

## Stechiometria

### Composizione percentuale e formula empirica

La **composizione percentuale** (per peso) di un elemento in un composto è simile alla concentrazione percentuale in una soluzione: il numero di unità di massa dell'elemento per ogni 100 unità di massa del composto.

Ogni sostanza, che sia un composto o una soluzione, può essere rappresentata da una formula chimica che dice quali e quanti atomi sono combinati insieme. La **formula empirica** di un composto è la versione che rappresenta la più piccola parte che contiene tutti i vari tipi di atomi. La formula empirica di una sostanza sconosciuta può essere trovata se è determinata la composizione percentuale per peso di ogni elemento.

La **formula molecolare** di un composto esprime il numero di atomi di ogni elemento in una molecola del composto. E' leggermente diversa dalla formula empirica perché considera *il numero totale di atomi* presenti non solo il *tasso di atomi*. Una formula molecolare può essere uguale alla formula empirica ( $\text{CO}_2$ ), due volte la formula empirica ( $\text{C}_2\text{O}_4$ ), tre volte la formula empirica ( $\text{C}_3\text{O}_6$ ) e così via.

#### \*Composto o miscela\*

##### Variabili

Massa dell'elemento:	$m_{\text{elem}}$ (grams)
Massa molare dell'elemento:	$M_{\text{elem}}$ (grams/mole)
Composizione % dell'elemento:	$\text{comp}_{\text{elem}}$ (%)
Numero di moli:	$n_{\text{elem}}$ (moles)
Massa del composto:	$m_{\text{comp}}$ (grams)
Composizione percentuale:	$\text{pc}_{\text{elem}}$ (%)

##### Equazioni

$$\text{Composizione percentuale: } \text{pc}_{\text{elem}} = \frac{m_{\text{elem}}}{m_{\text{comp}}}$$

$$\text{Numero di moli di un elemento: } n_{\text{elem}} = \frac{m_{\text{elem}}}{M_{\text{elem}}}$$

$$\text{Mole ratio: } \text{mole\_ratio} = \frac{n_{\text{elem1}}}{n_{\text{elem2}}}$$

**Esempio 1**

64g di acqua contengono 56.89g di ossigeno. Qual è la composizione percentuale di ossigeno nell'acqua?

$$m_{\text{ossigeno}} := 56.89 \cdot \text{gm}$$

$$m_{\text{acqua}} := 64 \cdot \text{gm}$$

Dividendo la massa dell'ossigeno per la massa totale, abbiamo:

$$pc_{\text{ossigeno}} := \frac{m_{\text{ossigeno}}}{m_{\text{acqua}}}$$

$$pc_{\text{ossigeno}} = 88.891 \cdot \%$$

**Esempio 2**

Lo stesso campione di 64g di oltre 56.89g di ossigeno contiene 7.11g di idrogeno. Qual è la formula empirica dell'acqua?

Ora, oltre alla massa dell'acqua e dell'ossigeno conosciamo quella dell'idrogeno:

$$m_{\text{idrogeno}} := 7.11 \cdot \text{gm}$$

Prima dobbiamo trovare la composizione percentuale dell'idrogeno.

$$pc_{\text{idrogeno}} := \frac{m_{\text{idrogeno}}}{m_{\text{acqua}}}$$

$$pc_{\text{idrogeno}} = 11.109 \cdot \%$$

A questo punto troviamo il rapporto molare tra idrogeno e ossigeno (compariamo il numero di atomi di idrogeno con quelli di ossigeno). Tuttavia, prima di fare ciò, dobbiamo conoscere il numero di moli di ossigeno ed idrogeno presenti.

