**Vedere l’Invisibile attraverso il bagno pneumatico**

**Seening the invible through the pneumatic bath**

**Eleonora Aquilini** 1,2

1 *Liceo Artistico F.Russoli di Pisa*

2 *Vicepresidente DD-SCI (Divisione Didattica-Società Chimica Italiana)*

e-mail: [ele.aquilini6@gmail.com](about:blank)

Riassunto

Lo stato gassoso è, dal punto di vista didattico, uno stato della materia difficile da trattare e acquisire. È stato sperimentato e proposto nella scuola Giuseppe Del Re della DD-SCI per la formazione degli insegnanti e nei Laboratori del sapere scientifico (LSS) della regione Toscana, un percorso didattico che, mediante un approccio storico epistemologico, ripercorre il cammino che ha portato alla comprensione della materialità dell’aria. Il bagno pneumatico è stato il primo strumento utilizzato nel 1700 per “vedere” i gas che altrimenti sfuggivano all’osservazione diretta. Il bagno pneumatico è sostanzialmente lo strumento utilizzato da Torricelli, ma modificato sostituendo il mercurio con acqua, ed è stato utilizzato per identificare la prima “aria” diversa dall’aria atmosferica: l’aria fissa, ovvero la nostra anidride carbonica.

Abstract

The gaseous state is, from the didactic point of view, a state of matter that students process and acquire with difficulty. An educational path that, with a historical and epistemological approach, retraces the path that led to the understanding of the materiality of air was tested and proposed for the training of teachers in the Giuseppe Del Re school of DD-SCI and in the Laboratories of Scientific Knowledge (LSS) of the Tuscany region. The pneumatic bath was the first tool used in the 1700s to “see” gases that otherwise escaped direct observation. The pneumatic bath is basically the Torricelli’s tool, modified with water instead of mercury, and it was used to identify the first “air” other than atmospheric air: the “fixed air”, that is our carbon dioxide.

1. **La DD-SCI e le scuole di Didattica per la formazione degli insegnanti**

La DD-SCI è impegnata nella formazione degli insegnanti principalmente attraverso la Scuola “Ulderico Segre” e la scuola “ Giuseppe Del Re”. La prima è dedicata prevalentemente ai docenti universitari e la seconda ai docenti della scuola secondaria di primo e secondo grado. Le ultime edizioni di entrambe le scuole, quelle del 2020, si sono svolte in modalità on line. L’XI edizione della Scuola di Didattica Educativa “Ulderico Segre” si era invece svolta in presenza presso il Convento di San Francesco in San Miniato (Pisa) dal 2 al 4 settembre 2019. Anche questa edizione della Scuola Segre, in continuità con la precedente, è stata dedicata ai Corsi di Didattica della Chimica strutturati in diverse Università italiane e nati in seguito al D.L. 107/2015 (La legge della “Buona Scuola”) per la formazione degli insegnanti della scuola secondaria. Si fa riferimento a questa edizione perché l’argomento “Vedere l’invisibile attraverso il bagno pneumatico” è stato affrontato nell’ambito di una delle tematiche trattate [1]. In generale l’intento della Scuola è stato quello di fare una ricognizione dei corsi di Didattica della Chimica mostrando in concreto gli argomenti trattati e l’approccio utilizzato. A tal proposito sono state individuate quattro tematiche che sono state introdotte dai coordinatori dei gruppi di lavoro:

1. *Metodologie didattiche e selezione degli argomenti da trattare in un corso di Chimica per la scuola secondaria di secondo grado* (Coordinatori: Valentina Domenici e Paola Ambrogi)

2. *I tre livelli della Chimica nella scuola secondaria di secondo grado* (Coordinatori: Eleonora Aquilini e Giovanni Villani)

3. *La Chimica nella scuola primaria e secondaria di primo grado* (Coordinatori: Francesca Turco e Maria Funicello)

4. *Approccio integrato all’insegnamento della Chimica per la scuola secondaria di secondo grado* (Coordinatori: Anna Maria Madaio e Anna Caronia).

