

Capitolo 16

# Le reazioni chimiche

**ZANICHELLI**

# Le reazioni si rappresentano attraverso le equazioni chimiche

Una **reazione chimica** è un processo in cui una o più sostanze (**reagenti**) modificano la loro composizione chimica, trasformandosi in una o più sostanze diverse (**prodotti**).

La rappresentazione di una reazione chimica mediante simboli e formule è un'**equazione chimica**.



reazione irreversibile



reazione reversibile

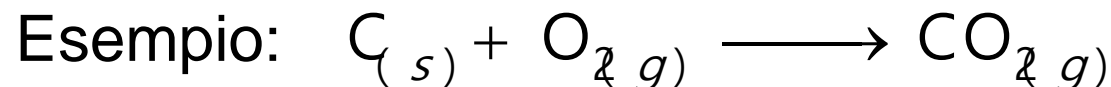
# Le reazioni si rappresentano attraverso le equazioni chimiche

Con riferimento allo stato fisico dei reagenti, le reazioni si distinguono in:

- **omogenee**, se i reagenti sono nella stessa fase (gassosa, liquida o solida);



- **eterogenee**, se i reagenti sono in fasi diverse (solida e gassosa, liquida e gassosa, solida e liquida).



# Il bilanciamento delle reazioni

La **legge di conservazione della massa** prevede che, per ogni elemento coinvolto nella reazione, il numero degli atomi presenti nei reagenti debba essere uguale al numero degli atomi presenti nei prodotti.

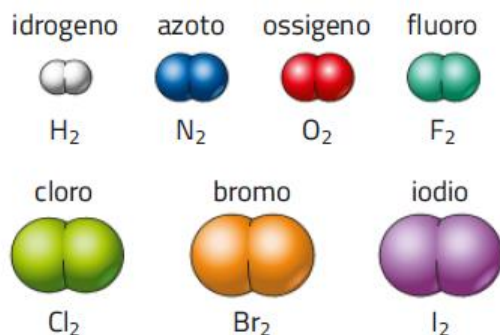
In una reazione il calcolo dei coefficienti stechiometrici costituisce il **bilanciamento di un'equazione chimica**.

Per bilanciare correttamente un'equazione chimica si devono ricordare diverse regole:

- non si possono modificare gli indici all'interno delle formule;

# Il bilanciamento delle reazioni

- gli elementi chimici idrogeno, azoto, ossigeno, fluoro, cloro, bromo, iodio a temperatura ambiente e a pressione atmosferica ordinaria si trovano sotto forma di **molecole biatomiche** e devono quindi essere rappresentati in forma molecolare;



- gli elementi chimici fosforo, arsenico e zolfo si possono rappresentare sia in forma molecolare (P<sub>4</sub>, As<sub>4</sub>, S<sub>8</sub>) sia in forma monoatomica (P, As, S);

# Il bilanciamento delle reazioni

- nell'equazione devono essere rappresentate solo le specie chimiche che *effettivamente partecipano* alla reazione. L'**acqua**, nelle reazioni in cui si comporta solo da solvente, non va rappresentata nell'equazione;
- il coefficiente stechiometrico 1 si omette;
- i coefficienti stechiometrici devono avere i minori valori possibili;
- si possono utilizzare anche coefficienti stechiometrici *frazionari*;
- devono essere bilanciati prima gli atomi dei *metalli* e dei *non metalli* e a seguire, se sono presenti, gli atomi di *idrogeno* e di *ossigeno*.

# Esistono diversi tipi di reazioni chimiche

In base al tipo di processo che si verifica tra le sostanze reagenti le **reazioni** si distinguono in: sintesi e analisi, combinazione e decomposizione, scambio semplice o spostamento e doppio scambio.



# Esistono diversi tipi di reazioni chimiche

Le **reazioni di sintesi** sono reazioni in cui 2 elementi (A e B) si combinano per formare un composto binario (AB):



## REAZIONI DI SINTESI DI

OSSIDI

IDRURI

SALI DI IDRACIDI



Il nastro di colore grigio è magnesio, che brucia l'ossigeno presente nell'aria.



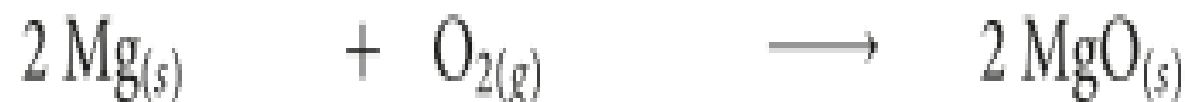
La polvere di colore grigio che si forma dalla combustione è ossido di magnesio.



Sono riconducibili a reazioni di sintesi:

1. la reazione tra un metallo (o un semimetallo) o un non metallo e l'ossigeno per formare rispettivamente *ossidi* basici o acidi (**figura 3**):

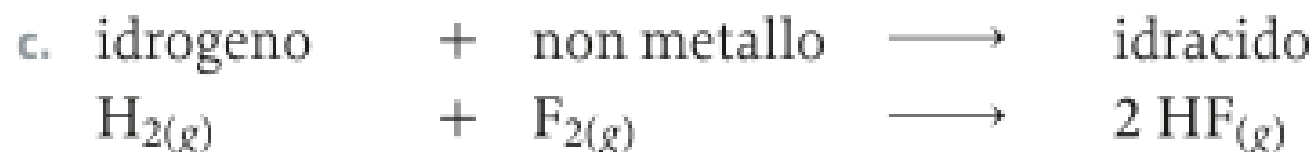
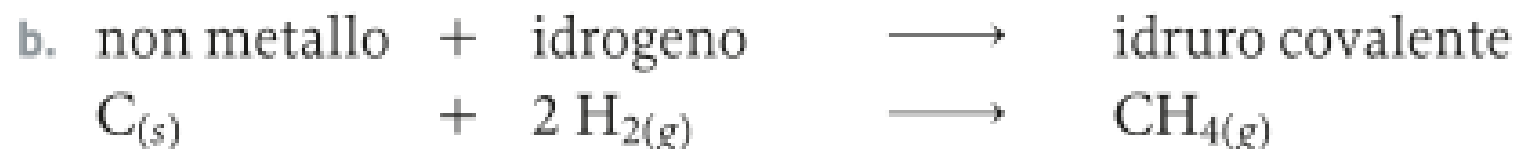
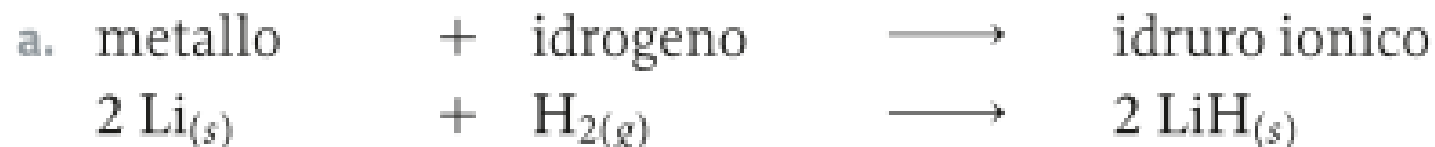
a. metallo + ossigeno  $\longrightarrow$  ossido basico



