

# Preparazione di tessere di vetro con acido bórico

Preparació de tesselles de vidre amb àcid bòric

Preparation of glass tesserae with boric acid

Gianluca Farusi / Istituto Tecnico Industriale Galileo Galilei (Avenza-Carrara, Italia)



## riassunto

Questo lavoro fa parte del progetto interdisciplinare «Studiare chimica con Plinio il Vecchio», realizzato con studenti di 14-15 anni al fine di approfondire la conoscenza delle tecnologie antiche. Il progetto prende spunto da alcuni dubbi ed affermazioni di Plinio il Vecchio ed è suddiviso in lezioni. Ogni lezione comincia con la discussione di un passaggio della *Naturalis Historia*, il contesto di senso da cui parte il processo di apprendimento, e poi si realizza, in laboratorio, o quanto è descritto nel testo o qualcosa di simile. Passo dopo passo, conseguente ad una discussione partecipata fra insegnante e studenti, prende forma un diagramma ad albero di esperienze di laboratorio il cui scopo è il raggiungimento degli obiettivi di chimica del primo anno di corso. Questa attività riguarda la produzione del vetro.

## parole chiave

Vetro, storia della chimica, reazione chimica in ambiente non acquoso, stato della materia.

## resum

Aquest treball és part del projecte interdisciplinari «L'estudi de la química amb Plini el Vell», dut a terme amb estudiants de 14-15 anys per explorar les antigues tècniques científiques. El projecte es basa en alguns dels dubtes i les declaracions de Plini el Vell i se subdivideix en lliçons. Cada lliçó discuteix un passatge seleccionat de la *Naturalis Historia*, context en el qual s'inicia el procés d'aprenentatge; a continuació, es reproduceix al laboratori el que es descriu en el text o alguna cosa similar. Pas a pas, com a conseqüència de la interacció entre professor i alumnes, va prenent forma una estructura d'arbre amb els experiments de laboratori amb la finalitat d'assolir els objectius d'un primer curs de química. Aquesta activitat en concret es refereix a la fabricació del vidre.

## paraules clau

Vidre, història de la química, reacció química en medi no aquós, estat de la matèria.

## abstract

This work is a part of the interdisciplinary project «Studying chemistry with Pliny the Elder», developed with 14-15 year old students to explore ancient scientific techniques. The project moves through some doubts and statements of Pliny the Elder and is divided into lessons. Each lesson begins discussing a selected passage of the *Naturalis Historia*, the context from which the learning process starts; then what is described in the text, or something similar, is recreated in the lab. Step by step, as a consequence of interplay between teacher and students, a tree structure set of demonstrations takes shape, whose purpose consists of reaching first year chemistry course goals. This activity concerns glass-making.

## keywords

Glass, history of chemistry, chemical reaction in non-aqueous medium, state of matter.

## Introduzione

Questa esperienza, relativa a quella parte della programmazione didattica inerente alle trasformazioni chimiche in ambiente non acquoso, fa parte del progetto «Studiare chimica con Plinio il Vecchio», realizzato dallo scrivente nel 2011 e risultato vincitore, a Copenhagen, del premio ELLS dell'Euroforum in occasione del festival Science on Stage. Sono sempre stato convinto che l'aspetto fondamentale nell'educazione scientifica sia la motivazione. Si può essere anche il più bravo insegnante di nuoto del mondo ma se non si convince l'allievo a tuffarsi in acqua, la propria bravura diventa inutile. Con questo progetto ho inteso così lavorare in primis sull'aspetto motivazionale. Tra i 14 e i 15 anni, l'attrazione per l'archeologia, anche per quella sorta di spirito alla Indiana Jones che pervade gli allievi di quella età, è un'occasione da sfruttare per trasmettere concetti scientifici e così ho pensato di fare. Il progetto ha come filo conduttore i dubbi e le affermazioni di Plinio ed è suddiviso in lezioni. Ogni lezione comincia con l'esame di un passo della *Naturalis Historia* che rappresenta il contesto di senso da cui si intende far partire il processo di apprendimento. Passo dopo passo, come conseguenza di lezioni partecipate, prende forma una rete di esperienze di laboratorio il cui scopo è quello di veicolare le competenze disciplinari del primo anno di chimica di scuola superiore. Viene discusso in aula il passo della *Naturalis Historia* e poi si procede con il riadattare in laboratorio o lo stesso fenomeno naturale o qualcosa di simile. In questo modo tenuti per mano da Plinio, gli studenti si trovano nella stessa condizione prescientifica in cui si trovava l'autore latino e questo porta ad

