

LE LEGGI PONDERALI: UN PERCORSO D'APPRENDIMENTO TRA EPISTEMOLOGIA STORICA E DIDATTICA

Premessa

“I metalli all’aria calcinano per poi tornare allo stato iniziale se messi a contatto con materie grasse”: è questo il fenomeno di base dall’osservazione del quale parte l’attività didattica che si intende illustrare. Si prende dunque spunto dai fenomeni che più destarono interesse in quella delicata fase di transizione fra il “secolo dei lumi” e l’800, periodo che, in concomitanza con l’esplosione della tecnologia, costituì il momento di transizione dall’alchimia alla chimica moderna.

Nel descrivere le fasi essenziali del lavoro svolto in classe, si coglie anche occasione per sottolineare alcuni limiti nell’applicazione del pur valido metodo sperimentale all’interno delle attività didattiche

Collocazione didattica

È importante definire la collocazione dell’attività. Essa si rivolge a ragazzi di quattordici, quindici anni che frequentano la classe prima di un istituto superiore e generalmente si pone a cavallo tra il primo ed il secondo quadrimestre. A questo livello, i ragazzi possiedono già una certa competenza nel riconoscere un sistema come omogeneo o eterogeneo, sanno applicare alcune tecniche di separazione delle fasi nel sistema eterogeneo e dei componenti in un sistema omogeneo, sono in grado di eseguire misure di densità e di punto di fusione o di ebollizione per identificare una sostanza o per determinarne il grado di purezza, adoperano dunque bilance, strumenti per la misura di volumi e termometri, sanno preparare soluzioni a determinata percentuale in massa o in volume o in massa su volume.

Per quanto riguarda lo studio delle trasformazioni, i ragazzi stanno imparando a descrivere macroscopicamente lo

PATRIZIA DALL’ANTONIA^(*)

stato del sistema prima e dopo una trasformazione, in termini di identificazione delle sostanze che lo costituiscono. Sono in grado quindi di distinguere un fenomeno fisico da uno chimico. In occasione dell’osservazione di fenomeni di combustione e di calcinazione, hanno appreso qualche facile accorgimento “chimico” per identificare degli aeriformi (vapor acqueo, anidride carbonica, anidride solforosa) e per determinare grossomodo la composizione dell’aria. Hanno già sperimentato che a volte è possibile decomporre una sostanza pura in due o più altre sostanze e si trovano d’accordo nel considerare le sostanze ottenute più semplici di quella di partenza che viene dunque chiamata “composto”. A volte alcuni hanno difficoltà nel riconoscere il composto come una sostanza pura, lo “pensano” piuttosto come una miscela delle sostanze prodotte, per essi dunque la decomposizione chimica è ancora un semplice fenomeno fisico di separazione. Il dubbio dovrebbe essere eliminato proprio grazie allo studio conseguente delle leggi ponderali.

È stato inoltre fornito un primo modello particellare della materia: il discutibile ma utile modello “a sferette”, per rappresentare una miscela, un sistema chimicamente puro ed i passaggi di stato. La conoscenza ufficiale degli allievi sulla struttura della materia si limita a questo. In realtà, molti ragazzi affermano d’aver sentito parlare di atomi, molecole e ioni alle medie, ma di solito ad un’analisi più approfondita, ci si accorge che le idee a proposito sono molto confuse. Al momento dunque non si fanno ancora distinzioni sul tipo di particella rappresentato da una sferetta: per quanto ne sanno i ragazzi essa potrebbe rappresentare, una mo-

lecola od un atomo. Le particelle saranno semplicemente di diversi tipi nella rappresentazione di una miscela e di un solo tipo per una sostanza pura. È doveroso sottolineare la debolezza del modello: esso non è certo adatto a rappresentare per esempio un sale allo stato fuso o in soluzione. Si pensi del resto che i ragazzi per il momento non solo non hanno alcun’idea di legame chimico ma non sono neanche in grado di distinguere a livello particellare un composto da una sostanza semplice. E’ proprio l’attività sulle leggi ponderali che dovrebbe fornire qualche idea a riguardo e consentir loro di raffinare il modello.