b. non metallo + ossigeno  $\longrightarrow$  ossido acido



2. la reazione tra un metallo (alcalino, alcalino-terroso) o un non metallo e l'idrogeno per formare rispettivamente idruri ionici o idruri covalenti (con non metalli poco elettronegativi) e idracidi (con metalli molto elettronegativi):

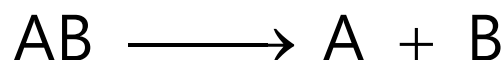


3. la reazione tra un metallo e un non metallo per formare *sali di idracidi*:



# Esistono diversi tipi di reazioni chimiche

Le **reazioni di analisi** sono reazioni in cui un composto binario (AB) si suddivide in 2 elementi (A e B) fornendo energia termica o energia elettrica (in una soluzione acquosa):



## REAZIONI DI ANALISI A PARTIRE DA

OSSIDI BASICI

IDRURI COVALENTI

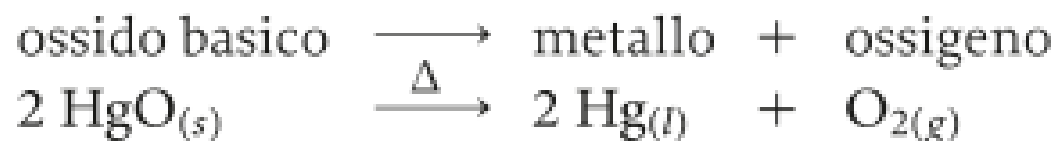
IDRACIDI

SALI DI IDRACIDI

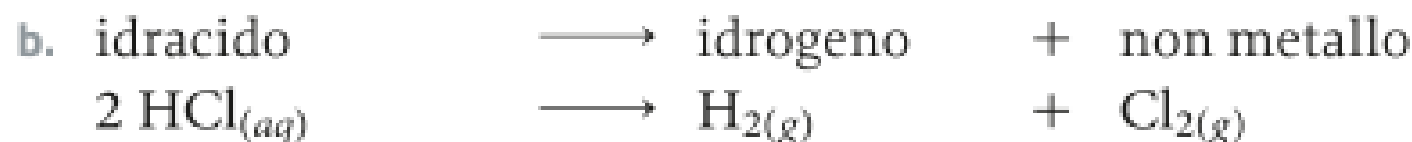
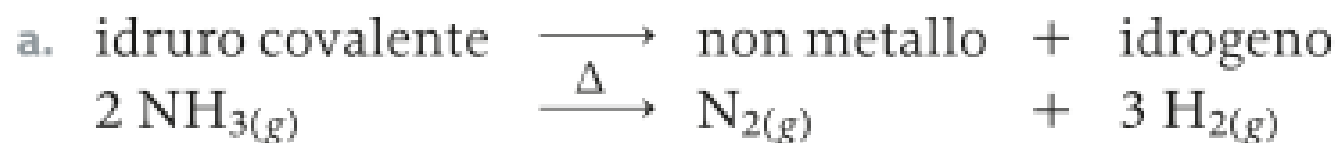


Le reazioni di analisi sono:

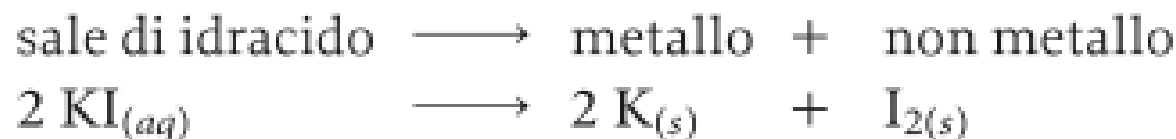
1. la decomposizione di un *ossido basico* in un metallo e ossigeno (**figura 4**):



2. la decomposizione di *idruri* covalenti e *idracidi* (in soluzione acquosa) in idrogeno e un non metallo:

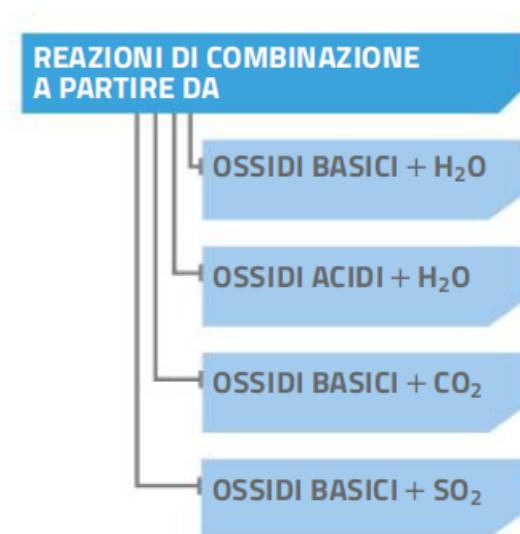


3. la decomposizione di un *sale di idracido* (in soluzione acquosa) in un metallo e un non metallo:



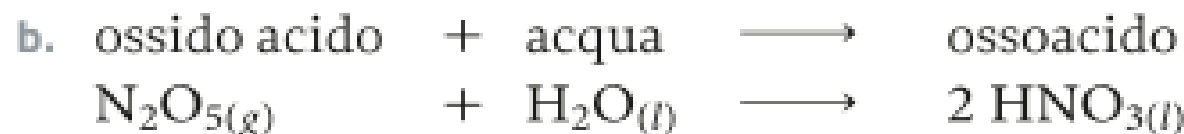
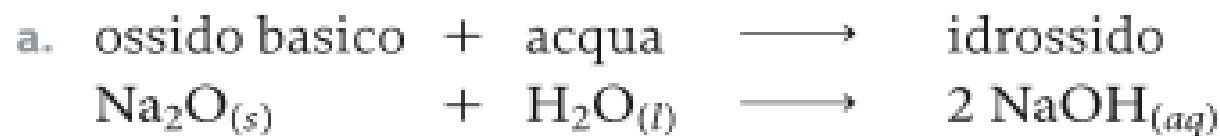
# Esistono diversi tipi di reazioni chimiche

