ANTONIO TESTONI* – DOMENICA COLOMBI*

# Storia e didattica: le «Leggi Ponderali»

**History and Teaching Metodology: the "Mass Laws" in Chemistry**

**Summary** – Teaching sciences, does it make sense to consider the historical process that brought about the origin and the development of the fundamental knowledges of chemistry? Teaching the basis of chemistry, what rule have the laws, the theories and the concepts of the classic chemistry (1700-1800)? Are these knowledges considered essential for the scientific formation of the 21th century's citizen? These problems are tackled examining how the "mass laws" are introduced and developed in a basic chemical course.

**Key words**: Mass Laws, Teaching Metodology, Proust, Lavoisier, Dalton

Nel 1962, Kuhn, nelle pagine di apertura di *La struttura delle rivoluzioni scientifiche,* scriveva: «La storia, se fosse considerata come qualcosa di più che un deposito di aneddoti o una cronologia, potrebbe produrre una trasformazione decisiva dell'immagine della scienza dalla quale siamo dominati. Fino ad oggi questa immagine è stata ricavata, anche dagli stessi scienziati, principalmente dallo studio dei risultati scientifici definitivi quali essi si trovano registrati nei classici della scienza e più recentemente nei manuali scientifici, dai quali ogni nuova generazione di scienziati impara la pratica del proprio mestiere. […] Una concezione della scienza ricavata da essi non è verosimilmente più adeguata a rappresentare l'attività che li ha prodotti di quanto lo sia l'immagine di una cultura di una nazione ricavata da un opuscolo turistico o da una grammatica della lingua» [5].

Oggi, la situazione è cambiata? C'è una maggiore consapevolezza riguardo alle problematiche sollevate da Kuhn? Nell'affrontare queste problematiche, siamo partiti selezionando alcune tematiche fondamentali, come lo sono le cosiddette «*Leggi Ponderali*» (Lavoisier, Proust e Dalton), ed abbiamo analizzato come queste ven-

* ITI «Copernico - Carpeggiani», Via Pontegradella, 25 - Ferrara. E-mail: ajteston@tin.it

gono presentate e sviluppate in un corso di chimica di base a livello di scuola secondaria di secondo grado, basandoci sui libri di testo in uso dagli anni novanta in poi (65 testi esaminati). Che cosa è emerso da questa ricerca?

1) le «Leggi Ponderali» sono considerate del tutto marginali e, conseguentemente, lo spazio dedicato a queste tematiche è talmente esiguo, che, in alcuni casi, non vengono nemmeno trattate;
2) è invalsa l'idea che queste siano leggi induttive, ricavate semplicemente dalla generalizzazione di dati certi ed inequivocabili;
3) è assente una sensata contestualizzazione storica;
4) il più delle volte, manca un quadro problematico in grado di conferire significatività a tali leggi: normalmente esse vengono solo enunciate;
5) tali tematiche non sono mai accompagnate da riflessioni metacognitive ed epistemologiche.

Problematiche e concetti, che tanta importanza ebbero nella fondazione e nello sviluppo della chimica, non vengono considerate tali, quando si tratta di formare ed avviare allo studio della disciplina le nuove generazioni. Da una stima, sicuramente grossolana ma ugualmente significativa, ottenuta contando le *righe*[1] dedicate alle tre leggi nei *65 libri di testo* esaminati, risulta che il numero medio di righe è *29* per la legge di Lavoisier, *18* per la legge di Proust e *14* per quella di Dalton (un libro di testo è formato da circa 400-500 pagine ed ogni pagina da circa 50-60 righe). Si consideri pure che della rivoluzione apportata da Lavoisier non vi è quasi traccia e il suo nome compare unicamente legato alla scarna enunciazione della legge di conservazione della massa! Oltretutto, è convinzione talmente diffusa che la legge di conservazione della massa (del peso, secondo Lavoisier) sia una legge banale, autoevidente, intuitiva che in alcuni testi non viene perfino citata. Questo significa *confondere comprensione con acquisizione cieca di nozioni.* Vi è comprensione effettiva del principio *quando si riflette sulle apparenze ingannevoli dell'esperienza quotidiana* e si capisce che le cose avrebbero potuto essere diversamente. Per millenni, fino alla seconda metà del Settecento, l'umanità ha pensato che nelle trasformazioni chimiche la massa (il peso) generalmente non si conservasse, e ciò era ritenuto ovvio perché, innanzitutto, era conforme all'esperienza – le ricerche sulle rappresentazioni mentali degli studenti confermano che anche oggi le cose stanno in questi termini.

