

A03



# La Chimica nella Scuola

*a cura di*



Società Chimica Italiana



Copyright © MMXIV  
ARACNE editrice S.r.l.

[www.aracneeditrice.it](http://www.aracneeditrice.it)  
[info@aracneeditrice.it](mailto:info@aracneeditrice.it)

via Raffaele Garofalo, 133/ A-B  
00173 Roma  
(06) 93781065

ISBN 978-88-548-XXXX-X  
ISSN 0392-8942

*I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica,  
di riproduzione e di adattamento anche parziale,  
con qualsiasi mezzo, sono riservati per tutti i Paesi.*

*Non sono assolutamente consentite le fotocopie  
senza il permesso scritto dell'Editore.*

I edizione: marzo 2014

## SOMMARIO

<b>EDITORIALE</b>	
<b>Il Museo kircheriano</b>	<b>7</b>
di Luigi Campanella	
<b>DALLA COPERTINA</b> (a cura di Gianmarco Ieluzzi)	
<b>Theodore William Richards</b>	<b>9</b>
di Pasquale Fetto	
<b>TFA e PAS: Due diverse idee di formazione iniziale degli insegnanti</b>	<b>13</b>
di Eleonora Aquilini	
<b>SCUOLA SECONDARIA DI II° GRADO</b>	
<b>Bixa orellana, il rosso degli Aztechi. Parte I</b>	<b>19</b>
di Gianfranco Goi, Maria Miurin	
<b>SCUOLA SECONDARIA DI II° GRADO (Canton Ticino)</b>	
<b>Il coefficiente di ripartizione: dalle relazioni fenomenologiche alla descrizione attraverso il potenziale chimico</b>	<b>31</b>
di Michele D'Anna, Paolo Lubini	
<b>La Chimica classica di Mendeleev e il suo rapporto con la termodinamica di Sadi Carnot</b>	<b>47</b>
di Antonino Drago, Giovanni Villani	
<b>Study on chemistry learning and its assessment</b>	<b>63</b>
di Marco Piumetti, Teresa Celestino	
<b>TRA PASSATO E FUTURO</b> (a cura di Marco Ciardi)	
<b>Breve storia dell'amianto dall'antichità al '700</b>	<b>73</b>
di Carlotta Zilioli	
<b>FEDERCHIMICA PER LA SCUOLA</b>	
<b>Science on Stage Europe</b>	<b>87</b>
<b>FLASH</b>	
<b>Manchester Manifesto</b>	<b>8;</b>
<b>Beni culturali aperti</b>	<b>; 2</b>
<b>L'era digitale</b>	<b>93</b>
<b>L'intelligenza artificiale</b>	<b>93</b>
<b>Quale percezione della chimica</b>	<b>94</b>
<b>Mostra di didattica sul DNA a Rosignano Solvay</b>	<b>95</b>
<b>STRUZIONI PER GLI AUTORI</b>	<b>.....; 7</b>



## **Il Museo kircheriano**

L'esperienza di Kircker e del Neviani dimostra che per formare una collezione museale o didattica, sono necessari la finalità del programma e la perseveranza nel progetto, facendo affidamento sui mezzi finanziari forniti dalle Istituzioni e sulle tecniche della diffusione dell'informazione nella Scuola e nella Società. Merita a tal proposito ricordare un brano tratto da una pubblicazione del Neviani: "Non vi ha dubbio che per l'incremento delle collezioni occorrono alcuni elementi di fatto, senza i quali esse sarebbero impossibili. Locali, arredamento e dotazioni proporzionate; quindi l'appoggio del Capo d'Istituto e l'interessamento degli Enti superiori; persuaso che questi non possono mancare se l'insegnante è uomo di fede, di studio, amante delle collezioni e della Scuola. Intendiamoci: non dell'accumulo di materiale qualsiasi che si lasci dormire nei cassetti e negli scaffali a coprirsi di polvere ed essere preda dei tarli".

E' nostro dovere non perdere lo straordinario impulso culturale lasciato da Kircher e da Neviani che per molti anni nei locali del Collegio Romano, hanno fatto emergere con il patrimonio storico del Liceo Visconti, anche la Storia della Didattica della Scienza. Quando nel 1870 tutte le proprietà del Vaticano passarono allo Stato Italiano, la cultura dell'epoca non era sufficientemente preparata ad accogliere e valutare il valore di questo tipo di Museo che fu insipientemente smembrato e volutamente disperso.

Oggi la didattica delle Scienze soffre della mancanza di strumentazione trasparente quindi didattica. Sempre più spesso gli strumenti ai giorni nostri configurano come vere e proprie "Scatole nere". Nel passato recente e meno recente purtroppo esigenze di spazio e di rinnovamento hanno indotto a sacrificare strumenti obsoleti, forse sul piano scientifico ma straordinariamente utili sul piano didattico in quanto modulari e trasparenti rispetto ai loro contenuti tecnici ed alla loro modalità costruttiva. In tale situazione strumentazioni che si sono salvate dalla rottamazione divengono preziose tanto che al MIUR è stato di recente presentato un programma di catalogazione di tali strumenti con la preziosa indicazione della sede di reperimento..

Molti dei Musei nei Dipartimenti, pure costretti a sacrifici di necessità per spazio e rinnovamento, sono riusciti a salvare alcuni storici strumenti, molti dei quali risultano anche operanti e quindi disponibili per utilizzarli in esperimenti didattici. L'idea è quindi quella di valorizzare questi patrimoni costruendo intorno ad essi Musei ad hoc aperti a tutti i contributi che Strutture e Addetti vorranno dare. Il nucleo di partenza potrà essere costituito dalle collezioni più significative in ogni Ateneo, per esempio a Roma quelle del Museo di Fisica rilevanti sia per la qualità e quantità della strumentazioni contenute sia per il valore storico che attraverso l'istituendo museo verrebbe rinnovato al Laboratorio di Didattica delle Scienze, negli anni 80-90 vero ponte fra l'Università e la Scuola secondaria.

Gli istituendi Musei sono dotati di ciò che più è necessario per un Museo, e cioè il materiale da esporre, senza il quale non ci sarebbe il progetto, ma richiede ovviamente un minimo impiego di risorse umane e infrastrutturali con la messa a disposizione di idonei qualificati spazi.

## DALLA COPERTINA

a cura di **Gianmarco Ieluzzi** (gianmarco.ieluzzi@gmail.com)

### **Theodore W. Richards**

**Germantown 31 gennaio 1868**

**Cambridge 2 aprile 1928**

di

**Pasquale Fetto**



### **Prelio Nobel per la Chimica 1914**

Theodore William Richards nato a Germantown, Pennsylvania, il 31 gennaio 1868. Il padre, William Trost Richards era un noto pittore di paesaggi e marine; la madre, Anna Matlack, ebbe una certa fama per le sue opere poetiche. Richards sposò nel 1896 Miriam Stuart Thayer, figlia del professore Joseph H. Thayer, dalla quale ebbe tre figli una femmina e due maschi. Richards trascorse la sua infanzia in Inghilterra e in Francia e fino all'età di quattordici anni fu affidato all'educazione materna. Richards scoprì la scienza da bambino allorquando Josiah Parsons Cooke, amico di famiglia, professore di Chimica presso l'università di Harvard gli mostrò gli anelli di Saturno attraverso un telescopio. Richards rimase affascinato da questa scoperta ma, purtroppo, non poté dedicarsi agli studi astronomici a causa di una vista non perfetta. Non si è sicuri che questa fosse l'unica ragione che lo spinse verso la chimica, certamente la conoscenza di Cooke lo deve aver influenzato in questa decisione. Nel 1883 entrò nel Haverford College, Pennsylvania, nel 1885 decise di laurearsi in scienze e si iscrisse all'Università di Harvard. Ricevette il *Bachelor of Arts* nel 1886<sup>1</sup>, il Master e il Ph.D nel 1888. Dopo il Ph.D si recò in Europa per un viaggio di formazione in Gran Bretagna e in Germania dove studiò con Victor Meyer, P. Jannasch, G. Kruss, W. Hempel, Wilhelm Ostwald (prelio Nobel nel 1909) e Walther Nernst (premio Nobel nel 1920). Ritornato ad Harvard fu nominato Assistente in Chimica.

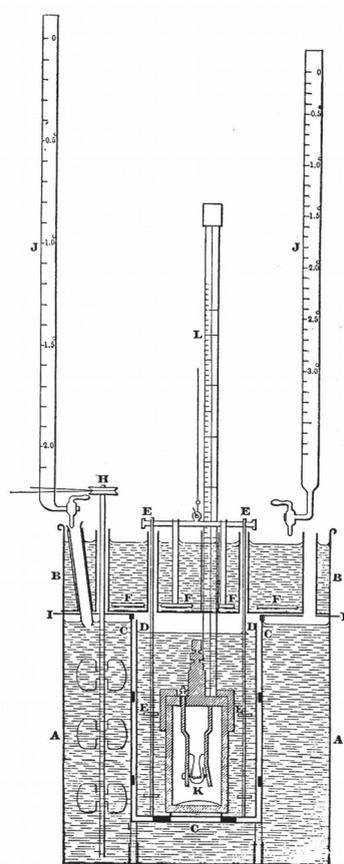
---

1. Negli Stati Uniti si dava questo titolo anche agli studenti che avessero seguito principalmente corsi nei campi delle scienze fisiche come la biologia e la chimica

Successivamente nel 1891 divenne istruttore, nel 1894 fu nominato assistente universitario e nel 1901 divenne Full Professor. Richards, nel 1901, rifiutò la cattedra presso l'Università di Göttingen e nel 1903 divenne direttore del Dipartimento di Chimica ad Harvard e nel 1912 fu nominato titolare della cattedra di chimica e direttore del Wolcott Gibbs Memorial Laboratory. Circa la metà dell'attività di Richards ha riguardato i pesi atomici, attività iniziata nel 1886, quando aveva solo 18 anni, con la determinazione dei pesi atomici di ossigeno e rame. Sviluppò una nuova tecnica per la determinazione dei rapporti ioduri e ha fatto molto per migliorare i metodi di pesatura. Ha inventato il nefelometro e ha dimostrato l'effetto pericoloso dell'umidità racchiusa nei gas e nei solidi. Ha creato nel 1905 il primo calorimetro adiabatico.

Nel 1910 pubblicò la ricerca sui pesi atomici. *“Le determinazioni dei pesi atomici”*. Nel 1912 aveva rideterminato, con la massima precisione, i pesi atomici di oltre trenta elementi importanti. Nel 1913 mostrò che il peso atomico del piombo ordinario differisce da quello prodotto tramite il decadimento radioattivo dell'uranio. Questo lavoro confermò le ipotesi esistenti sulla serie di decadimento radioattivo e la previsione fatta da Frederick Soddy (Nobel nel 1921 per la chimica) circa l'esistenza di isotopi.

Negli anni successivi, con il suo lavoro sulla determinazione del peso atomico degli isotopi, diede un importante contributo al concetto moderno di atomo. Richards ha anche studiato il volume atomico e molecolare e ha formulato un'ipotesi sulla compressibilità degli atomi. Per sostenere la sua ipotesi effettuò misure di compressibilità sia sugli elementi che sui loro composti e sviluppò applicazioni e sperimentazioni di nuovi metodi e tecniche di misura. Ha introdotto l'uso delle temperature di transizione di sali idrati puri come punti fissi nella standardizzazione dei termometri.



Calorimetro adiabatico Richards e Henderson (1907)

Il Premio Nobel per la Chimica gli fu assegnato nel 1914 con la seguente motivazione:

*"in riconoscimento delle sue determinazioni accurate del peso atomico di un gran numero di elementi chimici".*

Richards ricevette il suo premio Nobel, conferitogli per la 1914, un anno dopo. Il motivo del ritardo fu dovuto alla decisione, del Comitato del Nobel per la Chimica, di rinviare il conferimento ritenendo che, durante il processo di selezione nel 1914, nessuna delle candidature dell'anno soddisfaceva i criteri indicati nel testamento di Alfred Nobel. Infatti, secondo lo statuto della Fondazione Nobel, il premio può, in questo caso, essere riservato all'anno successivo questo fu il principio applicato.

Richards fu il primo scienziato americano a ricevere il premio.

Le sue ricerche sono censite in circa trecento documenti tecnici pubblicati principalmente negli *Atti dell'Accademia Americana delle Arti e delle Scienze*, nel *Journal of American Chemical Society* e nelle pubblicazioni della Carnegie Institution di Washington.

Richards ricevette il dottorato **honoris causa in scienze** dalla Yale University, università privata di New Haven, Connecticut (1905), Harvard (1910), Cambridge, Oxford e Manchester (1911) e Princeton (1923); in **filosofia** dall'università di Praga (1909) e Christiania, oggi Oslo, (1911); in **giurisprudenza** dall'università di Haverton (1908), Pittsburgh (1915) e Pennsylvania (1920), in **chimica** dalla Clark Atlanta University (1909), e in **medicina** da Berlino (1910).

Fu presidente della American Chemical Society (1914), dell'Associazione Americana per l'Avanzamento della Scienza (1917) e dell'Accademia Americana delle Arti e delle Scienze (1919-1921). Socio straniero dei Lincei (1918)

Ha ricevuto la Medaglia Davy (*Royal Society*), la Medaglia Faraday, la Willard Gibbs Medal (*American Chemical Society*), la Franklin Medal (*Franklin Institute*) e Le Blanc e la Medaglia Lavoisier della *Société de France*. Fu nominato *Officier de la Légion d'Honneur* nel 1925.

Mori a Cambridge, Massachusetts, il 2 aprile 1928.

Pubblicazione interessante e significativa è : *The scientific work of Morris Loeb*, 1913 (testo in inglese); *Harvard University Press*



## **TFA e PAS**

### **Due diverse idee di formazione iniziale degli insegnanti**

**Eleonora Aquilini**

Liceo Artistico “F. Russoli” di Pisa

Tutor coordinatore TFA –A013

ele.aquilini@tin.it

Il TFA (Tirocinio formativo attivo) ordinario si è concluso alla fine di Ottobre 2013 e verrà sostituito, si spera solo momentaneamente, con i PAS (Percorsi abilitanti speciali). Il TFA doveva essere, all’origine, la parte conclusiva della laurea magistrale dedicata all’insegnamento che prevedeva un biennio di specializzazione condotto dall’università e un anno di tirocinio formativo attivo cogestito da università e scuola. La laurea magistrale per l’insegnamento nella scuola secondaria di primo e secondo grado non è stata attivata e invece è stato avviato nel 2012 il TFA per il conseguimento dell’abilitazione nelle varie classi di concorso. Il TFA ordinario con le luci e ombre che lo hanno caratterizzato<sup>1</sup>, ha avuto come riferimento normativo il D.M. 249/2010 che prevedeva test preselettivi, seguiti da prove scritte e orali, per l’accesso (a numero chiuso) e, successivamente, la frequenza a corsi di didattiche disciplinari, corsi di scienza dell’educazione e tirocinio (diretto e indiretto). Il tirocinio previsto era di 475 ore, con una diversa distribuzione tra tirocinio diretto e indiretto nelle varie sedi, presso la sede di Firenze si è optato per una suddivisione di 350 ore di tirocinio indiretto e 125 di tirocinio diretto. Solo in rarissimi casi il corso abilitante è iniziato nell’autunno 2012, nella maggior parte dei casi il corso ha avuto inizio tra febbraio e marzo, e i tirocini, per problemi organizzativi, sono iniziati nella primavera 2013. Tanto per fare un esempio, presso la sede di Firenze i tirocini sono iniziati in maggio. I corsisti in primo luogo, i tutor d’aula e i tutor coordinatori hanno dovuto lavorare a marce forzate per rientrare nei tempi dettati dalle scadenze degli esami abilitanti e il percorso è stato difficile e faticoso. E’ stato tuttavia molto appassionante, come è stato dichiarato da gran parte di coloro che hanno concluso il percorso abilitante.

E’ stato proprio il tirocinio (diretto e indiretto) che è stato giudicato, anche dai corsisti che avevano già insegnato, la parte più significativa e formativa del corso abilitante. Su questo punto è importante riflettere.

---

1. Rapporto ANFIS sul TFA 2013,

[http://www.anfis.eu/documenti/Rapporti\\_ANFIS\\_TFA/RA\\_TFA\\_2013/Rapporto\\_ANFIS\\_sul\\_TFA-primociclo\\_2013-1\\_settembre\\_2013.pdf](http://www.anfis.eu/documenti/Rapporti_ANFIS_TFA/RA_TFA_2013/Rapporto_ANFIS_sul_TFA-primociclo_2013-1_settembre_2013.pdf)

Entrambi i tirocini, diretto e indiretto, prevedevano una parte riguardante la disciplina per cui si conseguiva l'abilitazione e una parte riguardante il sostegno. Le ore di tirocinio diretto e indiretto venivano in parte decurtate, nel caso che i corsisti avessero già insegnato. Presso la sede di Firenze chi non aveva mai insegnato doveva seguire 100 ore di tirocinio diretto per l'area disciplinare e 25 ore per il sostegno e 300 ore di tirocinio indiretto disciplinare e 50 ore per il sostegno. Le ore di "indiretto" venivano assolte in parte online e in parte in presenza. La parte online, nella sede di Firenze, è stata dedicata soprattutto allo studio della normativa ministeriale che riguarda la funzione docente.

Nei PAS, il tirocinio non esiste più. La motivazione è che, essendo rivolti ad insegnanti non abilitati che hanno svolto almeno tre anni di servizio, il tirocinio non è necessario<sup>2</sup>. L'aver già insegnato permette ai corsisti di accedere ai corsi senza alcuna prova selettiva e di frequentare i corsi universitari della disciplina di abilitazione e di scienze dell'educazione previsti dal regolamento. Evidentemente si pensa che chi ha già insegnato non ha bisogno di riflettere su cosa significa insegnare. Si ritiene che le teorie pedagogiche siano automaticamente trasferibili nelle classi e che conoscere la disciplina, con qualche rudimento pedagogico, sia sufficiente per l'insegnamento. Problemi quali la motivazione degli alunni, la gestione dei gruppi classe, si pensa possano essere risolti semplicemente affiancando le scienze dell'educazione alle discipline d'insegnamento, senza una loro integrazione. A livello ministeriale non sfiora neanche l'idea che le scienze dell'educazione debbano, invece, *attraversare* la disciplina per renderla comprensibile e adatta all'età degli alunni. La motivazione degli studenti non si suscita *presentando con garbo* contenuti disciplinari incomprensibili, o con un' *inclusività* astratta ma costruendo percorsi didattici alla portata cognitiva degli alunni. In altre parole, occorre che la psicologia e la pedagogia intervengano nelle scelte e nella rivisitazione degli argomenti che si insegnano, oltre che nella comunicazione in classe. A scuola non si tratta, soltanto, di gestire i gruppi con tecniche più o meno efficaci ma di praticare e consolidare la didattica laboratoriale che è mediazione di punti di vista, è riflessione intersoggettiva sugli apprendimenti. Il passaggio dal significato soggettivo a quello condiviso è accettazione dell'altro, superamento della propria individualità, costruzione di un sapere disciplinare che si concretizza in una competenza.

E' alla scuola che spetta il compito dell'integrazione delle scienze dell'educazione e delle discipline. La scuola invece viene esclusa.

---

2. M.Berni, Spunti di riflessione e proposte operative per la formazione iniziale e il reclutamento dei docenti, <http://www.cidid.it/cms/doc/open/item/filename/767/relazione-fi%282%29.pdf>

Ai nuovi insegnanti occorrono esempi di percorsi didattici adatti all'età degli alunni, esempi di curricula, racconti di casi emblematici, riflessione sulle classi e conoscenza delle norme scolastiche che permettono di lavorare efficacemente sul curricolo. Gli insegnanti vecchi e nuovi devono sapere che il regolamento dell'autonomia scolastica istituisce la figura dell'insegnante ricercatore nell'ambito della didattica e che loro lo devono diventare.

C'è alla base della scelta di concepire i PAS senza il tirocinio, né diretto né indiretto, una visione molto triste della scuola e degli insegnanti. Si pensa che l'insegnamento sia una *praticaccia* alla portata di tutti che ha bisogno solo dell'illuminazione data dalla teoria disciplinare.

### **La complessità dell'insegnamento**

L'insegnamento sta al centro di una grande complessità che necessita di competenze psicopedagogiche, disciplinari, didattiche che hanno lo scopo di mettere l'alunno al centro dell'insegnamento/apprendimento. Queste competenze si possono acquisire nella formazione iniziale e in servizio, con lo studio, la riflessione con esperti e con i colleghi. Insegnanti non si nasce, si diventa. Non c'è niente d'innato in chi fa questo mestiere, se non una certa sensibilità, una propensione a prendersi cura degli allievi. La bambina che mette in fila le bambole e che gioca *alla scuola*, se crescendo non acquisisce le competenze necessarie per l'insegnamento non diventerà una *maestra*, ma rimarrà legata un'idea primitiva di scuola in cui gli alunni sono solo dei bambolotti a cui comunicare quello che si sa. E quello che si sa è molto spesso quello che ha imparato secondo la logica universitaria che è la logica della disciplina pura, con il suo statuto, il suo specialismo. Gli alunni non sono in grado di accogliere la disciplina ingessata che propongono i libri usati nei vari ordini di scuola, che sono la banalizzazione dei testi universitari e ripetono frasi fatte che per loro non hanno nessun significato.

Noi a scuola lavoriamo non perché gli alunni imparino *loro malgrado* ma perché vogliano apprendere. Il *volere apprendere*, a scuola, scaturisce sempre dal fatto che ciò che si sta studiando è effettivamente alla portata e suscita curiosità. Gli alunni vedono cioè il collegamento con le loro conoscenze pregresse, anche di senso comune, e sentono di costruire il loro sapere a partire da qualcosa di noto, in percorsi che hanno uno sviluppo e una storia che comunque parte da loro stessi. I percorsi didattici devono, ad esempio, portare, nel campo delle scienze, a definizioni che siano formulazioni verbali di un cammino conoscitivo degli alunni, che non siano invece percepite come estranee, astratte, incomprensibili.

Le asserzioni scientifiche a cui si vuole giungere devono passare, nella loro costruzione, dall'essere poco definite dal punto di vista formale ad esserlo sempre di più, in modo che la formalizzazione a cui si giunge rappresenti una conquista del singolo e della classe. Allora la volontà di capire del singolo diventa il tradurre in parole le proprie osservazioni, metterle a confronto con quelle degli altri, compagni di scuola, insegnanti o testi di studio. Questo *voler capire* è una affermazione di sé. La scuola, per assolvere il suo compito, ha bisogno di contenuti e metodi d'insegnamento che siano coinvolgenti e motivanti, che riescano ad intercettare il mondo degli alunni, in modo che le discipline di riferimento diventino anche per l'alunno un riferimento. Le discipline hanno infatti una loro razionalità che insegna ad essere razionali, insegnano cioè a ragionare in base a delle premesse, a delle regole che diventano nel tempo una guida per il pensiero.

Occorre tenere presente che la razionalità delle discipline deve passare attraverso la narrazione, strettamente connessa all'interpretazione, prima ancora che con la spiegazione. Questo perché gli alunni prima interpretano, poi spiegano e i loro, i nostri racconti sono sempre interpretazioni dei fatti. Attraverso la narrazione possiamo raggiungerli.

### **Il tirocinio indiretto per la Chimica nella sede di Firenze**

Nel TFA ordinario per la Chimica, di cui ero tutor coordinatore nella sede di Firenze, unica per la Toscana, si è riflettuto molto sul biennio della scuola secondaria di secondo grado. Si vuole qui riassumere, a titolo esemplificativo, il lavoro fatto insieme ai corsisti.

Nel biennio, per i molteplici motivi connessi al suo essere un crocevia cognitivo, psicologico e pedagogico, occorre passare dalle definizioni operative ai concetti scientifici consolidati, in modo graduale, preferendo tempi lunghi e distesi nell'insegnamento facendo attenzione alle propedeuticità, alle risposte e agli atteggiamenti degli allievi per seguire e controllare il processo di apprendimento. Ci vuole profondità nell'affrontare i temi che si studiano e nel rapporto fra alunni e docenti. E ciò implica la scelta di pochi argomenti da affrontare e osservazione continua degli allievi, del loro modo di interagire e interpretare la materia di studio. Nella scelta degli argomenti da affrontare occorre avere in mente un curriculum verticale e non avere paura di insegnare cose troppo semplici, elementari. Se, ad esempio, gli allievi confondono il volume con il peso (accade spessissimo) bisogna tornare a percorsi pensati per chiarire cosa rappresentano queste grandezze. Questo non è tempo inutile o sprecato. Solo quando sono interiorizzati gli alfabeti scientifici si può costruire qualcosa di duraturo nel tempo.