una forte motivazione allo studio. Le seguenti esperienze, «Il profumo di Giulio Cesare» ([http://www.scienceinschool.org/repository/docs/issue21\\_caesar.pdf](http://www.scienceinschool.org/repository/docs/issue21_caesar.pdf)) e «L'inchiostro ferro gallico» ([http://www.scienceinschool.org/repository/docs/issue6\\_galls.pdf](http://www.scienceinschool.org/repository/docs/issue6_galls.pdf)), sono state già pubblicate su Science in School quella sull'indaco è di prossima pubblicazione sempre sulla stessa rivista.

## Il passo della *Naturalis Historia*

Libro xxxvi, p. 190-191:

Pars Syriae, quae Phoenice vocatur, finitima Iudaeae intra montis Carmeli radices paludem habet, quae vocatur Candebia. Ex ea creditur nasci Belus amnis quinque milium passuum spatio in mare perfluens iuxta Ptolemaidem coloniam. [...] Quingentorum est passuum non amplius litoris spatium, idque tantum multa per saecula gignendo fuit vitro. Fama est adpulsa nave mercatorum nitri, cum sparsi per litus epulas pararent nec esset cortinis attolendis lapidum occasio, glebas nitri e nave subdidisse, quibus accensis, permixta arena litoris, tralucentes novi liquoris fluxisse rivos, et hanc fuisse originem vitri.



In Siria c'è una regione chiamata Fenicia, confinante con la Giudea, e che comprende tra le basse pendici del monte Carmelo, una zona paludosa che si chiama Candebia. Si pensa che in questa zona nasca il fiume Belo che, dopo un tragitto di

cinque miglia, si getta nel mare vicino alla colonia di Tolemaide. [...] La spiaggia su cui si deposita questa sabbia non si estende per più di cinquecento passi ma, nonostante ciò, per molti anni, è stato l'unico posto a fornire il materiale necessario a fare il vetro. Si dice che una nave di mercanti di soda fosse approdata in questo posto e dovendosi preparare il pasto ma non trovandosi pietre che potessero fare da sostegno ai pentoloni, si fossero utilizzati allo scopo dei blocchi di soda presi sulla nave. Sottoposti al calore del fuoco e combinandosi con la sabbia della spiaggia, produssero rivoli trasparenti di un liquido ancora sconosciuto: questa, si dice, sia stata l'origine del vetro.

## Suggerimenti su come introdurre la discussione in aula

Quella di Plinio è la leggenda più famosa che descrive la scoperta del vetro, ma i reperti archeologici di cui disponiamo situano le prime officine di produzione del vetro in Mesopotamia nel III secolo a. C. Il patrimonio vetrario antico, la cui più importante collezione si trova al British Museum, è difficile da studiare in quanto i reperti di confronto sono pochi. E' più semplice studiare invece, sulla base del contenuto dei reperti, lo scopo per il quale tali manufatti venivano prodotti; ad esempio in molti casi si tratta di contenitori per profumi. Il vetro è da considerarsi il più antico materiale di sintesi inventato dall'uomo. Gli oggetti in vetro dell'antica Roma, hanno una composizione pressoché simile per quanto concerne la percentuale dei componenti presenti; da ciò possiamo dedurre che la produzione e la lavorazione del vetro erano due attività separate che avvenivano in luoghi differenti. C'erano officine vetrarie che si occupavano della preparazione di



