

CALCOLI STECHIOMETRICI

In questo numero viene riportata la risoluzione del problema n. 1 riportato su *La Chimica nella Scuola*, 1999, **XXI**, 25:

Un miscuglio contenente NaCl, NaClO₃ e KClO₃ dà all'analisi 33,40% di ossigeno e 16,00% di sodio. Calcolare la percentuale di potassio nel miscuglio.

A questo problema hanno proposto soluzioni i lettori **Francesco Orlando**, Reggio Emilia; **Luigi Mauro**, Castrovillari (CS) ed **Eugenio Rosin**, S. Giovanni di Casarsa (PN).

Il problema proposto è strutturalmente analogo ad un problema precedentemente pubblicato [1]; tutti e tre i lettori hanno risolto il problema facendo ricorso ad un sistema di equazioni lineari. Francesco Orlando ha calcolato la percentuale di sodio ed ossigeno nelle tre sostanze:

$$\begin{aligned} a &= 39,339 \% \text{ Na in NaCl;} \\ b &= 21,599 \% \text{ Na in NaClO}_3; \\ c &= 45,096 \% \text{ O in NaClO}_3; \\ d &= 39,168 \% \text{ O in KClO}_3. \end{aligned}$$

Una opportuna composizione del miscuglio permette di ottenere i dati analitici riportati nel testo. Indicando con x la frazione di NaCl nel miscuglio, con y la frazione di NaClO₃ e con $(1 - x - y)$ la frazione di KClO₃ nel miscuglio, si ha:

$$\begin{aligned} ax + by &= 16,00 \\ cy + d(1 - x - y) &= 33,40 \end{aligned}$$

Impiegando il metodo di sostituzione e ponendo $y = (16,00 - ax)/b$, si ottiene:

$$x = [16,00(c - d) - 33,40b + bd]/(bd + ac - ad)$$

mentre ponendo $x = (16,00 - by)/a$, si ottiene:

$$y = (16,00d + 33,40a - ad)/(bd + ac - ad)$$

La frazione di KClO₃ nel miscuglio è:

$$1 - x - y = [ac - 16,00c + 33,40(b - a)] / (bd + ac - ad) = 0,42623$$

Poichè la percentuale di potassio in KClO₃ è 31,905%, si ottiene:

$$(0,42623 \text{ g KClO}_3 / 1,000 \text{ g msc}) \times (31,905 \text{ g K} / 100,0 \text{ g KClO}_3) = 13,60 \% \text{ K nel miscuglio.}$$

Le altre due soluzioni proposte sono analoghe. Calcolati i pesi molecolari: 1 mol NaCl \equiv 58,44 g NaCl
1 mol NaClO₃ \equiv 106,4 g NaClO₃
1 mol KClO₃ \equiv 122,6 g KClO₃

dai dati del problema, Luigi Mauro calcola il numero di moli di sodio e di ossigeno:

$$\begin{aligned} 16,00 \text{ g Na} / (22,99 \text{ g Na/mol Na}) &= \\ &= 0,69595 \text{ mol Na} \\ 33,40 \text{ g O} / (16,00 \text{ g O/mol O}) &= \\ &= 2,0875 \text{ mol O.} \end{aligned}$$

Come base per il calcolo si riferisce a 100,0 g di miscuglio: se x sono i grammi di NaCl, y i grammi di NaClO₃ e z i grammi di KClO₃, si ha che $x + y + z = 100,0$ g.

Utilizza il sistema:

$$\begin{aligned} x \text{ g NaCl} / (58,44 \text{ g NaCl} / 1 \text{ mol NaCl}) + \\ + y \text{ g NaClO}_3 / (106,4 \text{ g NaClO}_3 / 1 \text{ mol NaClO}_3) &= 0,69595 \text{ mol Na} \\ 3y \text{ g NaClO}_3 / (106,4 \text{ g NaClO}_3 / 1 \text{ mol NaClO}_3) + 3z \text{ g KClO}_3 / (122,6 \text{ g KClO}_3 / 1 \text{ mol KClO}_3) &= 2,0875 \text{ mol O} \end{aligned}$$

Risolvendo, ottiene: 20,332 g di NaCl, 37,045 g di NaClO₃ e 42,623 g di KClO₃.

