

IL RUOLO DEL CONCETTO DI GAS NELLA COSTRUZIONE DELLE BASI DELLA CHIMICA

Eleonora Aquilini -Vicepresidente nazionale Divisione di Didattica della Società Chimica Italiana (DD-SCI).

Riassunto

Dagli studi riportati da Cavallini e dalla Grimellini è evidente che lo stato gassoso presenta notevoli problemi cognitivi. Noi pensiamo che, per sviluppare un lavoro didattico significativo sui gas si debba necessariamente partire dall'aria.. Facendo un'analisi di tipo storico ed epistemologico del concetto di materialità dell'aria, ci si rende conto che lo studio di questo tema non può essere affrontato prima del biennio delle scuole medie superiori. La semplice esecuzione dell'esperimento di Torricelli, senza alcuna contestualizzazione, non porta a nessuna comprensione significativa. Con l'esperienza di Boyle, s'introduce un altro fattore importante per la comprensione del comportamento dei gas, l'elasticità dell'aria.

Una volta stabilito che l'aria è materia perché ha un peso, un volume, esercita una pressione, si può dimostrare che è chimicamente attiva, rifacendosi alle esperienze di Black sull'aria fissa.

1. Introduzione

Questo lavoro ha lo scopo di presentare in modo diverso da quello usualmente proposto dai libri di testo, la chimica dei gas a livello di biennio della scuola media superiore. Analizzando la letteratura che riporta le concezioni di bambini e adolescenti sullo stato gassoso, prima e dopo l'insegnamento fatto in maniera tradizionale, e tenendo conto dell'esperienza quotidiana nelle classi, non si possono dare per scontati concetti come il peso, il peso specifico, la pressione dei gas. Si deve per prima cosa stabilire la materialità dell'aria. Questo concetto verrà chiarito utilizzando il suo contrario: il vuoto. La stessa storia del pensiero scientifico e filosofico ci dimostra quanto tale concetto sia ostico e quanto sia resistente la convinzione razionale ed emotiva che il vuoto sia impossibile. Il filo conduttore sarà l'esistenza del vuoto. Una volta stabilita la materialità dell'aria, si seguirà il cammino storico che ha portato ad individuare la prima "aria" diversa da quella atmosferica, l'aria fissa. L'aria diventa qualcosa di chimicamente attivo.

Non si tratta di sostituire l'insegnamento della chimica con quello della storia della chimica, ma di tenere conto della storia del pensiero utilizzando quello che è utile per la comprensione. Tenendo presente il nesso che può esistere fra la filogenesi e l'ontogenesi, non ci stupiremo del fatto che, ad esempio, la comprensione dell'esperienza di Torricelli presenta per gli alunni gli stessi problemi cognitivi che presentava per gli uomini del Sei-Settecento.

Ritengo che costruire i significati all'interno dell'insegnamento scientifico, sia comunque un atto creativo che deve essere supportato da strumenti diversi da quelli tecnici che competono alle specifiche discipline. A questo proposito le parole di Bruner sono decisive rispetto alla necessità del "fare significato", che è il senso prioritario dell'insegnamento: *".....Può darsi che abbiamo sbagliato staccando la scienza dalla narrazione della cultura.....Un sistema educativo deve trovare un'identità al suo interno. Se questa identità manca, l'individuo incappa nell'inseguimento di un significato. Solo la narrazione consente di costruirsi un'identità e di trovare un posto nella propria cultura."* (1)

Insegnare le scienze in modo significativo vuol dire quindi contestualizzare, mettere in relazione le leggi, le teorie con le idee degli uomini di un'epoca. Di solito non lo si fa, si danno una serie di definizioni a scopo addestrativo, che mediamente restano in mente agli alunni giusto il tempo per rispondere all'interrogazione. Nell'insegnamento di tipo scientifico usuale poco resta di significativo dal punto di vista culturale almeno a livello di scuola media superiore. La narrazione delle idee, del pensiero nel tempo, ha bisogno della storia. I saperi si integrano attraverso "la storia" e la storia è scritta dai saperi.

2. Preconcezioni e concezioni di senso comune dei bambini sui gas

Lo stato gassoso presenta notevoli problemi cognitivi. Da ricerche fatte con bambini ed adolescenti emerge che concezioni alternative e punti di vista lontani da quelli oggi accreditati sono molto diffusi. Per quanto riguarda il concetto di "stato gassoso" già Piaget nel 1929 nel libro "La rappresentazione del mondo nel fanciullo" (2) aveva notato che il termine gas è piuttosto estraneo e caso mai si riferisce solo al gas combustibile. La parola aria, specie nel senso di brezza è nota fin dalla più tenera età e spesso viene associata a cose invisibili, come lo spirito, i sogni, il pensiero.

