

Semplici esperienze di laboratorio utili per chiarire alcuni aspetti delle reazioni chimiche

Benedetto Raimondi*, Gianfranco La Manna**

*I. I. S. "Majorana", Via G. Astorino 56, 90146 Palermo.

benedetto.raimondi1@virgilio.it

**Dipartimento di Chimica Fisica "Filippo Accascina" – Università di Palermo

Viale delle Scienze, Parco D'Orleans II, 90128 Palermo

lamanna@ccc.unipa.it

Riassunto

In questo lavoro, si discute dell'esecuzione della decomposizione termica del carbonato basico di rame e del bicarbonato di sodio. Queste esperienze, eseguibili da studenti di 13-14 anni che frequentano il primo anno di un istituto tecnico o di un liceo scientifico-tecnologico, danno risultati riproducibili e contribuiscono a sviluppare importanti momenti di apprendimento. Grazie ad esse, si possono approfondire alcune conoscenze sulle reazioni chimiche che vanno oltre la legge di conservazione della massa; inoltre l'esame critico dei risultati qualitativi e quantitativi delle esperienze svolte agevola la correzione di una concezione errata molto frequente tra gli studenti: le reazioni chimiche debbono essere sempre accompagnate da effetti visibili. Particolare cura, infine, viene data all'uso di materiali che, dopo la loro manipolazione, producono sostanze riciclabili o il cui smaltimento non è particolarmente oneroso.

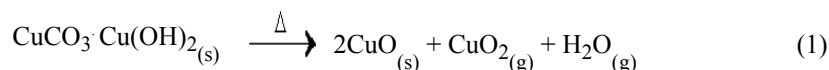
Abstract

This paper reports the thermal decomposition of basic copper carbonate and sodium hydrogen carbonate to be carried out by first-year students of a technical institute or a lyceum. These experiments provide reproducible results and are useful for developing important steps of the learning process. Through these experiments, some knowledges on chemical reactions can be deepened, beyond the mass conservation law; moreover, the critical examination of the qualitative and quantitative results allows for correcting a wrong hypothesis, which is very common by the students, that is chemical reactions have to be joined to visible effects. Finally, a particular attention is given to the use of materials which, after their manipulation, give rise to recyclable products or to products suitable to easy disposal.

Introduzione

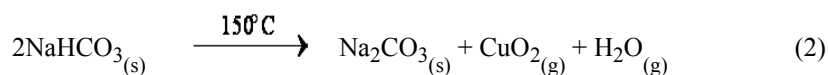
La chimica non è una disciplina intuitiva e molte reazioni chimiche hanno un carattere elusivo in quanto reagenti o prodotti sono in molti casi gas incolori e quindi sfuggono ad una osservazione diretta[1]. Lo studio della chimica, in particolare all'età di 13-14 anni, risulta difficile per varie ragioni. Una ragione consiste nel fatto che il suo studio obbliga gli studenti a correggere le proprie conoscenze spontanee con quelle formalizzate, rigorose e strutturate, proprie di questa disciplina. Dall'incontro tra le conoscenze spontanee e l'impostazione scientifica deriva quasi sempre un conflitto che, se ben gestito, agevola l'apprendimento da parte degli allievi. Un esempio di conflitto tra i due tipi di conoscenza deriva dall'associazione quasi automatica di ogni reazione chimica a fenomeni come variazioni cromatiche, sviluppo di gas, effetti sonori notevoli. Ad esempio, molti studenti dei primi anni della scuola media superiore, limitandosi all'ingenua osservazione visiva, credono che, ogni volta che si riscalda un campione solido di materia, se questo rimane solido e non cambia colore, non è avvenuta nessuna trasformazione o, al massimo, se la massa del residuo risulta minore di quella iniziale, potrebbe essere avvenuto un passaggio di stato.

La decomposizione termica del carbonato basico di rame, $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$, rappresentata dalla seguente equazione chimica:



è accompagnata da variazioni cromatiche evidenti perché il carbonato basico di rame, $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$, unico reagente della (1), è un solido verde. L'ossido di rame, CuO , unico prodotto solido della (1), è invece nero.

Un fenomeno di tipo apparentemente più difficile da interpretare è, invece, la decomposizione termica del bicarbonato di sodio, NaHCO_3 , a 150 °C:



Semplici esperienze di laboratorio utili per chiarire alcuni aspetti delle reazioni chimiche

La (2) non è accompagnata da variazioni cromatiche. Il bicarbonato di sodio, unico reagente della (2), è un solido bianco come l'unico prodotto solido, il carbonato di sodio Na_2CO_3 . In entrambe le reazioni, oltre ad un unico prodotto solido, si formano acqua, H_2O , e anidride carbonica, CO_2 ; questi ultimi due prodotti sono aeriformi, incolori ed inodori. La (1) e la (2), condotte in un sistema aperto, sono reazioni quantitative nelle quali la massa dell'unico prodotto solido ottenuto è, per la legge di Lavoisier, minore di quella dell'unico reagente, anch'esso solido. Questo fatto è importante e tutt'altro che ovvio e il docente deve sottolinearlo facendo riferimento a questa legge.

Un altro aspetto, che va oltre i vincoli ponderali della legge di Lavoisier e deve essere sottolineato, è il seguente: in entrambe le reazioni, la massa del prodotto solido è direttamente proporzionale a quella del solido sottoposto a riscaldamento ed il valore del rapporto di proporzionalità dipende dalle sostanze coinvolte. Tale proporzionalità vale anche tra le masse di qualsiasi altra coppia di sostanze ma verificarla considerando, ad esempio, la massa dell'acqua o dell'anidride carbonica sarebbe più complesso perché queste due sostanze sono, nelle condizioni di reazione, aeriformi e la loro separazione sarebbe abbastanza laboriosa.