Il numero di moli si trova dividendo la massa (grammi) per la massa molare (grammi/mole). La massa molare di ogni elemento si trova nella **Tavola periodica**:

$$M_{\text{idrogeno}} := 1 \cdot \frac{\text{gm}}{\text{mole}}$$

$$M_{\text{ossigeno}} := 16 \cdot \frac{\text{gm}}{\text{mole}}$$

Una parte di elettroni crea il legame tra due atomi di idrogeno e un atomo di ossigeno inerti

$M_H = 1g$   $M_H = 1g$

1p 1p

8p 8n

$M_O = 16g$

MOLECOLA DELL'ACQUA ( $M_{H_2O} = 18g$ )

Metalli alcalini

Numero atomico

Simbolo

Peso atomico

Gas inerti

1 H 1.01																	2 He 4.00																												
3 Li 6.94	4 Be 9.01											5 B 10.81	6 C 12.01	7 N 14.01	8 O 16.00	9 F 18.00	10 Ne 20.18																												
11 Na 22.99	12 Mg 24.30	Elementi di transizione (metalli pesanti)										13 Al 26.98	14 Si 28.09	15 P 30.97	16 S 32.07	17 Cl 35.45	18 Ar 39.95																												
19 K 39.10	20 Ca 40.08	21 Sc 44.96	22 Ti 47.88	23 V 50.94	24 Cr 52.00	25 Mn 54.93	26 Fe 55.85	27 Co 58.93	28 Ni 58.69	29 Cu 63.55	30 Zn 65.38	31 Ga 69.72	32 Ge 72.61	33 As 74.92	34 Se 78.96	35 Br 79.90	36 Kr 83.80																												
37 Rb 85.47	38 Sr 87.62	39 Y 88.91	40 Zr 91.22	41 Nb 92.91	42 Mo 95.94	43 Tc (98)	44 Ru 101.07	45 Rh 102.91	46 Pd 106.42	47 Ag 107.87	48 Cd 112.41	49 In 114.82	50 Sn 118.71	51 Sb 121.76	52 Te 127.60	53 I 126.90	54 Xe 131.29																												
55 Cs 132.91	56 Ba 137.33	57 La 138.91	72 Hf 178.49	73 Ta 180.95	74 W 183.85	75 Re 186.21	76 Os 190.20	77 Ir 192.22	78 Pt 195.08	79 Au 196.87	80 Hg 200.59	81 Tl 204.38	82 Pb 207.20	83 Bi 208.98	84 Po (209)	85 At (210)	86 Rn (222)																												
87 Fr (223)	88 Ra 226.03	89 Ac 227.03	104 Rf 261	105 Ha 262	106 Sg 263	107 Ns 262	108 Hs 264	109 Mt 266	110 Ds 271	111 Nh 272	112 Fl 277																																		
<table border="1"> <tr> <td>58 Ce 140.12</td> <td>59 Pr 140.91</td> <td>60 Nd 144.24</td> <td>61 Pm (145)</td> <td>62 Sm 150.36</td> <td>63 Eu 151.97</td> <td>64 Gd 157.25</td> <td>65 Tb 158.93</td> <td>66 Dy 162.50</td> <td>67 Ho 164.93</td> <td>68 Er 167.26</td> <td>69 Tm 168.93</td> <td>70 Yb 173.04</td> <td>71 Lu 174.97</td> </tr> <tr> <td>90 Th 232.04</td> <td>91 Pa 231.04</td> <td>92 U 238.03</td> <td>93 Np 237.05</td> <td>94 Pu (244)</td> <td>95 Am (243)</td> <td>96 Cm (247)</td> <td>97 Bk (247)</td> <td>98 Cf (251)</td> <td>99 Es (252)</td> <td>100 Fm (257)</td> <td>101 Md (258)</td> <td>102 No (259)</td> <td>103 Lr (260)</td> </tr> </table>																		58 Ce 140.12	59 Pr 140.91	60 Nd 144.24	61 Pm (145)	62 Sm 150.36	63 Eu 151.97	64 Gd 157.25	65 Tb 158.93	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93	68 Er 167.26	69 Tm 168.93	70 Yb 173.04	71 Lu 174.97	90 Th 232.04	91 Pa 231.04	92 U 238.03	93 Np 237.05	94 Pu (244)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (251)	99 Es (252)	100 Fm (257)	101 Md (258)	102 No (259)	103 Lr (260)
58 Ce 140.12	59 Pr 140.91	60 Nd 144.24	61 Pm (145)	62 Sm 150.36	63 Eu 151.97	64 Gd 157.25	65 Tb 158.93	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93	68 Er 167.26	69 Tm 168.93	70 Yb 173.04	71 Lu 174.97																																
90 Th 232.04	91 Pa 231.04	92 U 238.03	93 Np 237.05	94 Pu (244)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (251)	99 Es (252)	100 Fm (257)	101 Md (258)	102 No (259)	103 Lr (260)																																