### *Le leggi di Lavoisier, di Proust e la matematizzazione della chimica*

La chimica diventò scienza quando, in un *contesto problematico specifico*, Lavoisier fu in grado di individuare alcuni principi fondamentali, tra i quali quello che

[1] Nel computo delle righe non sono stati considerati gli esercizi, le figure e gli esperimenti eventualmente presenti.

afferma che nelle trasformazioni chimiche tutto cambia tranne la massa totale. Con la teoria chimica di Lavoisier, la massa delle sostanze, che in precedenza era stata considerata una variabile irrilevante nella comprensione dei fenomeni chimici, diventa la grandezza fondamentale della chimica e la bilancia lo strumento principale. Anche per la chimica, come era già avvenuto nel secolo precedente per la fisica, *il superamento della fase prescientifica si realizzò con l'individuazione di concetti quantitativi* ed in particolare di un principio quantitativo, il principio di conservazione della massa. Anche per la chimica, pur nella sua specificità, *la matematizzazione costituì il passaggio decisivo*. Il compito fondamentale, così carico di imprevedibili sviluppi teorici, che Lavoisier lasciò in eredità ai chimici, e che realmente costituì nei decenni successivi il loro lavoro principale, fu quello della determinazione quantitativa della composizione elementare delle sostanze. Lavoisier, sulla base dei dati analitici allora disponibili, riteneva che molte sostanze, come l'acqua, l'acido carbonico (anidride carbonica), gli acidi ed i sali, avessero una composizione costante, mentre altre, come gli ossidi metallici, *non* avessero composizione costante.

Nell'arco di vent'anni, comunque, la comunità dei chimici si convinse, tranne qualche eccezione, che la maggioranza delle sostanze non elementari avessero composizione definita (costante). La prima enunciazione della legge delle proporzioni definite si trova in un articolo di Proust del 1799. Proust concentrò il suo lavoro sperimentale su quei composti che Lavoisier aveva considerato a composizione variabile, quali gli ossidi metallici, ed in particolare si dedicò allo studio degli ossidi del ferro. Se il ferro fosse, come si pensava, capace di combinarsi con l'ossigeno in tutte le proporzioni tra 27% e 48%, che sembravano essere i due limiti estremi della sua combinazione con questo elemento, avrebbe dovuto dare con lo stesso acido (ad es. acido solforico) tante combinazioni diverse quanti ossidi differenti poteva produrre: «un gran numero di fatti prova al contrario che malgrado i differenti gradi di ossigenazione, per i quali si crede che il ferro possa passare quando è esposto all'aria, non si conoscono che due solfati di questo metallo… Tra questi due solfati non vi è nessun intermediario. Se dei solfati verdi, esposti al contatto dell'aria, prendono un colore che sembra non appartenere né all'una né all'altra delle specie già citate, ci si convincerà che essi non sono che una miscela dei due, separandoli con l'alcol» [7]. Proust arrivò alla conclusione che – al di là dell'apparenza – esistono soltanto due solfati del ferro e che i solfati a composizione intermedia non sono altro che miscele di questi due[2]. Questa conclusione è connessa alla chiara affermazione di un altro principio basilare della chimica, la distinzione tra *composti e miscugli*[3]; questo concetto venne utilizzato costantemente da Proust. Nel 1799 Proust, in un articolo dedicato alla composizione dell'ossido rameico,

[2] Infatti la spiegazione all'*apparenza* più ragionevole è quella di ritenere che il solfato ferroso (verde), lasciato all'aria, è capace di produrre un numero indefinito di solfati, corrispondenti ai diversi gradi di ossidazione del ferro.