lingotti di vetro grezzo, ed officine, in posti anche molto lontani da questi, dove i lingotti venivano fusi e lavorati. A questo riguardo ci sono evidenze archeologiche secondo cui a Ja-vols (l'antica Anderitum) nell'attuale dipartimento della Lozère (l'antica civitas Gabalorum), in Francia, il vetro veniva lavorato ma non prodotto mentre a Tell-el-Amarna, in Egitto, era sintetizzato a partire dalle materie prime. Che il processo produttivo fosse suddiviso in due fasi, influì anche sulle prime teorie sulla natura del vetro che gli antichi greci e romani formularono. Sia i metalli sia il vetro venivano importati sotto forma di lingotti e ciò non contribuì a far riflettere sul fatto che i primi si ottenevano per estrazione e i secondi erano frutto di una, oggi diremo, trasformazione chimica. Platone asseriva così che il vetro apparteneva alla classe di corpi fatti di terra ed acqua ed Aristotele (*La Meteorologia*, libro IV, § 389a) associava il vetro ai metalli: «χρυσός μὲν δὴ καὶ ἄργυρος καὶ χαλκός καὶ καττίτερος καὶ μόλυβδος καὶ ἕαλος καὶ λίθοι πολλοὶ ἀνώνυμοι ὕδατος πάντα γὰρ τήκεται ταῦτα θερμῷ» – «oro, argento, bronzo (rame), stagno, piombo, vetro e molti tipi di pietre che non hanno nome, sono d'acqua perché tutti questi fondono per azione del

calore». Una cosa che è bene sottolineare agli studenti è la differenza tra ciò che indichiamo comunemente con il termine vetro (dove si pone l'accento sulla composizione chimica) e lo stato vetroso. Infatti anche lo zucchero filato, alcune caramelle, il caramello... sono vetro! Aiutandoci con il modello di Zachariasen dovremmo anche sottolineare che lo stato vetroso e lo stato amorfo non sono sinonimi. Seguendo il suo suggerimento potremmo dire che, disponendo di due tipi di mattonelle: un tipo A, che ha al suo interno elementi ordinati, ed un tipo B, che non li contiene, un cristallo è come un pavimento formato da mattonelle di tipo A accostate in modo da rispettare una qualche simmetria, il vetro è come un pavimento formato da mattonelle di tipo A accostate in modo disordinato, un solido amorfo è come un pavimento formato da mattonelle di tipo B. Il vetro è quindi ordinato a corto raggio ma non a lungo raggio. Il vetro  $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$  moderno ha una viscosità paragonabile a quella del miele attorno ai 1050 °C, il vetro antico fondeva sicuramente a temperature inferiori. La composizione chimica dei reperti vitrei di età romana è essenzialmente questa: silice 64-75 %, ossido di sodio

15-23 %, ossido di calcio/magnesio 10-13 %. La qualità del vetro aumenta in modo sensibile in funzione della silice in esso contenuta ma, un'eccessiva quantità di questo componente avrebbe portato a temperature di fusione proibitive per l'epoca. L'aggiunta di carbonato di sodio e di potassio aveva infatti lo scopo di abbassare la temperatura di fusione ma aveva al tempo stesso lo svantaggio di aumentarne la solubilità in acqua, svantaggio controbilanciato dall'aggiunta di carbonato di calcio che ha un doppio ruolo: quello di diminuirne la solubilità in acqua e quello di stabilizzare il sistema. C'è da pensare però, che nel mondo antico la calce non era sempre riconosciuta come un componente separato della miscela; proveniva infatti, o assieme alle sostanze alcaline (le ceneri di alcune piante contengono calce oltre a carbonato di sodio e di potassio) o assieme alla silice (le sabbie marine potevano contenere conchiglie frantumate). In Mesopotamia si frantumavano ciottoli di fiume quale sorgente di silice e si aggiungevano ceneri di piante contenenti calce, mentre le popolazioni che si affacciavano sul Mediterraneo utilizzavano sabbie contenenti calce. Quegli oggetti di vetro fatti con del materiale che conteneva quantità insufficienti di calce si sono completamente disintegrati e questo potrebbe spiegare la carenza di manufatti in vetro risalenti al periodo che va dal tardo II millennio al I millennio a. C. Lo stesso Plinio non riconosce l'importanza dell'aggiunta di conchiglie all'impasto e quando descrive il «nuovo modo di fare il vetro» ricorda solo due ingredienti: sabbia e soda. Già gli antichi avevano capito l'importanza del riciclaggio del vetro. Questo è testimoniato non solo da fonti letterarie (Marziale, *Epigramma* XLII, libro I: «Transtibe-

