VIDEO

Dmitrij Mendeleev - biografia in pillole

4.1 La classificazione degli elementi

Intorno alla metà del XIX secolo, grazie al contributo di insigni scienziati come Lavoisier, Dalton, Avogadro e Cannizzaro, i chimici avevano accumulato conoscenze fondamentali sulle proprietà fisiche e chimiche degli elementi. Non sfuggì loro la somiglianza esistente tra alcuni di essi, per cui li raggrupparono in famiglie e si cimentarono nel tentativo di individuare un **criterio di classificazione**.

I primi tentativi

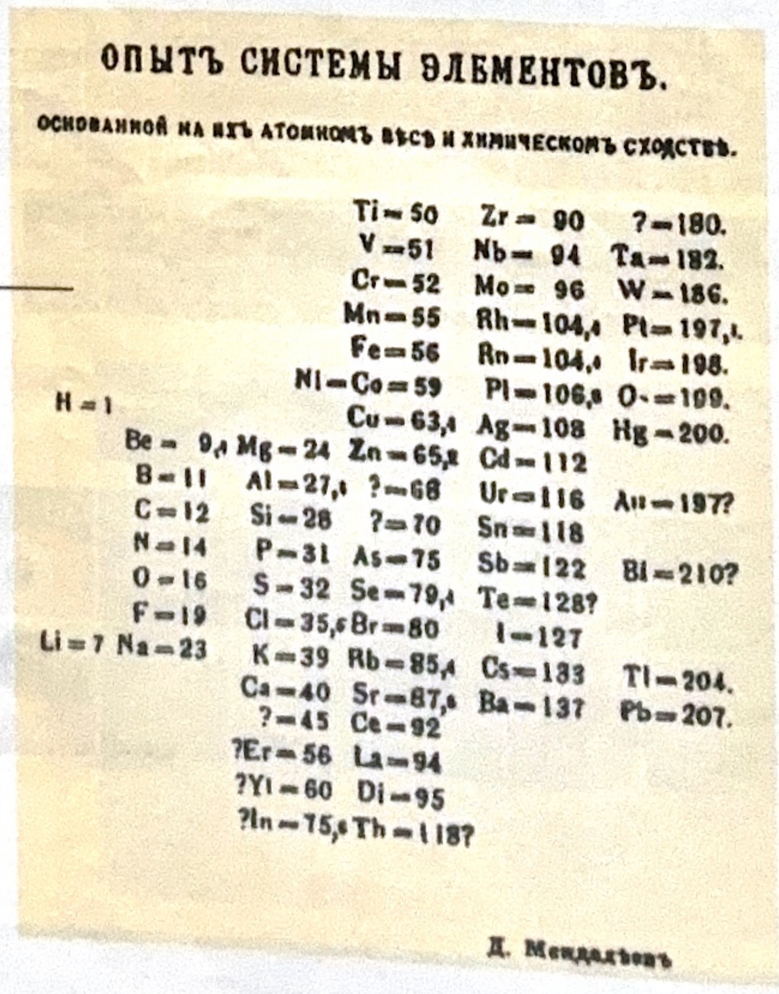
Nel 1817 il chimico tedesco **Johann W. Döbereiner** individuò alcune terne di elementi con comportamento simile e formulò la **legge delle triadi**. Riuscì però a individuare solo quattro terne: Li-Na-K; Ca-Sr-Ba; S-Se-Te; Cl-Br-I.
Alcuni anni dopo l'inglese John A. Newlands ordinò gli elementi per "peso atomico" crescente e li numerò in modo progressivo a partire dall'idrogeno. Dopo i primi sette, notò che l'ottavo aveva caratteristiche simili al primo e lo collocò sotto di esso; così proseguendo, tutti gli elementi conosciuti a quei tempi furono collocati in sette colonne. Per analogia con le note musicali, la legge fu detta **legge delle ottave**. Tale regolarità si interrompeva però dopo il diciassettesimo elemento.



Fig. 1 Dmitrij I. Mendeleev.

La tavola di Mendeleev

Fu il russo **Dmitrij I. Mendeleev** (1834-1907) [Fig. 1] a legare il suo nome alla nascita di una moderna classificazione degli elementi. Nel 1869, in un articolo pubblicato sul Giornale della Società Chimica Russa, propose una tabella, nota come **tavola di Mendeleev** o **tavola periodica (TP)**, in cui ordinava, come Newlands, i sessantatré elementi allora conosciuti secondo valori crescenti di "peso atomico" (massa atomica relativa). Aveva infatti notato che, così facendo, a intervalli regolari (ma non sempre uguali) comparivano nella tavola elementi con proprietà simili. Gli elementi obbedivano, cioè, a una *legge periodica*.
Per evidenziare questa periodicità, Mendeleev dispose gli elementi uno sotto l'altro, in colonne [Fig. 2]. In questo modo elementi con caratteristiche simili venivano a trovarsi affiancati su una stessa riga.



ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ.

ОСНОВАННОЙ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ.