Dagli studi riportati da Cavallini (3) e dalla Grimellini (4), è evidente che:

- 1) per i bambini fino a 10 anni l'idea di gas è legata all'aria in movimento (si tende a negarne l'esistenza quando è ferma) .

- 2) bambini di 11-12 anni associano anch'essi l'aria al movimento, sono in grado di comprendere che una certa quantità di aria si conserva a temperatura costante, hanno difficoltà a fare previsioni di comportamento, quando vi sono cambiamenti di temperatura;
- 3) molti bambini e ragazzi hanno l'idea di pressione del gas, perché ne hanno sentito parlare, ma non sono capaci di utilizzarla per spiegare alcun fenomeno;
- 4) l'aria per molti non ha peso, altri pensano che una gran quantità d'aria aumenti la "leggerezza";
- 5) mediamente non vi è acquisizione del concetto di struttura particellare dei gas, neanche dopo lo studio scolastico. Bambini di 12-13 anni continuano a pensare la materia come compatta, continua, oppure discreta ma con idee alternative (non si applica la teoria cinetica).

A questo proposito, è interessante il lavoro di Novick e Nussbaum riportato dalla Grimellini (4)

Lo scopo era quello di capire fino a che punto studenti israeliani di 14 anni che avevano ricevuto l'anno precedente un insegnamento dedicato alla struttura particellare della materia, erano in grado di applicare i diversi aspetti del modello particellare per spiegare semplici fenomeni fisici dei gas. In particolare si volevano mettere in evidenza i seguenti aspetti:

- 1) la materia è fatta di particelle;
- 2) le particelle di gas sono uniformemente distribuite in uno spazio chiuso.

Il primo esperimento consisteva nell'evacuazione parziale dell'aria da una bottiglia

Agli allievi veniva chiesto di disegnare l'aria all'interno della bottiglia prima e dopo averne aspirata una parte. Gli allievi rispondevano ombreggiando certe regioni della bottiglia (fig.1) o mettendo puntini indicando un modello continuo nel primo caso e un modello particellare nel secondo caso (fig.2). I tipi di rappresentazione ottenuti venivano poi mostrati a tutti gli alunni in modo da cercare di comprendere se, anche in caso di raffigurazione erronea, l'alunno sapeva comunque riconoscere come giusto il modello particellare. Inoltre ai "particellari" veniva chiesto di spiegare che cosa c'è tra i puntini nei disegni della figura. Ciò per mettere alla prova l'idea di spazio vuoto. Inoltre a tutti sono state fatte domande allo scopo d'indagare le idee circa il moto proprio delle particelle.

Lo studio ha condotto ai seguenti risultati:

- 1) il 64% degli alunni suggerisce che l'aria è fatta di particelle e il 74% sceglie come rappresentazione dell'aria il diagramma particellare (sono inclusi anche coloro che lo hanno scelto in seconda battuta);
- 2) Un alunno su sei fra i "particellari" crede che le particelle, dopo che una parte dell'aria è stata aspirata, non sono distribuite uniformemente, ma sono concentrate da qualche parte.
- 3) Il 45% dei "particellari" pensa che vi sia spazio vuoto fra le particelle. Gli altri pensano che ci dovrebbe essere "qualcosa" che per alcuni è polvere, per altri sono gas diversi come azoto e ossigeno, oppure sporco e così via.

Gli autori concludono che la maggioranza degli alunni ha in mente un modello alternativo in cui la materia è concepita come continua e statica.

Risultati di questo tipo confermano che gli ostacoli cognitivi che si presentano nello studio dello stato gassoso sono notevoli. Noi pensiamo che, per sviluppare un lavoro didattico significativo sui gas si debba necessariamente partire dall'aria. Prima di introdurre un qualunque modello particellare è necessario quindi arrivare a concettualizzare la materialità dell'aria. Questa operazione non può essere fatta partendo soltanto da dati percettivi (non ci accorgiamo che l'aria pesa).

L'argomento è complesso e non può essere risolto esclusivamente con uno studio di tipo fenomenologico.

