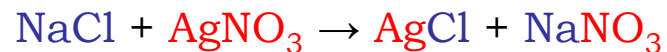
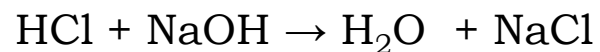


## Reazioni Chimiche: Esempi

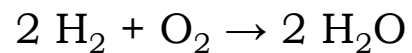
- Scambio:



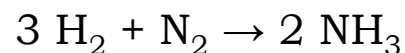
- Acido-Base o Neutralizzazione:



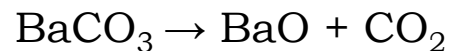
- Ossidoriduzione:



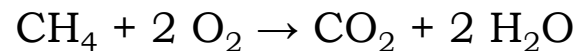
- Sintesi:



- Decomposizione:

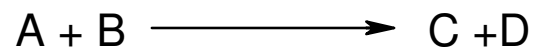


- Combustione:

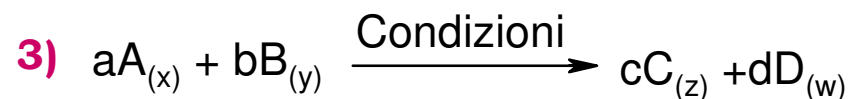


- ...

1) Equazione Chimica non Bilanciata



2) Equazione Chimica Bilanciata



x, y, z, w = s: solido  
l: liquido  
g: gas  
aq: in soluzione acquosa  
.....

Condizioni: temperatura  
pressione  
solvente  
catalizzatore  
.....

La relazione quantitativa tra reagenti e prodotti di una reazione chimica, rappresentabile mediante un'equazione chimica, viene definita **stechiometria** della reazione.

Un'equazione chimica completa contiene tre tipi di informazioni:

**1)** Natura dei reagenti e dei prodotti (info qualitativa)

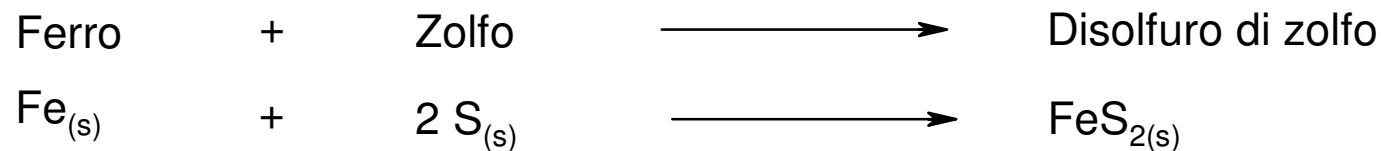
**2)** Rapporto atomico di combinazione (info a livello microscopico):

per fornire informazioni a livello quantitativo sulla reazione chimica che descrive, un'equazione chimica deve essere bilanciata

**3)** Metodo quantitativo ed operativo (info a livello macroscopico)

**Non informa su meccanismo o spontaneità**

Per esempio:



	<b>Fe</b>	<b>S</b>	<b>FeS<sub>2</sub></b>
Numero moli sostanza	1 mol	2 mol	1 mol
Massa molare sostanza	55,85 g	2×32,06 g	119,97 g
Massa totale sostanza	55,85 g	64,12 g	119,97 g
Massa totale	119,97 g		119,97 g

**Si ha conservazione della massa**

**Non si conserva necessariamente il numero di moli**

**Es. 1:** Si consideri la reazione: 
$$\text{Fe}_{(s)} + 2 \text{S}_{(s)} \longrightarrow \text{FeS}_{2(s)}$$

Dati 3 kg di ferro, stabilire a) quanto zolfo è necessario perché la reazione sia completa; b) quanta pirite si forma.