L’argomento trattato nel gruppo 2 è stato meglio esplicitato con la formulazione:

“Tre Livelli della Chimica nella Scuola Secondaria di Secondo Grado: come insegnare a pensare l’invisibile osservando il visibile e a usare il linguaggio chimico per descrivere il visibile e l’invisibile”.L’argomento è stato introdotto facendo riferimento ai tre livelli di approccio chimico al mondo materiale che sono quelli del *triangolo di Johnstone* [2]:

a) macroscopico, b) submicroscopico e c) simbolico.

Il livello macroscopico è quello fenomenologico, delle proprietà e della reattività delle sostanze chimiche; il livello submicroscopico è quello degli atomi, delle molecole e della cinetica; il livello simbolico è quello della rappresentazione e, cioè, quello dei simboli, delle equazioni, della stechiometria e della matematica (come esplicitato da Johnstone).

Oltre al modello sopra descritto è da tenere in considerazione il modello di Mahaffy tetraedrico [3] che, aggiungendo un quarto livello (elemento umano, suddiviso in più sottolivelli), rappresenta la contestualizzazione della chimica nella società e nella storia.

* 1. **Osservare il visibile per conoscere l’invisibile**

Nella chimica moderna con il termine “*osservare il visibile”* si intende quasi sempre osservare il risultato di una strumentazione, cioè un “dato” carico di teoria. L’idea semplice di dati sperimentali e di teoria che li interpretano deve lasciare il posto ad un intreccio teorico-sperimentale con momenti e accentuazioni che privilegiano ora un aspetto ora l’altro.

Un problema didattico riguarda come collocare il laboratorio di chimica nel modo di fare scuola:

(a) Laboratorio e spiegazione teorica?

(b) Teoria ed esemplificazione in laboratorio?

Nell’approccio storico epistemologico che qui privilegiamo il laboratorio viene utilizzato prevalentemente per riproporre, quando possibile, quegli esperimenti che permettono di ripercorrere il percorso di conoscenza che hanno portato ai concetti fondamentali. Il laboratorio è imperniato nella *narrazione* che deve essere resa problematica per essere avvincente e costruttiva.

A questo proposito è importante sottolineare l’importanza delle leggi macroscopiche della chimica nell’insegnamento: in primo luogo perché costituiscono conoscenze fondamentali della disciplina; in secondo luogo perché consentono di realizzare un passaggio graduale dai concetti di senso comune agli aspetti più formalizzati della chimica. Questi argomenti inoltre sono essenziali per cogliere le caratteristiche dei diversi livelli di descrizione e di organizzazione della materia (livelli fra loro in relazione ma non completamente riducibili l’uno all’altro), in particolare la distinzione fra l’aspetto macroscopico, dove è possibile la pratica scientifica, e quello microscopico, astratto, dove risiedono le teorie più importanti della chimica.

Le leggi della chimica classica sono legate ad esperimenti, ma non sono leggi di tipo induttivo. Sono frutto di atti creativi di grandi scienziati che sono andati molto al di là dell’apparenza, al di là dell’osservazione. In questo caso il lavoro sperimentale è importante, ma non è sufficiente per la concettualizzazione. Se questo aspetto non è tenuto ben presente si rischia di cadere negli errori dell’attivismo e dello sperimentalismo ingenuo. C’è in quest’ultimo modo di concepire l’insegnamento scientifico l’idea che “se faccio, capisco”, ma sappiamo che non è così, se non si vogliono fare semplificazioni artificiose di una realtà che è complessa.