Il ruolo svolto dal laboratorio didattico è importantissimo sia per il recupero delle propedeuticità che per la costruzione di percorsi didattici specifici della disciplina scientifica studiata. Sono necessarie due fasi di lavoro: una in diretta continuità con il primo ciclo e l'altra specifica per il biennio della scuola secondaria di secondo grado. Prima di passare alle leggi e alle teorie della chimica classica, è importante studiare i fenomeni tramite gli esperimenti, con le modalità seguita nel primo ciclo. Gli esperimenti per diventare acquisizioni concettuali significative, devono essere interpretati in modo scientifico. E per *modo scientifico* intendiamo, *non legato solo alla percezione individuale ma al significato condiviso* che nasce da un confronto di idee, di ipotesi, di ragionamenti che vengono fatti all'interno della classe sotto la regia dell'insegnante. Si usa il linguaggio quindi per costruire concetti scientifici a partire dai concetti di senso comune che derivano, a loro volta, da schemi mentali usati nella quotidianità.<sup>3</sup> La funzione del linguaggio è esplicativa e interpretativa, quando la narrazione dell'esperienza ha un ruolo di primo piano nell'acquisizione dei concetti scientifici. Si giunge a definizioni operative che sono piccole storie. Quando si passa allo studio di leggi e teorie, le definizioni operative non bastano a creare storie che tengano conto dei risultati che strutturano la disciplina. Allora è necessaria una contestualizzazione storica ed epistemologica che ricostruisca gli ambiti teorici ed epistemologici in cui si è pervenuti a una determinata convinzione scientifica<sup>4</sup>. Si usa la storia della scienza per evidenziare i tratti cruciali, i nodi epistemologici che hanno portato all'elaborazione di una nuova teoria. In questo caso la *generalizzazione* è un concetto astratto, lontano dal senso comune. Il procedimento logico non è induttivo. I percorsi didattici nella prima e nella seconda fase del biennio sono completamente diversi.

Nonostante ciò il legame fra i diversi tipi di storie ci deve essere. Ed è il curriculum che scegliamo, con la sua sequenzialità e al contempo con la complessità dei fattori che lo connota, che tiene insieme le storie, le intreccia, le incatena con percorsi didattici autonomi e connessi. Noi riconosciamo in questa modalità comunicativa un grande significato anche psicologico, perché noi ci riconosciamo attraverso la storia che sappiamo fare di noi stessi. E' il modo che abbiamo per parlare con noi stessi e con gli altri. E' quindi il modo più "naturale" per coinvolgere gli studenti, per destare interesse, per avere attenzione.

3. L.S. Vygotskij, *Pensiero e linguaggio*, Firenze, Giunti - G.Barbera, 1969.

4 C. Fiorentini, E. Aquilini, D. Colombi, A. Testoni, *Leggere il mondo oltre le apparenze*, Roma, Armando, 2007, pp. 17-54.

Nel tirocinio indiretto per la Chimica abbiamo concluso che nell'insegnamento del biennio sono importanti: la scelta dei contenuti, la didattica laboratoriale, i tempi distesi, la narrazione, l'uso attento della lingua. Dall'insieme di questi aspetti che passano attraverso la relazione educativa, ogni volta unica e irripetibile, può essere promosso sviluppo cognitivo e affettivo. La competenza scientifica rientra in questo quadro di formazione, formazione che sarà diversa per ogni individuo ma pensata per tutti.

## SCUOLA SECONDARIA SUPERIORE

### **Bixa orellana, il rosso degli Aztechi. Parte I**

Gianfranco **Goi**, Maria **Miurin**

ISIS "Solari" Tolmezzo - UD

*"Chi riceve un'idea da me, riceve conoscenza senza diminuire la mia,  
come chi accende la sua candela con la mia riceve luce senza lasciarmi al buio"*

Thomas Jefferson (1813)

#### **Riassunto**

*I semi dell'albero tropicale Bixa orellana L. contengono nella pellicola resinosa di rivestimento il colorante chiamato annatto.*

*Il principale pigmento dell'annatto è la bixina che è un carotenoide. Fin dall'antichità, nei paesi dove la pianta cresceva spontanea, era utilizzata per le sue capacità di colorare.*

*Con questo breve approfondimento sulle particolarità, sulla storia e le tradizioni legate all'uso dell'annatto si vuole dare un contributo alla conoscenza del colorante.*

#### **Abstract**

*The seeds of the tropical tree Bixa orellana L. contained in the resin film coating the dye called annatto.*

*The main pigment annatto is the bixina which is a carotenoid.*

*Since ancient times, in countries where the plant grew spontaneously, it was used for its ability to color.*

*With this brief insight into the characteristics, history and traditions associated with the use annatto you want to make a contribution to the knowledge of the dye.*

#### **Introduzione**

Da tempo l'ISIS "F. Solari" di Tolmezzo Istituto di Istruzione di secondo grado con indirizzo chimico ha sviluppato progetti trasversali con lo scopo di rivalutare metodi produttivi tradizionali e favorire l'interazione con il territorio ed in particolare con le realtà produttive storiche della zona. La Carnia, regione di cui di cui la città di Tolmezzo è capoluogo, nel 1700 era importante a livello europeo per la presenza della manifatturiera di filati e tessuti di Jacopo Linussio. Nell'ambito di questi progetti, che hanno coinvolto le varie discipline scolastiche, gli insegnanti di chimica hanno proposto la riproduzione delle modalità di tintura tradizionali. In questo ambito sono

state definite varie modalità di tintura di vari manufatti con sostanze coloranti ottenute da prodotti vegetali del territorio e già usati da Linussio. In tale ambito abbiamo ampliato la gamma di prodotti da utilizzare andando a considerare altre specie botaniche, che avrebbero permesso di progettare un percorso didattico più originale.

Le prove eseguite sulla *Bixina* hanno portato ad affrontare lo studio delle modalità di interazione tra sostanza colorante e il suo fissaggio sulle varie fibre, valutare i fattori che condizionano le modalità di estrazione, di separazione e caratterizzazione degli estratti mediante varie tecniche cromatografiche.

Il lavoro è stato suddiviso in due parti, la prima parte esamina le caratteristiche della specie botanica da cui viene estratto il colorante, le caratteristiche chimiche della sostanza responsabile del colore ed il suo utilizzo. Nella seconda parte vengono presentate le esperienze effettuate nelle attività.

### **Bixa orellana L. (Annatto)**

Con il nome botanico di *Bixa orellana* L. si definisce un arbusto cespuglioso, che cresce nelle aree tropicali dell'America del Sud, in India e in Africa, soprattutto nelle zone dove è coltivato il caffè. Dopo la comparsa delle pannocchie di appariscenti fiori bianchi o rosati (fruttifica diverse volte l'anno) segue quella delle capsule spinose contenenti da 30 a 45 semi di forma grossolanamente arrotondata, rivestiti di una polpa molle colorata di rosso, che, quando si secca, indurisce e scurisce per l'invecchiamento.

#### **Classificazione scientifica:**

**Famiglia:** Bixaceae  
**Genere:** Bixa  
**Specie:** Bixa orellana Linneo



**Figura 1** – fiore, capsule, capsule mature, semi

La Bixa orellana è chiamata con diversi nomi comuni nei vari luoghi del mondo dove cresce

Tupi-Guarani (lingue indigene America del sud)	Uru – Ku (rosso)
Brasile	Urucum
Paesi di lingua spagnola	Achiote
Inglese	Annatto o Biba seeds
Francese	Roucou
Tedesco	Orlean

### Storia della pianta

La pianta deve probabilmente il suo nome a Francisco de Orellana (1511-1546) esploratore spagnolo che fece parte come luogotenente del gruppo dei conquistadores di Pizarro. Egli fu il primo europeo, nel 1540, ad attraversare il continente sudamericano dal Pacifico all'Atlantico, scoprendo e percorrendo il Rio delle Amazzoni, (sono in corso le celebrazioni del V° centenario della nascita).

Una descrizione sull'uso dell'annatto è presente nella lettera di Pero Vaz de Caminha (esploratore portoghese e scrittore al seguito del navigatore Pedro Alvares Cabral che scoprì il Brasile il 22 aprile 1500) a Dom Manoel I, re del Portogallo datata 22 aprile 1509: *“Creia, v. Majestade, a verdadeira mina do Brasil, sao uns ouricos que os Indios trazem nas mãos para colorir o corpo. Os auriços são cheios de grãos vermelhos, pequenos, que, esmagados entre os dedos, fazem tintura muito vermelha, da que eles andam tintos; e quanto se mais molham mais vermelhos ficam”*. (Creda, Vs. Maestà, la vera miniera del Brasile, sono alcuni ricci che gli indios mettono nelle loro mani per colorare il corpo. I ricci sono completi di grani rossi, piccoli, che schiacciati tra le dita, colorano molto di rosso, e tanta più rossi diventano quanto più acqua usano”).

L'uso di annatto come colorante alimentare si fa risalire agli antichi Aztechi, dei quali si riferisce che l'originale bevanda di cioccolato avesse contenuto semi di annatto. Fissato che l'annatto ha un alto contenuto di grassi ed il suo colore rosso venisse associato al sangue (che naturalmente aveva connotazioni religiose nella civiltà Azteca), probabilmente veniva usato per intero.

Fino al XVII secolo l'annatto in Europa era comunemente usato per scurire il colore del cioccolato.

Al giorno d'oggi l'annatto è principalmente usato per colorare formaggi (50%), altri prodotti come burro, margarina, snacks, e prodotti per la cura del corpo.

### **Origine e distribuzione**

Originaria dal centro-Sud America questa pianta ebbe una rapida diffusione nel mondo.

Evidenze si riscontrano nel Bengala dove gli Indù, per celebrare la fine dell'inverno, lo usano in battaglie cromatiche per le strade durante le quali i partecipanti si cospargono l'un l'altro di polveri sgargianti.



**Figura 2** - Festival "Happy holi" nel subcontinente indiano

Burkill (1935) ha affermato che gli spagnoli lo portarono nelle Filippine, e da lì passò alle Molucche.

Secondo Cordoba (1987) è originaria delle Antille Minori, un gruppo di isole nella parte orientale dell'Oceano Atlantico (Guadalupe, Trinidad y Martinica).

E' probabile che viaggiatori peruviani possano averlo introdotto nella Polinesiana.

Secondo alcuni studiosi (Smith e altri - 1992) furono i missionari a portare i semi nelle Isole Marchesi.

La raccolta dei semi di *Bixina* per la produzione di annatto viene effettuata in molti paesi tropicali: il 60% proviene dall'America Latina (Perù, Brasile, Bolivia, Ecuador, Jamaica, Repubblica Dominicana, Argentina, Messico), il 27% dall'East & West Africa (Kenya) e il 12% dall'Asia (India e Filippine).

Per quanto riguarda la produzione brasiliana di annatto, il 78,2% proviene da fattorie di famiglia mentre il 25% dei semi sono utilizzati per produrre il colorante propriamente detto.

L'attuale produzione media mondiale è stimata in 14.500 t/anno e che 7.500 tonnellate siano usate a livello mondiale come colorante alimentare. Supponendo un contenuto medio di colorante del 2%, questo significa 150 tonnellate di bixina disponibile per l'estrazione.

Le rimanenti 7.000 tonnellate sono consumate localmente in Brasile, Perù ed Ecuador.

### Composizione chimica

Secondo Córdoba (1987) i principali componenti dell'achiote sono: resina, orellina (sostanza colorante amarilla), bixina (sostanza colorante rossa), acidi grassi volatili

Composizione chimica % (g/100g)	
Umidità	11.81%
Proteine	12.13%
Estratto etereo	8.84%
Fibra grezza	18.48%
Pentosi	14.97%
Pectina	0.23%
Zuccheri totali	8.05%
Amidi	11.45%
Carboidrati totali	39.91%
Tannini	0.91%
Ceneri	5.44%
Carotenoidi totali	2.30%

### Studio della molecola della bixina

Responsabile del colore dell'annatto è la sostanza denominata **bixina**.

L'interesse economico per questo colorante ha stimolato la ricerca di una sua sintesi che ne permettesse un utilizzo su larga scala.

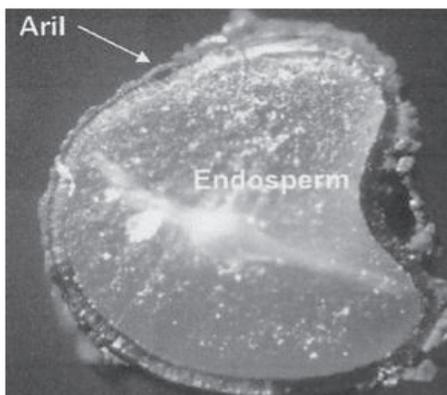
Recentemente è stata proposta una nuova metodica di produzione grazie alle potenzialità dell'ingegneria genetica. Per sintetizzare la bixina, i ricercatori hanno innanzitutto studiato il modo in cui la molecola viene prodotta dalla pianta. Localizzati i tre geni necessari alla sintesi, gli scienziati hanno provato a replicare il processo biosintetico in un altro organismo, un ceppo di *Escherichia coli* modificato. I batteri in presenza del precursore e degli enzimi chiave della via di biosintesi sono riusciti a sintetizzare una quantità misurabile di bixina.

Di seguito riportiamo uno schema riassuntivo delle varie tappe per la caratterizzazione e la sintesi della molecola della bixina:

1825	La bixina viene citata per la prima volta	Boussingault
1878	Si ottiene la sua cristallizzazione con successo	Etti
1917	Analisi elementare e determinazione della realativa formula di struttura	Heiduschka e Panzer
1828-1933	Proposta di una formula di struttura	Kuhn e collaboratori
1950	Conferma successiva con la sintesi totale del per-idronorbixina	Karrer e Jucker
2003	Sintesi della molecola di bixina tramite <i>Escherichia coli</i> geneticamente modificato	F. Bouvier, O. Dogbo e B. Camara

### Caratteristiche fisico-chimiche dei semi di annatto

Dai semi di annatto, ricoperti da una pellicola resinosa con colori che vanno dall'arancio fino a giallo/rosso si estraggono una serie di coloranti giallo-rossicci.



**Figura 3** - Sezione trasversale di seme di *Bixa orellana*

Il più importante pigmento estratto è la bixina, di color rosso scuro, che rappresenta più dell'80% dei pigmenti presenti.

La bixina (struttura derivata dal carotene) è un estere con struttura di tipo isoprenico con nove doppi legami coniugati. Il precursore della bixina potrebbe essere il licopene, ma il meccanismo della biosintesi rimane irrisolto.

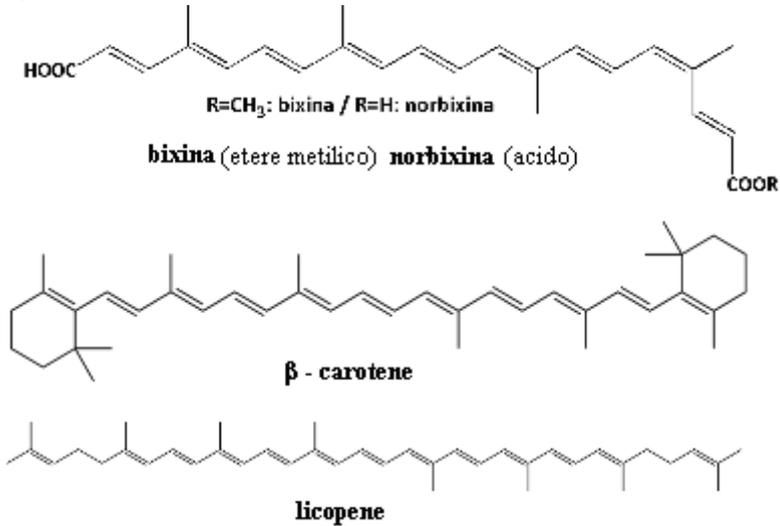


Figura 4 - Confronto tra strutture chimiche

Contiene alle estremità due gruppi carbossilici, dei quali uno, nella bixina, è sotto forma di estere metilico:

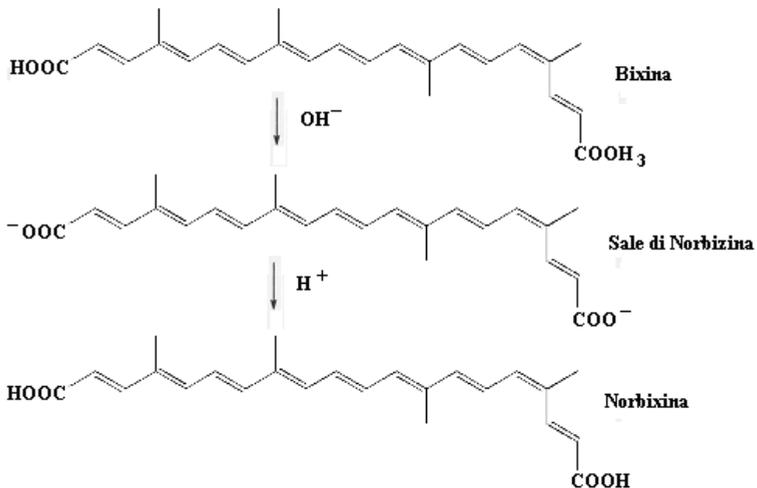


Figura 5 - Strutture chimiche: bixina, del suo sale alcalino, e della norbixina

La bixina ha formula  $C_{25}H_{30}O_4$  e PM 394

Il sale  $C_{25}H_{26}O_4$  (di sodio o potassio)

La norbixina ha formula  $C_{24}H_{28}O_4$  e PM 380

Con idrolisi basica si passa dall'estere bixina al sale corrispondente. Un ulteriore trattamento acido porta alla formazione della norbixina.

Sia bixina che norbixina sono insolubili in acqua, poco solubili in alcool, solubili in etere, negli oli e negli alcali diluiti (idrossidi di sodio e potassio).

La massima solubilità è a pH 8 e tali soluzioni restano stabili fino a pH 4.

Classificazione chimica: INS: 160b (Annatto, Bixina, Norbixina)

Comuni sinonimi: CI Natural Orange 4, CI 75120

### **Modalità di estrazione del pigmento**

La produzione commerciale di annatto ebbe avvio in Jamaica nel 1790, in Europa e USA prima del 1870 (principalmente per colorare burro e formaggi)

Poiché i pigmenti di bixina si trovano nello strato ceroso esterno (arillo) del semi, il processo comprende la scorticatura o il raschiamento (rimozione meccanica che stacca l'arillo dal seme) del pigmento in un appropriato agente di sospensione con rimozione dei semi.

Allo scopo non è necessario macinare i semi. I metodi di lavorazione possono mirare alla produzione di bixina nativa o possono implicare l'idrolisi con soluzioni alcaline e la simultanea produzione di norbixina.

Le tecniche estrattive con solvente sono tuttora usate per produrre annatto concentrato.

I semi possono essere sottoposti principalmente a due processi di estrazione:

### **Abrasioni meccaniche**

**1a) estrazione con solventi oleosi (oli vegetali raffinati)** - estrazione lipofila

Il processo implica metodi meccanici usando oli vegetali commestibili: i semi vengono massaggiati alla temperatura di 70°C in modo da rimuovere lo strato pigmentato (la pratica è chiamata "resPELLER"). La sospensione contiene vari coloranti, dei quali il pigmento primario è la bixina all'8% (o bixina). Nel caso di piccoli volumi viene utilizzato glicole propilenico in sostituzione dell'olio vegetale.

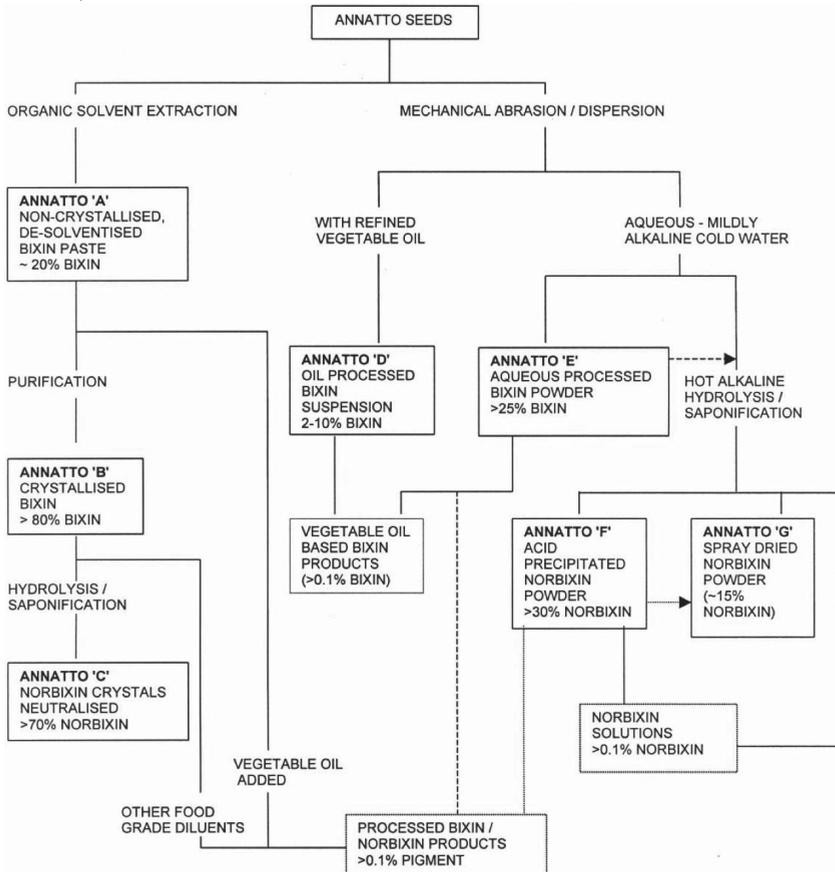
**1b) estrazione con soluzioni alcaline diluite (KOH o NaOH)** - estrazione idrofila

Questo metodo è analogo al precedente ma l'abrasione meccanica si effettua

agitando i semi di annatto in acqua debolmente alcalina a temperatura ambiente ottenendo il distacco e la separazione dello strato pigmentato che contiene la norbixina (sotto forma di sale norbixato di sodio o potassio). Successivamente viene precipitato a pH acido, filtrato ed essiccato per dare una polvere granulare contenente circa il 25% di bixina.

### Estrazione con solvente

Industrialmente si utilizzano solventi organici con successiva eliminazione e recupero del solvente. Con questo metodo vengono estratti tutti i pigmenti. Per rispondere alla necessità di estratti di annatto più concentrati sono stati registrati diversi brevetti che utilizzano solventi quali: idrocarburi clorurati, miscele di etanolo-cloroformio, acetone, etanolo, acetato di etile, esano, metanolo, idrossido di sodio alcolico.



**Figura 6 -** Prodotti ottenuti dall'annatto mediante diversi processi tecnologici

## Utilizzo

Il pigmento vegetale rosso dell'annatto era usato fin dall'epoca precolombiana per alimenti e cosmetici: gli Aztechi utilizzavano il colorante naturale per le decorazioni marziali e per i riti tradizionali che accompagnavano la nascita e la morte, il colore rosso naturalmente aveva connotazioni religiose e veniva associato al sangue.



**Figura 7** - Comunità Tsachila degli Indios Colorados, Santo Domingo de los Colorados

Come colorante alimentare era presente nell'originale bevanda di cioccolato preparata con semi di annatto probabilmente interi per il loro contenuto in grassi.

Originariamente e tuttora è molto utilizzato nel settore culinario domestico: nella cucina messicana i semi vengono tritati e impastati con acqua così da formare un miscuglio aromatizzante e colorante della carne.



**Figura 8** - Pasta per condimento di Achote

In alcuni Paesi dell'America Latina la polpa carnosa color arancione che avvolge il seme, viene utilizzata per produrre un olio che si aggiunge a carne, pollo e pesce. Nel territorio andino viene anche venduto come condimento per un tipico piatto di carne ("Cotacachi": carne colorata).

La produzione commerciale in Jamaica ha inizio nel 1790, in Inghilterra nel 1796, in Europa e Nord America prima del 1870, principalmente come colorante per burro e alcune tipologie di formaggio (il münster, il livarot e il maroilles).

Oggi rappresenta il secondo più importante colorante naturale impiegato nell'industria e viene utilizzato per ottenere tonalità dal giallo al giallo-rosso. Nel settore alimentare l'annatto trova largo utilizzo come colorante naturale nell'industria alimentare (formaggi 50%, poi per margarina, burro, preparati per minestre pronte, caramelle, salsicce, insaccati, ripieni per biscotti, creme pasticcere, prodotti di panificazione, hamburger, yogurt, dessert, cereali, gelati, snacks, cereali in barrette...).

L'impiego come colorante alimentare è consentito sia nella U.E. (voce E160b dell'elenco degli additivi alimentari) che negli U.S.A. (colorante esente da certificazione).

L'attuale legislazione alimentare italiana (D.M. 27 febbraio 1996 n. 209) ne permette l'uso, tra gli altri, per la colorazione di gelati, liquori, dessert, cereali per prima colazione, decorazioni, prodotti da forno, grassi emulsionati, snacks e pesce affumicato.