Le **reazioni di combinazione** sono reazioni in cui 2 composti binari (AB e BC) si combinano per formare un composto ternario (ABC):

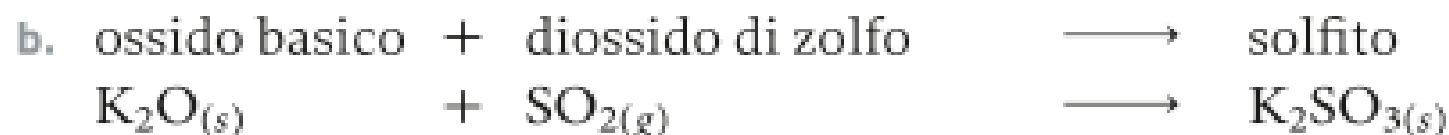
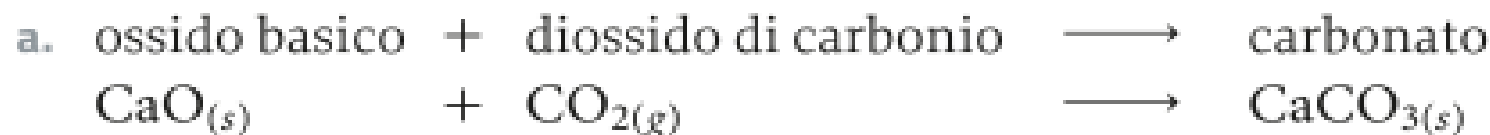


Le reazioni di combinazione sono:

1. le reazioni tra un ossido basico (generalmente dei metalli alcalini o alcalino-terrosi) o un ossido acido e acqua per formare rispettivamente un *idrossido* o un *ossoacido*:



2. le reazioni tra un ossido basico e il diossido di carbonio o il diossido di zolfo per formare rispettivamente un *carbonato* o un *solfito*:



# Esistono diversi tipi di reazioni chimiche

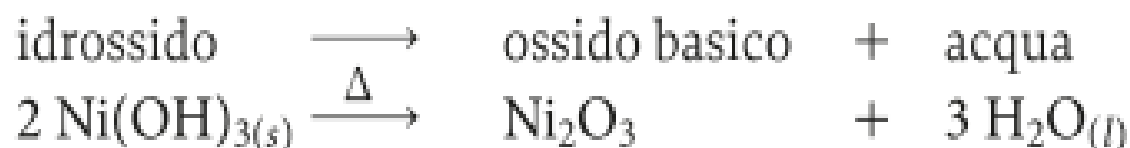
Le **reazioni di decomposizione** sono reazioni in cui un composto ternario (idrossido, carbonato), fornendo calore, si decompone in 2 composti binari.

I clorati invece si decompongono in un composto binario (cloruro) e in ossigeno.

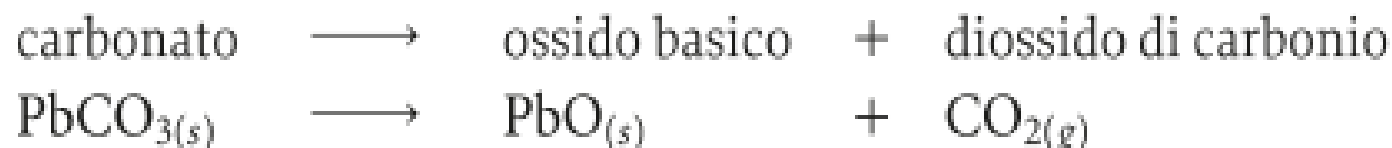


Sono reazioni di decomposizione:

1. la decomposizione di un *idrossido* (tranne quelli dei metalli alcalini) in un ossido *basico* e acqua:

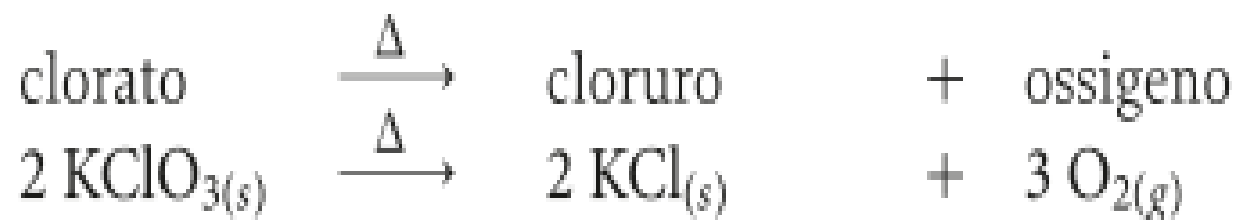


2. la decomposizione di un *carbonato* (tranne quelli dei metalli alcalini) in un ossido basico e diossido di carbonio (**figura 5**):





3. la decomposizione di un *clorato* in un cloruro e ossigeno:

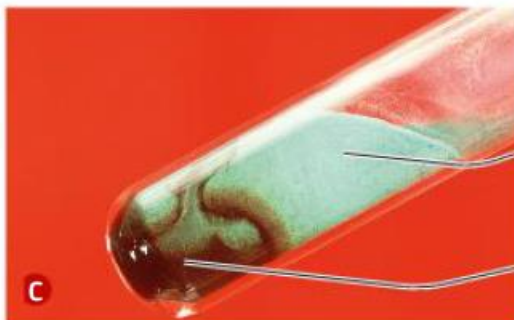


# Esistono diversi tipi di reazioni chimiche

carbonato di piombo ( $\text{PbCO}_3$ )



ossido di piombo ( $\text{PbO}$ )

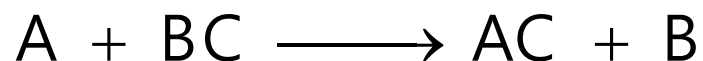


Il carbonato di rame ( $\text{CuCO}_3$ ), di colore verde, viene riscaldato.

Si formano ossido di rame(II),  $\text{CuO}$ , di colore nero, e  $\text{CO}_2$ .

# Esistono diversi tipi di reazioni chimiche

Le **reazioni di scambio semplice** o **spostamento** sono reazioni in cui un metallo A sposta un elemento meno reattivo B (metallo o idrogeno) di un composto BC (acqua, acido, sale di ossoacido).