Collocazione storica

Grazie a qualche semplice esperienza e ad alcune letture, si è parlato ai ragazzi del contributo realmente innovativo che ebbe nella storia della chimica Lavoisier, che, con l’utilizzo sistematico della bilancia, formulò l’ipotesi che la massa si conservasse al di là delle trasformazioni.

L’apprezzatura di Lavoisier per lo studio del comportamento del mercurio quando viene riscaldato all’aria, riprodotta in molti testi di divulgazione scientifica, è indice di quali fossero al tempo i fenomeni che generavano maggior interesse nel campo delle trasformazioni: erano la combustione e la “disgregazione” delle sostanze per mezzo del calore, se poi queste sostanze erano metalli, si osservava la loro “calcinazione”, se fortemente riscaldate all’aria, ovvero la loro riduzione a “calce”, sostanza spesso polverulenta, inerte, dalle proprietà molto diverse da quelle dei metalli. Se le calci però venivano a loro volta vigorosamente riscaldate in presenza di “terre grasse”, composti del carbonio o carbone stesso, ecco che ricompariva il metallo [1].

Il fenomeno di base

L’ossido rameico e l’ossido rameoso,

^(*) I.T.I. “A. Volta” Trieste

e-mail: dallantonia@interfree.it

sostanze formalmente derivate dalla calcinazione del rame, si possono reperire facilmente in laboratorio, sono perfettamente distinguibili, l'uno è un solido nero, l'altro rosso e vengono di solito distribuiti sotto forma di polvere. Entrambi, se vigorosamente riscaldati in flusso di metano (ecco la "sostanza grassa"), portano allo sviluppo d'acqua ed anidride carbonica, rivelabili con i metodi noti, e liberano l'inconfondibile metallo rosso lucente che tutti riconoscono essere rame.

Pur presentando alcuni inconvenienti, questa reazione è apparsa la più adatta all'inizio per guidare i ragazzi alla verifica delle leggi delle proporzioni definite e delle proporzioni multiple, nonché per avviarli ad elaborare qualche prima ipotesi sulla struttura interna delle particelle.

Potrebbe sembrare strano che si usi la riduzione degli ossidi del rame per la verifica delle leggi ponderali. La reazione infatti non solo non è una decomposizione, ma è tutt'altro che semplice, già solo il suo bilanciamento richiederebbe qualche conoscenza di ossidoriduzioni. Si ricordi però che a questo livello gli allievi non sanno nemmeno che cosa significhi bilanciare, né sanno che cos'è una formula. D'altronde, quello che si chiede al momento è solo riconoscere le sostanze coinvolte nella reazione e valutare la massa di alcune di esse. Vediamo che questo è abbastanza accessibile per i nostri studenti: essi conoscono il metano, in quanto è il gas combustibile utilizzato principalmente in città, e sanno che i combustibili utilizzano l'ossigeno dell'aria per trasformarsi con esso in acqua ed anidride carbonica. Con una dimostrazione collettiva e qualche ragionamento non è difficile riconoscere il ruolo dell'ossido nella nostra reazione: il metano, direttamente prelevato dalla rete di distribuzione viene fatto fluire attraverso una provetta bucata posta orizzontalmente rispetto al piano di lavoro e contenente l'ossido. Attraverso un foro posto all'altra estremità della provetta il metano fuoriesce e viene bruciato per evitarne la dispersione nell'ambiente. Se prima di essere bruciato il gas in uscita viene sottoposto alle tipiche metodiche atte a rivelare acqua ed anidride carbonica, le analisi risultano negative. Se però il sistema viene riscaldato vigorosamente, ecco che si innesca una reazione che dopo poco porta alla comparsa del rame dentro la provetta ed alla produzione di acqua ed anidride carbonica tra i gas che

