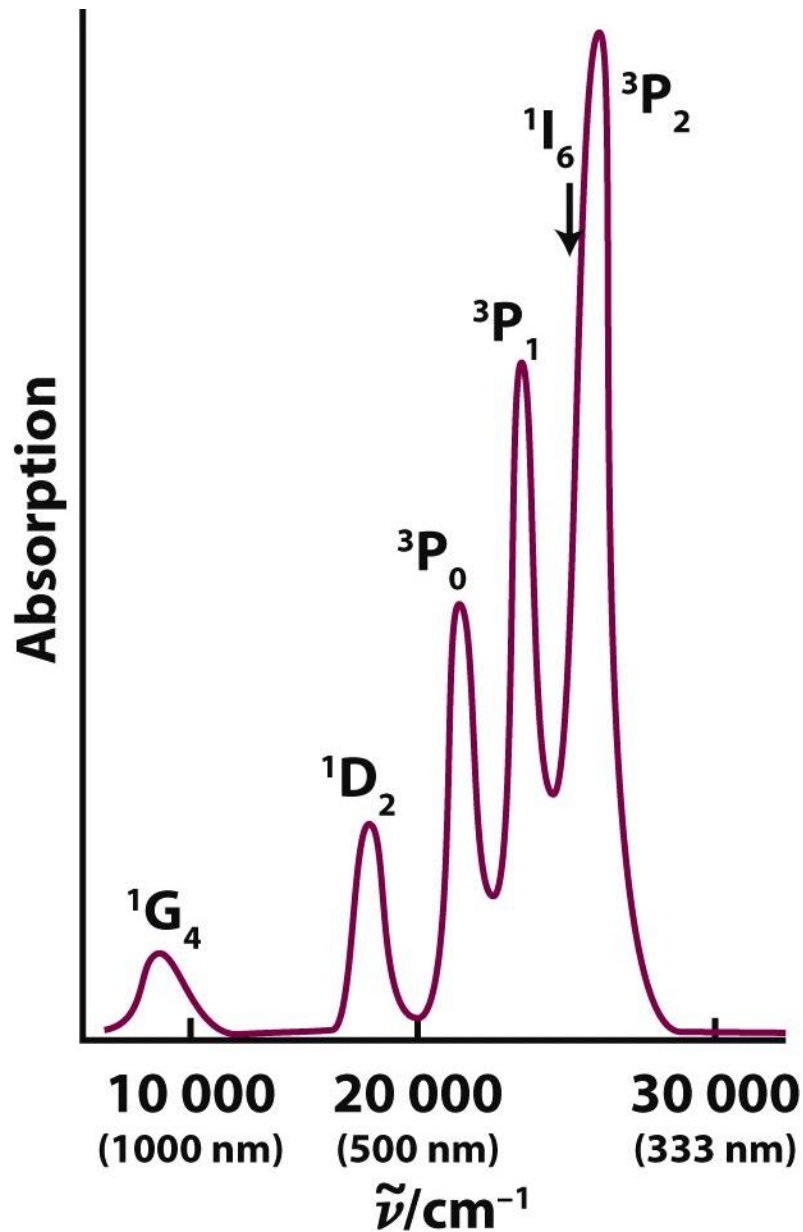
Metal ion	Colour	Ground state electronic configuration	Ground state term symbol	Magnetic moment, μ (298 K) / μ_B	
				Calculated from equation 25.1	Observed
La ³⁺	Colourless	[Xe]4f ⁰	¹ S ₀	0	0
Ce ³⁺	Colourless	[Xe]4f ¹	² F _{5/2}	2.54	2.3–2.5
Pr ³⁺	Green	[Xe]4f ²	³ H ₄	3.58	3.4–3.6
Nd ³⁺	Lilac	[Xe]4f ³	⁴ I _{9/2}	3.62	3.5–3.6
Pm ³⁺	Pink	[Xe]4f ⁴	⁵ I ₄	2.68	2.7
Sm ³⁺	Yellow	[Xe]4f ⁵	⁶ H _{5/2}	0.84	1.5–1.6
Eu ³⁺	Pale pink	[Xe]4f ⁶	⁷ F ₀	0	3.4–3.6
Gd ³⁺	Colourless	[Xe]4f ⁷	⁸ S _{7/2}	7.94	7.8–8.0
Tb ³⁺	Pale pink	[Xe]4f ⁸	⁷ F ₆	9.72	9.4–9.6
Dy ³⁺	Yellow	[Xe]4f ⁹	⁶ H _{15/2}	10.63	10.4–10.5
Ho ³⁺	Yellow	[Xe]4f ¹⁰	⁵ I ₈	10.60	10.3–10.5
Er ³⁺	Rose pink	[Xe]4f ¹¹	⁴ I _{15/2}	9.58	9.4–9.6
Tm ³⁺	Pale green	[Xe]4f ¹²	³ H ₆	7.56	7.1–7.4
Yb ³⁺	Colourless	[Xe]4f ¹³	² F _{7/2}	4.54	4.4–4.9
Lu ³⁺	Colourless	[Xe]4f ¹⁴	¹ S ₀	0	0

91 microstati

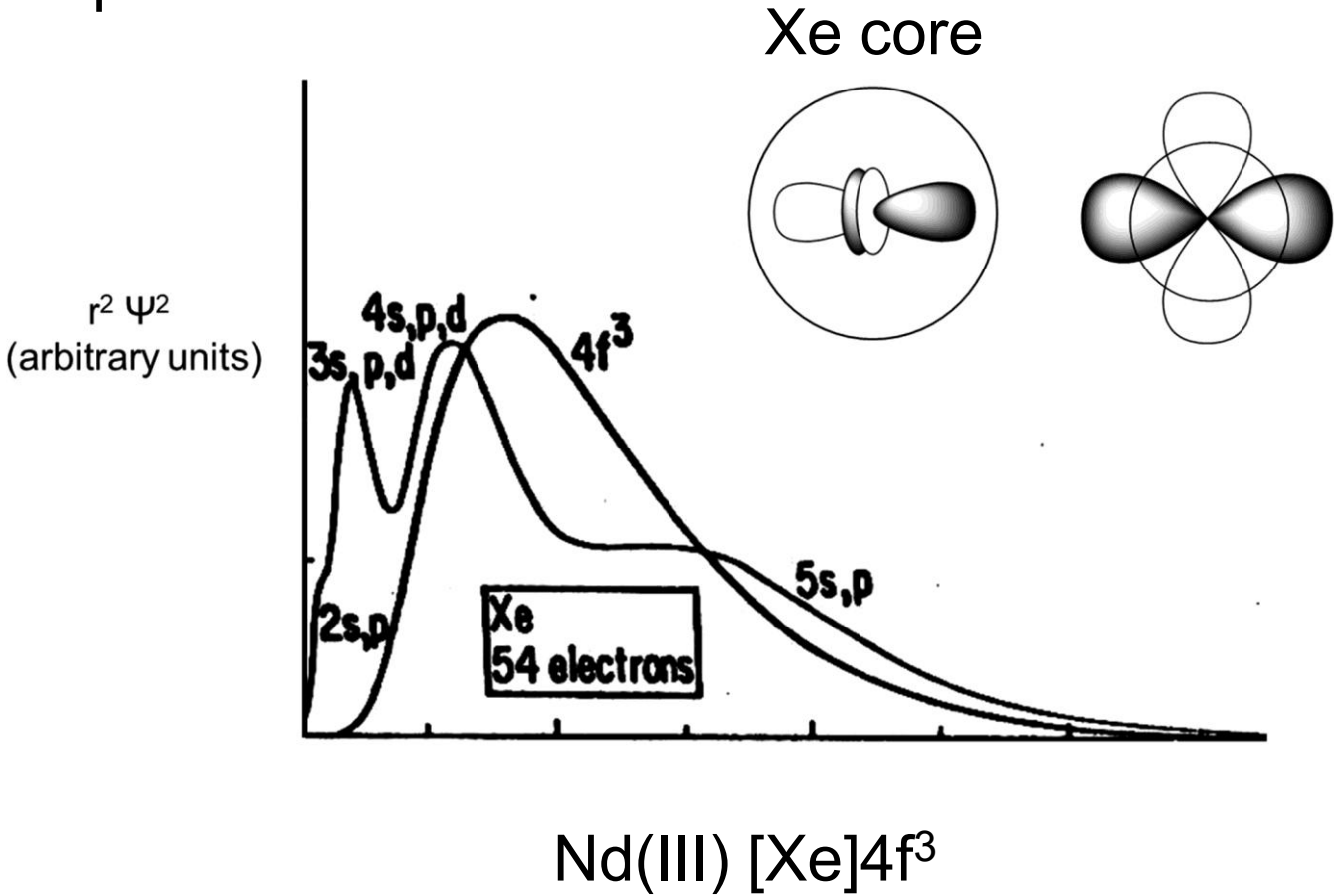


Pr^{3+}, f^2

$$\frac{[2(2l + 1)]!}{x! \times [2(2l + 1) - x]!}$$



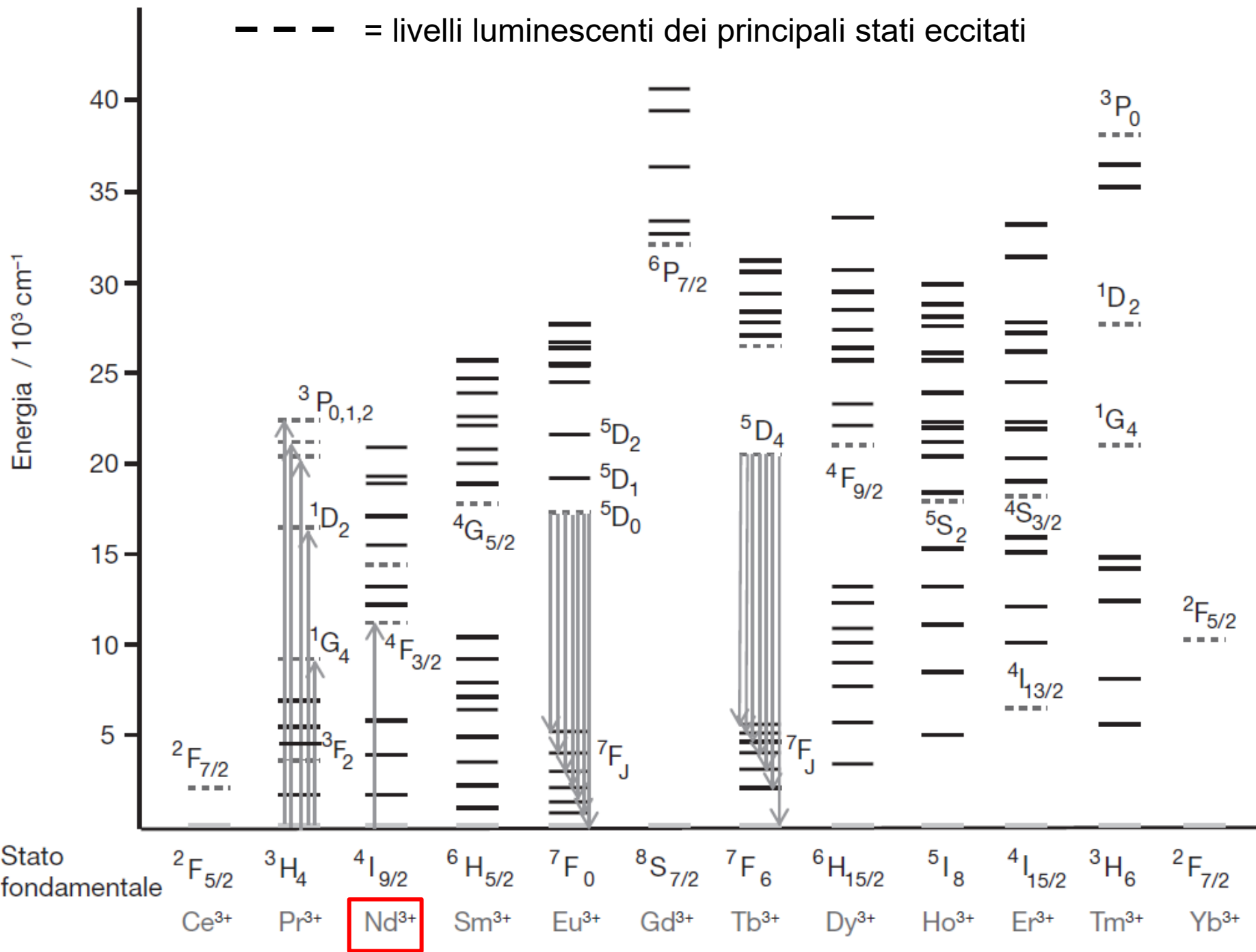
I caratteristici spettri elettronici degli ioni Ln^{3+} , che presentano di solito un **numero elevato di bande affilate** e di **bassa intensità** che sono **scarsamente influenzate da variazioni nell'intorno coordinativo** del lantanide, sono una conseguenza del fatto che gli orbitali 4f hanno un'estensione radiale inferiore agli orbitali pieni 5s e 5p.