Nell'industria farmaceutica: foglie, semi e radici della *Bixa orellana* vengono utilizzate tradizionalmente per le loro proprietà medicinali. I semi in particolare hanno proprietà stimolanti e digestive contenendo flavoni, flavonoidi, carotenoidi, vitamina C.

E' stato attribuito alla pianta un effetto antiossidante, legato al contenuto di geranilgeraniolo e tocotrienolo che bloccano l'effetto dannoso dei radicali liberi, responsabili dell'invecchiamento delle cellule.

Nella cosmesi: l'annatto veniva usato dagli indigeni come tintura rossa per il corpo e per allontanare gli insetti: alcune popolazioni indios della regione costiera dell'Ecuador (chiamate dagli spagnoli "colorados") utilizzano un impasto della polvere dei semi essiccati di annatto per la tintura capelli.

L'industria dei cosmetici odierna lo utilizza nella produzione di rossetto per labbra (assegnando all'annatto il nome comune di "albero del rossetto"), tintura per capelli, mascara o ombretto, profumi, smalti, shampoo, schermi abbronzanti.

A questo proposito si ricorda l'iniziativa presa dallo studente B. de Oliveira Buzo, College Koelle, Rio Claro, Sao Paulo - Brazil. Buzo aveva messo in relazione l'uso di tingersi la pelle con l'annatto alla bassa frequenza del cancro alla pelle riscontrata tra gli indiani. Da questa intuizione ha sviluppato un filtro solare efficace, ad un prezzo molto inferiore rispetto ai prodotti in commercio.

Fin dall'antichità l'annatto era utilizzato per tingere i tessuti: le donne più anziane delle tribù della giungla amazzonica erano le custodi dei metodi di preparazione dei coloranti per tinture dei capelli, body-paint e la tintura dei tessuti.

L'industria tessile utilizza ancora l'annatto per la tintura dei tessuti caratterizzati dalla lavorazione di tipo artigianale e tradizionale. L'utilizzo di questo colorante naturale contraddistingue da sempre una produzione di tipo naturale e tradizionale in contrapposizione all'utilizzo di coloranti sintetici che ne qualifica e aumenta il valore del prodotto finale.

Da ultimo la pianta della Bixa orellana è molto ornamentale, in modo particolare le specie che producono capsule dai colori accesi compresi tra il roseo carico ed il rosso scuro.

## Bibliografia

- D.P.Sahaza Cardona. *El achiote*; [www.unalmed.edu.co/~crsequed/ACHIOTE.htm](http://www.unalmed.edu.co/~crsequed/ACHIOTE.htm)
- C. Gazzaroli. *Sicurezza degli additivi coloranti negli alimenti*; Tesi di laurea in Scienze e Tecnologie Alimentari Facoltà di Agraria Università degli studi di Padova
- First draft prepared by J. Smith, Ph.D. Reviewed by H. Wallin. *Annatto extracts*; Chemical and Technical Assessment
- J.E.Pineda, L.S.Calderon. *Planta piloto para obtener colorante de la semilla del achiote (Bixa orellana)*; Universidad Eafit – Medellín, Colombia
- K.da Costa Santana, P. de Almeida Guedes, T. N. H. Rebouças, A. Rebouças São José, O. Lacerda Lemos, M. Teixeira R. Vila, M. J. Lima de Souza. *Teores de bixina em urucum (bixa orellana) "Piave Vermelha", em diferentes acondicionamentos e temperaturas*; Trabalho apresentado no Simpósio Brasileiro do Urucum, em João Pessoa, Paraíba, Brasil, Abril 2006 Mestrando em Agronomia Universidade Estadual do Sudeste da Bahia
- R.W. Alves. *Extracao de corantes de urucum por processos adstortivos utilizando argilas comerciais e colloidal gas aphrons*; Engenharia Química do Centro Tecnológico da Univesidade Federal de Santa Catarina Florianopolis
- J. S. De Oliveira. *Extraction of bixin from annatto seeds using supercritical carbon dioxide*; Universidade Federal de Santa Catarina Centro Tecnológico Departamento De Engenharia Química e Engenharia De Alimentos
- Wikipedia, Enciclopedia libera. [http://es.wikipedia.org/wiki/Bixa\\_orellana](http://es.wikipedia.org/wiki/Bixa_orellana)
- Riferimenti internet

## Il coefficiente di ripartizione: dalle relazioni fenomenologiche alla descrizione attraverso il potenziale chimico

Michele **D'Anna**\*, Paolo **Lubini**\*\*

\*Liceo cantonale di Locarno (Svizzera)

\*\*Liceo cantonale di Savosa (Svizzera)

paolo.lubini@edu.ti.ch

### **Riassunto**

*Grazie all'utilizzo esplicito del concetto di potenziale chimico è possibile derivare in maniera concettualmente semplice la relazione costitutiva alla base della legge di ripartizione di Nernst. Questo approccio permette inoltre di cogliere numerose analogie con vari altri ambiti della Chimica e della Fisica.*

### **Abstract**

*Using the concept of chemical potential it becomes possible to derive the constitutive law underlying Nernst's partition law in a way which is conceptually simple. As well, this approach makes apparent numerous analogies with other fields of chemistry and physics.*

### **1 – Introduzione**

Il coefficiente di ripartizione  $K_c$  esprime il rapporto tra le concentrazioni di un dato soluto presenti, all'equilibrio, in due solventi immiscibili e tra loro in contatto: si tratta di un tema classico, presentato nella maggior parte dei manuali dei primi anni di università ma purtroppo praticamente assente, in forma esplicita, in quelli del secondario superiore. Qui, molto spesso, ci si limita a presentare, a livello fenomenologico, la differente solubilità di un soluto in differenti solventi in relazione a tecniche di separazione di miscugli quali, ad esempio, l'estrazione o la cromatografia [1], [2], con l'interessante eccezione di [3] che presenta un accurato e coerente apparato interpretativo.

Anche nelle riviste di didattica della chimica sono presenti alcuni contributi che riportano i risultati sperimentali in diverse situazioni [4], [5], [6]: questi

lavori essenzialmente si limitano all'illustrazione della relazione di Nernst dal punto di vista fenomenologico e al più presentano una discussione della dipendenza del coefficiente di ripartizione dalla temperatura.

In questo lavoro, dopo aver prima richiamato i principali fatti sperimentali, desideriamo mostrare come è possibile trattare questo tema all'interno di un quadro interpretativo più generale, facendo ricorso al *potenziale chimico*  $\mu$  [7] quale grandezza primaria introdotta dall'inizio, assieme alla quantità chimica  $n$ , nella descrizione dei processi di trasformazione e/o trasporto di sostanze. In particolare mostreremo come è possibile determinare il valore del coefficiente di ripartizione  $K_c$  sulla base dei dati termodinamici che si trovano sulle tabelle per le sostanze coinvolte, nonché prevedere la sua dipendenza dalla temperatura. Concluderemo con alcune brevi osservazioni didattiche relative all'approccio qui presentato. Nell'appendice A verrà poi discussa una possibile variante, che consente di ricavare, partendo dai dati sperimentali, un modello per la dipendenza del potenziale chimico del soluto dalla sua concentrazione in un dato solvente. Nell'appendice B, per illustrare il livello delle competenze acquisite dagli studenti, verranno presentate e discusse alcune domande di verifica, sia qualitative che quantitative.

## **2 - Relazioni fenomenologiche**

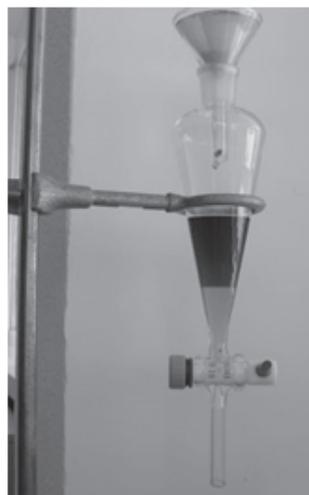
Esistono molteplici esperienze qualitative che permettono di illustrare il concetto di coefficiente di ripartizione attraverso una semplice osservazione a occhio nudo: occorre disporre di due solventi, tra loro immiscibili, e di una opportuna sostanza A che possa sciogliersi in entrambi. Ad esempio, in un imbuto separatore si può mettere uno dei due solventi (puro) e poi introdurre anche l'altro dopo avervi sciolto una certa quantità della sostanza A. Si osserva che il soluto inizia a diffondere verso il primo solvente e che a poco a poco viene raggiunta una situazione di *equilibrio chimico*, caratterizzata generalmente dal fatto che le concentrazioni del soluto nei due solventi *non* sono le medesime.

A questo punto si può procedere, sempre a livello qualitativo, a modificare la quantità di uno o dell'altro dei due solventi, oppure a introdurre una quantità aggiuntiva della sostanza A: in tutte le situazioni si assiste alla ripresa del processo di diffusione, e più precisamente nella direzione tendente a ridurre le variazioni di concentrazione indotte. Ad esempio, nel caso in cui viene inserito del solvente per il quale all'equilibrio la concentrazione è minore, avrà inizio una diffusione verso *quel* solvente, e ciò fino al raggiungimento di una nuova situazione di equilibrio. Tramite agitazione e conseguente aumento della superficie di contatto tra le due fasi,

è possibile aumentare considerevolmente la rapidità del processo.

**Figura 1 - Apparecchiatura per dimostrazione qualitativa**

L'immagine si riferisce al caso dei pigmenti di clorofilla, disciolti rispettivamente in etere di petrolio (in alto) ed etanolo (in basso).

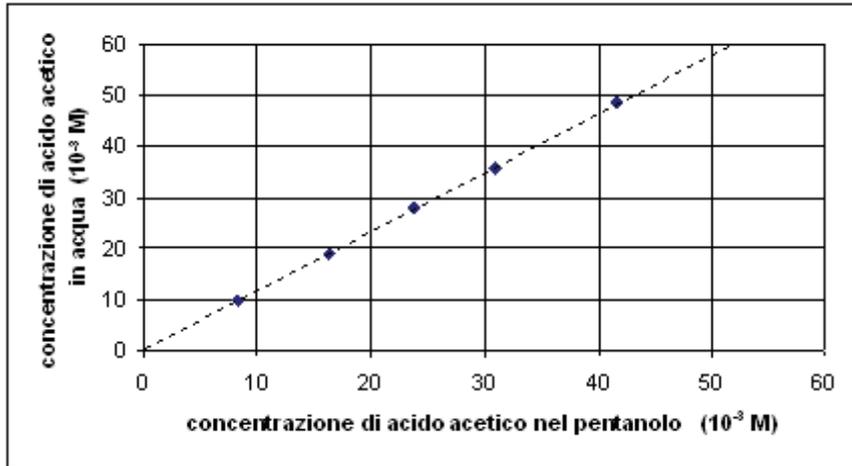


Più difficile, invece, risulta trovare delle semplici esperienze che permettano di effettuare delle misure quantitative. A tale scopo, infatti, il sistema utilizzato deve soddisfare alcuni criteri [4]. In primo luogo, come già evidenziato dallo stesso Nernst a suo tempo, è importante che il soluto scelto sia presente nelle due fasi in un'unica e medesima forma chimica<sup>1</sup>. Inoltre la ripartizione del soluto tra le due fasi dovrebbe essere simile (il coefficiente di ripartizione  $K_c$  dovrebbe cioè avere valori compresi tra 1 e 5) e avvenire rapidamente. Infine, ma non da ultimo, le sostanze utilizzate dovrebbero essere facilmente reperibili, mostrare una bassa tossicità e la concentrazione del soluto nelle due fasi essere facilmente quantificabile (ad esempio, per via colorimetrica o per titolazione). Per queste ragioni ci limitiamo qui a riprendere alcuni dati sperimentali tratti dalle referenze sopra citate, in particolare quelli relativi alla coppia di solventi acqua / pentanolo con acido acetico quale soluto<sup>2</sup>. Sperimentalmente si osserva che, fissati i volumi dei due solventi, per quantità diverse di acido acetico immesse, il rapporto tra le

1. La presenza di più specie chimiche in equilibrio tra di loro nelle singole fasi si traduce in una relazione non lineare per il coefficiente di ripartizione.

2. In realtà, nessuna coppia di solventi è rigorosamente immiscibile, ma anche tra di loro viene raggiunto un equilibrio diffusivo: dal punto di vista sperimentale è quindi opportuno fare in modo che i solventi siano già vicendevolmente saturati. In generale, inoltre, occorre ricordare che può aver luogo anche un processo di ionizzazione: nel caso dell'acido acetico la correzione dovuta a questo fenomeno è tuttavia trascurabile [4].

concentrazioni del soluto, quando il sistema ha raggiunto una situazione di equilibrio, assume sempre un medesimo valore. Questi risultati possono essere ad esempio rappresentati graficamente (Figura 2), oppure espressi tramite una relazione algebrica.



**Figura 2 - Tipici risultati sperimentali.** Solvente 1: pentanolo; solvente 2: acqua; soluto: acido acetico (dati tratti dalla fig. 8 in Elias et al. [4]).

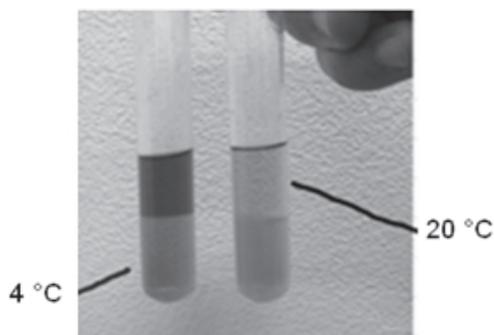
L'andamento sperimentale suggerisce immediatamente l'esistenza di una relazione lineare, ciò che può essere espresso attraverso la seguente formalizzazione:

$$(1) \quad \frac{C_{A(2)}^{eq}}{C_{A(1)}^{eq}} = \frac{C_{A(2)}^{eq}}{C_{A(1)}^{eq}} = \frac{C_{A(2)}^{eq}}{C_{A(1)}^{eq}} = \dots = K_c^{1 \rightarrow 2}$$

dove i diversi simboli indicano di volta in volta, e per tre situazioni differenti, le concentrazioni del soluto A (nel presente caso: acido acetico) nel rispettivo solvente (1, 2) quando è stata raggiunta la *situazione di equilibrio*. Questa relazione ci dice quindi essenzialmente che la ripartizione del soluto all'equilibrio *non* dipende dalle condizioni iniziali scelte e prende spesso il nome di *legge di ripartizione di Nernst*, in onore dello scienziato prussiano che nel 1891 per primo enunciò con chiarezza questo comportamento [8]:

*Quando una sostanza in soluzione si ripartisce tra due diversi solventi liquidi tra loro poco solubili (come quando ad esempio si mette dello iodio in acqua e solfuro di carbonio), allora ... si ricava immediatamente che nella situazione di equilibrio, ad una data temperatura, il rapporto tra le concentrazioni del soluto risulta essere indipendente dalla quantità di quest'ultimo, ossia, in altre parole, che il soluto possiede un coefficiente di ripartizione costante, a patto che, nei due solventi, sia presente con medesime dimensioni molecolari<sup>3</sup>.*

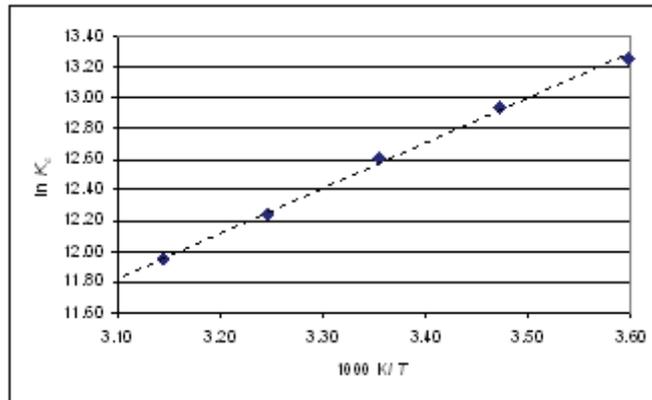
Considerando che la solubilità di una data sostanza in un dato solvente dipende, come sappiamo anche dall'esperienza quotidiana, dalla temperatura  $T$ , risulta abbastanza immediato chiedersi se la costante di ripartizione di Nernst dipenda o meno dalla temperatura. Attraverso esperienze qualitative come quella illustrata nella Figura 3 ci si può facilmente convincere che la risposta è affermativa, mentre con misure accurate [5] è possibile determinarne anche la dipendenza funzionale, v. Figura 4.



**Figura 3**

**Figura 3 - Dipendenza dalla temperatura.** Esperienza qualitativa del tiocianato di ferro(III) in acqua e etere dietilico: a temperature diverse la ripartizione del soluto nei due solventi cambia visibilmente.

3. Ecco il testo originale [8]: *Verteilt sich ein gelöster Stoff zwischen zwei verschiedenen, einander nur wenig lösenden Flüssigkeiten (schüttelt z.B. Wasser und Schwefelkohlenstoff mit Jod), so ergibt sich aus obigem Satz unmittelbar der zweite, dass im Gleichgewichtszustande bei gegebener Temperatur das Konzentrationsverhältnis des gelösten Stoffes ein von der Menge des letzteren unabhängiges sei, dass mit anderen Worten der gelöste Stoff einen konstanten Teilungskoeffizienten besitzen muss, wenn ihm in beiden Lösungsmitteln gleiche Molekulargröße zukommt.*

**Figura 4**

**Figura 4 - Dipendenza dalla temperatura.** Analisi quantitativa per il pentaclorobenzene in ottanolo e acqua; i valori sperimentali sono ottenuti rielaborando la tabella 2 in Bahadur et al. [5].

Dall'andamento lineare che si osserva nel grafico di Figura 4, considerando due temperature arbitrarie  $T_\alpha$  e  $T_\beta$ , possiamo infatti dedurre:

$$(2a) \quad \ln K_c^{1 \rightarrow 2}(T_\alpha) - \ln K_c^{1 \rightarrow 2}(T_\beta) = \ln \frac{K_c^{1 \rightarrow 2}(T_\alpha)}{K_c^{1 \rightarrow 2}(T_\beta)} = \frac{1}{T_\alpha} - \frac{1}{T_\beta}$$

$$(2b) \quad K_c^{1 \rightarrow 2}(T) \propto \exp\left(\frac{1}{T}\right)$$

Questo significa che, nell'intervallo di temperatura considerato, il coefficiente di ripartizione  $K_c^{1 \rightarrow 2}$  dipende dall'inverso della temperatura assoluta con una legge esponenziale.

### 3 - L'approccio con il potenziale chimico

Come è possibile dar conto di questi risultati sperimentali dal punto di vista teorico? In questa sezione desideriamo presentare un possibile approccio basato sul *potenziale chimico*: come vedremo, è abbastanza facile ottenere un modello esplicativo sulla base delle proprietà generali di questa grandezza fisica, poco conosciuta e poco o per nulla utilizzata in ambito scolastico. In un precedente lavoro [9] avevamo indicato le ragioni a favore

della scelta del potenziale chimico  $\mu$  come grandezza di base da utilizzare nella descrizione dei processi naturali, mettendo in particolare in evidenza il suo ruolo di *grandezza intensiva* per i processi “chimici”, ossia per tutti quei processi in cui, all’interno di un dato sistema, vi sono variazioni della quantità chimica  $n$  di una data specie. Il caso in esame (passaggio di soluto da un solvente all’altro) può quindi facilmente essere descritto con questo strumento: è sufficiente conoscere il potenziale chimico  $\mu_{A(i)}^0$  del soluto nei due solventi alla temperatura  $T$  considerata e alla concentrazione di riferimento  $c^0$ , nonché la sua dipendenza dalla concentrazione<sup>4</sup>. Per casi in cui quest’ultima non è troppo elevata, ossia resta inferiore a 0,1 M (nel caso di specie chimiche prive di carica elettrica<sup>5</sup>), un buon modello risulta essere il seguente:

$$(3) \quad \mu_{A(i)}(c_A) = \mu_{A(i)}^0 + RT \ln \left( \frac{c_{A(i)}}{c^0} \right), \quad i = 1, 2$$

Si noti in particolare che per un dato soluto A presente in due solventi diversi, i valori del potenziale chimico differiscono di una quantità costante, indipendente dal valore scelto per la concentrazione. In altre parole, nei limiti di validità di questo modello, le rappresentazioni grafiche delle funzioni che esprimono il potenziale chimico di un soluto nei due differenti solventi differiranno unicamente per una traslazione lungo l’asse delle ordinate (v. grafico per l’esempio discusso nell’appendice B).

Su questa base le osservazioni sperimentali possono essere descritte dal seguente modello: data una situazione iniziale qualsiasi, in generale vi sarà una *differenza* tra i valori del potenziale chimico del soluto nei due solventi. Allora vi sarà una tendenza *spontanea* ad una diffusione di soluto da un solvente all’altro in modo da ridurre questa differenza. Man mano che il trasferimento ha luogo, questa differenza tende a diminuire, di modo che a poco a poco viene così raggiunta una *situazione di equilibrio*, caratterizzata dal fatto che il potenziale chimico del soluto nei due solventi raggiunge un medesimo valore (ossia: la spinta al passaggio di soluto da un solvente all’altro è nulla). Con la relazione sopra indicata e pochi passaggi algebrici, otteniamo quindi facilmente la relazione di Nernst:

$$(4a) \quad \mu_{A(1)}^{eq}(c_{A(1)}^{eq}) = \mu_{A(2)}^{eq}(c_{A(2)}^{eq})$$

4. Per semplicità si considera una situazione a pressione costante.

5. Nel caso di specie ioniche l’approssimazione logaritmica dà buoni risultati solo fino a concentrazioni dell’ordine dello 0.001 M (vedi [7], cap. 6.2).

$$(4b) \quad \mu_{A(1)}^0 + RT \ln \left( \frac{c_{A(1)}^{eq}}{c^o} \right) = \mu_{A(2)}^0 + RT \ln \left( \frac{c_{A(2)}^{eq}}{c^o} \right)$$

$$(4c) \quad \ln \left( \frac{c_{A(2)}^{eq}}{c_{A(1)}^{eq}} \right) = \frac{\mu_{A(1)}^0 - \mu_{A(2)}^0}{RT}$$

$$(4d) \quad \frac{c_{A(2)}^{eq}}{c_{A(1)}^{eq}} = \exp \left( \frac{\mu_{A(1)}^0 - \mu_{A(2)}^0}{RT} \right) = \exp \left( - \frac{\Delta \mu_{A(1 \rightarrow 2)}^0}{RT} \right) = K_c^{1 \rightarrow 2}$$

La relazione (4d) ci consente di verificare in modo esplicito i diversi aspetti evidenziati dalle relazioni fenomenologiche:

- all'equilibrio, il rapporto tra le concentrazioni del soluto nei due solventi risulta essere indipendente dalle condizioni iniziali, come previsto dalla relazione fenomenologica di Nernst;
- il valore numerico del coefficiente di ripartizione  $K_c^{1 \rightarrow 2}$  può essere determinato, almeno in via di principio, sulla base delle grandezze termodinamiche riportate sulle tabelle (potenziale chimico alle condizioni standard e entropia molare per tener conto della dipendenza dalla temperatura), in accordo con i dati sperimentali;
- il coefficiente di ripartizione  $K_c^{1 \rightarrow 2}$  mostra una dipendenza dalla temperatura coerente con i dati sperimentali (v. Figura 4).

#### 4 - Alcune considerazioni didattiche e possibili sviluppi

In questa nota abbiamo presentato un approccio basato sulla grandezza *potenziale chimico* per la descrizione, sia qualitativa sia quantitativa, delle concentrazioni che all'equilibrio caratterizzano la ripartizione di un soluto in due solventi immiscibili. Attraverso l'utilizzo del formalismo proposto, questo specifico oggetto di studio trova una sua collocazione *coerente* all'interno della modellizzazione dei fenomeni naturali basata su coppie di grandezze estensive e intensive [10], [11], approccio che è trasversale a tutte le scienze sperimentali e che, se attuato, consente allo studente di reinvestire quanto appreso in altri ambiti di studio, e che gli fornisce così una solida base concettuale per il coordinamento tra gli insegnamenti delle scienze sperimentali<sup>6</sup>.

6. Da questo punto di vista è interessante osservare come queste categorie consentano anche un *approccio narrativo* all'insegnamento delle scienze già a partire dagli ordini di scuola inferiori. Si veda ad esempio Corni [12].

L'idea di una *differenza di livello* (ossia di differenza di potenziale) come spinta per un cambiamento è infatti un *concetto strutturante* che può essere introdotto e utilizzato a vari gradi di esplicitazione e in vari ambiti disciplinari. Si pensi, ad esempio, alla differenza di temperatura nei fenomeni termici come spinta per il trasferimento di ciò che comunemente viene indicato con il termine “calore”, alla tensione elettrica (intesa come differenza di livello elettrico) come causa per il flusso di una corrente elettrica in un circuito, alla differenza di pressione come spinta per una corrente di acqua (o di aria) oppure, ancora, in ambito meccanico alla differenza di velocità tra due oggetti in movimento come spinta per il trasferimento di quantità di moto (come ad esempio nel caso degli urti). Anche i sistemi biologici possono essere indagati alla luce delle differenze di potenziale. Una cellula (o un organismo, o un ecosistema) deve poter mantenere delle differenze tra il suo interno e il suo esterno: per poter sopravvivere deve cioè mantenersi nel tempo in uno stato di regime stazionario, poiché l'annullamento delle differenze e il conseguente raggiungimento di uno stato di equilibrio porterebbero infatti a ciò che chiamiamo morte.