REAZIONI DI SCAMBIO SEMPLICE  
A PARTIRE DA

METALLO + H<sub>2</sub>O

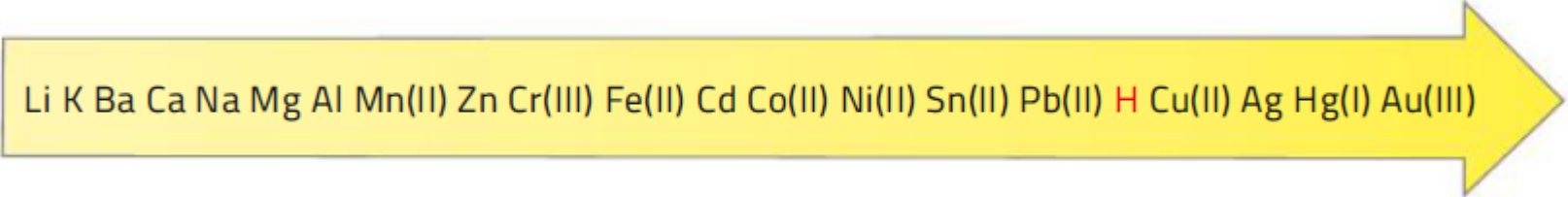
METALLO + ACIDO

METALLO + SALE  
DI OSSOACIDO

# Esistono diversi tipi di reazioni chimiche

Una **reazione di spostamento** può verificarsi solo quando il metallo A è più reattivo dell'elemento B del composto BC.

Per prevedere una reazione di spostamento si fa riferimento alla serie di reattività dei metalli (e dell'idrogeno).

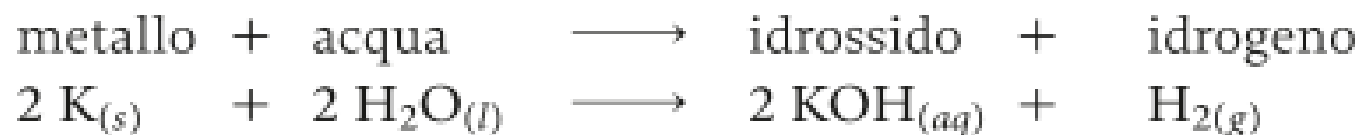


Li K Ba Ca Na Mg Al Mn(II) Zn Cr(III) Fe(II) Cd Co(II) Ni(II) Sn(II) Pb(II) **H** Cu(II) Ag Hg(I) Au(III)

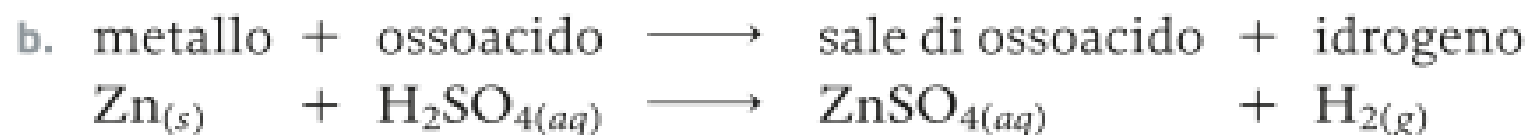
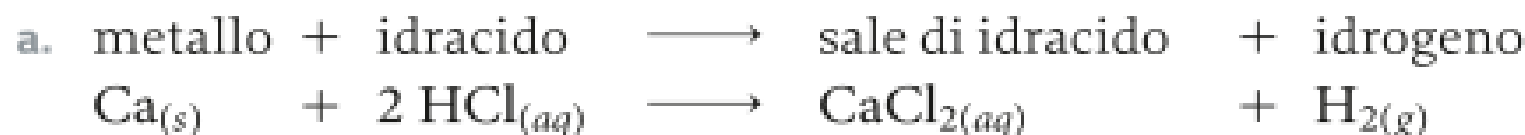
Nella **serie di reattività** un metallo sposta da un composto tutti gli elementi che lo seguono.

Le reazioni di spostamento sono:

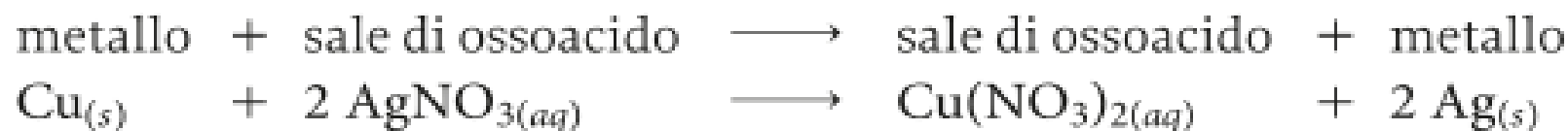
1. la reazione tra un *metallo* (alcalino o alcalino-terroso) e l'*acqua* per formare un idrossido e idrogeno (**figura 7**):



2. la reazione tra un *metallo* e un *acido* (idracido o ossoacido) per formare un sale e idrogeno (**figura 8**):



3. la reazione tra un *metallo* e un *sale di ossoacido* per formare un metallo e un sale ossoacido:

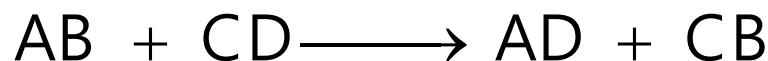


# Esistono diversi tipi di reazioni chimiche



# Esistono diversi tipi di reazioni chimiche

Le **reazioni di doppio scambio** sono reazioni in cui 2 composti AB e CD (acido, base, sale) si scambiano i loro costituenti (atomi, ioni monoatomici o poliatomici) per formare altri due composti AD e CB:



Uno dei prodotti che si ottengono si allontana dal sistema di reazione sotto forma di un *gas* o di un *composto insolubile* (una base o un sale) che precipita (**reazioni di precipitazione**) o di *acqua* (**reazioni acido-base**).



# Esistono diversi tipi di reazioni chimiche

Poiché le **reazioni di doppio scambio** avvengono tra reagenti in soluzione acquosa, si deve tenere conto della loro solubilità in acqua.