			Ti = 50	Zr = 90	? = 180.	
			V = 51	Nb = 94	Ta = 182.	
			Cr = 52	Mo = 96	W = 186.	
			Mn = 55	Rh = 104,4	Pt = 197,1.	
			Fe = 56	Ru = 104,4	Ir = 198.	
			Ni = Co = 59	Pl = 106,6	Os = 199.	
H = 1			Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200.	
	Be = 9,4	Mg = 24	Zn = 65,2	Cd = 112		
	B = 11	Al = 27,4	? = 68	Ur = 116	Au = 197?	
	C = 12	Si = 28	? = 70	Sn = 118		
	N = 14	P = 31	As = 75	Sb = 122	Bi = 210?	
	O = 16	S = 32	Se = 79,4	Te = 128?		
	F = 19	Cl = 35,6	Br = 80	I = 127		
Li = 7	Na = 23	K = 39	Rb = 85,4	Cs = 133	Tl = 204.	
		Ca = 40	Sr = 87,6	Ba = 137	Pb = 207.	
		? = 45	Ce = 92			
		?Er = 56	La = 94			
		?Yt = 60	Di = 95			
		?In = 75,6	Th = 118?			

Д. Менделѣевъ

gli elementi sono ordinati in colonne, secondo valori crescenti di massa atomica relativa, allineandoli quando presentavano proprietà simili.

Fig. 2 La prima tavola periodica proposta da Mendeleev nel 1869.

Il chimico russo si scontrò però con qualche incongruenza: gli elementi di alcune coppie (tellurio e iodio, cobalto e nichel), ordinati in funzione della massa atomica, si trovavano in posizione invertita rispetto a quella che avrebbero dovuto occupare in base alle loro proprietà chimiche, per cui scambiò la posizione reciproca sia di tellurio e iodio, sia di cobalto e nichel, anteponendo (in contrasto con la legge periodica da lui stesso enunciata) l'elemento che in ogni coppia aveva massa atomica maggiore.
Lasciò infine delle caselle vuote, ipotizzando l'esistenza di elementi ancora da scoprire.
Mendeleev riuscì a specificare molto bene quali caratteristiche chimiche dovessero avere gli elementi ancora ignoti che venivano dopo il boro, l'alluminio e il silicio, e che, secondo l'etimologia greca, chiamò rispettivamente "ekaboro", "ekaalluminio" ed "ekasilicio" (sono lo scandio, il gallio e il germanio).
Nel 1872 egli pubblicò, questa volta in tedesco, una nuova tavola con gli elementi organizzati sempre in righe e colonne, ma in cui gli elementi con proprietà chimiche simili erano disposti uno sotto l'altro, come oggi [**Fig. 3**]. La scoperta di molti degli elementi mancanti, avvenuta nell'arco di quindici anni dalla pubblicazione della prima tavola, contribuì al suo successo.

Fig. 3 Tavola di Mendeleev, pubblicata in lingua tedesca nel 1872. È suddivisa in dodici periodi (orizzontali) e otto gruppi (verticali). Gli spazi vuoti corrispondono a elementi allora sconosciuti.

Tabelle II.

Reihen	Gruppe I. — R^2O	Gruppe II. — RO	Gruppe III. — R^2O^3	Gruppe IV. RH^4 RO^2	Gruppe V. RH^3 R^2O^5	Gruppe VI. RH^2 RO^3	Gruppe VII. RH R^2O^7	Gruppe VIII. — RO^4
1	H=1							
2	Li=7	Be=9,4	B=11	C=12	N=14	O=16	F=19	
3	Na=23	Mg=24	Al=27,3	Si=28	P=31	S=32	Cl=35,5	
4	K=39	Ca=40	—=44	Ti=48	V=51	Cr=52	Mn=55	Fe=56, Co=59, Ni=59, Cu=63.
5	(Cu=63)	Zn=65	—=68	—=72	As=75	Se=78	Br=80	
6	Rb=85	Sr=87	?Yt=88	Zr=90	Nb=94	Mo=96	—=100	Ru=104, Rh=104, Pd=106, Ag=108.
7	(Ag=108)	Cd=112	In=113	Sn=118	Sb=122	Te=125	J=127	
8	Cs=133	Ba=137	?Di=138	?Ce=140	—	—	—	— — — —
9	(—)	—	—	—	—	—	—	
10	—	—	?Er=178	?La=180	Ta=182	W=184	—	Os=195, Ir=197, Pt=198, Au=199.
11	(Au=199)	Hg=200	Tl=204	Pb=207	Bi=208	—	—	
12	—	—	—	Th=231	—	U=240	—	— — — —

der chemischen Elemente.

L'introduzione dei gas inerti nella tavola

Nel 1894 il chimico scozzese **William Ramsey** isolò il primo gas inerte, che chiamò argo (da una parola greca che significa "inattivo"). Negli anni successivi scoprì l'elio e gli altri gas rari. Si pose allora il problema della loro collocazione nel sistema periodico. I chimici conclusero che si doveva aggiungere un'ottava colonna, costituita da elementi di cui non esistevano composti.
Nel 1904 Mendeleev pubblicò una nuova edizione della sua tavola introducendo tutti gli elementi scoperti sino ad allora: gli spazi vuoti erano rimasti pochi. L'ultimo problema, quello delle coppie "anomale", si risolse solo alcuni anni dopo, come vedremo più avanti nello studio della Chimica.