L'esperienza in classe mostra che, contrariamente a quanto generalmente si pensa, l'introduzione del concetto di potenziale chimico come grandezza macroscopica e fenomenologica, non incontra particolari difficoltà presso gli studenti, certamente non in misura maggiore di quanto si riscontra per i concetti di temperatura o di pressione.

La scelta degli ambiti specifici e dei livelli di complessità dipendono ovviamente dal grado di scolarizzazione degli studenti ai quali ci si rivolge<sup>7</sup>; per quanto riguarda l'insegnamento liceale della Chimica, un approccio basato sull'introduzione sin dall'inizio dei concetti di *quantità di sostanza* e di *potenziale chimico* quali *grandezze primarie* permette di affrontare nei suoi vari aspetti il vasto tema dell'equilibrio chimico e della sua perturbazione senza dover ricorrere a descrizioni di carattere microscopico molecolare (v. [14], capitolo 4). Dal punto di vista didattico, ci sembra pertanto importante sottolineare che la strategia che abbiamo qui utilizzato nella derivazione teorica della legge di ripartizione di Nernst, basata essenzialmente sul fatto che l'equilibrio chimico è caratterizzato dall'annul-

7. Il lettore interessato potrà trovare una proposta su come introdurre i primi elementi per avviare una riflessione sull'utilizzo del concetto di potenziale chimico nella scuola primaria partendo dall'osservazione di alcune proprietà dell'acqua in [13].

lamento delle differenze di potenziale chimico, può essere reinvestita in maniera del tutto analoga in numerosissime altre situazioni che prevedono l'instaurarsi dell'equilibrio chimico. Nel caso della solubilità di un gas in un liquido, ad esempio, la condizione di equilibrio (eq. 4a) e l'utilizzo delle approssimazioni per la dipendenza del potenziale chimico dalla concentrazione e dalla pressione ([7] – [14]), permettono di derivare la legge di Henry. Alla stessa stregua è anche possibile ottenere le espressioni dei prodotti di solubilità per vari sali in soluzione acquosa, oppure una descrizione quantitativa per le temperature che caratterizzano le transizioni di fase. In questo modo viene così fornito agli studenti un valido strumento per interpretare e prevedere tutta una serie di fenomeni per i quali solitamente ci si ferma all'esposizione descrittiva di alcune caratteristiche fenomenologiche (v. [14], p. 180 e seguenti) aiutandoli nel contempo a cogliere l'unitarietà della struttura concettuale anche tra ambiti della Chimica che presentano fenomenologie diverse.

Un aspetto che non abbiamo discusso in questa nota, ma che prevediamo di includere presto nella trattazione scolastica, riguarda la dimensione temporale, in particolare la *rapidità* con cui avviene il raggiungimento della situazione di equilibrio: al momento siamo ancora alla ricerca di situazioni sperimentali adatte, che consentano misurazioni sufficientemente accurate e ripetibili. A quel punto potremo confrontare i risultati sperimentali con le previsioni che già oggi possiamo ottenere grazie a dei modelli dinamici che possono essere elaborati con opportuni sussidi informatici<sup>8</sup>.

## **Appendice A**

### **La dipendenza del potenziale chimico dalla concentrazione del soluto**

Nei paragrafi precedenti abbiamo mostrato come sia possibile utilizzare le conoscenze relative al potenziale chimico (in particolare la sua dipendenza dalla concentrazione) per interpretare i dati sperimentali. In questa appendice proponiamo il cammino inverso, più difficile dal punto di vista formale, ma che costituisce comunque una interessante alternativa soprattutto in un corso superiore. Essenzialmente si tratta di dare una risposta alla seguente domanda: partendo dal risultato sperimentale, è possibile dedurre la dipendenza logaritmica del potenziale chimico dalla concentrazione? O più precisamente: interpretando il potenziale chimico come funzione della concentrazione, quali proprietà, ricavate dalle osservazioni sperimentali, permettono

8. Tra i differenti software disponibili per la modellizzazione dinamica segnaliamo, ad esempio STELLA (<http://www.iseesystems.com>) e Berkeley-Madonna (<http://www.berkeleymadonna.com>) [gennaio 2014].

di desumere la dipendenza logaritmica del potenziale chimico dalla concentrazione relativa?

Innanzitutto riscriviamo la relazione (1) utilizzando le concentrazioni relative (adimensionali) del soluto A definite dalla relazione

$$\hat{c}_A = [A] \equiv \frac{c_A}{c^0}$$

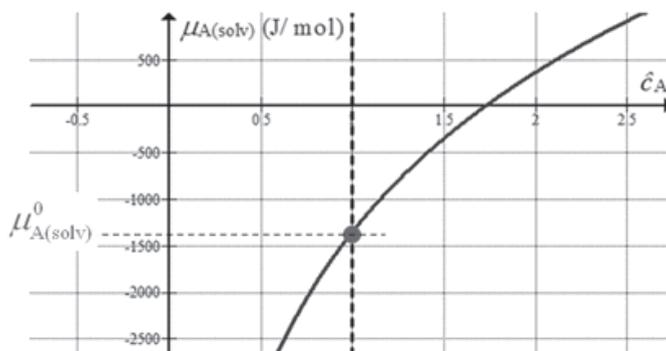
dove convenzionalmente  $c^0 = 1,0 \text{ M}$ :

$$(A1) \quad \frac{c_{A(2)}^{eq*}}{c_{A(1)}^{eq*}} = \frac{c_{A(2)}^{eq**}}{c_{A(1)}^{eq**}} = \frac{c_{A(2)}^{eq***}}{c_{A(1)}^{eq***}} = \dots = K_c^{1 \rightarrow 2} = \frac{\hat{c}_{A(2)}^{eq*}}{\hat{c}_{A(1)}^{eq*}} = \frac{\hat{c}_{A(2)}^{eq**}}{\hat{c}_{A(1)}^{eq**}} = \frac{\hat{c}_{A(2)}^{eq***}}{\hat{c}_{A(1)}^{eq***}} = \dots$$

In seguito cerchiamo di formalizzare l'osservazione che il potenziale chimico del soluto A in un dato solvente aumenta con l'aumentare della sua concentrazione in quel solvente; fissato il suo valore  $\mu_{A(\text{solv})}^0$  per una data concentrazione  $c^0$  di riferimento, possiamo porre:

$$(A2) \quad \mu_{A(\text{solv})}(c_A) = \mu_{A(\text{solv})}^0 + \alpha f\left(\frac{c_A}{c^0}\right) = \mu_{A(\text{solv})}^0 + \alpha f(\hat{c}_A)$$

dove  $\alpha$ , per determinate condizioni dell'ambiente circostante (per esempio di temperatura e pressione), è una costante da determinare che deve avere le dimensioni del potenziale chimico, mentre  $f$  deve essere una *funzione universale* monotona crescente, per la quale ovviamente deve valere  $f(1)=0$ , come illustrato nella Figura 5 sottostante:



**Figura 5 - Dipendenza dalla concentrazione** L'andamento sperimentale del potenziale chimico in funzione della concentrazione relativa suggerisce che la funzione  $f(\hat{c}_A)$  deve essere monotona crescente e il suo valore  $\hat{c}_A=1$  per deve essere nullo.

Allora, partendo dalla condizione di equilibrio  $\Delta\mu^{eq} = 0$  otteniamo:

$$(A3) \quad \mu_{A(1)} \left( \hat{c}_{A(1)}^{eq} \right) = \mu_{A(2)} \left( \hat{c}_{A(2)}^{eq} \right)$$

$$(A4) \quad \mu_{A(1)}^0 + \alpha f \left( \hat{c}_{A(1)}^{eq} \right) = \mu_{A(2)}^0 + \alpha f \left( \hat{c}_{A(2)}^{eq} \right)$$

$$(A5) \quad f \left( \hat{c}_{A(1)}^{eq} \right) - f \left( K_c^{1 \rightarrow 2} \hat{c}_{A(1)}^{eq} \right) = \frac{\mu_{A(2)}^0 - \mu_{A(1)}^0}{\alpha} = \frac{\Delta\mu_{A(1 \rightarrow 2)}^0}{\alpha} = \text{costante}$$

Dato che la relazione (A5) deve valere per qualsiasi scelta delle condizioni iniziali e di conseguenza per qualsiasi valore di  $\hat{c}_{A(1)}^{eq}$ , possiamo utilizzarla per ottenere il valore di  $f(K_c^{1 \rightarrow 2})$ ; ponendo  $\hat{c}_{A(1)}^{eq} = 1$  si ottiene infatti:

$$(A6) \quad f \left( K_c^{1 \rightarrow 2} \right) = - \frac{\Delta\mu_{A(1 \rightarrow 2)}^0}{\alpha}$$

Utilizzando la relazione (A5) e riordinando i termini, otteniamo infine la seguente condizione:

$$(A7) \quad f \left( K_c^{1 \rightarrow 2} \hat{c}_{A(1)}^{eq} \right) = f \left( K_c^{1 \rightarrow 2} \right) + f \left( \hat{c}_{A(1)}^{eq} \right)$$

Una funzione che soddisfa questa condizione è come noto quella logaritmica: possiamo quindi utilizzarla per la costruzione di *un modello fenomenologico*. La costante moltiplicativa  $\alpha$  deve essere determinata sperimentalmente; come suggerito anche dalla Figura 4 essa si rivela essere  $RT$ . Otteniamo così il risultato finale:

$$(A8) \quad \mu_{A(soln)} (c_A) = \mu_{A(soln)}^0 + RT f \left( \hat{c}_{A(soln)}^{eq} \right) = \mu_{A(soln)}^0 + RT \ln \left( \frac{c_A}{c^0} \right)$$

che coincide perfettamente con l'equazione (3) da noi utilizzata in precedenza.

## Appendice B

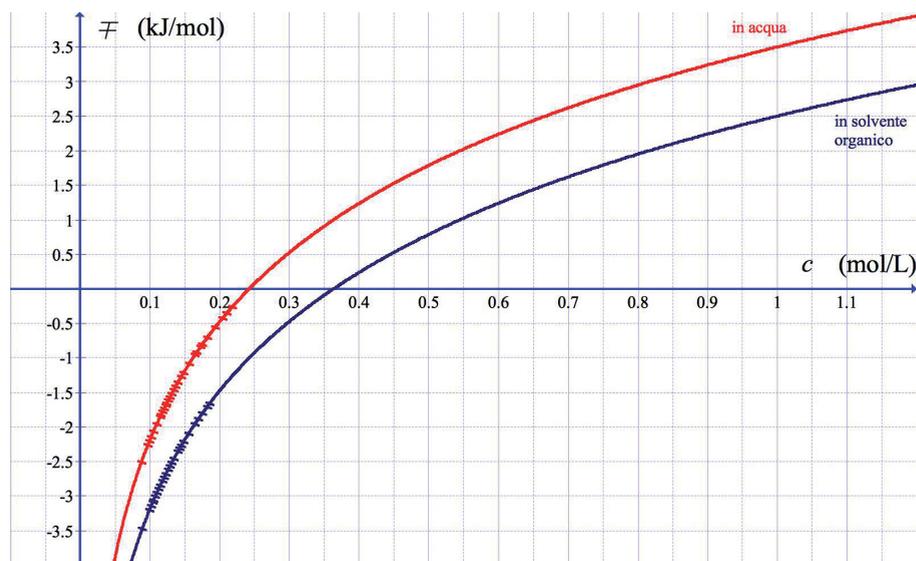
### Due esempi di esercizi di verifica

Per dare un'idea precisa di cosa può essere proposto agli studenti, questa appendice presenta, partendo dalla medesima situazione iniziale, due serie di domande di stampo diverso: le prime di tipo più qualitativo, dove cioè l'utilizzo esplicito del formalismo matematico è volutamente ridotto, le altre più centrate sull'impiego corretto anche degli aspetti quantitativi.

Consideriamo una sostanza A, caratterizzata da un potenziale chimico allo stato solido e a condizioni normali:  $\mu_{A(s)}^0 = 2,0$  kJ/mol. Una certa quantità di questa sostanza viene sciolta in acqua, mentre una *stessa* quantità viene sciolta in un solvente organico (non miscibile con l'acqua). L'andamento del potenziale chimico del soluto nei due solventi in funzione della concentrazione è riportato nella Figura 6.

*Esempio 1:* Spiegando di volta in volta il tuo ragionamento:

- stabilisci in quale dei due solventi la sostanza A è maggiormente solubile;
- immagina, a condizioni normali di pressione e temperatura, di mettere in contatto 100 mL di soluzione acquosa con 100 mL di soluzione organica di uguale concentrazione 0,50 mol/L. Che cosa ti immagini che succeda? Perché è ragionevole pensare che vi sia un passaggio di soluto da un solvente all'altro? Fino a quando durerà questo passaggio?
- Determina graficamente la concentrazione al termine del processo (ossia all'equilibrio).



**Figura 6 – Potenziale chimico di un soluto in due solventi diversi**

Le due curve differiscono unicamente per la costante additiva, che nel caso in questione non è altro che il valore del potenziale chimico del soluto nel rispettivo solvente alle condizioni di riferimento scelte.

*Esempio 2:* Spiegando di volta in volta il tuo ragionamento:

- a) trova graficamente la concentrazione di A nella fase organica in equilibrio con una soluzione acquosa dove  $c(A) = 0,3 \text{ M}$ ;
- b) trova graficamente il coefficiente di ripartizione della sostanza A tra le due fasi, così come la solubilità di A nelle rispettive fasi;
- c) trova graficamente quanto valgono:

$$\Delta\mu_{s \rightarrow \text{aq}}^0, \Delta\mu_{s \rightarrow \text{org}}^0, \Delta\mu_{\text{aq} \rightarrow \text{org}}^0$$

Calcola di conseguenza il coefficiente di ripartizione e la solubilità di A nelle due fasi.

- d) Quando 1,0 mol di A si ripartisce tra 1,0 L di soluzione acquosa e 1,0 L di fase organica, che percentuale di A si trova disciolta nella fase acquosa?

## **Bibliografia**

- [1] F. Bagatti, A. Desco, E. Corradi, C. Ropa, *A tutta Chimica*, Zanichelli, Bologna 2008
- [2] C. Baird, *Chimica ambientale*, Zanichelli, Bologna 1997
- [3] P. Atkins, J. De Paula, *Chimica fisica biologica*, Zanichelli, Bologna 2007, vol. 1
- [4] H. Elias, S. Lorenz, G. Winnen, *ChiuZ.*, 1992, **26**, 70
- [5] N.P. Bahadur, W.Y. Shiu, D.G. Boocock, D. Makay, *J. Chem. Eng. Data*, 1997, **42**, 685
- [6] D. F. McCain, O. E. Allgood, J. T. Cox, A. E. Falconi, M. J. Kim, WY. Shih, *J. Chem. Ed.*, 2012, **89**, 1074
- [7] G. Job, R. Rüffler, *Physikalische Chemie*, Vieweg+Teubner, 2011, cap. 5 (versione inglese scaricabile da <http://job-stiftung.de/index.php?physical-chemistry>) [gennaio 2014]
- [8] W. Nernst, *Z. Phys. Chem.*, 1891, **8**, 110
- [9] M. D'Anna, U. Kocher, P. Lubini, S. Sciarini, *CnS*, 2006, **XXVIII**, 12
- [10] F. Herrmann, *Eur. J. Phys.* 2000, **21**, 49
- [11] H. U. Fuchs, *The Dynamics of Heat. A Unified Approach to Thermodynamics and Heat Transfer*, 2<sup>nd</sup> ed. Springer, New York 2010

- [12] F. Corni (a cura di), *Le scienze nella prima educazione - Un approccio narrativo a un curricolo interdisciplinare*, Erickson, Trento 2013
- [13] P. Lubini, *Innovazione nella didattica delle scienze nella scuola primaria: al crocevia fra discipline scientifiche e umanistiche*, Modena e Reggio Emilia, 12-13 novembre 2010, p. 26
- [14] M. D'Anna, G. Laffranchi, P. Lubini, *Strumenti per l'insegnamento interdisciplinare della termodinamica nelle scienze sperimentali, Volume I - Il quadro concettuale*, DECS, Bellinzona 2011. Il testo può essere reperito al seguente indirizzo web:  
[http://www.scuoladecs.ti.ch/StrIIT2011/scarica/StrIIT\\_11.pdf](http://www.scuoladecs.ti.ch/StrIIT2011/scarica/StrIIT_11.pdf) [gennaio 2014]



# La Chimica classica di Mendeleev e il suo rapporto con la termodinamica di Sadi Carnot

Antonino Drago\*, Giovanni Villani\*\*

\* Università di Pisa - drago@unina.it

\*\* ICCOM - CNR (UOS Pisa) - villani@pi.iccom.cnr.it

## **Riassunto**

*In questo lavoro si esamina la teoria di Mendeleev così come è esposta nel suo testo fondamentale. Si nota che essa si basa su tre problemi; i primi due corrispondono a quelli della termodinamica nella formulazione del suo fondatore, Sadi Carnot. Sia per la chimica di Mendeleev sia per la termodinamica di Carnot, il primo problema è di tipo quantitativo (studiare tutte le reazioni chimiche e tutte le forme della energia, rispettivamente) e genera degli invarianti (gli elementi della materia e le varie forme di energia); il secondo problema riguarda, invece, la qualità (il limite alla trasformabilità tra le sostanze e il limite alla trasformabilità tra le forme di energia). Vi è, infine il terzo problema, chimico ma non termodinamico, delle varie analogie tra gli elementi. Queste due teorie, inoltre, sono associate anche dalla scelta di una matematica semplice, in opposizione alla analisi infinitesimale della meccanica: quella della aritmetica dei numeri naturali e delle variazioni continue. Il parallelismo tra queste due teorie è proseguita poi con il chimico-fisico Broensted, che ha rifondato la termodinamica sul concetto di lavoro, concepito in analogia alla hyle degli alchimisti. Questa impostazione concettuale dei fondamenti della teoria chimica è stata poco considerata, a partire dalla nascita della chimica fisica, anche a causa della maggiore sicurezza che sembrava dare il suo maggiore livello della matematica utilizzata.*

**Parole chiave:** Chimica classica, Mendeleev, principi, termodinamica, Carnot, matematica, organizzazione

## **Summary**

*This paper examines the theory of Mendeleev as is set forth illustrated by its main text. We note that it is based on three problems, the first two corresponding to those of thermodynamics in the formulation of his founder,*

*Sadi Carnot. For both theories, the chemistry of Mendeleev and the thermodynamics of Carnot, the first problem is of quantitative nature (to study all chemical reactions and all forms of energy, respectively) and generates invariants (the elements of matter and the different forms of energy); the second problem, instead, is related to the quality (the limit bound on the convertibility among the substances and the limit bound on the convertibility among the forms of energy). There is, finally, the third problem of the chemistry but not of the thermodynamics, of the various analogies among the elements. Moreover, both theories have also the same choice - in opposition to the infinitesimal analysis of mechanics - of a simple mathematics: that of the arithmetic of the natural numbers and of the continuous variations. The parallelism between these two theories continued through the chemical-physicist Broensted, who has founded anew the thermodynamics on the concept of work, conceived in analogy to the hyle of the alchemists. This setting of the foundations of chemical theory was disregarded since the birth of physical chemistry, also due to the greater confidence given by its increase in the level of mathematics used.*

**Keywords:** Classical chemistry, Mendeleev, principles, thermodynamics, Carnot, mathematics, organization

## **1. Introduzione**

La teoria chimica classica ha avuto una gestazione lunga almeno un secolo, da Lavoisier a Mendeleev. Per molti la sua forma teorica finale non è definita, a incominciare dalla tabella di Mendeleev; della quale si discute ancora oggi se sia una legge, una classificazione, un metodo, ecc. [1,2]. Ad esempio, per Scerri [3], il sistema periodico non è una teoria né è un modello scientifico, tuttavia possiede una notevole quantità di potere esplicativo nelle scienze chimiche e fisiche. A causa di queste difficoltà, spesso la tabella di Mendeleev non ha il posto che meriterebbe nella storiografia della scienza. Ovviamente, la chimica classica non finisce con il concetto di elemento e di atomo e, quindi, non finisce con la tabella di Mendeleev, ma va integrata con il concetto di composto e, dalla seconda parte del XIX secolo, con il concetto di molecola. Tali concetti, pur non rappresentando degli invarianti chimici nelle reazioni, rappresentano perfettamente il mondo differenziato qualitativamente della chimica [4,5], che già gli elementi e gli atomi avevano introdotto.

Molte storie della chimica o sono generali, arrivando fino alla chimica contemporanea (si veda ad esempio [6]), oppure facilmente si fermano al periodo della “rivoluzione” di Lavoisier (per esempio [7]), come se quel periodo da solo potesse concludere la storia della chimica classica. Gli storici della scienza in generale, come Kuhn, hanno dibattuto sulla commensurabilità o incommensurabilità tra chimica e fisica [8]<sup>1</sup>, ma mai utilizzando la tabella di Mendeleev. In questo quadro è importante il fatto che Mendeleev, quando ha presentato in maniera sistematica la sua tabella, ha nello stesso tempo proposto un’organizzazione sistematica della chimica come teoria autonoma basata su due principi specifici. Non è un caso, quindi, che la filosofia della chimica ha tardato così tanto a nascere, impedita sia dal pregiudizio filosofico che essa non fosse una scienza, sia dal pregiudizio fisicoista e, infine, dal pregiudizio della storiografia della scienza [10].

Il problema storico della valutazione dell’opera di Mendeleev è stato complicato dal fatto che poco dopo il completamento della sua tabella, e probabilmente proprio a causa della chiarezza conseguente all’introduzione di questa tabella, è nata la chimica-fisica, che ha fatto pensare ad un rinnovamento totale della chimica sulla base della molto più rispettata termodinamica. Da notare anche che, in questo ultimo caso veniva introdotta in chimica una matematica che arrivava fino alle derivate e agli integrali, portando così a un superamento di quel livello di “quasi non matematica” della chimica che aveva portato filosofi come Kant [11] e Comte [12] a ritenere che tale disciplina fosse rimasta nel limbo delle “arti” scientifiche, non delle vere teorie scientifiche. Comunque, anche la chimica fisica fu a lungo avversata nei paesi anglosassoni, cosicché quando è incominciata la chimica quantistica, che ha poi cercato di inglobare tutta la chimica, i chimici teorici erano ancora divisi tra loro su come impostare la loro teoria. In totale, la storia della chimica, fino a quella quantistica, appare ancora *sub judice*, senza nemmeno una chiara periodizzazione.

Questo scritto illustra la proposta teorica di Mendeleev e la confronta con quella, che risulta analoga, di Sadi Carnot che mezzo secolo prima aveva fondato la termodinamica. Nel XX secolo è avvenuto il recupero di questo tipo di teorizzazione da parte di un chimico-fisico, Broensted, che ha cercato di rifondare la termodinamica sui concetti di lavoro (concepito in analogia alla *hyle* degli alchimisti) e di entropia, senza introdurre il concetto di calore.

---

1. Ciò è ribadito dal suo allievo P. Hoenigen-Hoene [9]

Da questo percorso storico risulterà un legame tra la chimica e la termodinamica, che è in parte indipendente da quello stabilito dalla chimica-fisica, e che attribuisce alla chimica classica una sua dignità teorica autonoma.

## **2. La teoria di Mendeleev fondata su tre problemi**

Newton aveva fondato la sua celeberrima teoria meccanica su spazio e tempo assoluto e sulla forza come concetto cruciale per introdurre le tecniche matematiche utili alla interpretazione della realtà. Siccome per lui la forza gravitazionale era universale (perché era l'intervento di Dio nel mondo), egli aveva suggerito ai chimici di considerare come fondamentali le affinità chimiche, intese come gravitazionali (oggi noi sappiamo che le affinità dipendono dalla forza elettrica). Da questa impostazione deviante era seguita una lunga ricerca di un secolo, senza ottenere risultati concreti. La difficoltà principale consisteva nell'armonizzare l'aspetto fisico del "tutti i corpi si attraggono", con quello chimico specificatamente selettivo implicito nel concetto di affinità.

Quasi un secolo dopo Newton, Lavoisier decise di abbandonare il problema delle affinità per invece dedicarsi alla ricerca, apparentemente "infinita", su tutte le reazioni chimiche possibili (un compito che non ha avuto uguali in tutta la ricerca della fisica classica): da una moltitudine di eventi, tutti diversi, indurre caratteristiche unificanti. Quindi la chimica è nata non solo senza riferirsi allo spazio e al tempo assoluto, ma anche alle forze. Ciò l'ha fatta considerare dai più come estranea alla teoria di Newton e *tout court* alla stessa scienza.