rinus ambulator qui pallentia sulphurata fractis permutat vitreis...» – «Un ambulante traste-verino che per del vetro rotto dà in cambio zolfanelli...») ma anche da reperti, dal momento che a Pompei sono stati scavati frammenti di vetro raccolti in un canestrino di vimini. Con i frammenti non solo si potevano fare gli occhi alle statue bronzee ma anche le tessere per i mosaici. Vicino alla scuola dove insegno (ITIS Galilei in Avenza-Carrara) a 40 minuti di cammino si trova il sito archeologico della Luni romana. Fra le altre cose qui si può ammirare quello che resta di alcuni mosaici che raffigurano pesci e che sono stati realizzati anche con tessere di vetro al cobalto (fig. 1). Lo scopo che si pone questa attività è proprio quello di fare delle tessere di vetro per mosaico. La prima difficoltà che si incontra è quella di ottenere delle condizioni di lavoro realizzabili nei laboratori scolastici; come è noto infatti anche gli antichi disponevano di fornaci dove si raggiungevano temperature dell'ordine dei 1600 °C e dove il vetro era fuso in crogioli di pietra. L'elevata temperatura del processo è legata alla presenza della silice che costituisce l'«ossido formatore di reticolo», un ossido cioè, che utilizza gli atomi di ossigeno per formare reticoli tridimensionali. Sostituendo «gli ingredienti» sopra riportati con ossido di zinco, ossido di piombo ed anidride borica, si ottiene però l'effetto desiderato. Anche l'anidride borica, infatti, è un «ossido formatore di reticolo», ma dà luogo a miscele che fondono e reagiscono a temperature inferiori, raggiungibili nel laboratorio didattico. Alla miscela su ricordata abbiamo aggiunto anche piccole quantità di ossidi di metalli di transizione al fine di ottenere del vetro colorato.

## Parte sperimentale

### Materiali

- Beaker: 50 mL
- Crogiolo di metallo
- Triangolo di porcellana
- Bunsen
- Portacandele di alluminio
- Acido borico: 3,5 g
- Piombo(II) ossido: 6,5 g
- Zinco ossido: 0,5 g
- Rame(II) ossido: tracce
- Cobalto(II) ossido: tracce
- Manganese(IV) ossido: tracce
- Cromo(III) ossido: tracce

### Per le note di sicurezza

- Acido borico (*Pericolosità bassa*) far riferimento a CLEAPSS Hazcard 14.
  - Piombo(II) ossido (*Tossico, dannoso per l'ambiente*) far riferimento a CLEAPSS Hazcard 56.
  - Zinco ossido (*Dannoso per l'ambiente*) far riferimento a CLEAPSS Hazcard 108B.
  - Rame(II) ossido (*Nocivo, dannoso per l'ambiente*) far riferimento a CLEAPSS Hazcard 26.
  - Cobalto(II) ossido (*Nocivo, dannoso per l'ambiente*) far riferimento a CLEAPSS Hazcard 25.
  - Manganese(IV) ossido (*Nocivo*) far riferimento a CLEAPSS Hazcard 60.
  - Cromo(III) ossido (*Pericolosità bassa*) far riferimento a CLEAPSS Hazcard 24.
- (<http://www.cleapss.org.uk/secondary/secondary-science/hazcards>)

### Procedura

In un beaker, si pesano 6,5 g di ossido di piombo(II), 3,5 g di acido borico e 0,5 g di ossido di zinco. Si mescola il miscuglio e lo si versa nel crogiolo (fig. 2).