Non è sorprendente che gli studenti, non osservando alcun cambiamento di colore riscaldando il bicarbonato di sodio, concludano ingenuamente che non è successo nulla. Nel caso della (2), i processi cognitivi che portano i discenti alla conclusione ingenua sono guidati, principalmente, dalla percezione visiva, che non segnala una variazione cromatica. Può anche accadere che un'ingenua applicazione della legge di Lavoisier, che richiede il confronto tra massa del Na_2CO_3 prodotto e quella corrispondente di NaHCO_3 , porti alcuni allievi alla conclusione che un poco di quest'ultimo sia sublimato. Nel caso della (1), invece, l'evidente cambiamento di colore contrasta poco con le conoscenze spontanee dei discenti che concludono, con minore sforzo cognitivo, che è avvenuta una reazione chimica.

Per queste ragioni, il docente deve fare eseguire, sperimentalmente, alla classe le reazioni (1) e (2) e verificare che entrambe avvengono con produzione d'acqua e anidride carbonica aeriformi. Conclusa la fase sperimentale e l'elaborazione dei dati, la classe, sotto la guida del docente, dovrà discutere i risultati rilevando le similitudini nei due casi:

- diminuzione della massa del solido prodotto rispetto a quella del solido prima della reazione;
- costanza del rapporto tra le due precedenti grandezze;
- produzione, insieme all'unico prodotto solido, di acqua e anidride carbonica aeriformi, che in sistemi aperti giustifica la diminuzione della massa del solido ottenuto rispetto a quella iniziale.

La costanza del rapporto tra massa del solido prodotto e quella del reagente, verificata sperimentalmente, fa emergere un'ulteriore peculiarità delle reazioni chimiche che si sovrappone alla legge di Lavoisier ed è un approfondimento significativo delle conoscenze degli studenti. Enfatizzare questo aspetto, inoltre, stimola ed aiuta i discenti a rivedere le proprie convinzioni, evidentemente errate, riguardo alla presunta generale visibilità delle reazioni chimiche. Se dovesse accadere che qualche allievo affermasse la presunta sublimazione del NaHCO_3 a 150°C , il docente potrebbe invitare la classe, o l'allievo, a continuare a riscaldare il residuo e ripesarlo dopo raffreddamento. Le tabelle 1 e 2 riportano, a titolo esemplificativo, dati ottenuti da alcuni alunni che hanno lavorato, rispettivamente, alle (1) e (2) facendo le pesate con una bilancia analitica.

Tabella 1. Dati relativi al $\text{CuCO}_3\cdot\text{Cu}(\text{OH})_2$ (tutte le masse sono espresse in grammi).

Numero del team	m_t (g)	m' (g)	m_1 (g)	m'' (g)	m_2 (g)	m_2/m_1
1	54,4624	55,7172	1,2548	55,3637	0,9013	0,7183
2	54,5991	55,6497	1,0506	55,3530	0,7539	0,7176
3	55,0938	56,3636	1,2698	56,0124	0,9186	0,7234
4	56,7982	57,9328	1,1346	57,6362	0,8380	0,7386
errore assoluto su m_2/m_1						0,01
valore medio di m_2/m_1						0,72
errore relativo % su m_2/m_1						1,4

m_t : massa della sola capsula.

m' : massa della capsula contenente $\text{CuCO}_3\cdot\text{Cu}(\text{OH})_2$.

m_1 : massa del $\text{CuCO}_3\cdot\text{Cu}(\text{OH})_2$.

m'' : massa della capsula contenente CuO .

m_2 : massa del CuO .

m_2/m_1 : rapporto tra massa del CuO formato nel corso della (1) e massa del $\text{CuCO}_3\cdot\text{Cu}(\text{OH})_2$.

Tabella 2. Dati relativi al NaHCO_3 (tutte le masse sono espresse in grammi).

Numero del team	m_t (g)	m' (g)	m_3 (g)	m'' (g)	m_4 (g)	m_4/m_3
1	54,4624	55,8353	1,3729	55,3637	0,8663	0,6310
2	54,5991	55,5997	1,0006	55,3530	0,6354	0,6350
3	55,0938	56,5112	1,4174	56,0124	0,9186	0,6481
4	56,7982	58,1967	1,3985	57,6362	0,8380	0,5992
errore assoluto su m_4/m_3						0,02
valore medio di m_4/m_3						0,63
errore relativo % su m_4/m_3						3,9

m_t : massa della sola capsula.

m' : massa della capsula contenente NaHCO_3 .

m_3 : massa del NaHCO_3 .

m'' : massa della capsula contenente Na_2CO_3 .

m_4 : massa del Na_2CO_3 .

m_4/m_3 : rapporto tra massa del Na_2CO_3 formato nel corso della (2) e massa del NaHCO_3 .

I prodotti solidi della (1) e della (2) possono essere conservati in appositi contenitori, etichettati adeguatamente ed utilizzati per svolgere ulteriori esperienze[2]. La (1), ad esempio, è utilizzabile per determinare la quantità di rame contenuto nel carbonato basico di rame[3].

Ogni studente dovrebbe lavorare, preferibilmente, da solo. In alternativa, la classe può essere divisa in piccoli gruppi di non più di tre o quattro allievi. Il docente deve assegnare ad ogni studente, o gruppo, un numero o un nome identificativo univoco e deve predisporre una tabella come quelle riportate sopra.

Nel seguito del lavoro si discute in dettaglio delle metodologie, delle strategie, della scansione temporale delle esperienze, dei tempi di esecuzione, di eventuali approfondimenti.