**a)**  $\text{mol}(\text{Fe}) = m(\text{Fe}) / \text{PA}(\text{Fe}) = 3000 \text{ g} / 55,85 \text{ g mol}^{-1} = 53,71 \text{ mol}$

Per ogni mole di Fe si necessitano **2** moli di S, *i.e.*:

$$\text{mol}(\text{S}) = 2 \times \text{mol}(\text{Fe}) = 107,42 \text{ mol}$$

$$m(\text{S}) = \text{mol}(\text{S}) \times \text{PA}(\text{S}) = 107,42 \times 32,06 = 3440 \text{ g}$$

**b)**  $m(\text{FeS}_2) = m(\text{Fe}) + m(\text{S}) = 3000 \text{ g} + 3440 \text{ g} = 6440 \text{ g}$

Oppure **1** mole di Fe forma **1** mole di FeS<sub>2</sub>

$$\text{mol}(\text{FeS}_2) = \text{mol}(\text{Fe}) = 53,71 \text{ mol}$$

$$m(\text{FeS}_2) = \text{mol}(\text{FeS}_2) \times \text{PM}(\text{FeS}_2) = 53,71 \text{ mol} \times 119,17 \text{ g mol}^{-1} = 6440 \text{ g}$$

Oppure **1** mole di S forma **0,5** moli di FeS<sub>2</sub>

$$\text{mol}(\text{FeS}_2) = \text{mol}(\text{S}) / 2 = 53,71 \text{ mol}$$

$$m(\text{FeS}_2) = \text{mol}(\text{FeS}_2) \times \text{PM}(\text{FeS}_2) = 53,71 \text{ mol} \times 119,17 \text{ g mol}^{-1} = 6440 \text{ g}$$

**Es. 2:** Si consideri la reazione:  $4 \text{Ce}_{(s)} + 3 \text{S}_{(s)} \longrightarrow \text{Ce}_4\text{S}_3(s)$

a) Determinare la quantità di zolfo necessaria per reagire a completezza con 7,50 g di cerio. b) Calcolare quanto prodotto si forma.

**a)**  $\text{mol}(\text{Ce}) = m(\text{Ce}) / \text{PA}(\text{Ce}) = 7,50 \text{ g}(\text{Ce}) / 140,12 \text{ g mol}^{-1} = 5,35 \times 10^{-2} \text{ mol}$

Per ogni **4** moli di Ce si necessitano **3** moli di S, *i.e.*:

$$4 : 3 = 5,35 \times 10^{-2} : \text{mol}(\text{S})$$

$$\text{mol}(\text{S}) = 5,35 \times 10^{-2} \times \frac{3}{4} = 4,01 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

$$m(\text{S}) = \text{mol}(\text{S}) \times \text{PA}(\text{S}) = 4,01 \times 10^{-2} \text{ mol} \times 32,06 \text{ g mol}^{-1} = 1,28 \text{ g}$$

**b)** **4** moli di Ce formano **1** mole di  $\text{Ce}_4\text{S}_3$

$$\text{mol}(\text{Ce}_4\text{S}_3) = \frac{1}{4} \text{mol}(\text{Ce}) = \frac{1}{4} \times 5,35 \times 10^{-2} \text{ mol} = 1,34 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

$$m(\text{Ce}_4\text{S}_3) = \text{mol}(\text{Ce}_4\text{S}_3) \times \text{PM}(\text{Ce}_4\text{S}_3) = 1,34 \times 10^{-2} \text{ mol} \times 656,66 \text{ g mol}^{-1} = 8,80 \text{ g}$$

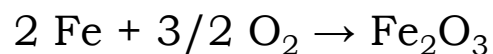
Oppure: **3** moli di S formano **1** mole di  $\text{Ce}_4\text{S}_3$

$$\text{mol}(\text{Ce}_4\text{S}_3) = \frac{1}{3} \text{mol}(\text{S}) = \frac{1}{3} \times 4,01 \times 10^{-2} \text{ mol} = 1,34 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

$$m(\text{Ce}_4\text{S}_3) = \text{mol}(\text{Ce}_4\text{S}_3) \times \text{PM}(\text{Ce}_4\text{S}_3) = 1,34 \times 10^{-2} \text{ mol} \times 656,66 \text{ g mol}^{-1} = 8,80 \text{ g}$$