Dopo Lavoisier, la lunga ricerca di un secolo è sfociata nella tabella di Mendeleev, che ha dato prove inconfutabili della scientificità di tutta la ricerca compiuta fino allora dalla chimica (basti pensare alle previsioni dei nuovi elementi). Egli ha esposto la sua tabella degli elementi attraverso vari scritti, ma l'esposizione più sistematica è quella del suo trattato, che ebbe molte edizioni russe e fu tradotto in francese, tedesco e inglese [13].

Tale trattato è intitolato giustamente *Principi di Chimica* perché egli vi espose dei principi con i quali aveva ordinato e unificato tutti i risultati cumulati in secoli di ricerche sulla trasformabilità delle sostanze. Mendeleev, tuttavia, non concepiva la sua teoria come fondata su assiomi (egli non credeva neppure all'esistenza degli atomi; per lui erano solo ipotesi di lavoro). I suoi "principi", quindi, non sono di natura metafisica, come quelli di Newton (spazio e tempo assoluti) o quelli matematici di estremo come nella meccanica di Maupertuis, ma sono principi che indirizzano l'indagine

degli scienziati sulla natura; sono, cioè, *principi di metodo*. Infatti la chimica era da lui concepita come la ricerca di un nuovo metodo per risolvere tre problemi fondamentali, da lui posti ben in evidenza.

Il *primo problema* è enunciato in forma descrittiva nelle prime righe della pagina 1 del suo trattato.

La Chimica si occupa dello studio delle sostanze che con le loro diverse combinazioni costituiscono tutti i corpi che ci attorniano. Essa si occupa della trasformazioni delle sostanze tra loro e dei fenomeni che le accompagnano.

La Chimica, quindi, ha il problema di chiarire quali sono le sostanze che compongono tutti i corpi materiali e come esse possano trasformarsi tra loro.

Di seguito, nel libro di Mendeleev troviamo lunghe note e un lungo intermezzo che presenta il metodo, sperimentale ed induttivo, con cui la Chimica procede per risolvere questo problema. Inoltre si stabilisce “una semplice e prima legge chimica”, la conservazione della materia: “la materia non può essere perduta, né creata... essa è eterna”.<sup>2</sup> Benché Mendeleev non avrebbe dovuto oscillare tra appellativi diversi (“principio”, “legge”), comunque è chiaro che egli la qualifica come una semplice “ipotesi”, con la quale “non vogliamo che tradurre l’osservazione dei fatti” (p. 20), senza porla come verità necessarie a priori. In altri termini, essa è un’ipotesi di lavoro per la ricerca sperimentale, cioè principio di metodo della ricerca.

La legge di conservazione della materia (o della massa) è qualcosa di implicito in tanti autori, ma è generalmente attribuita a Lavoisier. Celebre è la citazione “Nulla si crea, nelle opere dell’arte come in quelle della natura, e si può affermare di principio che, in ogni operazione, c’è la stessa quantità di materia, prima e dopo; che la quantità e la qualità dei principi [leggi: elementi] sono le stesse e che ci sono solo dei cambiamenti, delle modifiche. È su questo principio che si fonda tutta l’arte di fare esperimenti in chimica: in ognuno si è costretti a supporre una vera uguaglianza o equazione” [14]. Generalmente, nell’analizzare la legge di Lavoisier della conservazione della massa ci si ferma alla prima parte dell’asserzione: c’è la stessa quantità di materia prima e dopo una reazione chimica. Tuttavia, si farebbe un torto al chimico francese se non si proseguisse con l’asserzione e si notasse che nelle reazioni chimiche non è solo la “quantità” a conservarsi, ma anche la “qualità” degli elementi (seppure differentemente combinati), cioè le differenziazioni qualitative della materia. È questo che ci porta ad imporre, nel bilanciare una reazione chimica, che tra i reagenti e i prodotti vi debba essere lo stesso numero di atomi per ogni elemento. Proprio per evidenziare questo aspetto essenziale, uno di noi ha proposto di chiamare tale legge di

2. Le sottolineature sono aggiunte per indicare le parole negative delle frasi doppiamente negate.

Lavoisier col nome di Legge della Conservazione delle Masse e non della massa [15].

Mendeleev poi alle pp. 20-21 indica l'”altra questione”, cioè *il secondo problema*, che la teoria Chimica vuole risolvere:

Esiste un limite alle differenti trasformazioni chimiche, oppure esse sono al contrario illimitate; cioè, si può, prendendo una sostanza qualunque, ottenere una quantità uguale di ogni altra sostanza? O ancora, in altri termini, esiste una trasformazione eterna, infinita, di una materia in tutte le altre, o il cerchio delle [tantissime] trasformazioni è limitato?

Ecco la seconda questione fondamentale di cui si deve occupare la Chimica: la questione della qualità della materia, evidentemente più difficile da risolvere che la questione della quantità [delle sue possibili trasformazioni].

Qui Mendeleev espone quello che è stato il problema storico fondamentale della Chimica: distinguersi dalla precedente Alchimia. Avendo notato che da un minerale potevano estrarsi successivamente sostanze molto diverse (ad es. dal Galeno, il Piombo e poi l'Argento), gli alchimisti avevano creduto che non ci fosse un limite alla trasformazione da un dato corpo iniziale ad una qualsiasi altra sostanza; in altri termini, hanno concepito un'unica sostanza primitiva (la *Hyle*) che poteva essere trasformata in una qualsiasi altra sostanza.

Prima di risolvere questo problema, Mendeleev pone la questione delle individualità dei componenti della materia. Ricordiamo che la riduzione al livello metodologico minimo (solo esperimenti) aveva suggerito a Lavoisier di definire il concetto di elemento semplice della materia in maniera euristica: “... tutte le sostanze che non abbiamo potuto decomporre con alcun mezzo sono per noi degli elementi” [14]. Mendeleev ripete questa definizione (p. 30) (pur notando il suo “carattere negativo”, che egli giustifica col fatto che si tratta di un concetto ai limiti estremi della conoscenza; p. 31).

Allora discute del problema se la *hyle* possa produrre gli elementi semplici.<sup>3</sup> Lo esclude con il seguente ragionamento per assurdo (in cui l'assurdo è espresso con l'”inimmaginabile”):

3. Già J. Dalton aveva affermato: “Alcuni filosofi hanno immaginato che tutta la materia, per quanto dissimile, è probabilmente la stessa cosa, e che la grande varietà delle sue sembianze si origina da certe proprietà che le vengono conferite e dalla varietà di combinazioni e arrangiamenti di cui è suscettibile [...]. Secondo me [invece] esiste un considerevole numero di quelle che possono essere chiamate particelle *elementari*, che non possono andare incontro a *metamorfosi* l'una nell'altra.” Citato in [16].

Allo stato attuale delle nostre conoscenze è impossibile anche immaginarsi un procedimento col quale i differenti corpi semplici si formerebbero a spese di una unica materia primitiva. [p. 30; cioè una materia non divisibile. Per cui] La speranza degli alchimisti di fabbricare... i corpi semplici non si appoggia su nessuna base, né reale né teorica. (p. 31)

Negando la validità scientifica del sogno dell'Alchimia, la teoria chimica si separa nettamente dal passato pre-scientifico. Mendeleev commenta il suo risultato con la considerazione: "Nella ricerca della verità è necessario (è una conseguenza della natura stessa del nostro spirito) passare prima per giudizi spesso erronei e [solo] dopo all'esperienza; [cioè, prima] commettere un errore per aver cercato la verità per mezzo di semplici deduzioni." (p. 24) <sup>4</sup>.

A questo punto Mendeleev utilizza il concetto di elemento per semplificare grandemente il primo problema: "Lo studio delle trasformazioni chimiche si riduce dunque a cercare come e con quali elementi ogni corpo semplice è combinato, prima e dopo la trasformazione." (p. 32)

Poi Mendeleev pone *il terzo problema*, di origine del tutto empirica (è ottenuto dal confronto degli elementi tra loro, non dal loro numero):

Da molto tempo sono conosciuti molti gruppi di elementi simili. [...] Il loro studio ci porta alla questione seguente: quale è la causa dell'analogia e quale è il rapporto dei gruppi degli elementi tra loro? (p. 460).

Segue un ragionamento per assurdo ("impossibilità") per affermare che queste due questioni sono necessarie:

Senza avere una risposta a queste questioni, non è possibile raggruppare gli elementi analoghi senza cadere in errori grossolani. (p. 460)

Però egli risponde non teoricamente, ma affidandosi ad una certezza a posteriori (d'altronde non ci risulta nessun ragionamento teorico di chimica classica che giustifichi la periodicità degli elementi):

Ora, risulta da tutte le nozioni precise che si hanno sui fenomeni della natura che tutte le proprietà di una sostanza dipendono giustamente dalla sua massa. [...] E' dunque del tutto naturale cercare una relazione tra le proprietà analoghe degli elementi da una parte e dei loro pesi atomici dall'altra. (pp. 460-461)

---

4. Questa chiarificazione teorica ricorda quella dell'analogo problema della principale teoria fisica, la meccanica: quello di che cosa è l'inerzia. La risposta di Cartesio stabilisce il distacco della nuova teoria dalle precedenti concezioni filosofiche sul moto dei corpi, da quella di Aristotele a quella dell'*impetus*; così costituisce la distinzione più precisa tra la fisica della scienza moderna e la fisica della scienza antica.

Questa è l'idea fondamentale che obbliga a **disporre tutti gli elementi al seguito del loro peso atomico**. Fatto ciò, si nota immediatamente la ripetizione delle proprietà nei periodi degli elementi.[...]

... **disponendo gli elementi secondo la grandezza crescente del loro peso atomico, si ottiene una ripetizione periodica delle proprietà**. Questo risultato si enuncia con la **legge periodica**: *le proprietà dei corpi semplici, come le forme e le proprietà delle combinazioni, sono una funzione periodica della grandezza del peso atomico*. (p. 461, sottolineature originali).

Avendo perso però il contatto con il ragionamento teorico, Mendeleev non pone *il quarto problema*, benché la sua soluzione porterà alla validazione di tutta la teoria e quindi concluderà la ricerca bisecolare: *quanti sono gli elementi?* La conferma sperimentale delle previsioni di Mendeleev della esistenza del Gallio e del Germanio è stata quella che ha dato alla tabella la validità scientifica completa<sup>5</sup>; benché si potesse ancora dubitare che non si erano sperimentate proprio tutte le reazioni chimiche possibili, comunque l'unico risultato al quale si poteva arrivare era stato raggiunto: si sapeva con ottima approssimazione quanti erano tutti gli elementi ai quali potevano essere ricondotte le trasformazioni delle sostanze tra loro.<sup>6</sup>

Riassumiamo allora i risultati raggiunti. Ponendo il primo problema la chimica non applica dei principi quasi metafisici (la forza-causa di Dio nel mondo), ma si presenta come una ricerca finalizzata a risolvere il problema della trasformabilità della materia. Inoltre ponendo il secondo problema diventa del tutto estranea alla teoria fisica trionfante, la cui analisi infinitesimale veniva applicata a tutto, materia compresa (il che avrebbe condotto ad una *hyle* infinitesima), ma propone lo studio diretto di questi elementi e ne trova una proprietà sorprendente, la periodicità; infine pretende di avere un suo problema numerico che è insolubile con la suddetta analisi: trovare quanti sono gli elementi costitutivi della materia. *La sua teoreticità quindi è ben definita ed ha una sua originalità*.

5. Sul ruolo teorico della Tabella di Mendeleev si veda [17].

6. Naturalmente quando si mettono da parte i gas nobili che non reagiscono con gli altri e quindi sfuggono alle tecniche sperimentali usuali della chimica. Non si può rimproverare Mendeleev di aver resistito alla introduzione di questi nuovi elementi nella sua tabella, perché appunto significava introdurre una novità sconvolgente il suo quadro teorico sin dalla soluzione del primo problema. La loro introduzione comporta infatti una retroazione della sua teoria: data la tabella originaria trovare altre tecniche sperimentali che comportino ulteriori elementi come risultati. Ciò è analogo alla introduzione retroattiva della forza attrito nello schema teorico di Newton basato su forze-cause metafisiche.

### 3. Parallelo con la termodinamica di Sadi Carnot

Si noti che nel seguito non procederemo con parallelismi tra concetti o aspetti particolari delle due teorie, ma con i loro aspetti che possono essere considerati appartenenti ai fondamenti delle due teorie.

Con il testo di Mendeleev, la Chimica è basata su problemi dei quali i primi due risultano essere gli esatti corrispondenti ai primi due della termodinamica. Secondo le stesse parole di Mendeleev, il primo principio riguarda “la quantità”, cioè, rispettivamente per la chimica e la termodinamica: tutte le reazioni chimiche e tutte le forme della energia (o più specificamente la “quantità” in un processo singolo, o chimico o fisico).

Un secondo principio riguarda “la qualità” degli enti precedenti, rispettivamente: l’esistenza di un limite alla trasformabilità delle sostanze e l’esistenza di un limite alla trasformabilità tra le forme di energia, in particolare tra il calore e le altre forme.

Nella termodinamica infatti, il suo fondatore Sadi Carnot pose il problema di un limite alla trasformabilità del calore in lavoro e lo risolse [18]. [1] Ciò distrusse il sogno di una potenza illimitata (che ai suoi tempi era nato dall’aver scoperto, col motore a vapore, la trasformazione del calore in grandi quantità di lavoro) [14].

Proprio perché questo limite esiste in ambedue i casi, allora sono da considerarsi essenzialmente distinte e quindi qualitativamente diverse sia le sostanze (e in definitiva, gli elementi) sia le forme di energia. Manca, cioè, un elemento unificante, rispettivamente la *hyle* e l’energia *tout court* che unifichi tutte le energie (si noti che il primo principio della termodinamica usa il concetto di  $U$ , la riserva di energia in tutte le sue forme, ma solo i  $\Delta U$  sono misurabili; in altri termini non esiste il valore  $U=0$  o altro valore finito che riguardi *tutta* l’energia di un sistema).

In termodinamica questo concetto di limite (o meglio, l’efficienza minore di uno) ha avuto un ruolo cruciale per far nascere storicamente il concetto di entropia (entropia sempre crescente), che ha fatto avanzare ambedue le teorie, quella termodinamica e quella chimica. Infatti, mentre in termodinamica la funzione di stato entropia  $S$  determina le caratteristiche basilari delle trasformazioni dell’energia, in Chimica troviamo l’analogo nell’uso della entropia per determinare la trasformabilità delle sostanze (questo fatto costituisce proprio l’inizio della chimica-fisica). Quindi il parallelo prosegue anche storicamente, diventando stretto.

---

7. Per le macchine meccaniche questo sogno era stato confutato dal padre Lazare, quando aveva fondato la meccanica (basandola sull’urto dei corpi, non sulle forze). In ambedue i casi (meccanica e termodinamica) la conseguenza è stata quella di stabilire un rapporto di efficienza per ogni trasformazione. Vedasi [19].

Si noti che storicamente la termodinamica è nata seguendo l'ordine inverso a quello indicato da Mendeleev (prima il problema quantitativo e poi il problema qualitativo che è più difficile); infatti, solo dopo 25 anni dall'opera di Sadi Carnot, che di fatto stabiliva il secondo principio della termodinamica, Clausius e Kelvin hanno proposto il primo principio.<sup>8</sup> In effetti, al tempo di Sadi la questione quantitativa in termodinamica non si poneva, perché, oltre il lavoro meccanico si conosceva solo l'incerto lavoro elettrico, mentre quello termico era tutto da studiare. Solo dopo è diventato chiaro che le forme della energia sono numerose e che quindi il problema quantitativo della loro trasformabilità non è limitato, come al tempo di Sadi Carnot, all'unico caso del calore in lavoro meccanico.<sup>9</sup> Ed allora l'ordine dei problemi è diventato quello poi seguito anche da Mendeleev: qualitativo e poi quantitativo.

#### **4. Dai problemi fondamentali a una matematica e una logica specifica**

Le soluzioni dei due problemi chimici e termodinamici hanno precise funzioni per lo sviluppo delle rispettive teorie. In termodinamica il primo principio stabilisce un particolare tipo di matematica.<sup>10</sup> La formula del primo principio stabilisce un'uguaglianza secondo una matematica continua, che però lega tra loro forme di energia che (come il calore) non sono spaziali e le variazioni temporali sono solo quelle prima/dopo, cioè discontinue. Quel principio, quindi, blocca l'uso della analisi infinitesimale, basata sulle variabili continue di spazio e tempo e riduce la matematica a quella, al massimo, delle variazioni finite di grandezze continue, le quali sono esprimibili anche con i soli numeri razionali.

---

8. Più di un autore si è chiesto come mai è avvenuta questa inversione dell'ordine logico; ad es. [15]: "By what magic has our stream risen higher than its source?"

9. Inoltre non si creda che fosse già stato stabilito il principio della conservazione della energia meccanica. In effetti alla fine del 1600 (cioè alla nascita della meccanica newtoniana) lo avevano proposto Huygens e Leibniz; ma, per teorizzare l'urto dei corpi, Newton aveva proposto, assieme a Wren e Wallis, un modello di corpo perfettamente duro come modello ideale; in uno scontro frontale due corpi perfettamente duri di uguale massa dovevano bloccarsi; inoltre, se un tale corpo cadeva a terra, non doveva rimbalzare (Anche la meccanica dei gas veniva studiata concependo gli atomi come duri, in posizioni fisse e soggetti ad interazione mediante una forza centrale). Quindi al tempo di Sadi Carnot la conservazione della energia era un concetto misterioso, che solo una minoranza eterodossa proponeva come concetto generale sulla base dei pochi esempi del tempo [16].

10. In meccanica il principio di inerzia, attraverso il tempo continuo e lo spazio continuo, serve anche a stabilire la matematica utilizzata, che è quella dell'infinitamente divisibile del continuo sia dello spazio che del tempo.

Anche in Chimica il primo problema di Mendeleev serve a stabilire la matematica da utilizzare: 1) i numeri razionali positivi (coppie di numeri naturali) per indicare i pesi delle sostanze in gioco in una trasformazione; questi numeri sono sufficienti anche nella risoluzione del terzo problema, che richiede il peso atomico; 2) si scenderà poi ai numeri naturali per indicare il numero atomico degli elementi costitutivi della materia. Questo fatto è sorprendente per chi è abituato ad associare allo studio della natura la matematica della potentissima analisi infinitesimale con le sue equazioni differenziali. Così infatti ragionavano i grandi critici della Chimica: Kant e Comte. A questi il livello della matematica della Chimica appariva primordiale o proprio nullo, sulla base della meccanica di Newton, che ha grandemente meravigliato per il salto di qualità teorica che ha realizzato mediante l'uso dell'analisi infinitesimale. Si tratta, tuttavia, di un pregiudizio, perché non corrisponde affatto alla realtà storica e teorica. Pochi decenni dopo Mendeleev, la Fisica ha subito una crisi radicale a causa della scoperta dei quanti, i quali hanno imposto ai fisici di vedere tutta la realtà come discreta, secondo l'antichissima aritmetica dei numeri naturali. Inoltre nel XX secolo altre teorie basate sui numeri interi (teoria dei giochi, teoria del DNA) hanno dimostrato di essere non per questo limitate o primordiali. Oggi anche la Chimica usa una matematica sofisticata, ma differente da quella infinitesimale, per esempio quella dei Gruppi di Simmetria. Si può, quindi, ben dire che l'interpretazione della natura non ha preferenza per l'analisi infinitesimale.

Passiamo ora al secondo principio, quello che corrisponde agli aspetti qualitativi della teoria. Nella termodinamica esso esprime una limitazione nelle trasformazioni tra calore e lavoro.<sup>11</sup> Invece nella meccanica di Newton, la forza-causa di  $f=ma$  si basa sulla metafisica delle cause (criticata magistralmente da D'Alembert e Lazare Carnot) che di per sé non dovrebbe avere limitazioni (si noti che la forza d'attrito, inconcepibile come causa metafisica, fu introdotta solo alla fine del 1700).

L'esistenza di una limitazione essenziale (qualitativa) nei fenomeni considerati comporta una novità teorica rispetto alla meccanica di Newton: impedisce di utilizzare degli assiomi che con poche parole sintetizzino affermativamente tutta la realtà considerata. Se, infatti, all'inizio della teoria

---

11. La limitazione in effetti ci sarebbe anche in meccanica se si partisse dal lavoro e si considerasse la limitazione per cui non sempre le forze sono conservative. All'inverso, proprio per non voler considerare questa limitazione della teoria meccanica, si considerano le forze-causa metafisiche, adattate ad ogni caso. Nella meccanica di Lazare Carnot la limitazione è intrinseca alla sua equazione fondamentale; questa rappresenta il bilancio dell'energia meccanica includendo anche il "lavoro perduto".

occorre affermare che c'è una limitazione, allora la mente umana non può accettare il fatto compiuto, ma deve spiegarsi teoricamente perché esiste la limitazione e casomai come sia possibile una conoscenza nonostante quella limitazione; quindi nella teoria deve porre un problema (era quanto avevano già fatto Lazare Carnot in meccanica e poi Sadi Carnot in termodinamica).

La stessa logica della teoria allora non è deduttiva, ma induttiva, al fine di risolvere il problema con l'invenzione di un nuovo metodo scientifico. Di fatto, sia nella termodinamica di S. Carnot che nella chimica si usano frasi doppiamente negate che non sono equivalenti alle corrispondenti affermative e si ragiona per assurdo (famoso è il teorema di Sadi Carnot sull'efficienza delle macchine termiche); lo stesso avviene in chimica, sin dalla definizione di elemento [17,20]; ed in precedenza abbiamo visto teoremi per assurdo in Mendeleev. Allora qui non vale la legge di logica classica che si basa sulla legge: "Due negazioni affermano", quindi si ragiona in una logica non classica.<sup>12</sup>

In definitiva, notiamo che nel rapporto teoria-matematica la Chimica è una teoria ben costituita, benché usi una matematica semplice; lo è pure nel rapporto con la logica, sebbene utilizzi una logica innovativa rispetto a quella classica della geometria euclidea e della meccanica di Newton.

In conclusione, la Chimica presenta due problemi iniziali che sono analoghi a quelli della termodinamica. Essi determinano per tale disciplina uno sviluppo teorico dello stesso tipo matematico e logico della termodinamica. Concludiamo allora che *se la termodinamica classica è una teoria per avere ben definiti problemi e ben definite scelte di matematica e logica, lo è anche la chimica classica.*

### **5. La riformulazione di Broensted della termodinamica e della chimica**

Che il legame della chimica con la termodinamica sia profondo, lo dimostra la riformulazione della termodinamica suggerita dal chimico-fisico Broensted [22,23] (vedasi anche la seguente critica di MacDougall [24]). Essa è basata concependo il lavoro così come nella alchimia si concepiva la *hyle*; il lavoro  $L$  è l'unica entità energetica; esso può essere realizzato in molti modi, ognuno dei quali è esprimibile mediante la medesima formula, che indica il trasporto di una grandezza tra due livelli di potenziale. In meccanica la caduta dei gravi ne è un facile esempio:  $L = mgh$ ; in termodinamica la temperatura assume il ruolo del potenziale, mentre la quantità trasportata è l'entropia (definibile operativamente in maniera auto-

12. Si noti che le due teorie hanno in comune un'altra proprietà notevole, la periodicità; che in termodinamica appartiene al ciclo di Carnot. Questo, seguendo Mach, deve essere visto come uno strumento di ragionamento, tanto che lo si può esportare anche in meccanica e in elettricità [21].

noma mediante il calorimetro a ghiaccio). Il calore viene declassato a concetto antropomorfo (così come in meccanica è antropomorfa la forza rispetto al concetto di energia potenziale). Ovviamente questa formulazione assume, come situazione tipica della teorizzazione, la reversibilità dei processi e vede l'irreversibilità del calore come un aspetto tutto da chiarire.

**Tabella 1.** Collegamento tra i principi della chimica classica e quelli della termodinamica

	CHIMICA CLASSICA	TERMODINAMICA
1° problema	Tutte le trasformazioni delle varie sostanze	Tutte le trasformazioni delle varie forme di energia
1° risultato	La conservazione della materia nella singola trasformazione.	La conservazione dell'energia in un processo di trasformazione. Le varie forme di energia
2° problema:	Esiste un limite alla trasformabilità delle sostanze?	Esiste un limite alla trasformabilità delle forme di energia (del calore in altra forma di energia)?
2° risultato	Esistono gli elementi semplici in numero finito	Esistono forme di energia in numero finito
Matematica	Semplice (numeri razionali ed interi)	Semplice, al più logaritmica
Logica conseguente	Proposizioni doppiamente negate ragionamenti per assurdo	Proposizioni doppiamente negate ragionamenti per assurdo
Periodicità	Funzione periodica ideale sul numero atomico	Periodicità nel ciclo della trasformazione del calore in lavoro
Alla Broensted	<i>Hyle</i>	Lavoro come concetto originario di ogni forma di energia

A differenza della termodinamica classica, la termodinamica di Broensted non attribuisce alcun limite alle trasformazioni di energia, cioè non si possono porre limiti all'efficienza delle trasformazioni (che debbono essere considerate nelle variabili termodinamiche  $T$  ed  $S$  e non nel calore  $Q$ ).