Spettri di assorbimento elettronico degli ioni Ln^{3+}

- Numero elevato di assorbimenti a causa del gran numero di microstati.
- Assorbimenti deboli a causa della mancanza di mescolamento fra gli orbitali (transizioni f–f proibite secondo Laporte). I coefficienti di assorbanza molare (ϵ) valgono tipicamente $1 - 10 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$; in confronto, quelli dei metalli d sono prossimi a $100 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$.
- Bande affilate a causa delle deboli interazioni degli orbitali f con le vibrazioni dei leganti.
- Spettri in larga parte indipendenti dalla natura dei leganti e dal numero di coordinazione.

--- = livelli luminescenti dei principali stati eccitati



Didymium glasses (al neodimio) per soffiatori di vetro



Il neodimio ha un assorbimento affilato a 580 nm, che corrisponde quasi esattamente alla principale emissione gialla degli atomi eccitati di sodio.

Il didimio, che si riteneva essere un elemento, è in realtà una miscela di praseodimio e neodimio.

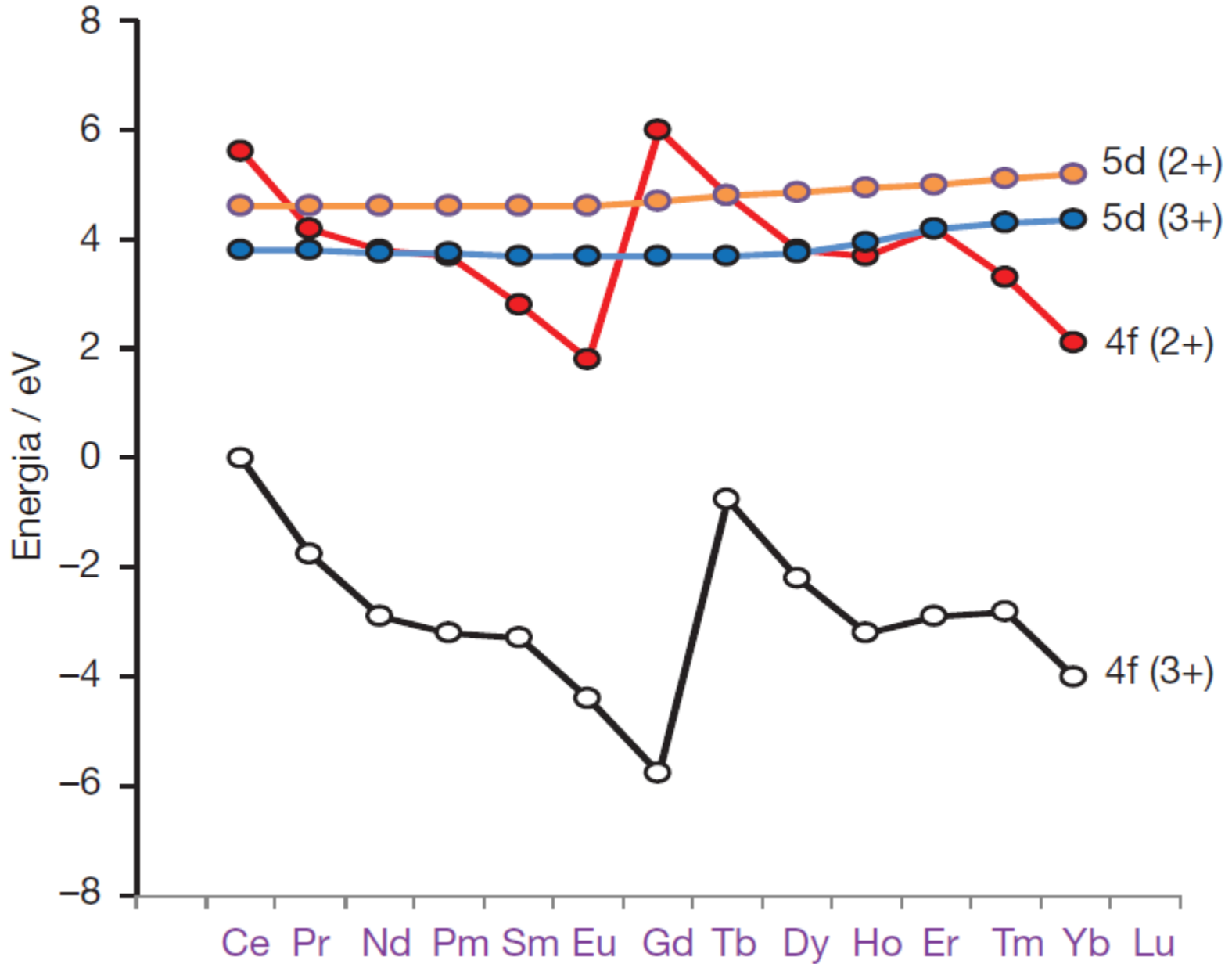
Transizioni $4f \rightarrow 5d$ (Laporte-permesse)

Le transizioni tra gli orbitali $4f$ e $5d$ per gli ioni Ln^{3+} di solito cadono nella regione UV ad alta energia dello spettro. Le bande a minore energia si hanno per Ce^{3+} , per il quale le transizioni $4f^1 \rightarrow 5d^1$ iniziano intorno a 250 nm.

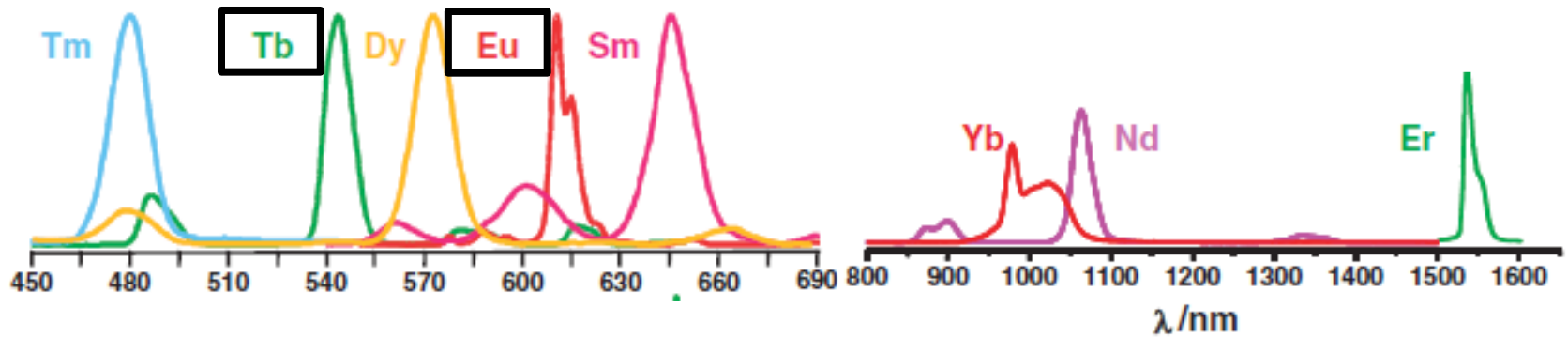
Al contrario di Ln^{3+} , molti composti di Ln^{2+} sono intensamente colorati poiché le transizioni $4f^n \rightarrow 4f^{n-1}5d^1$ avvengono nelle regioni spettrali del vicino-IR e del visibile.

Queste transizioni generano bande più intense e più larghe che sono anche più sensibili all'ambiente circostante.

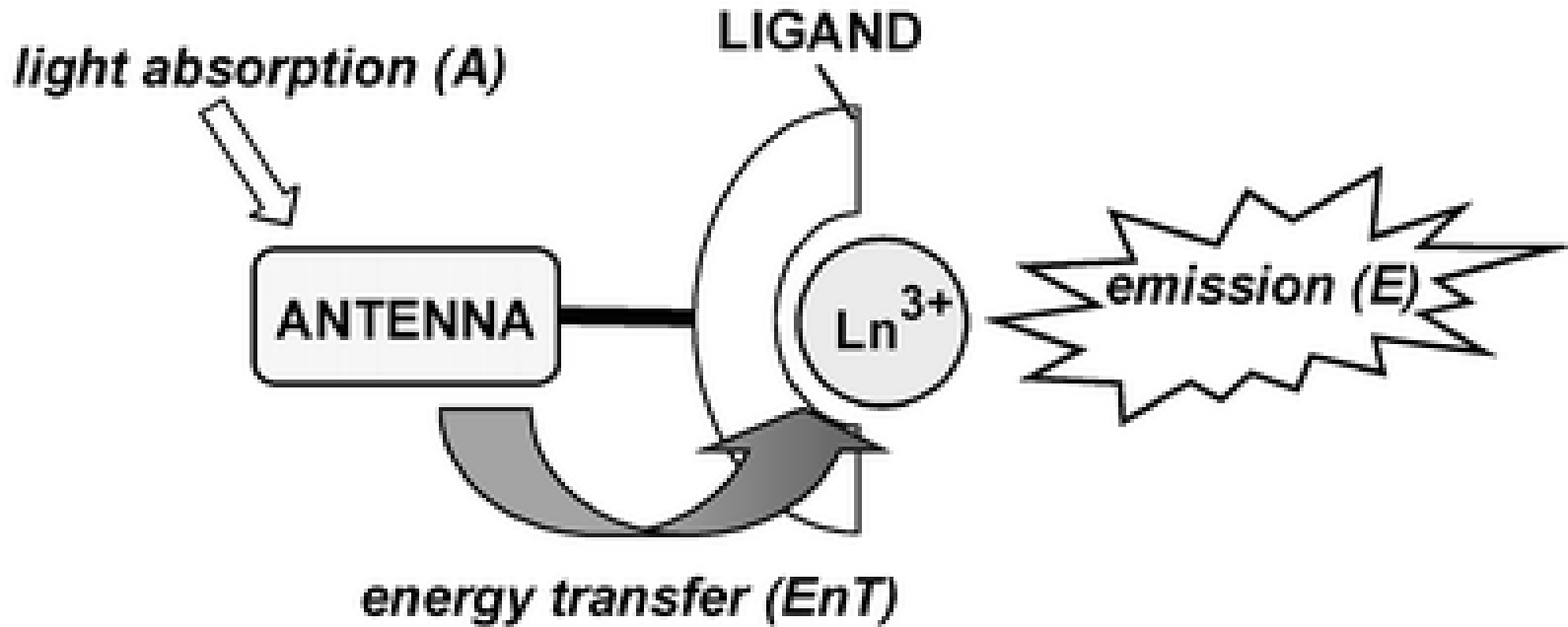
energie relative (vs Ce³⁺) degli orbitali 4f e 5d degli ioni Ln³⁺ e Ln²⁺ droganti in YPO₄.