2. **Un esempio della storia della chimica: vedere i gas (invisibili) attraverso il bagno pneumatico**

Fenomeni ed esperimenti nei quali erano implicati gas erano conosciuti dall’antichità, ma i gas sfuggivano all’osservazione, alla percezione diretta. Le scoperte di Torricelli e Boyle furono possibili grazie all’invenzione di particolari dispositivi che permettevano di vedere l’aria, e di poterla osservare in modo talmente accurato da poterne misurare alcune proprietà. Lo strumento fondamentale è ovviamente quello di Torricelli che permette di racchiudere l’aria e di conoscerne la pressione semplicemente misurando un dislivello. Lo strumento di Torricelli diventerà un secolo dopo, per tutto il Settecento, lo strumento fondamentale della chimica: l’equivalente del microscopio per la biologia e del cannocchiale per l’astronomia. Venne chiamato *bagno pneumatico* ( Fig 1) e in genere si utilizzava acqua al posto del mercurio. È uno strumento particolarmente banale, e probabilmente come dispositivo in sé era già conosciuto da molto tempo, ma diventò uno strumento scientifico significativo solo dopo che Torricelli l’ebbe usato per confermare le sue ipotesi e assurse al ruolo di “microscopio” della chimica, soltanto dopo che Hales iniziò ad utilizzarlo in modo insolito, per raccogliere le *arie* che si producevano in seguito a trasformazioni chimiche. Utilizzato in questo modo, il bagno pneumatico permise nell’arco di 50 anni di iniziare a popolare di alcuni individui lo stato gassoso.

Black, ad esempio, scoprì un’*aria* più pesante dell’aria atmosferica e incapace di mantenere la combustione e la respirazione. La ottenne dalla decomposizione del calcare o più semplicemente dalla reazione tra un acido e calcare. Non era altro che biossido di carbonio (anidride carbonica). Black la chiamò *aria fissa*, volendo così intendere quell’aria contenuta nel calcare; venne chiamata anidride carbonica ottanta anni dopo, quando si capì che era un composto acido di carbonio ed ossigeno. Il bagno pneumatico permise, da una parte, *di scoprire il terzo stato di aggregazione della materia*, quello gassoso, e dall’altra, *di sviluppare la chimica delle arie*. Ad esempio, la decomposizione del calcare, grazie al bagno pneumatico, venne descritta in questi termini:

*carbonato di calcio* = *calce* + *aria fissa* (anidride carbonica)

mentre prima essa veniva semplicemente descritta in questi termini:

*carbonato di calcio* = *calce*

Con l’utilizzo del bagno pneumatico fu possibile confermare l’*ipotesi* che l’*aria*, che spingeva in basso l’acqua, *derivasse dal calcare, che per decomposizione si trasformava in calce ed aria:*

*calcare* (+ *calore*) = *calce* + *aria*

**2.1 Il percorso didattico**

Il percorso didattico, di cui si riportano le fasi principali, è tratto dal libro *Leggere il mondo oltre le apparenze* [4] ed è stato proposto oltre che nella scuola Ulderico Segre, anche nella formazione degli insegnanti nell’ambito dei Laboratori del Sapere scientifico della Regione Toscana (LSS).

Il percorso inizia con l’esperienza di decomposizione del carbonato di calcio, prima in ambiente aperto e poi nel bagno pneumatico

|  |
| --- |
| *Esp:1*. Calcinazione del calcare  *Attrezzatura e materiale occorrente:*  *- crogiolo, becco Bunsen, spatola, bilancia*  *- calcare in polvere, acqua distillata, cartina al tornasole*  Dopo aver pesato un crogiolo, versatevi dentro una punta di spatola abbondante di calcare in polvere; Ripesate il tutto e per differenza calcolate il peso del calcare. Riscaldate poi con una fiamma molta calda per 10-15 minuti.  Che cosa osservate? Secondo voi si è verificato qualcosa?  Apparentemente non avviene nessuna trasformazione, non si osserva nulla; ma in realtà qualcosa è avvenuto, come si può constatare:   1. pesando di nuovo il crogiolo appena freddo, si osserva una diminuzione di peso; 2. versando dell’acqua nel crogiolo e saggiando il miscuglio che si ottiene con della cartina al tornasole, si osserva un ambiente basico.   Ripetere lo stesso procedimento, utilizzando del carbonato di magnesio al posto del calcare (carbonato di calcio). Si notano delle differenze significative passando da una sostanza all’altra? |