$(42,623 \text{ g KClO}_3 / 100,0 \text{ g msc})(31,10 \text{ g K} / 122,6 \text{ g KClO}_3) = 13,59 \% \text{ K nel miscuglio.}$

Eugenio Rosin utilizza lo stesso sistema di equazioni, scegliendo come base per il calcolo 1,000 g di miscuglio. Queste due ultime soluzioni proposte utilizzano i rapporti stechiometrici per calcolare la quantità di ossigeno contenuta in NaClO₃ e in KClO₃. E' questo un passaggio ovvio per noi

esperti, ma delicato per i nostri studenti; se non opportunamente allenati in queste operazioni logiche, molti dei nostri studenti sbagliano la risoluzione [2]. Essendo i dati del problema a 4 cifre significative, il loro errore percentuale massimo è $100(1/1000) = 0,1\%$. Per non aumentare l'errore percentuale, nei calcoli intermedi è meglio utilizzare una cifra significativa in più, rispetto a quelle necessarie.

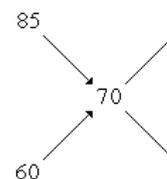
Verifica

In 100,0 g di miscuglio sono contenuti:

$$\begin{aligned} 16,00 \text{ g Na;} \\ 37,00 \text{ g Cl;} \\ 33,40 \text{ g O;} \\ 13,60 \text{ g K.} \end{aligned}$$

Francesco Orlando suggerisce anche un'altra soluzione basata sulla "regola della croce"; regola che è codificata da qualche parte nella memoria a lungo termine di tutti noi chimici (almeno quelli tra noi della vecchia scuola). La regola della croce (o regola delle miscele) [3] di solito viene utilizzata per determinare i rapporti di miscele quando si devono mescolare due soluzioni della stessa sostanza a concentrazione nota, oppure si vuole diluire una soluzione col solvente puro per ottenere una soluzione a concentrazione intermedia tra le due di partenza.

Ad esempio, consideriamo il caso: si hanno due soluzioni, l'una all'85% e l'altra al 60%; si vuole ottenere una soluzione al 70%. Si opera nel modo seguente. Si costruisce la croce, mettendo in alto a sinistra la concentrazione maggiore, in basso quella più piccola (nel caso del solvente puro, si mette 0) e al centro la concentrazione della soluzione che si vuole ottenere:



Si fanno poi le differenze: $85 - 70 = 15$ e $70 - 60 = 10$. Si riportano questi valori nelle posizioni a destra nella croce, in basso e in alto, rispettivamente.

Si devono mescolare perciò 10 parti di soluzione all'85% con 15 parti di soluzione al 60% e si ottengono 25 parti di soluzione al 70%. "Parti" significano parti in peso (massa), se la concentrazione è espressa in percento in peso oppure parti in volume se la concentrazione è espressa in percento in volume.

La procedura di calcolo, utilizzata dal lettore, è ingegnosa e vale la pena di riportarla. Si parte dalla composizione percentuale delle sostanze:

	%Na	%Cl	%O	%K
NaCl	39,339	60,661	0	0
NaClO ₃	21,599	33,305	45,096	0
parti di miscuglio 1	28,927	39,168	31,905	

1) miscuglio 1 (NaCl + NaClO₃):

100,0 g di miscuglio 1 contengono 25,94 g NaCl e 74,06 g di NaClO₃. In modo analogo calcola la composizione di un miscuglio di NaCl e KClO₃ che contiene il 33,40% di ossigeno.

2) miscuglio 2 (NaCl + KClO₃):

100,0 g di miscuglio 2 contengono 14,73 g NaCl e 85,27 g di KClO₃.

Gennaio - Febbraio 2000

La composizione percentuale dei miscugli 1 e 2, risulta:

	%Na	%Cl	%O	%K
Miscuglio 1	26,200	40,400	33,400	0
Miscuglio 2	5,793	33,600	33,400	27,207

Ora, qualunque combinazione dei miscugli precedenti contiene il 33,40% di ossigeno; in quale rapporto è necessario mescolare i miscugli 1 e 2 per ottenere un miscuglio che contiene il 16,00 % di sodio?

100,0 g del miscuglio ottenuto contengono 50,02 g di miscuglio 1 e 49,98 g di miscuglio 2. Il miscuglio risultante ha la seguente composizione:

20,332 g di NaCl, 37,045 g di NaClO₃ e 42,623 g di KClO₃.

Il lettore Orlando propone anche un'altra soluzione, sempre basata sulla regola della croce, pensando il miscuglio 1 formato da NaCl e KClO₃, il miscuglio 2 formato da NaClO₃ e KClO₃, e fissando la percentuale di sodio al 16,00%. Ora la domanda alla quale rispondere è: in quale rapporto è necessario mescolare i miscugli 1 e 2 per ottenere un miscuglio che contiene il 33,40 % di ossigeno?