Discussione

Per svolgere bene le attività descritte sopra, gli allievi debbono avere conseguito le seguenti competenze e conoscenze:

- identificare e distinguere i passaggi di stato;
- applicare concretamente la legge di conservazione della massa;
- identificare e distinguere senza equivoco tra sistemi aperti e chiusi;
- usare la bilancia;
- effettuare una pesata col metodo della tara;
- distinguere tra la definizione di errore assoluto e quella di errore relativo;
- calcolare l'errore assoluto e quello relativo;
- arrotondare i risultati dei calcoli svolti usando il numero corretto di cifre decimali o significative.

Tenuto conto dei prerequisiti, il gruppo di esperienze ed osservazioni di cui si discute può essere svolto, approssimativamente, 3 mesi dopo l'inizio dell'anno scolastico o nella seconda parte del primo quadrimestre.

Se si lavora con le sole bilance tecniche, è opportuno che le masse impiegate siano tali da effettuare calcoli con almeno tre cifre significative. Lavorando con masse di $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ o di NaHCO_3 prossime ad 1,60 g, la massa teorica del solido residuo ha ancora tre cifre significative. Se, invece, si hanno a disposizione bilance analitiche, è sufficiente che le masse impiegate siano prossime ad 1 g: in tal caso le masse del reagente e del prodotto solidi hanno almeno quattro cifre significative.

Lavorando con le masse vicine ai valori suggeriti, dopo circa 40 minuti di riscaldamento tramite fiamma Bunsen o piastra elettrica, la decomposizione termica del $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ è completa e, nei limiti degli errori sperimentali, la massa del CuO prodotto è costante. Riguardo la (2), se si riscalda NaHCO_3 a 150°C per circa 45 minuti, la massa del Na_2CO_3 prodotto è praticamente costante. Masse maggiori di 2 g determinerebbero in ciascun caso tempi di riscaldamento più lunghi di quelli su indicati. I valori indicati sono, ovviamente, consigliati e derivano da un compromesso tra accuratezza dei risultati e tempi di esecuzione del lavoro contenuti.

Semplici esperienze di laboratorio utili per chiarire alcuni aspetti delle reazioni chimiche

È bene che gli allievi eseguano personalmente le reazioni di decomposizione termica e che non vengano mostrate loro le equazioni chimiche (1) o (2). Questa considerazione deriva dalla necessità di non appesantire inutilmente l'esame dei fenomeni: i discenti sarebbero costretti ad uno sforzo cognitivo, in questa fase del curriculum, inutile ed inopportuno. Inoltre, le equazioni chimiche sono oggetto di altre unità di apprendimento (U.A.).

La decomposizione termica del $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$ dovrebbe essere svolta prima di quella del NaHCO_3 . La ragione dipende dal fatto che nel primo caso gli allievi dispongono di un'osservazione visiva, il cambiamento di colore, che li agevola nella comprensione del fenomeno. Appena la classe inizierà a lavorare alla decomposizione del NaHCO_3 , il docente dovrà attirare l'attenzione degli allievi sul fatto che questo fenomeno, a dispetto della mancata variazione cromatica, somiglia molto alla decomposizione precedente perché, anche in questo caso, il residuo pesa meno del solido iniziale e, come nell'esperienza precedente, si sviluppano vapore acqueo e anidride carbonica. Il docente deve anche invitare gli studenti ad affidarsi più alla bilancia che ai propri sensi. Essa non "vede" cambiamenti o permanenze di colore. La bilancia, più obiettivamente, "percepisce" solo permanenze o variazioni di massa che in questo contesto sono cruciali. Sotto questo punto di vista, l'uso della bilancia, sovrapposto all'esame dei dati che essa comunica, aiuta a correggere concezioni errate fondate sull'osservazione "ingenua" e solo su informazioni sensoriali.

È importante trattare bene anche gli aspetti relativi agli aeriformi. Dato che le reazioni descritte dalla (1) e (2) avvengono con produzione di vapore acqueo e anidride carbonica, riscaldando ciascun reagente sul solo fondo di una provetta, il vapore acqueo prodotto condenserà sulla parte superiore del tubo da saggio, più fredda del fondo. La condensazione del vapore acqueo è ben evidenziata dall'appannamento delle pareti fredde della provetta. Lo sviluppo di anidride carbonica, invece, è verificabile lasciando gorgogliare gli aeriformi prodotti nel corso delle decomposizioni (1) o (2) in una soluzione di Ba(OH)_2 1M o di Ca(OH)_2 1M. Se nella soluzione gorgoglia anidride carbonica, essa reagisce con Ba(OH)_2 o Ca(OH)_2 secondo le:



Le reazioni corrispondenti alle (3) e (4) sono manifestate dall'intorbidimento del liquido, conseguenza della precipitazione, rispettivamente, del carbonato di bario, BaCO_3 , o del carbonato di calcio, CaCO_3 . Il docente deve stimolare la classe a discutere delle osservazioni relative alla formazione di acqua e anidride carbonica. Per gli stessi motivi citati prima, è bene che il docente non mostri agli allievi le: (3) e (4).

Il tempo del riscaldamento è un tempo morto. Esso può essere utilizzato per fare montare agli allievi l'apparecchiatura per verificare la produzione d'acqua e anidride carbonica. Il docente, inoltre:

- potrà discutere con gli allievi, facendo sempre riferimento alla legge di Lavoisier, stimolandoli a formulare ipotesi sul confronto tra masse del residuo e del reagente prima che la decomposizione termica sia conclusa;
- potrà, se necessario, aiutare gli studenti ad ordinare o correggere gli appunti presi;
- potrà verificare se gli allievi svolgono correttamente i calcoli.