Tavola periodica interattiva

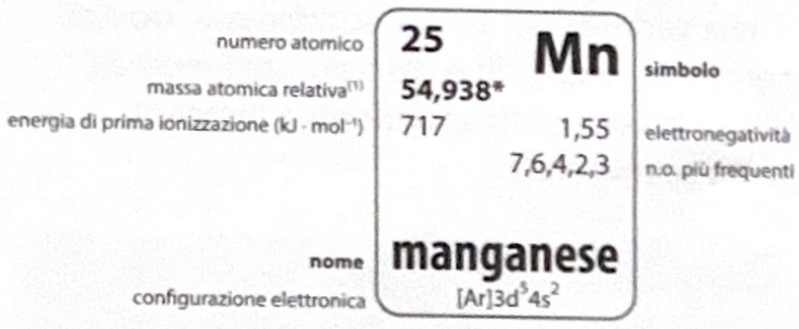


Fig. 4 Ogni elemento è posizionato in una casella, in cui sono indicate le sue caratteristiche.

La tavola periodica moderna

In ogni casella della TP è posizionato un elemento chimico [Fig. 4] con simbolo, numero atomico, massa atomica relativa e altre proprietà fisiche e chimiche.
Come la tradizionale tavola di Mendeleev, anche la moderna TP si presenta suddivisa in righe orizzontali e in colonne verticali [Fig. 5].

I periodi: numero atomico crescente

Le righe orizzontali sono dette **periodi** e sono numerate da 1 a 7. In ogni periodo gli elementi sono disposti da sinistra verso destra in ordine di numero atomico crescente. Il periodo 1, che contiene due soli elementi, e il 2 e il 3, che ne contengono otto, sono anche detti **periodi brevi**. I periodi dal 4 al 7 vengono invece chiamati **periodi lunghi**, perché il 4 e il 5 contengono diciotto elementi ciascuno, mentre il 6 e il 7 ne contengono trentadue (il 7 solo teoricamente, poiché non tutti i possibili elementi artificiali sono stati prodotti).

I gruppi: comportamento chimico simile

Le colonne sono chiamate **gruppi**: la numerazione più comunemente usata distingue due serie di otto gruppi ciascuna, indicati ognuno con i numeri romani da I a VIII e con le lettere A o B. In alcuni casi i gruppi hanno un nome derivato dalle antiche famiglie di elementi: **metalli alcalini** sono detti gli elementi del gruppo I A (escluso