fuoriescono dal foro. Dal momento che lo spazio dentro la provetta è occupato solo dal metano, si deve supporre che l'unica fonte di "rifornimento" d'ossigeno grazie al quale il metano produce acqua ed anidride carbonica, non può essere che l'ossido: esso dunque, oltre che rame contiene ossigeno. L'unico assunto che si deve fare è che esso oltre che rame contenga *solo* ossigeno, ovvero che non vi siano altri componenti dell'ossido che i mezzi a disposizione non consentono di riconoscere. Questo problema però non è molto rilevante ai fini di quanto si vuole studiare. L'importante è riuscire a determinare la massa dell'ossido da cui si parte e quella del rame che si ottiene. A questo punto, grazie alla legge di Lavoisier, che i ragazzi già conoscono, per differenza tra la massa dell'ossido e quella del rame, si ricava la massa dell'altro o degli altri componenti dell'ossido. Si potrà quindi studiare se, al variare della massa dell'ossido, questa sta in qualche relazione con la massa del rame prodotto e con la massa dell'altro/i componente/i che, almeno per praticità, chiameremo per il momento "ossigeno".

L'attività di laboratorio

Nella provetta forata di cui inizialmente si è determinata la massa, si introduce una certa quantità predeterminata di ossido. Si collega il sistema alla rete di distribuzione di metano. Si fa fluire il metano a freddo per qualche secondo, curando di farlo bruciare alla fuoriuscita dalla provetta. Si riscalda poi il sistema a fiamma forte. Attraverso il foro della provetta, fuoriescono gli aeriformi prodotti dalla reazione ed il metano non reagito. Si continua a riscaldare fino a

completa scomparsa dell'ossido.

Una volta completata la reazione e raffreddatosi il sistema sempre in flusso di metano, il rame rimane aderente alle pareti della provetta e la sua massa viene facilmente determinata.

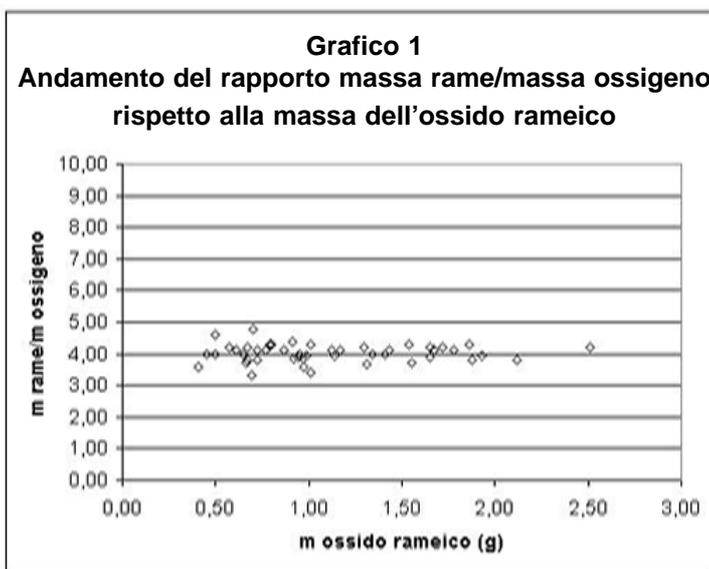
Gli allievi lavorano in coppia ed ogni coppia lavora su una massa diversa d'ossido. Si usa fare una raccolta dati collettiva all'interno di una classe, in modo che tutti gli allievi alla fine abbiano a disposizione i risultati (massa ossido, massa rame, massa ossigeno, rapporto in massa rame/ossigeno) di dodici, tredici esperienze. L'uso del foglio elettronico è molto efficace in quest'occasione, tanto che i ragazzi riescono a completare l'esperienza e ad elaborare i dati di tutta la classe entro le due ore consentite per il laboratorio.

La classe lavora una prima volta sull'ossido rameico ed una seconda sull'ossido rameoso.