Man mano che vengono determinati i valori di m_1 , m_2 , e del rapporto m_2/m_1 , il docente deve richiamare l'attenzione sul fatto che, per la legge di Lavoisier, m_2 è minore di m_1 ed, inoltre, che il loro rapporto è riproducibile. Analogamente per m_3 , m_4 ed m_4/m_3 . Si trascuri, al momento, l'eventualità di errori casuali tali da compromettere la riproducibilità dei suddetti rapporti. Il tempo occorrente affinché una classe di 24 allievi, suddivisa in gruppi di tre, svolga ciascuna decomposizione, verifichi la produzione di acqua e anidride carbonica, ordini gli appunti presi sotto la guida del docente, è di circa 2 ore. Per discutere, invece, delle somiglianze qualitative e quantitative tra le (1) e (2), in genere è sufficiente un'ora.

Conclusa la determinazione dei dati ponderali relativi alla (1), il docente farà calcolare agli allievi il valore medio di m_2/m_1 e la stima dell'errore assoluto "e", applicando l'espressione semplificata:

$$\text{errore su } m_2/m_1 = e = \frac{\text{massimo valore di } m_2/m_1 - \text{minimo valore di } m_2/m_1}{2} \quad (5)$$

Quindi, indicando con $\overline{m_2/m_1}$ il valore medio di tale rapporto, la migliore stima (m_2/m_1_{best}) di m_2/m_1 sarà [4]:

$$m_2/m_1_{\text{best}} = \overline{m_2/m_1} \pm e \quad (6)$$

Dopo avere calcolato e , la classe calcolerà l'errore relativo percentuale " $e_r\%$ ":

$$e_r\% = 100 \frac{e}{m_2/m_1} \quad (7)$$

Le (5), (6) e (7) sono applicabili anche nel caso del bicarbonato di sodio: basta sostituire m_4 ad m_2 ed m_3 ad m_1 .

Se si tiene conto della propagazione degli errori, dell'età media degli allievi, della loro manualità e della fase iniziale del curriculum, si possono ritenere accettabili valori di m_2/m_1 (o di m_4/m_3) che differiscono dai corrispondenti valori teorici fino al 10 %.

Due importanti cause di mancata riproducibilità dei rapporti m_2/m_1 e m_4/m_3 sono: perdita accidentale di solido durante le pesate e distrazione nel misurare le masse. Il docente dovrà sfruttare tali eventualità come ulteriori momenti di crescita della classe, invitando gli allievi a indagare le cause della mancata riproducibilità del valore di tali rapporti. Se le condizioni di lavoro lo permettono (piano occupazione aule, tempo residuo disponibile, etc.), gli allievi in difficoltà potrebbero ripetere, sotto la guida di compagni che hanno ottenuto buoni risultati, la decomposizione termica della sostanza su cui hanno lavorato con insuccesso.

Conclusa l'elaborazione dei dati sulla decomposizione del NaHCO_3 , il docente dovrà discutere con gli allievi delle somiglianze tra le (1) e (2) riassunte nelle voci a, b e c dell'introduzione.

È accaduto che qualche allievo obiettasse che il riscaldamento del NaHCO_3 a 150 °C ne provochi la sublimazione. Tale obiezione ha un certo diritto di cittadinanza e la sua correzione va colta come fecondo momento di costruzione delle conoscenze. La verifica sperimentale dello sviluppo di acqua e anidride carbonica aiuta a correggere questa ipotesi errata. Inoltre l'allievo o il gruppo di appartenenza riscalderà la propria capsula in stufa per almeno 20 minuti, la farà raffreddare in essiccatore e la ripeserà. In caso di presunta sublimazione, si dovrebbe verificare una significativa diminuzione di massa, cosa che, nelle condizioni di lavoro, non avviene. Aiutare gli allievi "scettici" a constatare questo fatto agevola la correzione delle errate concezioni menzionate.

Non è casuale che tra i prerequisiti manchino competenze come "sapere bilanciare un'equazione chimica" o "sapere svolgere calcoli con le moli" o, ancora, "conoscere ed applicare la definizione di sostanza pura in base alla costanza e riproducibilità delle proprietà intensive". Le prime due competenze si conseguono dopo avere studiato la materia a livello microscopico. Questo lavoro, invece, s'ispira esplicitamente ad un approccio macroscopico, più vicino al vissuto degli studenti e più adeguato ad una costruzione delle loro conoscenze dato che comporta, rispetto ad un approccio microscopico, un minore sforzo cognitivo. Nella nota esplicativa per i docenti, riportata dopo, si mostra come i risultati numerici ottenuti svolgendo le decomposizioni termiche (1) e (2) sono un valido strumento per trattare ed approfondire più efficacemente, soprattutto in corsi di studio successivi, i contenuti afferenti al bilanciamento delle equazioni chimiche. Il terzo prerequisito è manifestazione di competenze e conoscenze che si raggiungono, in genere, dopo quelle trattate in questo lavoro. I rapporti m_2/m_1 e m_4/m_3 sono anch'essi grandezze intensive e la loro costanza e riproducibilità può essere usata, come i punti di fusione o di ebollizione, per stabilire se un campione di materia è una sostanza pura.

Un esempio di verifica formativa è schematizzato nella tabella 3. La verifica potrà essere domestica o svolta in aula, in quest'ultimo caso sarà necessaria almeno un'ora e mezza. L'elenco del materiale occorrente per condurre le decomposizioni (1) e (2) e le istruzioni relative sono riportati, rispettivamente, nelle tabelle 4, 5 e 7. L'elenco del materiale occorrente per osservare e verificare la natura degli aeriformi prodotti durante le (1) e (2) è riportato nella tabella 9. La tabella 10, invece, contiene le istruzioni per identificare gli stessi aeriformi.