[3] I composti erano consideraste da Proust le «combinazioni vere».

enunciò per la prima volta, la *Legge delle proporzioni definite*, secondo la quale tutte le sostanze hanno composizione costante. Intorno al 1810 le conferme sperimentali dell'ipotesi erano tali da permettere il suo accesso al rango dei principi basilari della chimica. Evidentemente Proust, sulla base delle sue analisi realizzate nel decennio precedente e dell'*intuizione* dell'importante principio della distinzione tra composti e miscugli, si era già convinto che la composizione definita è una caratteristica di tutti i composti. Proust formulando la generalizzazione in base alla quale in tutti i composti gli elementi erano contenuti in determinate proporzioni definite e non in altre combinazioni, indipendentemente dalle condizioni in cui i composti stessi venivano prodotti, effettuò una *generalizzazione di livello superiore* (la legge di Proust è una generalizzazione di generalizzazioni) che suscitò le critiche di Berthollet: questi infatti fu in grado di produrre un certo numero di esempi in contraddizione con la legge. Berthollet non contestava la costanza della composizione per molte sostanze, ma non era disposto ad accettare la generalizzazione di questa affermazione, cioè la legge della costanza della composizione per tutti i composti. Proust fu in grado di replicare efficacemente a molte delle obiezioni di Berthollet. I controesempi più significativi forniti da Berthollet rimasero le leghe ed i vetri; queste sostanze hanno composizione variabile e sono effettivamente, come sosteneva Proust dei miscugli (delle soluzioni solide), ma in questo caso *Proust non fu in grado di fornire un criterio operativo capace di chiarire il problema*.

*Le leggi delle proporzioni e la teoria atomica*

I dati analitici di cui poteva disporre Dalton, per trovare conferme alla cosiddetta «Legge delle proporzioni multiple», risentivano ovviamente di queste incertezze. Secondo lo storico della chimica, J.R. Partington, che ha ripercorso lo stesso procedimento descritto da Dalton per ricavare la composizione dei due ossidi del carbonio, «è praticamente impossibile ottenere i semplici rapporti riportati da Dalton» [6]. Nel caso degli ossidi di azoto la situazione non era certo migliore:

> «I composti dell'ossigeno con l'azoto, finora scoperti, sono cinque… Nel trattare di questi è usuale iniziare con quello che contiene meno ossigeno (ossido nitroso)… Il nostro progetto prevede un differente principio di disposizione; cioè iniziare con quello che è più semplice, o che consiste del più piccolo numero di particelle elementari, che è comunemente un composto binario, e poi continuare con i composti ternari e di ordine superiore. In accordo a questo principio, diventa necessario accertare, se possibile, se qualcuno di questi, e quale, è un composto binario. Il criterio migliore si ottiene dal confronto dei pesi specifici dei composti gassosi stessi. Il gas nitroso ha il minore specifico di tutti; questo indica che è un composto binario… In accordo a Cavendish e Davy, che sono le maggiori autorità che ancora abbiamo in riferimento a questi composti, essi sono costituiti come sotto» [2].

| | Peso specifico | Composizione % in peso *azoto* | *ossigeno* | Rapporti atomici *azoto* | *ossigeno* | Formula |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gas nitroso | 1,102 | 46,6 | 53,4 | 6,1 | : 7 | NO |
| | | 44,2 | 55,8 | 5,5 | : 7 | |
| | | 42,3 | 57,7 | 5,1 | : 7 | |
| Ossido nitroso | 1,614 | 63,5 | 36,5 | 2·6,1 | : 7 | $N_2O$ |
| | | 62,0 | 38,0 | 2·5,7 | : 7 | |
| | | 61,0 | 39,0 | 2·5,4 | : 7 | |
| Acido nitrico | 2,444 | 29,5 | 70,5 | 5,8 | : 7·2 | $NO_2$ |
| | | 29,6 | 70,4 | 5,9 | : 7·2 | |
| | | 28,0 | 72,0 | 5,4 | : 7·2 | |
| | | 25,3 | 74,6 | 4,7 | : 7·2 | |