|  |
| --- |
| *Esp.: 2*. La calcinazione del calcare o del carbonato di magnesio con il bagno pneumatico[[1]](#footnote-1)    *Attrezzatura e materiale occorrente:*   * *cilindro da 25 cm3, bacinella, provetta, tubo di raccordo* * *calcare o carbonato di magnesio in polvere, acqua distillata*   Ripetete l’esperimento precedente utilizzando un dispositivo sperimentale particolare, il bagno pneumatico. Operate in questo modo:  1) riempite un cilindro da 25 cm3 con acqua distillata e collocatelo capovolto (dopo averlo tappato con il dito) in una bacinella piena di acqua;  2) riscaldate energicamente per 10-15 minuti una provetta, dopo avervi versato dentro una punta di spatola abbondante di calcare o carbonato di magnesio in polvere e dopo averla messa in comunicazione, per mezzo di un tubo (di vetro o di gomma), con il bagno pneumatico.  Che cosa osservate?  Quali ipotesi siete in grado di formulare per dare una spiegazione di ciò che si osserva? |

Fin dal 2500 a.C. i popoli della Mesopotamia avevano imparato a trasformare il calcare in calce, avevano infatti constatato che la pietra calcarea (sostanza insolubile in acqua), con il riscaldamento ad alte temperature[[2]](#footnote-2), si trasformava in una sostanza, la calce, parzialmente solubile in acqua e con la proprietà fondamentale di comportarsi da legante.

Apparentemente questa trasformazione si verifica con diminuzione di peso (con un consumo di materia); apparentemente lo schema della reazione è dunque il seguente:

*calcare (+ calore) → calce*

Tutto ciò costituisce le conoscenze che si avevano di questa reazione (utilizzata da millenni dall’uomo per la sua utilità) fino alla metà del settecento.

**2.2 L’aria è chimicamente attiva**

La diminuzione del livello dell’acqua nel cilindro capovolto che si osserva durante la decomposizione del calcare non può che essere attribuita all’arrivo di aria. È quindi possibile **ipotizzare** che **l’aria** derivi dal calcare stesso, che per decomposizione si trasformi in calce ed aria.

*calcare (+ calore) → calce + aria*

Questa ipotesi venne avanzata e confermata sperimentalmente soltanto quando venne utilizzato il *bagno pneumatico*. Soltanto per mezzo del bagno pneumatico:

* l’aria, liberatasi durante la calcinazione del calcare, **diventava finalmente un fatto**, un fenomeno osservabile;
* **diventava possibile, andando oltre le apparenze, conoscere la realtà.**

Nel 1727 venne pubblicata un’opera del reverendo scozzese S. Hales, *Vegetable Staticks*, nella quale, per la prima volta, veniva mostrato come l’aria fosse un componente di molte sostanze. Hales era stato in grado di ricavare, grazie all’utilizzo del bagno pneumatico, dell’aria da molte sostanze per riscaldamento, per fermentazione, e con l’utilizzo di acidi e basi. Hales non fu in grado di distinguere i vari gas che si ottenevano da queste trasformazioni, egli pensava che si trattasse sempre dello stesso gas, cioè dell’aria atmosferica***.***

Le scoperte di Hales costituirono comunque l’atto di nascita del concetto di gas in quanto per la prima volta fu possibile confermare sperimentalmente che molte sostanze solide e liquide erano composte anche di aria, o detto in altri termini, che l’aria era chimicamente attiva (cioè l’aria partecipava a molte trasformazioni chimiche). Questa fu un’acquisizione scientifica fondamentale. Fin dall’antichità non era sfuggito il fatto che l’aria fosse essenziale in molte trasformazioni, ma ciò che per millenni non era stato compreso era la funzione chimica dell’aria.