Composti solubili	
idrossidi	Gli idrossidi degli ioni del gruppo I A e degli ioni $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Sr}^{2+}$ , $\text{Ba}^{2+}$
solfuri, fluoruri	I solfuri e i fluoruri degli ioni del gruppo I A e dello ione $\text{NH}_4^+$
cloruri, bromuri, ioduri	Tutti i cloruri, i bromuri e gli ioduri tranne i composti degli ioni $\text{Ag}^+$ , $\text{Hg}_2^{2+}$ , $\text{Pb}^{2+}$
cromati, carbonati, fosfati	I cromati, i carbonati e i fosfati degli ioni del gruppo I A e dello ione $\text{NH}_4^+$
solfati	Tutti i solfati tranne i composti degli ioni $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Ba}^{2+}$ , $\text{Pb}^{2+}$ , $\text{Sr}^{2+}$ , $\text{Hg}_2^{2+}$
clorati, nitrati	Tutti i clorati e i nitrati



# Esistono diversi tipi di reazioni chimiche

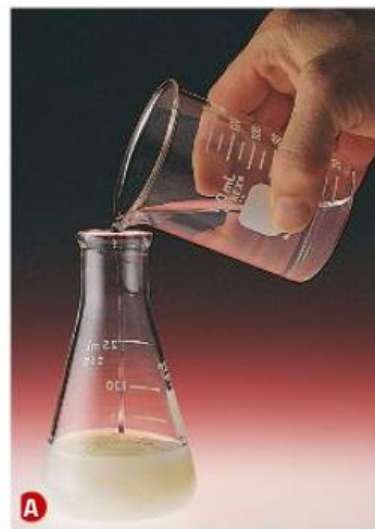
Mostriamo la reazione tra carbonato di calcio e acido cloridrico (**reazione di doppio scambio**).

Il carbonato di calcio (marmo) reagendo con una soluzione di acido cloridrico libera diossido di carbonio sotto forma di gas.



# Esistono diversi tipi di reazioni chimiche

- A.** Dalla reazione tra la soluzione di nitrato d'argento e la soluzione di bromuro di calcio si forma il bromuro d'argento, composto insolubile (**reazione di precipitazione**).
- B.** Aggiungendo una soluzione di  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  a una di  $\text{KI}$  (entrambe incolori) si ottiene un precipitato giallo ( $\text{PbI}_2$ ).



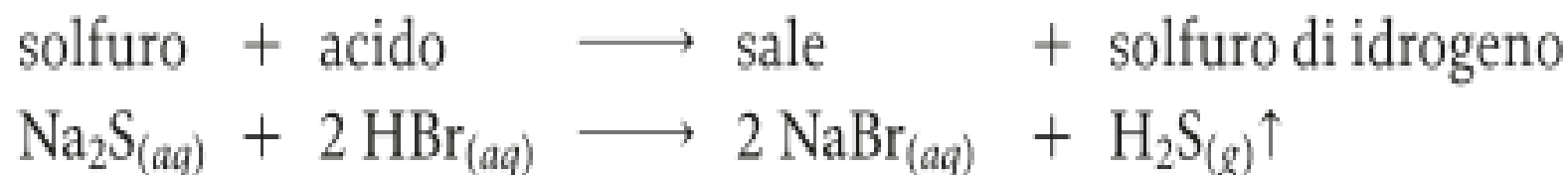
# Esistono diversi tipi di reazioni chimiche

Dalla reazione tra una soluzione di cloruro ferrico e una di idrossido di sodio si forma un precipitato, l'idrossido ferrico (**reazione di doppio scambio**).

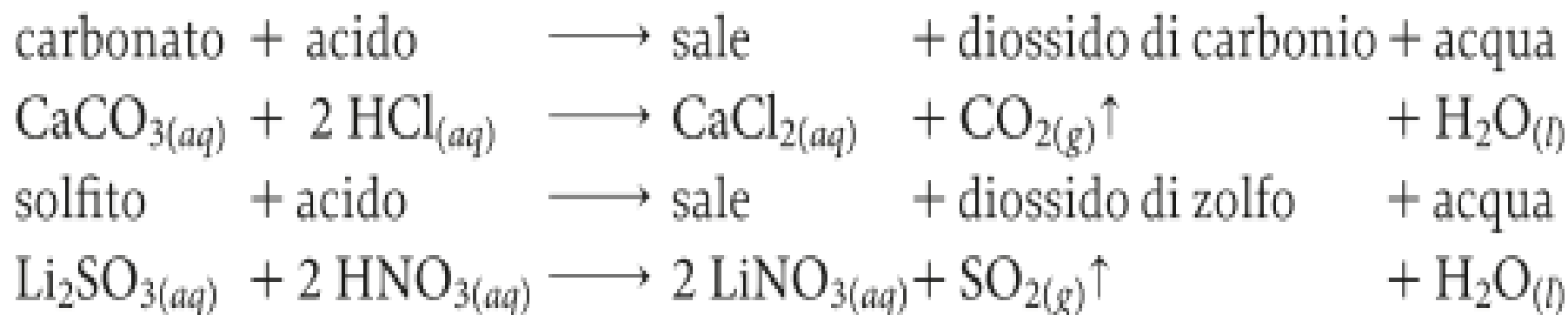


Le reazioni di doppio scambio sono reazioni tra:

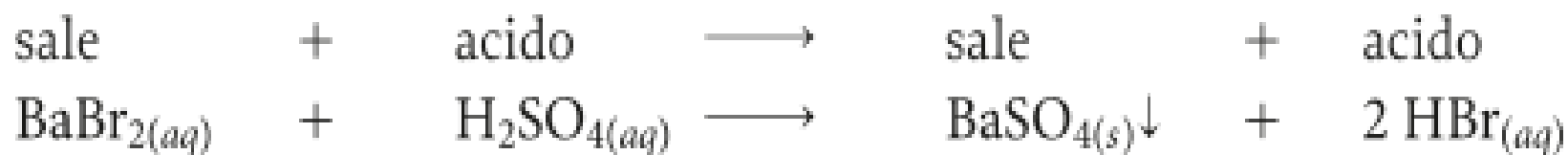
1. un *sale* (**solfo** o **cloruro**) e un **acido** con formazione di un sale e un gas (solfo o cloruro di idrogeno):



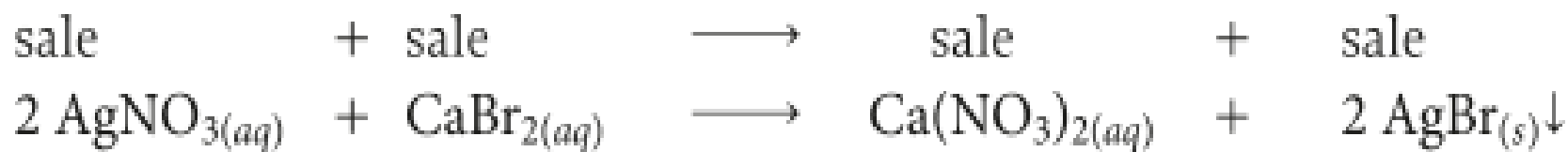
2. un *sale* (**carbonato** o **solfito**) e un **acido** con formazione di un sale, un gas (diossido di carbonio o diossido di zolfo) e acqua (**figura 9**):