Oppure:  $m(\text{Ce}_4\text{S}_3) = m(\text{Ce}) + m(\text{S}) = 7,50 \text{ g} + 1,28 \text{ g} = 8,78 \text{ g}$

**Es. 3:** Quando il ferro (Fe) viene riscaldato all'aria, reagisce con l'ossigeno (O<sub>2</sub>) contenuto nell'aria a formare un ossido; si consumano 2 atomi di ferro ogni 3 atomi di ossigeno. Si supponga di avere 1,51 g di Fe: a) quanto ossido di ferro si forma [2,16 g]? b) Quanto ossigeno si consuma [0,65 g]?



**a)**

$$m(\text{Fe}_2\text{O}_3) = \text{mol}(\text{Fe}_2\text{O}_3) \times \text{PM}(\text{Fe}_2\text{O}_3)$$

Ogni 2 moli di ferro si forma 1 mole di Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

$$\text{mol}(\text{Fe}_2\text{O}_3) = \text{mol}(\text{Fe})/2$$

$$\text{mol}(\text{Fe}) = m(\text{Fe})/\text{PA}(\text{Fe})$$

**b)**

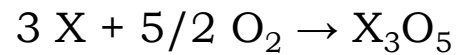
$$m(\text{O}_2) = \text{mol}(\text{O}_2) \times \text{PM}(\text{O}_2)$$

Ogni 2 moli di ferro si consumano 3/2 moli di ossigeno

$$\text{mol}(\text{O}_2) = \text{mol}(\text{Fe})/2 \times 3/2$$

$$\text{mol}(\text{Fe}) = m(\text{Fe})/\text{PA}(\text{Fe})$$

**Es. 4:** L'elemento X reagisce con l'ossigeno a dare un ossido la cui formula minima è  $X_3O_5$ . Quando 0,36 g di X reagiscono, si formano 0,56 g di ossido. Calcolare il peso atomico di X [47,87 g/mol].



$$PA(X) = m(X)/mol(X)$$

Ogni 3 moli di X reagiscono 5/2 moli di  $O_2$

$$mol(X) = 2/5 mol(O_2) \times 3$$

$$mol(O_2) = m(O_2)/PM(O_2)$$

Poiché si ha conservazione della massa

$$m(O_2) = m(X_3O_5) - m(X)$$

## La Resa di una Reazione

La quantità massima di prodotto ottenibile in presenza di date quantità di reagenti definisce la **resa teorica** di una reazione. È quasi inevitabile che vengano commessi errori sperimentali (travaso di solidi o liquidi, pesate, misurazioni...) tali da portare a una resa effettiva inferiore a quella teorica attesa. Si parla di **resa percentuale**:

$$\text{Resa percentuale} = (\text{resa effettiva} / \text{resa teorica}) \times 100$$

La resa percentuale è uno dei dati che si indica normalmente nella ricetta di una sintesi chimica, in quanto orienta chi la deve eseguire rispetto alle attese.

## L'Agente Limitante di una Reazione

I reagenti possono non essere tutti presenti in quantità stechiometriche: il reagente presente in quantità molari inferiori, *i.e.* quello che limita la quantità di prodotto ottenibile, prende il nome di **agente limitante**. Gli altri sono ovviamente in eccesso.

Di fronte a una reazione sono dunque possibili le seguenti domande:

- 1) Si è in presenza di quantità stechiometriche per tutti i reagenti o è individuabile un agente limitante?
- 2) Quanto prodotto si forma in funzione dell'agente limitante eventualmente presente?
- 3) Quanto(i) reagente(i) in eccesso resta(no) quanto l'agente limitante è stato completamente consumato?

In generale, data la reazione bilanciata:  $aA + bB \longrightarrow cC + dD$

- Se il rapporto (mol A disponibili)/(mol B disponibili) è superiore ad  $a/b$ , allora A è in eccesso e B è l'agente limitante.
- Se il rapporto (mol A disponibili)/(mol B disponibili) è inferiore ad  $a/b$ , allora B è in eccesso e A è l'agente limitante.