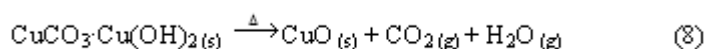
Se la classe ha già utilizzato i fogli elettronici, gli allievi possono preparare, come consegna domestica o come attività interdisciplinare, un foglio di lavoro come le tabelle 3 o 4 impostando formule e formati opportuni nelle celle destinate a riportare: le masse nette, i rapporti tra queste, il valore medio di m_2/m_1 o m_4/m_3 , l'errore assoluto su tali rapporti e quello relativo.

Infine, è bene considerare l'opportunità, tutt'altro che secondaria, di conservare e riciclare in ulteriori esperienze i prodotti solidi delle (1) e (2). Quanto ai refluvi prodotti per verificare la formazione di vapore acqueo e anidride carbonica, essi, se omogenei (cioè contenenti solo BaCO_3 o solo CaCO_3), potrebbero essere riuniti e conservati per svolgere o ripetere, ad esempio, una filtrazione ed il solido potrebbe essere lavato, essiccato, etc., e utilizzato in esperienze successive. Per quanto detto, gli allievi diventano protagonisti di attività in cui si producono materiali che non sono più rifiuti da smaltire. In questo modo, essi mettono in pratica un forte stimolo, non verbale ma non per questo vano, a svolgere attività poco inquinanti. Si ritiene, pertanto, che la valenza educativa delle attività discusse sia notevole.

Semplici esperienze di laboratorio utili per chiarire alcuni aspetti delle reazioni chimiche

Nota esplicativa per i docenti

Nei curricula in cui lo studio della mole è essenziale, i risultati sperimentali di questo lavoro sono propedeutici allo studio di questa e possono essere utilizzati proficuamente come punto di partenza per giustificare il bilanciamento delle equazioni chimiche. Riscriviamo, ad esempio, la (2) non bilanciata:



Il coefficiente "2" per il CuO può essere ricavato senza bilanciare la (8) nel modo tradizionale. Si consideri la tabella 1 relativa alla decomposizione termica del $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$ riportata nell'introduzione e si prendano, ad esempio, i dati del primo gruppo. Il valore medio del rapporto m_2/m_1 è 0,72 quindi:

$$m_2 = m_1 \cdot 0,72$$

$$\text{Dato che } m_1 = 1,2548 \text{ g}$$

$$m_2 = m_1 \cdot 0,72 = 1,2548 \text{ g} \cdot 0,72 = 0,90 \text{ g}$$

Sia MM_1 la massa molare del $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$, le moli di $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$, n_{reag} , sono uguali a:

$$n_{\text{reag}} = \frac{m_1}{MM_1} = \frac{1,2548 \text{ g}}{221,12 \text{ g/mol}} = 0,0056747 \text{ mol} .$$

Sia MM_2 la massa molare del CuO, le moli di CuO, n_{prod} , sono uguali a:

$$n_{\text{prod}} = \frac{m_2}{MM_2} = \frac{0,90 \text{ g}}{79,545 \text{ g/mol}} = 0,011 \text{ mol} .$$

Il rapporto sperimentale tra n_{prod} e n_{reag} è uguale a:

$$\frac{n_{\text{prod}}}{n_{\text{reag}}} = \frac{0,011 \text{ mol}}{0,0056747 \text{ mol}} = 1,9 \text{ arrotondabile a } 2. \text{ q.e.d.}$$

Nella (8), che non è bilanciata, il rapporto tra n_{prod} e n_{reag} è uguale ad 1 ma il valore sperimentale è doppio! Nell'equazione chimica (8), la necessità di raddoppiare il coefficiente di reazione del CuO deriva dal valore sperimentale di $n_{\text{prod}}/n_{\text{reag}}$, che impone un vincolo sovrapposto a quello dato dalla legge di Lavoisier. Una discussione molto simile può essere sviluppata a proposito del bilanciamento della (2) o lasciata come verifica alla classe. Si è detto prima che valori di m_2/m_1 o m_4/m_3 che differiscono dai rispettivi valori teorici fino al 10 % sono accettabili. Lo svolgimento degli opportuni calcoli stechiometrici, sviluppati partendo da valori di m_2/m_1 o m_4/m_3 compresi nel range

indicato, dimostrano che in tale intervallo si perviene a rapporti molari $\frac{n_{\text{prod}}}{n_{\text{reag}}}$ coerenti con quelli dati dal bilanciamento.

Lo svolgimento di quest'ultimo tipo di verifica è, comunque, più adeguato in curricula successivi a quello relativo a questo lavoro.

Conclusioni

Le reazioni di decomposizione termica del carbonato basico di rame e del bicarbonato di sodio, insieme all'identificazione degli aeriformi prodotti nel corso dei due fenomeni, hanno valenza didattica ed educativa, soprattutto se svolte dagli stessi studenti. Il lavoro manuale è semplice e coinvolgente; i risultati numerici ottenuti sono riproducibili ed i prodotti che si formano sono facilmente conservabili e riciclabili. L'esame dei risultati numerici ottenuti, potenzia efficacemente le conoscenze sulle reazioni chimiche, permette di evidenziare aspetti che si affiancano alla legge di conservazione della massa ed è un efficace approfondimento delle conoscenze sulle relazioni ponderali tra le sostanze coinvolte in una reazione chimica. La discussione sui risultati qualitativi e quantitativi ottenuti, infine, aiuta nella correzione di alcune concezioni errate e fornisce fecondi spunti per trattare o sviluppare contenuti di altre unità d'apprendimento.