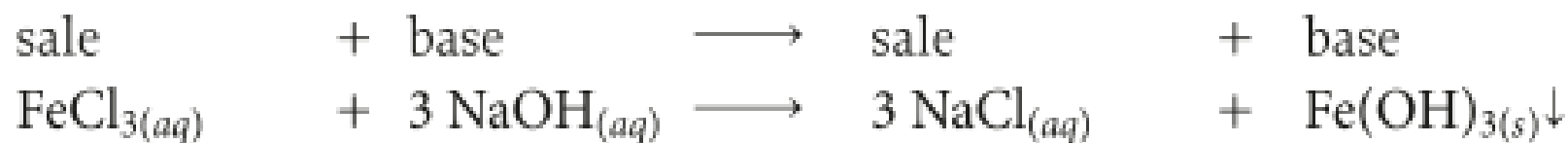
3. un *sale* e un *acido* con formazione di un *acido* e un *sale* insolubile:



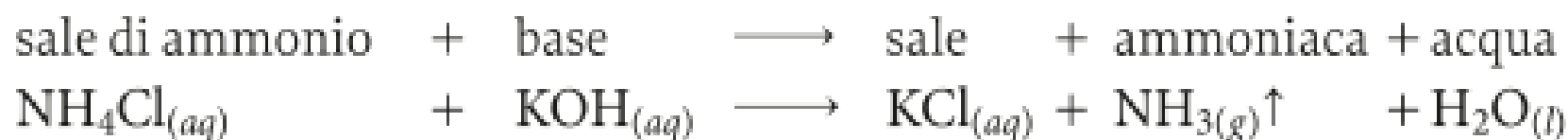
4. due *sali* solubili con formazione di due *sali* di cui uno insolubile (**figura 10**):



5. un *sale* e una *base* con formazione di un sale e una base insolubile (figura 11):

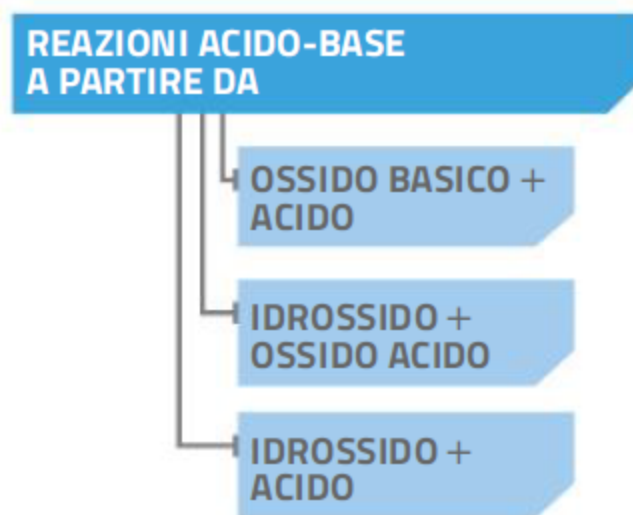
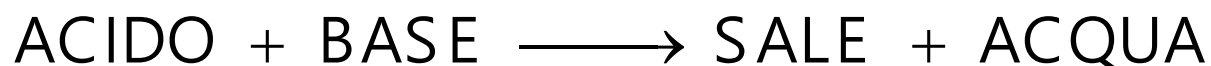


6. un *sale di ammonio* e una *base* con formazione di un sale, ammoniaca e acqua:

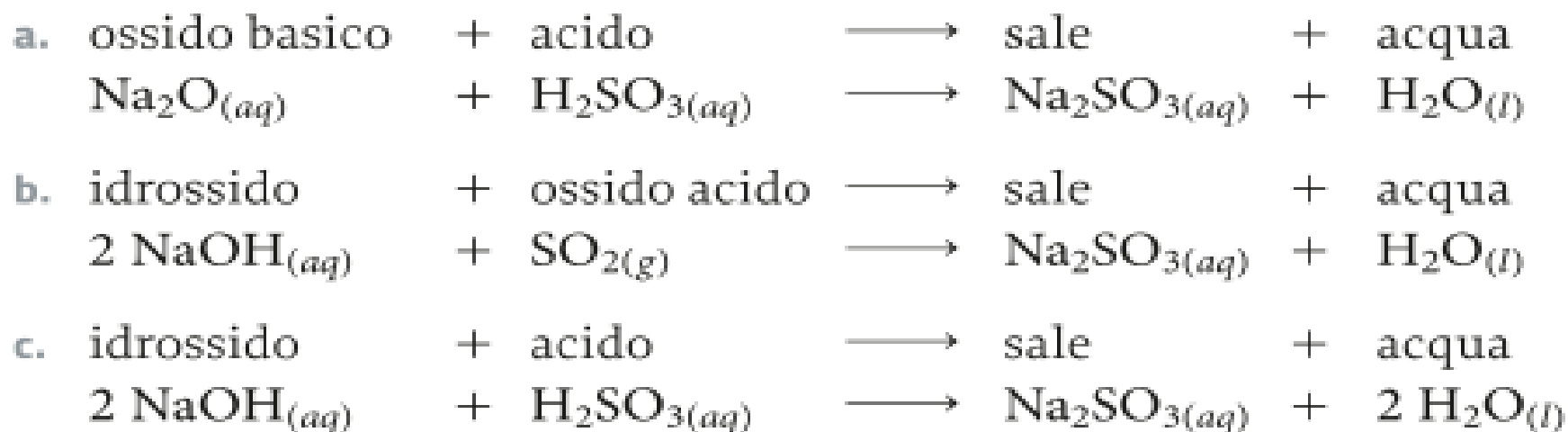


# Esistono diversi tipi di reazioni chimiche

Le **reazioni acido-base** sono reazioni di doppio scambio tra un composto a carattere acido (ossido acido, idracido, ossoacido) e un composto a carattere basico (ossido basico, idrossido) con formazione di un sale e acqua:



Sono reazioni acido-base le seguenti:





Le reazioni acido-base avvengono in *acqua* e quindi occorre tener conto delle interazioni fra i reagenti (gli ossidi) e l'acqua. Poiché gli ossidi basici e gli ossidi acidi reagiscono con l'acqua per formare, rispettivamente, idrossidi e ossoacidi, è formalmente più corretto rappresentare le equazioni acido-base con le formule chimiche degli idrossidi e degli ossoacidi e non con quelle degli ossidi basici e degli ossidi acidi (**figura 12**).