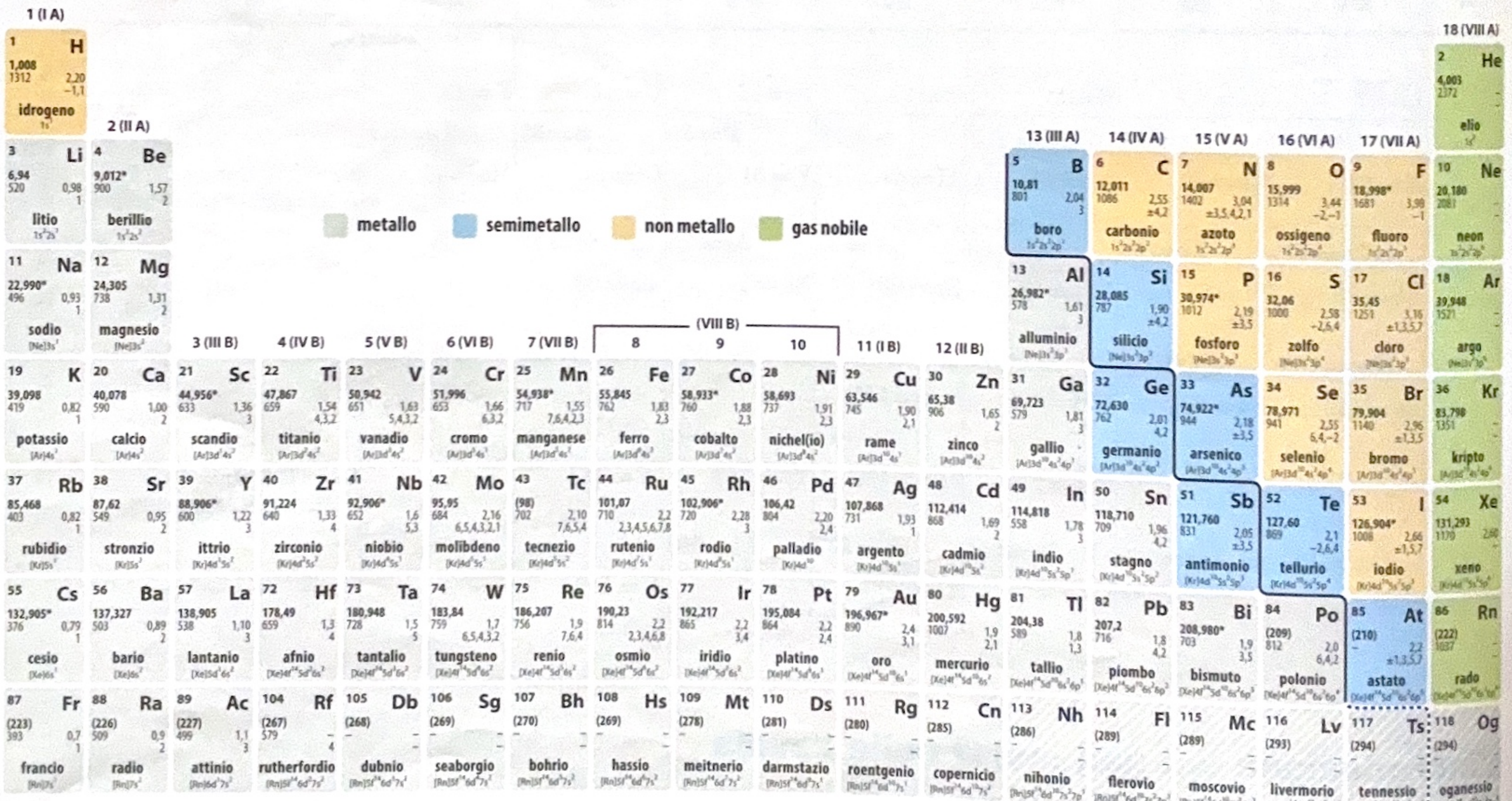


Fig. 5 La moderna tavola periodica.

(1) Riferito alla massa atomica del $^{12}C = 12{,}000$. Per molti elementi radioattivi è indicato tra parentesi il numero di massa o la massa atomica dell'isotopo più stabile. L'asterisco * indica che l'elemento naturale è costituito da un solo isotopo.

l'idrogeno); **metalli alcalino-terrosi** quelli del II A; **alogeni** quelli del VII A; **gas nobili**, o gas rari, o anche **gas inerti** quelli dell'VIII A.
Tutti gli elementi della zona centrale (dal gruppo III B al gruppo II B) sono detti **elementi di transizione**, o **metalli di transizione**.

Metalli e non metalli

Nella TP vediamo una linea spezzata che separa i **metalli**, alla sua sinistra, dai **non metalli**, alla sua destra; gli elementi a cavallo della linea sono i **semimetalli**.

I metalli

I metalli hanno le seguenti proprietà:

- sono solidi e lucenti a temperatura ambiente, tranne il mercurio (liquido);
- sono duttili e malleabili, cioè si possono agevolmente tirare in fili e battere in lamine sottili, e quelli del gruppo I A sono teneri (si tagliano con un coltello);
- sono buoni conduttori di calore e di elettricità;
- in natura sono quasi sempre combinati in composti, e allo **stato nativo** (ossia come elementi) si trovano solo il rame, l'oro, l'argento e il platino.

Il carattere metallico è massimo negli elementi dei gruppi I A e II A, e diminuisce progressivamente lungo i periodi da sinistra a destra (i metalli di transizione come il ferro o il rame hanno carattere metallico meno elevato di sodio o potassio); nei gruppi si accentua procedendo dall'alto verso il basso (nel gruppo I A, per esempio, il potassio ha proprietà metalliche più marcate del sodio) [Fig. 6].

I non metalli e i semimetalli

Anche i non metalli hanno un insieme di proprietà generali che li contraddistinguono:

- sono opachi e fragili allo stato solido;
- a temperatura ambiente sono prevalentemente gas, a esclusione del carbonio, dello zolfo, del fosforo e dello iodio, che sono solidi, e del bromo, che è liquido;
- sono cattivi conduttori di calore ed elettricità, tranne carbonio sotto forma di grafite;
- in natura sono quasi sempre combinati in composti (come il cloro in NaCl), e si trovano nello stato elementare solamente il carbonio (grafite e diamante), lo zolfo, l'azoto, l'ossigeno e i gas nobili.

Infine i semimetalli, come il silicio e il germanio, hanno proprietà intermedie tra quelle dei metalli e quelle dei non metalli: conducono infatti la corrente elettrica e il calore, ma meno bene dei metalli (semiconduttori).