Tavola periodica degli elementi

Dividiamo per trovare il numero di moli

$$n_{\text{idrogeno}} = \frac{m_{\text{idrogeno}}}{M_{\text{idrogeno}}}$$

$$n_{\text{ossigeno}} = \frac{m_{\text{ossigeno}}}{M_{\text{ossigeno}}}$$

$$n_{\text{idrogeno}} = 7.11 \cdot n$$

$$n_{\text{ossigeno}} = 3.556 \cdot$$

Dividendo il numero di moli di idrogeno per il numero di moli di ossigeno:

$$\text{mole\_ratio} = \frac{n_{\text{idrogeno}}}{n_{\text{ossigeno}}}$$

$$\text{mole\_ratio} = 2$$

Questo significa che per ogni mole di ossigeno ci sono due moli di idrogeno (questo implica che per ogni atomo di ossigeno ci sono due atomi di idrogeno). La formula empirica che risulta non sarà certo una sorpresa:



### Esempio 3

L'acido ossalico si trova in molte piante ed erbe e contiene gli elementi C, H e O. Qual è la formula empirica di 18 grammi di acido ossalico, date le seguenti composizioni percentuali e le masse molari?

$$m := 18 \cdot \text{gm}$$

$$\text{comp}_C := 26.7\%$$

$$\text{comp}_H := 2.2\%$$

$$\text{comp}_O := 71.1\%$$

$$M_C := 12 \cdot \frac{\text{gm}}{\text{mole}}$$

$$M_H := 1 \cdot \frac{\text{gm}}{\text{mole}}$$

$$M_O := 16 \cdot \frac{\text{gm}}{\text{mole}}$$

Vogliamo confrontare il numero di moli di ciascun elemento con quello degli altri.

Per fare ciò, dobbiamo prima trovare la massa del carbonio  $m_C$ , dell'idrogeno  $m_H$ , e dell'ossigeno  $m_O$ .

$$m_C := \text{comp}_C \cdot m$$

$$m_H := \text{comp}_H \cdot m$$

$$m_O := \text{comp}_O \cdot m$$

$$m_C = 4.806 \cdot \text{gm}$$

$$m_H = 0.396 \cdot \text{gm}$$

$$m_O = 12.798 \cdot \text{gm}$$

Dividendo la massa (grammi) per la massa molare (grammi/mole) troviamo il numero di moli di carbonio  $n_C$ , di idrogeno  $n_H$  e ossigeno  $n_O$  :

$$n_C := \frac{m_C}{M_C}$$

$$n_H := \frac{m_H}{M_H}$$

$$n_O := \frac{m_O}{M_O}$$

$$n_C = 0.401 \cdot \text{mole}$$

$$n_H = 0.396 \cdot \text{mole}$$

$$n_O = 0.8 \cdot \text{mole}$$

Ora troviamo il rapporto molare dividendo il numero di moli di ogni elemento per l'elemento contenente il minor numero di moli (in questo caso,  $n_H$ ).

$$\text{mole\_ratio} = \frac{n_C}{n_H}$$

$$\text{mole\_ratio} = 1.0$$

$$\text{mole\_ratio} = \frac{n_H}{n_H}$$

$$\text{mole\_ratio} = 1$$

$$\text{mole\_ratio} = \frac{n_O}{n_H}$$

$$\text{mole\_ratio} = 2.0$$

Visto che i rapporti molari  $n_C/n_H$  e  $n_O/n_H$  sono, rispettivamente, 1 e 2, per ogni mole di H c'è 1 mole di C e 2 moli di O. Perciò la formula empirica è:  $\text{CHO}_2$