



Società Chimica Italiana

La Chimica nella Scuola



Indice

- 5 Eitoriale
Luigi Campanella
- 7 Dalla copertina
Liberato Cardellini
- 13 The amount of substance and the mole:
a historical approach to their teaching and learning.
Giuliano Moretti
- 29 Spiegare il visibile complicato per mezzo dell'invisibile
semplice.
Antonio Testoni
- 35 La passione per l'insegnamento:
Un dialogo con Brian P. Coppola
Liberato Cardellini
- 41 Le dodici pietre: il Giacinto o Zircone rosso
Pasquale Fetto
- 75 Federchimica per la scuola
Luigi Campanella
- La scienza che muove il mondo
20^{ma} Edizione – Premio Nazionale Federchimica Giovani
- 76 Dalla Divisione di Didattica
Iniziative 2017
- 77 Istruzioni per gli Autori

Il patrimonio culturale e monumentale: protezione, restauro, stabilità, sicurezza, digitalizzazione

Il patrimonio culturale e monumentale è localizzato per la maggior parte nelle città, ed è pertanto soggetto ai danni che derivano dalle emissioni dei combustibili oltre che dal deterioramento dovuto ad agenti naturali quali vento, pioggia, crolli. Un programma sulle smart cities non può non comprendere un settore dedicato ai beni culturali ed in particolare a protezione, restauro, stabilità, sicurezza, digitalizzazione con un punto che va sottolineato: ogni bene culturale è un unicum, diverso da qualsiasi altro, composto di materiali fra loro diversi, con storie diverse.

Protezione significa soprattutto evitare al massimo il contatto con l'ambiente esterno, in particolare nelle strade molto trafficate, mediante sistemi protettivi fisici e/o chimici, confinamento in musei, utilizzo di copie (v. Marcaurelio al Campidoglio) ecc.

Il *restauro* comporta conoscenze approfondite e variegate, esperienza nell'impiego dei materiali idonei.

La *stabilità* è un problema assai pressante in un paese ad alta valenza sismica con una forte componente di dissesto idrogeologico, e va perseguita anche attraverso impiego di sensori che colgano precocemente eventuali movimenti. La *sicurezza* implica complessi sistemi sia chimico – fisici sia elettronici oltre che l'impiego di personale delle forze dell'ordine (non mancano furti e vandalismo), con particolare attenzione alla possibile presenza di componenti tossiche nei materiali che si impiegano.

La *digitalizzazione* sta diventando un punto essenziale per la fruizione da parte del largo pubblico, oltre che per un controllo di eventuali non desiderati segnali di deterioramento o instabilità. Infine la creazione di **presidi critici per la conoscenza e la manutenzione programmata** dei centri storici appare oggi indispensabile. Oggi la manutenzione del patrimonio culturale avviene sostanzialmente soltanto con interventi straordinari di restauro, mentre viene trascurato qualsiasi intervento di manutenzione ordinaria che potrebbe prevenire il danno. Ogni degrado di un'opera d'arte

6 *Editoriale*

comporta una perdita anche economica: prevenirlo significa guadagnare ed utilizzare per altri interventi i soldi riaparmati. E' ovvio che una manutenzione ordinaria frequente non è compatibile con la generale scarsità delle risorse a disposizione. Il traguardo diviene allora ottimizzare la frequenza di intervento tenendo conto:

- della velocità di degrado ,misurata attraverso opportuni indicatori chimico/fisici (ad es. la solfatazione in caso di materiali lapidei,
- delle perdite di valore che corrispondono a tale degrado
- delle risorse a disposizione
- dei differenti costi della manutenzione in funzione della sua frequenza e dei processi e prodotti adottati; da questo punto di vista si comprende come l'innovazione di processo e di prodotto che spesso si accompagna al risparmio ed alla accresciuta sicurezza non può essere rifiutata in funzione di un pigro conservatorismo. Se sono disponibili prodotti e processi più sicuri ed economici devono essere adottati.

Dalla Copertina

Brian P. Coppola

5 febbraio 1957
Lawrence – Massachusetts

di Liberato Cardellini



Brian P. Coppola

Brian P. Coppola è l'Arthur F. Thurnau Professore di Chimica presso l'Università del Michigan. Nato nel 1957, lo stesso anno in cui fu lanciato lo Sputnik, si è formato sotto l'influsso dei movimenti progressisti della scuola degli anni '60. Eccelleva nel programma di preparazione al college nella Pinkerton Academy, a Derry, NH. Ha ricevuto la laurea in Chimica (B.S.) nel 1978 nell'Università del New Hampshire, dove ha anche perseguito il suo interesse per l'arte, in particolare, il disegno. Nel 1980, durante la scuola di specializzazione presso l'Università del Wisconsin-Madison, mentre prestava volontariato come leader del primo gruppo di studio in chimica organica per il Greater University Tutorial Service (GUTS), Coppola ha avuto un incontro casuale con Harry Behrman. Behrman ha inventato il programma GUTS come parte del suo dottorato di ricerca in materia d'istruzione, e che ritrovò seduto in fondo all'aula del gruppo di studio di Coppola, a prendere appunti per la sua tesi. Ogni settimana, Behrman e Coppola hanno avuto un paio d'ore d'intensa conversazione sulla formazione come terreno di attività accademica, la cui integrazione nel bagaglio scientifico costituì la base degli interessi professionali di Coppola e dei suoi progetti per il futuro.

Coppola ha conseguito il dottorato di ricerca in Chimica Organica presso l'Università del Wisconsin-Madison, nel 1984, avendo già servito per due anni come docente presso l'Università del Wisconsin-Whitewater. Trasferitosi come docente ad Ann Arbor nel 1986, si è unito a un gruppo di docenti attivo nella progettazione e realizzazione di un nuovo piano di studi universitari di chimica. Durante il suo incarico nel 1996-7 ha stabilito una nuova politica in seno al Collegio di Lettere, Scienze e Arti dell'Università del Michigan, riconoscendo l'insegnamento e l'apprendimento centrato sulla disciplina specifica come un'area che poteva essere rappresentata all'interno dei dipartimenti LSA [1]. Fu promosso Professore Ordinario di Chimica nel 2001-2.

Negli anni 2002-12, ha servito come quinto responsabile per il Curriculum and Faculty Affairs del dipartimento, e nel 2012 è stato nominato primo responsabile per l'Educational Development and Practice. In tale veste, Coppola è il responsabile per la direzione dei programmi futuri del dipartimento in seno alla facoltà, in cui studenti universitari, dottorandi e collaboratori post-dottorato collaborano con i docenti della facoltà per i progetti sull'insegnamento e l'apprendimento all'interno del dipartimento.

Lavorando con un gruppo di ricerca di studenti universitari, Coppola ha pubblicato alcuni studi degni di nota che hanno contribuito alla comprensione dell'influenza delle interazioni non covalenti sulla regio-selettività delle reazioni di cicloaddizione 1,3-dipolare dei münchnoni mesoionici [2, 3]. La centralità e la specificità della disciplina giocano un ruolo importante nel lavoro di Coppola [4]. Ha promosso i vantaggi della collaborazione coinvolgendo diverse figure professionali quali i colleghi di psicologia e psicopedagogia nell'insegnamento e nell'apprendimento delle scienze: è risultato che la somma delle competenze è maggiore di quanto un individuo possa apportare nella didattica [5, 6]. Da quando si è trasferito ad Ann Arbor, il programma di laurea di chimica organica presso l'Università del Michigan ha avuto un collegamento stabile tra la letteratura originale, l'apprendimento autentico e il progetto istruzionale basato sulla ricerca [7-10].

Combinando la sua esperienza con il programma GUTS con la sua esperienza nei corsi di arte, Coppola e i suoi studenti collaboratori hanno lanciato nel 1994 il programma Structured Study Group, un programma d'istruzione supplementare basato sul lavoro di gruppo, guidato dagli studenti, che presenta i compiti da svolgere ispirati alla ricerca utilizzando la letteratura originale, materiale didattico prodotto dagli studenti, come pure proporre, pianificare e realizzare progetti di ricerca in scala minimale.

Coppola fu uno dei primi a contribuire agli sforzi della Carnegie Foundation per definire e sviluppare la Scholarship of Teaching and Learning. Il suo interesse è cominciato con la comprensione di come la cultu-

ra scientifica si sviluppa attraverso delle particolari comunità intergenerazionali: i “gruppi di ricerca”. Come una tecnologia, questa strategia può essere ampliata per fornire i “gruppi per l’insegnamento”, come un modo per qualsiasi docente di una facoltà tradizionale di perseguire la scholarship in teaching and learning. La formazione dei futuri insegnanti della facoltà gioca un ruolo chiave in questo piano. I nuovi membri del corpo docente, Coppola sostiene, devono essere preparati a svolgere le loro responsabilità educative in modo indipendente quanto lo sono nel portare avanti le loro carriere nella ricerca [11]:

Se la scholarship non solo include gli oggetti e i processi per lo svolgimento dell’attività scientifica (informato, intenzionale, impermanente), ma anche presta esplicita attenzione al modo in cui si educa la prossima generazione, allora sarebbe necessario un approccio in cui tutti questi elementi sono portati avanti e possono crescere insieme.

Il nuovo incarico di Coppola nel suo dipartimento è associato con la conferma delle posizioni preventivate per tutti i membri della comunità intergenerazionale, dagli studenti universitari ai colleghi post-dottorato, che desiderano collaborare con i docenti della facoltà nella crescita e/o nella valutazione didattica. Questo programma prevede un meccanismo per alimentare la costante attenzione alla didattica, nel dipartimento, in parallelo con le attività di ricerca.

È Editore Associato del *Journal for Research in Science Teaching* ed è stato il co-editore, insieme a Joseph Krajcik, di due numeri speciali di JRST riguardanti la ricerca sulla didattica universitaria incentrata sulla disciplina. Dal 1998, è stato il caporedattore di *The Hexagon*, della pubblicazione trimestrale *Alpha Chi Sigma*, della confraternita professionale di chimica. Ha riconosciuto il potenziale di una fotografia, pubblicata su *Scientific American*, che mostra uno chef fare il gelato istantaneo con l’azoto liquido. Il suo breve resoconto pubblicato nel *Journal of Chemical Education* è la fonte originaria di questa ormai onnipresente attività chimica [12]; le ricerche sui brevetti per i processi di surgelamento commerciale riportano sempre la citazione di questo documento. Guardando ancora più indietro, le sue prime pubblicazioni nel *Journal of Chemical Education*, come studente, furono una serie di vignette pubblicate con il titolo *Animated Alchemy* [13], un’abitudine che è continuata [14].

Dalla progettazione di molteplici ambienti di apprendimento alla ricerca didattica, tutto nel repertorio di Brian Coppola deriva dalla sua eccellenza riconosciuta a livello internazionale, come docente. Un paio di generazioni di studenti, per lo più interagendo in corsi molto numerosi [15], hanno lasciato i suoi corsi avendo appreso da un principio morale che lui definisce "piena presenza umana" [16]. Nel 1994, Coppola ha ricevuto il 4° "Golden Apple Award" per l’insegnamento eccezionale, un riconoscimento organiz-

zato e gestito esclusivamente dagli studenti universitari. Nel 1996, è stato insignito dell'Undergraduate Computational Science Education Award, dall'United States Department of Energy. Nel 1998 Coppola fu selezionato come membro del primo gruppo di Studiosi Carnegie affiliato al programma CASTL (Carnegie Academy on the Scholarship of Teaching and Learning) del *Carnegie Foundation for the Advancement of Teaching*. Ha ricevuto l'Amoco Foundation Award for Excellence in Undergraduate Teaching (1999), il Kendall-Hunt Outstanding Undergraduate Science Teacher Award dalla Society for College Science Teachers (2003) e l'American Chemical Society's James Flack Norris Award (2006). Nel 2002, è stato eletto Socio dell'American Association for the Advancement of Science. Coppola è stato nominato Professore dell'Anno nel programma US Professor of the Year CASE/Carnegie (2004) per lo Stato del Michigan e nel 2009 è stato selezionato come Professore Nazionale USA dell'Anno CASE/Carnegie.

Nel 2012, ha ricevuto il Robert Foster Cherry Award for Great Teaching.

Nel 1998, riflettendo sullo scopo e il valore dell'interazione faccia a faccia negli ambienti scolastici, Richard Zare ha indicato il principio didattico per cui "Ispirare è più importante dell'informare" [17]. Anche allora, prima di questa nuova era e con la mentalità sbagliata di ridurre la formazione al conteggio delle risposte corrette su esami standardizzati e problemi di fine capitolo, Zare faceva appello ai valori fondamentali per ciò che ispira davvero l'apprendimento: il talento unico di persone altamente competenti che possono evocare il tuono, accattivarsi, persuadere e motivare molti studenti ad imparare. I premi qui elencati riconoscono le qualità non comuni di un grande docente di chimica, capace d'insegnare e ispirare l'apprendimento. Stiamo abbandonando l'importanza dell'elemento umano: un'occasione di spontaneità perduta nel buio sotto al bagliore di diapositive proiettate dal computer. Quello di cui possiamo aver bisogno è un ritorno ai valori fondamentali e di accrescere le competenze professionali: risorse umane per coinvolgere e motivare gli studenti a studiare la chimica.

Bibliografia

- [1] M. T. Huber, *Balancing acts: the scholarship of teaching and learning in academic careers*, American Association for Higher Education and the Carnegie Foundation for the Advancement of Teaching, Washington, DC, 2004.
- [2] B. P. Coppola, M. C. Noe, S. S.-K. Hong, *Tetrahedron Lett.*, 1997, **38**, 7159.
- [3] B. P. Coppola, M. C. Noe, R. L. II Abdon, R. G. Konsler, *J. Org. Chem.*, 1993, **58**, 7324.
- [4] B. P. Coppola, J. S. Krajcik, *J. Res. Sci. Teach.*, 2013, **50**, 627.
- [5] A. Zusho, P. R. Pintrich, B. P. Coppola, *Int. J. Sci. Educ.*, 2003, **25**, 1081.
- [6] B. P. Coppola, *J. Chem. Educ.*, 2013, **90**, 955.
- [7] B. P. Coppola, R. G. Lawton, *J. Chem. Educ.*, 1995, **72**, 1120.
- [8] S. N. Ege, B. P. Coppola, R. G. Lawton, *J. Chem. Educ.*, 1997, **74**, 74.
- [9] B. P. Coppola, S. N. Ege, R. G. Lawton, *J. Chem. Educ.*, 1997, **74**, 84.

- [10] A. C. Gottfried, R. D. Sweeder, J. M. Bartolin, J. A. Hessler, B. P. Reynolds, I. C. Stewart, B. P. Coppola, M. M. Banaszak Holl, *J. Chem. Educ.*, 2007, **84**, 265.
- [11] B. P. Coppola, *J. Chem. Educ.*, 2007, **84**, 1902, p. 1905.
- [12] B. P. Coppola, J. W. Hovick, D. S. Daniels, *J. Chem. Educ.*, 1994, **71**, 1080.
- [13] P. R. Jones, B. P. Coppola, *J. Chem. Educ.*, 1978, **55**, 6.
- [14] R. Hoffmann, P. v. R. Schleyer, H. F. Schaefer III, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2008, **47**, 7164.
- [15] B. P. Coppola, Strength in numbers. Making the large lecture course work for you. In C. A. Stanley, M. E. Porter, (Eds.), *Engaging large classes. Strategies and techniques for college faculty*, (pp. 257-268), Anker, Bolton, MA, 2002.
- [16] B. P. Coppola, Full human presence. In A. G. Reinartz, E. R. White, (Eds.), *Beyond teaching to mentoring. New directions in teaching and learning no. 85*, (pp. 57-73), Jossey-Bass, San Francisco, 2001.
- [17] B. P. Coppola, *Chem. Educator*, 1998, **3**:s00897980215a.

The amount of substance and the mole: a historical approach to their teaching and learning

Giuliano Moretti

Dipartimento di Chimica, Sapienza Università di Roma,
Piazzale A. Moro, 5 00185 Roma, Italy
E-mail: giuliano.moretti@uniroma1.it

Abstract

A new didactic strategy is proposed to teach the base quantity *amount of substance* and its unit, the *mole*. The concept of relative atomic weight represents the key for counting elementary chemical species by weighing. According to this view it is suggested that Cannizzaro's approach based on Avogadro's hypothesis and the "law of atoms" should be one of the best way to teach the mole concept.

A table entitled *Advances in the atomic-molecular theory* is also presented to help the students to understand the mole concept in a historical perspective.

Keywords

General chemistry. The International System of Units (SI). Amount of substance. Mole concept. Chemical education research.

1. Introduction

It is well known that between the seven base physical quantities of the International System of Units (SI) [1-4] the *amount of substance*, and its unit, the *mole*, represent very difficult concepts for the high school and first-year undergraduate students [5-7]. This is quite strange considering that the others six SI base physical quantities (and their units), *length (metre)*, *mass (kilogram)*, *time (second)*, *electric current (ampere)*, *thermodynamic temperature (Kelvin)*, and *luminous intensity (candela)*, are easily appreciated by the students and even by ordinary people. Probably the mole concept is difficult to grasp because it is related to the invisible world of atoms and molecules while the other six base quantities are more directly related to our macroscopic world. This is also confirmed by considering that the expression "the mole concept" is often used, but expressions like "the kilogram concept" or "the metre concept" are very rare indeed.

According to Bent the mole concept could be very difficult to understand for high school students and, actually, it may ruin students' enthusiasm for chemistry [8]. Of course, at the high school level it could be possible to teach chemistry avoiding the amount of substance and the mole concepts, but at the first-year undergraduate level it is mandatory to teach these con-

cepts because chemists and others researchers use them every day in relation to the quantitative aspects of chemical reactions.

It is evident that the concept of relative atomic weight represents the key for counting elementary chemical species by weighing, e.g. the mass of a metal is proportional to the number of atoms of that metal, the proportionality factor being related to its relative atomic weight. According to this view it is suggested that Cannizzaro's approach [9] based on Avogadro's hypothesis and the "law of atoms" should be one of the best way to teach the SI base quantity amount of substance and its unit, the mole.

Cannizzaro's contribution was important because it gave an operative procedure to obtain relative molecular and atomic weights and chemical formulas of substances, which lead Mendeleev and others to the discovery of the periodic system [10-12].

To help the students to understand the mole concept in a historical perspective a table entitled *Advances in the atomic-molecular theory* is also presented and briefly commented.

2. An historical approach for the teaching and learning of the mole concept: from Avogadro's hypothesis to Cannizzaro's "law of atoms"

Gay-Lussac in 1809 discovered that the volume of gases entering into chemical reactions and of gaseous products are in a ratio of small integers [13]. To explain these results Avogadro in 1811 suggested that equal volumes of all gases or vapors, at the same temperature and pressure, contain the same number of molecules [14].

Cannizzaro accepted Avogadro's hypothesis and established the *relative molecular weights* of substances, as gas or vapor, with respect to "half hydrogen molecule", i.e. the weight of the H atom [9]. According to Avogadro's hypothesis the density of the substance j, with respect to the density of hydrogen, may be written, in modern terms [2], as

$$d_j/d_{H_2} = m_r(j) / 2 m_a(H) \quad (1)$$

The ratio between the absolute weight of molecule j and hydrogen atom represents the relative molecular weight (molecular mass) of molecule j

$$M_r(j) = m_r(j) / m_a(H) \quad (2)$$

The relative molecular weight of molecule j can be written as

$$M_r(j) = \sum_i A_r(i) v_{i/j} \quad (3)$$

where $A_r(i)$ represents the relative atomic weight of the atom i, with respect to the hydrogen atom, and $v_{i/j}$ the number of atoms i present in the molecule j,

$$A_r(i) = m_a(i) / m_a(H) \quad (4)$$

Cannizzaro introduced the “law of atoms” to obtain both the corrected relative atomic weights and the molecular formulas.

The results of the chemical analyses, i.e. the % in weight of the element i in the substance j , may be written as

$$p_{i/j} \% = p_{i/j} \cdot 100 \quad (5)$$

Starting from the relative molecular weight of the substance j , established by means of Eqs.(1) and (2), the “law of atoms” may be written as

$$M_r(j) \cdot p_{i/j} = A_r(i) \cdot v_{i/j} \quad (6)$$

Once many molecules (j) containing a given element (i) are analyzed, the minimum content of the element (i) in a molecule, i.e. the minimum value of the quantity $M_r(j) \cdot p_{i/j}$, should represent the case $v_{i/j} = 1$, and therefore the relative atomic weight of that element $A_r(i)$.

The assumption that the hydrogen molecule is diatomic was in fact *demonstrated* by Cannizzaro who applied the “law of atoms” to many substances containing hydrogen. Let us write the hydrogen molecule as

H_n ($v_{H/Hn} = n$), then Eq.(1) becomes

$$d_j/d_{Hn} = m_r(j) / (v_{H/Hn} \cdot m_a(H)) \quad (7)$$

The law of atoms applied to hydrogen containing substances ($A_r(H) = 1$) becomes

$$M_r(j) \cdot p_{H/j} = v_{H/j} \quad (8)$$

Combining Eqs.(7) and (8)

$$(d_j/d_{Hn}) \cdot p_{H/j} = v_{H/j} / v_{H/Hn} = v_{Hn/j} \quad (9)$$

The ratio $v_{H/j} / v_{H/Hn} = v_{Hn/j}$ represents the number of times a hydrogen molecule is contained in the molecule of the substance j . According to the “law of atoms” the smallest value of this quantity, experimentally measured for example for $j=HCl$, $(d_{HCl}/d_{Hn}) \cdot p_{H/HCl} = v_{H/HCl} / v_{H/Hn} = 0.5$, represents $v_{H/HCl} = 1$ and therefore $v_{H/Hn} = n = 2$.

Cannizzaro made it clear that only the *relative atomic weights* could be known, and to fix this point well in the mind of his students remarked [Ref.9, p.328]:

<<... Suppose it to be shown that half molecule of hydrogen weighs a millionth of a milligram, then all the numbers of the preceding table become concrete numbers, expressing in millionths of a milligram the concrete weights of the molecules and of their components: the same thing would follow if the common unit had any other concrete value, and so I lead them to gain a clear conception of the comparability of these numbers, whatever be the value of the common unit.>>

In modern terms, we could reformulate Cannizzaro's reasoning and introduce the concept of the Avogadro constant in this way: suppose the single hydrogen atom has the weight of 1×10^{-9} g (today we now know that the average weight of hydrogen atoms in a "terrestrial sample" of hydrogen is about 1.67×10^{-24} g), then there are 1×10^9 atoms per gram of atomic hydrogen, *assuming that 1 g of atomic hydrogen correspond to the amount of substance of 1 mol of hydrogen atoms*, the Avogadro constant would be 1×10^9 atoms mol^{-1} ($N_A = 1 / m_a(\text{H}) = 1 \text{ g H mol}^{-1} / (\text{mass in gram of the H atom}) = \text{atoms H mol}^{-1}$). The atomic mass unit is $m_u = 1 \text{ u} = m_a(\text{H})$. Today it would be $N_A \cong 1/1.67 \times 10^{-24} = 6.02 \times 10^{23}$ atoms mol^{-1} .)