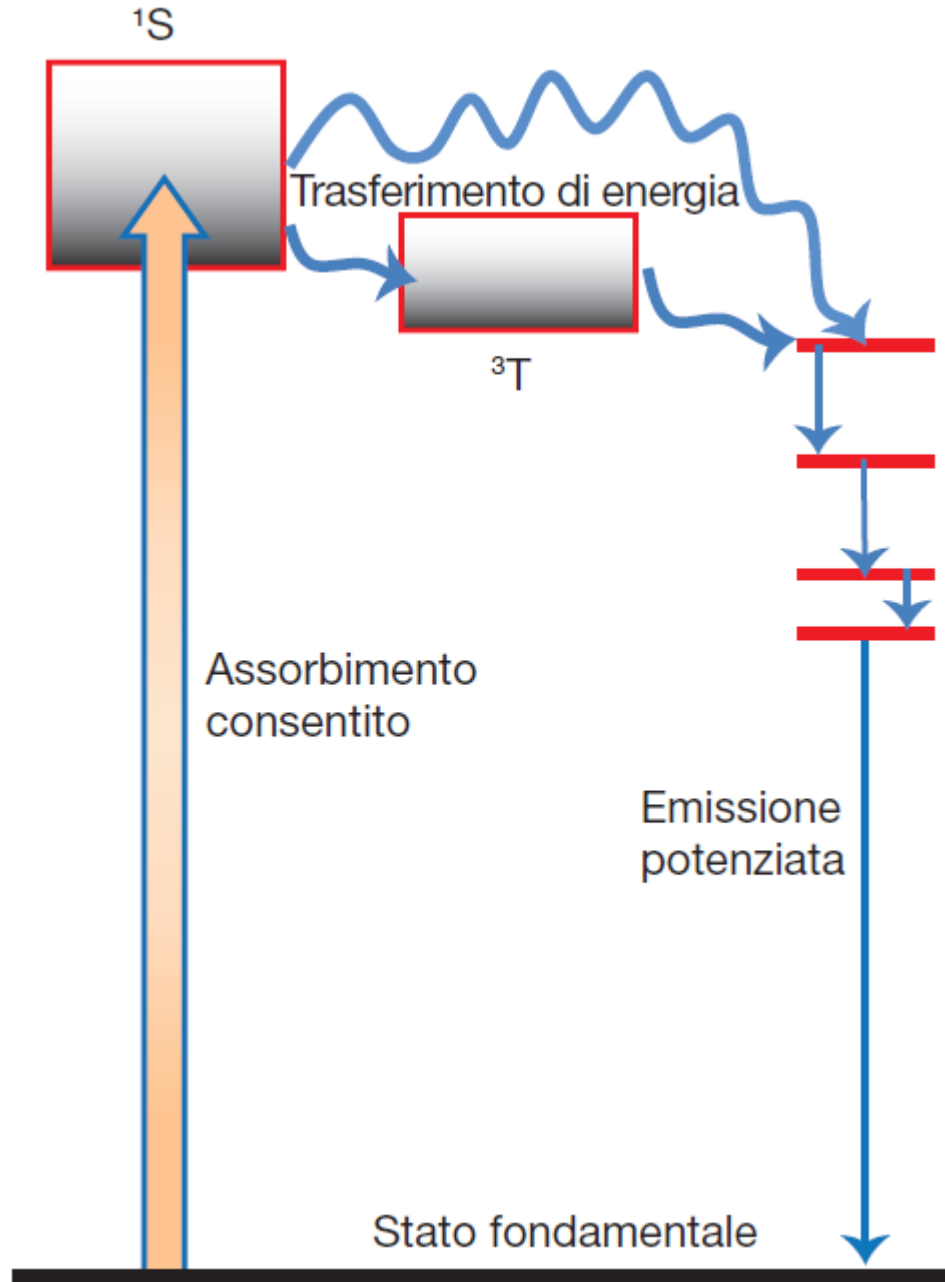
Spettri di emissione degli ioni Ln^{3+}



Sensibilizzazione (*antenna excitation*)



Sensibilizzazione (*antenna excitation*)



Lanthanide-doped LED (*fosfori*)

White-emitting LED = core LED blu (GaN, $\lambda_{em} = 450 - 470$ nm) ricoperto da uno strato di resina epossidica contenente un *fosforo al lanthanide* che emette nel giallo (e.g. *yttrium aluminium garnet*, YAG, drogato con cerio (YAG:Ce)).

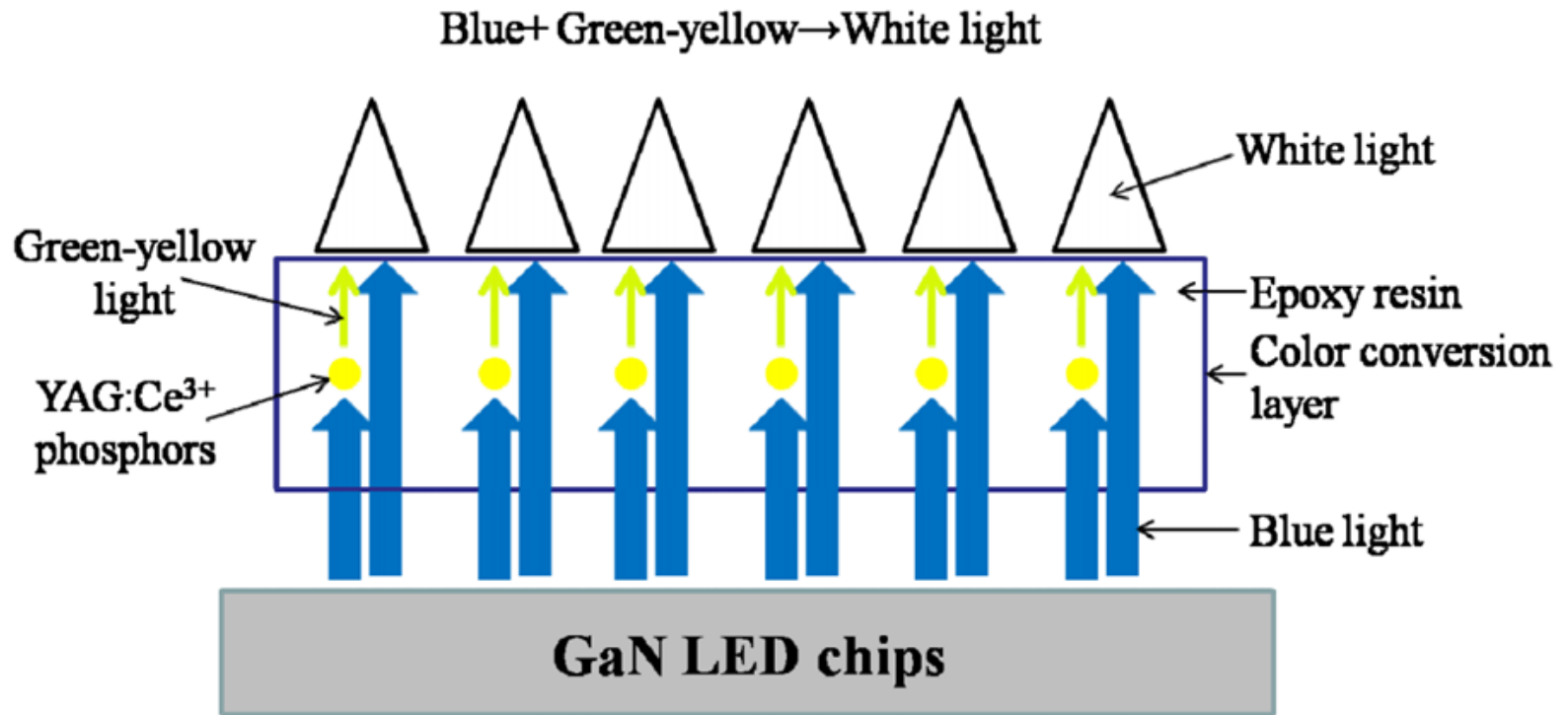
Blu + giallo = bianco

Granato (*garnet*) = $M_3M'_2(XO_4)_3$, (M/M' = 2⁺/3⁺, X = Si, Al, Ga, Ge)

Granato di ittrio e alluminio (YAG) = $Y_3Al_5O_{12}$

La struttura del granato definisce dei siti ottacoordinati che possono venire occupati da ioni dei lantanidi (e.g. al posto di Y³⁺)