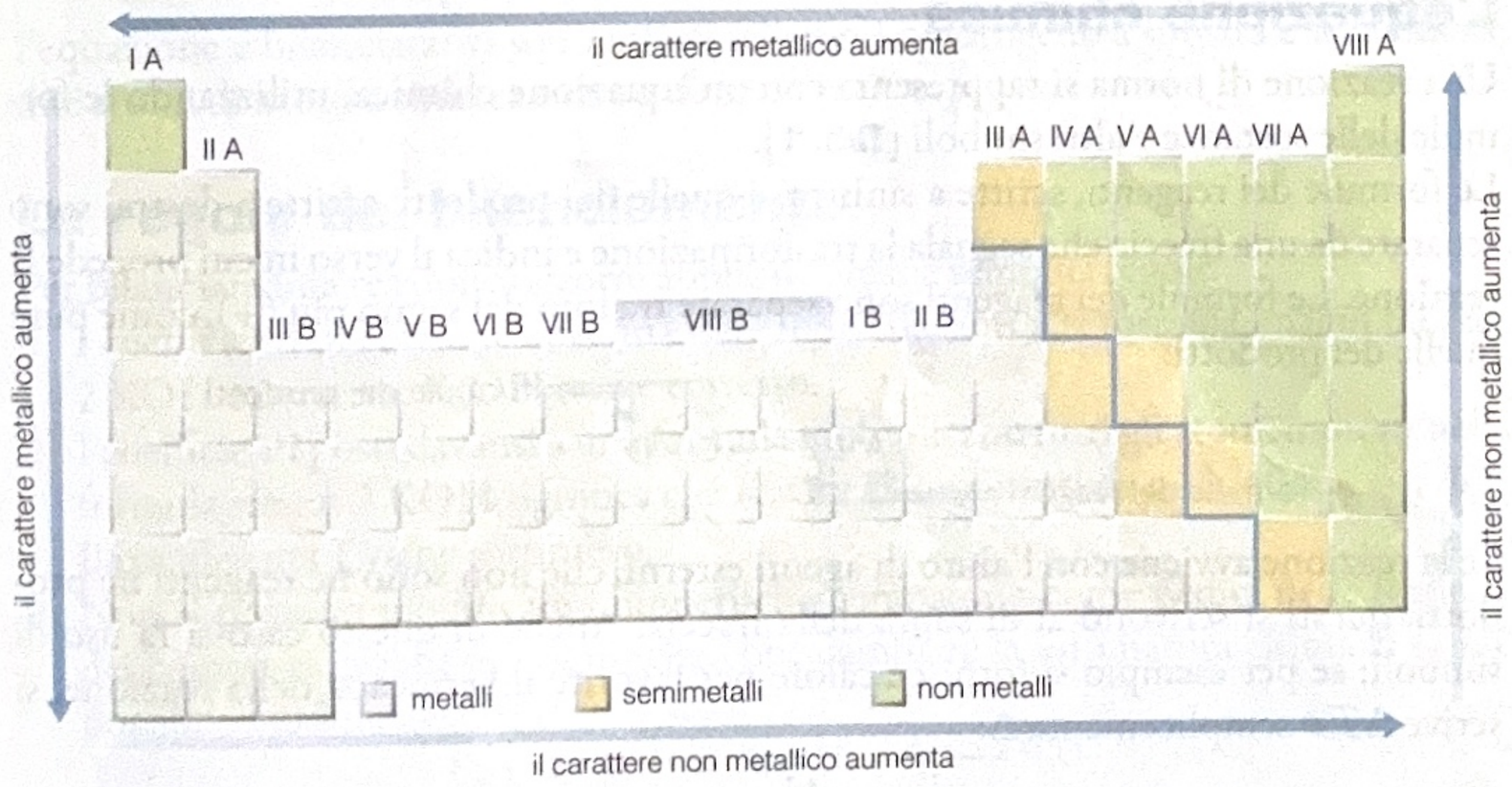
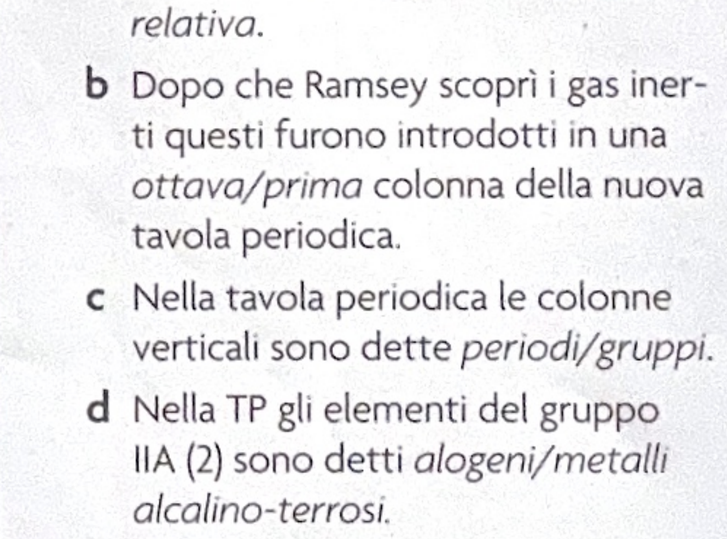


Fig. 6 Andamento delle proprietà metalliche (e non metalliche) degli elementi.

MI METTO ALLA PROVA

1 Completo la mappa concettuale partendo dalla traccia proposta.



2 Scelgo l'alternativa corretta.

a Nella tavola del 1869 Mendeleev ordinò gli elementi in ordine di *numero atomico/massa atomica relativa*.

b Dopo che Ramsey scoprì i gas inerti questi furono introdotti in una *ottava/prima* colonna della nuova tavola periodica.

c Nella tavola periodica le colonne verticali sono dette *periodi/gruppi*.

d Nella TP gli elementi del gruppo IIA (2) sono detti *alogeni/metalli alcalino-terrosi*.

e Nella TP il carattere metallico degli elementi *aumenta/diminuisce* lungo un periodo da sinistra a destra.

f I semimetalli conducono *poco/per nulla* elettricità e calore.