(The actual definition of the Avogadro constant (see Appendix 1) is based on the number of atoms contained in 12 g of the nuclide carbon-12:

$N_A = 12 / m_a(^{12}\text{C}) = 12 \text{ g } ^{12}\text{C mol}^{-1} / (\text{mass in gram of the } ^{12}\text{C nuclide}) = \text{atoms } ^{12}\text{C mol}^{-1}$. The unified atomic mass unit is by definition $m_u = 1 \text{ u} = (1/12) m_a(^{12}\text{C})$.)

As a consequence of this definition the relative molecular or formula unit weight and the relative atomic weight of an element represent also the molar weight (molar mass) of that substance expressed in unit g mol^{-1} . In agreement with quantity calculus [2]:

$$M_r(j) = m_f(j) / m_a(\text{H}) \quad (10a)$$

$$A_r(i) = m_a(i) / m_a(\text{H})$$

$$N_A = 1 / m_a(\text{H}) \text{ mol}^{-1}$$

Hence,

$$N_A m_a(\text{H}) = N_A m_u = \text{standard molar mass} = 1 \text{ g mol}^{-1}$$

$$M(j) = m_f(j) N_A = M_r(j) \text{ g mol}^{-1} \quad (10b)$$

$$M(j) / (1 \text{ g mol}^{-1}) = M_r(j)$$

$$A(i) = m_a(i) N_A = A_r(i) \text{ g mol}^{-1}$$

$$A(i) / (1 \text{ g mol}^{-1}) = A_r(i)$$

The physical quantity amount of substance is by definition

$$\begin{aligned} n(j) &= N(j) / N_A \text{ mol} \\ n(i) &= N(i) / N_A \text{ mol} \end{aligned} \quad (11)$$

N represents the number of entities (j = molecule, formula unit; i = atom)
Considering the mass m of entity

$$\begin{aligned} m(j) &= N(j) m_f(j) \\ m(i) &= N(i) m_a(i) \end{aligned} \quad (12)$$

where $m_f(j)$ represents the absolute mass of the molecule or formula unit, and $m_a(i)$ the absolute mass of the atom. The amount of substance may be written as

$$\begin{aligned} n(j) &= m(j) / M(j) \text{ mol} \\ n(i) &= m(i) / A(i) \text{ mol} \end{aligned} \quad (13)$$

Note that Eqs.(11) and (13) represent the link between the microscopic and macroscopic worlds.

The new proposed strategy to teach the amount of substance and the mole is also in agreement with Cannizzaro's suggestions about the importance of history and philosophy of science in chemistry teaching [Ref.9, p.321]:

<< To convince my students, I lead them about the same kind of reasoning I made to convince myself, that is the historical analysis of the development of chemical theories.>>

To confirm the relative atomic weight and the molecular formulas for solid elements or substances with very low vapor pressure, Cannizzaro applied Dulong and Petit's law. Dulong and Petit in 1814 suggested that the atoms of all simple bodies have exactly the same capacity for heat at room temperature, about $6 \text{ cal gram-atom}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ [15]. Cannizzaro [9], and previously Gaudin [16] applied Dulong and Petit's law also to compounds taking into account that the capacity for heat is 6 times the number of atoms in the molecule (e.g. for water $6 \times 3 = 18 \text{ cal gram-molecule}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$). In modern terms

$$c_j \cdot M(j) / (\sum_i v_{ij}) \approx 6 \quad (14)$$

where c_j is the capacity for heat per gram of substance j . (Combining Dulong and Petit's law with measurements of equivalent weight - the weight of the element that is combined with 1 g of H or 8 g of O - it was possible to obtain

the atomic weight, which must be equal or a multiple of the equivalent weight.)

Cannizzaro reported new or revised relative atomic weights for about 30 elements, and lead Mendeleev and others to the development of the Periodic Table. Mendeleev during 1870 used Dulong and Petit's law to obtain correct atomic weights for indium, cerium and uranium (wrong in the 1869 Table) and thus produced the remarkable Table of 1871 in a format that remained unchanged for about 70 years [12].

3. *Advances in the atomic-molecular theory*

Table 1 entitled *Advances in the atomic-molecular theory* was developed to support general chemistry teachers to improve students' understanding of the mole concept in a historical perspective. Only very brief comments will be reported because a deep discussion of Table 1 content is outside the scope of the present contribution.

3.1 *Equivalent weights*

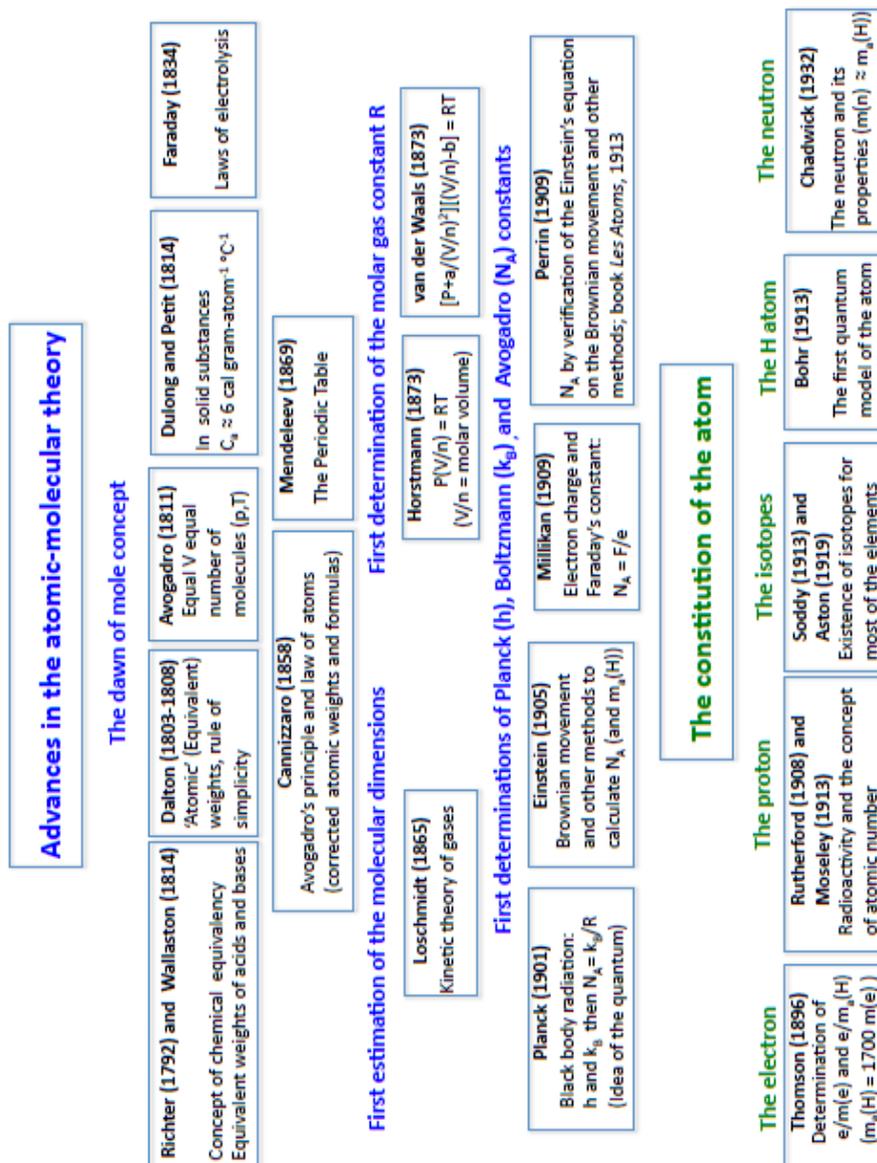
Before Cannizzaro's contribution, outlined in the previous section, the relative molecular and atomic weights were obtained by chemical reactions and therefore should be better called combination weights or equivalent weights.

It is important to note that nowadays there are no reasons to expose high school and first-year undergraduate students to the concepts of equivalent and equivalent weight. These concepts are neither necessary nor helpful to understand the mole concept.

The equivalent weights of acids and bases, and the concept of chemical equivalency, were introduced by Richter in 1792 and Wallaston in 1814 [17-20]. Dalton introduced and developed the atomic theory in the years 1803-1808, and reported the first table of atomic weights (combination weights) [21]. The combination weight of oxygen was 7, assuming 1 that of the hydrogen, as measured in the formation of water. As for the formation of carbon monoxide the combination weight of carbon was 5, assuming 7 that of oxygen. Considering the formation of ammonia from nitrogen and hydrogen, the combination weight of nitrogen was 4.7, assuming 1 that of hydrogen. According to Dalton's rule of simplicity [22] the molecular formulas were written as OH and NH for water and ammonia, respectively.

Faraday in 1834 contributed to the determination of equivalent weights by the laws of electrolysis. The electric charge necessary to decompose in an electrolytic cell, 9 g of water to give 1 g of hydrogen at the cathode and 8 g of oxygen at the anode is today known as the Faraday's constant [23].

Table 1 - *Advances in the atomic-molecular theory*



All the information reported in the boxes are supported by primary and/or secondary literature briefly commented in the text and reported in the References.

3.2 First estimation of the molecular dimensions

Loschmidt in 1865 by using the kinetic theory of gases, in particular the concepts of mean free path and of condensation coefficient, was able to report an estimation of the number of gas molecules per unit of volume ($N \approx 1.83 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ at $T = 273 \text{ K}$ and $P = 1 \text{ atm}$) and of the molecular dimensions of O_2 and N_2 ($\approx 10 \text{ \AA}$) [24-26].

3.3 First determination of the molar gas constant R

The contribution by Hortsmann in 1873 led to the first definition of the molar gas constant R [27]. Note that van't Hoff in 1887 cite Horstmann as the first author that has written the ideal gas law in the form $p(V/n)=RT$, where (V/n) represents the volume occupied by a 'gram-molecule' at given pressure and temperature [28].

In 1873 van der Waals, in his doctoral thesis published the same equation, modified to take into account the behavior of the fluids at low temperature and high pressure [29]. We should say that both Horstmann and van der Waals have obtained the first value of the molar gas constant R (about $0.845 \text{ kgp m mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ or $2 \text{ cal mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$, which correspond to about $0.082 \text{ L atm mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$, and to $8.3 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ in SI unit).

3.4 First determination of Planck, Boltzmann and Avogadro constants

Thomson in 1896, with the discovery of the electron, made the first step towards the comprehension of the structure of the atom [30]. Thomson obtained, for the charge/weight ratio of the electron, the value $e/m(e) \approx 7.3 \times 10^6 \text{ emu g}^{-1}$, and considering the electrolysis of acid solutions to produce $\text{H}_2(\text{g})$ he was able to give the following estimated values: $e \approx 6.6 \times 10^{-10} \text{ esu}$, $m(e) \approx 3 \times 10^{-27} \text{ g}$ (today value is $9.11 \times 10^{-28} \text{ g}$), and $m_a(\text{H}) = 1700 m(e)$.

Planck, with his analysis of the equilibrium distribution of black body radiation, introduced the new quantum theory of matter. From the new energy density distribution formula he was able to calculate $h = 6.55 \times 10^{-27} \text{ erg s}$ (Planck constant) and k_B (Boltzmann constant) $= 1.346 \times 10^{-16} \text{ erg K}^{-1}$ from which it was possible to obtain the Avogadro constant by using the molar gas constant ($R/k_B = N_A = 6.4 \times 10^{23}$). Planck's values for these constants remained the best for almost twenty years [31].

Einstein developed three independent methods to calculate the Avogadro constant (and hence the weight of the H atom, as he wrote in his papers), with the declared intention to demonstrate the reality of atoms and molecules and get some information about their dimensions. These methods are based on the relation between aqueous solutions of sugar, the theory of the Brownian movement, the theory of the equilibrium distribution of black

body radiation [32].

The theory of the Brownian movement resulted in a formula that will be confirmed by Perrin in 1909. By using experimental data on aqueous solutions of sugar (diffusion coefficient and viscosity) Einstein calculated $N_A = 2.1 \times 10^{23}$. Comparing Planck's formula for the radiation energy with that obtained from Maxwell's theory and electron theory, he obtained $N_A = 6.17 \times 10^{23}$, i.e. one atom of hydrogen weighs $1/N_A = 1.62 \times 10^{-24}$ g.

In 1909 Millikan, with very precise measurements (oil-drop experiment) obtained the electron charge, $e = 4.05 \times 10^{-10}$ esu, and making use of the Faraday constant, $F = 2.9 \times 10^{24}$ esu, obtained the Avogadro constant, $N_A = F / e \approx 7.16 \times 10^{23}$ [33-35]. Millikan reported also a direct photoelectric determination of Planck's "h" [36].

Perrin in 1909 obtained very accurate values for the Avogadro constant by using solutions made with solute particles of gamboge and mastic with dimension of about 0.5 μm . His calculation derived both from the analysis of sedimentary equilibrium in a gravitational field, determining the average population of particles in a suspension as a function of height, and from the theory of the Brownian movement established by Einstein [37-40]. Perrin was able to determine the Boltzmann constant and calculate the Avogadro constant by the equation $N_A = R / k_B$.

Further determination of N_A values based on various phenomena, including critical opalescence, blueness of the sky and radioactivity, showed a very good agreement between them. (N_A values in the range 6.0×10^{23} - 7.5×10^{23} .) Perrin in the conclusions of his famous book "Les atoms" ([41] Perrin 1914) remarked:

<<The atomic theory has triumphed. Its opponents, which until recently were numerous, have been convinced and have abandoned one after the other the skeptical position that was for a long time legitimate and no doubt useful.>>.

3.5 The constitution of the atom

After the discovery of the electron by Thomson in 1896, Rutherford in 1908 discovered the proton [42,43], and Moseley in 1913 introduced the concept of atomic number [44-46]. Soddy in 1913 [47] and Aston in 1919 [48] established the existence of the isotopes in radioactive and non-radioactive elements. A new instrumentation, the mass spectrograph, paved the way for further advancement. Due to the existence of several nuclides for most of the elements, the relative atomic weight is an average value based on the atomic percentages of the nuclides in terrestrial samples.

Bohr in 1913 presented the first quantum model of the hydrogen atom.

The binding energy of the electron to the positive nuclei is quantized according to the formula [49]

$$W_{\tau} = 2\pi^2 m_e e^4 / (h^2 \tau^2) \text{ erg}, \text{ with } \tau = 1, 2, 3, \dots$$

The absorption and emission of radiation is regulated by the formula

$$W_{\tau_2} - W_{\tau_1} = h\nu$$

in which $\tau_1 \rightarrow \tau_n$ is the electron jump from the ground state to the possible τ_n excited states (absorption), and reverse (emission).

The electron-nuclei distance is also quantized

$$a(\tau) = h^2 \tau^2 / 4\pi^2 m_e e^2, \text{ with } a = 0.55 \text{ \AA} \text{ for } \tau = 1$$

The angular momentum of the electron is also quantized and may only take the value $h/2\pi$.

$$M = \tau (h/2\pi), \text{ with } h/2\pi = 1.04 \times 10^{-27} \text{ erg s}$$

The first quantum theory of the atom was completed with the discovery of the neutron by Chadwick in 1932. It is of interest to report the following remark from the Chadwick's Nobel lecture [50]:

<< The first suggestion of a neutral particle with the properties of the neutron we now know, was made by Rutherford in 1920. He thought that a proton and an electron might unite in a much more intimate way than they do in the hydrogen atom, and so form a particle of no net charge and with a mass nearly the same as that of the hydrogen atom. His view was that with such a particle as the first step in the formation of atomic nuclei from the two elementary units in the structure of matter - the proton and the electron - it would be much easier to picture how heavy complex nuclei can be gradually built up from the simpler ones. >>

4. Conclusion

A new didactic strategy based on a historical approach is proposed in the teaching-learning implications related to the SI base quantity *amount of substance* and its unit, the *mole*. It is suggested that Cannizzaro's approach based on Avogadro's hypothesis and the "law of atoms" may be one of the best way to teach the mole concept. The present contribution represents also an invitation to high school and university teachers to experiment Cannizzaro's approach.

Important information useful to apply the new didactic strategy are reported

in Table 1 entitled *Advances in the atomic-molecular theory*. This table, together with the Periodic Table of the elements, could be exposed in the chemistry lecture halls to help students to understand the mole concept in a historical prospective.

Along the lines of the table *Advances in the atomic-molecular theory*, a course in history of chemistry for chemistry students might be developed. It could be a stand-alone guide to chemistry students on the history of chemistry.

In addition to a wall chart, the table might be an online tool with each box linked to the references of this paper and also to the original articles or excerpts from them, many of which are available online, as reported in the web site compiled by Giunta [51].

Appendix 1: SI definition of the amount of substance and of the mole

The physical quantity amount of substance is of crucial importance to chemists. Amount of substance is proportional to the number of specified entities of that substance, the proportionality factor being the same for all substances; its reciprocal is the Avogadro constant. The SI unit of the amount of substance is the mole. The complete definition of the mole reads [1,2]:

- 1) The mole (symbol mol) is the amount of substance (symbol n) of a system that contains as many elementary entities as there are atoms in 0.012 kilogram of carbon-12.
- 2) When the mole is used, the elementary entities must be specified and may be atoms, molecules, ions, electrons, other particles, or specified groups of such particles.
- 3) In the definition of the mole, it is understood that unbound atoms of carbon-12, at rest and in their ground state, are referred to.

The definition given in the 2013 draft of the new SI [3,4] add information about the magnitude of the mole:

- 4) The magnitude of the mole is set by fixing the numerical value of the Avogadro constant to be exactly $N_A = 6.022140857 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

(The definitions of units in the new SI are all explicit-constant formulations, which means that the units are defined indirectly by giving the value of the physical constant.)

The relative molecular weight, or formula unit weight, of entity X is given by $M_r(X) = m_f(X) / (1/12) m_a(^{12}\text{C})$, where $m_f(X)$ is absolute mass of entity X (molecule, formula unit), and $m_a(^{12}\text{C})$ is the rest mass of a neutral unbound nuclide carbon-12 in the nuclear and electronic ground state. (The relative atomic weight of unbound nuclide carbon-12 in its nuclear and electronic ground state is $A_{r,12\text{C}} = m_a(^{12}\text{C}) / (1/12) m_a(^{12}\text{C}) = 12$.)

The number of ^{12}C atoms per gram of carbon-12 nuclides, that are unbound, at rest and in their nuclear and electronic ground state, is given by $1/m_a(^{12}\text{C})$. The number of atoms in 12 gram of carbon-12 nuclide represents the amount of substance of 1 mol. The Avogadro constant is $N_A = 12/m_a(^{12}\text{C}) \text{ mol}^{-1}$.

The unified atomic mass unit is by definition $m_u = 1 \text{ u} = (1/12) m_a(^{12}\text{C})$. It is clear that the relative molecular mass of entity X ($M_r(X)$ dimensionless) and its molar mass ($M(X) \text{ g mol}^{-1}$) have the same numerical values, in fact

$$M_r(X) = m_f(X) / (1/12) m_a(^{12}\text{C}) \quad (\text{A1})$$

$$N_A = 12 / m_a(^{12}\text{C}) \text{ mol}^{-1}$$

$$N_A m_a(^{12}\text{C}) / 12 = N_A m_u = \text{standard molar mass} = 1 \text{ g mol}^{-1}$$

$$M(X) = m_f(X) N_A = M_r(X) \text{ g mol}^{-1}$$

$$M(X) / (1 \text{ g mol}^{-1}) = M_r(X)$$

Considering $N(X)$ entities the amount of substance is given by

$$n(X) = N(X) / N_A \text{ mol} \quad (\text{A2})$$

$$n(X) = m(X) / M(X) \text{ mol}$$

where $m(X)$ represents the mass of entity X.

The relative atomic weight of an element represents the average mass of its atoms in the terrestrial sample, which takes into account the numerical abundance of all the nuclides in the sample, divided by the unified atomic mass unit or alternatively the average molar mass of its atoms divided by the standard molar mass ($N_A m_a(^{12}\text{C}) / 12 = \text{standard molar mass} = 1 \text{ g mol}^{-1}$).

To avoid any confusion with the base SI quantity mass Gorin suggested that the term *amount of substance* should be changed with the term *chemical amount* [52]. The International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) now accept chemical amount as an alternative to amount of substance [2].

Acknowledgments I thank Mauro Satta (ISMN-CNR, Roma), Ida Pettiti (Sapienza Università of Roma) and Graziella Pinto for the critical reading of the manuscript.

References

[1] Petley, B.W., The mole and the unified atomic mass unit. *Metrologia* **33**, 261-264 (1996).

- [2] Cohen, E.R., Cvitaš, T., Frey, J.G., Holstrom, B. (eds.), IUPAC definition in “Quantities, Units and Symbols in Physical Chemistry” (IUPAC Green Book), 3rd ed. Royal Chemical Society of Chemistry, Cambridge (2007).
- [3] Bureau International des Poids et Mesures. Draft 9th SI Brochure16 December 2013.
http://www.bipm.org/utils/common/pdf/si_brochure_draft_ch123.pdf
(Accessed September 2016).
- [4] Fischer, J., Ullrich, J., The new system of units. *Nature Physics* **12**, 4-7 (2016).
- [5] Barański, A., The Atomic Mass Unit, The Avogadro Constant, and the Mole: A Way to Understanding. *J. Chem. Educ.* **89**, 97-102 (2012)
- [6] Nelson, P.G., What is the mole ? *Found. Chem.* **15**, 3-11 (2013)
- [7] Giunta, C. J., The Mole and Amount of Substance in Chemistry and Education: Beyond Official Definitions *J. Chem. Educ.* **92**, 1593–1597 (2015).
- [8] Bent, H. A., Should the Mole Concept be X-Rated? *J. Chem. Educ.* **62**, 59 (1985).
- [9] Cannizzaro, S., Lettera del prof. Stanislao Cannizzaro al prof. S. De Luca; *Sunto di un corso di filosofia chimica*, fatto nella R. Università di Genova. *Il Nuovo Cimento* **7**, 321- 366 (1858) (The English translation of the sentences reported at p. 321 and p. 328, was taken from H. M. Leicester and H. S. Klickstein, *A Source Book in Chemistry, 1400-1900*, Harvard University Press, 1952)
- [10] Ihde, A. J., The Karlsruhe congress: a centennial retrospect. *J. Chem. Educ.* **38**, 83-86 (1961).
- [11] Cerruti, L., The mole, Amedeo Avogadro and Others. *Metrologia* **31**, 159-166 (1994).
- [12] Scerri, E.R., *The Periodic Table. Its Story and Its Significance*, Oxford University Press, Oxford (2007).
- [13] Goldwhite, H., Gay-Lussac after 200 years. *J. Chem. Educ.* **55**, 366-368 (1978).
- [14] Avogadro, A., Essai d’une manière de déterminer les masses relatives des molécules élémentaires des corps, et les proportions selon lesquelles elles entrent dans ces combinaisons. *Journal de Physique, de Chimie, d’Histoire naturelle et des Arts* **73**, 58-76 (1811).
- [15] Laing, M., Laing M., Dulong and Petit’s law: we should not ignore its importance. *J. Chem. Educ.* **83**, 1499-1504 (2006).
- [16] Cole, T. M. Jr., Early atomic speculation of Marc Antoine Gaudin: Avogadro’s hypothesis and the periodic system. *Isis-History of Science Society*, **66**, 334-360 (1975).
- [17] Darmstaedter, L., Oesper, R.E., Jeremias Benjamin Richter. *J. Chem. Educ.* **5**, 785-790 (1928).