# Esistono diversi tipi di reazioni chimiche




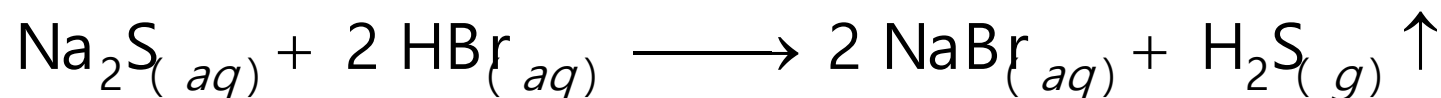
Diagram illustrating a chemical reaction. A hand is shown pouring a liquid from a test tube into a beaker. The beaker contains a white precipitate. The reaction is described by the following text boxes:

- si aggiunge una soluzione di HCl
- a una soluzione di  $\text{Mg}(\text{OH})_2$
- si forma  $\text{MgCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$

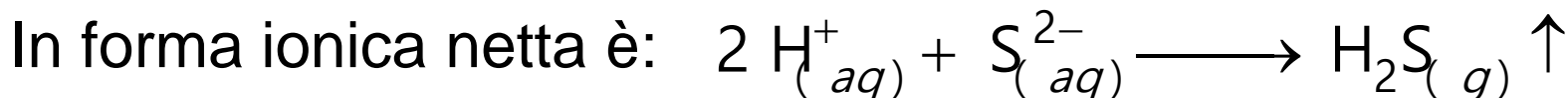
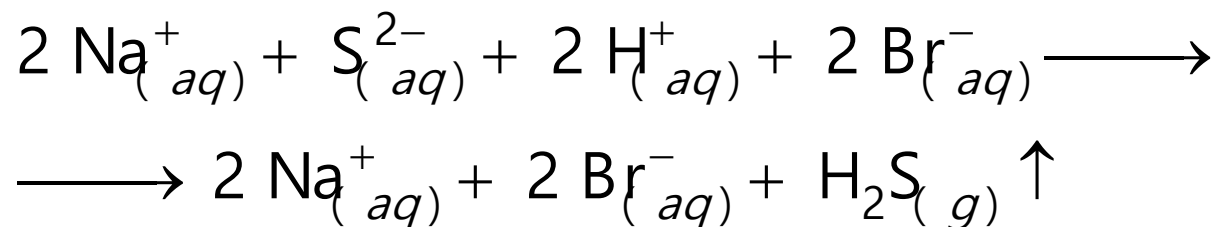
# evidenza gli ioni che partecipano a una reazione

La rappresentazione in soluzione acquosa delle reazioni di doppio scambio si definisce **equazione ionica netta**.

Consideriamo la reazione:



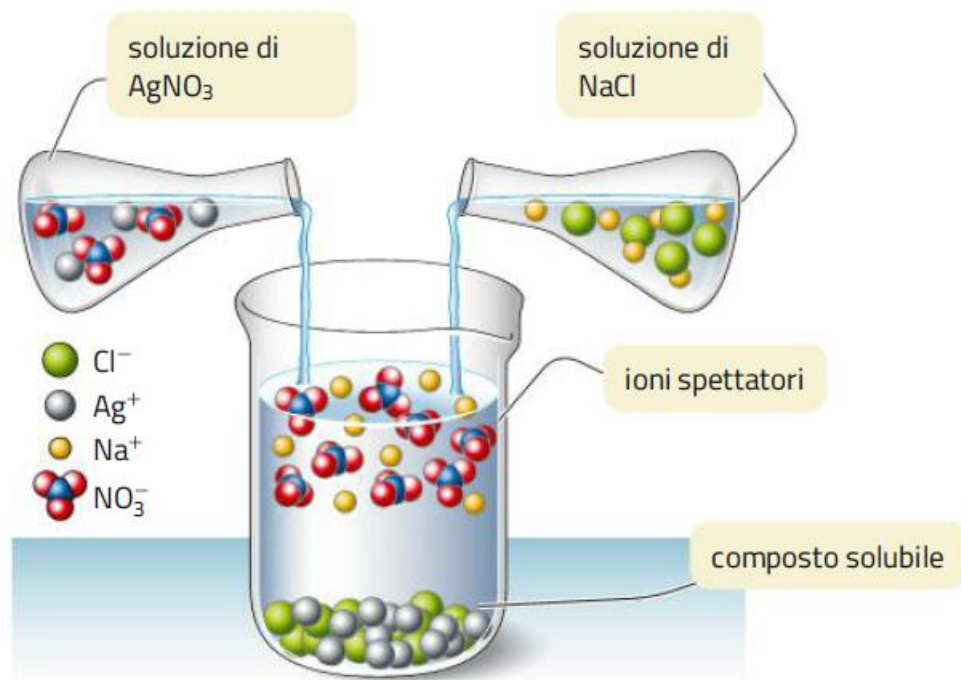
In forma ionica è:



# L'equazione ionica netta

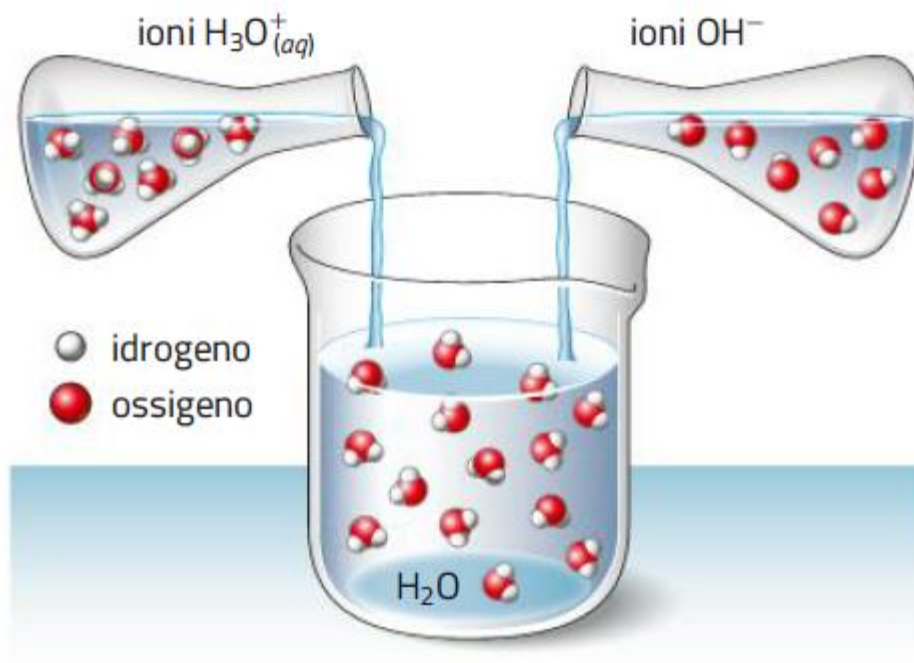
Nell'**equazione ionica netta** sono presenti solo gli ioni che partecipano alla reazione, mentre gli **ioni spettatori** possono essere eliminati da entrambi i membri.