Tabella 3. Esempio di verifica

Alla classe, dopo avere concluso entrambe o una delle reazioni, verrà chiesto di rispondere alle domande del seguente questionario (tra parentesi il punteggio massimo attribuibile ad ogni risposta).

1. Elenca il materiale usato (1 punto).
2. Quali sono: lo stato d'aggregazione ed il colore della sostanza adoperata (2 punti)?
3. Quale simbolo è stato adoperato per indicare la massa di ciascuna capsula (1 punto)?
4. Quale simbolo è stato adoperato per indicare la massa totale di ciascuna capsula contenente la sostanza riscaldata (2 punti)?
5. Quale simbolo è stato adoperato per indicare la massa della sostanza (1 punto)?
6. Mostra i calcoli, usando simboli, dati numerici ed unità di misura, svolti per ricavare la massa della sostanza. Fai riferimento ai dati del tuo gruppo (4 punti).
7. A che temperatura è stata riscaldata la sostanza? E per quanto tempo (2 punti)?
8. Dopo il riscaldamento, quale simbolo è stato adoperato per indicare la massa totale di ciascun contenitore del solido residuo (1 punto)?
9. Di che colore era il solido residuo dopo il riscaldamento (1 punto)?
10. Dopo il riscaldamento, quale simbolo è stato adoperato per indicare la massa del residuo (1 punto)?
11. Mostra i calcoli, usando simboli, dati numerici ed unità di misura, svolti per ricavare la massa del residuo. Utilizzare i dati del proprio gruppo (4 punti).
12. Che unità di misura ha il rapporto tra massa del residuo e quella iniziale della sostanza? Giustifica la tua risposta (2 punti).
13. Riportare in una tabella tutti i risultati ottenuti, i propri e quelli dei compagni (4 punti).
14. Confrontare la massa della sostanza iniziale e quella del residuo. Cosa si può affermare (3 punti)?
15. I risultati del confronto precedente contraddicono la legge di conservazione della massa? Motivare la risposta (3 punti).
16. Come si calcola ed arrotonda l'errore assoluto? Mostrare i passaggi numerici (4 punti).
17. Come si calcola ed arrotonda il valore medio del rapporto tra: massa del residuo e quella della sostanza iniziale? Mostrare anche i passaggi numerici usando i propri dati (4 punti).
18. Come si calcola ed arrotonda l'errore relativo percentuale? Mostrare i passaggi numerici utilizzando i propri dati (4 punti).
19. Fatti salvi gli errori sperimentali, la massa del residuo e quella della sostanza iniziale sono direttamente proporzionali (4 punti)?
20. Una reazione chimica è sempre accompagnata da variazioni di colore? Motivare la risposta (4 punti).
Calcolo del voto. Il voto, arrotondato a due decimali, sarà dato dalla: $\text{voto} = 10 \cdot \frac{\sum_{i=1}^{20} \text{punteggio}_i}{52}$
Dove: punteggio _i è il punteggio parziale attribuito ad ogni risposta; 52 è la somma dei punteggi massimi parziali attribuibili a ciascuna risposta.

Tabella 4. Materiale occorrente per osservare e condurre le decomposizioni termiche

1. Stufa tempestabile in grado di riscaldare ad almeno 150 °C
2. Non toccare le pareti interne della stufa, rischio di ustione!
3. Bruciatore Bunsen o piastre elettriche riscaldanti, potenza circa 1500 W
4. Non toccare la fiamma del Bunsen, il non toccare il tubo metallico del bruciatore o la piastra elettrica, rischio di ustione!
5. Treppiedi (solo se si usa il bruciatore Bunsen)
6. Rete spargifiamma (solo se si usa il bruciatore Bunsen)
7. Bilancia tecnica o analitica
8. Lavagna
9. Essiccatore
10. Quaderno per annotare dati, osservazioni e discussioni
11. Capsula di porcellana del diametro di circa 6 cm
12. Spatola
13. Bicarbonato di sodio
14. Carbonato basico di rame
15. Pinza metallica (in caso di utilizzo della capsula)

Tabella 5. Istruzioni per eseguire la decomposizione termica del carbonato basico di rame