- [18] Wallaston, W.H., A synoptic scale of chemical equivalents. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* **104**, 1-22 (1814).
- [19] Hinde, P.T., William Hyde Wollaston, the man and his “equivalents”. *J. Chem. Educ.* **43**, 673-676 (1966).
- [20] Laing, M., Bring back equivalent weight-If you want the kids to “think”. *J. Chem. Educ.* **73**, 1007-1012 (1996).
- [21] Dalton, J., A New system of Chemical Philosophy, Bickerstaff, London, 1808, Vol.I, reprinted by W. Dowdson & Sons Ltd., London, 1953.
- [22] Bernatowicz, A.J., Dalton’s rule of simplicity. *J. Chem. Educ.* **47**, 577-579 (1970).
- [23] Ehl, R.G., Ihde, A.J., Faraday’s electrochemical laws and the determination of equivalent weights. *J. Chem. Educ.* **1954**, *31*, 226-232.
- [24] Kohn, M., Josef Loschmidt (1821-1895). *J. Chem. Educ.* **22**, 381-384 (1945).
- [25] Hawthorne, R. M. Jr., Avogadro’s number: early values by Loschmidt and others. *J. Chem. Educ.* **47**, 751-755 (1970).
- [26] Porterfield, W.W., Kruse, W., Loschmidt and the discovery of the small. *J. Chem. Educ.* **72**, 870-875 (1995).
- [27] Horstmann, A., Theorie der Dissociation, Justus Liebigs Annalen der Chimie **170**, 192-210 (1873) (English translation by W. B. Jensen, *Bull. Hist. Chem.* **34**, 76-82 (2009)).
- [28] van’t Hoff, J.H., Die Rolle des osmotischen Druckes in der Analogie zwischen Lösungen und Gasen. *Zeitschrift f. physik. Chemie.* **1**, 481-508 (1887).
- [29] van der Walls, J.D., The equation of state for gases and liquids, Nobel lecture, December 12, 1910. (Accessed September 2016).
- [30] Thomson, J.J., Carriers of negative electricity, Nobel lecture, December 11, 1906. http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1906 (Accessed September 2016).
- [31] Planck, M., Ueber das Gesetz der Energieverteilung im Normalspectrum. *Annalen der Physik* **4**, 553-563 (1901) (In this work are reported the values of the Planck’s constant $h = 6.55 \times 10^{-27}$ erg s and of the Boltzmann’s constant $k = 1.346 \times 10^{-16}$ erg K⁻¹ from which it is possible to calculate the Avogadro constant by using the gas constant R: $N_A = R / k$. The electron charge can be calculated by using the Avogadro’s constant and the Faraday’s constant: $e = F / N_A$. Planck’s values for these constants were the best standard values for almost twenty years.)
- [32] Einstein, A., Einstein’s miraculous year 1905. Five papers that changed the face of Physics. Edited and introduced by J. Stachel, 1998, Princeton University Press, pp.198. Paper 5: On a heuristic point of view concerning the production and transformation of light, pp.177-198. Translation of the

paper Einstein, A. Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt. *Annalen der Physik* **17**, 132-148 (1905). (Comparing Planck's formula for the radiation energy with that obtained from Maxwell's theory and electron theory, Einstein obtained $N_A = 6.17 \times 10^{23}$, i.e. one atom of hydrogen weighs $1/N_A$ gram = 1.62×10^{-24} g.)

[33] Millikan, R.A., The isolation of an ion, a precision measurement of its charge, and the correction of Stokes's law. *Phys. Rev.* **32** (I series) 349-397 (1911) [37].

[34] Pearson, E.F., Revisiting Millikan's oil-drop experiment. *J. Chem. Educ.* **82**, 851-854 (2005).

[35] Millikan, R.A., On the elementary electrical charge and the Avogadro constant. *Phys. Rev.* **2**, 109-143 (1913).

[36] Millikan, R.A., A direct photoelectric determination of Planck's "h". *Phys. Rev.* **7**, 355-388 (1916).

[37] Perrin, M.J., *Brownian movement and molecular reality*, translated by F. Soddy from the *Annales de Chimie et de Physique* **18**, 1-114 (1909), Tylor and Francis, London, 1910.

[38] Henry, P.S., Evaluation of Avogadro's number. *J. Chem. Educ.* **43**, 251-252 (1966).

[39] Kruglak, H., *Brownian movement and Avogadro's number*. *J. Chem. Educ.* **65**, 732-734 (1988).

[40] Slabaugh, W.H., Determination of Avogadro's number by Perrin's law. *J. Chem. Educ.* **42**, 471-472 (1965).

[41] Perrin, J., *Les atoms*, Librairie Félix Alcan, French 1st edition 1913 (Reprints from the collection of the University of Michigan Library, USA, Lexington, KY (18 November 2011) of the Cinquième édition revue, Librairie Félix Alcan 1914.

[42] Rutherford, E., The chemical nature of the alpha particles from radioactive substances, Nobel lecture, December 11, 1908.

http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1908

(Accessed September 2016).

[43] Thomas, J.M., Lord Rutherford (1871-1937) The Newton of the atom and the winner of the Nobel prize for Chemistry, 1908. *Angew. Chem. Int. Ed.* **47**, 9392-9401 (2008).

[44] Haigh, C. W., Moseley's work on X-rays and atomic number, *J. Chem. Educ.* **72**, 1012-1014 (1995).

[45] Moseley, H.G.J., The high-frequency spectra of the elements. *Phil. Mag.* **26**, 1024- 1034 (1913).

[46] Moseley, H.G.J., The high-frequency spectra of the elements. Part II. *Phil. Mag.* **27**, 703-713 (1914).

[47] Soddy, F., The origins of the conceptions of isotopes, Nobel lecture, December 12, 1922.

http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1921

(Accessed September 2016).

[48] Aston, F.W., Mass spectra and isotopes, Nobel lecture, December 12, 1922. http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1922

(Accessed September 2016).

[49] Bohr, N., On the Constitutions of Atoms and Molecules, *Phil. Mag.* **26**, 1-25 (1913).

[50] Chadwick, J., The neutron and its properties, Nobel lecture, December 12, 1935. http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1935

(Accessed September 2016).

[51] Giunta, C. J., Selected Classic Papers from the History of Chemistry <http://web.lemoyne.edu/~giunta/papers.html> (Accessed September 2016).

[52] Gorin, G., Mole and Chemical Amount: A Discussion of the Fundamental Measurements of Chemistry. *J. Chem. Educ.* **71**, 114-116 (1994).

Spiegare il visibile complicato per mezzo dell'invisibile semplice.

Immaginazione, creatività ed insegnamento della chimica

Antonio Testoni
IIS "N.Copernico - A.Carpeggiani" Ferrara.
E-mail: ajteston@tin.it

“Nel suo metodo la chimica è scienza delle interazioni, delle trasformazioni e dei modelli. Nel suo oggetto – la molecola e la materia – la chimica esprime la sua creatività.” [1]

J.M. Lehn

*“Se in un cataclisma andasse distrutta tutta la conoscenza scientifica, e soltanto una frase potesse essere trasmessa alle generazioni successive, quale affermazione conterrebbe la massima quantità di informazioni nel numero minimo di parole? Io credo che sarebbe l'**ipotesi atomistica** (o il fatto atomico, o comunque vogliamo chiamarlo) secondo cui tutte le cose sono fatte di atomi, piccole **particelle** che si agitano con un moto perpetuo, attraendosi quando sono un po' distanti una dall'altra, ma respingendosi quando sono schiacciate una contro l'altra. In questa singola frase c'è un'enorme quantità di informazione sul mondo che ci circonda, se soltanto ci si riflette sopra con un po' di **immaginazione**.”[2]*

R. Feynmann

L'“atomismo” rappresenta il cuore della chimica moderna. Termini come atomo, molecola, formula sono inscindibilmente legati a questa disciplina e il loro significato va ricercato e costruito all'interno delle principali teorie che hanno caratterizzato la nascita e lo sviluppo della chimica. Dal punto di vista didattico questa è un punto fondamentale, in quanto il significato di un termine, di un concetto scientifico è strettamente legato alla teoria cui ci si riferisce. Conseguentemente è cruciale la scelta del livello a cui trattare e definire tali concetti affinché siano accessibili a ragazzi che, per la prima volta, si avvicinano alla chimica in modo sistematico.

Se esaminiamo i libri di testo in uso nella scuola secondaria di secondo grado, tale argomento viene solitamente affrontato partendo dalla struttura atomica, cioè da come è fatto l'atomo. La teoria atomica di Dalton, imperniata sull'idea dell'atomo invisibile ed indivisibile, viene ormai considerata una teoria superata, per cui si ritiene che non valga la pena soffermarsi a lungo su di essa (una, due pagine del libro di testo...). Ritengo, invece, che in un corso di chimica di base nella scuola secondaria di secondo grado, sia l'**atomismo daltoniano** la teoria più adatta per introdurre il ragazzo all'ineffabile mondo degli atomi, delle molecole, delle formule.

Atomi, molecole e formule che, nella chimica contemporanea, sono ormai impregnati dei significati propri della meccanica quantistica e, proprio per questo, hanno un significato che non solo è nettamente diverso, ma ad un livello di astrazione e complessità molto più elevato rispetto a quello della chimica classica, sicuramente non accessibile per chi non ha solide basi anche di fisica e di matematica. Al contrario, la teoria atomica di Dalton, che ha contribuito a gettare le basi per il grandioso sviluppo della chimica moderna, costituisce ancora oggi un modello che, per **semplicità e potere esplicativo**, è unico e insostituibile. “*Se studiamo una macchina ... facciamo del nostro meglio per osservare con cura i pezzi visibili, ma cerchiamo anche di immaginare quali ingranaggi, quali organi nascosti spieghino i movimenti. Così immaginare l'esistenza o le proprietà di oggetti che sono ancora al di là della nostra conoscenza, spiegare il visibile complicato per mezzo dell'invisibile semplice, ecco la forma di intelligenza intuitiva alla quale, grazie ad uomini come Dalton..., noi dobbiamo l'atomistica.*”[3]

Anche se ormai si hanno a disposizione strumenti che ci permettono di “vedere” atomi e molecole, non dobbiamo dimenticare che questi sono stati realizzati quando atomi e molecole erano già stati “visti” dall’intelletto umano. Senza questo straordinario **atto creativo**, nessuno strumento avrebbe portato l’uomo a pensare la materia in termini atomico-molecolari.

Questo è uno di quei passaggi chiave, fondamentali se si vuol impostare un insegnamento/apprendimento basato non solo sui prodotti, ma soprattutto sui **processi** di costruzione della conoscenza. Processi che devono tenere nella dovuta considerazione gli aspetti **culturali, storici e filosofici** delle scienze. “*Uno degli obiettivi dell'impresa scientifica dovrebbe essere quello di stimolare la ricerca, attraverso lo sviluppo dell'immaginazione e della fantasia, oltre che della logica (ovviamente necessaria, ma non sufficiente). Spesso, invece, l'insegnamento delle varie discipline tende a paralizzare le capacità creative degli studenti, perché le questioni fondamentali sono presentate in maniera estremamente asettica e tecnicistica, raramente accompagnate da una spiegazione che permetta di capire i motivi e le cause della loro origine.*”[4] Tutto ciò non significa sostituire l’insegnamento tradizionale delle scienze con la storia delle scienze, ma **utilizzare momenti e aspetti** della storia delle scienze e dell’epistemologia particolarmente adatti per collocare problemi, ipotesi e soluzioni nella **giusta cornice**. Senza la ricostruzione didattica di questo contesto problematico (teorico e sperimentale), i concetti e le teorie sono per lo studente senza **significato**, rimangono delle mere definizioni verbali, senza vita. “**Sapere che...**” è cosa ben diversa dal “**capire perché pensiamo che...**”, cioè dall’essere consapevoli da dove **provviene** la nostra conoscenza. Ignorare tale prospettiva porta a **banalizzare** conquiste del pensiero umano così importanti e mirabili e, conseguentemente, a trasmettere un’idea distorta di scienza (e di cultura),

che riduce, fra l'altro, la **creatività** e l'**immaginazione** a poca cosa; invece il momento dell'immaginazione è, creativamente parlando, centrale non solo per la letteratura o per le arti figurative ma anche per le scienze. La scienza è “*come un'arte e, in conformità con ogni attività creativa, ha bisogno dell'immaginazione*”. [5] **Conoscenza** ed **immaginazione** sono **due aspetti inseparabili** dell'esperienza intellettuale dell'uomo. Aspetti che Vygotskij sviluppò, dal punto di vista psico-pedagogico, in una delle sue opere più importanti, *Immaginazione e creatività nell'età infantile*: “*La verità è che l'immaginazione, in quanto fondamento di ogni attività creativa, si manifesta – senza eccezione – in tutti gli aspetti della vita culturale, rendendo possibile la creatività artistica, scientifica e tecnica. In questo senso, tutto ciò che ci circonda e che è stato creato dall'uomo, tutto il mondo della cultura è per intero, rispetto a quello della natura, un prodotto dell'immaginazione umana e della creatività, che su questa si fonda*” [6].

La natura è caotica e “*«creare» significa trovare un ordine in ciò che è disordinato...trovare legami, somiglianze inaspettate, strutture nascoste*” [7]. Per questo, l'atto creativo non è mai disgiunto dall'immaginazione e, per gli esseri umani, le immagini più importanti sono **simboli astratti**, come le parole e i numeri. “*È il simbolo lo strumento che dà all'uomo il suo potere, e lo strumento è lo stesso sia che i simboli siano immagini o parole, segni matematici o mesoni. È questa una facoltà prettamente umana e la radice comune dalla quale sgorgano, crescono e fioriscono scienza, arte e letteratura*” [8]. La scienza, in fondo, è un faticoso processo di orientamento che ha come momenti decisivi l'**anticipazione ipotetica** e la continua **messa in discussione** (rimettere alla prova dei fatti) delle conoscenze acquisite, nel tentativo di elaborare nuove ipotesi in grado di interpretare più a fondo ed in modo più adeguato la realtà. Ed è proprio in questo “**metodo**”, se di metodo si vuol parlare, che la scienza rappresenta **lo strumento più potente** messo a punto dall'uomo per trovare **ordine e regolarità nel caos dei fenomeni** ed acquisire nuove conoscenze.

Interrogarsi sul **modo** in cui l'uomo **dà un senso al mondo** e riflettere su come i cultori delle varie discipline affrontano i problemi e le questioni che interessano gli esseri umani sono problematiche che devono essere affrontate anche nell'ambito dell'insegnamento delle scienze; per cui è necessario impostare **un insegnamento scientifico che crei occasioni e lasci spazio per sviluppare tali riflessioni**, che dia, in sostanza, la possibilità ai ragazzi di avventurarsi nella ricerca di **significati profondi e universali**.

Qual è stata la grande novità dell'atomismo daltoniano?

La grande novità dell'atomismo daltoniano è comprensibile alla luce della “rivoluzione” che Lavoisier, nella seconda metà del XVIII secolo, portò nella chimica. La nuova concezione di elemento, la legge di conservazione

del peso (massa) e la legge delle proporzioni definite costituirono le premesse necessarie per la nascita della teoria atomica. Dalton attribuiva agli elementi chimici individuati da Lavoisier una importanza fondamentale. Mentre altri chimici suoi contemporanei, quali Davy, erano convinti che gli elementi lavoisieriani fossero a loro volta decomponibili, e che gli elementi veri fossero in numero più limitato ed ancora da scoprire, Dalton riteneva che gli elementi lavoisieriani fossero veramente sostanze non più decomponibili perché pensava che ciascun elemento fosse costituito da atomi tutti uguali e diversi da elemento ad elemento sia dal punto di vista qualitativo che quantitativo. ***Infatti il fondamento della nuova teoria è costituito dall'ipotesi di una relazione precisa tra la composizione costante dei composti ed il valore del peso atomico degli elementi costituenti.*** L'atomismo chimico costituì la base teorica per assegnare i ***pesi relativi*** agli atomi degli elementi ed attribuire le ***formule*** molecolari ai composti e come tale venne accettato, mentre l'atomismo fisico fu oggetto di innumerevoli controversie[9]. Controversie che, comunque, non risparmiarono anche l'atomismo daltoniano, tant'è che, alla fine del XIX secolo, eminenti scienziati nutrivano ancora forti dubbi circa l'esistenza degli atomi e delle molecole[10].

La prima tabella dei pesi atomici venne stilata agli inizi dell'ottocento da Dalton seguendo un ***procedimento geniale***[11], che rappresenta ancora oggi un percorso esemplare[12] per avvicinare gli studenti al cuore della chimica, cioè al mondo degli atomi, delle molecole e delle formule. Riuscire a determinare proprietà atomiche, come il ***peso atomico***, ricorrendo a semplici procedure, è molto importante, specialmente quando viene chiesto al ragazzo un notevole sforzo di astrazione per immaginare un mondo così diverso, distante e soprattutto invisibile, dove i punti di contatto con la realtà sono tutt'altro che ovvi e intuitivi.

La creatività non può essere insegnata, ma indubbiamente può venire incoraggiata e favorita. ***“E la si favorisce, tra l'altro, se faremo capire ai nostri allievi (come insegna la storia della scienza) che la via della verità è la medesima di quella dell'errore: dell'errore commesso e poi eliminato”***[13]. Pertanto, in questa fase, non ci si deve preoccupare eccessivamente di quelle formule e di quei pesi atomici, che oggi consideriamo “sbagliati”, ma che costituirono un riferimento importante per coloro che iniziarono un percorso che gradualmente si affinò, fino a giungere alla perfezione della moderna rappresentazione atomico/molecolare; ciò che più importa sono i ***procedimenti*** e le ***strategie*** che vennero messe in campo dai Dalton, dai Berzelius, dagli Avogadro, dai Cannizzaro..., ***per raccordare molecole, formule e sostanze***. Il riconoscimento di questa storicità, dal punto di vista didattico, è fondamentale per costruire quel ***“mondo possibile”*** che non solo è stato immaginato,

ma è stato continuamente rivisto e sottoposto alla “prova dei fatti”. Oltretutto, se viene a mancare l’ambito più concreto, **proprio del canone interpretativo classico**, ben difficilmente il ragazzo riuscirà a comprendere che “macro” e “micro” rappresentano due livelli di organizzazione e di descrizione della materia, che sono tra loro in relazione, ma **non sono riducibili** l'uno all'altro.

Va comunque rimarcato che, dal punto di vista didattico, condurre il ragazzo a “**pensare**” le reazioni chimiche in termini atomico/molecolari rimane tutt'oggi una problematica complessa e del tutto aperta. Le difficoltà maggiori, per chi affronta per la prima volta questi argomenti, si hanno nel dover **interpretare** ciò che viene percepito come “continuo” in termini di “discontinuo”, laddove il “discontinuo” è inteso, non solo dal punto di vista qualitativo, ma anche **quantitativo**. È la **quantificazione dell'infinitamente piccolo** il vero e proprio ostacolo epistemologico e cognitivo che l'uomo ha incontrato - e continua ad incontrare - nella sua storia.

Proprio per questo, ciò che più importa **non è tanto trattare le teorie più recenti**, bensì quelle più comprensibili, più adatte allo sviluppo cognitivo del ragazzo, quelle che sono realmente in grado di incrementare la capacità di interpretazione dei fenomeni senza che queste, peraltro, vengano poi considerate **verità immutabili**. Non tutto e subito, ma **gradualità e lentezza**, una lentezza necessaria per **pensare, ragionare, capire**. Diversamente vengono meno le condizioni indispensabili non solo per sviluppare competenze (che richiedono tempo!), ma una vera e propria cultura scientifica.

Nell'avventura conoscitiva dell'uomo, l'immaginazione, la creatività, la razionalità giocano un ruolo essenziale. Vi è comunque un'altra dimensione che, in questa impresa, va considerata e la si può cogliere, ad esempio, in questo passaggio di un libro famoso di Oliver Saks[14], che affronta proprio il tema dell'atomismo daltoniano: “**Leggere Dalton, leggere degli atomi, mi fece scivolare in una sorta di rapimento... avevo la sensazione che, usando l'immaginazione come un microscopio, mi fosse consentito di vedere un mondo in miniatura, un mondo elementare, migliaia di miliardi di volte più piccolo del nostro... All'inizio dell'ottocento occorsero un'immaginazione e un coraggio enormi per ipotizzare l'esistenza di entità così completamente fuori della portata di qualsiasi dimostrazione empirica praticabile all'epoca.**” In un processo di insegnamento/apprendimento è importante cercare di far rivivere negli studenti queste sensazioni, questi stati d'animo, questo “rapimento”, in quanto la **conoscenza è legata anche alle emozioni**. Il senso di stupore, di meraviglia, di bellezza, di eccitazione per la scoperta di nuovi mondi, di pienezza per un sapere compreso fino in fondo... contribuiscono in maniera determinante ad alimentare **il desiderio e il gusto della conoscenza, della riflessione, della ricerca**; è un'impresa ardua, a volte titanica, eppure necessaria.

Bibliografia

- [1] J.M. Lehn in *Scienza e società. Dieci Nobel per il futuro*, Marsilio, 1995, p.29.
- [2] R. Feynmann, *Sei pezzi facili*, Adelphi, 2000, p.25.
- [3] J. Perrin, *Gli atomi*, Editori Riuniti, 2014, p.23.
- [4] M. Ciardi, *Dalla storia della chimica alla storia della scienza: ricerca e creatività*, CnS, 2009, 2, p.128.
- [5] M. Perutz, *Le molecole dei viventi*, Roma, Di Renzo, 2007, p.45.
- [6] L.S. Vigotskij, *Immaginazione e creatività nell'età infantile*, Roma, Editori Riuniti, 1972, pp.19-20.
- [7] J. Bronowski, *Un senso del futuro*, Edizioni Comunità, 2015, pp.31, 43.
- [8] J. Bronowski, *Ibidem*, p.49.
- [9] F. Abbri, in *Storia della scienza moderna e contemporanea* (a cura di P. Rossi), UTET, Torino, 1989, p.281.
- [10] W. Ostwald (1853-1932) riteneva che l'atomismo non fosse altro che una comoda ipotesi da non prendere troppo alla lettera; Lord Kelvin (1824-1907) sosteneva che si dovesse rifiutare "la mostruosa assunzione di pezzi di materia infinitamente duri ed infinitamente rigidi"; E. Mach (1838-1916) asseriva che si "dovesse porre fine all'abitudine, impropria e fuorviante di costruire teorie che facevano ricorso ad enti non osservabili, come lo erano appunto gli atomi... Teorie di questo genere sono espedienti provvisori che vanno sostituite con altre più vicine alla realtà" e sulla stessa linea di pensiero si muoveva anche P. Duhem (1861-1916). M.Ciardi, *Breve storia delle teorie della materia*, Carrocci, 2003, pp.84, 85, 86.
- [11] J.Dalton, *A new system of chemical philosophy*, Part. I, R.Bickerstaff Strand, London, 1808, (digitally printed version of Cambridge University Press, 2010), pp.211-216
- [12] C.Fiorentini, E.Aquilini, D.Colombi, A.Testoni, *Leggere il mondo oltre le apparenze*, Armando, 2007, pp.260-263.
- [13] D.Antiseri, *Teoria e pratica della ricerca nella scuola di base*, La Scuola, 1987, p.36.
- [14] O. Saks, *Zio Tungsteno. Ricordi di un'infanzia chimica*, Adelphi, Milano, 2002, p.171.