Nella tabella sono riportate per ogni sostanza alcune composizioni; i valori sono abbastanza differenti e la conclusione sensata che si dovrebbe trarre è che queste sostanze costituiscono una confutazione (o comunque una limitazione della validità generale) della legge di Proust. Il comportamento di Dalton è opposto: è così convinto che i composti abbiano sempre composizione costante, da ritenere, nonostante i valori sperimentali allora disponibili, che anche gli ossidi di azoto abbiano composizione costante[4]; e se apparentemente le cose non stanno in questo modo, ciò è dovuto a mancanza di accuratezza sperimentale o comunque a difficoltà connesse alla esecuzione delle analisi. Nonostante molti dei dati allora noti confutassero la legge di Dalton, nell'arco di pochi anni, la maggior parte dei chimici, convinta dell'utilità di questa legge, l'assunse come legge fondamentale della chimica, e tale si dimostrò nel grandioso sviluppo della chimica atomistica ed in particolare della chimica organica nei 50 anni successivi. La teoria atomica «non aspettò per nascere che tutte le leggi empiriche sulle proporzioni fossero conosciute in modo indipendente ed enunciate con precisione, al contrario fu essa che ne fece indovinare e scoprire la maggior parte, fu essa che ne fece apprezzare il valore del poco che prima si conosceva su questo soggetto, fu essa infine che prestò il linguaggio per esprimere tutte queste leggi» [1]. Questo esempio è una conferma ulteriore del fatto che i dati sperimentali, di per sé, senza ipotesi adeguate o teorie, sono ben poco significativi sul piano conoscitivo: «Quando Dalton ebbe per primo l'idea di utilizzare le misure chimiche per elaborare una teoria atomica cominciò cercando nella letteratura chimica esistente i dati relativi … La ricerca effettuata da Dalton nella letteratura fornì alcuni dati che, dal suo punto di vista, convalidavano la legge. Ma molti dei dati allora noti non convalidavano per niente la legge di

[4] Dalton attribuisce all'azoto peso atomico 5, nonostante che il valore medio ricavabile dalla tabella precedente sia 5.6, per tenere conto del valore 4.7 ricavato dalla composizione dell'ammoniaca.

Dalton. Per esempio, le misure del chimico francese Proust sui due ossidi di rame producevano, per un dato peso di rame, un rapporto in peso dell'ossigeno di 1,47:1. Secondo la teoria di Dalton, il rapporto avrebbe dovuto essere 2:1 e Proust è proprio il chimico che si poteva supporre avrebbe confermato la previsione. Egli era, in primo luogo, uno sperimentatore raffinato. Inoltre era allora impegnato in una controversia più ampia, nella quale sosteneva un punto di vitsa molto vicino a quello di Dalton. Ma, all'inizio del XIX secolo, i chimici non sapevano come effettuare analisi quantitative che ponessero in evidenza le proporzioni multiple. Nel 1850 avevano imparato, ma solo facendosi guidare dalla teoria di Dalton. Conoscendo quali risultati si dovessero attendere dalle analisi chimiche, i chimici furono in grado di escogitare tecniche che permettessero di ottenerli. Di conseguenza i manuali di chimica possono ora affermare che le analisi quantitative confermano l'atomismo di Dalton e dimenticano che, storicamente, le tecniche analitiche importanti sono basate sulla stessa teoria che, si dice, esse confermino. Prima che la teoria di Dalton fosse enunciata le misure non davano gli stessi risultati… Questi esempi possono mostrare il motivo per il quale nuove leggi della natura vengono molto raramente scoperte esaminando semplicemente i risultati delle misure fatte, senza conoscenze precedenti di queste leggi. Perché la maggior parte delle leggi quantitative hanno così pochi punti di contatto con la natura, poiché le indagini di questi punti di contatto richiedono usualmente strumentazioni ed approssimazioni e poiché la stessa natura deve essere forzata per fornire i risultati appropriati, la strada dalla teoria o dalla legge alla misura non può quasi mai essere percorsa in senso inverso. I numeri raccolti senza una qualche conoscenza delle regolarità da attendersi non sono quasi mai significativi di per sé. Quasi certamente essi restano solo dei numeri» [4].