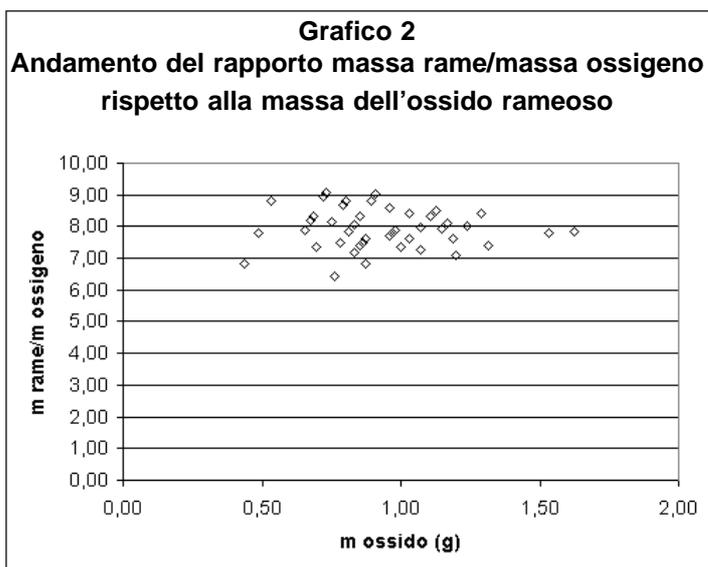
L'analisi dei dati

Nelle classi in cui è stata sperimentata l'attività, il confronto dei valori relativi ai rapporti rame/ossigeno ha portato facilmente ad osservare che, indipendentemente dalla quantità di ossido di partenza, essi "oscillano" attorno ad un valore costante. Tale valore è stato calcolato in ogni classe semplicemente eseguendo la media matematica di tutti i valori ottenuti all'interno della classe stessa.

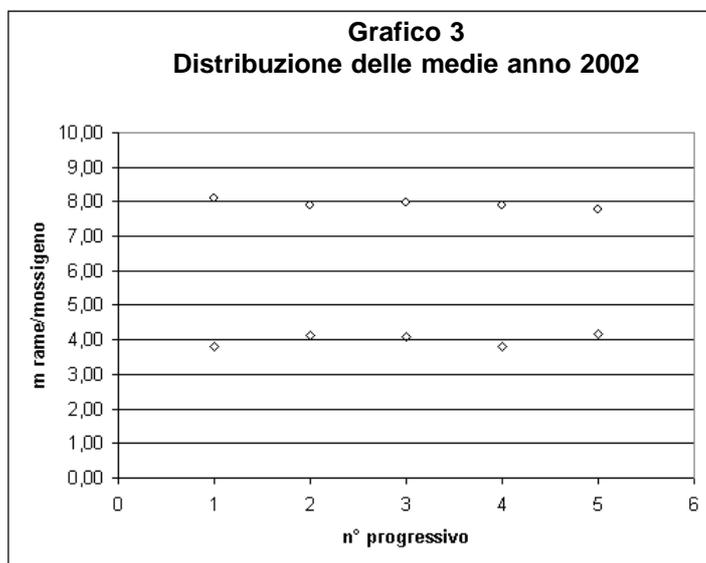
I grafici 1 e 2 si riferiscono all'anno 2002 e sono stati presentati nelle classi di quell'anno, una volta conclusesi le attività di laboratorio sugli ossidi del rame. Il grafico 1 riguarda l'esperienza con l'ossido rameico ed il 2 quella con l'ossido rameoso. I grafici riportano tutti i valori del rapporto massa



rame/massa ossigeno raccolti nelle classi. Tali valori sono messi in relazione col relativo valore della quantità di ossido da cui sono stati ricavati. L'analisi dei grafici conferma che i valori relativi al rapporto in massa rame/ossigeno si distribuiscono attorno ad un certo valore, indipendentemente dalla quantità di ossido da cui sono stati ricavati



Il grafico 3, si riferisce alla stessa attività, ma riporta semplicemente i valori delle medie matematiche così come sono state calcolate in ciascuna cinque classi prime (il numero progressivo rispecchia l'ordine cronologico con cui sono state eseguite le esperienze in laboratorio), Essi sono relative sia all'esperienza con l'ossido rameico che a quella con l'ossido rameoso.