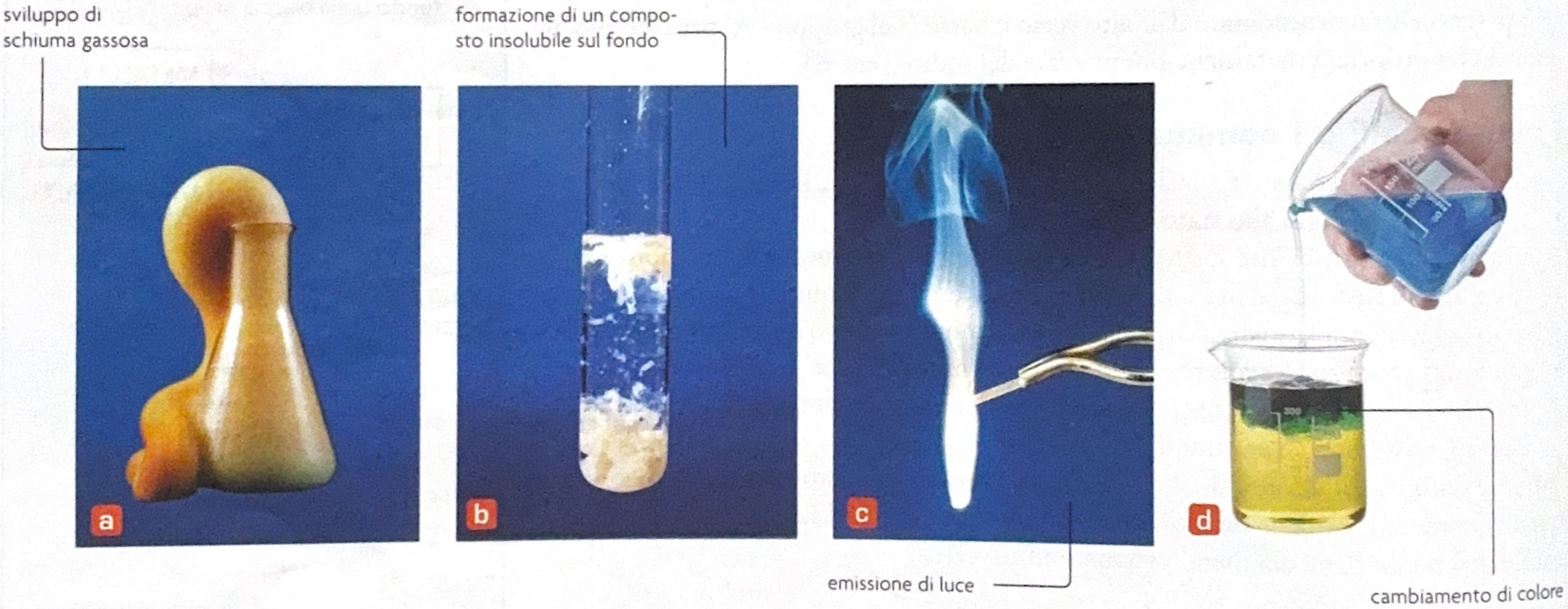
4.2 Le reazioni chimiche

In precedenza abbiamo definito **reazione chimica** un processo di trasformazione della materia che, partendo da una o più sostanze reagenti, fornisce uno o più prodotti.

Una trasformazione a livello atomico con conseguenze macroscopiche

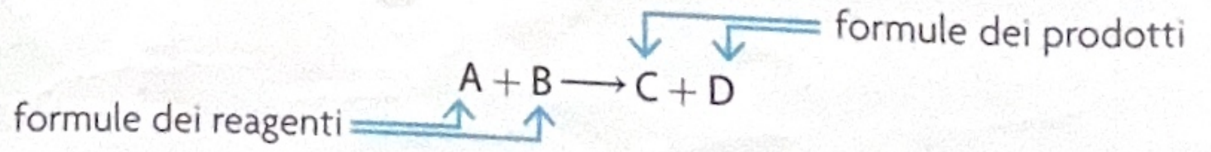
In ogni reazione viene modificato il modo in cui gli atomi, che formano le sostanze, sono legati tra loro: alcuni legami esistenti tra gli atomi dei reagenti si spezzano e se ne formano di nuovi nei prodotti. In accordo con la teoria di Dalton, durante una reazione gli atomi non si creano né si distruggono, ma si **organizzano in modo diverso**.
Mentre una trasformazione fisica è facilmente osservabile, in quanto avviene con evidente trasformazione dell'aspetto fisico, questo non è sempre vero per le trasformazioni chimiche.
Ci accorgiamo che è avvenuta una reazione perché variano alcune **caratteristiche macroscopiche** delle sostanze: si può avere sviluppo di gas, formazione di un precipitato (sostanza non solubile che si deposita sul fondo del recipiente di reazione), emissione di luce, variazioni di colore o di temperatura nell'ambiente di reazione [Fig. 7].

Fig. 7 Fenomeni che consentono di stabilire anche visivamente che è avvenuta una reazione chimica.