Lanthanide-doped LED



Proprietà magnetiche

$$\mu = g_J \{J(J+1)\}^{1/2} \mu_B$$

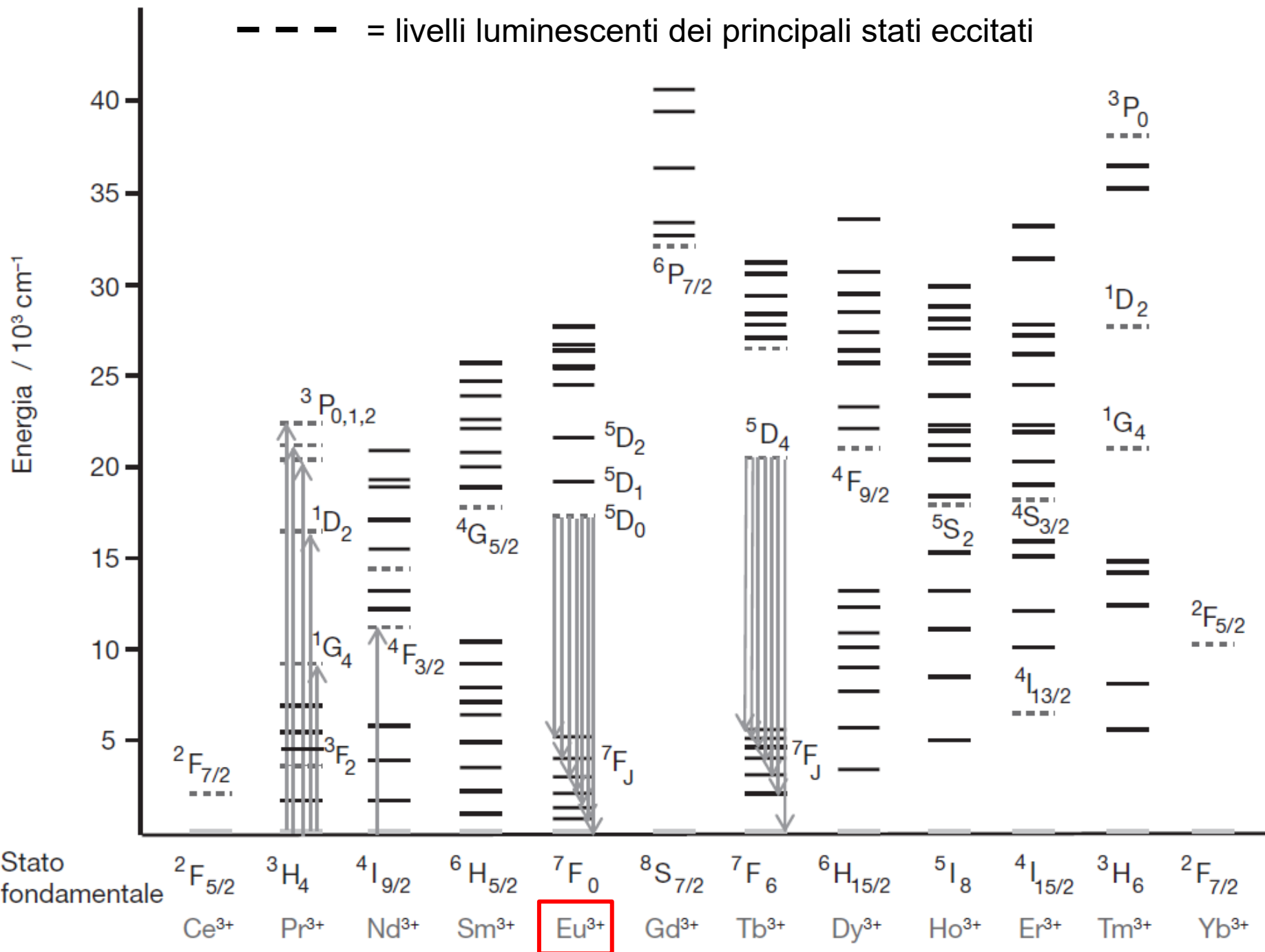
$$g_J = 1 + \frac{S(S+1) - L(L+1) + J(J+1)}{2J(J+1)}$$

g = fattore di Landè

Metal ion	Colour	Ground state electronic configuration	Ground state term symbol	Magnetic moment, μ (298 K) / μ_B	
				Calculated from equation 25.1	Observed
La ³⁺	Colourless	[Xe]4f ⁰	¹ S ₀	0	0
Ce ³⁺	Colourless	[Xe]4f ¹	² F _{5/2}	2.54	2.3–2.5
Pr ³⁺	Green	[Xe]4f ²	³ H ₄	3.58	3.4–3.6
Nd ³⁺	Lilac	[Xe]4f ³	⁴ I _{9/2}	3.62	3.5–3.6
Pm ³⁺	Pink	[Xe]4f ⁴	⁵ I ₄	2.68	2.7
Sm ³⁺	Yellow	[Xe]4f ⁵	⁶ H _{5/2}	0.84	1.5–1.6
Eu ³⁺	Pale pink	[Xe]4f ⁶	⁷ F ₀	0	3.4–3.6
Gd ³⁺	Colourless	[Xe]4f ⁷	⁸ S _{7/2}	7.94	7.8–8.0
Tb ³⁺	Pale pink	[Xe]4f ⁸	⁷ F ₆	9.72	9.4–9.6
Dy ³⁺	Yellow	[Xe]4f ⁹	⁶ H _{15/2}	10.63	10.4–10.5
Ho ³⁺	Yellow	[Xe]4f ¹⁰	⁵ I ₈	10.60	10.3–10.5
Er ³⁺	Rose pink	[Xe]4f ¹¹	⁴ I _{15/2}	9.58	9.4–9.6
Tm ³⁺	Pale green	[Xe]4f ¹²	³ H ₆	7.56	7.1–7.4
Yb ³⁺	Colourless	[Xe]4f ¹³	² F _{7/2}	4.54	4.4–4.9
Lu ³⁺	Colourless	[Xe]4f ¹⁴	¹ S ₀	0	0

I momenti magnetici degli ioni Ln³⁺ sono molto simili a quelli previsti per gli ioni liberi in base all'accoppiamento di Russell-Saunders

--- = livelli luminescenti dei principali stati eccitati



Composti ionici binari di Ln(III)

Le strutture dei composti binari dei lantanidi(III) sono determinate dalle dimensioni del catione Ln(III); sono noti **ossidi** binari (prevalentemente sesquiossidi Ln_2O_3), **alogenuri** (LnX_3), **idruri** e **nitruri** (LnN). Questi ultimi hanno importanti applicazioni tecnologiche (proprietà elettroniche, ottiche e magnetiche).

Gli ioni dei lantanidi, Ln(III), hanno raggi che vanno da 116 a 98 pm; per confronto, il raggio ionico di Fe^{3+} è 64 pm. Quindi il volume occupato da uno ione Ln^{3+} è tipicamente da quattro a cinque volte quello occupato da uno ione di un tipico metallo 3d.

Le geometrie di coordinazione sono determinate dal raggio dello ione lantanide, e il numero di coordinazione medio del catione in queste strutture cristalline – tipicamente da 6 a 12 – decresce al diminuire del raggio ionico (cioè da La^{3+} a Lu^{3+}).

Ossidi ternari e ossidi complessi di Ln(III)

(perovskiti, granati)

La possibilità di variare le dimensioni dello ione Ln^{3+} in una serie di composti del tipo ABO_3 , con Ln nel sito del catione più grande A, consente di modularne in modo controllato le proprietà fisiche.

	PrNiO_3	NdNiO_3	EuNiO_3
$r(\text{Ln}^{3+})/\text{pm}$	113	111	107
T_{IM}/K	135	200	480

Temperatura di transizione fra isolante e conduttore (T_{IM})

La resistività delle **manganiti complesse** $\text{Ln}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ dipende fortemente dalla presenza di campi magnetici e dalla temperatura. La scelta del lantanide – cioè delle sue dimensioni – è cruciale per ottenere la proprietà desiderata.

Ossidi ternari e ossidi complessi di Ln(III)

(perovskiti, granati)

La struttura del granato ($M_3M'_2(XO_4)_3$, $M/M' = 2^+/3^+$, $X = Si, Al, Ga, Ge, Fe$) definisce dei siti con coordinazione 8 che possono venire occupati da ioni Ln^{3+} .

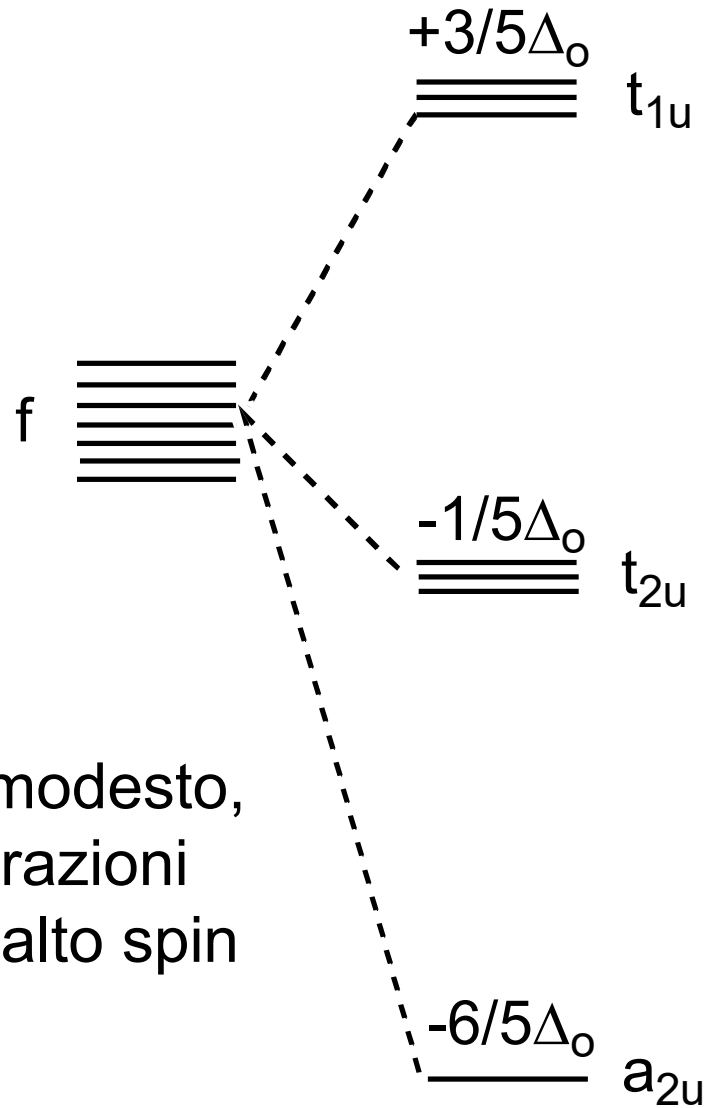
- granato di ittrio e alluminio (**YAG**, *yttrium aluminum garnet*), materiale ospitante degli ioni neodimio nel laser a stato solido Nd:YAG,
- granato di ittrio e ferro (**YIG**, *yttrium iron garnet*) è un importante ferrimagnete usato in dispositivi a microonde e dispositivi ottici per comunicazioni

Chimica di coordinazione degli ioni Ln(III)

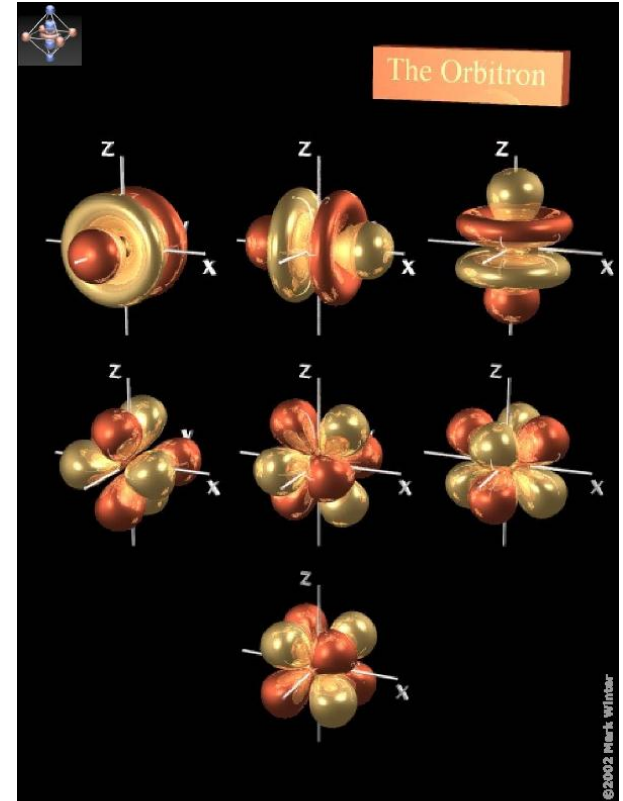
I numeri di coordinazione di solito sono superiori a 6 e i leganti adottano geometrie che minimizzano le repulsioni tra di loro. Infatti gli elettroni f – essendo molto interni – non hanno una sostanziale influenza di tipo stereochimico.