1. Accendere la piastra elettrica o il Bunsen. Se si usa il Bunsen, sistemare il treppiedi e la rete spargifiamma sopra il bruciatore prima dell'accensione.
2. Si raccomanda cautela in prossimità del Bunsen o della piastra riscaldante: rischio di ustioni! Non toccare la piastra, non avvicinare le mani alla fiamma, non toccare il tubo metallico del bruciatore.
3. Pesare una capsula, preventivamente portata a massa costante. Indicare la tara con il simbolo m , ed annotarla, sul proprio quaderno ed alla lavagna, sotto la colonna m . Ricopiare la tabella della lavagna (vedi tabella 6) anche sul proprio quaderno.
4. Ricopiare, sulla tabella del proprio quaderno, anche i dati determinati da altri compagni o gruppi.
5. Se si lavora con una bilancia tecnica, introdurre nella capsula poco più di 1,6 grammi di $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$. Se si ha a disposizione una bilancia analitica, basta lavorare con poco meno di 1 g di sostanza.
6. Lavorando con il carbonato basico di rame, evitare il contatto con gli occhi, la pelle e gli indumenti. Non inalare le polveri, non ingerire il composto.
7. Se il materiale presentasse grumi, disgregarli per mezzo della spatola. Misurare la massa lorda solo dopo l'eventuale disgregazione dei grumi. Indicare tale massa con il simbolo m' ed annotarla, sul proprio quaderno ed alla lavagna sotto la colonna m' .
8. Per mezzo della pinza metallica, sistemare la capsula contenente il solido sulla piastra elettrica o sulla rete spargifiamma. Lasciare la capsula sulla superficie riscaldante per circa 40 minuti ed annotare cosa avviene. Ogni 5 minuti circa, muovere cautamente, solo per mezzo della pinza, la capsula in modo da garantire il contatto tra le pareti di questa ed il solido che ancora non si è trasformato.
9. Non toccare la capsula con le mani! Rischio di ustione. Muovere la capsula solo per mezzo della pinza.
10. Calcolare la massa netta (m_1) della sostanza contenuta nella capsula applicando la: $m_1 = m' - m$. Annotare il dato sul proprio quaderno ed alla lavagna sotto la colonna m_1 .
11. Trascorsi 30 minuti, osservare cautamente se ci sono granelli o grumi di colore verde. In quest'ultimo caso, continuare a riscaldare muovendo la capsula finché tutto il solido è nero.
12. Appena tutto il residuo è nero (non debbono essere presenti granelli di colore verde), aprire l'essiccatore ed introdurre la capsula, per mezzo della pinza. Chiudere l'essiccatore e lasciarvi raffreddare la capsula per circa 10 minuti.
13. Lavorando con l'ossido di rame, evitare il contatto con gli occhi, la pelle o i vestiti. Non inalare le polveri, non ingerire il composto.
14. Aprire l'essiccatore e prelevare, tramite la pinza, la capsula. Chiudere l'essiccatore e pesare subito la capsula. Usare il simbolo m'' per indicare la massa lorda della capsula con il residuo nero. Annotare il dato sul proprio quaderno ed alla lavagna sotto la colonna m'' . Riporre la capsula in essiccatore.
15. Calcolare la massa netta del residuo (m_2) per mezzo della seguente differenza: $m_2 = m'' - m$. Annotare il dato sul proprio quaderno ed alla lavagna sotto la colonna m_2 .
16. Calcolare il rapporto m_2/m_1 tra massa del residuo solido e quella del reagente solido: annotare il risultato al corretto numero di cifre significative ed annotarlo sul proprio quaderno ed alla lavagna sotto la colonna m_2/m_1 .
17. Trasferire il residuo dalla capsula all'apposito contenitore etichettato.

Tabella 6. Esempio di tabella con i dati relativi alla decomposizione termica del carbonato basico di rame

Numero del team	m , (g)	m' (g)	m_1 (g)	m'' (g)	m_2 (g)	m_2/m_1
1						
2						
3						
...						
errore su m_2/m_1						
valore medio di m_2/m_1						
errore % su m_2/m_1						

Tabella 7. Istruzioni per eseguire la decomposizione termica del bicarbonato di sodio

1. Accendere la stufa ed impostare la temperatura a 150 °C. Non toccare le pareti interne della stufa (RISCHIO DI USTIONE).
2. Pesare una capsula, preventivamente portata a massa costante. Indicarne la tara con il simbolo m_1 , ed annotarla, sul proprio quaderno ed alla lavagna sotto la colonna m_1 . Ricopiare la tabella della lavagna (vedi tabella 8) anche sul proprio quaderno.
3. Ricopiare, sulla tabella del proprio quaderno, anche i dati determinati da altri compagni o gruppi.
4. Se si lavora con una bilancia tecnica, introdurre nella capsula poco più di 1,6 grammi di NaHCO_3 . Se si ha a disposizione una bilancia analitica, basta lavorare con poco meno di 1 g di sostanza.
5. Lavorando con il bicarbonato di sodio, evitare il contatto con gli occhi, la pelle o i vestiti. Non inalare le polveri, non ingerire il composto.
6. Se il solido presentasse grumi, disgregarli per mezzo della spatola. Misurare la massa lorda solo dopo l'eventuale disgregazione dei grumi. Indicare tale massa con il simbolo m' ed annotarla, sul proprio quaderno ed alla lavagna sotto la colonna m' .
7. Per mezzo della pinza metallica, sistemare la capsula contenente il solido all'interno della stufa facendo attenzione a non toccarne le pareti interne (RISCHIO DI USTIONE). Richiudere subito la stufa e lasciarvi la capsula per circa 45 minuti.
8. Non toccare la capsula con le mani! Rischio di ustione. Muovere la capsula solo per mezzo della pinza.
9. Calcolare la massa netta (m_3) dell'idrogenocarbonato di sodio contenuto nella capsula applicando la: $m_3 = m' - m_1$. Annotare il dato sul proprio quaderno ed alla lavagna sotto la colonna m_3 .
10. Trascorsi 45 minuti, aprire la stufa facendo attenzione a non toccarne le pareti interne (RISCHIO DI USTIONE) e, per mezzo della pinza, prelevare la capsula contenente. Richiudere la stufa. Annotare stato d'aggregazione e colore del residuo e confrontarli con quelli del solido iniziale.
11. Aprire l'essiccatore ed introdurre la capsula, per mezzo della pinza. Chiudere l'essiccatore e lasciarvi raffreddare la capsula per circa 10 minuti.
12. Aprire l'essiccatore e prelevare, tramite la pinza, la capsula. Chiudere l'essiccatore, pesare subito la capsula. Usare il simbolo m'' per indicare la massa lorda della capsula con il residuo. Annotare il dato sul proprio quaderno ed alla lavagna sotto la colonna m'' . Riporre la capsula in essiccatore.
13. Calcolare la massa netta del residuo (m_4) per mezzo della seguente differenza: $m_4 = m'' - m_1$. Annotare il dato sul proprio quaderno ed alla lavagna sotto la colonna m_4 .
14. Calcolare il rapporto m_4/m_3 tra massa del residuo solido e quella del reagente solido: arrotondare il risultato al corretto numero di cifre significative ed annotarlo sul proprio quaderno ed alla lavagna sotto la colonna m_4/m_3 .
15. Trasferire il residuo dalla capsula all'apposito contenitore etichettato.