Fino qui i lettori di CnS. Due studenti, che frequentando un corso di chimica si sono allenati a risolvere i problemi in gruppo, secondo il metodo cooperativo [4], hanno risolto il problema nel modo che segue.

Base per il calcolo: 100,0 g di miscuglio (msc).

100,0 g msc contengono 16,00 g Na e 33,40 g O;

$100,0 \text{ g msc} - (16,00 \text{ g Na} + 33,40 \text{ g O}) = 50,60 \text{ g K e Cl}$.

$16,00 \text{ g Na} \equiv 6,959 \cdot 10^{-1} \text{ mol Na}$
In NaCl e in NaClO₃, ad ogni mole di

sodio corrisponde 1 mole di cloro; ovvero si hanno $6,959 \cdot 10^{-1} \text{ mol Cl}$ (in

NaCl e NaClO₃)
 $(6,959 \cdot 10^{-1} \text{ mol Cl})(35,45 \text{ g Cl/mol Cl}) = 24,67 \text{ g Cl}$ (in NaCl e NaClO₃)
 $50,60 \text{ g K e Cl} - 24,67 \text{ g Cl} = 25,93 \text{ g K e Cl}$ (in KClO₃)

In KClO₃, per ogni mole di potassio c'è 1 mole di cloro:

$39,10 \text{ g K} + 35,45 \text{ g Cl} = 74,55 \text{ g K} + \text{Cl}$
 $74,55 \text{ g (K} + \text{Cl)} : 39,10 \text{ g K} = 25,93 \text{ g (K} + \text{Cl)} : x \text{ g K}$
 $x = 13,60 \text{ g K}$

Verifica

$100,0 \text{ g msc} - (13,60 \text{ g K} + 16,00 \text{ g Na} + 33,40 \text{ g O}) = 37,00 \text{ g Cl}$

$13,60 \text{ g K} \equiv 3,478 \cdot 10^{-1} \text{ mol K} = 3,478 \cdot 10^{-1} \text{ mol KClO}_3 = 42,64 \text{ g KClO}_3/100,0 \text{ g msc}$

$33,40 \text{ g O} \equiv 2,088 \text{ mol O}$

$2,088 \text{ mol O} - (3,478 \cdot 10^{-1} \text{ mol KClO}_3) = 1,045 \text{ mol O}$ (in NaClO₃)

$(1,045 \text{ mol O})(1 \text{ mol KClO}_3/3 \text{ mol O}) = 3,483 \cdot 10^{-1} \text{ mol NaClO}_3$

$(3,483 \cdot 10^{-1} \text{ mol NaClO}_3)(106,4 \text{ g NaClO}_3/1 \text{ mol NaClO}_3) = 37,06 \text{ g NaClO}_3/100,0 \text{ g msc}$

$24,67 \text{ g Cl} \equiv 6,959 \cdot 10^{-1} \text{ mol Cl}$ (in NaCl e NaClO₃)

$6,959 \cdot 10^{-1} \text{ mol Cl} - 3,483 \cdot 10^{-1} \text{ mol NaClO}_3 = 3,476 \cdot 10^{-1} \text{ mol NaCl}$

$(3,476 \cdot 10^{-1} \text{ mol NaCl})(58,44 \text{ g NaCl}/1 \text{ mol NaCl}) = 20,31 \text{ g NaCl}/100,0 \text{ g msc}$

Si ha perciò:
 $20,31 \text{ g NaCl} + 37,06 \text{ g NaClO}_3 + 42,64 \text{ g KClO}_3 = 100,0 \text{ g msc}$.

Niente male: originale ed elegante! Volutamente mi sono astenuto dal commentare i passaggi, per lasciare al lettore il compito di capire la profondità e gustare la bellezza del ragionamento utilizzato.

Bibliografia

[1] Calcoli stechiometrici, *La Chimica nella Scuola*, 1996, **XVIII**, 133-134.

[2] L. Cardellini, Fattori di conversione e rapporti stechiometrici: strumenti logici per la risoluzione dei problemi, *La Chimica nella Scuola*, 1996, **XVIII**, 148-151.

[3] F. W. Küster, A. Thiel, *Tabelle logaritmiche per Chimici, Farmacisti, Medici e Fisici*, 8a Ed., Hoepli: Milano 1965, p. 199.

[4] L. Cardellini, R. M. Felder, L'apprendimento cooperativo. Un metodo per migliorare la preparazione e l'acquisizione di abilità cognitive negli studenti, *La Chimica nella Scuola*, 1999, **XXI**, 18-25.