**Es. 1:** Si consideri la reazione:  $2 \text{Al} + \text{Cr}_2\text{O}_3 \longrightarrow 2 \text{Cr} + \text{Al}_2\text{O}_3$

Si calcoli:

- quale reattivo risulta in eccesso;
- quanto cromo si ottiene facendo reagire 5,4 g di Al con 30,4 g di  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ;
- quanto reattivo in eccesso è presente alla fine della reazione.

	<b>Al</b>	<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>Cr</b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>
Massa (g)	5,4	30,4	-	-
PA o PM (g mol <sup>-1</sup> )	27	152	52	102
Moli iniziali (mol)	<b>0,2</b>	0,2	-	-
Moli reagite (mol)	-0,2	-0,1	+0,2	+0,1
Moli finali (mol)	0	0,1	0,2	0,1
PA o PM (g mol <sup>-1</sup> )	27	152	52	102
Massa (g)	-	15,2	10,4	10,2

Controllo con bilancio di massa:

Inizio:  $5,4 + 30,4 = 35,8 \text{ g}$

Fine:  $15,2 + 10,4 + 10,2 = 35,8 \text{ g}$

**Es. 2:** Si consideri la reazione:  $C + O_2 \rightarrow CO_2$

Si supponga di far reagire 100 g di C con 190 g di  $O_2$ . a) Qual è l'agente limitante? b) Quanto prodotto si forma? c) Qual è la resa di reazione?

	<b>C</b>	<b>O<sub>2</sub></b>	<b>CO<sub>2</sub></b>
Massa (g)	100	190	-
PA o PM (g mol <sup>-1</sup> )	12,01	32,00	44,01
Moli iniziali (mol)	8,33	<b>5,94</b>	-
Moli reagite (mol)	-5,94	-5,94	+5,94
Moli finali (mol)	2,39	0	5,94
PA o PM (g mol <sup>-1</sup> )	12,01	32,00	44,01
Massa (g)	28,68	0	261,42

La resa di reazione si calcola sull'agente NON limitante:

$$\text{Resa \% su C} = 5,94/8,33 \times 100 = 71,3\%$$

**Es. 3:** Si consideri la reazione:  $\text{BaCl}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{BaSO}_4 + 2 \text{HCl}$

Si supponga di far reagire 1,07 g di  $\text{BaCl}_2$  con 0,25 g di  $\text{HCl}$ . a) Qual è l'agente limitante? b) Quanto prodotto si forma? c) Qual è la resa di reazione?

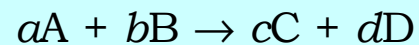
	<b>BaCl<sub>2</sub></b>	<b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	<b>BaSO<sub>4</sub></b>	<b>HCl</b>
Massa (g)	1,07	0,25	-	
PM (g mol <sup>-1</sup> )	208,33	98,02	233,33	36,46
millimoli iniziali (mol)	5,14	<b>2,55</b>	-	-
millimoli reagite (mol)	-2,55	-2,55	+2,55	+5,10
millimoli finali (mol)	2,59	0	2,55	5,10
PM (g mol <sup>-1</sup> )	208,33	98,02	233,33	36,46
Massa (mg)	538,7	0	595,1	186,2

La resa di reazione si calcola sull'agente NON limitante:

$$\text{Resa \% su BaCl}_2 = 2,55/5,14 \times 100 = 50,4\%$$

## Riassumendo...

Per l'equazione bilanciata



Nota

Massa di A

↓  
Uso di  $PM(A)^*$  come  
fattore di conversione

Moli di A

↓  
Uso dei coefficienti  
stechiometrici per trovare  
i rapporti molari tra A e B