3. Analisi storico-epistemologica della nascita del concetto di gas

Facendo un'analisi di tipo storico ed epistemologico del concetto di materialità dell'aria, ci si rende conto che una buona comprensione di questo tema non può essere raggiunta prima del biennio delle scuole medie superiori, questo perché il problema del peso dell'aria, primo punto da affrontare per materializzare l'aria, s'intreccia al problema dell'esistenza del vuoto (fig.3). L'esperienza di Torricelli acquista un grande ruolo didattico, quando gli alunni sono in grado di recepire la differenza, il salto che ci può essere fra l'esperimento e il suo significato

Torricelli ebbe una grandissima intuizione nel ritenere che il comportamento del mercurio fosse dovuto al peso dell'aria. La famosa esperienza può essere considerata il punto di arrivo, la prova inconfutabile che mise fine alla polemica fra "pienisti" e "vacuisti". L'idea cardine della filosofia aristotelica era l'"horror vacui" e giustificava la fisica del moto. Il corpo lanciato è continuamente spinto dall'aria, che lo sostiene, esercita una forza. Siccome la sua velocità aumenta all'aumentare della forza applicata e diminuisce con la resistenza che offre il mezzo, la sua velocità nel vuoto sarebbe infinita. Questa è una conseguenza talmente contraria al senso comune che Aristotele considera impossibile l'esistenza del vuoto. Una cosa da notare per non banalizzare il concetto di peso dell'aria è che verso il 1630, una caratteristica che accomunava tutti i vacuisti era che essi ammettevano il peso assoluto dell'aria ma **non** il peso dell'aria nell'aria (5). In altre parole il concetto di peso dell'aria non portava naturalmente al concetto di pressione atmosferica. Lo stesso Galileo avendo saputo dai fontanieri di Firenze che le pompe aspiranti non riuscivano a sollevare l'acqua oltre 18 braccia, tentò di spiegare il fenomeno sostituendo all'antico "horror vacui", la forza del vacuo, cioè la resistenza misurata da una colonna d'acqua alta 18 braccia, offerta dal vuoto prima di potersi produrre (5).

Quando a Galileo venne manifestato da parte di Baliani¹ il dubbio che sul comportamento dei sifoni potesse essere implicato il peso dell'aria, Galileo non ammise che questo potesse avere ragione ma gli storici suppongono che ne parlò a Torricelli.

Scrive Torricelli in una lettera a Michelangelo Ricci² l'11 giugno 1644 *“Questa forza che regge quell'argento vivo contro la sua naturalezza di ricadere giù, si è creduto fino adesso che sia interna al vaso, o di vacuo, o di quella roba sommamente rarefatta; ma io pretendo che la sia esterna e che la forza venga di fuori...”*

In una lettera del 28 giugno 1644 Torricelli risponde a Michelangelo Ricci che si domanda se la colonna di mercurio si sarebbe sostenuta anche chiudendo la bacinella, dicendo che chiudendo con un coperchio la vaschetta, il liquido non scenderà *perché l'aria rimasta nella vaschetta avrà la stessa condensazione dell'esterna allo stesso modo come, tagliando trasversalmente con un ferro il cilindro di lana compressa da un peso, la parte inferiore della lana rimane sempre compressa.*

Il significato dell'esperimento non si comprende facendo riferimento al senso comune, o alla percezione. Quello che convince gli alunni che Torricelli “aveva ragione” sono gli esperimenti che sono seguiti a questo, fatti da lui stesso o dai suoi sostenitori per confutare, l'“horror vacui”. Ripetendo¹ l'esperimento con “vasi” di forma diversa, il mercurio non si comportava in modo tale da lasciare meno vuoto possibile. Con liquidi diversi dal mercurio occorre tubi di lunghezza diversa per bilanciare il peso dell'aria. Ragionando in questo modo si concretizzano, in relazione al peso dell'aria, concetti come il peso specifico e la pressione.

La semplice esecuzione dell'esperimento, senza alcuna contestualizzazione, dando per scontata la conclusione è invece non significativa, una nozione tra le tante, per gli alunni. La conclusione è infatti non evidente e non deducibile dall'osservazione. Si possono far riflettere gli alunni sul fatto che le grandi scoperte sono, come dice Popper (6), dovute a colpi di genio, ad intuizioni che sono spesso in netta contraddizione con il senso comune.

Con l'esperienza di Boyle, s'introduce un altro fattore importante per la comprensione del comportamento dei gas, l'elasticità dell'aria. L'aria è un fluido elastico che può essere compresso ed esiste una relazione di inversa proporzionalità fra pressione e volume. E' un'occasione importante quest'ultima per cogliere la regolarità di certi comportamenti, introdurre la legge che costituisce un esempio di utilizzo della matematica nella chimica.