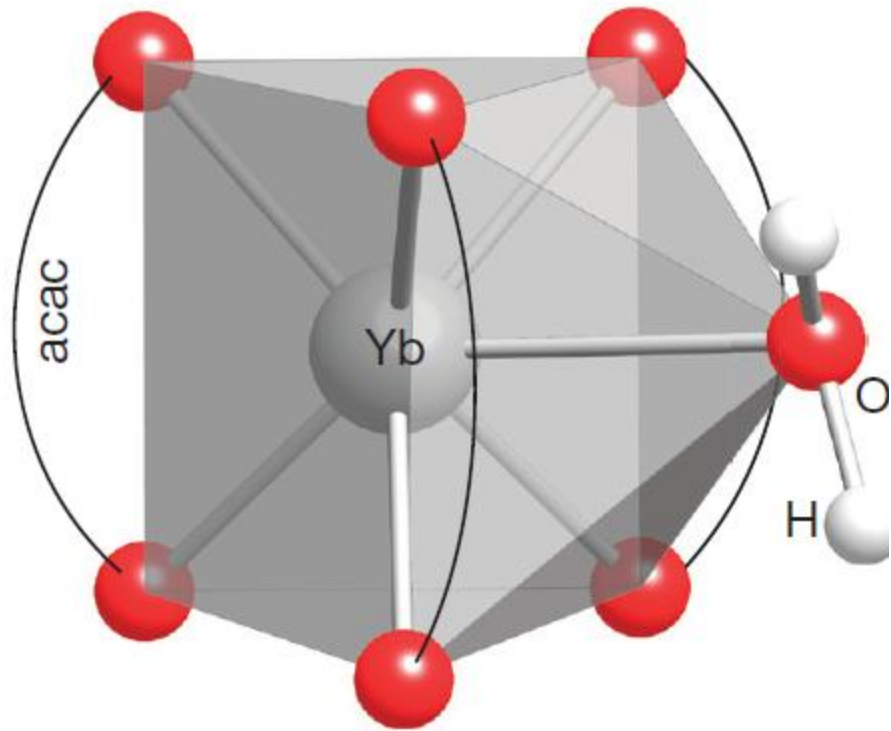
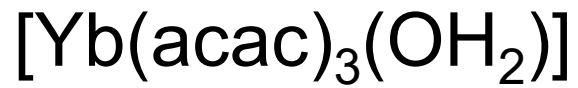
Complessi stabili si ottengono soltanto con chelanti polidentati anionici *hard*, tipicamente con O come atomo donatore (**legami ionici**).

Splitting in campo ottaedrico

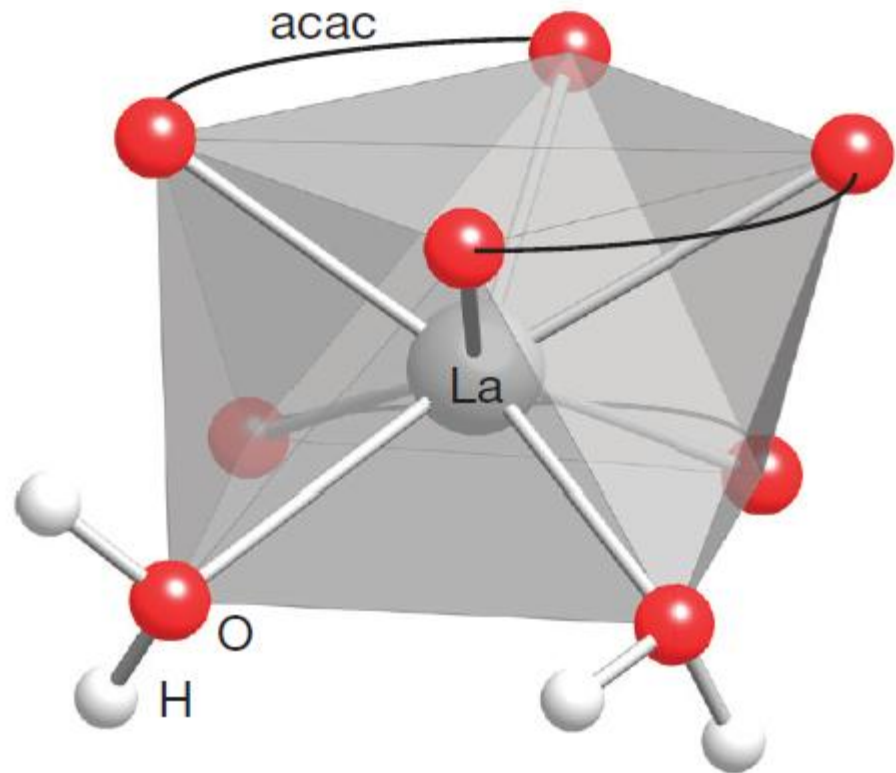
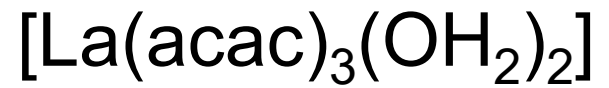


Splitting molto modesto,
sempre configurazioni
elettroniche ad alto spin



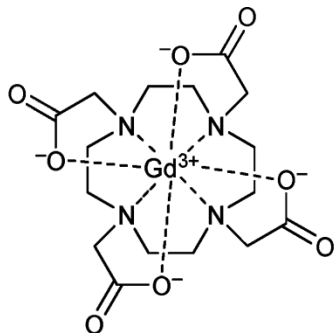


Prisma trigonale cappato

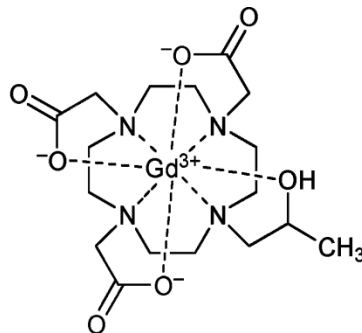


Antiprisma quadrato

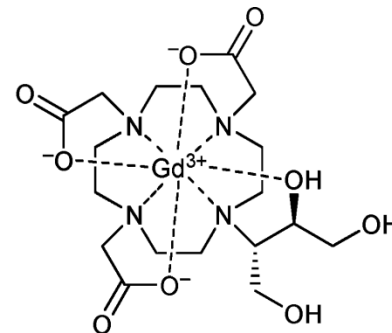
Agenti di contrasto di Gd(III) per MRI



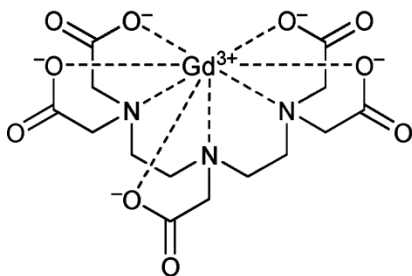
Gd-DOTA
Dotarem®
(Guerbet)



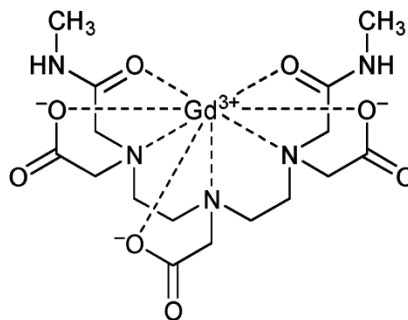
Gd-HP-DO3A
ProHance®
(Bracco)



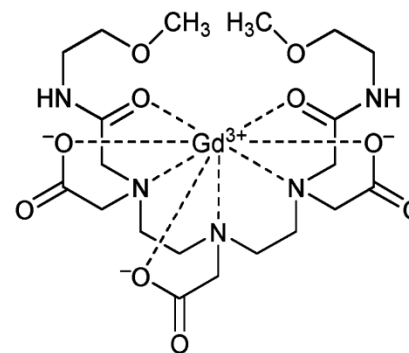
Gd-BT-DO3A
Gadovist®
(Schering)



Gd-DTPA
Magnevist®
(Schering)



Gd-DTPA-BMA
Omniscan®
(Amersham)



Gd-DTPA-BMEA
OptiMARK®
(Mallinckrodt)

~40 milioni di scan MRI all'anno usano un CA di Gd
i.e. ~50 tonnellate di Gd

Stati di ossidazione non-canonici: Ln(IV) e Ln(II)

	$E(\text{Ln}^{3+}/\text{Ln})$	$r(\text{Ln}^{3+})/\text{pm}$	N.O. [†]
La	-2,38	116	3
Ce	-2,34	114	3, 4
Pr	-2,35	113	3, 4
Nd	-2,32	111	2, 3
Pm	-2,29	109	3
Sm	-2,30	108	2, 3
Eu	-1,99	107	2, 3
Gd	-2,28	105	3
Tb	-2,31	104	3, 4
Dy	-2,29	103	2, 3
Ho	-2,33	102	3
Er	-2,32	100	3
Tm	-2,32	99	2, 3
Yb	-2,22	99	2, 3
Lu	-2,30	98	3

Ce^{3+} (f^1) può venire ossidato a Ce^{4+} (f^0) che è un forte agente ossidante molto utile

L'eurobio è l'unico lantanide che possiede un'ampia chimica in soluzione acquosa nello stato di ossidazione +2 ($4f^7$)

† I numeri in grassetto individuano gli stati di ossidazione più stabili.

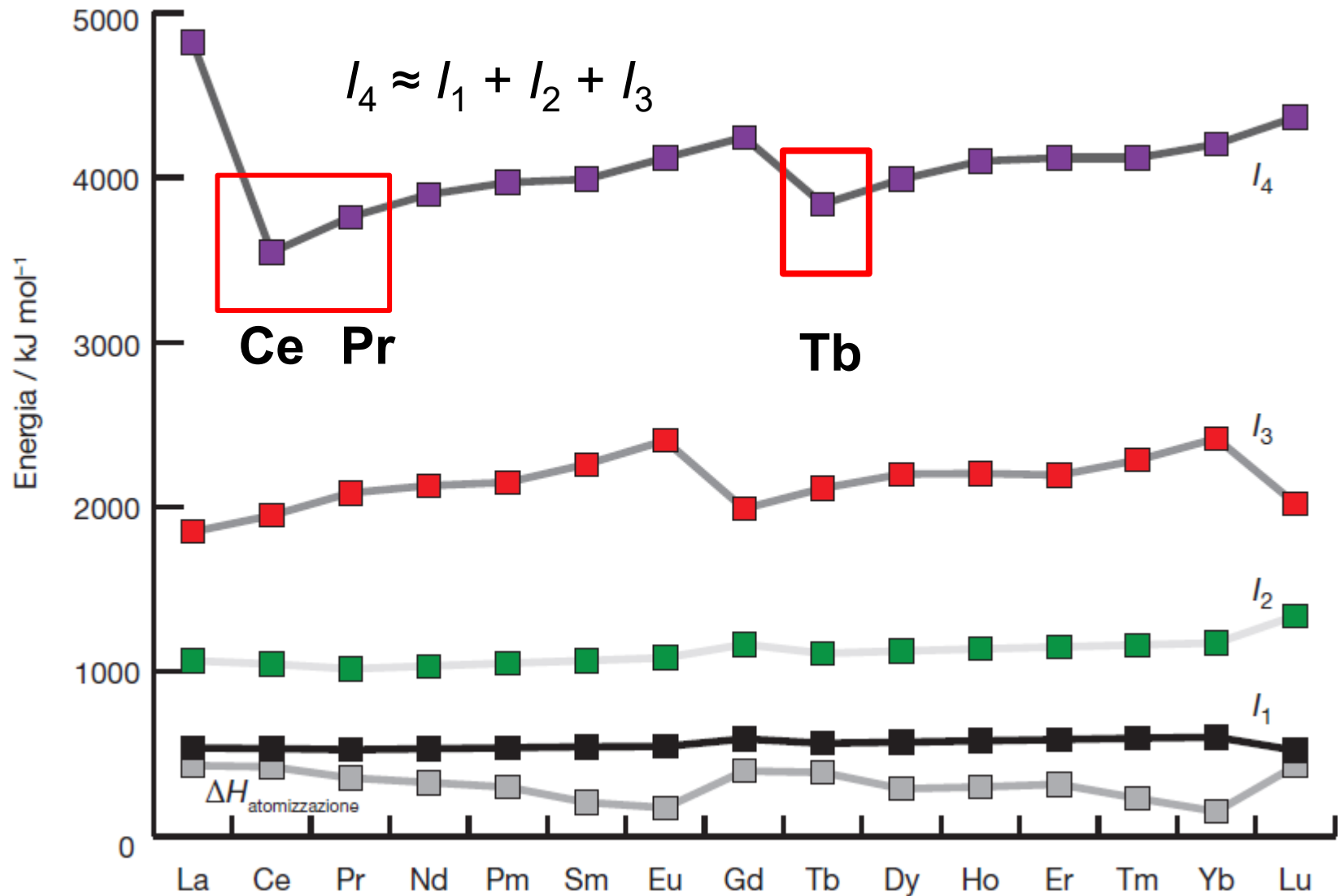
Composti in stati di ossidazione non-canonici: Ln(IV) e Ln(II)