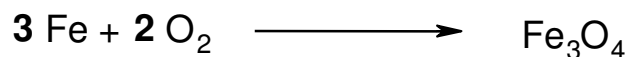
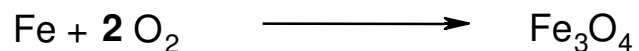
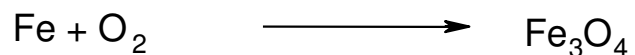
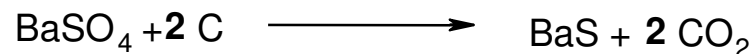
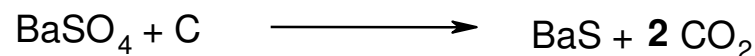
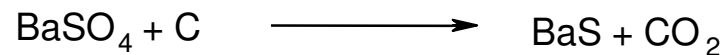
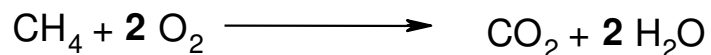
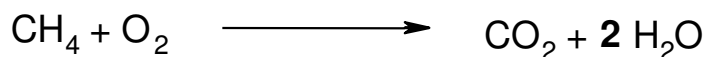
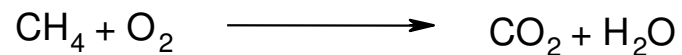
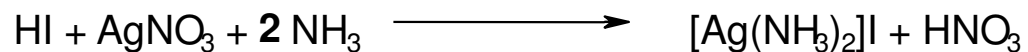
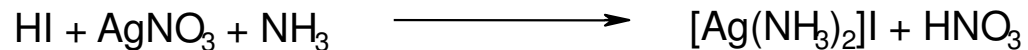
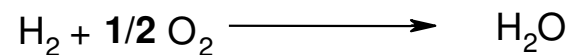
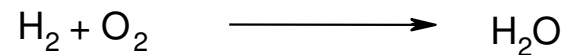
Moli di B

↓  
Uso di  $PM(B)^*$  come  
fattore di conversione

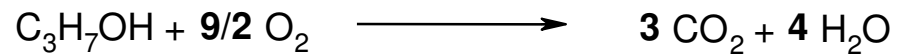
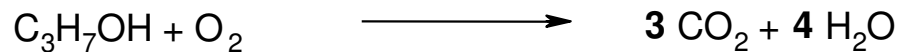
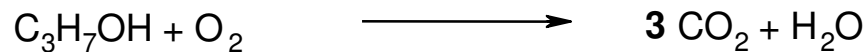
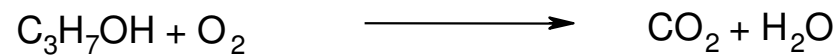
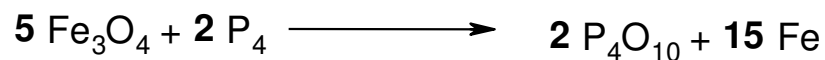
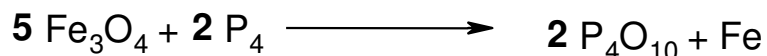
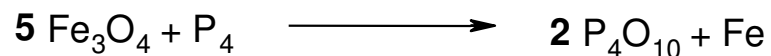
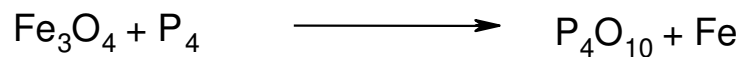
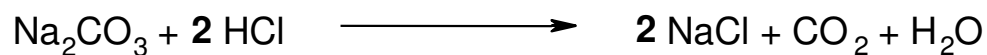
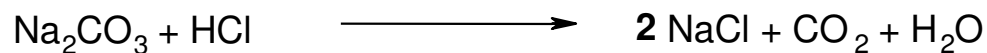
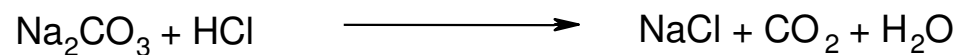
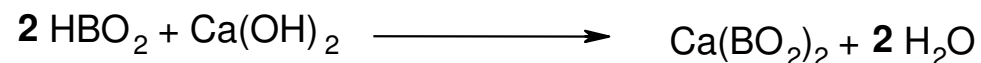
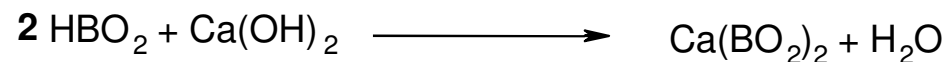
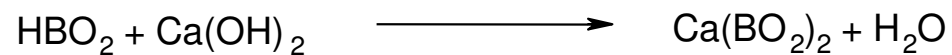
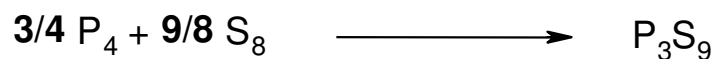
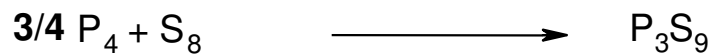
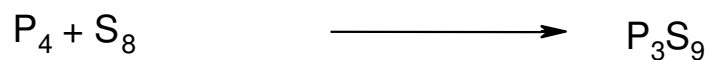
Massa di B