Una volta stabilito che l'aria è materia perché ha un peso, un volume, esercita una pressione, si può dimostrare che è chimicamente attiva, rifacendosi alle esperienze di Black sull'aria fissa (7). Il concetto di pressione è un requisito fondamentale per la comprensione di questo punto. Lo strumento principale per la raccolta delle varie “arie” è infatti il **bagno pneumatico** ideato da Hales, il cui funzionamento, semplice ma geniale, si basa sul fatto che il cilindro rovesciato contiene acqua che non scende perché sostenuto dal peso dell'aria. Tale cilindro che è immerso in una bacinella d'acqua, è in grado di raccogliere la cosiddetta aria che si forma in una reazione chimica. Hales non fu in grado di distinguere i diversi gas che si ottenevano da queste trasformazioni, egli pensava che si trattasse sempre dello stesso gas, cioè dell'aria atmosferica. Il fatto che l'aria partecipi a molte trasformazioni chimiche ed è chimicamente attiva è un'acquisizione concettuale fondamentale.

L'invenzione di Hales costituì l'atto di nascita del concetto di gas. Essa permette di sottolineare un aspetto fondamentale della scienza moderna contemporanea, rispetto a quella medievale e cioè che la natura, come ci dice Geymonat (8), non deve essere solo osservata ma interrogata: “La preparazione dell'esperimento non coinvolge soltanto un aspetto tecnologico, bensì anche uno essenzialmente teorico. Per porre una chiara interrogazione bisogna avere preventivamente un'idea delle risposte che si possono ottenere; bisogna cioè possedere, in via ipotetica, una teoria del fenomeno che si vuole indagare”.

La prima aria che è stata caratterizzata come diversa dall'aria atmosferica è stata appunto **l'aria fissa** ottenuta per decomposizione termica del carbonato di calcio. Tale “aria”, non mantiene la combustione, non permette la respirazione e precipita l'acqua di calce.

La calcinazione del calcare e l'invenzione di Hales ci permettono inoltre di evidenziare che la comprensione di un fenomeno è limitata se ci si colloca in modo passivo di fronte ad esso e che il dispositivo sperimentale opportuno è fondamentale per confermare le ipotesi. In questo caso il dispositivo sperimentale è molto semplice. Ciò che non è banale è l'utilizzo di questo dispositivo per raccogliere della materia non visibile, dell'aria prodotta da trasformazioni chimiche.

La caratterizzazione di questa “aria” fu fatta da Black nel 1755 evidenziando che:

- 1) non mantiene la combustione,
- 2) non permette la respirazione,
- 3) precipita acqua di calce.

¹ Giovan Battista Baliani (1582-1666), filosofo genovese. Con Galileo Galilei discusse sul comportamento dei sifoni e sull'esistenza del vuoto per via epistolare.

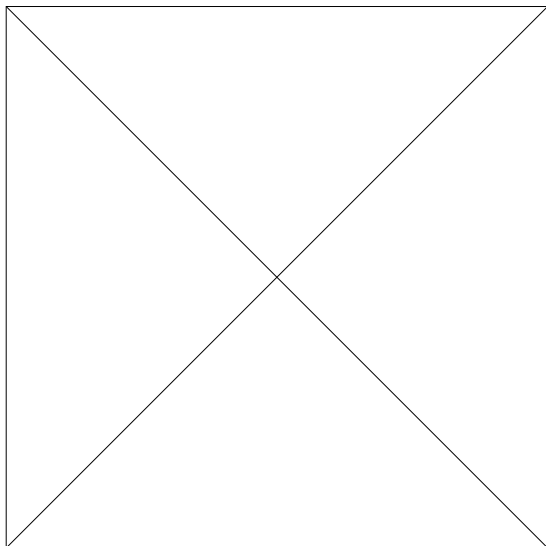
²Michelangelo Ricci (1619-1692), uomo coltissimo, amico e discepolo di Torricelli; era in corrispondenza con i maggiori scienziati e nel 1645 si recò a Parigi per ripetere l'esperimento "dell'argento vivo". In Francia il famoso curato Mersenne sosteneva comunque l'impossibilità del vuoto e attribuiva il fenomeno torricelliano al mercurio, corpo bastardo che non sa dove andare verso l'alto o verso il basso....

L'ipotesi dell'aria fissa di Black ha permesso di spiegare fenomeni come l'effervescenza e la caustificazione della soda e della potassa.

4. Idee ed esperienze per la progettazione di un modulo sull'aria

Il percorso proposto (9) è stato realizzato nelle prime classi di diversi Istituti Tecnici.