Figura 2.

Si pone il crogiolo su un triangolo di porcellana, su un treppiede, sopra la fiamma di un becco Bunsen. Si riscalda, inizialmente, con cautela e poi, in modo più deciso fino a fusione, finché la pasta vitrea non è scorrevole. Si aggiunge qualche granello di ossido di metallo di transizione (fig. 3).

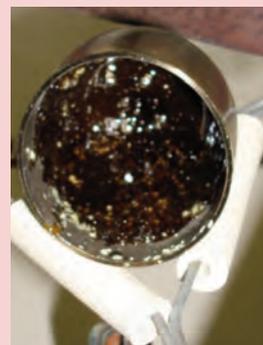


Figura 3.

Facendo attenzione si versa la miscela fusa nel portacandele di alluminio (fig. 4).



Figura 4.

Si lascia raffreddare il vetro e poi lo si lavora a forma di tessera utilizzando della carta vetra (fig. 5).



Figura 5.

Alcune tessere di vetro (fig. 6).



Figura 6.

### Domande per la discussione

– Perché lo zucchero filato, alcune caramelle (a. e. Charms...), il caramello... possono definirsi vetro?

– Quali fenomeni ti fanno pensare che nel crogiolo sia avvenuta una trasformazione chimica?

– Per quale motivo molti reperti vitrei del mondo antico si sono disintegrati?

– Quali somiglianze caratterizzano il chimismo di silice ed anidride borica relativamente al processo di vetrificazione?

– Se, in via ipotetica, tu potessi realizzare una curva di riscal-

damento per un sistema vetroso, otterresti una sosta termica?

– Per quale motivo un vetro di epoca romana antica, se paragonato ad uno attuale, presenta alla stessa temperatura una viscosità minore?

– Per quale motivo, secondo te, i vetrai del mondo antico erano in grado di avere un'idea della temperatura del vetro che lavoravano, valutandone colore e viscosità?

– Alcuni scavi a Bet Sheelan in Israele, hanno riportato alla luce quel che resta di un negozio di un vetraio. Vicino ai resti di quella che era una fornace, sono stati

rinvenuti molti noccioli di oliva. Qual era, a tuo avviso, il loro impiego?

– Degli stampi di argilla greci, risalenti a fine quinto, inizio IV secolo a. C., hanno mostrato sulla superficie tracce di corindone. A quale scopo pensi possa essere stato utilizzato?

– A causa delle impurezze di ferro presenti, il colore «naturale» del vetro antico variava da un verde giallastro ad un verde bluastro. Da cosa dipendeva, a tuo avviso, tale variabilità nella colorazione?

– L'aggiunta di ossido di cobalto permetteva di ottenere vetri di colore bleu, mentre l'aggiunta di ossido di rame vetri tendenti al bleu, al verde o al rosso. Da cosa dipendeva, a tuo avviso, questa variabilità di colore?

### Riferimenti bibliografici

CAMPANELLA, L.; CASOLI, A.; COLOMBINI, M. P. [et al.] (2007). *Chimica per l'arte*. Bologna: Zanichelli.

OLESON, J. P. [ed.] (2008). *The Oxford handbook of engineering and technology in the classical world*.

Oxford: Oxford University Press.  
<http://www.nuffieldfoundation.org>.



### Gianluca Farusi

Insegna chimica presso l'Istituto Tecnico Industriale Galileo Galilei in Avenza-Carrara (MS) e, dal 2004, è esercitatore di stechiometria presso l'Università di Pisa per il corso di laurea in Chimica e Tecnologie Farmaceutiche. È tutor regionale, per la Toscana, per il progetto ISS («Insegnare Scienze Sperimentali») e, limitatamente alle scuole secondarie, per il regolamento REACH.

E-mail: [bilanciamento@yahoo.it](mailto:bilanciamento@yahoo.it).