L'interpretazione dei dati: un esempio d'eccessiva generalizzazione dei risultati

Aldilà dei dati sperimentali, l'esperienza consente innanzitutto di affermare che i due ossidi sono dei "composti" e che rame ed ossigeno sono delle sostanze più semplici dei loro ossidi. A questo proposito l'insegnante di solito informa che, dal momento che sia rame che ossigeno non si decompongono in altre sostanze, essi vengono chiamati "sostanze semplici" (per non creare confusioni in seguito, si evita di usare il termine "elementi").

Leggi ponderali. un percorso d'apprendimento

La lettura del grafico 3 ha fatto poi concludere agli studenti che il rapporto in massa con cui rame ed ossigeno si combinano nell'ossido rameico è circa quattro, mentre quello relativo all'ossido rameoso è circa otto. Si è voluto in un primo momento partire da tali conclusioni per procedere su ulteriori generalizzazioni.

Dalle relazioni elaborate dagli allievi, si è notato che alcuni di loro avanzavano spontaneamente ipotesi sulla struttura intrinseca delle particelle fondamentali che costituivano l'ossido di partenza, in base al rapporto massa rame/massa ossigeno trovato collettivamente, e che parecchi di loro spiegavano i rapporti in massa negli ossidi, pensando che vi fossero quattro particelle di rame per ogni particella d'ossigeno nell'ossido rameico ed otto particelle di rame per ogni particella di ossigeno nell'ossido rameoso: tutto questo naturalmente è valido se si ipotizza che la "particella fondamentale" del rame abbia la stessa massa di quella dell'ossigeno. E' un risultato interessante questo, se si pensa che fino a Dalton erano molti coloro che ritenevano che atomi di elementi diversi avessero lo stesso peso.

In base a tali risultati, si è voluto fare un'indagine più strutturata su tre classi riguardo ad eventuali ipotesi sulla struttura particellare dei composti. Prima però si è riflettuto insieme agli allievi su quanto si poteva sapere di nuovo, in seguito alle ultime esperienze fatte.

Le generalizzazioni consentite non rispecchiavano altro, almeno agli occhi dell'insegnante, che la legge di Proust e quella di Dalton:

- **“Le sostanze ottenute dalla decomposizione di un composto stanno tra loro secondo un rapporto in massa che è sempre lo stesso”,** (pur variando la massa dell'ossido di partenza, il rapporto tra le masse dei componenti, aldilà degli inevitabili errori sperimentali, risulta costante).

- **“Le sostanze più semplici possono comparire combinate secondo rapporti in massa anche diversi tra loro, ma allora esse danno luogo a composti diversi, uno per ciascun diverso rapporto di combinazione”** (lavorando su due ossidi che presentano caratteristiche chiaramente diverse, si verifica che essi sono formati dalle stesse sostanze, rame ed ossigeno, ma se-

condo rapporti di massa diversi 4 per il primo, 8 per il secondo).

● **“Vi è una relazione tra questi rapporti di combinazione: ognuno di essi è un multiplo intero di uno stesso rapporto fondamentale”** (per i nostri ossidi: $4 = 4 \times 1$ e $8 = 4 \times 2$, assumendo che il rapporto fondamentale sia pari a 4).

A questo punto ai ragazzi è stato posto problema:

“Se un composto si decompone in sostanze semplici, è lecito pensare che nel composto siano presenti le particelle fondamentali, caratteristiche delle sostanze semplici che si ottengono da esso? E se si ammette questo, quale secondo voi deve essere il rapporto numerico di tali particelle e quale il rapporto tra le loro masse, affinché il tutto sia coerente ai dati sperimentali?” (Per la prima volta in questa occasione si è chiesto ai ragazzi di usare la parola “atomo” per identificare la particella fondamentale caratteristiche di una sostanza semplice)

Da un primo scambio d'idee con gli allievi, sono state individuate tre ipotesi quali più plausibili per interpretare i dati raccolti dal laboratorio:

● **Ipotesi A:** Nell'ossido rameico vi sono tanti atomi di rame quanti di ossigeno, ed ogni atomo di rame ha una massa quattro volte maggiore di quella dell'ossigeno, anche nell'ossido rameoso vi sono tanti atomi di rame quanti quelli d'ossigeno, ma in tal caso la massa del rame è otto volte maggiore di quella dell'ossigeno