*Conclusioni*

Una tale considerazione della genesi e dello sviluppo di conoscenze fondamentali della chimica non riguarda solo «Le leggi ponderali», ma tutta la chimica classica, compresa ovviamente la chimica organica. L'insegnamento della chimica nella scuola superiore di secondo grado è imperniato sulla chimica del novecento (struttura atomico-molecolare, legami…), la chimica sette-ottocentesca, che ha un posto centrale nel pensiero chimico, viene relegata ad un ruolo del tutto marginale, irrilevante («è una chimica vecchia, non serve…»). Il mito dell'insegnamento contenutisticamente aggiornato, magari accompagnato da esperimenti/esperienze ad effetto, è ben vivo nella scuola italiana e tutto ciò va a scapito, non solo della dimensione storica, ma soprattutto culturale e formativa delle discipline scientifiche. Non è in discussione l'importanza dello studio delle discipline, è il fine di questa attività che deve essere rifocalizzato: «scopo dello studio disciplinare nelle istituzioni scolastiche preuniversitarie non è creare scienziati, storici o esteti in miniatura, ma far si che i giovani adottino un punto di vista intellettuale sulle cose

e sperimentino il potere analitico dei vari modi di affrontare il mondo» [3]. Il problema centrale nell'insegnamento delle scienze è come la conoscenza scientifica possa diventare cultura per tutti, di come la scienza possa contribuire, insieme alla cultura umanistica, alla formazione di tutti i cittadini. La nostra sensazione è che l'amara riflessione di Kuhn, riportata in apertura di questo lavoro, sia ancora del tutto attuale.

**Riassunto**: Dal punto di vista didattico, ha senso considerare il processo storico che ha determinato la nascita e lo sviluppo delle conoscenze fondamentali della chimica? Che ruolo hanno quelle leggi, quelle teorie, quei concetti propri della cosiddetta chimica classica (1700-1800) nell'insegnamento della chimica di base? Tali conoscenze sono considerate essenziali per la formazione scientifica (in particolare chimica) del cittadino del ventunesimo secolo? Queste questioni vengono affrontate esaminando come le «Leggi Ponderali» sono presentate e sviluppate in un corso di chimica di base nella scuola secondaria di secondo grado.

**Parole chiave**: Leggi Ponderali, Didattica, Proust, Lavoisier, Dalton

BIBLIOGRAFIA

[1] S. Cannizzaro, *Sui limiti e sulla forma dell'insegnamento teorico della chimica,* Gazzetta Chimica Italiana, 1872, II, 40.
[2] J. Dalton, *A new system of chemical philosophy*, part 1, Manchester, 1808, pp. 316-318.
[3] H. Gardner, *Sapere per comprendere*, Feltrinelli, 1999, p. 230.
[4] T.S. Khun, *La funzione della misura nella scienza fisica moderna,* in *La tensione essenziale,* Torino, Einaudi, 1985, pp. 211-214.
[5] T.S. Kuhn, *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, Einaudi, 1995, p. 19.
[6] J.R. Partington, *A short history of chemistry*, Harper & Brothers, New York, 1960, p. 170.
[7] M. Proust, *Extrait d'un Mémoire intitulé: Recherches sur le Bleu de Prusse,* in Annales de Chimie, 23, pp. 85-87.