**2.3 L’ipotesi dell’aria fissa**

Nel 1755 il chimico scozzese J. Black non si limitò ad affermare che il calcare fosse costituito da calce ed aria, ma avanzò l’ipotesi, confermata da molteplici esperimenti, che il calcare fosse un composto di calce e di una sostanza apparentemente simile all’aria, ma diversa. Questo *primo gas[[3]](#footnote-3)* *scoperto* oltre l’aria atmosferica venne chiamato da Black *aria fissa*: voleva con ciò intendere che quel gas, diverso dall’aria atmosferica, era contenuto (*fissato*) nel calcare:

*calcare (+ calore) → calce + aria fissa*

Le caratteristiche più significative di questo gas che permisero a Black di differenziarlo dall’aria atmosferica erano le seguenti:

1) non mantiene la combustione; 2) non permette la respirazione; 3) precipita l’acqua di calce.

|  |
| --- |
| *Esp. n. 3*. L’aria fissa non mantiene la combustione  *Attrezzatura e materiale occorrente:*   * *cilindro da 25 cm3, bacinella, provetta, tubo di raccordo* * *calcare o carbonato di magnesio in polvere, acqua distillata*   L’esperimento precedente era terminato con la raccolta di un gas dentro il cilindro. Non ci si era allora preoccupati di stabilire che tipo di gas fosse.  Togliete il cilindro dal bagno pneumatico, capovolgetelo e collocatevi dentro una candela accesa, sostenuta con un fil di ferro.  Che cosa osservate?  Se si effettua l’esperimento precedente in un cilindro abbastanza largo (500 o 1000 cm3), e se si ripete più volte, ogni 2-3 minuti, l’immersione della candela accesa dentro il cilindro, si osserva che la candela continua a spegnersi, ma sempre più in basso.  Domande per gli studenti:  Siete in grado di spiegare il motivo?  Inoltre come pensate di spiegare che, pur essendo trascorsi 5-10 minuti, la candela continua a spengersi nella zona intermedia del cilindro? |

|  |
| --- |
| *La distinzione tra calce viva e calce spenta*  Si è finora indicato con il termine calce la sostanza che si ottiene dalla calcinazione del calcare. In realtà da molto tempo si è effettuata la distinzione tra calce viva e calce spenta.  Questa distinzione a cosa è dovuta? Essa si basa sul seguente fenomeno: se si versa dell’acqua distillata in un becker (dopo averlo pesato) contenente una quantità pesata di calce viva (di calce, cioè, ottenuta per calcinazione del calcare) si osserva dello sviluppo di calore. A questo punto si cerca di eliminare completamente l’acqua aggiunta, riscaldando inizialmente a fuoco moderato, poi per alcune ore a temperature superiori per completare l’essiccamento. Tuttavia, nonostante questo trattamento, ripesando il becker, si constata un aumento di peso.  Come può essere spiegato questo fenomeno?  Con l’ipotesi che la sostanza residua contenga una determinata quantità di acqua combinata stabilmente. Schematizzando possiamo scrivere:  calcinazione  calcare calce viva + aria fissa  calce viva + acqua (quantità precisa) calce spenta + (calore)  La spiegazione di questo fenomeno venne data successivamente, quando, grazie alla teoria atomistica, poté essere effettuata la distinzione tra ossidi ed idrossidi. La calce viva è da allora chiamata ossido di calcio e la calce spenta idrossido di calcio. |

**2.2 La funzione esplicativa dell’ipotesi dell’aria fissa**

L’importanza dell’ipotesi dell’aria fissa risiede nei seguenti aspetti:

* per la *prima volta* veniva ipotizzata l’esistenza di un gas diverso dall’aria atmosferica;
* l’ipotesi dell’aria fissa permetteva finalmente di *spiegare una molteplicità di fenomeni* noti da molto tempo.