● **Ipotesi B:** Nell'ossido rameico vi sono quattro atomi di rame per ogni atomo di ossigeno e nell'ossido rameoso vi sono otto atomi di rame per ogni atomo d'ossigeno

● **Ipotesi C:** Nell'ossido rameico vi sono tanti atomi di rame quanti di ossigeno, ed ogni atomo di rame ha una massa quattro volte maggiore di quella dell'ossigeno, anche nell'ossido rameoso ogni atomo di rame ha una massa quattro volte maggiore di quella dell'ossigeno, in tal caso però il numero di atomi di rame è il doppio di quelli di ossigeno

Un'indagine successiva è stata fatta su circa sessanta allievi, a cui si è chiesto di esprimere una preferenza tra le tre ipotesi sopra esposte e di fornire qualche eventuale modello grafico.

I risultati sono stati i seguenti:

tipo risposta	numero risposte	percento risposte
nulla	7	12
Ipotesi A	4	7
Ipotesi B	29	49
Ipotesi C	19	32
totale	59	100

L'ipotesi A è stata la meno popolare: poco meno del 7% dei ragazzi ritiene che per spiegare il diverso rapporto di massa tra i due ossidi si debba ipotizzare che l'atomo di rame possa cambiare massa a seconda del tipo di ossido che forma.

Pochi sono dunque i casi che ammettono che l'atomo di una stessa specie possa avere massa variabile.

Circa un terzo dei ragazzi intervistati ammette l'ipotesi C, pensa cioè che la massa dell'atomo di rame sia sempre circa quattro volte maggiore di quella dell'ossigeno e, per spiegare la differenza dei rapporti di massa tra i due ossidi, ipotizza che il numero di atomi di rame sia uguale a quello degli atomi di ossigeno nell'ossido rameico, mentre raddoppi rispetto a quello dell'ossigeno nell'ossido rameoso.

Quasi la metà dei ragazzi intervistati ammette invece l'ipotesi B, ovvero ritiene che il diverso rapporto in massa rame/ossigeno 4/1 e rispettivamente 8/1 nei due ossidi rispecchi il rapporto numerico tra atomi di rame ed atomi di ossigeno. Quest'ipotesi dunque non solo, come si sospettava, è piuttosto comune, ma si è rivelata la più popolare tra quelle proposte.

Nella formulazione dell'ipotesi B fatta insieme agli allievi, l'insegnante ha volutamente evitato di sottolineare che essa è valida solo se si assume che l'atomo di rame ha la stessa massa dell'atomo di ossigeno, considerazione che avrebbe senz'altro destato negli allievi qualche perplessità in più riguardo alla scelta dell'ipotesi. Si voleva infatti verificare se i ragazzi erano in grado di porre autonomamente tale condizione. In realtà nessuno degli intervistati l'ha dichiarata, e dall'analisi delle loro rappresentazioni grafiche, si rileva che solo alcuni l'hanno implicitamente rispettata.

È dunque senz'altro plausibile che tale scelta sia dovuta ad un'analisi troppo affrettata, ma l'aspetto fuorviante che ha portato tanti studenti ad esprimere quest'ipotesi è probabilmente un altro: è il fatto che *il rapporto in massa rame/ossigeno è dato da un numero intero*. Un rapporto rame/ossigeno pari a 4