Mostriamo l'**equazione ionica netta** in una reazione di doppio scambio.



# L'equazione ionica netta

Mostriamo l'**equazione ionica netta** in una reazione acido-base.



# La stechiometria

L'**aspetto quantitativo** di una reazione può essere descritto prendendo in esame il numero di atomi, molecole e unità formula, il numero di moli, oppure il numero di grammi dei reagenti e dei prodotti.

Le informazioni quantitative fornite da un'equazione chimica si deducono dai coefficienti stechiometrici.

$\text{Zn}_{(s)}$	+	$2 \text{HCl}_{(aq)}$	→	$\text{ZnCl}_{2(aq)}$	+	$\text{H}_{2(g)}\uparrow$
1 atomo		2 molecole		1 unità formula		1 molecola
1 mole		2 moli		1 mole		1 mole
65 g		72 g		135 g		2 g

In ultima analisi, l'aspetto **quantitativo** di una reazione può essere descritto prendendo in esame il numero di atomi, molecole e unità formula, il numero di moli, oppure il numero di grammi dei reagenti e dei prodotti. L'aspetto quantitativo della reazione tra lo zinco allo stato solido e una soluzione di acido cloridrico rappresentata dalla seguente equazione:



può essere quindi così espresso:

- un atomo di zinco reagisce con due molecole di acido cloridrico per formare un'unità formula di cloruro di zinco e una molecola di idrogeno;
- una mole di zinco reagisce con due moli di acido cloridrico per formare una mole di cloruro di zinco e una mole di idrogeno;
- 65 g di zinco reagiscono con 72 g di acido cloridrico per dare 135 g di cloruro di zinco e 2 g di idrogeno (**tabella 2**).

# La stechiometria

Le **relazioni quantitative** che si stabiliscono tra reagenti e prodotti di una reazione chimica sono definite dalla **stechiometria**, che consente di:

- calcolare le **quantità delle sostanze** che si combinano (reagenti) o che si formano (prodotti) in una reazione chimica;
- identificare la sostanza reagente che in una reazione chimica si consuma completamente (*reagente limitante*);
- prevedere la quantità effettiva dei prodotti (*resa reale*) che si ottiene in una reazione chimica.



# Stabilire le quantità di reagenti e prodotti in una reazione

Dovendo calcolare le quantità con cui i reagenti si combinano o le quantità di prodotti che si formano in una reazione chimica, occorre:

- **rappresentare e bilanciare** l'equazione chimica;
- **trasformare** in moli le masse in grammi delle sostanze coinvolte nella reazione chimica;
- **confrontare** il numero delle moli delle sostanze coinvolte nella reazione chimica;
- **trasformare** le moli delle sostanze in grammi.

# Il reagente limitante

In una reazione chimica, il reagente che si consuma completamente è il **reagente limitante**.

Occorre calcolare il *quoziente* tra le moli di ciascun reagente e il relativo coefficiente stechiometrico (il valore *più piccolo* tra quelli ottenuti è quello del reagente limitante).

In una reazione chimica, il reagente che si consuma solo in parte è il **reagente in eccesso**.

Dalla reazione di sintesi tra fosforo e cloro risulta che 2 moli di fosforo P reagiscono con 3 moli di cloro  $\text{Cl}_2$  per formare 2 moli di tricloruro di fosforo  $\text{PCl}_3$ :



Se i reagenti sono presenti nel rapporto stechiometrico previsto dall'equazione, si consumano entrambi completamente: la reazione di 6 moli di cloro con 4 moli di fosforo ne determina la completa trasformazione in 4 moli di  $\text{PCl}_3$ .

Se uno dei reagenti è presente in difetto rispetto al rapporto stechiometrico, determina e limita la quantità di prodotto che si forma: dalla reazione di 3 moli di cloro con 3 moli di fosforo si formano 2 moli di tricloruro di fosforo, non di più, perché il cloro è insufficiente a esaurire il fosforo presente.

# La resa di una reazione

La quantità di prodotto che si dovrebbe ottenere da un reagente in base alla stechiometria della reazione si chiama **resa teorica** ( $R_t$ ).

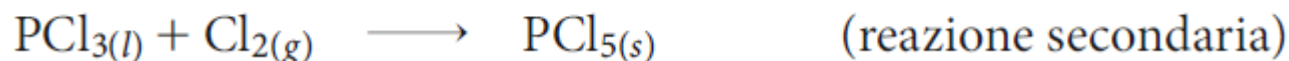
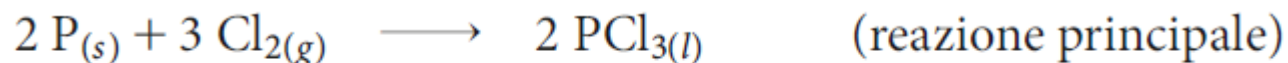
Le reazioni in cui i reagenti non si consumano completamente, in quanto i prodotti che si formano reagiscono tra di loro per ricostituire i reagenti, sono dette **incomplete** o **reversibili**.



Le due frecce opposte esprimono la reversibilità della reazione diretta e della reazione inversa

# La resa di una reazione

In alcune reazioni si verifica una **reazione secondaria** che, competendo con la reazione principale, porta alla formazione di un sottoprodotto.



La quantità di prodotto che si ottiene *sperimentalmente* in una reazione chimica è la **resa reale** ( $R_r$ ).

La resa reale è *minore* della resa teorica.

# La resa di una reazione

La **resa percentuale** di un prodotto è il rapporto, espresso in percentuale, tra la quantità di prodotto ottenuta (resa reale) e quella definita dalla stechiometria della reazione (resa teorica).

$$\text{resa percentuale}( R_p ) = \frac{\text{resa reale}( R_r )}{\text{resa teorica}( R_t )} \cdot 100\%$$