In **soluzione**, la presenza di complessi di Ln(IV) dal 2017 non è più limitata solo al Ce(IV), ma comprende anche Tb(IV).

Allo **stato solido** gli esempi di ioni lantanidi 2+ e 4+ sono molto più numerosi.

Ln(IV): riguardano gli elementi con valori di I_4 più ragionevoli. Oltre a Ce(IV) ci sono notevoli esempi di Pr(IV) e Tb(IV) (ossidi e fluoruri), e in condizioni fortemente ossidanti si possono anche ottenere Dy(IV) e Nd(IV).

Principali ossidi e fluoruri di Ln(IV)



Composti binari di Ln(II)

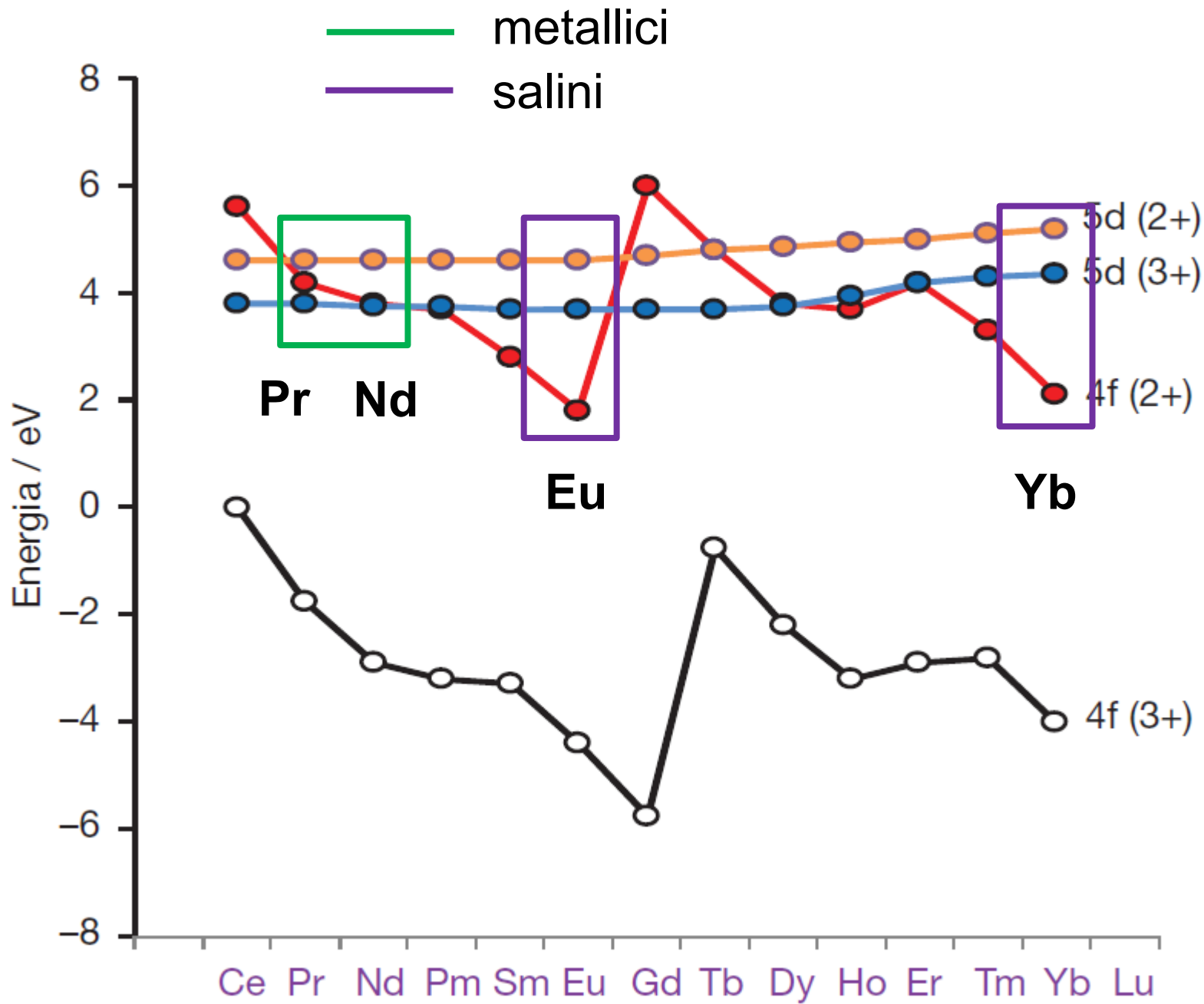
Le proprietà dei solidi di Ln(II) LnO e LnX_2 ($X = \text{H}, \text{Cl}, \text{Br}, \text{I}$) rispecchiano la differenza tra le energie degli orbitali 4f e 5d, cioè dipendono da quanto facilmente un elettrone viene promosso dall'orbitale 4f al più diffuso orbitale 5d che è in grado di formare una larga banda di conduzione.

Se la differenza di energia fra 4f e 5d è piccola, i composti vengono comunemente classificati come “**metallici**”, e in essi il catione è solitamente formulato come (Ln^{3+}, e^-) con l'elettrone inteso nei 5d che, essendo più estesi, formano una banda.

Se la differenza è più grande, i composti vengono classificati come “**salini**”, e in essi il catione è formulato come Ln^{2+} .

I composti metallici di Ln(II) sono dei conduttori elettronici e di colore scuro, mentre quelli salini sono isolanti e di colore chiaro.

Ad esempio, PrO e NdO sono ossidi metallici, cioè del tipo $\text{Ln}^{3+}(\text{O}^{2-})(e^-)$, mentre EuO e YbO sono dei solidi isolanti e quasi incolore ($\text{Ln}^{2+}, \text{O}^{2-}$).



Composti binari di Ln(II)



Ln = Nd, Sm, Eu,
Dy, Tm, Yb

Solidi salini, formulati
come $\text{Ln}^{2+}(\text{X}^-)_2$

Ln = La, Ce, Pr, Gd,
Tb, Ho, Er, Lu

Solidi scuri e metallici,
formulati come $\text{Ln}^{3+}(\text{X}^-)_2(\text{e}^-)$.

Quanto appreso allo stato solido ha trovato recentemente (2013)
riscontro nella chimica organometallica dei composti di Ln(II)

Composti in stati di ossidazione non-canonici: Ln(II)

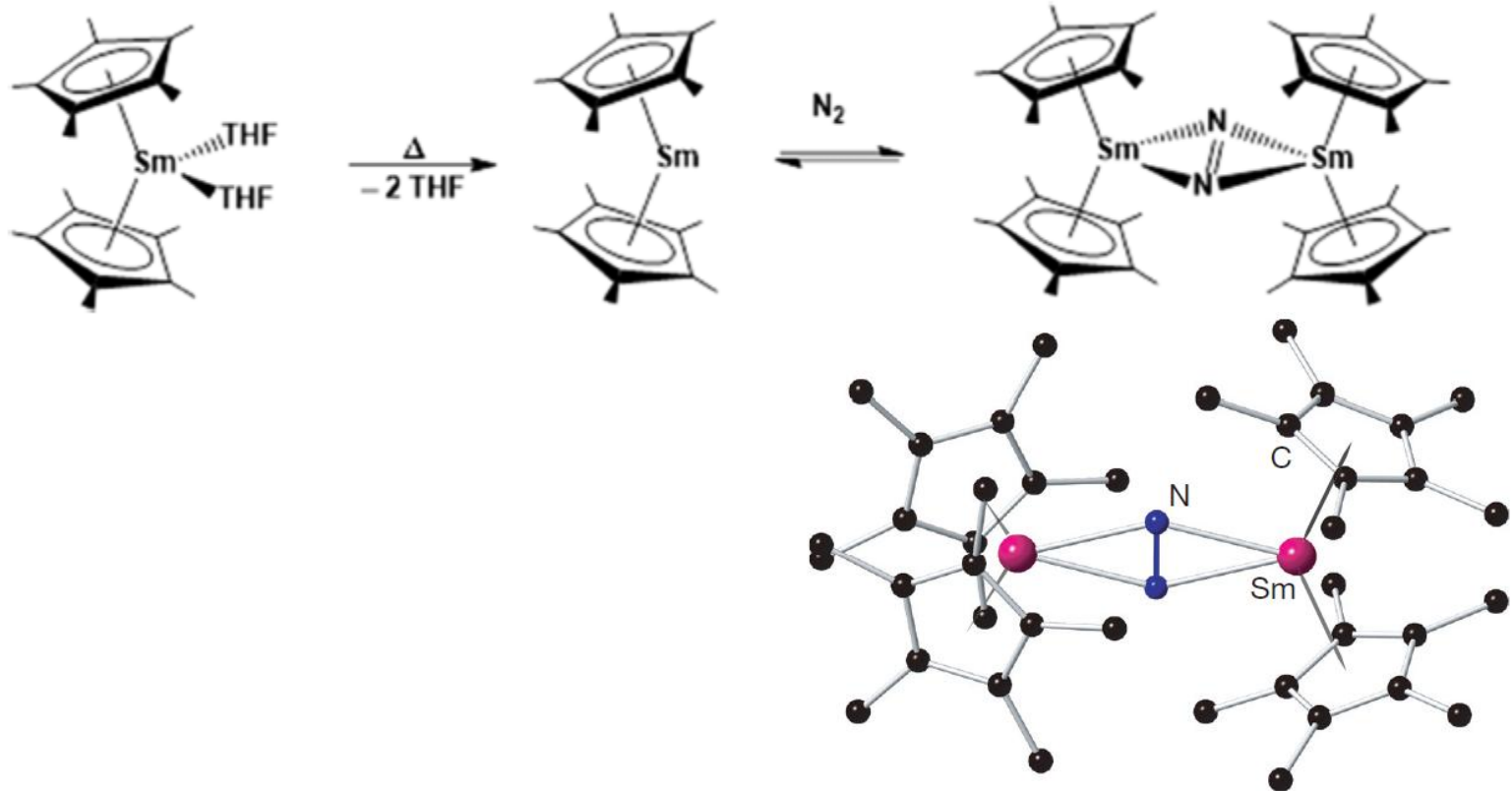
In **soluzione**: Esempi di Ln(II) ora includono, oltre a Eu^{2+} e Yb^{2+} , molti complessi di Sm^{2+} , Tm^{2+} , Dy^{2+} e Nd^{2+} che possono venire preparati in solventi che non subiscano riduzione, come gli **eteri**. Sono tutti dei potenti agenti riducenti monoelettronici.