L'equazione chimica

Una reazione di norma si rappresenta con un'equazione chimica, utilizzando le formule delle sostanze e altri simboli [Tab. 1].
Le formule dei reagenti, scritte a sinistra, e quelle dei prodotti, scritte a destra, sono separate da una freccia che segnala la trasformazione e indica il verso in cui procede la reazione. Le formule dei reagenti sono separate tra loro dal segno più (+), come pure quelle dei prodotti:



Se la reazione avviene con l'aiuto di agenti esterni, che non sono né reagenti né prodotti, questi si scrivono al di sopra della freccia. Anche in questo caso si fa uso di simboli: se per esempio si fornisce calore per favorire il verificarsi della reazione, si scrive ΔT o semplicemente Δ:

$$CaCO_3 \xrightarrow{\Delta T} CaO + CO_2$$

Tab. 1. I principali simboli utilizzati nelle equazioni chimiche.

Simbolo	Utilizzo e significato
+	separa tra loro due reagenti o due prodotti
→	separa i reagenti dai prodotti (si legge "a dare" o "reagisce a formare")
⇆	separa i reagenti dai prodotti nel caso di reazioni reversibili
(s)	specifica che un reagente o un prodotto è allo stato solido
(l)	specifica che un reagente o un prodotto è allo stato liquido
(g)	specifica che un reagente o un prodotto è allo stato gassoso
(aq)	specifica che una sostanza è in soluzione acquosa
↑	indica che un prodotto si libera allo stato di gas
↓	indica che in una soluzione un prodotto precipita
ΔT, oppure Δ	indica che viene fornito calore alla reazione
cat. (Pt)	indica che la reazione è catalizzata (con il platino)

Si indica spesso, infine, lo stato di aggregazione delle sostanze: (s) per solido, (l) per liquido, (g) per gas e (aq) per una specie in soluzione acquosa:

$$2\,Fe_{(s)} + 6HCl_{(aq)} \longrightarrow 2FeCl_{3(s)} + 3H_{2(g)}$$

Riuscire a scrivere una corretta equazione chimica non implica però, necessariamente, che la reazione avvenga nella realtà, perché in questa operazione, del tutto formale, non si tiene conto dei fattori fisici a cui è legato l'effettivo svolgersi di una reazione.

Il bilanciamento delle equazioni chimiche

Un'equazione chimica non ha solo un significato qualitativo: acquista anche un carattere quantitativo se si procede al suo **bilanciamento**.
Bilanciare una reazione significa porre davanti alle formule di reagenti e prodotti i **coefficienti di reazione** o **coefficienti stechiometrici**: si tratta dei numeri per i quali è necessario moltiplicare gli atomi presenti nelle formule stesse in modo che sia rispettata la legge di Lavoisier, o della conservazione della massa.
In un'**equazione bilanciata** è presente, a sinistra e a destra della freccia, un ugual numero di atomi di ogni elemento.
Consideriamo, per esempio, la seguente reazione:

$$H_2 + N_2 \longrightarrow NH_3$$

L'equazione chimica che abbiamo scritto non è bilanciata: sono infatti presenti due atomi di idrogeno a sinistra (in H_2) e tre a destra della freccia (in NH_3), due atomi di azoto a sinistra (in N_2) e uno solo a destra (in NH_3). Se però scriviamo

$$3H_2 + N_2 \longrightarrow 2\,NH_3$$

l'equazione è bilanciata: vi sono infatti sei atomi di idrogeno a sinistra e sei a destra, due atomi di azoto a sinistra e due a destra.

VIDEO

Perché si bilancia una reazione

Le regole del bilanciamento

Per bilanciare una reazione occorre applicare alcune semplici regole.

1. I coefficienti di reazione devono essere scritti davanti alla formula, mai in mezzo: 2 KOH è corretto, K_2OH non è corretto.
2. I coefficienti posti davanti a una formula moltiplicano tutti gli atomi indicati nella formula stessa: 2 KOH significa che K, O e H sono tutti da moltiplicare per due. Il coefficiente 1 viene sottinteso.
3. Non si possono modificare i numeri che compaiono come pedici nelle formule dei composti, perché ciò significherebbe cambiare la loro natura chimica: non è possibile modificare

   $$H_2 + O_2 \longrightarrow H_2O \quad \text{in} \quad H_2 + O_2 \longrightarrow H_2O_2$$

   per far quadrare il conto degli atomi di ossigeno.

VIDEO

Come si bilancia una reazione

4 Se la formula possiede dei pedici, come H_2S, per ottenere il numero degli atomi presenti si deve moltiplicare il coefficiente stechiometrico per il pedice: se in un'equazione si trova scritto 3 H_2S, si deduce che gli atomi di idrogeno sono sei, mentre quelli di zolfo sono tre.

5 Se nei reagenti sono presenti gruppi atomici che si ritrovano inalterati nei prodotti, ciascuno di tali gruppi va trattato come un'unica entità: nell'equazione

$$HClO_3 + Al(OH)_3 \longrightarrow Al(ClO_3)_3 + H_2O$$

il gruppo ClO_3 deve essere considerato come un tutt'uno, per cui possiamo scrivere 3 $HClO_3$ per bilanciare Al $(ClO_3)_3$, ma non possiamo comportarci allo stesso modo con il gruppo OH di Al $(OH)_3$,poiché OH non è presente nei prodotti.