In effetti in chimica classica c'è una concezione analoga. Poco dopo la tabella di Mendeleev, furono scoperti gli elementi radioattivi, i quali decadevano in altri elementi. Le reazioni nucleari hanno, quindi, riaperto la possibilità dell'antico progetto dell'alchimia di trasmutare la materia. In altri termini, si possono "comporre" gli elementi a partire da uno fondamentale, così come fu ipotizzato da Prout, nella misura in cui si consideri come elemento originario di tutti più che l'idrogeno, il deuterio, cioè il primo elemento che contiene tutte le particelle necessarie (protoni, neutroni ed elettroni).<sup>13</sup>

13. Ma è da notare che mettendo insieme tali particelle si ottengono atomi la cui massa differisce dalla semplice somma dei costituenti (tale proprietà si chiama "difetto di massa"). Per esempio il nucleo di Elio (4) ha massa 4.0026 au mentre due protoni + due neutroni hanno massa 4.0319 au. Questo significa che, mettendo insieme due protoni e due neutroni, non si è ottenuto un aggregato di quattro particelle, ma una nuova entità strutturata, il nucleo di Elio. È questa caratteristica sistemica che ci permette di differenziare qualitativamente la sostanza e creare le sostanze.

La termodinamica alla Broensted è, quindi, una controprova: anche in termodinamica si è proposta una filosofia simile a quella dell'Alchimia, che, d'altronde, è rinata in chimica classica con le reazioni nucleari.

## **6. Conclusioni**

Una nostra rapida indagine sui libri di testo seguenti a quello di Mendeleev ha messo in luce che nessun testo ne ha ripetuto la concezione teorica della chimica classica. Ciò può essere dovuto a varie ragioni: la mancanza di una scuola di Mendeleev (che lasciò l'università prima del tempo); la poca attenzione da lui ricevuta, fino alla scoperta del Gallio e del Germanio, da parte dei chimici che, per sistemare la massa delle precedenti esperienze chimiche, avevano seguito e persistevano a seguire le idee le più varie; le numerose divisioni filosofiche che attraversavano i chimici del tempo, con in più la divisione nazionalistica sciovinista; la quasi contemporanea nascita della chimica-fisica, che ha oscurato lo sforzo teorico precedente sia con la sua più potente matematica, sia con l'enorme sviluppo sociale che ebbero le sue applicazioni.

Nye ha compiuto una approfondita analisi dei rapporti storici tra la teoria chimica e la teoria fisica. Essa conclude che chimica e fisica non sono commensurabili [25], ma questa sua valutazione vale solo in prima approssimazione, quando cioè si assumono come oggetti del confronto le unità macro-teoriche "la Chimica" e "la Fisica". In realtà, se si scende al livello delle singole teorie, fisiche e chimiche, allora, come abbiamo visto, si può avere al contrario che una teoria dell'una può essere parallela, come abbiamo visto, ad una teoria dell'altra. La incommensurabilità piuttosto è da attribuire al rapporto tra la Chimica classica e la teoria fisica dominante, quella newtoniana (e le analoghe).

Questa incommensurabilità si è manifestata storicamente con i vari pregiudizi indicati nell'introduzione da parte di filosofi, fisici e storici della scienza. Di conseguenza, una vera filosofia della chimica ha tardato a nascere perché prima impedita dal pregiudizio filosofico, sin dal suo sorgere, che la chimica non fosse una scienza per mancanza di matematica; poi dal pregiudizio fisicista che essa non fosse una teoria scientifica autonoma; infine dal pregiudizio della storiografia della scienza (di Kuhn), per cui la nascita della Chimica è dovuto ad un "aspetto sopra-meccanico del newtonianesimo" (annullando così la sua incommensurabilità con la fisica newtoniana).

Allora, l'attribuire una dignità teorica alla Chimica classica pari a quella della termodinamica comporta anche una nuova storia di questa scienza ed un potenziamento della filosofia della chimica.

## Bibliografia

- [1] M. Niaz et al., *An appraisal of Mendeleev's contribution to the development of the periodic table*. *Studies in History and Philosophy of Science*, 35, 2004, 271-282.
- [2] D. Shapere, *Scientific theories and their Domains*. in P. Suppe (ed.), *The Structure of the Scientific Theories*. U. Illinois P., Chicago, USA, 1977, pp. 518-565 e pp. 535-536.
- [3] E. R. Scerri, *The periodic table. Its Story and its significance*. Oxford University Press, Oxford, UK, 2007.
- [4] G. Villani, *La chiave del mondo. Dalla filosofia alla scienza: l'onnipotenza delle molecole*, CUEN, Napoli, 2001.
- [5] G. Villani, *Complesso e organizzato. Sistemi strutturati in fisica, chimica, biologia ed oltre*, Franco Angeli, Milano, 2008.
- [6] W. H. Brock, *The Chemical Tree. A History of Chemistry*. W.W. Norton & Co., New York, USA, 2000.
- [7] A. Thackray, *Atomi e forze*. il Mulino, Bologna, 1981.
- [8] T. S. Kuhn, *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*. Einaudi, Torino, 1969.
- [9] P. Hoenigen-Hoene, *Kuhn and the Chemical revolution* in C. Cellucci et al. (ed.), *Prospettive della logica e della filosofia della scienza*, ETS, Pisa, 1994, 483-498.
- [10] T. S. Kuhn, *ibid*, p. 135.
- [11] I. Kant, Prefazione a *Principi metafisica della scienza della natura*, 1786
- [12] A. Comte, *Cours de Philosophie Positive*. Borrani e Droz, Paris, Francia, t. 3, lez. 35, 1858.
- [13] D. I. Mendeleev, *Principes de Chimie* (1871), Tignol, Paris, Francia. Mendelejew D.I. (1895), *Das natürliche System der chemischen Elemente*, Engelmann, Leipzig, Germania. D. I. Mendeleev (1905), *Principles of Chemistry* (1871), Longmans, New York, USA.
- [14] A. L. Lavoisier, *Elémens de Chimie*, Typ. Cuchet, Paris, 1789, 6-8.
- [15] G. Villani, *La legge della 'conservazione delle masse' di Lavoisier*. La chimica nella Scuola, Numero Speciale: *La chimica e le altre discipline* (a cura di G. Villani), XXXII, 2010, 41-56.
- [16] C. C. Gillispie, *Il criterio dell'oggettività. Un'interpretazione della storia del pensiero scientifico*, il Mulino, Bologna, 1981, nota 4, p. 250.
- [17] A. Drago, R. Pisano, *Interpretazione e ricostruzione delle Réflexions di Sadi Carnot mediante la logica non classica*, *Giornale di Fisica*, 41, 2004, 195-215 (tr. ingl. in *Atti Fondazione Ronchi*, 59, 615-644).
- [14] T. S. Kuhn, *Energy conservation as an example of simultaneous discovery*. In M. Clagett (ed.), *Critical Problems in the History of Science*, U. Wisconsin P., Madison, USA, 1957, pp. 321-56.
- [15] P. Bridgman, *The Nature of Thermodynamics*.  
[http://archive.org/stream/natureofthermody031258mbp/natureofthermody031258mbp\\_djvu.txt](http://archive.org/stream/natureofthermody031258mbp/natureofthermody031258mbp_djvu.txt); 1946. p. 10

- [16] W. L. Scott, *The Conflict between Atomism and Conservation Theory 1644 – 1860*, Elsevier, New York. USA, 1971..
- [17] A. Drago, *La maniera di ragionare di Lavoisier, Dalton ed Avogadro durante la nascita della teoria chimica*, Rendiconti Dell'Accademia Nazionale delle Scienze Detta dei XL, Memorie di Scienze Fisiche e Naturali, ser. V, 31, pt. II, tomo II, 2007, 189-201.
- [18] S. Carnot, *Réflexions sur la puissance motrice du feu*, Blanchard, Paris, 1824 (ed. critique par Fox R., Vrin, Paris, 1978), 14-15.
- [19] A. Drago, S. D. Manno, A. Mauriello, *Una presentazione concettuale della meccanica di Lazare Carnot*, Giornale di Fisica, 42, 2001, 131-156.
- [20] A. Drago, *Il ruolo del sistema periodico degli elementi nel caratterizzare la chimica classica come teoria scientifica*, Epistemologia, in stampa.
- [21] E. Mach, *Prinzipien der Warmaelhere*, 1896 (tr. ingl., Reidel, Boston, USA, 1989). cap. XIX .
- [22] J. N. Broensted, *The derivation of the equilibrium conditions in Physical chemistry on the basis of the work principle*, Philosophical Magazine, 29, 1940, 699-712.
- [23] J. N. Broensted, *Principles and Problems of Energetics*, Interscience, New York, USA, 1955.
- [24] F. H. MacDougall, *Broensted's criticism of the classical thermodynamics*, Philosophical Magazine, 29, 1940, 713-715.
- [25] M. J. Nye, *Physics and Chemistry: Commensurate or incommensurate sciences?*, in M. G. Nye et al (eds.). *The Invention of Physical Science*, Kluwer, Dordrecht, Olanda, 1992, 205-224; cfr. p. 219.

# Study on chemistry learning and its assessment

Marco Piumetti<sup>1\*</sup>, Teresa Celestino<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Department of Applied Science and Technology -Institute of Chemistry, Corso Duca degli Abruzzi 24, Politecnico di Torino, I-10129, Turin (Italy).*

\* marco.piumetti@polito.it

<sup>2</sup>*School of Advanced Studies, University of Camerino, via Sant'Agostino 1, 62032, Camerino (Italy).*

## **Abstract**

*In this work the learning outcomes have been examined through a brief chemistry questionnaire composed of seven subtests; each subtest involves knowledge of chemistry and problem-solving skills. In particular, the comparisons subtest was proposed to study the role of thinking skills in learning outcomes. As a result, the most inter-correlated subtests were definitions and comparisons and they also exhibited the highest correlation with the composite score. Both tasks reflect concepts formation and acquired chemistry knowledge. However, students were much more motivated to take comparisons items rather than definitions ones. These results further confirm the great importance of a stimulating educational system where ability in making connections among data and problem solving skills are highly encouraged.*

## **Introduction**

In this age of smart phones and ubiquitous search engines, the simple memorization of facts and procedures is becoming less and less important. On the contrary, most educators believe that it is much more beneficial to teach students to think properly. Indeed, one of the major purposes of education is to help students develop their capacity to appreciate and understand the complexity of the world around them. Thinking dispositions are “habits of mind” and so, like any other kind of habit, they strongly depend on the external stimuli and motivational factors (1). Therefore, the opportunities offered in educational contexts may play a role for encouraging students’ thinking abilities. Typically, efforts to promote thinking focus on the teaching of “scholastic aptitudes” such as reasoning, comprehension, systematic problem-solving and so on. Although these skills are certainly important, it is also necessary to teach students to think critically about data that they receive. Thus, it is important to promote active learning in which students are strongly motivated to take information, organize it in ways that can retain it, build on it and make use of it (2).

In support of these considerations, the present paper focuses on the learning outcomes of 72 first-year engineering Italian students achieved through a chemistry questionnaire, after 62 hours of teaching and 18 hours of stoichiometric exercises (academic year 2011-12). The prepared questionnaire, namely the Preliminary Chemistry Test (PCT), is composed of seven subtests:

1. conversions,
2. nomenclature,
3. definitions,
4. comparisons,
5. multiple-choice tests,
6. stoichiometric problems
7. balancing reactions.

Some examples of the proposed questions are reported in Table 1. Each part of the questionnaire requires both chemistry knowledge and problem-solving skills and, when taken as a whole, the PCT offers a fairly well rounded exercise well suited to the assessment of chemistry learning. In particular, the comparisons subtest was designed to evaluate the role of thinking in chemistry learning. This subtest, indeed, considers not only the students' knowledge, but also their competence to find similarities (or differences) between pairs of substances, physico-chemical phenomena, devices, and so on. On this subtest, questions require both prior knowledge in chemistry and the identification of relations among data. Thus, students have to think of alternatives and select the one that best matches an intrinsic similarity (or difference). Similar items have been included in many attitudinal tests as a reliable measure of concepts formation (3-4). Therefore, the comparison subtest could be a good candidate to assess the students' "active learning".

### **Participants e procedures**

The sample of participants consisted of 72 first-year engineering students (academic year 2011-12). Of these, 14 (19.4%) were females and 58 (80.6%) were males. All participants were Italian and the test was available in Italian version. The PCT was proposed as a "training test" to the chemistry exam, during the last lesson of the chemistry course (Facoltà di Ingegneria, Politecnico di Torino, Italy). It was proposed in group form; instructions given to students were straightforward: to answer to the best of their ability within a time limit. Pen, paper and calculator were allowed. The use of any kind of reference aids was not permitted (except the periodic table).

Table 1. Examples of PCT questions.

Subtests	Questions	Answers
1. Conversions	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <math>5 \text{ dm}^3 = \text{_____ ml}</math></li> <li>▪ <math>60 \text{ nm} = \text{_____ } \mu\text{m}</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 5000</li> <li>➤ 0.06</li> </ul>
2. Nomenclature	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ What is the chemical formula of phosphoric acid?</li> <li>▪ What is the chemical formula of ferric sulfate?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <math>\text{H}_3\text{PO}_4</math></li> <li>➤ <math>\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3</math></li> </ul>
3. Definitions	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ What is the definition of pH and pOH? (e.g. write the formulas ...)</li> <li>▪ What does the Pauli exclusion principle state?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <math>\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]</math> <math>\text{pOH} = -\log[\text{OH}^-]</math></li> <li>➤ It states that no two electrons in an atom can have the same four quantum numbers</li> </ul>
4. Comparisons	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ In what way are nylon and rubber alike?</li> <li>▪ What is the difference between ethanol and olive oil?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ They are both polymers</li> <li>➤ They have different polarity /or they have different viscosity.</li> </ul>
5. Multiple choice tests	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Catalysts are substances that:               <ol style="list-style-type: none"> <li>a) allow any reaction to occur</li> <li>b) increase the purity of reaction products</li> <li>c) allow non-spontaneous reactions to occur</li> <li>d) modify the rate of reactions</li> <li>e) affect the thermodynamics of reactions</li> </ol> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ D</li> </ul>
6. Stoichiometric problems	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Find the number of moles of HCl contained in 5 ml of a 37 wt.% aqueous solution of HCl. The density of the solution is <math>1.19 \text{ g cm}^{-3}</math>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 5 ml of aqueous solution = 5.95 g</li> <li>5.95 g <math>\times</math> 0.37 = 2.20 g of HCl</li> <li>2.20 / 36.5 = 0.06 mol HCl</li> </ul>
7. Balancing reactions	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <math>\text{Zn} + \text{HCl} \rightarrow \text{ZnCl}_2 + \text{H}_2</math></li> <li>▪ <math>\text{Sn} + \text{HNO}_3 + \text{HCl} \rightarrow \text{SnCl}_2 + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 1, 2, 1, 1</li> <li>➤ 3, 2, 6, 3, 2, 4</li> </ul>

*Scoring:* there was no penalty for wrong answers or guesses and several questions had more than one solution. Each item was scored 1,  $\frac{1}{2}$ , or 0 depending on the degree of understanding expressed and the quality of the response. Each subtest raw score was scaled to a mean of 50 and standard deviation of 10 (T-scores). This conversion was accomplished by preparing a cumulative frequency distribution of raw scores, normalizing these distributions (*z-scores*), and calculating the appropriate scaled score for each raw score. Thus, T-scores for the seven subtests were combined to form a *composite score*. Other details regarding the scoring of the seven subtests are reported in Table 2.

Through the correlation analysis (3), the subtests were divided into two factors, namely knowledge and problem-solving competency. Nomenclature, definitions, comparisons and multiple-choice tests were included in the knowledge factor, whereas the other subtests (conversions, stoichiometric problems and balancing reactions) were related to the problem-solving competency.

## Results and discussions

The reliability coefficient of the PCT obtained by the split-half method (Spearman-Brown formula) was 0.92, which is satisfactory and ensures an acceptable error of measurement (SEM = 3.89). Both types of information have also been considered for the seven subtests, showing the overall consistency of the PCT (Table 2).

**Table 2.** Scoring, Reliability Coefficients and Standard Errors of Measurement of PCT subtests ( $N = 72$ ).

Subtest	Time Limit (Minutes)	Number of questions	Possible Range	Mean and SD	$r^a$	$r^{sb}$	SEM <sup>c</sup>
1. Conversions	5	10	0 through 10	5.1 ± 2.4	0.71	0.83	5.39
2. Nomenclature	5	10	0 through 10	5.6 ± 2.8	0.65	0.79	5.91
3. Definitions	10	10	0 through 10	4.6 ± 2.7	0.72	0.84	5.27
4. Comparisons	10	8	0 through 8	3.9 ± 1.8	0.71	0.83	5.41
5. Multiple choice tests	15	24	0 through 24	15.2 ± 4.6	0.65	0.79	5.91
6. Stoichiometric problems	20	5	0 through 5	2.4 ± 1.1	0.72	0.84	5.26
7. Balancing reactions	10	5	0 through 5	3 ± 1.2	0.66	0.80	5.81
Composite Score	75	72	$T = 50 + z \cdot 10$	50 ± 10	0.85	0.92	3.89

<sup>a</sup> Reliability coefficients obtained by the split-half method.

<sup>b</sup> Reliability coefficients corrected using the Spearman-Brown formula to estimate the reliability of a whole test.

<sup>c</sup> Standard Errors of Measurement, where  $r$  is the “uncorrected” reliability coefficient and SD is the standard deviation.

Despite the relatively small size of the sample these correlations are seen as high. All items are positively correlated with the composite score and this means a high internal consistency. Two bad items were removed from the comparison subtest, due to their low correlation with the total score. Correlations between items and subtest scores are summarized in Table 3. As a whole, the proposed items seem to be fairly well-correlated with the subtest scores, while slightly lower correlation values were obtained with multiple-choice tests. On the other hand, free response questions may allow a subject to demonstrate partial understanding of the topic and are most likely best adapted for testing problem solving and higher-order skills.

**Table 3.** Questions-subtest correlations ( $N = 72$ ).

Subtest	Range	Mean
<b>1. Conversions</b>	0.39 through 0.65	0.54
<b>2. Nomenclature</b>	0.36 through 0.77	0.60
<b>3. Definitions</b>	0.54 through 0.68	0.61
<b>4. Comparisons</b>	0.44 through 0.63	0.55
<b>5. Multiple choice tests</b>	0.25 through 0.59	0.41
<b>6. Stoichiometric problems</b>	0.52 through 0.84	0.66
<b>7. Balancing reactions</b>	0.32 through 0.78	0.65

All correlations are statistically significant at  $p \leq .05$

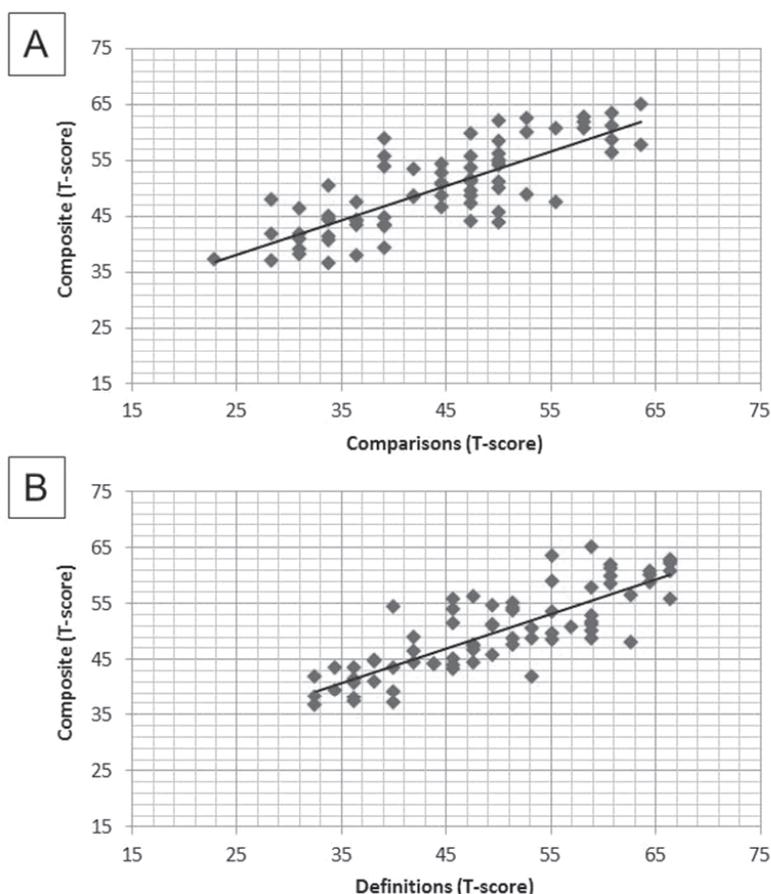
A proper factor analysis was performed on the subtest scaled scores and results are reported in Table 4. The loading on the composite score ranges from 0.75 to 0.82, showing that all subtests are highly correlated with an overall factor, namely chemistry learning. The latter, is an abstraction that stems from the observation that scores on all subtests correlate positively with one another. These findings are in fair agreement with A. Jensen's works [3].

**Table 4.** Principal components analysis of the PCT ( $N = 72$ ).

Subtest	Composite	Knowledge	Problem solving
<b>1. Conversions</b>	0.75	0.65	0.78
<b>2. Nomenclature</b>	0.80	0.79	0.67
<b>3. Definitions</b>	0.82	0.87	0.61
<b>4. Comparisons</b>	0.81	0.84	0.60
<b>5. Multiple-choice tests</b>	0.75	0.82	0.52
<b>6. Stoichiometric problems</b>	0.77	0.64	0.83
<b>7. Balancing reactions</b>	0.58	0.40	0.74

All correlations are statistically significant at  $p \leq .05$ .

Interestingly, definitions and comparisons exhibited the highest correlations with the composite score ( $r = 0.82$  and  $0.81$ , respectively), suggesting that both subtests are suitable for predicting the PCT composite score, as showed in Figure 1A and B, respectively. Worth noting, both tasks require concepts formation and chemistry knowledge and so they may reflect the ability to acquire and manipulate chemical concepts. Moreover, central to comprehension and learning of scientific topics is the identification of relations among data and the reader's prior knowledge [4]. In other words, high-order thinking skills seem to be strongly involved in the learning process of chemistry.

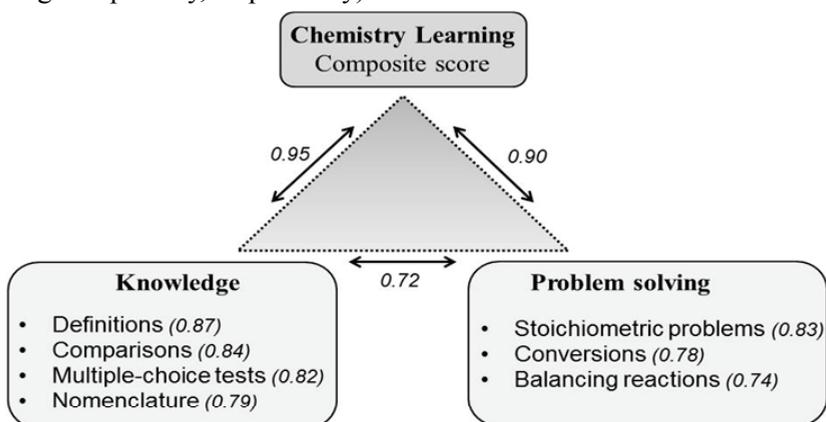


**Figure 1.** Correlation between comparisons/definitions subtest and the composite score (section A and B, respectively). PCT results of 72 first-year engineering students.

However, students were much more motivated to take comparisons items rather than definitions ones. This suggests promising applications of this type of tasks in educational settings, motivating students to think and stimulating their thinking skills (namely critical intelligence).

Also nomenclature subtests display a high correlation with the composite score ( $r = 0.80$ ). Indeed, one has to know the most common compounds used in chemistry to learn new concepts, solve stoichiometric problems and so on. Multiple-choice tests are slightly less loaded with the composite score ( $r = 0.75$ ), although their validity is widely established in literature (5-7). Indeed, many studies reveal that multiple choice tests are the strongest predictors of overall student performance compared with other forms of evaluations, such as in-class participation, case exams, written assignments, and simulation games (5). Moreover, multiple-choice tests are often chosen in educational assessments, because they are more practical for testing large numbers of students.