TABELLA 23.7 Potenziali standard/V per la coppia $\text{Ln}^{3+}/\text{Ln}^{2+}$ in H_2O .

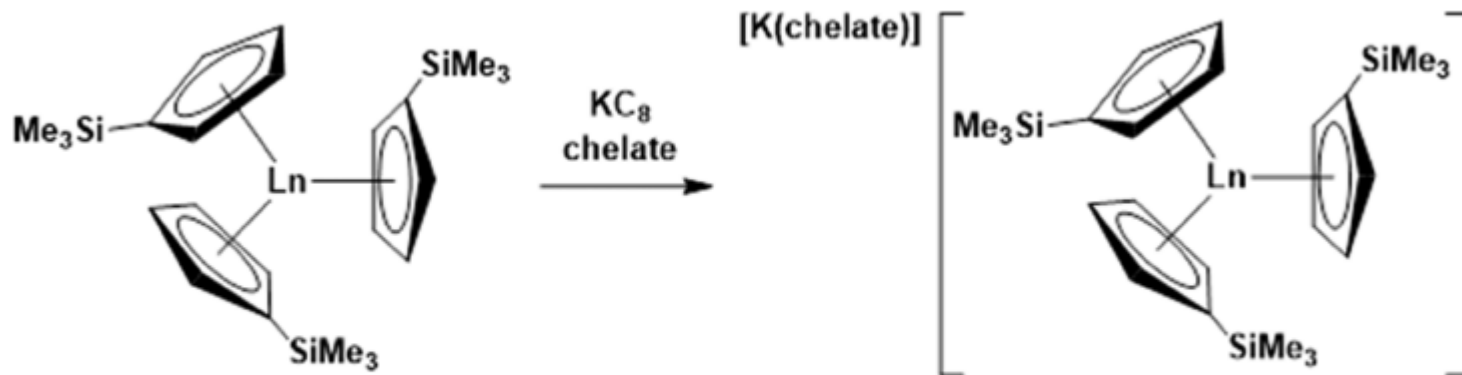
Eu	Eu(II) $4f^7$	-0,35
Yb	Yb(II) $4f^{14}$	-1,15
Sm	Sm(II) $4f^6$	-1,55
Tm	Tm(II) $4f^{13}$	-2,3
Dy		-2,5
Nd		-2,6

Quanto appreso allo stato solido ha trovato recentemente (2013) riscontro nella chimica organometallica dei composti di Ln(II)

I metalloceni di Ln(II) sono degli utili riducenti mono-elettronici che coprono un buon intervallo di reattività.



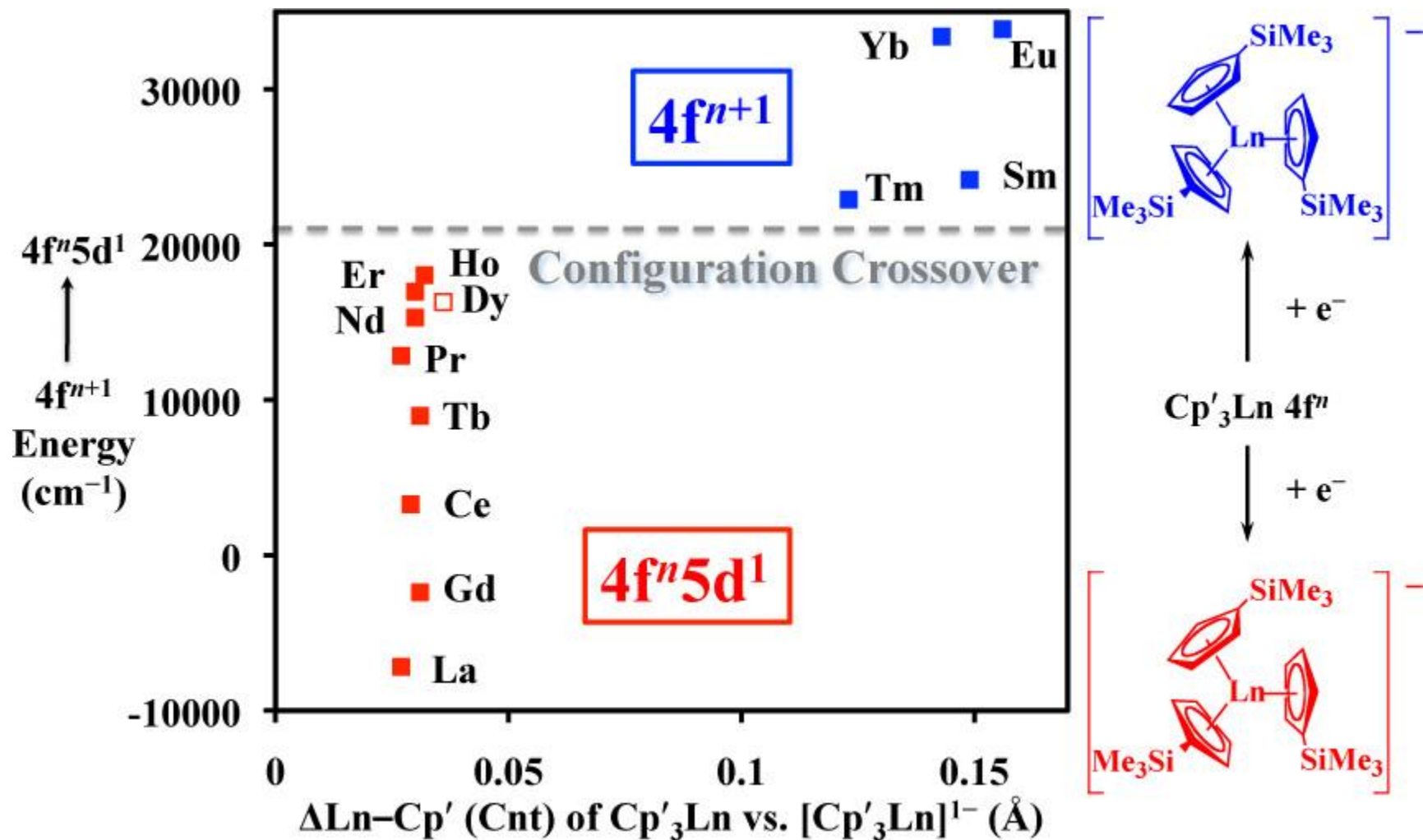
Per avere dei complessi stabili, anche con Ln(III), l'ingombro sterico del set di leganti deve essere abbastanza grande da saturare stericamente il centro metallico (***steric saturation***).



Ln = Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu
 chelate = 18-crown-6, 2.2.2-cryptand

L'isolamento di composti organometallici di Ln(II) per **qualsiasi lantanide** (non solo Eu, Yb, Sm, Tm, Dy e Nd) tramite riduzione con potassio-grafite (2013) fu molto sorprendente perchè i potenziali redox stimati per le coppie Ln(III)/Ln(II) per le reazioni da $4f^n$ a $4f^{n+1}$ erano più negativi rispetto al potenziale del potassio di -2.9 V (vs SHE).

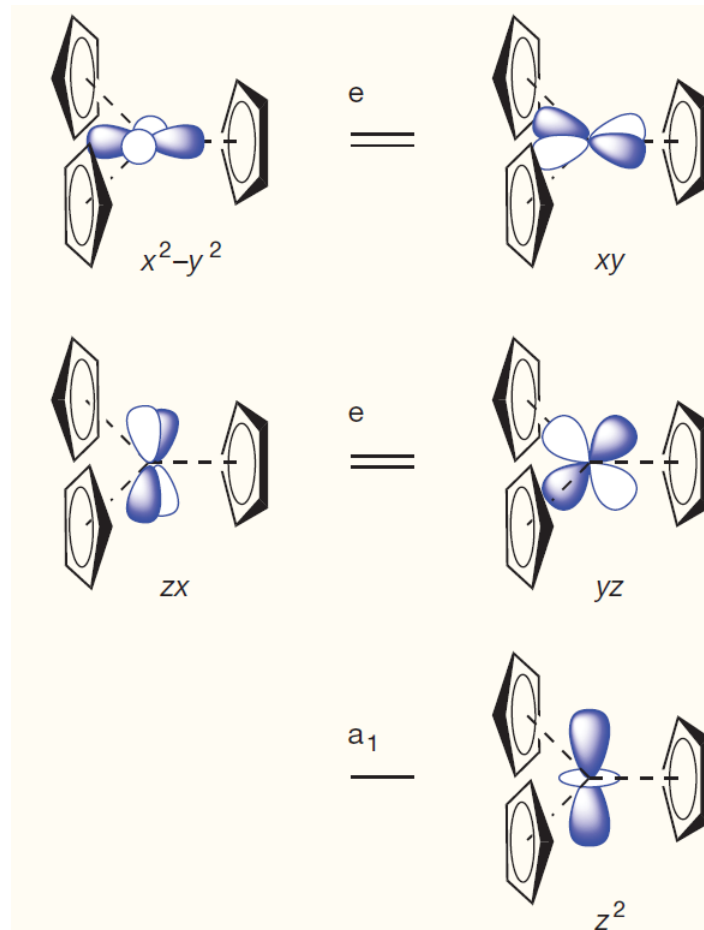
La formazione dei nuovi complessi è possibile perchè la reazione redox riguarda una riduzione da $4f^n$ a $4f^n5d^1$. In effetti, i nuovi complessi hanno potenziali redox Ln(III)/Ln(II) tra -2.55 e -2.74 V (vs SHE).



I complessi “rossi” presentano assorbimenti nel visibile particolarmente intensi ($\epsilon_{\max} > 3000 \text{ mol}^{-1} \text{ dm}^3$) e la distanza (d) Ln-(centroide dell’anello) è poco più lunga rispetto al complesso di partenza di Ln(III). Al contrario, i complessi “blu” non hanno gli assorbimenti intensi ma la distanza Ln-(centroide dell’anello) è notevolmente aumentata.

Gli effetti del campo dei leganti diventano rilevanti quando vengono usati gli orbitali 5d.

La stabilità dei complessi di Ln(II) «covalenti» può essere razionalizzata tenendo conto della extra-stabilizzazione dell'orbitale $5d_{z^2}$ che si ha in un campo dei leganti trigonale planare.



Attinidi

TABELLA 23.2 Tempi di semi-vita degli isotopi più stabili degli attinidi.