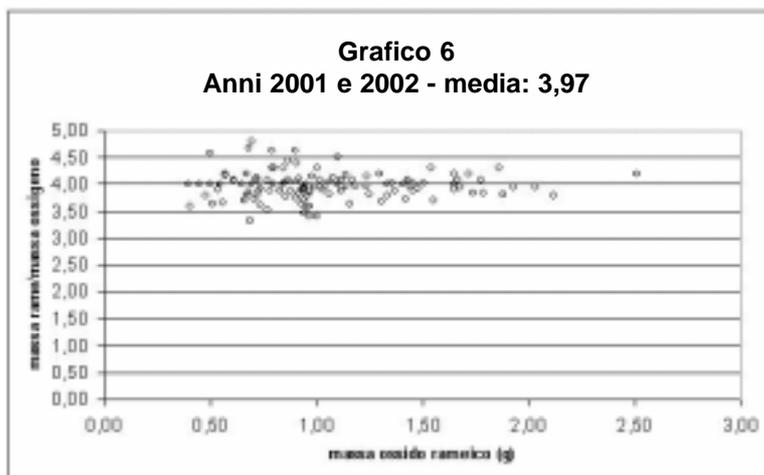
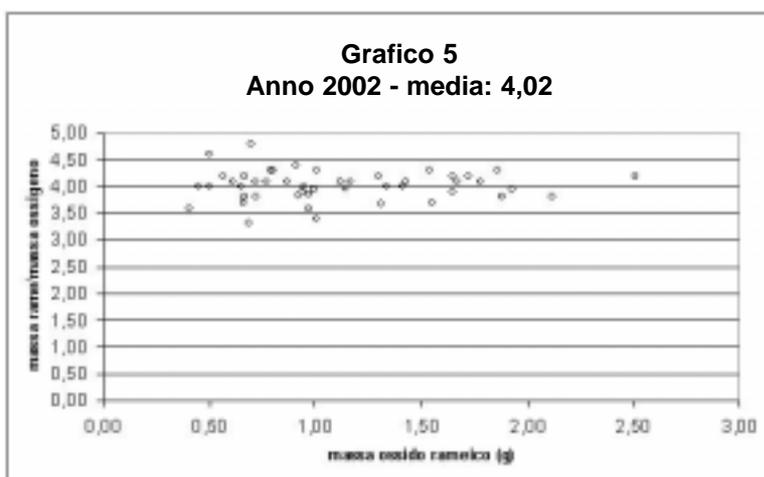
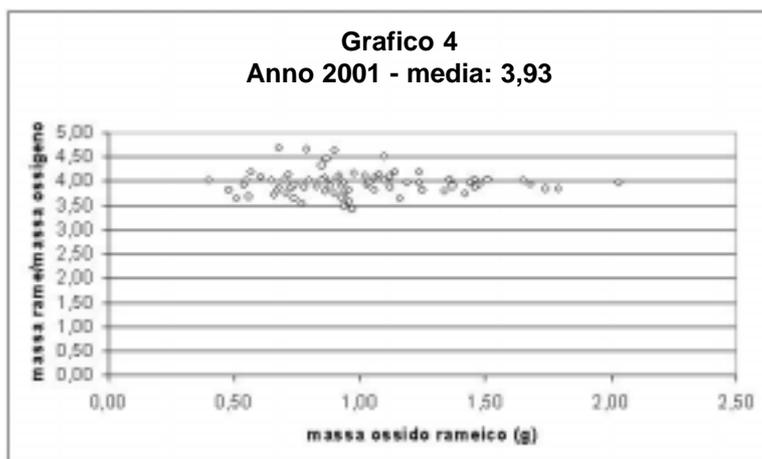
porta giustamente a pensare a *4 parti di rame per ogni parte di ossigeno*, da qui è molto facile pensare a *4 atomi di rame per ogni atomo di ossigeno*, evidentemente più facile che non pensare ad *1 atomo di rame per ogni atomo di ossigeno con la condizione che il rame sia quattro volte “più grande” dell'ossigeno*.

In pratica, per i ragazzi che hanno fatto questa scelta ci sarebbe stata ancora una generalizzazione da fare oltre a quelle già espresse, ovvero che le sostanze semplici che si combinano per dare un composto, lo fanno secondo un *rapporto di combinazione espresso da un numero intero*. Gli esperti sanno benissimo che ciò non è vero, ma lo studente che non abbia a disposizione altri dati che questi, può a buona ragione pensare che capiti sempre così.

La generalizzazione affrettata è un pericolo frequente tra gli studenti quando si trovano a dover interpretare dei dati sperimentali, infatti, per quanto laboriose e molteplici possano essere le attività di laboratorio, molto di rado esse possono fornire a scuola una casistica così vasta da consentire di arrivare alla formulazione di una legge. È necessario che accanto all'attività sperimentale vi sia sempre una ricerca bibliografica all'interno della quale lo studente possa riconoscere i casi da lui sperimentati, ma sia anche in grado di individuare in essi gli aspetti particolari che non possono essere generalizzati.