A questo punto del percorso si può rispondere alla domanda: Che cos’è l’effervescenza?

|  |
| --- |
| *Esperimento n. 4*  *Attrezzatura e materiale occorrente:*   * *matraccio, bacinella, tubo di raccordo* * *acido cloridrico, calce spenta, calcare in polvere, acqua distillata*   Pesate un matraccio da 250 cm3 dopo avervi messo 5 cm3 di acido cloridrico di media concentrazione e 40-50 cm3 di acqua distillata; versando lentamente del calcare in polvere dentro il matraccio, è possibile osservarne la dissoluzione, accompagnata da grande effervescenza. Si può determinare la quantità di calcare necessaria per arrivare al punto di saturazione, continuando ad aggiungerne fin quando non cessa l’effervescenza. Infine è possibile constatare, ripesando il matraccio, una diminuzione di peso rispetto alla somma del peso iniziale del matraccio contenente acido cloridrico ed acqua distillata e del peso del calcare impiegato.  Ripetendo lo stesso esperimento con calce spenta al posto del calcare, non si osserva né effervescenza, né diminuzione di peso.  acido cloridrico + calcare soluzione + effervescenza  acido cloridrico + calce spenta soluzione  Siete in grado di spiegare queste differenze tra le due reazioni? |

Black ritenne di poterle spiegare con l’ipotesi dell’aria fissa; mentre nella seconda reazione si avrebbe soltanto la combinazione tra acido cloridrico e calce (si ottiene il sale, solubile in acqua, cloruro di calcio), nella prima si avrebbe, in aggiunta a questa reazione, anche la formazione di un gas, l’aria fissa, che determinerebbe, allontanandosi dalla soluzione, contemporaneamente l’effervescenza e la diminuzione di peso.

E’ sufficiente collegare il matraccio contenente acido cloridrico e calcare con un bagno pneumatico (un tubo di sviluppo), per poter confermare che il gas raccolto ha le caratteristiche, indicate precedentemente, dell’aria fissa (formazione di un precipitato bianco).

In conclusione, l’aria fissa può essere liberata dal calcare sia per calcinazione che per reazione con acido cloridrico (o con un altro acido):

calcinazione

calcare calce + aria fissa

calcare + acido cloridrico cloruro di calcio + aria fissa

Dovrebbe essere evidente che il secondo procedimento per ricavare l’aria fissa è molto più semplice.

Con l’introduzione del bagno pneumatico diventava finalmente possibile fornire una spiegazione adeguata del fenomeno dell’effervescenza: l’effervescenza è dovuta allo sviluppo di un gas. Ancora alla fine del Seicento questo fenomeno non era stato minimamente compreso.

**3. Conclusioni**

Il percorso didattico è stato sperimentato più volte e in generale apprezzato dagli insegnanti come esempio di percorso storico epistemologico per comprendere, nella scuola secondaria di secondo grado, che la chimica nasce con il concetto di gas. Una realizzazione particolarmente efficace di questo itinerario didattico si può trovare fra i percorsi validati sulla piattaforma LSS [5].

**Bibliografia e sitografia**

1. https://www.soc.chim.it/sites/default/files/users/sci\_didattica/e-book%20Segre%202019%20con%20ISBN.pdf

2 Johnstone A. H., The development of chemistry teching: a changing response to changing demand, *J.Chem. Edu.*, **70**, 701-705 (1993).

3 P Mahaffy P., Moving chemical education in 3D: a tetrahedral metaphor for understanding chemistry, *J.Chem. Edu.*, 2006, **83**, 49-55 (2006)

4 Fiorentini C., Aquilini E., Colombi D., Testoni A., *Leggere il mondo oltre le apparenze* (Armando, Roma) 2007

5 IIS Agnoletti - La nascita del concetto di gas- in http://www311.regione.toscana.it/lr04/web/lss/prodotti

1. Il carbonato di magnesio si decompone a temperatura più bassa rispetto al calcare. [↑](#footnote-ref-1)
2. L’espressione “calcinazione del calcare” indica evidentemente la trasformazione del calcare in calce. Il termine “calcinazione” è, inoltre, diventato da molto tempo un termine generale: poiché questa trasformazione si verifica per riscaldamento ad alta temperatura, con “calcinazione” ci si riferisce a qualsiasi trasformazione chimica che avviene per riscaldamento ad alta temperatura. [↑](#footnote-ref-2)
3. Il termine gas per indicare queste sostanze venne introdotto successivamente; inizialmente esse vennero chiamate arie, impiegando il termine aria non più in funzione specifica ma generica. [↑](#footnote-ref-3)