La passione per l'insegnamento: un dialogo con Brian P. Coppola

Liberato Cardellini

Dipartimento SIMAU, Via Breccie Bianche, 12 - 60131 Ancona, Italy;
l.cardellini@univpm.it

Riassunto

In questa intervista Brian P. Coppola fornisce alcuni scorci della sua vita privata. Grazie all'incontro con insegnanti dediti si innamorò ben presto della scuola e durante il dottorato, si è offerto volontario come insegnante. A prova del suo amore per la chimica fisica organica descrive alcuni dei risultati importanti che ha ottenuto in laboratorio. Ma Coppola è conosciuto per essere uno dei più brillanti e appassionati docenti di chimica organica e questa intervista cerca di carpire per i lettori qualche segreto del successo che riscuote con gli studenti.

Per Coppola insegnare non consiste in una formula o in una sequenza di azioni, ma nella convinzione della possibilità di scoprire negli studenti le capacità personali che essi possiedono. La passione per l'insegnamento implica un'etica retta e la convinzione che l'esempio è forse anche più importante degli esempi che usiamo quando insegniamo. In questa intervista Coppola discute dei metodi efficaci d'insegnamento, dell'impatto del laboratorio, del ruolo che può avere la tecnologia e la motivazione e del ruolo della ricerca nella didattica della chimica. Offre il suo punto di vista sulla scholarship of teaching, la sua esperienza sulla crescita professionale degli insegnanti e sulla globalizzazione della formazione chimica. Tuttavia ciò che brilla maggiormente sono la sua dedizione e il profondo impatto che Brian Coppola e il suo di insegnare giocano nella vita degli studenti.

Abstract

In this interview Brian P. Coppola provides some glimpses of his private life. Probably because of dedicated teachers very soon fell in love with the school and during graduate school, he volunteered in the service of teaching. For his love of physical organic chemistry he describes some of the results obtained in the laboratory. But Coppola is known to be one of the most dedicated and passionate teacher of organic chemistry and the interview tries to steal for readers some secret in the success he has with students.

For Coppola's teaching does not consist in a formula or a sequence of actions, but in the belief of the opportunity to discover students with the personal skills that they possess.

The passion for teaching involves a straight ethics and a belief that the example is perhaps even most important of the examples that we use when we teach. In this interview, Coppola discusses effective methods of teaching, the impact of the laboratory, the role that may have the technology and motivation and the role of research in chemical education. Offers his perspective on the scholarship of teaching and his experience on the professional development of teachers and the globalization of chemical education. But what shines through most is his dedication and the profound impact that Brian Coppola and his teaching has in the lives of students.

L'intervista

La mia intervista con il professor Coppola non rivela alcuna 'formula' per trasformare gli studenti in un gruppo interessato all'apprendimento: potrebbe essere di aiuto nel mettere in discussione le premesse e le convinzioni che si hanno sull'insegnamento. D'accordo o in disaccordo, sono certo che questo non importa al professore, perché il nostro desiderio è ispirare i lettori a ripensare come avere il maggiore impatto possibile nel loro ruolo privilegiato di educare, e non solo informare, i propri studenti.

Come descriverebbe la sua formazione iniziale? Perché ha scelto di studiare chimica e di diventare un insegnante?

Fin dall'inizio ho avuto una storia d'amore con l'istruzione. Ho iniziato la prima elementare a 5 anni e ho ancora due ricordi vividi. Il primo giorno di scuola, ricordo il trauma di vedere i genitori in fila verso la porta e abbandonare la stanza piena di bambini. Questo fu sconvolgente e mi fece piangere. Il secondo giorno ero ancora lì che piangevo, ma questa volta era perché volevo restare a scuola. La scuola dovette chiamare i miei genitori per riportarmi a casa alla fine di quel secondo giorno: volevo restare. Ciò che riesco a ricordare è il desiderio di voler essere un insegnante. Ero un bravo studente e ho avuto alcuni insegnanti meravigliosi. A un certo punto durante l'ultimo anno, smisi di andare fuori per la merenda e iniziai a stare dentro, facendo da tutor e/o semplicemente lavorando con i miei compagni sulle nostre lezioni. Sono stato in piedi alla lavagna, lavorando con altri studenti, più di quanto io abbia fatto tutto il resto.

Il mio interesse per la scienza cominciò in prima media, grazie alla signora Marie Smith. L'ho rintracciata nel 2009 e ho conosciuto la sua storia. Era laureata in biologia alla San Francisco State College e non intendeva diventare un'insegnante. Il marito era un militare e stazionava nel New Hampshire. Seguì un paio di corsi estivi di abilitazione professionale presso l'Università del New Hampshire e le capitò un lavoro come insegnante di scienze. Per sua stessa ammissione, non aveva idea di quello che stava facendo, così si affidò a ciò che aveva compreso delle scienze.

Questa è un'idea importante. Invece di file di banchi, la classe di scienze della signora Smith era una serie di stazioni disposte nella stanza, ognuna con qualcosa da indagare. Ricordo era una tazza piena di rondelle, qualche stringa e un cronometro, dove ho elaborato le relazioni del moto pendolare. Questo è stato l'unico anno in cui Marie Smith ha insegnato a livello pre-universitario. Il marito è stato ritrasferito in California e lei ha proseguito con i corsi avanzati in biologia, ha insegnato a livello di college statale e dopo aver prestato servizio per due volte come Preside, è in pensione come Vice Cancelliere.

Non sono sicuro da dove sia arrivato il mio interesse per la chimica. Credo che in parte sia dovuto alla mia natura controcorrente (a nessuno piace, quindi a me interessa), e in parte sia stato il programma di scienze per novizi alle scuole superiori del 1970-1971. Abbiamo usato il programma del National Science Foundation "Introductory Physical Science" (IPS), che è stato lanciato nel 1967 come una delle molte riforme delle scienze post-Sputnik. Quello che mi ricordo di quei molti esperimenti e delle dimostrazioni IPS è che erano tutti legati alla chimica: la distillazione di una stecca di legno per il metanolo, la raccolta dell'idrogeno dalla reazione di trucioli di zinco con l'acido, o la dimostrazione delle relazioni temperatura/pressione utilizzando una sorta di grande pistone e una membrana rimbalzante di cuscinetti a sfere.

Mi sono diplomato alla Pinkerton Academy con il premio per i meriti in chimica e sono entrato all'Università del New Hampshire nel 1974 come uno studente con una specializzazione in chimica. Ho amato la chimica organica e ho avuto un professore formidabile: Robert E. Lyle. Bob era un altro in una lunga serie di educatori dediti che sapeva che una parte importante del lavoro per essere un buon insegnante è identificare e coltivare la prossima generazione. Mi ha invitato nel suo gruppo di ricerca (la mia reazione: "davvero ... posso fare questo?"). Bob si trasferì nel Texas e ho finito con il nuovo assunto, Gary R. Weisman. Sia Bob che Gary erano laureati alla UW-Madison, quindi forse non è così sconvolgente che io sia finito lì.

Ho lavorato con Barry M. Trost per il mio dottorato di ricerca, e l'occhio di Barry era esattamente centrato sulla formazioni dei suoi studenti. Certamente vedo queste cose in retrospettiva molto più chiaramente che in quel momento. Ripeto spesso la storia di quello che ha detto nel 2001, in occasione del simposio organizzato per il suo 60° compleanno (parafrasando): *i miei colleghi mi confondono con la loro insistenza perpetua che la produttività della ricerca è il primo e più importante risultato della scienza accademica. Quando guardo intorno in questa stanza, quello che vedo è il vero esito: educare le persone e farle uscire nel mondo. Dopotutto, se la produttività della ricerca fosse l'obiettivo prima-*

rio, perché sprechiamo tanto tempo nel farlo con scienziati non addestrati?
Credo che questo sia un modo davvero meraviglioso per esprimere il punto della questione.

Durante la scuola di specializzazione, ho offerto i miei servizi d'insegnamento a una nuova organizzazione del campus Madison chiamato GUTS (Greater University Tutorial Service). A quel tempo, GUTS era il progetto di laurea di alcuni studenti della School of Education e stavano conducendo questo progetto come un'organizzazione studentesca indipendente. Ogni settimana guidavo un gruppo di discussione formato da 10-12 studenti provenienti da più sezioni del corso di chimica organica del corso di laurea alla Madison e in parte improvvisavo, perché non conoscevo il loro programma scolastico. In un certo senso, ero la signora Smith durante quelle sedute: mi affidavo alla scienza.

Questa esperienza mi ha fornito quell'incontro che cambia la vita. Uno degli studenti universitari ideatori del progetto era Harry Behrman. Stava raccogliendo i dati in merito al progetto e ha finito per osservare le mie sedute. Nel corso del primo anno, Harry ed io ci siamo incontrati per qualche ora, la maggior parte delle settimane; da lui ho ricevuto un'educazione informale in materia di educazione come campo formale di studio. Fu durante queste sessioni che uno dei più importanti messaggi ispirati da Trost collideva con la mia ignoranza preventiva e totale nel campo dell'istruzione: identificare un problema difficile su cui lavorare, e farlo in modo creativo. Dai primi anni '90 ho potuto vedere il posto e il valore di quello che avrei chiamato "insegnamento e apprendimento centrato sulla disciplina": un'area interdisciplinare che emerge dalla combinazione della comprensione che si ha dei contenuti di un'area tematica con idee della pedagogia. Credo però che sia la signora Smith che lo ha inventato.

Il resto di questa storia, in relazione al modo in cui questo lavoro si trasformò nella posizione di professore ordinario presso l'Università del Michigan, è contenuta nel libro di Mary Taylor Huber, *Balancing Acts: The Scholarship of Teaching and Learning in Academic Career* [1].

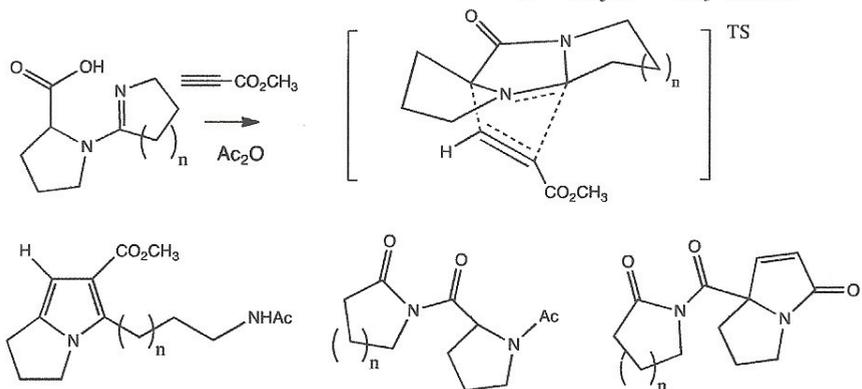
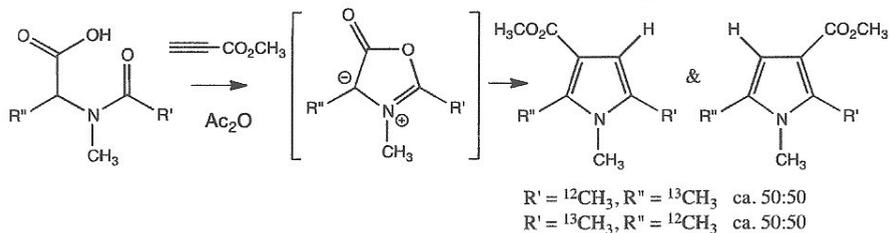
Ha lavorato in laboratorio: potrebbe menzionare alcuni dei risultati ottenuti?

Amo la chimica organica fisica. Si possono progettare esperimenti minuziosi, basati sulle strutture; di solito riesci a fare i substrati necessari e gli esperimenti possono essere eseguiti velocemente e su enormi popolazioni di particelle auto-equilibranti. Si ottengono risposte precise, almeno nei risultati. Confronta tutto ciò col dover trattare l'inferenza statistica, o con lo stare sotto terra in attesa di un neutrino vagante che arrivi dalle tue parti! Sto scherzando; mi conforta sapere che altri facciano queste cose. C'è una piacevole tangibilità nell'armeggiare con le strutture molecolari e poi osser-

vare per vedere quello che fanno. Però non credo che noi chimici facciamo del nostro meglio nel trasmetterlo.

Abbiamo studiato una delle reazioni di cicloaddizione 1,3-dipolare (Huisgen) nota per dare basse regioselettività. I münchnoni mesoionici, derivati dalla reazione di ciclodisidratazione di aminoacidi secondari, danno reazioni cineticamente controllate di cicloaddizione con dipolarofili acetilenici per formare, dopo aver rilasciato il biossido di carbonio in una reazione di cicloreversione, i pirroli. La sintesi originale della Atorvastatina (Lipitor) si basa su una di queste reazioni.

Nei nostri studi, utilizzando un marcamento isotopico in un caso e usando piccole variazioni strutturali nell'altro, siamo stati in grado di dimostrare che la regio-selettività in queste reazioni sembrava essere influenzata più profondamente da interazioni non covalenti, con alcune forti inferenze su una struttura di uno stato di transizione asimmetrico, piuttosto che procedere secondo quanto prevedesse il modello dell'Orbitale Molecolare di Frontiera [3].



normal cycloaddition with propiolate

side reaction with Ac_2O

stepwise reaction with propiolate

n = 3 89%

0%

0%

n = 2 35%

17%

0%

n = 1 11%

33%

33%

Nel 2009 le è stato assegnato il premio "Professore Nazionale Statunitense dell'Anno" a causa della sua "straordinaria dedizione all'insegnamento universitario". Quali qualità pensa che siano rilevanti nei docenti?

Se posso riflettere sulla domanda solo per un attimo: è corretta, ma segue da una premessa fondamentalmente errata. Ovvero; elencando queste qualità si pensi che ci si possa fare qualcosa. Spostiamo il quadro di riferimento per un momento. Se l'intervista fosse stata con Martin Scorsese, premio Oscar per la regia, e gli chiedessi quali siano le qualità che sono rilevanti nei registi, lui potrebbe rispondere così: imparare a raccontare una buona storia.

Io sono tentato di rispondere allo stesso modo.

Credo che la progettazione e l'attuazione dell'istruzione formale sia una delle *esibizioni* più difficili e impegnative che gli esseri umani affrontino. Solo in pochi possono farlo molto bene; magari molti possono farlo in modo utile (*Ora mi caccio nei guai*). Tutte le professioni basate sull'esibizione condividono questa caratteristica. Arti visive, danza, recitazione, musica, e così via, tutte coinvolgono la profonda esperienza personale delle persone con il mondo, e trasmettono questa visione attraverso il loro particolare strumento, nel tentativo di fare percepire allo spettatore che cosa hanno capito del mondo. *Essi cercano di suscitare la comprensione che hanno del mondo, in altri*, che non è un brutto modo di pensare a ciò che intendiamo per insegnare.

L'insegnamento è per me un'esibizione. Come i musicisti, usiamo "note", ma è sorprendente come spesso le note vengono confuse con le prestazioni nell'insegnamento. Si pensi all'assortimento di qualità che si incontrano ogni giorno quando comunque molte persone in tutto il pianeta prendono un determinato strumento musicale per suonare un dato insieme di note. I virtuosi impugnano il loro background, la loro esperienza, la loro visione del mondo e cercano di esprimere questa comprensione in modo da evocare quella comprensione in coloro che stanno ascoltando. I virtuosi sembra che suonino le note, ma essi producono cose di valore da ciò che non è scritto: possiamo chiamarlo "leggere tra le note".

Da persona a persona, le note sono esattamente le stesse, ma la combinazione di esperienza e capacità si traduce in una diversità incredibile di esibizioni. Quante di queste esibizioni sono orribili? Quante sono tecnicamente perfette ma non suscitano nulla? Quante ispirano la comprensione in pochi? E quante ispirano tutti? Nelle arti performative, si fa una distinzione netta tra competenza tecnica e artistica. In quest'ultimo caso, si vede qualcuno fare qualcosa e poi scuotiamo la testa meravigliati e ci chiediamo: "come diavolo ha fatto costui o costei a fare questo?" Questo, per me, distingue gli insegnanti tecnicamente competenti da quelli eccezionali.

Come insegnante ... come insegnante efficace ... si deve iniziare con una

profonda comprensione della materia, della natura dell'apprendimento, del pubblico, ed è necessario non solo scrivere la sinfonia, è necessario dirigerla, produrla e poi assumersi il ruolo del protagonista. Senza dubbio, proprio come quando si siede faccia a faccia con un amico, è necessario essere in grado di leggere gli indizi più discreti nelle reazioni del vostro pubblico e, il più delle volte, ri-scrivere, ri-dirigere, e ri-produrre il proprio soggetto al volo. Tra tutte le varietà di arti performative, credo che l'insegnamento si avvicini di più al jazz improvvisato.

Alcuni tra i primi studenti mi hanno visto fare questa attività al-volo una volta nel mezzo della lezione. Ho cancellato la lavagna e ri-fatto quello che stavo cercando di dire in un modo molto più efficace di quanto avevo previsto. Uno di loro mi ha chiesto "Lo ha appena capito?" E io risposi "sì". "Allora devo pensare," lo studente ha osservato, "che uno dei segreti dell'insegnamento sia rendere qualcosa che si è appreso solo un momento fa uguale a qualcosa che si conosce da tutta una vita?"

Allontanandosi da questa metafora estesa per un momento, il campo dell'istruzione chiama quest'abilità d'improvvisare "Pedagogical Content Knowledge" (PCK). Più che una comprensione del soggetto e più di una semplice comprensione delle strategie pedagogiche, la PCK rappresenta le scelte strategiche, sul-momento che un insegnante efficace fa quando pensa a come suscitare la comprensione negli altri. La PCK comporta una diagnosi corretta di quale sia la sfida nell'imparare qualcosa, in combinazione con il trattamento (l'analogia giusta, l'esempio giusto, l'esercizio giusto) che mira esattamente alle difficoltà che chi apprende sta incontrando.

La PCK è anche al centro di una verità lapalissiana: le competenze di un eccellente ricercatore scientifico contribuiscono all'essere un ottimo istruttore di scienza. Ancora una volta mi trovo in difficoltà, perché questa è una pillola difficile per alcuni da deglutire. Non credo che tutti i buoni ricercatori siano buoni insegnanti, ma se si prende un argomento PCK per ciò che costituisce l'istruzione efficace, allora una delle condizioni necessarie è di possedere un sacco di esperienza autentica del pensare e fare scienza. Quando viene il momento di affrontare un gruppo di studenti che non hanno ancora capito ciò che stavano cercando d'imparare, gli insegnanti efficaci devono essere in grado di scandagliare le profondità della loro stessa comprensione esattamente nella maniera in cui producono argomenti efficaci nel campo della ricerca. Ma questo non è sufficiente, perché l'istruttore efficace deve anche ri-confezionare quella conoscenza e presentare il compito, qualunque esso sia, in un modo che abbia un senso accettabile per il pubblico destinatario. Conoscere qualcosa non è la stessa cosa che saperlo spiegare in modo efficace.

Mi sono dedicato a questo per oltre 30 anni, e ancora, quasi ogni giorno, mi ritrovo a pensare in termini di quello che ho appreso facendo scienza,

dalla varietà di esempi che conosco dalla letteratura e dalle pratiche che caratterizzano "il modo in cui la scienza opera". Dopo meno di alcune settimane in qualsiasi classe io stia insegnando, le frasi più ricorrenti che voglio cominciare a sentire dai miei studenti sono "qual è l'osservazione?" e "quali sono i dati?"

Noi crediamo che gli studenti siano "serviti al meglio guidandoli costantemente a dare valore alla scoperta e alla vera comprensione" [18]. Come possiamo risvegliare le qualità che sono nella mente di ogni studente?

Mi piace il modo in cui hai posta la domanda, per cui vorrei indugiare per un momento perché la sottigliezza è facile da mancare. Non hai chiesto "come possiamo metterlo lì?" o "come possiamo insegnarlo?" Ma piuttosto: come possiamo svegliarlo? Senza inciampare in una estesa argomentazione sulla loro natura, penso che le qualità di base per la curiosità, la creatività, l'immaginazione, l'analisi, e tutto il resto, siano intrinseche alla condizione umana. Ciò che possiamo fare l'uno per l'altro è modellare la raffinatezza e l'espressione infinita di queste qualità, e sforzarsi a costruire gli ambienti in cui gli altri possano imparare da ciò che abbiamo imparato.

Sono molto fiducioso e mi aspetto che la maggior parte dei miei studenti possa superarmi nell'espressione di molte cose, ma penso anche che io riesca a superarli nella mia capacità di farlo uscire da loro ... e lasciarli "un po' più svegli" rispetto a quando ci siamo incontrati la prima volta. Sinceramente, mi auguro che tutti noi facciamo sempre questo l'uno per l'altro. Insegnami, perché mi piace imparare. E perché mi piace imparare, permettimi di insegnarti qualcosa. Il contesto educativo formale è un luogo utile per questo, ma noi speriamo che procedendo insieme appositamente per questo scopo ci si muova più deliberatamente ed efficientemente rispetto che a casaccio.

Come insegnante, con grande convinzione mi impegno per costruire questa mia immagine come un'apprendista che sta semplicemente condividendo l'apprendimento, quando penso a come ispirare al meglio lo sviluppo di queste qualità nei miei studenti. Sono convinto che tutti i miei studenti possano migliorare; così si tratta semplicemente di scegliere tra gli aspetti di queste qualità che costantemente illustro e modello. Potrebbero fare diversi errori lungo la strada. Potrebbero muoversi a un ritmo più lento o più veloce. Ma ogni studente può fare progressi. Credo in questo e glielo dico, con le mie parole e le mie azioni. Se io non credessi in questo, loro non lo farebbero mai.