La revisione dei dati

Nel nostro caso, è bastato che si facessero cercare sul libro i dati di alcune esperienze sugli ossidi d'azoto e che si chiedesse di formulare un'ipotesi che potesse spiegare il rapporto in massa ossigeno/azoto rispettivamente 1.14/1 e 2.28/1 per due di tali ossidi: ebbene, in questo caso quasi il 90% dei ragazzi ha ipotizzato che nel primo ossido vi fossero tanti atomi di azoto quanti di ossigeno, mentre nel secondo, gli atomi d'ossigeno fossero in numero doppio rispetto a quelli d'azoto e che, in ogni caso la massa dell'atomo di ossigeno fosse 1.14 volte maggiore di quel-



la dell'azoto. L'ipotesi analoga a quella che era risultata così popolare riguardo agli ossidi del rame, nel caso dei composti dell'azoto avrebbe previsto l'esistenza di *frazioni di atomo* all'interno della struttura del composto e questo evidentemente creava perplessità nella maggioranza anche di coloro che avevano fatto la scelta dell'ipotesi

B per gli ossidi del rame.

Evidentemente era già presente in gran parte dei ragazzi l'idea dell'"indivisibilità" dell'atomo.

Per formulare delle ipotesi a livello particellare, era necessario dunque che il rapporto in massa tra le sostanze che formano un composto, si presentasse espresso da un numero più accurato di

Leggi ponderali. un percorso d'apprendimento

quello che in prima analisi era stato accettato per gli ossidi del rame. Una volta resisi conto di ciò, i ragazzi hanno ripreso i lavori sull'ossido rameico, per vedere se si poteva trarne un dato migliore. Poiché le misure erano eseguite con una bilancia di sensibilità al centesimo di grammo e l'elaborazione dei dati sperimentali era stata fatta col metodo della combinazione diretta, i rapporti in massa rame/ossigeno erano espressi con un'accuratezza che arrivava alla seconda cifra decimale. Si doveva dunque esprimere anche la media con un'accuratezza maggiore di quanto fosse stato fatto in precedenza.

La media è stata calcolata di nuovo ed in tal caso direttamente su tutti i valori dell'anno 2002 (vedi grafico 5).

Utilizzando anche i dati dell'anno precedente (vedi grafico 4), che il laboratorio aveva messo loro a disposizione, i ragazzi hanno potuto calcolare il rapporto in massa rame/ossigeno su un campionario più vasto (vedi grafico 6), ottenendo come media il valore 3,97.

Tenendo conto del valore ufficialmente dichiarato della massa atomica del rame (63,546) e quella dell'ossigeno (15,999), il valore più accurato del rapporto massa rame/massa ossigeno è 3,972. Le due medie annuali relative all'ossido rameico (3,93 e 4,02) si discostano di poco più dell'1% da tale valore. L'ulteriore miglioramento ottenuto facendo la media su tutti i valori dei due anni, non sembra dovuto al fatto di aver utilizzato un numero circa doppio di dati. L'operazione fatta è circa equivalente a fare la media delle due medie annuali ed il miglioramento va attribuito piuttosto alla fortunata circostanza che i loro scostamenti dal valore più accurato sono di segno opposto e molto vicini in valore assoluto.

Ringraziamenti

Vorrei ringraziare i colleghi del laboratorio di Chimica dell'Istituto Tecnico Industriale "Volta", per avermi aiutato nella raccolta dei dati, ed in particolare la signora Vesna Corbatti, Assistente Tecnico del Laboratorio, per avermi sostenuto nel lavoro di ricerca didattica, con la sua preziosa collaborazione nel collaudo delle tecniche e nella raccolta della documentazione.

Nota Bibliografica

[1] Cabatto, Cozzi, Tenca. "Gli strumenti per capire la Chimica". Edizioni Scolastiche Unicopli