Not surprisingly, definitions, comparisons, multiple-choice tests and nomenclature subtests carry a higher correlation with the knowledge factor ( $r = 0.83$ , median value), covering mainly knowledge that was learnt during the chemistry course. On the other hand, the problem solving competency, or the attitude to solve new problems, show higher loadings with stoichiometric problems, balancing reactions and conversions subtests ( $r = 0.78$ , median value). Worth noting, a significant correlation exists between the knowledge factor and the problem solving competency ( $r = 0.72$ ), suggesting a “hierarchical multi-stratum model” in which various abilities are involved in the learning process. As reported in Figure 2, both domains are highly loaded with the composite score ( $r = 0.95$  and  $0.90$ , for knowledge and problem-solving competency, respectively).



**Figure 2.** The hierarchical multi-stratum model of chemistry learning based on the PCT results.

Indeed, just as it is not possible to do advanced math without knowing elementary algebra, similarly knowledge of chemistry is crucial to solve stoichiometric exercises (8). On the other hand, implicit knowledge of strategies and procedures may play a role in the subjects' ability to solve scientific problems (8-11). For instance, recent studies on problem solving competency revealed that students perform better when they possess appropriate problem schemas, such as mental categories for each kind of situation described in the problems (12).

In examining subtests inter-correlations (Table 5), one can observe that all seven tasks are fairly well correlated. This shows that all subtests have positive relations with each other: subjects who are good at one task tend to be good at all the others. The most inter-correlated subtests are definitions and comparisons ( $r = 0.65$ ); on the contrary, only moderate inter-correlations are achieved with the balancing reactions subtest ( $r = 0.26 - 0.43$ ). The latter result is likely due to the peculiarity of this subtest, exhibiting the weakest correlation with the knowledge factor ( $r = 0.40$ ).

**Table 5.** Inter-correlations of subtest scaled scores ( $N = 72$ ).

Subtest	1. CON	2. NOM	3. DEF	4. COM	5. MCT	6. SP	7. BR
1. CON	1.00						
2. NOM	0.63	1.00					
3. DEF	0.49	0.62	1.00				
4. COM	0.55	0.51	0.65	1.00			
5. MCT	0.48	0.49	0.62	0.63	1.00		
6. SP	0.53	0.56	0.58	0.50	0.48	1.00	
7. BR	0.30	0.39	0.36	0.34	0.26	0.43	1.00

**Note.** 1.CON = Conversions; 2.NOM = Nomenclature; 3.DEF = Definitions; 4.COM = Comparisons; 5.MCT = Multi-choice tests; 6.SP = Stoichiometric Problems; 7.BR = Balancing reactions.

All correlations are statistically significant at  $p \leq .05$ .

Table 6 reports the comparisons subtest together with the results obtained by the first-year engineering students (other subtests are not reported for brevity). These eight items involve induction, in other words, to find a common feature and to generalize it. The last two items (no. 7 and 8) require

the identification of the main difference between two substances or physico-chemical processes. Thus, easier questions demand widely-used chemical compounds and well known physico-chemical phenomena, while the harder ones ask for chemical notions requiring acquired savant knowledge.

**Table 6.** Comparisons subtest (and statistical data N = 72).

Item	Typology	Possible correct answers	Correct answers (getting at least half credit)
<b>Example. Argon – Neon</b>	similarity	Noble gases ...	97%
<b>1. Graphite – Diamond</b>	similarity	Allotropes of carbon ... Different forms of the same element (carbon) ...	85%
<b>2. Ethanol – Water</b>	similarity	Polar solvents ... Polar molecules ... OH group ...	33%
<b>3. Sublimation – Deposition</b>	similarity	Phase transitions between gas phase and solid phase without passing through an intermediate liquid phase ...	76%
<b>4. Rubber – Nylon</b>	similarity	Polymers ...	57%
<b>5. Fuel - Oxidant</b>	similarity	Agents involved in combustion reactions ...	40%
<b>6. Carbon dioxide - Water; (<math>\Delta H &lt; 0</math>)</b>	similarity	Products of a complete combustion ... Molecules obtained by exothermic reactions (heat of formation) ...	25%
<b>7. Ethanol - Olive oil</b>	difference	Molecules with different polarity ... Substances with different viscosity ...	44%
<b>8. Battery – Electrolytic cell</b>	difference	The battery converts chemical energy into electrical energy, the electrolytic cell transform electrical energy into chemical energy ... In a battery: cathode (-) anode (+), whereas in an electrolytic cell: cathode (+) anode (-) ...	31%

## Conclusions

The learning outcomes of students have been studied through a chemistry questionnaire (PCT). Each part of the PCT examined different skills, namely knowledge of chemistry and problem-solving abilities. Moreover, the comparisons subtest was proposed to consider the role of thinking skills in chemistry learning. The highest inter-correlated subtests were definitions and comparisons and they also exhibited the strongest correlation with the composite score. Noteworthy, both tasks reflect concepts formation and acquired chemistry knowledge. However, students were much more motivated to take comparisons items with respect to definitions ones. Consequently, these results further confirm the great importance of a stimulating educational context, in which students are strongly encouraged to think and learn actively.

## References

1. Harvard Graduate School of Education, Project zero, 2010.
2. H. Gardner, Personal communication, 2012.
3. A. Jensen, *The g Factor: The Science of Mental Ability*, Praeger, 1998, 664.
4. P. Van den Broek, *P. Science*, 2010, **328**, 453-456.
5. N. Bontis, T. Hardie, A. Serenko, *Int. J. Teaching and Case Studies* 2009, **2**, 162-180.
6. M. Scott, T. Stelzer, G. Gladding, *PRST-PER* 2006, **2**, 1-14.
7. T.M. Haladyna, S.M. Downing, M.C. Rodriguez, *Appl. Meas. Educ.* 2002, **15**, 303-334.
8. R. Scherer, R. Tieman, *Comput. Educ.* 2012, **59**, 1199-1214.
9. M. Nieswandt, *J. Res. Sci. Teach.* 2007, **44**, 908-937.
10. M. Prince, *J. Eng. Educ.* 2004, **93**, 223-231.
11. T. Noh, L.C.Scharmann, *J. Res. Sci. Teach.* 1997, **34**, 199-217.
12. R. Sternberg, S.B. Kaufman, *The Cambridge Handbook of Intelligence*, Cambridge University Press 2011, 738-747.

# TRA PASSATO E FUTURO

a cura di **Marco Ciardi** (marco.ciardi@unibo.it)

## Breve storia dell'amianto dall'antichità al '700

Carlotta **Zilioli**

carlotta.zilioli@studio.unibo.it

Amianto e asbesto: il primo è il termine commerciale che denomina il minerale tristemente noto a tutti, a causa delle innumerevoli morti a cui è legato, il secondo è un termine più ampio, che comprende tutte le varietà di serpentini, tra cui anche quelle sfruttate economicamente. Attualmente i due termini sono comunemente usati come sinonimi, per cui anche in questo articolo saranno considerati tali.

L'amianto è ancora presente sia nei paesi dove è stato messo al bando (ad esempio, in Italia se ne trovano almeno 30 milioni di tonnellate) sia in molti paesi asiatici o in Brasile, dove continua ad essere estratto e lavorato. Dato che l'Organizzazione Mondiale della Sanità ha riconosciuto che non c'è una soglia minima al di sotto della quale non si manifesta l'effetto cancerogeno e <<un aumento del rischio di tumori è stato osservato in popolazioni esposte a livelli molto bassi>>, il modo più efficace di eliminare tali effetti collaterali sarebbe di interrompere qualsiasi utilizzo del materiale.<sup>1</sup> Se, da un lato, l'amianto risulta molto dannoso, dall'altro possiede proprietà di innegabile utilità: è un materiale che si trova naturalmente sulla crosta terrestre: oltre ad essere ampiamente disponibile in natura, è facile da estrarre dalle cave a cielo aperto, poco costoso, e <<forte, leggero, indistruttibile. Resistente all'usura del tempo e agli agenti chimici e biologici. Inattaccabile dal fuoco, fonoassorbente. Facile da lavorare, da ridurre in fibre sottili per tessere abiti, o in polvere bianca e fine, per fare la neve finta a Natale. Miscibile al cemento, al gesso, alla calce, e persino alla plastica, per renderla più resistente>>.<sup>2</sup>

È evidente, dunque, come l'asbesto sia ricco di proprietà positive; quel che lo rende così nocivo è il fatto che, una volta che le sue polveri sono inalate nel corpo umano, da lì non possono essere eliminate né lasciate fuoriuscire. Infatti le sue finissime fibre, se da un lato lo rendono duttile e resistente, dall'altro sono indistruttibili all'interno dei tessuti biologici. La massiccia

---

1. Si veda Fronte, Mannucci (2013), pp. 8, 129, 150

2. *Ivi*, p. 129.

esposizione alle polveri d'amianto può provocare l'asbestosi, ossia la formazione di placche fibrose nei polmoni, conseguente a un'inflammazione cronica delle vie respiratorie, dovuta all'inutile tentativo del sistema immunitario di eliminare i micidiali pulviscoli. Questa patologia può comparire fino a 15 anni dopo l'avvenuta esposizione ed è principalmente professionale, diversamente dalle neoplasie, che l'amianto può indurre. Queste sono il tumore al polmone e il mesotelioma, che colpisce pleura e peritoneo e di cui non sono finora note altre cause ad eccezione dell'esposizione all'amianto. Esso compare anche quarant'anni dopo il contatto con l'agente sospeso e non è ancora conosciuta una terapia efficace: porta alla morte entro 12-18 mesi dalla diagnosi. Nel 2012, infine, uno studio britannico ha rilevato un incremento delle possibilità di morte per ictus o infarto per i lavoratori esposti ad amianto, dopo aver seguito per 19 anni 100.000 persone del settore.<sup>3</sup>

Possedendo caratteristiche così straordinarie e, ancor più, trovandosi in natura, l'asbesto è stato sfruttato fin dalle origini: in particolare, frammenti e oggetti da cucina risalenti al Neolitico sono stati ritrovati dagli archeologi in Finlandia, Russia centrale, Norvegia e alcuni siti lapponi della Siberia.<sup>4</sup> Le prime fonti scritte, tuttavia, risalgono ai greci: Teofrasto, l'allievo di Aristotele, scrive l'opera *Sulle rocce*, in cui parla di una pietra rassomigliante a legno marcio la quale brucia se ci si versa sopra dell'olio, ma cessa completamente una volta che siffatto combustibile sia completamente esaurito. Egli però non fornisce denominazioni per la pietra citata, fatto che ha dato adito ad una molteplicità di interpretazioni tra loro discordanti.<sup>5</sup> È comunque nella lingua greca che sono conosciuti i due principali nomi per indicare il minerale ignifugo: Dioscoride, che per primo la utilizza, impiega la parola *ἀμίαντος* nel senso di "impossibile a sporcarsi/ insudiciarsi" (*μαίω*), perché gli scarti organici che macchiavano i tovaglioli bruciavano, mentre il tessuto restava inalterato.<sup>6</sup> Il vocabolo *ἄσβεστος*, invece, deriva dalla radice *σβέννυμι* preceduta dall'alfa privativa ed ha assunto il significato di incombustibile,<sup>7</sup> ma anche di inestinguibile, con riferimento allo sfruttamento per produrre stoppini che non bruciassero né si consumassero. I due termini, comunque, erano stati impiegati come aggettivi, senza alcun riferimento al minerale, a partire dal corpo omerico.<sup>8</sup> La più antica testimonianza certa su tessuti d'amianto risale invece al geografo greco Strabone che, al libro X della sua *Geografia*, scrive a proposito di una

3. Si veda *ivi*, p. 131-133.

4. Si veda Bonanni (2012), pp. 15-16.

5. Si veda Mottana, Napolitano (1997), p. 160.

6. Si veda Halleux (2010), p. 385.

7. Si veda Browne (2003), pp. 65-66.

8. Si veda Maines (2005), p.24. Ad esempio, in *Iliade* 16, 123 si trova l'espressione *ἄσβεστος φλόξ*.

pietra proveniente da Caristo, dalla quale si ricavano tessuti che possono essere lavati gettandoli nel fuoco. Questo è uno dei primi impieghi del minerale, che rimarrà celebre a lungo: basti pensare che Giovanni Ciampini, membro dell'Accademia Fisico-matematica di Roma, ancora nel XVII secolo propone un metodo per filare l'asbesto, esplicando con ordine ciascun passaggio e fornendo una raffigurazione di ciascuno strumento richiesto per tale tessitura.<sup>9</sup> Anche nel '700 troviamo la figura di Maria Candida Medina-Coeli Lena-Perpentì, che scopre un metodo per riprodurre gli artefatti degli antichi e giunge a fabbricare tele incombustibili, finissimi merletti, fettucce, rasi e anche della carta, ottenendo riconoscimenti internazionali.<sup>10</sup>

L'altro impiego dell'asbesto celebre fin dall'antichità consiste nella produzione di stoppini per alimentare lampade eterne; tra i primi a farne menzione è Pausania che, nella *Periegesi della Grecia*, ricorda una lucerna creata da Callimaco e collocata nel tempio di Minerva, sull'Acropoli di Atene, in cui l'olio per alimentare la fiamma era cambiato solo una volta all'anno, nonostante il fuoco rimasse acceso giorno e notte. Halleux suggerisce che la descrizione ricorda quelle delle lampade capaci di ricaricare autonomamente il proprio combustibile, presenti negli *Automata* dello 'scienziato' Erone di Alessandria, vissuto tra il I e il II secolo avanti Cristo. Le peculiarità di uno stoppino incombustibile, che Halleux assume sia in amianto, sono, da un lato, che, a differenza di quelli vegetali, non si carbonizza, dall'altro, che diffonde una bella luce bianca, ma anche che continua a brillare per qualche tempo, dopo che la fiamma si sia spenta.<sup>11</sup>

La fonte dell'antichità che risulta più citata relativamente al minerale in grado di rimanere inalterato tra le fiamme è Plinio il Vecchio, che, nella sua monumentale *Historia naturalis*, inserisce sia il termine *Amiantus* al libro XXXVI, dedicato alle pietre, sia *Asbestos* al libro XXXVII. La descrizione più lunga tuttavia appare al libro XIX, dedicato a sostanze di origine vegetale.<sup>12</sup>

9. Si veda Ciampini (1696), pp. 12-14.

10. Si veda Nebbia (2012) all'indirizzo *web*

<http://www.fondazionemicheletti.it/nebbia/sm-xxxx-sullamianto-2012/>. La donna riceve nel 1806 una medaglia d'argento e nel 1807 una d'oro dall'Istituto Nazionale di Milano, scambia con il principe di Beauharnais dei guanti d'asbesto ottenendo una preziosa collana.

11. Si veda Halleux (2010), p. 384.

12. Questo ha provocato controversie circa l'identificazione da parte di Plinio dell'asbesto con un vegetale o un minerale: Moore ritiene che la sostanza di cui parla al libro XIX non debba necessariamente essere amianto, Bostock, Riley e il geologo, naturalista statunitense Dana stimano che Plinio la inserisse tra i vegetali. Di parere opposto è Laufer, che argomenta che *linum* non rimanda necessariamente ad una fibra vegetale e lo stesso verbo *nascitur* può essere usato anche per un minerale, come compare nella *Historia naturalis* stessa a proposito del diamante dell'India. Si veda Laufer (1915), p. 307.

Qui si tratta di una fibra incombustibile chiamata *linum vivum* o *asbestinum*. Riguardo ad essa, Plinio richiama l'uso di gettare le tovaglie nel fuoco per mondarle delle macchie dopo i pasti e parla delle tuniche funebri destinate a conservare le ceneri dei re nelle pire. Anche la caratteristica di essere fonoassorbente era già stata riconosciuta: il naturalista cita l'opinione di Anassilao, secondo cui si può abbattere un albero senza essere uditi, se lo si sia avvolto con un tessuto di 'lino vivo'. Nel Medioevo si continua a testimoniare l'uso di tele ricavate dal minerale, tra le quali la più famosa è la tovaglia di Carlo Magno, di cui si racconta venisse gettata nel fuoco, per stupire i commensali.<sup>13</sup> Successivamente, si continua a tramandare della capacità degli antichi di produrre indumenti d'amianto ma i racconti non si accompagnano alla pratica, così che nel '500 il naturalista Ulisse Aldrovandi può constatare che siffatta abilità è da tempo andata perduta, ad eccezione di piccole zone in cui si è mantenuta, come in Eubea.<sup>14</sup> Nel XVII secolo, Marco Aurelio Severino, interlocutore napoletano di Cassiano dal Pozzo, afferma che al suo tempo si può ritrovare in natura una quantità d'amianto più che sufficiente per essere studiata, mentre rarissimi sono gli indumenti tessuti dal minerale, tra cui quello custodito nel museo di Ferrante Imperato.<sup>15</sup> Il medico Boezio De Boodt si sofferma sulle tele d'asbesto per mettere in evidenza il loro alto prezzo dovuto all'impossibilità di ritrovare il metodo di tessitura di cui si erano serviti gli antichi, mentre secondo Plinio il loro valore economico era alto a causa della rarità della materia prima.<sup>16</sup> Ancora nel '600, un altro testimone della difficoltà di trovare chi sappia tessere i filamenti d'asbesto è Kircher, il quale tuttavia ritiene giusto che tale sapere sia riservato a pochi e per questo si vanta ancora di più di possederne manufatti, tra cui un esemplare di carta, su cui si può riscrivere, dopo essere uscita come nuova dalle fiamme.<sup>17</sup>

L'*Historia naturalis* rappresenta comunque un punto fondamentale nella storia delle conoscenze sull'amianto: essa viene ripresa dalla maggior parte degli autori medievali ma anche in periodi successivi, quando ormai i dati sul minerale incombustibile sono molto più numerosi. L'opera di Plinio rimane il termine di paragone con cui confrontarsi, sia che la si sfrutti come conferma o che si spieghino le cause degli errori del naturalista latino, come nel caso del saggio sul 'lino incombustibile' scritto a metà '700 da Mahudel.

13. Tuttavia, entrambe le più importanti biografie del sovrano franco non ne fanno alcuna menzione. Per questo, è probabile che la leggenda sia posteriore al IX secolo, periodo in cui la reputazione del re si era progressivamente ampliata, tanto da assumere un alone messianico. Si veda Mottana (1999), p. 387; Maines (2005), 30, 199.

14. Si veda Aldrovandi (1696), pp. 663-664

15. Si veda Browne (2003), p. 68.

16. Si veda De Boodt (1647), p. 385

17. Si veda Kircher (1664), p.70.

Durante il periodo medievale, tra coloro che si rifanno alle fonti classiche sull'asbesto è Agostino, responsabile di un fraintendimento che durerà a lungo: basandosi unicamente sulla lettura dei testi precedenti, in particolare quelli che riportano il racconto del celebre candelabro sempre acceso nel tempio di Venere, egli crede che siffatta pietra non solo sia in grado di resistere al fuoco, ma anche di mantenere una fiamma che nessun vento e neppure il più violento temporale sono in grado di spegnere. Il testo del padre della Chiesa è a sua volta ripreso da innumerevoli autori, che ripetono il medesimo errore, segno di un atteggiamento tipico degli intellettuali del tempo: questi si limitano a riscrivere quanto proposto dalle autorità, senza compiere alcuna verifica, che, nel caso dell'amianto, avrebbe facilmente confutato l'idea che il minerale potesse alimentare una fiamma inestinguibile.

Inoltre, è proprio nel Medioevo che l'amianto si lega a significati simbolici: in particolare, è associato dal teologo domenicano Giovanni da San Gimignano alle fiamme eterne dell'inferno e simile accostamento è presente nel lapidario scritto da Marbodo di Rennes. L'asbesto e le sue particolari proprietà rimandano quindi al meraviglioso e alla manifestazione della potenza divina; il minerale ignifugo è considerato come un elemento incredibile e legato ai racconti più favolosi, come quello che associa le sue fibre al pelo della salamandra, il mitico animale che è ritenuto capace di vivere tra le fiamme. Tale accostamento sarà smentito solo a partire dal '300, quando Marco Polo nel *Milione* nega che l'asbesto possa essere il pelo della meravigliosa creatura, avendo potuto vedere in prima persona la lavorazione della fibra, nella provincia cinese di Chinghitalas.<sup>18</sup> In ogni caso, ancora non è chiara la natura dell'asbesto, associato sia al mondo animale, vegetale o inorganico.<sup>19</sup>

18. Si veda Polo (1982), pp. 70-71. L'amianto è in effetti spesso associato all'oriente: già Plinio il vecchio riconduce la sua capacità di resistere illeso al calore delle fiamme alla sua presunta origine nelle terre desertiche dell'India. Ancora nel XVIII secolo, tuttavia, quest'associazione non è venuta meno: Jaucourt, nobile francese, autore dell'articolo dedicato al 'lino incombustibile' presente nell'*Encyclopédie*, sostiene addirittura che il modo di tessere l'asbesto fosse noto ai popoli asiatici, ma non ai romani, giustificando la sua tesi con il fatto che solo così si può spiegare l'alto prezzo dei manufatti di tal genere, che altrimenti sarebbe stato esagerato. Si veda D'Alembert, Diderot (2013), vol IX, pp. 547-548.

19. Tale confusione perdura a lungo: se da un lato Marco Polo nel *Milione* mette bene in chiaro come l'amianto non deriva dalla pelle della salamandra, ma sia una roccia, che egli stesso ha visto trattare in Cina nella provincia di Chingitalas (Chienchintalas) per ottenerne fibre atte ad essere filate, dall'altro ancora nel '700 permangono alcune voci contrastanti. Nonostante la maggior parte dei naturalisti convenga sull'appartenenza al mondo inorganico dell'asbesto, alcuni, come il conte Ubertino Landi, credono che non possa trattarsi di altro che di un vegetale, dato che sembra presentare radici e si trova sottoterra. Si veda Polo (1982), pp.70-71; Landi (1725), p. 401.

Ancora una volta, si conferma come l'amianto nel Medioevo non sia conosciuto tramite analisi dirette, bensì attraverso racconti tramandati da un autore all'altro: in questo contesto c'è anche chi approfitta della situazione a proprio vantaggio e vende pezzi d'asbesto come frammenti della croce di Cristo, sfruttando la somiglianza del minerale ignifugo con il legno.<sup>20</sup>

A partire dal '500, si inizia a diffondere un nuovo atteggiamento, che ha ripercussioni anche sul modo di descrivere l'amianto; questo mutamento avviene gradualmente, come si può vedere dall'ultimo dei lapidari, ad opera di Camillo Leonardi. Egli si inserisce in un genere tipicamente medievale, riprende la teoria aristotelica sull'origine delle pietre, a cui non rifiuta di attribuire qualità magiche, come quella di proteggere dalle maledizioni, ma descrive anche caratteristiche riscontrabili attraverso un'osservazione diretta, quali la lucentezza o la densità.

La figura decisamente rappresentativa del nuovo atteggiamento del ricercatore che non disdegna le attività pratiche, ma anzi va a ispezionare il lavoro dei minatori nelle cave, è quella di Agricola. Egli, distaccandosi dagli alchimisti, cerca di comprendere la natura dell'amianto, studiata facendo attenzione ai procedimenti tecnici in cui il minerale è coinvolto, come quello per dividere l'oro dall'argento, o per produrre l'allume. Nonostante il mutamento evidente, incentrato soprattutto su una rivalutazione delle pratiche degli artigiani, anche Agricola continua a tenere in gran considerazione i resoconti degli antichi, verso i quali comunque mantiene uno sguardo critico: così, cita Plinio, ma anche cerca di rifondare la classificazione delle pietre di Dioscoride, Aristotele, Avicenna, Alberto Magno. Egli descrive molti elementi inorganici, esaminandone forma, colore, consistenza: relativamente all'amianto, formato da filamenti che ricordano capelli, afferma che non deriva dalla calce né dal gesso, ma contiene in sé un suo specifico succo.<sup>21</sup> Viene anche esaminata la distinzione tra asbesto e *alumen scissile*, tra i quali esiste una somiglianza per aspetto, ma possono essere distinti appoggiandoli sulla lingua. Successivamente, sia i due materiali saranno più volte messi a confronto, sia l'amianto sarà paragonato a un'altra specie di allume, ossia quello *plumosum*.<sup>22</sup>

20. Si veda Gilroy (1845), p. 397.

21. Nel Rinascimento, rimane l'influsso di idee aristoteliche per spiegare l'origine dei fossili, a partire da semi inclusi nel terreno sotto l'azione di una forza insita nelle rocce: da esse deriva anche la teoria sostenuta Agricola del *succus lapidescens*, spirito vitale proveniente dal profondo della terra.