Certamente è vero anche il contrario. Ho la stessa reazione ogni volta che sento un insegnante, prima ancora che un corso inizi, dirmi tutti i motivi per cui gli studenti non saranno in grado di avere successo: non hanno abbastan-

za abilità matematica, non parlano inglese sufficientemente bene, hanno voti bassi su qualche prova, sono un gruppo di acchiappa-voti per le graduatorie e non sono interessati a imparare, e così via. "Se si crede questo," dico, "allora questo è esattamente quello che sarà il risultato."

Quali sono le buone pratiche nell'insegnamento della Chimica? Quali sono i vantaggi dei team di apprendimento che lei ha suggerito? [19]

Credo che la famosa idea di Heisenberg sull'incertezza scientifica, che "il metodo e l'oggetto non possono essere separati," [20] sia qui largamente applicabile; quindi sulla questione delle migliori pratiche d'insegnamento e apprendimento bisogna anche chiedersi: le migliori pratiche per ottenere che cosa? La scelta e il successo di un metodo d'insegnamento sono collegati agli obiettivi dell'insegnante. Ad esempio, io sono meno interessato a sapere se centinaia di studenti universitari del primo anno ricordano i dettagli di qualche meccanismo di chimica organica e più interessato a migliorare la loro capacità di apprendere e ad acquisire alcune lezioni durature; entrambe le cose se possono collegarsi all'apprendimento della materia.

Le lezioni che restano includono lo scetticismo, la fiducia nei dati e nelle osservazioni, l'uso critico delle ipotesi alternative, il sentirsi a proprio agio con l'ambiguità e la costruzione dell'argomento più difendibile, il Rasoio di Occam, la capacità di trasmettere coerentemente un argomento, le abilità di negoziazione interpersonale, la leadership e così via, perché voglio che gli studenti mantengano un livello di alfabetizzazione funzionale alla materia di studio in modo che siano a proprio agio con essa quando spunta fuori mentre stanno guardando un programma alla TV o ascoltando in modo critico quando qualcuno cerca di vendere loro un prodotto "senza-chimica". Non voglio sminuire l'importanza della mia materia di studio, ma vedo la materia ugualmente utile nel servire un ruolo allegorico. Non posso entrare in classe e dire: "oggi imparerete cos'è lo scetticismo." Capire lo scetticismo è una delle esperienze della storia della scienza, mentre i fatti e le idee della disciplina sono la storia che io racconto per ottenere una comprensione dell'etica della storia: le lezioni che restano. Le pratiche che mi sembrano migliori sono:

L'istruzione vecchia scuola: raccontare una storia in continua evoluzione e imparare a farlo bene, incluso l'ottenere un feedback, in aule con centinaia di studenti. Sono convinto che due cose migliorerebbero immediatamente l'istruzione universitaria: eliminare le slide Powerpoint TM e simili, ed eliminare i test a scelta multipla. Con tutta l'attenzione che l'ultima generazione di trucchi in aula ha ottenuto, si finisce per trascurare un semplice fatto: un istruttore efficace può usare un pennarello su un marcia-

piede e fare un ottimo lavoro. Come professione, penso che abbiamo perso un collegamento importante con la vera arte della retorica orale interattiva e persuasiva (e il buon lavoro alla lavagna).

L'onestà intellettuale con la materia in oggetto. Voglio studenti che imparano la scienza della chimica; non solo imparare a riuscire bene nei test di chimica. Ho tolleranza zero per qualsiasi altro punto di vista. Conosco tutti i mantra: "Ma gli studenti in questi giorni vogliono questo o quello ... ma gli studenti mi daranno una valutazione negativa ... ma gli studenti hanno bisogno di prendere il Medical College Admissions Test (MCAT) ... ma ..." A me semplicemente non interessa. Punto. Se volessi lavorare con una società di preparazione ai test, lo farei e vorrei farlo bene; ma sarebbe molto diverso da quello che faccio ora.

Interazioni nel lavoro di gruppo o faccia a faccia. C'è una riscoperta dell'apprendimento basato sul lavoro di gruppo; alcune persone hanno inventato nuovi nomi per cercare di assumere la proprietà di un'idea che è vecchia quanto l'uomo: raccontare la storia di ciò che si conosce a qualcun altro, ovvero, insegnarglielo, è una parte importante e indispensabile dell'apprendimento. Questa lezione è fondamentale per il successo scolastico, perché valutiamo la comprensione dello studente in una sola direzione: chiediamo loro d'insegnare a noi, almeno quando le domande sono aperte, studi di casi e/o basati sui dati. La cosa che Elaine Coleman, più di chiunque altro che conosco, ha dimostrato empiricamente anni fa, è questa: quando si è cognitivamente consapevoli che in futuro bisognerà insegnare qualcosa a qualcun altro, la prima volta lo si impara meglio.

Coerenza pedagogica. Come comunità di chimici organici, ad esempio, non ci capita di sedere a un tavolo e parlare l'un l'altro delle strategie per l'insegnamento della chimica organica. Ho la fortuna di essere in un dipartimento la cui cultura è cresciuta esattamente in questa direzione. I nostri corsi a più sezioni si sono evoluti con molta coerenza nelle strategie e nel messaggio di fondo della materia che insegniamo. Questo è il risultato di anni passati a parlare vicendevolmente e costruire seriamente un modo di suscitare interesse, di ragionare e insegnare la materia [7]. Ho insegnato in altre università negli ultimi due anni e sono certamente familiare con parecchi dipartimenti. I vantaggi di un programma coerente sono che effettivamente si migliora il modo in cui si insegna, si imparano cose sulla materia in modo diverso e agli studenti non arriva la sensazione che le diverse sezioni siano in competizione tra loro. Le argomentazioni per cui si esercita la libertà accademica insegnando in qualsiasi modo si voglia è solo un fraintendimento di ciò che significa libertà accademica.

Insegnamento

Può descrivere aneddoti che rappresentino l'efficacia delle sue strategie d'insegnamento?

Il mio scopo è portare gli studenti a riuscire a livelli che li sorprendono. Uno dei motivi per cui mi piace insegnare la chimica organica è perché è così facile connettere gli studenti con il lavoro effettivo di una disciplina scientifica, di collegare le lezioni fra loro con storie su come la conoscenza viene generata, con l'uso della letteratura di base per scrivere test relativamente aperti che possono essere somministrati a 1500 studenti in un corso introduttivo. Questo livello di esposizione alla scienza è una novità per i miei studenti. Come scienziato, m'interessa il superamento della lezione: quando gli studenti incontrano delle nuove informazioni, le prime due questioni che hanno bisogno di prendere in considerazione sono "Posso credere a questa cosa?" e "Quali evidenze supportano le affermazioni?".

Ogni anno, poi, dal 1994, circa 100-120 studenti del primo anno che affrontano il secondo semestre di chimica organica trasformano una serie di articoli di ricerca contemporanea in materiale didattico l'uno per l'altro. Pubblichiamo internamente questo libro di circa 250 pagine, e lanciamo il sito web associato, una festa multimediale, circa 2 settimane prima dell'esame finale. Questo lavoro realizzato dagli studenti, revisionato dai loro colleghi è il materiale su cui baso le domande per il l'esame finale. La mia sfida è estrema: allo stesso livello della bontà del loro lavoro (che è sempre eccellente), baso le mie domande d'esame solo sugli errori che rimangono nel loro libro. Inevitabilmente, gli studenti capiscono che (come corso) devono prendersi del tempo per lavorare insieme, come una comunità cooperativa, al fine di studiare per la prova finale; dopo tutto, se trovano qualcosa nel *loro* libro o sul sito web su cui hanno una qualche domanda, sanno chi sono gli autori!

Il primo giorno di questo corso, i miei studenti sono storditi perché il loro programma di laboratorio dopo la pausa di medio termine è letteralmente vuoto. Ancora una volta, usano la letteratura chimica per elaborare proposte di ricerca, semplici, ma originali, per ciò che dovrebbe costituire il loro lavoro durante la seconda metà del termine. Da circa 30 proposte scritte in gruppo, il corso è responsabile per la revisione e per restringere il campo e proporre le migliori 4; a quel punto ordiniamo i prodotti chimici necessari in modo che siano pronti per quando gli studenti tornano dalle vacanze d'inizio primavera.

Che si tratti degli studenti che stanno seguendo i corsi, o quelli che ritornano a lavorare come miei collaboratori - il mio gruppo d'insegnamento - penso che l'efficacia per riuscire a fare queste cose, consti di due componenti. Primo, tutte queste cose folli devono essere fatte, e fatte bene.

Si può spingere la gente molto oltre le loro aspettative se si trova il modo giusto per farlo. In secondo luogo, le lezioni importanti sembra che vengano apprese. Uno dei miei colleghi, alcuni anni fa ha usato una frase, per descrivere il carattere dei miei studenti. Egli ha detto che avevano il "coraggio ingenuo": non sapevano tutto, ma pensavano di poter fare qualsiasi cosa. Non avevano paura di provare cose nuove e se non sapevano qualcosa allora si attaccavano automaticamente a qualsiasi risorsa avessero bisogno per imparare. Avrebbe voluto avere più studenti universitari di questo tipo.

I primi e gli ultimi giorni di lezione spesso sono memorabili e l'11 Dicembre 2013 è stato un esempio rilevante del secondo punto. Pochi minuti prima della mia classe di chimica organica delle 8:00, dove gli argomenti includevano la base molecolare del sesso nello scarafaggio e come gli scienziati aggancino le antenne delle falene con elettrodi al fine di rilevare i feromoni, uno studente alto di nome Abdallah è entrato nel mio ufficio. "Posso leggere qualcosa per lei?" mi chiese. "Ho scritto una poesia per lei la notte scorsa e gliela volevo leggere." Come si può dire di no ad un'offerta del genere?

<p><i>An Hour of Knowledge</i></p> <p>If Organic Chemistry was discovered by the Greek gods, It would have been make-believe. Then Coppola lecturing every morning, Would be the equivalent of Winter time leaves.</p> <p>Even then we'd fight for front row, Everyone equipped with fishing rods. And although it's too early for brain fluids to flow, We still ensure him with false nods.</p> <p>His words are ice shards. His breath is ten degrees beneath freeze, Of liquid helium, yet we still come, Under prepared wearing short sleeves.</p> <p>Breathe, you will make it through the hour, Keep your gaze focused,</p>	<p>Coppola's jokes are as funny as a flower And his looks are like a punch line joke. But that's only because they're the best part.</p> <p>Looking at his head, Is as warm as a mother's heart. Try and read his eyes, You wouldn't know where to start.</p> <p>He's fast at answering emails, Quicker than a ninja's flying dart. If you ever go shopping with him, You better bring a big cart.</p> <p>Auditorium with four hundred students, Something is making this place go. Protons and neutrons down below. Electron orbitals shine their shadow. Static forces are negligible, It's the scenic exchange of knowledge, Keeping the students inflow.</p>
---	--

<p>Coppola, you make chemistry glow, You keep me up and fighting, Staying toe to toe. If this organic chem's an axiom, Then man you've got an afro.</p> <p>You wear Wisconsin shirts on Mondays, To keep us all from falling asleep. But you make all our days fun days. So we don't consider counting sheep. You can be shallow at times, But that's to remind us that you're deep. You drive through our heads like the new Dodge Durango jeep.</p>	<p>So reap at our minds Coppola, reap! Just clean the mess afterwards, A quick mop and sweep.</p> <p>As this semester comes to an end, This hill is getting increasingly steep. And this may sound awkward, Professor, this may sound cheap. I don't cry very often, But my eyes are starting to seep. I took an hour writing this out, Not just for you to keep. I also wrote this poem because I'd hate for you to see me weep.</p>
---	---

Alle 09:00, dopo quell'ultima lezione, dopo qualche applauso, sorrisi e strette di mano, *Callie*, uno degli studenti che sedevano in prima fila, mi ha consegnato una cartolina densamente scritta:

... Quando ho sentito parlare dei corsi, la "peggiore classe da estirpare" tutti dicevano, era Orgo I. Era dura, brutale, e distruggeva molti. Lasciando questa classe, non potrei pensare ad una caratterizzazione più lontana dalla verità. Parto da Chem 210 con una profonda comprensione degli argomenti trattati, un entusiasmo rinvigorito per l'apprendimento, e - soprattutto - tante nuove amicizie. Al di là del merito accademico del corso, il più grande dono è stato il senso di onestà. Intanto, l'onestà verso l'apprendimento. La sua dedizione per gli studenti e la sua disciplina mi hanno sempre impressionato. Moltissimi altri studenti riconoscono l'impatto che lei avuto sui loro 4 anni alla Michigan e, grazie a lei, la chimica è passata da essere il mio corso meno apprezzato a quello preferito. In secondo luogo, sento che CHEM 210 mi ha dato un senso più profondo d'onestà nei confronti delle discipline scientifiche in generale. Orgo non solo mi ha insegnato le abilità di problem solving che hanno cambiato il mio approccio al mondo, ma anche un paradigma etico con il quale interagire con esso. Più che altri corsi, sento le che abilità trasferibili apprese qui hanno profondamente influenzato i miei approcci. Infine, voglio ringraziarla per l'incredibile senso di comunità che CHEM 210 mi ha dato. Senza la sua enfasi sulla collaborazione di gruppo, non avrei incontrato un gruppo di persone straordinarie. La gente vede la chimica come una scienza difficile, ma lei ne ha fatto una comunità, una casa. Lei sta cambiando la vita di molti, ogni giorno e ispira molti altri a fare lo stesso. Grazie per aver reso il mio primo semestre un'esperienza indimenticabile. *Namaste*

Si possono coinvolgere studenti seduti in modo fisso attivamente in un corso molto numeroso? Se sì, come?

Sì, è possibile. Vorrei iniziare con il presupposto di fondo che oggi permea l'istruzione, perché deriva dall'ombra opprimente che la responsabilità ha gettato su tutto: gli studenti devono essere in grado di ottenere risposte corrette nei test. Questo rende facile la valutazione, così il metodo domina. Dai sistemi di risposta personali e i piccoli lavori di gruppo all'insegnamento capovolto, l'attenzione è incentrata sulla riduzione dei tassi DFW (D grade/ F grade/withdraw) e sull'aumentare i punteggi complessivi dei test. Purtroppo, il risultato è difficile da distinguere come qualcosa di diverso dal creare studenti che hanno successo nei test.

A mio modo di vedere, l'esperienza di formazione nel college o nell'università è molto di più del successo nei test. Sento il dovere di tenere vivo lo sviluppo dell'intelletto accademico e l'aspetto morale come obiettivi primari. Vedo una grande differenza tra l'attenzione alla classe e ai compiti a casa, che sono le caratteristiche principali dell'ambiente di apprendimento delle scuole superiori e la padronanza delle molteplici e diverse risorse che dovrebbe caratterizzare l'istruzione universitaria. Voglio che i miei studenti imparino la chimica organica e tutte le abilità allegate che arrivano con essa per la loro formazione, e non solo come risolvere problemi di chimica organica. Francamente, penso che la cultura accademica ha perso questo senso e lo ha sostituito con delle sciocchezze.

Ora, non fraintendermi: la padronanza della materia di studio è il veicolo attraverso il quale vengono presentate le lezioni e la comprensione concettuale è una componente chiave. Ma lo è anche il contribuire a migliorare la capacità degli studenti di apprendere in modo indipendente, in particolare come districarsi attraverso le molte opzioni strategiche per l'apprendimento che sono a loro disposizione e abbinarle a se stessi e all'esercizio di apprendimento. Questo si chiama apprendimento auto-regolato. E ci sono incluse lezioni che vengono con l'apprendimento che sono tanto difficili da insegnare quanto sono importanti, che sono nell'insieme relative ai risultati delle arti liberali tradizionali. Nelle scienze, meglio di altri insegnamenti, possiamo avere situazioni in cui sperimentare aspetti come lo scetticismo, l'apprendimento dal fallimento, il comfort con l'ambiguità e l'abbraccio dell'incertezza. Si rilegga ciò che ha detto Feynman su Cargo Cult Science.

Una delle assunzioni sbagliate dell'istruzione superiore moderna è che il corso all'università occupa la stessa nicchia ecologica che occupa nelle scuole superiori. Per me il corso non è tutto; serve al suo scopo, ma non è l'intero quadro. Se un docente delle superiori o universitario opina che i loro studenti proprio non lavorano al di fuori del tempo in classe, allora quella persona ha capitolato e ottiene esattamente ciò che è stato previsto.

Quello che mi propongo per una classe è un'esibizione interattiva efficace; sto usando questo termine nel modo in cui lo userei se fossi un attore, un musicista, un ballerino, o anche un predicatore. In un'esibizione efficace si suscita una comprensione attraverso la propria padronanza del mezzo in una maniera che porta il pubblico ad apprezzare ciò che la propria esperienza, la formazione, la pratica, e sì, il proprio dono, apportano in un'interpretazione e in una trasmissione di sentimenti e idee. L'esibizione efficace cattura, ti fa pensare e desiderare di ricordare anche mentre si sta ascoltando, e si vuole - a volte è necessario - riflettere su questa esperienza con gli altri dopo lo spettacolo, per decostruirla e costruire la propria comprensione.

Se tu visitassi il mio corso, vedresti un posto dove (a) mi occupo della comprensione della materia, (b) sono sempre alla ricerca di situazioni ove iniettare idee relative all'apprendimento della materia così come le lezioni allegare con la materia, (c) ho allenato 300-400 studenti ad essere coinvolti nella performance al punto che, quando mi fermo nel bel mezzo di una frase e mi aspetto che siano stati in ascolto, loro lo sono stati; collettivamente, come un coro, vanno effettivamente a completare la frase, (d) potrei porre piccole, veloci domande 5-10 volte in un minuto, a volte, e aspettarmi la maggior parte di loro rispondere, insieme, come un coro.

La risposta corale è difficile se non impossibile a meno che non si possa convincere un pubblico ad essere in ascolto ed elaborare. Dalla cattedra, l'orecchio può sintonizzarsi su alcune differenze evidenti: a cosa somiglia il suono di 400 persone che dicono la stessa cosa, in modo rapido e con sicurezza? Che suono si sente con 2, 3 o 4 risposte differenti? Qual è la differenza tra un quarto di secondo di ritardo e un secondo di ritardo? Che cosa i decibel mi dicono sul loro livello di sicurezza? Posso farlo al volo. Posso quindi correggere immediatamente la direzione in cui andavo, e poi fare un'altra domanda per vedere come questa sta andando.

Quale dev'essere il ruolo del laboratorio nella formazione chimica? Com'è possibile "agire come scienziati e imparare come impara uno scienziato"?

[21]

Sono orgoglioso di essere considerato un bravo sperimentatore, non solo nella progettazione di esperimenti, ma anche nella loro realizzazione. Per alcuni anni dopo aver lasciato il dottorato, le persone che avevano avuto bisogno di fare riferimento ai miei quaderni, per esempio, si sono presi la briga di farmi i complimenti per il mio lavoro. Tutto ciò per dire che credo che gli aspetti sperimentali della scienza siano importanti. Però sia chiaro: se si conosce l'esito, non è un esperimento.

Imparare come tradurre questo nei laboratori universitari è estremamente difficile, in particolare farlo su vasta scala. Come nella scuola superiore, la

formazione e l'esperienza dell'insegnante nella classe è la variabile più importante. Meno ben addestrata o esperta una persona è, meno capaci sono gli studenti a progettare e implementare l'istruzione efficace e si finisce con esercizi piuttosto che esperimenti.

Nel corso degli anni sono stato ispirato dall'idea che anche una piccola cosa sconosciuta è ancora una cosa sconosciuta e così gli esperimenti possono essere fatti in contesti scolastici. Voglio che gli studenti tocchino con mano cosa sia sviluppare le proprie competenze, siano in grado di contribuire alla progettazione e dovranno contare sull'interpretazione e sulla valutazione dei dati.

Non credo che ogni studente abbia bisogno di massimizzare la resa dell'acido benzoico come derivato del fenile magnesio Grignard e ghiaccio secco. Ma abbiamo trovato un modo per rendere questo un esperimento interessante. Come si è visto, ci sono sottoprodotti di questa reazione che sono stati esclusi sistematicamente attraverso la procedura sperimentale classica. Uno di questi è il bifenile. Un modo per ottenere un buon paio di anni di sperimentazione dall'esercizio dell'acido benzoico è quello di porre la domanda: che effetto produrranno differenti condizioni sperimentali sulla distribuzione dei prodotti? Un'ipotesi può essere fatta e testata. I risultati sono quelli che sono.

Un progetto che mi piace è quello di trovare qualche semplice metodologia organica riportata su 10-15 substrati e che, secondo la letteratura, possa essere realisticamente realizzata nel periodo di laboratorio di un corso universitario. Quindi dedicherò tre settimane a questo. Durante la prima settimana, chiederò agli studenti di far pratica per sviluppare le proprie abilità di manipolazione riproducendo un esempio della letteratura. Successivamente, compro alcuni dei substrati di riferimento ma non testati, e così chiedo loro di vedere se la procedura funziona su quel certo substrato. E infine, qualunque sia quel risultato, voglio che gli studenti si scambino i substrati per vedere se il risultato può essere replicato.

L'aumento della tecnologia didattica è in grado di modificare profondamente l'istruzione. [22] Gli insegnanti saranno sostituiti dai computer?

Questo ritornello è stato cantato tante volte. La disponibilità dei libri, il servizio postale, la radio, la televisione e internet hanno tutti annunciato la fine dell'istruzione così come la conosciamo. Ma finché consideriamo i più alti valori possibili come risultato per l'istruzione, allora il risultato non è legato al mezzo, ma è in relazione al messaggio. Gli strumenti e l'utilizzo degli strumenti dipendono sempre dall'abilità e dal talento della mente umana e del corpo. Se mi dai un violino Stradivari, non posso suonarlo meglio di quanto io possa far suonare un barattolo di latta dotato di un bastone e due stringhe. Come le abilità per imparare migliorano, diventa

sempre più facile imparare da soli, attraverso una varietà di mezzi. Trovo sia un errore in questo caso confondere la direzione della freccia.

La motivazione e la cognizione sono importanti per l'apprendimento della chimica. Che ruolo gioca la motivazione?

Per quanto ne so, la motivazione è importante per imparare tutto, quindi non credo sia possibile trovare qualcosa di speciale nella chimica. La motivazione è una combinazione di fattori estrinseci e intrinseci che legano profondamente le caratteristiche gemelle di obiettivi e sforzi. La motivazione estrinseca deriva dalla ricompensa esterna. La parte del lavoro che fai per il tuo stipendio. Le cose che si fanno per la lode. Il lavoro che gli studenti fanno per i voti, per le lettere di raccomandazione e così via. Vi è una tendenza da parte di alcuni puristi di svalutare il valore della motivazione estrinseca a favore della motivazione intrinseca. Non la vedo in questo modo; io sicuramente favorisco un abbinamento combinato e allineato del fare qualcosa per il suo valore intrinseco, interno e poi legarsi alla struttura di ricompensa esterna per aver fatto questo.