\* Oppure  $P_A$ , in ragione della natura di A e B

## Reazioni Chimiche e Loro Bilanciamento



Nel bilanciare una reazione, MAI toccare pedici in un composto, in quanto identificativi della composizione del composto stesso. Agire sui coefficienti stechiometrici.



## Esercizi Aggiuntivi

**E.g. 1:** Si consideri la reazione:  $\text{Na}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3$

Si determini la quantità di prodotto che si forma a partire da 30,0 g di  $\text{Na}_2\text{O}$  e 30,0 g di  $\text{CO}_2$ . [R.: 51,3 g]

**E.g. 2:** Si consideri la reazione di formazione:  $2 \text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$

Si determini la quantità di prodotto che si forma a partire da 30,0 g di  $\text{H}_2$  e 100,0 g di  $\text{O}_2$ . [R.: 112,6 g]

**E.g. 3:** Si consideri la reazione di formazione:  $3 \text{H}_2 + \text{N}_2 \rightarrow 2 \text{NH}_3$

Si determini la resa della reazione qualora si formino 25 g di prodotto a partire da 3 mol di  $\text{H}_2$  e 1 mol di  $\text{N}_2$ . [R.: 73,4 %]

**E.g. 4:** Si consideri la reazione di formazione:  $\text{H}_2 + \text{Cl}_2 \rightarrow 2 \text{HCl}$

Si determini il numero di moli di prodotto che si formano a partire da 10 mol di  $\text{H}_2$  e 4 mol di  $\text{Cl}_2$ . [R.: 8 mol]

**E.g. 5:** Si consideri la reazione:  $3 \text{Ca}(\text{OH})_2 + 2 \text{H}_3\text{PO}_4 \rightarrow \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$

Si determini la quantità di prodotto che si forma a partire da 100,0 g di  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  e 300,0 g di  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . [R.: 140,0 g]

**E.g. 6:** Si consideri la reazione:  $3 \text{BaO} + \text{P}_2\text{O}_5 \rightarrow \text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2$

Si determini la quantità di prodotto che si forma a partire da 25,0 g di BaO e 20,0 g di  $\text{P}_2\text{O}_5$ . [R.: 32,7 g]

**E.g. 7:** Si consideri la reazione di formazione:  $3 \text{Mg} + 3 \text{As} \rightarrow \text{Mg}_3\text{As}_2$

Si determini qual è il reagente in eccesso e la quantità di prodotto che si forma a partire da 10 g di Mg e 10 g di As.

**E.g. 8:** Si consideri la reazione:  $\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$

Sono sufficienti 20 g di ossigeno per consumare completamente 15 g di metano?

**E.g. 9:** Si consideri la reazione:  $\text{Mg} + 2 \text{HCl} \rightarrow \text{MgCl}_2 + \text{H}_2$

Si determini la quantità di idrogeno che si sviluppa facendo reagire una lamina di Mg di 2 g con un eccesso di acido cloridrico. [R.: 32,7 g]