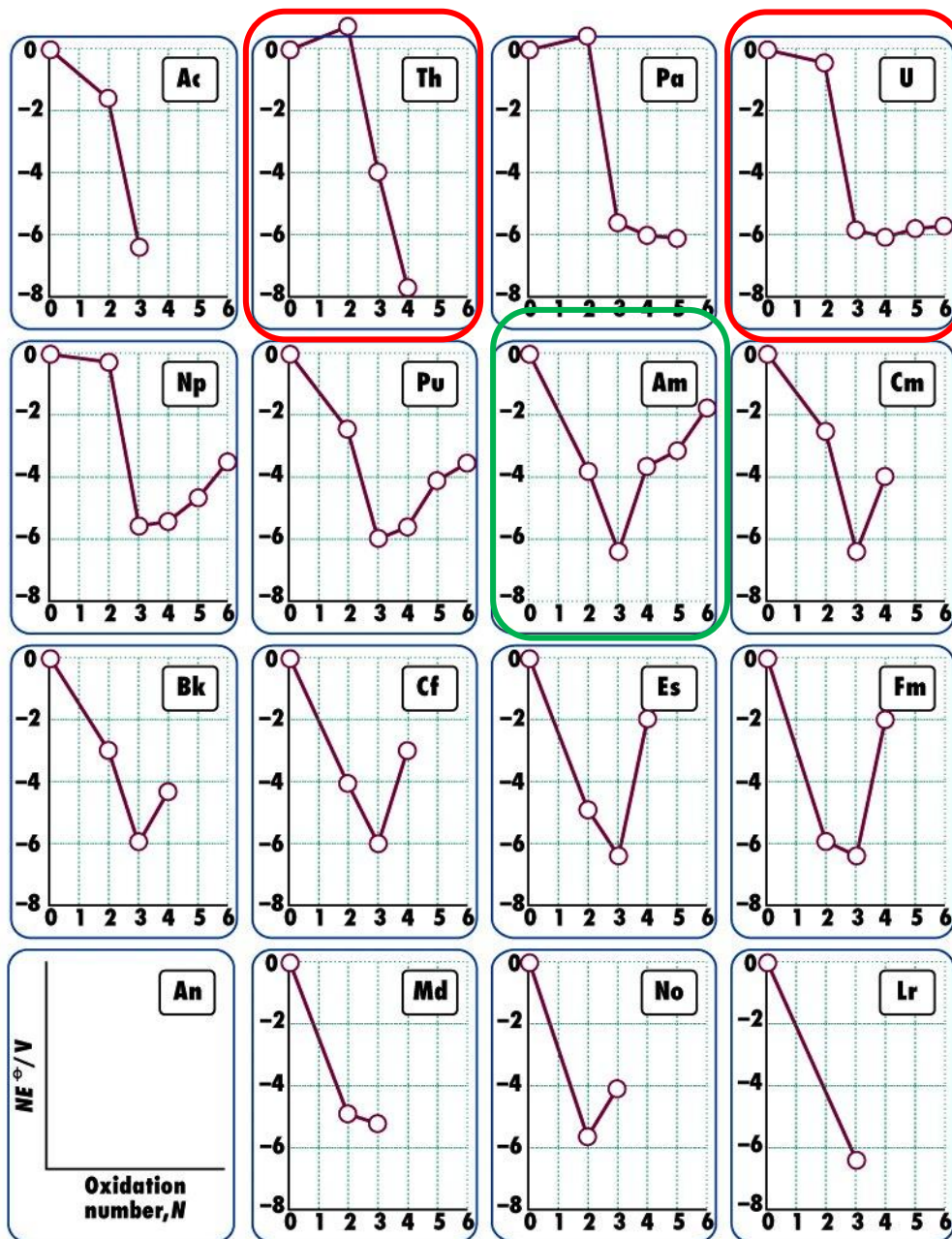
Z	Elemento	Simbolo	Numero di massa	$t_{1/2}$
89	attinio	Ac	227	21,8 a
90	torio	Th	232	$1,41 \times 10^{10}$ a
91	protoattinio	Pa	231	$3,28 \times 10^4$ a
92	uranio	U	238	$4,47 \times 10^9$ a
93	nettunio	Np	237	$2,14 \times 10^6$ a
94	plutonio	Pu	244	$8,1 \times 10^7$ a
95	americio	Am	243	$7,38 \times 10^3$ a
96	curio	Cm	247	$1,6 \times 10^7$ a
97	berkelio	Bk	247	$1,38 \times 10^3$ a
98	californio	Cf	251	900 a
99	einsteinio	Es	252	460 g
100	fermio	Fm	257	100 g
101	mendelevio	Md	258	55 g
102	nobelio	No	259	1,0 h
103	laurenzio	Lr	260	3 min

a = anno, g = giorno, h = ora, min = minuto.

Attinidi

Z	Nome	Simbolo	Configurazione elettronica del metallo	N.O.*
89	Attinio	Ac	[Rn]6d ¹ 7s ²	3
90	Torio	Th	[Rn]6d ² 7s ²	4
91	Protoattinio	Pa	[Rn]5f ² 6d ¹ 7s ²	3, 4, 5
92	Uranio	U	[Rn]5f ³ 6d ¹ 7s ²	3, 4, 5, 6
93	Nettunio	Np	[Rn] 5f ⁴ 6d ¹ 7s ²	3, 4, 5, 6, 7
94	Plutonio	Pu	[Rn] 5f ⁶ 7s ²	2, 3, 4, 5, 6, 7
95	Americio	Am	[Rn] 5f ⁷ 7s ²	2, 3, 4, 5, 6
96	Curio	Cm	[Rn] 5f ⁷ 6d ¹ 7s ²	3, 4
97	Berkelio	Bk	[Rn] 5f ⁹ 7s ²	3, 4
98	Californio	Cf	[Rn] 5f ¹⁰ 7s ²	2, 3, 4
99	Einsteinio	Es	[Rn]5f ¹¹ 7s ²	2, 3
100	Fermio	Fm	[Rn]5f ¹² 7s ²	2, 3
101	Mendelevio	Md	[Rn]5f ¹³ 7s ²	2, 3
102	Nobelio	Nb	[Rn]5f ¹⁴ 7s ²	2, 3
103	Laurenzio	Lu	[Rn]5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ²	2, 3

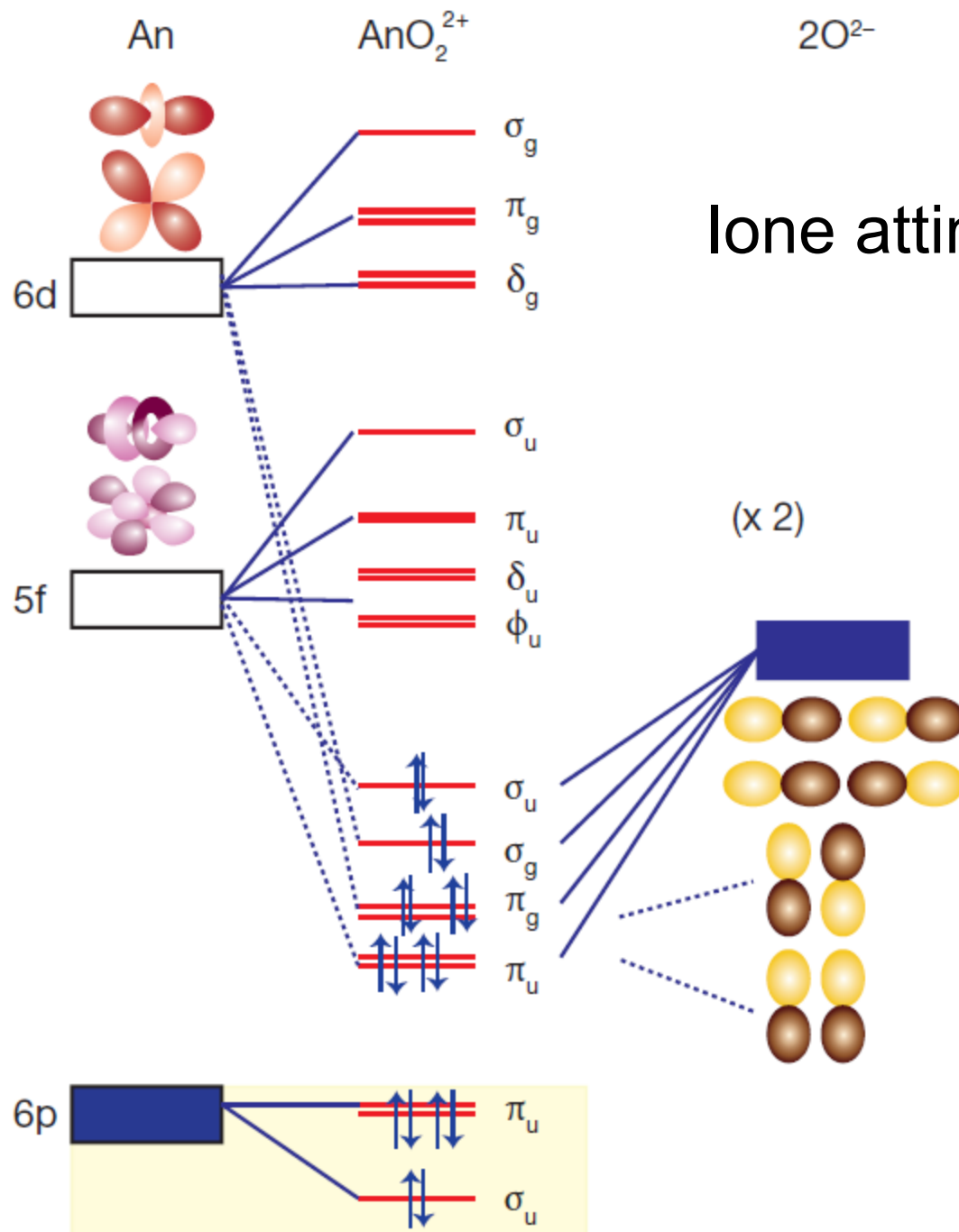
* I numeri di ossidazione principali sono evidenziati in grassetto.



Le proprietà chimiche degli attinidi lungo la serie sono molto meno uniformi rispetto a quelle dei lantanidi e i membri di inizio serie (Ac–Am) assomigliano ai metalli d di inizio serie in quanto possiedono un gran numero di stati di ossidazione disponibili. Gli orbitali 5f presentano un nodo radiale e hanno una regione interna che scherma la parte esterna dell'orbitale dalla carica nucleare: di conseguenza gli orbitali 5f sono molto meno simili a orbitali di nocciolo rispetto ai 4f, almeno fino al Pu.

Per i numeri di ossidazione +5 e +6 degli attinidi di inizio serie (U, Np, Pu e Am), le specie prevalenti in soluzione acquosa sono gli **ioni attinile** lineari – o quasi lineari – $[\text{An}^{(\text{V})/(\text{VI})}\text{O}_2]^{1+/2+}$, stabilizzate da forte donazione σ e π negli orbitali 6d e 5f.

Spostandosi lungo la serie, lo stato di ossidazione 3+ diventa progressivamente dominante, e gli elementi pesanti transuranici assomigliano ai lantanidi.



Lo ione uranile, UO_2^{2+} , in soluzione e nei suoi composti ha un intenso colore giallo dovuto a transizioni LMCT.

Lo ione uranile è anche fortemente **fluorescente**, con una forte emissione fra 500 e 550 nm qualora venga eccitato con luce UV (vetri all'uranio).