La motivazione intrinseca ha ottenuto la massima attenzione a causa di Mihaly Csikszentmihalyi e la sua nozione di "flusso". L'originale libro *Optimal Experience* è eccellente (*Optimal Experience: Psychological studies of flow in consciousness*). Se si pensa ad un sistema di coordinate in cui lo "sforzo" è lungo l'asse x e la "sfida o livello di abilità" è lungo l'asse y, allora Csikszentmihalyi, nei suoi studi sulle persone che raggiungono alti livelli nelle aree di piccola ricompensa estrinseca (l'arrampicata in montagna, per esempio) trovò che tutti descrivevano una diagonale di equilibrio tra lo sforzo e la sfida. Cioè, visto che si compie uno sforzo (pensiero strategico, pratica), si vuole vederlo ripagato ottenendo miglioramenti in ciò che è si sta cercando di fare. Ma se molti sforzi portano risultati piccoli o senza guadagni (pendenza = 0, al limite), allora non c'è alcuna motivazione per continuare (nessun miglioramento). Se è necessario solo un piccolo sforzo per diventare bravi (al limite, pendenza = infinito), allora non c'è bisogno di impegnarsi per raggiungere lo scopo. Quello che Csikszentmihalyi ha trovato era che la gente persisteva quando il carico del livello di abilità e lo sforzo erano ben bilanciati. Il successivo livello di sfida moderata avrebbe motivato lo sforzo e lo sforzo sarebbe stato ricompensato da un aumento di abilità. Ha chiamato il rimanere in movimento all'interno di questa zona di miglioramento continuo come l'essere nel flusso, un termine originariamente utilizzato da alcuni dei suoi soggetti. Se si cade al di fuori del flusso, perché lo sforzo non paga, o la sfida aumenta rapidamente, la propria motivazione intrinseca cade.

Per gli educatori, queste idee si allineano fortemente con la nozione di Vygotskij dell'individuare la Zona di Sviluppo Prossimale per gli studenti:

quelle sfide che non sono proprio le stesse di quelle affrontate prima, ma che si basano su di esse (conoscenze pregresse) ma neanche troppo lontane dalle loro possibilità basandosi su di uno sforzo razionale. Il far da guida agli studenti che si muovono in questo territorio impegnativo basato sulla nostra personale esperienza (scaffolding) è ragionevole.

Lei parla di comunicazione di conoscenze, relazioni, storie e improvvisazione: qual è la ricetta che rende le sue lezioni memorabili?

Penso che ci sia una lista d'ingredienti, ma anche così, non vi è possibile dedurre la ricetta dagli ingredienti, e comunque non si può descrivere quello che penso sia un processo interno, tacito su come le cose si coniugano quando il tutto dipende dal contesto e dal pubblico. Credo che alcuni ingredienti critici che per me funzionano siano i seguenti.

(1) La mia comprensione della materia. Questo è il pozzo da cui sgorga un buon insegnamento. Si tratta di una caratteristica necessaria, ma non sufficiente di eccellenza didattica. Vedo che c'è un'intera domanda su questo successivamente, quindi rinviamo e vediamo qui gli altri punti.

(2) Come ho già detto, l'esibizione, che è la capacità di prendere il significato dall'informazione e convogliarlo in un modo che permetta ad altri di cogliere il significato senza necessariamente averne dovuto fare esperienza. Se hai mai avuto una reazione emotiva al lavoro di un attore o di un musicista, è perché hanno convogliato, attraverso le loro esibizioni di un copione (o delle note) una sensazione che è finita per essere suscitata in te, allora incominci ad intravedere quello che intendo. Se pensi di poter andare in classe e fare quello che faccio io perché mi hai chiesto le mie note, allora la cosa non ti è chiara, perché non hai idea di come io le suoni! L'esibizione è come io metto in atto quello che ho capito basandomi sulle note.

L'esibizione è la chiave per un atto efficace di persuasione retorica orale. Anche se sappiamo che il pubblico può resistere solo fino a 15-20 minuti di ronzio prima di aver bisogno di una pausa, sappiamo anche che le persone possono essere attente a film, libri, giochi, teatro, concerti, ecc, e, talvolta, in condizioni non proprio ideali, ma a volte con tutto quello che s'impara o viene richiesto loro, per ore! Questo contrasto non supporta molto l'interpretazione che "il formato lezione" è intrinsecamente cattivo, ma piuttosto che il livello di esibizione dev'essere abbastanza alto, e che il flusso narrativo (sic) dev'essere sufficientemente coerente, in modo da essere nella zona del proprio pubblico. David Feldon evidenzia questa lezione abbastanza bene quando dice (parafrasando): da non confondere il pessimo uso di un metodo con l'uso di un pessimo metodo.

(3) L'improvvisazione interattiva. Facciamo questo tutto le volte che parliamo con la gente. Io dico una cosa, e cerco di capire, deduco, o presto attenzione agli indizi che mi fanno sapere se hai capito quello che sto dicen-

do, cioè, se hai imparato. Se non è così, allora faccio un passo indietro, pongo domande, lascio riflettere per poi avere un feedback: si va avanti e indietro per costruire una comprensione comune. Più quello che sto cercando di dire si trova lontano dalla esperienza degli studenti, più ricade su di me la responsabilità di cercare e prendere la loro conoscenza pre-esistente e trovare i collegamenti necessari per loro per poter cogliere il mio significato. Il pensiero laterale e il ragionamento analogico giocano un grande ruolo in questo.

(4) Il "momento in cui si viene presi" di una buona narrazione. Le buone storie hanno alcune caratteristiche ricorrenti. A volte una persona guarda a una cosa che ha visto tutta la vita, e porta una sorta di prospettiva laterale a cui non ha mai pensato prima. George Carlin era bravo in questo. Alle volte, tutti gli elementi sono posti in vista di fronte alle persone, e non importa quanto caparbiamente si tenti, non si riesce a vedere l'epilogo interessante o sorprendente che porterà all'improvviso tutte le informazioni insieme. Paul Harvey era un maestro in questo, come lo è stato Isaac Asimov. Credo che questo accada continuamente in un buon insegnamento, dove le informazioni apparentemente diverse e disparate solidificano sotto un'unica comprensione concettuale che noi chiamiamo il Quadro Generale. E io sono un fan dell'istruzione a Quadro Generale, che è, non tanto tenere la battuta finale segreta, ma muoversi avanti e indietro tra il quadro generale e i pezzi del puzzle che lo compongono. Però quel momento di sintesi deve essere all'interno della zona di sviluppo prossimale degli studenti, o la grande rivelazione sarà solo un grande autentico disastro.

(5) Insegnare con l'esempio, non solo l'insegnamento degli esempi. Nel settembre 2009, Ben, uno studente del primo corso in cui ho insegnato come professore nel 1982, è morto in un incidente. Era un medico di campagna amato nel Wisconsin, e il suo migliore amico (Greg, anche lui medico) mi ha scritto. Non avevo più avuto notizie da nessuno di loro dopo che si erano laureati, 25 anni prima.

Greg scrisse: "Io e Ben ci siamo sempre comportati con i nostri pazienti secondo il suo esempio. Il ricordo che ci è rimasto era lei seduto sul bordo della cattedra prima di iniziare una lezione. Non so se lo facesse apposta, ma devo dirle, che quell'atto casuale ha aiutato a disarmare l'intimidazione e la paura che noi nutrivamo verso la chimica organica. È stata una mossa d'insegnamento brillante. Abbiamo usato una nostra versione di questo comportamento nella nostra professione". Al meglio, l'educazione fonde molteplici lezioni che includono la materia di studio insieme a ogni scelta, grande e piccola, che un insegnante fa.

Scholarship of teaching

La comprensione di un docente universitario della materia che insegna ha nulla a che fare con la scholarship of teaching?

Sono un forte sostenitore di questo punto: credo che la comprensione della materia di studio ha molto a che fare con tutto quando si tratta d'insegnare e apprendere. Penso che questa comprensione sia necessaria e non sufficiente, perché ci sono altri fattori. La mia esperienza è la mia forza fondamentale nell'insegnamento della scienza. L'emergere dell'insegnamento e dell'apprendimento specifici per la disciplina a livello universitario ha reso gli ultimi 30 anni piuttosto interessanti. Con Joe Krajcik abbiamo espresso quello che penso siano alcune delle caratteristiche salienti di ciò che rende la disciplina un tale aspetto centrale [4].

Come chimico organico, la mia comprensione della materia è indissolubilmente legata alla mia comprensione di come la scienza viene fatta. La mia tesi è che il lavoro veramente specifico per la disciplina significa che la materia di studio di fatto non può essere separata dai metodi sperimentali, l'orientamento epistemologico, o l'insieme di sentimenti e comportamenti che sono necessari nel fare scienza.

Uno dei motivi per cui mi piace insegnare chimica organica è che penso che occupi un posto speciale nell'educazione scientifica. Almeno negli Stati Uniti, è la prima volta che gli studenti stanno prendendo un corso che è un'effettiva area scientifica, e uno che è quasi sicuramente insegnato da un professionista di quel particolare settore. Pensiamoci. Prima della Chimica Organica, era tutto Chimica Generale, Biologia Generale, e così via. Come gli studenti avanzano, diventa sempre più probabile che i loro professori abbiano competenze di ricerca nel settore che viene insegnato, e questo dà (direi) almeno il potenziale per una grande differenza rispetto alle classi introduttive. Sono convinto che questa profonda, inestricabile connessione, e la mia consapevolezza di essa, mi faccia un buon insegnante di chimica organica, ma mi farebbe, nella migliore delle ipotesi, un mediocre insegnante di chimica fisica. Credo che questa stessa comprensione disciplinare significhi che posso progettare e realizzare l'istruzione in modi che i chimici non organici non possono fare.

Lei ha osservato che "capire che gli studenti stanno imparando meglio è un problema più complicato di determinare la resa percentuale e la purezza" [23]. Invece di dar la colpa agli insegnanti delle scuole superiori, come possono le università aiutarli a migliorare la loro professionalità?

Anche se suona come se io stessi incolpando gli insegnanti delle scuole superiori, in realtà sono critico del sistema che li forma, e del più ampio contesto accademico e sociale in cui tutto questo accade. Le mie migliori

idee sono semplici e inattuabili [24]: (a) dare a tutti gli insegnanti un miglioramento significativo, rendendo l'insegnamento scolastico una professione esentasse; (b) per legge, attraverso il processo di accreditamento nazionale, fare in modo che le università debbano dimostrare una collaborazione convincente e sostanziale tra le unità disciplinari e le scuole di formazione sulla questione della formazione degli insegnanti e della educazione permanente.

Nelle mie poche relazioni con la comunità di educazione degli insegnanti, sono colpito da una profonda consuetudine di strategie tradizionali conservatrici, che non stanno dando dei buoni risultati. Sono rimasto sbalordito, anni fa, quando un editore mi ha detto di ritenere che il 75% degli insegnanti di chimica negli Stati Uniti abbiano un anno o meno di chimica universitaria. Se posso pensare a quelle due idee folli di sopra, allora perché non ascoltiamo un centinaio di idee folli-ma-grandi su come avere un cambiamento sistemico, piuttosto che gli interessi di persone che stanno cercando di vendere i loro programmi personali?

Credo che i modelli per rapporti continui fra le università e le scuole siano una possibile strategia chiave. Per alcuni anni, con il mio ex collega all'U-M, Joe Krajcik, implementammo un'idea che abbiamo chiamato FUTURE (Foundations for Undergraduate Teaching: Uniting Research and Education). Avevamo un po' di soldi con cui lavorare: siamo andati nella comunità del sud-est del Michigan e abbiamo chiesto agli insegnanti di essere i Ricercatori Principali nelle loro classi. Non siamo andati lì con un programma di studio, né siamo andati lì con un'agenda impostata. Siamo andati con una domanda: C'è qualcosa che avreste voluto fare in classe e che non siete stati in grado di fare? Non siamo interessati alla riforma dell'intero programma di studio, siamo interessati a una lezione, un laboratorio, tutto ciò che risponde alla domanda per un insegnante in una classe. Abbiamo quindi offerto le risorse, la più importante era che avremmo istituito un'unione tra loro e due o tre studenti del primo anno di laurea che frequentavano le classi di scienze e che sarebbero stati la squadra di quell'insegnante.

Gli insegnanti sono venuti al campus universitario e hanno descritto quello che volevano fare con alcuni cartelloni e poster. Queste erano per lo più idee modestamente descritte: un laboratorio che utilizza probeware, una lezione di chimica verde, qualcosa che utilizzava le reazioni di ossidazione. Gli insegnanti mostrano i loro programmi e gli studenti erano invitati alla sessione per vedere che cosa c'era d'interessante per loro, e se i loro programmi potevano corrispondere.

Per la prima metà del corso, la squadra di 2 o 3 studenti era il gruppo R&D per l'insegnante, che era il direttore del progetto. Con un paio di visite della classe in loco e alcune conversazioni e-mail, gli studenti e l'insegnante

hanno sviluppato piani di lezione e materiali per un intervento di 3-5 giorni derivato dall'interesse dell'insegnante. Nel campus, abbiamo fornito agli studenti universitari consulenza sull'educazione e sulla scienza e accesso alle risorse di laboratorio. Abbiamo acquistato quello che ci serviva (come le sonde) con l'idea di creare un archivio di lezioni e materiali testati, nel corso del tempo. Abbiamo fornito modesti stipendi agli studenti e agli insegnanti per la partecipazione. Durante la seconda metà del corso, è stata organizzata un'occasione per congiungere gli studenti agli insegnanti nelle loro classi e co-insegnare queste lezioni che hanno sviluppato, come una squadra.

Nel giro di pochi semestri, abbiamo avuto centinaia di studenti che lavoravano con gli insegnanti, e si cominciò a creare un rapporto costante tra l'università e una serie di scuole locali, in particolare alcune in zone altamente disagiate. Ogni insegnante che ha iniziato con noi sarebbe tornato nella successiva sessione per raffinare ulteriormente l'idea o prenderne una nuova.

Visto che un minor numero di studenti sono attratti dalle scienze, forse siamo noi insegnanti a spaventarli. Che consiglio si può dare circa un programma di studio adatto e un approccio adeguato all'insegnamento?

Il programma di studio ha importanza, ma non tanta quanta gliene diamo. Penso che ci siano principi che possano guidare l'attuazione di molte idee diverse. Penso anche che un insegnante di talento possa accontentarsi di un gesso, un marciapiede pulito, e un paio di sassi, mentre il concetto di "materiali didattici a prova d'insegnante" mi fa accapponare la pelle.

Credo sia giunto il momento di trascinare l'introduzione alla chimica nella fine del ventesimo secolo. Ci sono idee che devono essere sepolte, come ogni nozione formale sulle proporzioni definite e multiple, che precedono la concezione moderna di legame e struttura molecolare. Vale a dire: qualsiasi programma che scrive " H_2O " prima della discussione delle proporzioni definite e multiple sta già usando il risultato. Le molecole esistono. Fine. Esattamente, quante opportunità d'imparare davvero un po' di chimica vengono perse al fine di soddisfare la scienza del tardo XVIII secolo?

Vorrei che gli studenti che arrivano all'università avessero una chiara visione di tre principi (che abbiano sufficiente comprensione per spiegare, illustrare e sostenere questi punti).

(1) In una reazione chimica, gli atomi vengono conservati.

(2) Eccetto per le situazioni insolite, le reazioni chimiche non sono esplosioni, cioè, non sono descritte dalla smontaggio e rimontaggio degli atomi.

(3) Semplici considerazioni sulla valenza sono tutto ciò che è necessario per trattare con gli elementi dei gruppi principali.

Vorrei suggerire degli argomenti che potrebbe essere sviluppati nell'intero anno, in crescendo nella complessità e comprensione concettuale. Ci sono molti candidati, ma mi piacerebbe vedere un programma di chimica delle scuole superiori costruito intorno alla comprensione della struttura e della funzione dell'emoglobina. Pensiamoci per un momento. Prendiamo una descrizione complessa della struttura e della funzione dell'emoglobina e iniziamo a lavorare a ritroso per decidere ciò che è necessario sapere per capire, e l'ordine secondo cui si vuole costruire la storia. Quanto più ci si pensa, tanto più diventa evidente.

Come può la ricerca nella didattica chimica essere più efficacemente trasformata in un miglioramento dell'insegnamento e dell'apprendimento?

Intanto, penso che bisognerebbe fare attenzione. Gli esperimenti didattici non sono esperimenti di chimica; ogni risultato è subordinato ad un grande numero di caratteristiche contestuali e i concetti principali che guidano questi esperimenti devono essere attentamente considerati per vedere se vi è un'applicazione locale o un adattamento che funzioni.

Ricordo i primi anni del nostro nuovo programma di studi universitari, quando stavamo facendo proposte sul programma. Avevo appena finito di presentare un seminario presso l'università dove mi sono laureato, l'Università del Wisconsin-Madison, e la prima domanda proveniva da Hans Reich. Eri studente qui a UW, disse, e tu ci conosci. Quanto di questo pensi che potremmo fare qui?

La mia risposta oggi sarebbe la stessa di 20 anni fa: tutto, o niente di tutto ciò; dipende solo da ciò che si pensa potrebbe funzionare nel vostro contesto. Il concetto principale nel nostro programma non è la sequenza dei corsi o delle quattro domande che ho menzionato. Il concetto principale è di guardarsi intorno, considerare i punti di forza e di debolezza, e progettare qualcosa che metta in gioco i primi riducendo al minimo gli effetti dei secondi. Fino ad oggi, credo sinceramente che questa sia la migliore risposta, che è sostanzialmente migliore del perdere tempo pescando in giro ciò che gli altri stanno facendo, o cercano di vendere.

Permettimi di chiarire questo punto: non significa re-inventare la ruota; si dovrebbe sempre lavorare in modo consapevole.

Questo è stato vero per noi.

Quando il dipartimento è cambiato, il programma è cambiato. Mi auguro che rappresentiamo un modello di miglioramento continuo. È vero: il programma è cambiato come noi siamo cambiati. Alcune caratteristiche rimangono; alcune si evolvono; alcune scompaiono; alcune vengono aggiunte. Ciò che abbiamo in atto - e anche se non perfetto, è piuttosto singolare - è un meccanismo istituzionalizzato per sostenere il cambiamento continuo all'interno del dipartimento.

La globalizzazione dell'istruzione Chimica

Lei è stato il primo professore americano a insegnare chimica organica in un'università cinese e conosce qualcosa sulla cultura universitaria asiatica. Quali sono i punti di forza dei due sistemi? Come fanno i Paesi asiatici a rendere l'insegnamento della chimica rilevante?

La conoscenza chimica di base di uno studente in Cina, che ha preso l'indirizzo di chimica alle scuole superiori è impressionante, in termini della loro esposizione a un gran numero di fatti e idee. I loro insegnanti vengono formati presso le Università Normali, e di solito hanno svolto ricerche avanzate, a volte a livello di MS o dottorato di ricerca, in aggiunta alla loro formazione d'insegnanti. Questi sono dipartimenti *bona fide* di chimica dove la formazione nella ricerca e nella didattica è integrato.

Ricordo che sto riferendo esperienze di prima mano con $N = 1$ (una sola volta, una persona, un dipartimento) e non ho alcuna conoscenza generalizzata su questo argomento (anche se sto lavorando sul modo di ottenerla). Detto questo, la cosa che ho pensato che mancava nei miei studenti cinesi è stata la capacità di fare mosse rapide nel ragionamento analogico, essendo in grado di muoversi in modo fluido avanti e indietro con il ragionamento induttivo e deduttivo.

I miei studenti in Cina sono stati in grado di fare questo, ma non lo avevano mai visto fare e non avevano nessuna pratica. Istruendoli, durante la lezione, erano totalmente capaci. A volte ho pensato che fossero abbastanza divertenti, perché ricevevano tante informazioni effettive pre-requisite e di tanto in tanto le diramazioni di quello che dicevo andavano a unificare enormi blocchi di loro conoscenze pregresse precedentemente scollegate e questo poteva causare loro di boccheggiare o scoppiare in una conversazione spontanea.

La forza del loro sistema è la capacità di produrre studenti con un maggior grado di conoscenza effettiva ed esperienze di laboratorio; e questa è la nostra debolezza. Almeno per ora, tuttavia, la forza della nostra esperienza di college e universitaria, e anche questo maggior grado di esperienza con il pensiero laterale, più fluido, penso che permetta agli studenti negli Stati Uniti di recuperare gran parte di questa differenza.

Bibliografia

[1] M. T. Huber, *Balancing acts: the scholarship of teaching and learning in academic careers*, American Association for Higher Education and the Carnegie Foundation for the Advancement of Teaching, Washington, DC, 2004.

[2] B. P. Coppola, M. C. Noe, S. S.-K. Hong, *Tetrahedron Lett.*, 1997, **38**, 7159.

- [3] B. P. Coppola, M. C. Noe, R. L. II Abdon, R. G. Konsler, *J. Org. Chem.*, 1993, **58**, 7324.
- [4] B. P. Coppola, J. S. Krajcik, *J. Res. Sci. Teach.*, 2013, **50**, 627.
- [5] A. Zusho, P. R. Pintrich, B. P. Coppola, *Int. J. Sci. Educ.*, 2003, **25**, 1081.
- [6] B. P. Coppola, *J. Chem. Educ.*, 2013, **90**, 955.
- [7] B. P. Coppola, R. G. Lawton, *J. Chem. Educ.*, 1995, **72**, 1120.
- [8] S. N. Ege, B. P. Coppola, R. G. Lawton, *J. Chem. Educ.*, 1997, **74**, 74.
- [9] B. P. Coppola, S. N. Ege, R. G. Lawton, *J. Chem. Educ.*, 1997, **74**, 84.
- [10] A. C. Gottfried, R. D. Sweeder, J. M. Bartolin, J. A. Hessler, B. P. Reynolds, I. C. Stewart, B. P. Coppola, M. M. Banaszak Holl, *J. Chem. Educ.*, 2007, **84**, 265.
- [11] B. P. Coppola, *J. Chem. Educ.*, 2007, **84**, 1902, p. 1905.
- [12] B. P. Coppola, J. W. Hovick, D. S. Daniels, *J. Chem. Educ.*, 1994, **71**, 1080.
- [13] P. R. Jones, B. P. Coppola, *J. Chem. Educ.*, 1978, **55**, 6.
- [14] R. Hoffmann, P. v. R. Schleyer, H. F. Schaefer III, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2008, **47**, 7164.
- [15] B. P. Coppola, Strength in numbers. Making the large lecture course work for you. In C. A. Stanley, M. E. Porter, (Eds.), *Engaging large classes. Strategies and techniques for college faculty*, (pp. 257-268), Anker, Bolton, MA, 2002.
- [16] B. P. Coppola, Full human presence. In A. G. Reinartz, E. R. White, (Eds.), *Beyond teaching to mentoring. New directions in teaching and learning no. 85*, (pp. 57-73), Jossey-Bass, San Francisco, 2001.
- [17] B. P. Coppola, *Chem. Educator*, 1998, **3**:s00897980215a.
- [18] R. Hoffmann, B. P. Coppola, *J. Coll. Sci. Teach.*, 1996, **25**, 390.
- [19] P. Varma-Nelson, B. P. Coppola, Team Learning. In N. J. Pienta, M. M. Cooper, T. J. Greenbowe, (Eds.), *Chemists' Guide to Effective Teaching*, (pp. 200-210), Wiley, Hoboken, NJ, 2007.
- [20] W. Heisenberg, *The Physicist's Conception of Nature*; Harcourt, Brace & World, New York, 1954.
- [21] Ref. 10, p. 265.
- [22] N. J. Pienta, *J. Chem. Educ.*, 2013, **90**, 271.
- [23] Ref. 11, p. 1909.
- [24] B. P. Coppola, Y. Zhao, *The Chronicle of Higher Education*, 2012, February 5. Retrieved from <http://chronicle.com/article/US-Education-in-Chinese/130669/>

Le dodici pietre: il Giacinto o Zircono rosso

Pasquale Fetto
pasquale.fetto@didichim.org

Riassunto

Il giacinto, $ZrSiO_4$ (Zirconio (IV) silicato, è la settima pietra del Pettorale del Giudizio (la prima gemma della terza fila). Oltre alle notizie storiche riguardanti questa gemma si fa accenno alle proprietà chimico fisiche e all'utilizzo degli zirconi e dell'elemento chimico Zr (zirconio).