6 È consigliabile procedere prima al bilanciamento dei metalli, quindi dei non metalli, e solo alla fine di idrogeno e ossigeno.

7 Eseguito il bilanciamento, si deve infine controllare che i coefficienti utilizzati abbiano il valore minimo possibile.

RISOLVIAMO INSIEME!

Bilanciare una reazione di corrosione

In presenza di cloruro di idrogeno (o acido cloridrico, HCl) l'alluminio si corrode.
Scriviamo l'equazione bilanciata della reazione che ha luogo quando l'alluminio viene in contatto con HCl e i cui prodottidi reazione sono tricloruro di alluminio ($AlCl_3$) e idrogeno molecolare (H_2).

Dati e incognite

Equazione non bilanciata:

$$Al + HCl \longrightarrow AlCl_3 + H_2$$

Quali sono i coefficienti stechiometrici da associare alle formule dei reagenti e dei prodotti per ottenere un'equazione bilanciata?

Soluzione

Prendiamo in considerazione un elemento alla volta.

- **Al** - Poiché nell'equazione

$$Al + HCl \longrightarrow AlCl_3 + H_2$$

vi sono un atomo di alluminio a sinistra e uno a destra, questo elemento è bilanciato.

- **Cl** - Vi sono un atomo di cloro a sinistra (in HCl) e tre a destra (in $AlCl_3$). Poniamo quindi un coefficiente 3 davanti ad HCl:

$$Al + 3\,HCl \longrightarrow AlCl_3 + H_2$$

- **H** - Vi sono tre atomi di idrogeno a sinistra (in 3 HCl) e solo due a destra (in H_2). Perciò scriviamo il coefficiente 3 davanti ad H_2 e raddoppiamo il numero di molecole HCl, in modo che gli atomi di idrogeno siano sei a sinistra e sei a destra:

$$Al + 6\,HCl \longrightarrow AlCl_3 + 3\,H_2$$

Ricontrolliamo ora il numero degli atomi di cloro e di alluminio.

- **Cl** - Nell'equazione compaiono sei atomi a sinistra e tre a destra, per cui occorre raddoppiare il numero di molecole $AlCl_3$:

$$Al + 6\,HCl \longrightarrow 2\,AlCl_3 + 3\,H_2$$

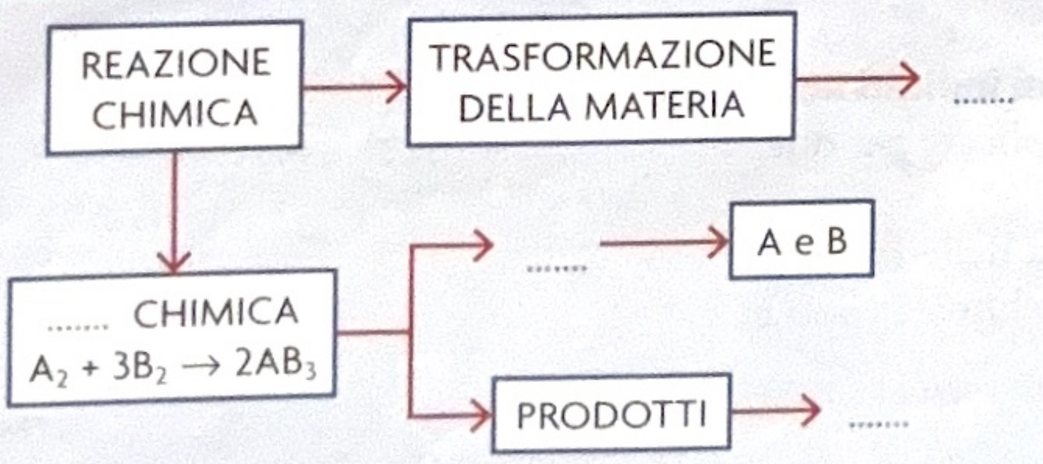
- **Al** - Poiché vi sono due atomi a destra e uno solo a sinistra, bisogna porre il coefficiente 2 davanti al simbolo dell'alluminio a sinistra. L'equazione bilanciata è, pertanto:

$$2\,Al + 6\,HCl \longrightarrow 2\,AlCl_3 + 3\,H_2$$

Lo stesso può accadere mettendo un acido concentrato in un contenitore di ferro.

MI METTO ALLA PROVA

1 Completo la mappa concettuale partendo dalla traccia proposta.



2 Scelgo l'alternativa corretta.

a Si bilanciano le reazioni chimiche per rispettare la legge di *Proust/Lavoisier*.

b I numeri interi scritti nel bilanciare una reazione sono detti *coefficienti di reazione/costanti di reazione*.

c Per indicare che i reagenti hanno formato i prodotti di una reazione si usa il simbolo $= / \longrightarrow$.

3 Usando i simboli appropriati (Tab. 1), scrivo e bilancio la reazione di decomposizione, grazie al calore, dell'ossido di mercurio (HgO) solido a dare mercurio liquido e ossigeno gassoso.