Tabella 8. Esempio di tabella con i dati relativi alla decomposizione termica del bicarbonato di sodio

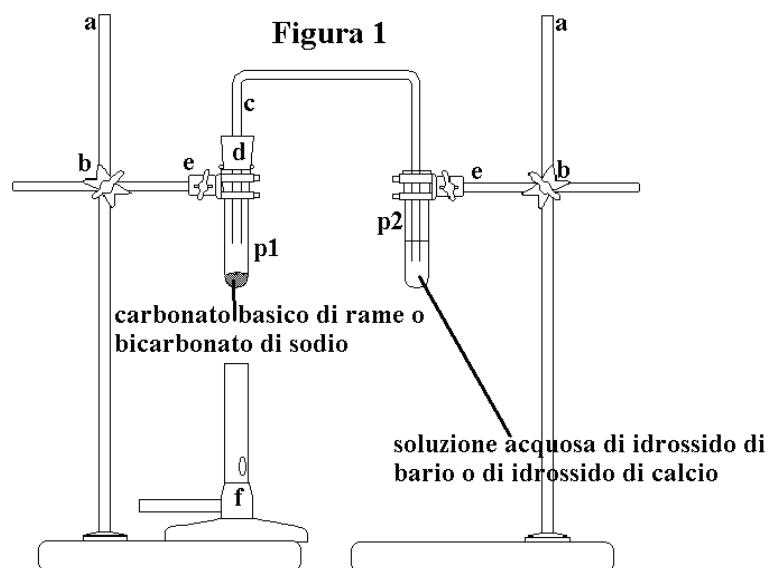
Numero del team o nome	m_1 (g)	m' (g)	m_3 (g)	m'' (g)	m_4 (g)	m_4/m_3
1						
2						
3						
...						
					errore su m_4/m_3	
					valore medio di m_4/m_3	
					errore % su m_4/m_3	

Tabella 9. Materiale occorrente per osservare e verificare la natura degli aeriformi prodotti

1. Bruciatore Bunsen
2. 2 tubi da saggio
3. Tubo di vetro ripiegato 2 volte ad angolo retto
4. Tappo forato da inserire sulla bocca di una delle provette, il diametro del foro dev'essere uguale al diametro esterno del tubo di vetro
5. Spatola
6. 2 aste di sostegno con base d'appoggio
7. 2 pinze per sostenere le provette e da innestare sull'asta
9. Soluzione acquosa di diidrossido di bario, $\text{Ba}(\text{OH})_2$, 1M o di diidrossido di calcio, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, 1M.

Tabella 10. Istruzioni per identificare gli aeriformi prodotti durante il riscaldamento del carbonato basico di rame e quello del bicarbonato di sodio

1. Per il montaggio, fare riferimento alla figura 1.
2. Montare su ogni asta verticale (a) un sostegno (b) per pinza con bacchetta.
3. Montare su ogni sostegno (b) una pinza con bacchetta (e).
4. Innestare un'estremità del tubo di vetro (c) nel tappo forato (d) in modo che dalla superficie inferiore del tappo il tubo sporga di pochi centimetri.
5. Introdurre, in una sola delle due provette (p1) che deve essere asciutta , una punta di spatola di carbonato basico di rame. Nella figura 1, tale provetta è a sinistra.
6. Innestare il tappo (d), su cui è introdotto il tubo di vetro (c) sulla provetta precedente (p1).
7. Agganciare la provetta ad una pinza con bacchetta (e), già montata su una delle due aste. Spostare prudentemente la pinza (e) in modo che il fondo della provetta sia lambito dalla fiamma del Bunsen (f) che deve essere momentaneamente spento .
8. Introdurre nella seconda provetta (p2) un volume di $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 1M o di $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 1M sufficiente affinché l'altra estremità del tubo di vetro, nella figura 1 è a destra, peschi qualche cm sotto il livello del liquido.
9. Accendere il Bunsen e fare attenzione al rischio di ustioni . Regolare il rapporto aria/combustibile in modo che la fiamma NON sia luminosa (fiamma riducente): questa potrebbe annerire la provetta e compromettere le osservazioni. Riscaldare SOLO il fondo della provetta tappata muovendo sempre il bruciatore: se la fiamma riscaldasse una sola zona della provetta, questa potrebbe rompersi.
10. Osservare se nella soluzione della provetta p2 si ha gorgogliamento e se avviene altro.
11. Osservare cosa avviene sulla parete fredda della provetta tappata (p1).
12. Abbassare la provetta p2 in modo che il tubo di vetro NON vi peschi più, quindi spegnere il Bunsen.
13. Versare il liquido della provetta negli appositi contenitori per lo smaltimento dei rifiuti. Alternativamente, conservarlo e riunirlo a quello prodotto dagli altri compagni in appositi contenitori etichettati in attesa di successive esperienze.
14. Nel caso del bicarbonato di sodio, ripetere i passaggi 1÷13.
15. Confrontare i risultati di tutte le osservazioni fatte lavorando sul $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ e sul NaHCO_3 .



Bibliografia

- [1] P. Mirone, *La Chimica nella Scuola*, 3, 1999, 67-70.
 [2] B. Raimondi, *Didattica delle Scienze e Informatica nella Scuola*, 229, 2004, 55-56.
 [3] D. Sheeran, *J. Chem. Educ.*, 1998, 75, 453.
 [4] J. R. Taylor, *Introduzione all'analisi degli errori*, capitoli 1-2, Zanichelli, Bologna, 1986.