Parole chiave: *giacinto, zirconio, zircono, zirconia, diossido di Zr, materiali refrattari, utilizzo dello Zr.*

Abstract

Hyacinth, $ZrSiO_4$ (zirconium (IV) silicate, is the seventh stone of the breastplate of judgment (the first gem of the third row). In addition to historical information regarding this gem you do hint at physical and chemical properties of zirconia and use of the chemical element Zr (zirconium).

Keywords: *Hyacinth, zirconium, zirconium (IV) silicate, zirconia, refractory materials, using the Zr.*

1. La gemma

Il giacinto di colore rosso-arancio è la varietà più pregiata dello Zircono. Il colore dello zircono varia dall'incolore al giallo, al rosso, all'arancio, al verde e all'azzurro; **soltanto gli zirconi chiari e quelli rossi sono veri giacinti**. Queste due varietà di giacinto sono conosciute con il termine generale di Zirconio. Come accaduto per il Berillio [1, 2, 3], anche a proposito del giacinto, si commette l'errore di chiamare la pietra con lo stesso nome dell'elemento chimico Zr (Zirconio) e viceversa.

Nella letteratura Rabbinica con il termine *Shebo* o *Agata* veniva indicato il *Giacinto*. Erano note tre varietà di Giacinto. Quella con il colore del carbone incandescente era la più rinomata.

L'etimologia di questa parola si pensa venga dalla lingua araba. Antonio Raineri [4] sostiene che le pietre preziose erano conosciute già prima dei Romani e dei Greci ed erano molto apprezzate dalle popolazione Orientali

che le estraevano dai loro sottosoli. La conseguenza di ciò è che le stesse popolazioni orientali furono, di fatto, quelle che diedero i nomi alle pietre; questi nomi sono giunti sino a noi senza aver subito alterazioni mentre altri si pronunciano correttamente nelle lingue Europee. Un esempio è dato dalla parola araba **Jacut** dalla quale deriva la voce **giacinto**.

Il pettorale (ebr. *chòshen*) doveva servire come “memoriale”, ed era chiamato “pettorale del giudizio” probabilmente perché conteneva gli Urim e i Tummim mediante i quali venivano rivelati i giudizi di Geova.

Tabella 1 – Schema rappresentativo della posizione delle gemme nel Pettorale del Giudizio. Nei riquadri sono riportati i nomi delle pietre e dei capostipiti delle tribù di Israele; i riquadri in rosso indicano le pietre già studiate e riportate negli articoli pubblicati su *La Chimica nella Scuola*, rivista di Didattica Chimica della SCI. [5, 6, 7]

Cornalina (Sardonio) Levi	Topazio Simeone	Smeraldo Ruben
Turchese Nephtali	Zaffiro Dan	Berillo Giuda
Giacinto Isacco	Agata Asher	Ametista Gad
Crisolito Beniamino	Onice Giuseppe	Diaspro Zabulon

Nell'atichità il giacinto era prezioso quanto il diamante. Greci e Romani apprezzavano anche il suo potere curativo. La Bibbia menziona il giacinto più volte: "...*così gli abiti dei sacerdoti erano decorati di giacinto...*" (Esodo 39:12); nella (Apocalisse 21:20) si dice che è contenuto nel muro frontale della nuova Gerusalemme.

Viene ancora citato in (Apocalisse 9:17) "*Così apparvero nella visione i cavalli e i loro cavalieri: indossavano corazze dall'aspetto di fuoco, giacinto e zolfo, mentre le teste dei cavalli somigliavano a quelle dei leoni*".

Il Giacinto è la **Settima fra le pietre dure**, tra le pietre fine (pietre pregiate) è la meno considerata: i Mineralogisti lo chiamano Zircone. Vari sono i suoi colori, arancio, bruniccio, rossiccio, ecc. [6]

Nel trattato di Faustino Corsi all'inizio della Specie VIII dedicata alle notizie del Crysolitus Vitreus = Giacinto (pag.280) l'autore scrive: "*A ragione i mineralogi e gli archeologi si lagnano che il tempo e l'imperiziade' gioiellieri abbiano talmente confuso i nomi delle pietre preziose, che a stento può fissarsi la concordanza fra quelle descritte dagli antichi e quelle*

nominate dai moderni..." Riporta inoltre: "...Come abbiamo osservato nel topazio e nel crisolito accade ancora osservarlo nel giacinto. Plinio parla di una pietra cui dà il nome hyacinthus, ma essa non corrisponde a quella che da noi giacinto vien chiamata."[7]

Secondo il parere di scrittori di un certo rilievo, tra cui Bruckman e Millin, il giacinto corrisponde al *crisolito vetroso* di Plinio. Si legge ancora: *"... Plinio descrive il suo giacinto del colore prossimo all' ametisto, ma molto più pallido e dilavato: Al contrario il nostro giacinto in due diversi aspetti presenta il rosso carico ed il giallo...."*

Secondo l'Aldini *"I migliori giacinti sono gli orientali si trovano nell'isola di Cananor¹, in Calecut, e nell'Arabia.*

I giacinti tanto presso gli antichi quanto presso di noi prendono il nome di altre gemme alle quali nel colore somigliano..."[4].

Plinio riferisce che il giacinto di un bianco giallastro simile all'ambra si chiamava Crisolettro, che i mercanti chiamano giacinto ambrato melato; ragion per cui altri giacinti sono chiamati granatini, ametistini e zafferini.

L'American Gem Trade Association (AGTA) sostiene che la pietra più antica conosciuta è un piccolo zircone che venne trovato nell'Australia occidentale e risalirebbe a 4,404 miliardi di anni fa. Un altro Zircone è stato trovato in Cile in un meteorite caduto sulla terra circa 4,6 miliardi di anni or sono. I giacimenti più importanti si trovano in Australia, Sri Lanka (Ceylon), Norvegia e Madagascar. È una pietra molto fragile e quindi si danneggia facilmente.

L'arte d'incidere le pietre e di lavorarle a rilievo è sicuramente anteriore, e forse di molto, a quella di sfaccettarle; non esistono, per quanto riguarda questa lavorazione, notizie certe dalle quali si possa dedurre quando essa sia iniziata. Non si è certi che il taglio vero e proprio o sfaccettatura, delle pietre preziose, fosse conosciuto nell'antichità. Che i Romani conoscessero l'arte di sfaccettare le pietre preziose, si potrebbe dedurre da alcuni accenni di Plinio il Vecchio, in particolare quello che si riferisce al berillo, al quale egli ritiene sia stata data artificialmente la forma esagonale.

Presso le popolazioni antiche prevaleva il concetto di non ridurre il peso delle pietre e quindi più che al taglio vero e proprio ci si limitava a rendere il pezzo grezzo di aspetto regolare. Tra le popolazioni orientali a tutt'oggi si considera come una diminuzione di valore tagliare le gemme, inoltre si considera una violenza perpretata nei confronti della natura.

L'uso delle pietre preziose come oggetti ornamentali è antichissimo, specialmente presso i popoli dell'Oriente; accenni a tale uso si trovano nei poemi sanscriti², nella Bibbia, nei poemi omerici; pietre preziose lavorate a

1. Kozhikode conosciuta anche come Calicut, è una città dello Stato federale indiano del Kerala.

2. Il sanscrito è la lingua antica dell'India.

intaglio o a rilievo sono state rinvenute numerose negli scavi in Assiria, in Egitto, e in altri siti archeologici.

1.1 Simbolismo

Lo Zircone era conosciuto già nell'antichità come pietra preziosa ed è stato ritrovato nei siti archeologici più antichi del mondo. È stato inoltre citato in diversi passaggi della Bibbia sotto l'antico nome di "Giacinto", prima come "Gemma di fuoco" (Ezechiele 28, 13-16), che Mosè offre e che compone il pettorale di Aronne (Esodo 39:12), poi come una delle dodici gemme che decorano il muro della città celeste di Gerusalemme (Apocalisse 21: 19-20).

Alcune fonti citano una leggenda ebraica, nella quale è presente un angelo chiamato "Zircone" che aveva il compito di sorvegliare nell'Eden Adamo ed Eva.

Andrea (563 - 637), arcivescovo di Cesarea di Cappadocia³ e teologo bizantino, fu autore verso la fine del X secolo di un commento approfondito e fortemente allegorico sul libro dell'Apocalisse, nel quale collegò le dodici gemme della città di Gerusalemme con gli Apostoli: il Giacinto era assegnato all'Apostolo Simone.

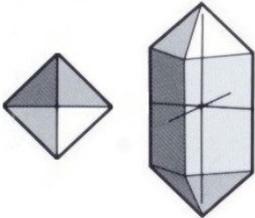
In una poesia Hindu sul mitico *kalpa*, si racconta che l'albero Kalpa, ultimo dono agli dei, era un albero incandescente coperto di pietre preziose e frutta con foglie di zircone."

2. Caratteristiche cristallografiche dello Zircone $Zr(SiO_4)$

Il termine Zircone deriva dall'Arabo *Zarqûn*; *zar* = oro e *gun* = colore

Il colore dello zircone varia dall'incolore al giallo, rosso, arancio, verde, azzurro. Si trova in cristallini prismatici a sezione quadrata o in granuli arrotondati. La **varietà più pregiata** è quella **rosso-arancio**, detta **giacinto**.

Caratteristiche principali: elevata durezza, alta temperatura di fusione, lentissima diffusione degli elementi nel reticolo cristallino.

Struttura di $ZrSiO_4$ Giacinto	Proprietà fisiche
 <p>Sistema tetragonale</p>	Densità: 4,6-4,7 durezza: 7 peso specifico: 4,7 punto di fusione: 2.550 °C indici di rifrazione: $\omega = 1.923-1.960$ $\epsilon = 1.968-2.015$ $\delta = 0.042-0.065$ colore: chiaro, marrone rossiccio

3. Oggi, Kayseri città dell'attuale Turchia. L'arcidiocesi è stata soppressa.

2.1 Le varietà

I minerali dello zirconio – ovvero lo zircono, la zirconite e lo zaffiro – erano noti nell'antichità e sono menzionati nelle scritture bibliche. Fu però l'analisi di Klaproth⁴ di uno zaffiro proveniente dallo Sri Lanka a rivelare che questo minerale conteneva un elemento ancora sconosciuto, che egli battezzò Zirkonertz.

Il metallo fu isolato (nella forma impura) da Berzelius nel 1824; lo preparò scaldando una miscela di potassio e di fluoruro di zirconio e potassio in un tubo di ferro, provocandone la decomposizione⁵. Lo zirconio puro fu ottenuto per la prima volta nel 1914.

Lo zircono ($ZrSiO_4$) è la principale fonte commerciale di zirconio (Zr), il minerale di silicato di zirconio si trova nei giacimenti dell' Australia, Brasile, India, Russia e degli Stati Uniti (è estratto come una polvere scura e fuliginosa, o come una sostanza cristallina, di un grigio metallico).

Si contano alcune varietà come il **giacinto rosso**, la **starlite** azzurra, il **malacon** verde oliva, il **giargione** giallo.



Zircono



Zircono incolore



Zircono Ratanakiri



Zircono minerale



Giacinto di Santiago di Compostela



Spinello

Figura 1. Alcune varietà dello zirconio

4. Martin Heinrich Klaproth scoprì nel 1789 lo zirconio.

5. Guareschi, Icilio. *Jöns Jacob Berzelius e la sua opera scientifica* Tratto da "Storia della Chimica XI, Jöns Jacob Berzelius e la sua opera scientifica"; di Icilio Guareschi; Brevi cenni sulla storia della chimica nella prima metà del secolo XIX; Unione Tipografico Editrice Torinese; Torino, 1915.

Gli zirconi incolori e limpidi, per la notevole brillantezza sono anche conosciuti come diamanti del Siam (Tailandia) o diamanti di Matara (città sulla costa meridionale dello Sri Lanka).

Esistono varietà di zircone di color arancio tendente al rosso o al giallo; il giacinto di Ceylon viene chiamata **essonite**⁶, varietà di granati; **giacinto di Compostella**, varietà opaca di quarzo rosso dovuta alla presenza di pigmenti di ematite, si estrae principalmente in Spagna ed è spesso usata come gemma [10].

Colori speziati⁷ sono caratteristici dello **Zircone Cannella** e dello **Zircone Zafferano**, mentre lo **Zircone Kaduna** della Nigeria mostra una calda tonalità giallo miele.

Una varietà particolare è lo **Zircone Ratanakiri**. (Ratanakiri, è la località cambogiana da cui si esportano i migliori esemplari di Zirconi).

Gli zirconi estratti sono per lo più cristalli sparsi nella terra rossa granulosa risultato dell'erosione della roccia nella quale, in origine, si erano formati.

Gli zirconi scoperti in queste miniere cambogiane non sono mai blu. Le pietre sono di colore rosso arancio molto scuro e misurano anche 5 cm. Il colore blu viene assunto dalle gemme solo dopo uno shock termico⁸.

Se si sottopongono i cristalli blu a luce intensa per lunghi periodi, la gemma si schiarisce e successivamente col tempo riacquistano il colore originale. Il colore può variare da un blu profondo ad un blu-petrolio molto intenso e vivace.

Gli zirconi blu cambogiani hanno una luminosità simile se non superiore a quella del topazio blu, la popolazione (sia le donne che gli uomini) indossa gli zirconi blu come ornamento abituale.

2.2 Il colore del giacinto

Che il colore del giacinto variasse dal rosso al rosso-arancio viene confermato a proposito del Bromo: "*...in istrati sottili od in piccole gocce è di un colore rosso-giacinto; allo stato di gas ha il colore aranciato dell'aci-*

6. **essonite** (o **hessonite**) [deriva dal greco ἥσσων = «inferiore», perché meno dura e quindi meno pregiata del giacinto (zircone), al quale somiglia]. – Minerale, varietà di grossularia contenente ferro, colorata per lo più in rosso, usata, se molto bella, come gemma; si rinviene principalmente nelle sabbie gemmifere dell'isola di Ceylon.[9]

7. Per colori speziati si intendono quei colori che si avvicinano alle tonalità della sabbia, del ferro e della terracotta.

8. I cristalli vengono messi dentro un crogiuolo, chiuso ermeticamente, che viene scaldato per alcune ore e poi lasciato raffreddare durante un giorno intero. Quando si riapre il crogiuolo, la maggior parte delle pietre è diventata blu mentre alcune non hanno cambiato colore.

do nitroso (azotoso)" ed ancora "...Nelle acque del Mediterraneo il bromo sembra esistere allo stato di combinazione col magnesio. Il cloro nello attraversare l'acqua madre simpadronisce adunque del maghesio e lascia in libertà il bromo: allora si tratta il liquido coll'etere che toglie il bromo all'acqua e si colora in una bella tinta rossa di giacinto,...." [8]

La colorazione rossa e rosso arancione è dovuta alla presenza di triossido di ferro (Fe_2O_3) anidro o idrato sotto forma di pigmento di ematite: si presenta torbido lattiginoso e opaco come il quarzo rosa.

La letteratura tedesca, inglese e francese poco si è occupata di questo minerale che è pur sempre una varietà di quarzo. Bauer pone il giacinto vicino al quarzo citrino⁹, collocazione non accettata da altri Gemmologi che al contrario sono in accordo che *non è corretto chiamarlo giacinto* a causa del suo colore.

Negli esemplari lievemente trasparenti, assai rari, si notano le visioni assiali tipiche del quarzo con colorazioni ben distinte. Ai raggi catodici si nota una fluorescenza bruna molto scura invisibile ai raggi X e ultravioletti.

Viene tagliato in forme tondeggianti e si utilizzano per la manifattura di collane e rosari. Pur non essendo obbondante la varietà con un gradevole colore rosso viola è molto apprezzato.[8] In gioielleria il nome è esteso anche ad altre pietre di colore uguale, come lo spinello e il granato.

Tabella 2 – Sono messi in evidenza i nomi commerciali con i quali, nella maggior parte dei casi, vengono chiamati i giacinti in riferimento al colore pur non avendo nella formula lo zirconio.

Termine commerciale	Formula	Denominazione scientifica	Caratteristiche del minerale
Giacinto orientale	Al_2O_3	corindone	rosso-arancione
Giacinto orientale	ZrSiO_4	Zircrone	rosso e rosso-arancione
Giacinto di Compostella	$\text{SiO}_2 + \text{Fe} + \text{Mg}$	quarzo impuro o ematoide	rosso violaceo e rosso-arancione
giacinto	MgAl_2O_4	spinello	Rosso giallognolo
giacinto	$\text{X}_3\text{Y}_2(\text{SiO}_4)_3$	granato	rosso-arancione
giacinto di Ceylon	$\text{X}_3\text{Y}_2(\text{SiO}_4)_3$	granato	rosso-arancione

9. Il **quarzo citrino** prende il nome da una antica parola francese che significa *giallo*. Il quarzo citrino naturale ha una colorazione che va dal giallo pallido al giallo più intenso; colori che vanno dall'arancione scuro, al marrone e al bruno rossastro indicano che il minerale è stato sottoposto a trattamento termico.

Il Giacinto che viene estratto nei pressi di Santiago di Compostella è un tipo di **quarzo ematoide** e già questo definisce la sua particolarità. Varietà, poco conosciuta e poco diffusa, difficilmente si trova in cristalli distinti, bensì in masse di colore rosso, rosso violaceo, rosso giacinto (rosso arancione).

2.3 Qualità curative

Secondo l'International Colored Gemstone Association (ICA) nel Medio Evo, lo zircone si usava per aiutare il sonno, portare prosperità, e promuovere l'onore e la sapienza nel suo proprietario.

Secondo Ildegarda di Bingen¹⁰ il giacinto, come il crisolino, aiuta contro i disturbi della vista, gli stati confusionali e i dolori del cuore anche in senso figurato.

Il giacinto è una delle pietre curative più forti. La sua energia è un'energia curativa pura che ha effetti positivi su tutte le malattie e i disturbi psichici e accelera la guarigione.

Negli stati febbrili, nelle crisi di vita privata o lavorativa e negli stati depressivi la pietra si appoggia sulla fronte.

3. La chimica dello Zirconio

Proprietà chimiche	Proprietà fisiche
peso atomico: 91,224 u raggio atomico calcolato: 155 pm numero atomico: 40 densità: 6511 kg/m ³ durezza: 5 stati di ossidazione: 4 numeri di ossidazione dei composti: +2, +3, e +4.	stato: solido resistente alla corrosione punto di fusione: 1852 °C punto di ebollizione: 4409 °C volume molare: 14,02 × 10 ⁻⁶ m ³ /mol elettronegatività: 1,2 scala di Pauling calore specifico: J/(kg · K)

Lo zirconio è un solido bianco-grigiastro, riscaldato all'aria, brucia con luce viva; si combina al rosso con l'idrogeno e l'azoto. Resiste all'attacco degli acidi e degli alcali. (Figura 2)

10. Ildegarda, religiosa dottore della Chiesa (1098-1179), fu fatta santa da Benedetto XIV il 7 ottobre 1912. Gli scritti naturalistici di Hildegard sono riuniti nel *Liber subtilitatum diversarum naturarum creaturarum*, che nella tradizione manoscritta fu poi smembrato in due parti: a) *Physica* o *Liber simplicis medicinae* (edd. C. Darenberg e F. A. Reuss, in *Patrologia Latina*, vol. 197, che rappresenta il testo del manoscritto parigino; il «Frammento berlinese» è stato edito da H. Schipperges, «Sudhoffs Archiv» 40 (1956), 41-77).

b) *Causae et curae* o *Liber compositae medicinae* (*Causae et curae*, ed. P. Kaiser, Leipzig, 1903).

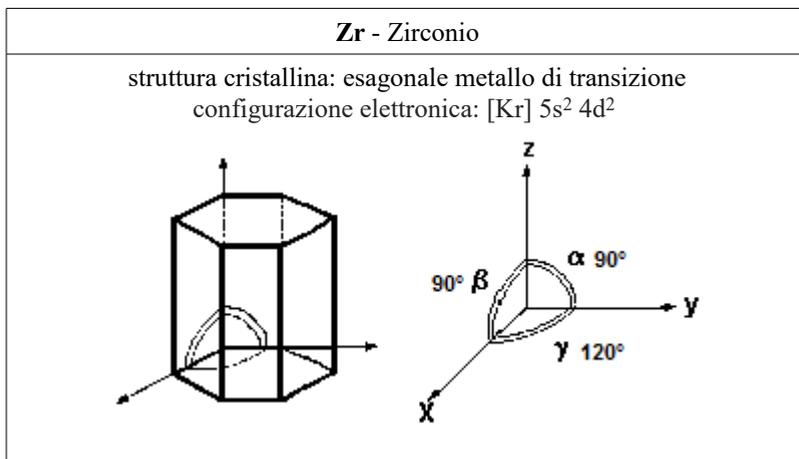


Zirconio minerale



Zirconio metallico

Figura 2



Lo zirconio in natura è composto di quattro isotopi stabili e di uno debolmente radioattivo, a vita estremamente lunga (lo ^{96}Zr). Il secondo radioisotopo più stabile è lo ^{93}Zr con una emivita di 1,53 milioni di anni. Sono noti altri diciotto radioisotopi, la maggior parte dei quali ha emivita di meno di un giorno, tranne ^{95}Zr (64,02 giorni), ^{88}Zr (63,4 giorni) e ^{89}Zr (78,41 ore). Il modo di decadimento principale prima dello ^{92}Zr è la cattura elettronica e quello principale dopo di esso è il decadimento beta.

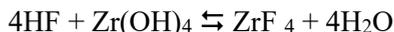
Nei composti lo zirconio si comporta quasi senza eccezioni da tetravalente, con un carattere metallico poco pronunciato.