La sequenza che noi seguiamo è riassunta nello schema 1.



Prima parte: la materialità dell'aria

- 1) Esperienze semplici che introducono il problema dell'esistenza del vuoto (ad esempio si cerca di far uscire il pistone di una siringa tenendo tappato il foro in cui si mette l'ago),
- 2) Esecuzione dell'esperienza di Torricelli con discussione che di solito porta alla socializzazione dell'insuccesso della comprensione dell'alunno con i contemporanei di Torricelli. Per il nostro alunno è confortante sapere che i suoi ostacoli cognitivi sono quelli degli uomini del seicento (non si sente stupido)
- 3) Spiegazione di Torricelli circa la causa del dislivello di mercurio e narrazione delle altre esperienze di Torricelli fatte con tubi di forma diversa per dimostrare che la paura del vuoto non esiste.
- 4) La definizione di Pressione
- 5) Esercizi riguardanti problemi del tipo: "Se invece del mercurio c'è acqua, quanto deve essere lungo il tubo torricelliano?"
- 6) Pascal e il barometro
- 7) La pompa pneumatica (fig.4)
- 8) Esecuzione dell'esperienza di Boyle
- 9) La legge Pressione- volume

Seconda parte: l'aria è chimicamente attiva

- 1) Hales e il bagno pneumatico. Ci costruiamo il bagno pneumatico riempiendo un grosso cilindro di acqua.. Adesso capiamo perché l'acqua quando capovolgiamo il cilindro, non scende.
- 2) Black e l'aria fissa. Esperienze: produzione dell'aria fissa per decomposizione termica del calcare caratterizzazione dell'aria fissa come "aria "diversa da quella atmosferica
- 3) La calce viva e la calce spenta; l'aria fissa entra nella calce ed esce dal calcare.
- 4) Che cos'è l'effervescenza?
- 5) La caustificazione della soda e della potassa.

Il lavoro svolto con gli alunni ha confermato in larga parte le aspettative in termini di acquisizione di contenuti .La proposta che coniuga l'analisi dei contenuti disciplinari con una riflessione di tipo storico-epistemologico ci è sembrato adeguato all'età degli alunni che hanno risposto con curiosità e interesse.

A mio avviso il lavoro descritto ha una valenza formativa notevole, soprattutto perché questa introduzione prosegue con lo studio dell'opera di Lavoisier. La crisi causata dalla "chimica delle arie" e dalla questione dei rapporti ponderali nella combustione e nella calcinazione dei metalli, ha poi portato alla comprensione relativa al coinvolgimento dell'aria nella combustione. Ciò ha comportato l'abbandono della teoria del flogisto ed ha costituito la rivoluzione chimica (10). Riteniamo che la nascita del concetto di gas non solo sia stato basilare per la nascita della chimica come scienza, ma sia un nodo concettuale chiave per la comprensione dello sviluppo della chimica come disciplina a livello di biennio della scuola media superiore.

Desidero ringraziare Q. Florio che ha realizzato con me questo percorso all'ITIS "G.Marconi" di Pontedera e l'amico e collega P. Robino per i consigli e le proficue discussioni.

Bibliografia

- 1) J. Bruner, *La cultura dell'educazione*, Feltrinelli, Milano, 1997, p.55.
- 2) J. Piaget, *La rappresentazione del mondo nel fanciullo*, Edizioni Scientifiche Einaudi, Torino, 1955, p.39-174.
- 3) G. Cavallini, *La formazione dei concetti scientifici*, La Nuova Italia, Firenze, 1955, p.38-52.
- 4) N. Grimellini Tomasini e G. Segrè, *Conoscenze scientifiche: le rappresentazioni mentali degli studenti*, La Nuova Italia, Firenze, 1991, p.254-286.
- 5) M. Gliozzi –M. Giua, *Storia delle scienze*, UTET, Torino, 1962, vol.II.
- 6) Popper, *Congetture e confutazioni*, Il Mulino, Bologna, 1988, p.176-177.
- 7) F. Abbri, *Le terre, l'acqua, le arie*, Il Mulino, Bologna, 1984, p.169-184.
- 8) L. Geymonat, *Lineamenti di filosofia della scienza*, Mondadori, Milano, 1985, p.38-39.
- 9) Dispense di Chimica di Carlo Fiorentini per il biennio della Scuola Media Superiore, disponibili presso in CIDI di Firenze.
- 10) T. Kuhn, *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, Einaudi, Torino, 1995.