3.1 Altri composti dello zirconio

In natura si trova il composto più importante dello zirconio, il diossido ZrO_2 , detto *zirconia*. Solido bianco, ottimo refrattario, con punto di fusione pari a 2.715 °C. Trova impiego nella fabbricazione di crogioli.

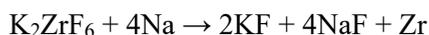
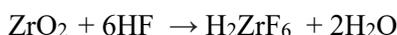
I sali di zirconio, **zirconati**, si ottengono dalla combinazione del diossido con basi Na_2ZrO_3 , e con gli acidi per dare sali di zirconio.

Lo **zirconio tetrafluoruro** (ZrF_4) è insolubile in acqua ed è il principale componente dei vetri fluorozirconati., che si ottiene per azione dell'acido fluoridrico sul tetraidrossido,



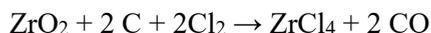
Si è trovato che il composto cristallino $ZrF_4 \cdot HF \cdot 2H_2O$, formatosi inizialmente da una soluzione di Zr metallico in HF concentrato, si trasforma spontaneamente in $ZrF_4 \cdot 3H_2O$.

ZrO_2 può dare con i fluoruri metallici **esafluorozirconati**, come K_2ZrF_6

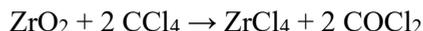


Il principale **cloruro** ($ZrCl_4$) è solido bianco che proviene dall'azione del cloro sul metallo. Il tetracloruro è un intermedio nella conversione del minerale a metallo.

Questa conversione comporta il trattamento dell'ossido con carbone (come assorbente) e cloro.

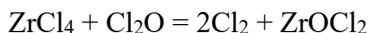


Il processo in laboratorio utilizza il tetracloruro di carbonio anziché carbonio e cloro:[4]



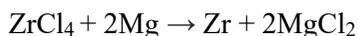
Il $ZrCl_4$ si idrolizza al contatto dell'aria, con formazione di **dicloro (osso) zirconio** (cloruro di zirconile) $ZrOCl_2$, composto cristallino.

Per sintesi diretta il dicloro (osso) zirconio anidro è stato ottenuto a $-15^\circ C$ nel Ccl_4 :



L'estrazione dello zirconio dai minerali avviene con molte difficoltà. Il processo di separazione per distillazione si effettua mediante fusione dei minerali già arricchiti in forno elettrico ad arco; in tal modo si ottiene una miscela di carburi e nitruri contenente circa l'80% di zirconio.

La miscela ottenuta per azione del cloro a $500^\circ C$, formano tetracloruro di zirconio che viene ridotto a spugna di zirconio mediante magnesio, secondo la reazione:



La spugna viene fusa in atmosfera inerte al forno elettrico per ottenere lingotti con il 97% di zirconio e il 2,5% di afnio; l'afnio accompagna lo zirconio nei suoi minerali ed ha proprietà molto simili.



Spugna di zirconio



Spugna di Afnio

L'afnio (**Hf**), metallo di transizione con numero atomico 72 di aspetto lucido e colore argenteo; chimicamente è simile allo zirconio, in natura non esiste come elemento puro in ma si trova combinato in soluzione solida con lo zirconio in composti come lo zircone, che contiene circa dall'1 al 4 % di Zr sostituito da Hf.

Lo zircone viene trasformato in esafluorozirconato di potassio, questo viene calcinato e il residuo, idrolizzato con acqua bollente, origina il diossido. Il metallo in polvere si prepara per riduzione del diossido con calcio e può essere agglomerato per sinterizzazione.

Il minerale più importante dello zirconio è lo **zircone**, silicato di formula $ZrSiO_4$; esiste anche il **diossido** ZrO_2 (baddeleyite).

Il diossido di zirconio (ZrO_2), conosciuto come zirconia, è un ossido cristallino bianco. La forma più naturale, con una struttura cristallina monoclinica, è la **baddeleyite** minerale molto raro.

La forma cristallina cubica a temperature elevate è denominata **zirconia** cubica; è trovata raramente in natura come minerale tazheranite (Zr, Ti, Ca) O_2 , ma è sintetizzata in vari colori per uso come pietra preziosa. La zirconia cubica è simile del diamante.



Baddeleyite

Forma cristallina di ZrO_2



Zirconia

diossido bianco di ZrO_2



Tazheranite

(Zr, Ti, Ca) O_2

3.2 Proprietà del diossido di zirconio

Il diossido di zirconio è uno dei materiali ceramici più studiati. La struttura cristallina del diossido puro a temperatura ambiente è monoclinica, mentre ad elevate temperature la struttura è tetragonale e cubica. L'espansione di volume conseguente al riscaldamento con cambiamento della struttura cristallina provoca la fessurazioni del diossido durante il raffreddamento che avviene bruscamente.

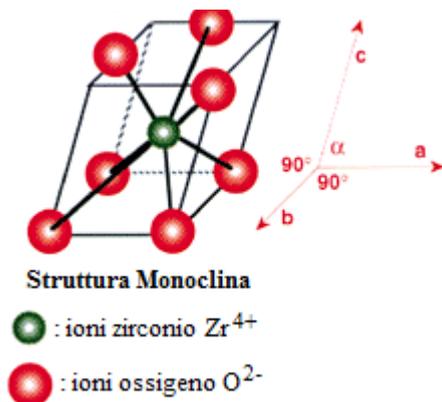


Figura - Struttura cristallina della Zirconia

4. Usi e applicazioni

In ragione del suo potere di assorbire i gas, lo zirconio è utilizzato puro come "getter" nelle valvole radio; in forma di sottili foglioline serve come filtro nei tubi di emissione dei raggi X. Costituisce infine le guaine di talune barre di elementi combustibili di pile atomiche, e spesso viene usato nei tubi elettronici a vuoto per eliminare tracce di gas come ossigeno e azoto. È inoltre impiegato in lega, sotto forma di ferro-zirconio o di ferro-silicio-zirconio al 13% di zirconio, per affinare i bagni di acciaio fuso. Essendo inalterabile all'azione degli agenti atmosferici, entra nella composizione di taluni acciai al nichel-manganese per lamiere da corazza e, con un tenore dello 0,3%, nella composizione di talune ghise, per affinarne la grana e accelerare la grafitizzazione del carbonio (ghise a grafite nodulare), nella composizione di leghe di magnesio per migliorarne le caratteristiche meccaniche, in particolare la resistenza allo scorrimento. Il diossido ha varie applicazioni come refrattario agli agenti chimici; viene anche usato come abrasivo. Il solfato di zirconio è dotato di proprietà concianti, sfruttate per poter ottenere un cuoio bianco, morbido e assai resistente.

La zirconia è usata come materiale refrattario, nell'isolamento, in abrasivi, in smalti ed in glasse di ceramica. La zirconia stabilizzata è utilizzata nelle membrane dei sensori di ossigeno e nelle pile a combustibile perché ha la

capacità di fare in modo che gli ioni dell'ossigeno si muovano liberamente attraverso la struttura del cristallo alle temperature elevate.

Gli **Ossidi misti** si usano per svariate applicazioni in numerosi campi tecnologici. Di particolare interesse è il sistema ZrO_2-SiO_2 , in quanto può essere utilizzato in un ampio spettro di applicazioni tecnologiche per le sue proprietà meccaniche, refrattarie, ottiche e catalitiche. Questo ossido misto presenta un miglioramento di molte proprietà rispetto agli ossidi tal quali, tra le quali elevata stabilità termica e chimica. E' stato molto studiato come materiale strutturale, poiché presenta basso coefficiente di espansione termica, caratteristiche refrattarie, elevata resistenza alla frattura e all'attacco da parte di agenti chimici. Sistemi a base di zirconia e silice sono impiegati come catalizzatori. La zirconia è infatti caratterizzata da un'interessante attività catalitica dovuta alla presenza di numerosi siti acidi, ma purtroppo anche dalla difficoltà di ottenerla con un'elevata area superficiale.

Il diossido di zirconio è un materiale innovativo in **odontoiatria**, la zirconia si usa come sottostruttura per ponti, corone, abutment (pilastro) implantari, carlifornia bridge, ecc.

Il diossido di zirconio (ZrO_2) potenziato con ossido di yttrio (Y_2O_3), conferisce alla lega caratteristiche tecnologiche eccezionali: altissima resistenza alla flessione, alta resa estetica e buona compatibilità nel cavo orale.

Il diossido di zirconio viene lavorato in forma presinterizzato¹¹, cioè non ancora esposto a cottura ad alta temperatura, per poter essere lavorato dal sistema CAD-CAM (Computer Aided Design e Computer Aided Manufacturing). La ceramizzazione, in laboratorio odontotecnico, risulta particolarmente facilitata ed abbreviata rispetto alla metallo-ceramica perché non è necessaria né cottura di ossidazione, né opacizzazione.

5. Lo zirconio e la salute

Lo zirconio e i suoi sali, in generale, non hanno tossicità sistematica. Il consumo calcolato nella nostra dieta è pari a 50 microgrammi.

La maggior parte non viene assorbita nell'intestino e quella che è assorbita tende ad accumularsi maggiormente nello scheletro piuttosto che nei tessuti.

Lo zirconio 95 è uno dei radionuclidi coinvolti nelle prove atmosferiche con le armi nucleari. È tra i radionuclidi con vita più lunga che hanno prodotto e continueranno a costituire un rischio per i cancro per decenni e secoli a venire.

5.1 Lo zirconio e l'ambiente

Lo zirconio non tende a costituire un pericolo per l'ambiente.

11. La sinterizzazione è un particolare trattamento termico (cioè ad elevata temperatura) che trasforma un materiale polverulento in un materiale indivisibile

Le piante acquatiche hanno assorbito velocemente lo zirconio solubile, mentre le piante da terra manifestano poca tendenza ad assorbirlo; in effetti il 70% delle piante che sono state esaminate non ha riportato la presenza di zirconio.

Bibliografia

- [1] Fetto Pasquale, *Il Berillo - Il fascino degli smeraldi (parte I)*, CnS-La Chimica nella Scuola, XXXV, 2013, **2**, 63-72
- [2] Fetto Pasquale, *Il Berillo - Le gemme: non solo belle da vedere ma... (parte II)*, CnS-La Chimica nella Scuola, XXXV, 2013, **4**, 57-75
- [3] Fetto Pasquale, *Il Berillo - La chimica del berillio (parte III)*, CnS-La Chimica nella Scuola, XXXVI, 2014, **1**,
- [4] Corsi Faustino. *Delle pietre antiche Libri quattro*. Roma 1828, pag 193. Tipografia Salviucci e Figlio. Digitalizzato da Google.
- [5] Fetto Pasquale. *Le dodici pietre: il Crisolito*, CnS-La Chimica nella Scuola, XXXVIII, 2016, **3**, 67-81
- [6] Marco Aurelio Marchi, *Dizionario tecnico-etimologico-filologico*, Volume 1 pag. 398 Milano 1828 Tipografia di Giacomo Pirola. Digitalizzato da Google.
- [7] Corsi Faustino. *Delle pietre antiche trattato*; Seconda Edizione. Roma 1833, pag 280-282. Tipografia Salviucci. Digitalizzato da Google
- [8] Nuova enciclopedia popolare ovvero Dizionario generale di scienze, lettere, arti, storia, geografia, ecc. ecc. opera compilata sulle migliori in tal genere, inglesi, tedesche e francesi coll'assistenza e col consiglio di scienziati e letterati italiani ..: B-BYRON, Volume 2. Editore Giuseppe Pomba e comp., 1843. pag. 763. Digitalizzato da Google.
- [9] Speranza Cavenago-Bignami Moneta. *Gemmologia-pietre preziose, ornamentali, perle, coralli, avorio, tartaruga, sintesi, imitazioni*. Quarta edizione, Milano 1980, pag. 788. Hoepli editore.
- [10] ibidem pag. 901.

Sitologia

<http://oriegemme.it/pietre-da-leggere/granato-essonite/>
<http://www.lenntech.it/periodica/elementi/zr.htm#ixzz3lBNOUja3>
http://tesi.cab.unipd.it/13806/1/Simone_Mascotto_Tesi.pdf
<http://www.ing.unitn.it/~colombo/Materiali%20per%20l'implantologia%20dentale/6.%20Zirconia.htm>
<http://www.ing.unitn.it/~colombo/AFNIO/RELAZIONE%20AFNIO/4.%20PRODUZIONE.htm>

La scienza che muove il mondo
20^{ma} Edizione – Premio Nazionale Federchimica Giovani

La chimica riveste un ruolo sempre più rilevante nella nostra società sia come scienza sia come industria. Per questo è importante diffondere la sua conoscenza e il suo studio tra le nuove generazioni. Ecco perché Federchimica promuove una nuova edizione del Premio Nazionale Federchimica Giovani - La scienza che muove il mondo. Il Premio, giunto ormai alla sua 20esima edizione, si rivolge ai ragazzi della Scuola Secondaria di Primo Grado, statale e paritaria, di tutto il territorio nazionale e nasce per potenziare, attraverso progetti didattici innovativi e creativi, l'interazione tra Scuola, Territorio e Industria Chimica e per orientare verso percorsi di studio tecnico-scientifici.

Al Premio è possibile partecipare come classe o come singolo alunno, realizzando un testo breve (racconto o favola) oppure un reportage di taglio giornalistico o intervista.

Si può concorrere come da Regolamento:

- per il tema Chimica Generale
- per una delle sottocategorie: Agrofarmaci, Farmaci per Animali, Ingredienti Alimentari, Chimica di base, Biotecnologie, Detersivi, Fertilizzanti, Fibre Sintetiche, GPL, Auto a Idrogeno, Vernici Inchiostri Adesivi, Cosmetica, Plastica.

Le sezioni “Chimica di base” e “Plastica” si rivolgono anche alla scuola primaria con caratteristiche e premi differenti come riporta lo specifico Regolamento.

In palio oltre 40 premi: per i vincitori singoli un tablet, mentre per i gruppi/classi è previsto un contributo di 2.000 euro alla scuola.

Il concorso scade il 31 marzo 2017.

Per maggiori informazioni

Segreteria Premio Nazionale Federchimica Giovani

Tel: 02 34565 278-279

Mail: segreteriaipremio@federchimica.it

Dalla Divisione di Didattica

Iniziative per il 2017

Per gli insegnanti le ore di aggiornamento collegate a queste iniziative saranno certificate e ci sarà anche la possibilità di registrare le spese sulla carta docente.

La SCI si è accreditata alla piattaforma MIUR, quindi, dovrebbe essere fatto tutto online.

La Scuola Segre 2017 si terrà a **Torino** intorno alla **metà di luglio** e sarà rivolta come sempre sia agli universitari sia agli insegnanti. Quest'anno vedrà la presenza del **Prof. Eric Scerri** (editor della rivista *Foundations of Chemistry*). Sarà, quindi, un momento importante (e per tanti aspetti difficilmente ripetibile) di confronto sui temi storico/epistemologici di cui si occupa Scerri. Per gli insegnanti la partecipazione darà diritto a **20 ore di aggiornamento**.

SPAIS come sempre si svolgerà l'**ultima settimana di luglio** e darà diritto a **30 ore di aggiornamento**.

Il Congresso 2017 della Divisione si svolgerà a **Paestum (SA)** nel periodo 10-15 settembre in concomitanza con il congresso triennale della SCI e darà diritto a **20 ore di aggiornamento**.

Visto il successo della Scuola Segre 2016 a San Miniato, l'ITI "Cattaneo" e le associazioni del posto ci hanno chiesto di tenere lì un corso di aggiornamento per gli insegnanti anche nel 2017. Ci dovrebbe essere, quindi, un corso di aggiornamento con le modalità di lavoro di quello del 2016 e cioè esclusivamente con lavori di gruppo. Per il periodo ancora non si è deciso (quello del 2016 è coperto dal Congresso 2017). Al momento si sta pensando a fine agosto. Il corso darà diritto a 20 ore di aggiornamento.

Saluti

Giovanni Villani

Presidente DDSCI

ISTRUZIONI PER GLI AUTORI

Informazioni generali

La rivista CnS – La Chimica nella Scuola si propone anzitutto di costituire un ausilio di ordine scientifico, professionale e tecnico per i docenti delle scuole di ogni ordine e grado e dell'Università; si offre però anche come luogo di confronto delle idee e delle esperienze didattiche.

Sono pertanto ben accetti quei contributi che:

- trattino e/o rivisitino temi scientifici importanti alla luce dei progressi sperimentali e teorici recenti;
- trattino con intento divulgativo argomenti relativi alla didattica generale ed alla didattica disciplinare;
- affrontino problemi relativi alla storia ed alla epistemologia della Chimica.
- illustrino varie esperienze didattiche e di lavoro, anche con il contributo attivo dei discenti;
- presentino proposte corrette ed efficaci su argomenti di difficile trattamento didattico;
- trattino innovazioni metodologiche, con attenzione particolare sia alle attività sperimentali, sia ai problemi di verifica e valutazione;
- che illustrino esperienze di attività scolastiche finalizzate all'insegnamento delle scienze, in particolare della chimica;
- che discutano collaborazioni ed interazioni fra università e scuola secondaria ai fini dell'insegnamento della chimica.

Sono anche benvenute comunicazioni brevi e lettere alla redazione che possano arricchire il dibattito e la riflessione sui temi proposti dalla rivista.

Invio dei materiali per la pubblicazione

I testi devono essere inviati come attachment di e-mail al direttore della rivista **(1)** e al redattore **(2)**. Devono essere indicati con chiarezza gli indirizzi (e-mail e *postale*) dell'autore al quale inviare la corrispondenza. Il testo deve essere **completo e nella forma definitiva**; si raccomanda la massima cura nell'evitare errori di battitura. La redazione darà conferma dell'avvenuto ricevimento.

Dettagli tecnici – Importante!

a) **Testo in generale**: formato Word, carattere Times New Roman, corpo 12. *La precisazione riguardo al carattere si rende necessaria in quanto l'eventuale modifica generalizzata produce automaticamente la scomparsa di tutti i caratteri particolari*

b) **Riassunto**. Gli articoli dovrebbero essere preceduti da un riassunto esplicativo del contenuto (max. 600 caratteri), in lingua italiana e in lingua inglese. Chi avesse difficoltà insormontabili per la traduzione in lingua inglese può limitarsi al riassunto in italiano. Non si richiede riassunto per le lettere alla redazione e per le comunicazioni brevi.

c) **Strutturazione**. Si suggerisce di strutturare gli articoli relativi a un lavoro di ricerca secondo le consuetudini delle riviste scientifiche: introduzione, corpo dell'articolo (contenente l'eventuale parte sperimentale), esposizione e discussione dei risultati ottenuti, conclusioni.

d) **Intestazione.** La prima pagina del testo di un articolo deve contenere:

- Titolo, chiaramente esplicativo del contenuto del lavoro (max. 50 battute);
- Nome (per esteso), cognome e istituzione di appartenenza di ciascun autore;
- Indirizzo e-mail degli autori o dell'autore referente.

e) **Bibliografia.** Si consiglia vivamente di riportarla secondo le norme che illustriamo con esempi:

- Lavori pubblicati su riviste: Autori (preceduti dalle iniziali dei nomi), rivista (abbreviazioni internazionali in uso), anno, volume (in grassetto), pagina. Es.: W. M. Jones, C. L. Ennis, *J. Am. Chem. Soc.*, 1969, **91**, 6391.

- *Libri e trattati:* Autori (preceduti dalle iniziali dei nomi), titolo dell'opera con la sola prima iniziale maiuscola, editore, sede principale, anno di pubblicazione. Se si fa riferimento a poche pagine dell'opera, è opportuno indicarle in fondo alla citazione. Es.: A. J. Bard, L. R. Faulkner, *Electrochemical methods*, Wiley, New York 1980.

- Comunicazioni a congressi: Autori (preceduti dalle iniziali dei nomi), indicazione del congresso nella lingua originale, luogo e data, pagina iniziale se pubblicata in atti. Es.: M. Arai, K. Tomooka, 49th National Meeting of Chemical Society of Japan, Tokio, Apr. 1984, p.351.

f) **Unità di misura, simboli, abbreviazioni.** Le unità di misura devono di norma essere quelle del S.I., o ad esse correlate. I simboli devono essere quelli della IUPAC. E' ammesso il ricorso a abbreviazioni note (IR, UV, GC, NMR ecc.). Se l'abbreviazione non è consueta, deve essere esplicitata alla prima citazione. La nomenclatura deve essere quella della IUPAC, nella sequenza latina (es. carbonato di bario e non bario carbonato). Può essere usato il nome tradizionale per i composti più comuni: acido acetico, etilene, anidride solforosa ecc.

g) **Formule chimiche e formule matematiche.** Devono essere fornite in forma informatica.

h) **Figure.** Devono essere fornite in forma informatica avendo presente che la massima dimensione della base (in stampa) è pari a 12 cm. Deve essere assicurata la leggibilità delle scritte, anche dopo l'eventuale riduzione. Il formato (WORD, TIFF, JPEG o altro). Devono essere numerate e munite di eventuale didascalia. Indicare le posizioni approssimative delle figure.

i) **Grafici e tabelle.** Come per le figure.

1) luigi.campanella@uniroma1.it - Indirizzo postale: Luigi Campanella - Dipartimento di Chimica - Piazzale Aldo Moro, 5 - 00185 ROMA

2) pasquale.fetto@didichim.org - Indirizzo postale: Pasquale Fetto - Via Carlo Jussi, 9 - 40068 SAN LAZZARO DI SAVENA(BO).

Correzione delle bozze

In caso di accettazione per la pubblicazione, il testo viene inviato all'autore di riferimento in formato Pdf. Le correzioni devono essere segnalate entro brevissimo tempo; se sono in numero limitato, può bastare l'indicazione via e-mail; altrimenti deve essere inviata copia cartacea con l'indicazione chiara delle correzioni da apportare. Non sono ammesse variazioni importanti rispetto al testo originale.

AREE SCIENTIFICO-DISCIPLINARI

AREA 01 – Scienze matematiche e informatiche

AREA 02 – Scienze fisiche

AREA 03 – Scienze chimiche

AREA 04 – Scienze della terra

AREA 05 – Scienze biologiche

AREA 06 – Scienze mediche

AREA 07 – Scienze agrarie e veterinarie

AREA 08 – Ingegneria civile e architettura

AREA 09 – Ingegneria industriale e dell'informazione

AREA 10 – Scienze dell'architettura, filologico-letterarie e storico-artistiche

AREA 11 – Scienze storiche, filosofiche, pedagogiche e psicologiche

AREA 12 – Scienze giuridiche

AREA 13 – Scienze economiche e statistiche

AREA 14 – Scienze politiche e sociali

AREA 15 – Scienze teologico-religiose

Il catalogo delle pubblicazioni di Anace editrice è su

www.anaceeditrice.it

Finito di stampare nel mese di dicembre del 2006
dalla tipografia «System Graphic S.r.l.»
00034 Roma – via di Torre Sara/Aranzia, 6
per conto della «Giacchino Orzotti editore S.r.l. – unipersonale» di Canterano (RM)