22. Si veda Bauer (1550), p. 63; Maines (2005), p. 33

Agricola rimane un punto di riferimento importante per molti autori successivi: già viene ripreso da naturalisti a lui pressoché contemporanei, come Gesner e Kentman, con i quali prosegue l'intento di ottenere una classificazione del mondo inorganico e non solo, che sia sempre più precisa ed esaustiva. Cinquant'anni dopo l'opera di Gesner, è pubblicato il *Musaeum metallicum* di Ulisse Aldrovandi, che pur condividendo la struttura tipica dell'enciclopedia e ricercando di fornire dati onnicomprensivi, presenta il contenuto in maniera più specifica, seguendo attraverso vari capitoli i molteplici aspetti di ogni oggetto preso in esame.<sup>23</sup> Egli fornisce una descrizione del materiale che sembrerebbe derivare da un'osservazione empirica: colloca l'amianto tra le pietre scissili, come allume o l'ematite, caratterizzate da una costituzione filamentosa.<sup>24</sup> Accanto al nuovo atteggiamento desideroso di ottenere verifiche dirette, convivono credenze ancora ispirate alla religione o a questioni morali: egli, riprendendo il passo di Isaia, riconduce la capacità di resistere alle fiamme ad un dono divino, associa l'asbesto alla virtù della pazienza, della perseveranza e della costanza, ma anche alla carità e al timor di Dio.<sup>25</sup> Con Aldrovandi si sono individuati più tipi di amianto, le cui differenze sono spiegate in base ai molteplici luoghi d'origine; così la maggior parte degli autori successivi ne aggiunge nuove, mano a mano che sono trovate cave fino a quel momento ignote. Paolo Boccone, avendo potuto viaggiare per l'Europa, parla di un asbesto proveniente dalla Corsica, che presenta altre caratteristiche rispetto a quello situato a Sestri Ponente, a loro volta diverse dalla qualità di Cipro. Le varie specie vengono a poco a poco riconosciute più o meno adatte a certe lavorazioni: così, Giovanni Ciampini ne distingue una reperibile in Corsica, che ritiene sia la maggiormente indicata per la tessitura, quella più corta e molle proveniente da Sestri Ponente, un'altra simile a una cipolla, che si rivela la più idonea per la preparazione della carta.<sup>26</sup>

Inoltre, dal '500 in avanti, i naturalisti si distinguono dai loro predecessori per il desiderio di ottenere un'esperienza diretta di quel che studiano, che si concretizza nella diffusione di escursioni, in cui è possibile fare osservazioni degli oggetti nel loro contesto, ma anche raccogliere campioni che possono essere accumulati all'interno di spazi loro dedicati, per essere esaminati più scrupolosamente. Aldrovandi e Mercati, oltre che tramite scambi, ottengono esemplari per le loro collezioni dai viaggi che compiono. È proprio in questo

23. Si veda Ashworth (1990), pp. 313-314.

24. Si veda Aldrovandi (1696), pp. 657-658.

25. Si veda *ivi*, p. 663. Il passo di Isaia a cui il naturalista bolognese fa riferimento afferma: <<cum ambulaveris in igne, non combureris, et fiammae non ardebunt in te, quia ego Dominus tuus Sanctus in Israel>>.

26. Si veda Boccone (1697), pp. 159-160; Ciampini (1696), pp. 13-14.

contesto che nascono i musei, tra cui sono celebri quello di Ferrante Imperato a Napoli e Francesco Calzolari a Verona, in cui sono conservati anche oggetti d'amianto, divenuti ormai rari. Il primo è in particolare autore di una *Historia naturale*, arricchita da pregiate illustrazioni, tra cui quella divenuta celebre della prova di sottoporre una corda d'amianto alla fiamma. I musei effettivamente diventano spesso il luogo di esperimenti, che gli studiosi di storia naturale cominciano a compiere anche nei loro studi. La storia di siffatti spazi è abbastanza esplicativa di analoghe trasformazioni che coinvolgono la cultura stessa tra '500 e '600: si può vedere come i cataloghi dei musei di Calzolari e Imperato, di cui esiste una duplice edizione, mutino, passando dall'interesse principale di analizzare le proprietà medicinali degli esemplari posseduti, a quello di mettere in risalto lo *status* del proprietario. Analogamente, si inseriscono racconti favolosi con l'intento di stupire: l'esperimento, che nel '500 ha come scopo principale quello di permettere una conferma di ipotesi e un avanzamento delle conoscenze, nei cento anni successivi diventa un mezzo per offrire meravigliosi spettacoli, che così esibiscono la ricchezza e l'elevato *status* sociale del proprietario.<sup>27</sup>

Il XVII secolo vede anche l'edizione degli ultimi lapidari, come quelli di Cesalpino, De Laet e De Boodt, i quali dedicano un capitolo ciascuno all'amianto, di cui descrivono aspetto, richiamano quanto detto da autori precedenti e gli usi a cui è stato adibito, tra cui quelli farmaceutici. In particolare, De Boodt inserisce una ricetta per preparare un unguento utile a curare la tigna nei bambini e le ulcerazioni alle gambe. L'asbesto viene anche consigliato per combattere la scabbia, le vene varicose e, mescolato con acqua e zucchero, per le perdite vaginali bianche delle donne.<sup>28</sup>

Nello stesso periodo si vanno diffondendo concezioni meccanicistiche e corpuscolari come quella di Nicolas Lémery, figura importante per la nascita della chimica, il quale considera il fuoco non più aristotelicamente come principio, ma come «sostanza particellare capace di operare la calcinazione (ossidazione) dei metalli».<sup>29</sup> Se da un lato Lémery si distacca dalle spiegazioni vaghe ed oscure dei paracelsiani, dall'altro cerca di accordare le nuove conoscenze con le tradizionali dell'alchimia e della iatrochimica.

Questa commistione tra un sapere esoterico e conoscenze disponibili al controllo e verifica di ciascun individuo è sicuramente presente nell'opera di Kircher, proprietario di un museo barocco, come quelli di Settala o Worm. Il gesuita, che è a conoscenza delle varie teorie proposte dagli autori precedenti a proposito dell'amianto, ritiene che l'asbesto appartenga ad una certa specie

27. Si veda Findlen (1994), pp. 198-200.

28. Si veda De Boodt (1647), pp. 383-385; Carnevale, Chellini (1992), p. 25.

29. Abbri (1978), p. 20.

di talchi o allumi e ne mette in risalto la sua caratteristica più straordinaria, ossia quella di mantenersi inalterato tra le fiamme. Proprio il laboratorio all'interno del suo museo diventa il luogo dove può compiere osservazioni della pietra, di cui cerca di comprendere i possibili usi, come quello delle lampade perenni, che secondo Kircher non possono essere veramente tali; nonostante questo, egli propone un'opera da lui stesso progettata e illustrata, che rende ininterrotto il fluire del combustibile per mantenere una fiamma eterna.<sup>30</sup> Con Kircher si ha testimonianza anche di un'apertura verso nuovi orizzonti, in particolare ad oriente: egli esprime curiosità verso la Cina, terra misteriosa e lontana, di cui si iniziano a avere maggiori descrizioni, dal *Milione* di Marco Polo all'*Atlas Sinicus* di Martino Martini.<sup>31</sup> L'interesse verso questo territorio a lungo chiuso alla penetrazione europea si mantiene anche nel XVIII secolo: ad esempio, Bergman propone racconti che attribuiscono ai cinesi la fabbricazione di balze d'asbesto per abbellire i loro abiti e lavarli nel fuoco. Se, da un lato, il XVII secolo è quello generalmente associato al dispiegarsi della rivoluzione scientifica, rimangono tuttavia ancora presenti resoconti legati alle leggende tradizionali, come *Il mercato delle meraviglie della natura* del siciliano Nicolò Serpetro, il quale lega ancora il minerale ignifugo ad un alone di stupore e d'incanto.<sup>32</sup>

Kircher è anche un ricercatore che coniuga sapere teorico e pratico, portando avanti quel connubio tra scienza e tecnica, inaugurato già con il cannocchiale di Galilei, che, a partire dal '600 sarà caratterizzante di tutto il '700, in cui si costruiscono strumenti per acquisire nuovi dati sugli oggetti analizzati. Thomas White, filosofo del '600 inglese, celebra le scoperte della propria epoca, in cui si è giunti a trovare un modo per accendere un fuoco in grado di danneggiare addirittura anche l'amianto.<sup>33</sup> Nel '700, i resoconti di esperimenti sull'asbesto sono forse ancor più frequenti, spesso eseguiti nelle Accademie delle scienze, tra cui quella del Cimento, dei Fisiocritici di Siena, o la *Royal Society*, che tra il 1680 e il 1741 pubblica una vasta serie di articoli sul tema. Frequentemente gli studiosi di storia naturale vanno direttamente sul posto per esaminare quanto cercato, altre volte sottopongono i campioni a determinate condizioni, osservando il comportamento dell'amianto nell'acqua, nel fuoco, alle elevate temperature di crogioli ed altiforni.

30. Si veda Kircher (1664), pp. 72-77.

31. Si veda Kircher (1667), pp. 206-207.

32. Si veda Serpetro (1653), pp. 167-168.

33. Si veda White (1656), pp. 65-66.

Nello stesso periodo, soprattutto nel Nord Europa, vengono scritte nuove classificazioni ad opera dei primi chimici, che prendono in considerazione la composizione dei minerali: in Germania opera Johann Heinrich Pott, secondo cui ciascuna catalogazione deve derivare da una scomposizione di ogni elemento nelle sue parti costitutive, piuttosto che da considerazioni puramente teoriche.<sup>34</sup> In Svezia Cronstedt scrive un *Saggio di mineralogia* con l'intento di fondarlo solo sulla pratica chimica; in esso, colloca l'amianto tra le terre costituite principalmente da magnesia e da terre argillose. Egli quindi distingue diverse varietà, tra cui l'*Asbestus membranaceus*, composto da strati sottili e morbidi, e *fibrosus*, caratterizzato da minuti e flessibili filamenti, di ciascuno dei quali individua ulteriori sottogruppi.<sup>35</sup> Altra importante classificazione è realizzata da Torbern Olof Bergman, che colloca l'asbesto tra le *pierres magnésiennes*, stimando sia un composto di magnesia con terra di silice, calce, argilla. Egli analizza il materiale in diversi contesti, potendo così fornire un approfondito resoconto dei suoi vari comportamenti; inoltre, elenca molteplici specie, che si differenziano per conformazione e per la quantità con cui è presente ciascun componente, ma anche per le conseguenti reazioni a contatto con fuoco, acqua, borace o altri acidi.<sup>36</sup>

Tanto Cronstedt quanto Bergman, nonostante privilegino l'analisi chimica, lasciano uno spazio alla descrizione degli usi dell'amianto: il primo mette in dubbio che gli antichi realizzassero veramente abiti dal minerale, osservando l'aspetto sgradevole e la scarsa utilità dei pochi esemplari presenti, trovando come unico impiego che avesse un effettivo vantaggio quello, ormai non più in uso, di preservare le ceneri dei re nei roghi. Il secondo concorda pienamente, aggiungendo che indumenti d'asbesto ai vivi provocherebbero solo un'intollerabile irritazione della pelle; considerando che anche la carta non porta alcun beneficio rilevante e le lampade richiederebbero una continua manutenzione, conclude che gli artefatti d'amianto non sono che un curioso fenomeno della fisica.<sup>37</sup>

Non tutti sono tuttavia del medesimo parere e cercano di trovare una tecnica di lavorazione con cui sfruttare il minerale dalle straordinarie proprietà: Giovanni Ciampini nel '600 aveva descritto un modo per tesserne i filamenti, ma è soprattutto dall'inizio del XVIII secolo che si avviano le pri-

34. Si veda Abbrì (1998), p. 559.

35. Si veda Cronstedt (1788), pp. 114-119.

36. Si veda Bergman (1784), p. 117.

37. Si veda Bergman (1741), pp. 203-204.

me produzioni, sebbene ancora in scala molto limitata. Tra le figure di spicco risalta quella di Candida Lena Perpentì, la quale, volendo ritrovare il metodo degli antichi, ma anche con l'intento di valorizzare le cave valtellinesi, fabbrica guanti, tele e tessuti d'amianto, ricevendo riconoscimenti e ottenendo una celebrità internazionale. Dopo di lei, Antonio Vanossi propone una tuta d'asbesto, utile soprattutto ai pompieri; alla creazione di un indumento ignifugo, che permetta di passare illesi tra le fiamme, si dedica anche Giovanni Aldini, propugnatore dell'amianto italiano all'estero, il quale, grazie alle sue competenze tecniche, ottiene che il suo modello sia venduto in molte città europee.

Nonostante questo, egli non diventa ricco grazie alla propria invenzione; il primo miliardario dell'amianto è l'americano Henry Ward Johns, fondatore della *Johns Manufacturing Company*, che produce materiali amiantati d'ogni tipo. In ogni caso, a partire dalla fine del XVII ma soprattutto dal XVIII secolo, nasce e si consolida un nuovo atteggiamento e interesse nei confronti del minerale ignifugo, che non ha più come obiettivo né il racconto di incredibili meraviglie, né la conoscenza delle proprietà caratterizzanti di questo oggetto naturale, bensì l'analisi di quanto gli esseri umani possono ricavare da esso, delle tecniche pratiche realizzabili per lavorarlo. Ironia della sorte, si continuerà ancora a lungo a prendere atto degli apporti positivi dell'uso dell'amianto, senza notare i gravissimi danni sulla salute, che, soprattutto nel '900, ad esso saranno legati. I primi resoconti della nocività del materiale, tuttavia, risalgono alla fine dell'800: nel 1898 l'ispettrice del lavoro in fabbrica Lucy Deane descrive una malattia delle vie aeree causata dalle polveri d'amianto, l'anno successivo il medico Montague Murray attribuisce la morte di un suo giovane paziente all'inalazione della medesima sostanza.

Il ritardo tra la scoperta di effetti dannosi e l'avviamento di necessari provvedimenti è evidente, soprattutto a causa degli interessi delle grandi attività produttive, che spesso hanno assoggettato e assoggettano il potere politico.<sup>38</sup>

38. Si veda Fronte, Mannucci (2013), p. 137.

## Bibliografia

- Abbrì Ferdinando (1978), *La chimica del '700*, Torino, Loescher Editore.  
 Abbrì Ferdinando (1988), *Le teorie chimiche*, in Paolo Rossi (diretta da), *Storia della scienza moderna e contemporanea, Dalla rivoluzione scientifica all'età dei lumi*, Vol I, pp. 535-566, Torino, UTET.

- Aldrovandi Ulisse (1696), *Musaeum metallicum in libros 4 distributum*, Bologna, Marcus Antonius Bernia propriis impensis in lucem edidit.
- Ashworth William B. jr (1990), *Natural history and the emblematic world view*, in Lindberg David C., Westman Robert S., *Reappraisals of the Scientific Revolution*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Bauer Georg (1550), *De natura fossilium*, in *Di Giorgio Agricola De la generatione de le cose, che sotto la terra sono e de la cause de'loro effetti e nature; De la natura de quelle cose, che da la terra scorrono; De la natura de le cose Fossili, e che sotto la terra se cavano; De la minere antiche e moderne*, Venezia, edito ad opera di Michele Tramezzino.
- Bergman Torbern (1741), *Essays physical and chemical*, Edimburgo, stampato per G. Mudie e J. & J. Fairbairn.
- Bergman Torbern (1784), *Manuel du minéralogiste, ou sciagraphie du règne minéral, distribué d'après l'analyse chimique*, tradotto e arricchito di note a cura di J. A. Mongez, Parigi, presso Cuchet, sotto il privilegio dell'Accademia Reale delle Scienze.
- Boccone Paolo (1697), *Museo di piante rare della Sicilia, Malta, Corsica, Italia, Piemonte, e Germania dedicato ad alcuni nobili patritii veneti, protettori della Botanica, e delle Buone Lettere, con L'Appendix ad Libros de Plantis Andrea Cesalpini, e varie osservazioni curiose con sue figure in rame*, Venezia, per Giovanni Battista Zuccato.
- Bonanni Ezio (2012), *La storia dell'amianto nel mondo del lavoro. Rischi, danni, tutele*, << Rivista Giuridica Telematica >>, 6, 1.
- Browne Clare (2003), *Salamander's Wool: The Historical Evidence for Textiles Woven with Asbestos Fibre*, <<Textile History >>, 34, 1, pp. 64-73.
- Carnevale Francesco, Chellini Elisabetta (1992), *Amianto: miracoli, virtù, vizi*, Firenze, Editoriale Tosca.
- Ciampini Giustino (1696), *Del lino incombustibile overo della pietra amianto*, in *La galleria di Minerva overo notizie universali di quanto è stato scritto da Letterati di Europa non solo nel presente Secolo, ma ancora ne' già trascorsi, in qualunque materia Sacra e Profana*, Venezia, presso Girolamo Albrizzi.
- Cronstedt Axel Fredrik (1788), *An Essay Towards a System of Mineralogy, Volume 1*, Londra, stampato per Charles Dilly.
- D'Alembert Jean le Rond, Diderot Denis (1758), *Encyclopédie, ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers, par une société de gens de lettres*, a cura di Robert Morrissey (2013), Università di Chicago, ARTFL Encyclopédie Project.
- De Boodt Boetius (1647), *Gemmarum et lapidum historia*, Leida, ex officina Ioannis Maire.
- Findlen Paula (1994), *Possessing Nature. Museums, Collecting, and Scientific Culture in Early Modern Italy*, Berkeley and Los Angeles, University of California Press.
- Fronte Margherita, Mannucci Pier Mannuccio (2013), *Aria da morire. I danni dell'inquinamento alla salute e le buone azioni per ridurre il problema*, Milano, Baldini Castoldi Dalai editore.

- Gilroy G. Clinton (1845), *The History of Silk, Cotton, Linen, Wool, and Other Fibrous Substances*, New York, Harper & Brothers.
- Halleux Robert (2010), *Techniques et légendes de l'amianté dans l'Antiquité et au Moyen-Âge*, << Comptes rendus des séances. Académie des Inscriptions et Belles Lettres >>, 1, pp. 383-390.
- Kircher Athanasius (1664), *Mundus subterraneus: in XII libros digestus*, Amsterdam, presso Ioannem Ianssonium & Elizeum Weyerstraten.
- Kircher Athanasius (1667), *China monumentis, qua sacris qua profanis, nec non variis, naturae & artis spectaculis, Aliarumque rerum memorabilium argumentis illustrata, auspiciis Leopoldi Primi*, Amsterdam, presso Jacobum à Meurs.
- Landi Ubertino (1725), *Dissertazione intorno all'amianto recitata nell'Accademia Medico-fisica Matematica nell'anno 1725*, in A. Calogerà, *Raccolta d'Opuscoli Scientifici e Filologici*, Tomo IX, Venezia, appresso Cristoforo Zane.
- Maines Rachel (2005), *Asbestos And Fire: Technological Trade-offs And The Body At Risk*, New Brunswick, Rutgers University Press.
- Mottana Annibale, Napolitano Michele (1997), *Il libro <<Sulle pietre>> di Teofrasto. Prima traduzione italiana con un vocabolario dei termini mineralogici*, <<Rendiconti Fisici dell'Accademia dei Lincei>>, 9 8, pp. 151-234.
- Mottana Annibale (1999), *Oggetti e concetti inerenti le Scienze Mineralogiche ne La composizione del mondo con le sue cascioni di Restoro d'Arezzo (anno 1282)*, <<Rendiconti Lincei>>, 10 3, pp. 133-229.
- Nebbia Giorgio (2012), *Sull'amianto*, <<La Gazzetta del Mezzogiorno>>, <http://www.fondazionemicheletti.it/nebbia/sm-xxxx-sullamianto-2012/>.
- Polo Marco (1982), *Il milione*, a cura di Gabriella Ronchi, Milano, Arnoldo Mondadori Editore.
- Serperto Nicolò (1653), *Il mercato delle meraviglie della natura ovvero Istoria Naturale*, Venezia, per il Tomasini.
- White Thomas (1656), *Peripateticall institutions. In the way of that eminent person and excellent philosopher Sr. Kenelm Digby. The theoreticall part. Also a theologicall appendix of the beginning of the world*, Londra, stampato da R. D.



## **Science on Stage Europe**

Per il festival Europeo Science on Stage (17 – 20 Giugno 2015) SCIENCE ON STAGE ITALIA cerca insegnanti con idee innovative nell'insegnamento delle scienze. Si offre un vivace scambio di esperienze con colleghi di tutta Europa.

Data limite per la presentazione delle proposte: 01/09/2014

“Science on Stage Europe” (<http://www.science-on-stage.eu> ) è un progetto europeo che intende raccogliere quanto di meglio, di innovativo, di stimolante si propone in Europa per la diffusione delle conoscenze e per il rinnovamento della didattica nel campo delle Scienze sperimentali.

Il progetto è rivolto a insegnanti di ogni ordine di scuola, dall'infanzia alle superiori, ricercatori e esperti di didattica.

Insegnanti di Scienze, Biologia, Chimica, Fisica e Matematica e insegnanti di scuola del primo ciclo, ricercatori ed esperti in didattica sono invitati ad inviare la loro domanda di partecipazione alla selezione nazionale a Science on Stage Italia entro il 1 settembre 2014.

Le edizioni passate hanno riscosso un grande successo, favorendo la conoscenza e lo scambio di proposte didattiche e di formazione innovative nel campo delle scienze sperimentali tra le centinaia di delegati di tutti i paesi coinvolti.

In Italia il progetto è promosso da: AIF. (Associazione per l'Insegnamento della Fisica), ANISN (Associazione Nazionale Insegnanti di Scienze Naturali), DD/SCI (Divisione di Didattica della Società Chimica Italiana), la sezione italiana di EAAE (European Association for Astronomy Education), INAF (Istituto Nazionale di Astrofisica – Osservatorio di Padova), INFN. (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare).

Per info: [www.science-on-stage.it](http://www.science-on-stage.it)

Bando 2015



## **Notizie Flash**

### **Manchester Manifesto on the History of Science and Technology**

The Manifesto originated in conversations among members of the Division of History of Science and Technology (DHST) of the International Union of History and Philosophy of Science and Technology. The DHST General Assembly approved the document in July 2013 as a manifesto of collective resolve by the 1,700 or so historians who attended the 24th International Congress of History of Science, Technology and Medicine (<http://www.ichstm2013.com/>). The positive tone of the document revisits some themes sounded previously in the HSS Newsletter by past History of Science Society President Lynn K. Nyhart.

#### **Manchester Manifesto**

On the occasion of the largest global meeting of historians of science, technology, and medicine we, the officers and members of the Division of the History of Science and Technology of the International Union of the History and Philosophy of Science and Technology affirm the following:

- (1) Science, technology, and medicine have been abiding features of humanity for millennia and are integral parts of society and culture throughout the globe.
- (2) Scientific, technical, and medical literacy is a public good.
- (3) We support the study of nature and strive to render it comprehensible to the scientific community and to the wider public through conscientious scholarship and public outreach activities in the human family's many languages.
- (4) Historical scholarship on science, technology, and medicine should seek a full and nuanced accounting of the growth, progress, problems, and prospects of these essential human activities. This supports awareness that science, technology and medicine, when rightly prosecuted, are a public good.
- (5) Historians of science, technology, and medicine can build bridges between different cultures through collaboration and examination of different perspectives, heritages, and styles of thinking.
- 6) An understanding of the history of science, technology, and medicine enhances the teaching of general history as well as the teaching of the methods and context of science, technology, and medicine.
- (7) The artifacts of science, technology, and medicine constitute an essential material heritage of humankind. These materials must be preserved, interpreted, and further developed by professionals with a deep knowledge of their cultural significance.

Therefore, in the interests of global betterment and putting knowledge to work, the united participants of the 24th International Congress of History of Science, Technology, and Medicine held at Manchester, UK, in July 2013 declare:

1. The history of science, technology, and medicine should be supported and financed regularly and continuously by state and private institutions to ensure that younger generations are familiar with their scientific, technological, and medical heritage as interpreted by appropriately-trained historians.
2. The history of science, technology, and medicine merits prominent integration into the curricula of high schools, colleges, and universities. Local and national practices should guide this integration.

### **Beni culturali aperti**

E' stato annunciata nei giorni scorsi una nuova petizione per rendere accessibili e facilmente utilizzabili i dati del patrimonio culturale italiano.

Si tratta di un'iniziativa di Open Knowledge Foundation Italia, con il supporto di IWA Italy (Associazione professionale per la qualità del Web italiano), che intende "promuovere una serie di modifiche al Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio per rendere i dati dei Beni Culturali Italiani disponibili e riusabili per tutti".

"Beni Culturali Aperti - si legge sul sito - vuole modificare il Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio in Italia, introducendo il principio di opendata dei Beni Culturali, quindi del rilascio e del riuso aperto dei dati. Gli emendamenti puntano a dare massima diffusione alla componente non deperibile dei Beni, ovvero la versione digitale delle schede descrittive, dei rilievi, delle riproduzioni fotografiche.

Per fare in modo che questo avvenga abbiamo bisogno dell'aiuto di tutti ed è per questo che pubblichiamo qui gli emendamenti: per poterli sostenere e migliorare tutti assieme.

Riteniamo che non ci siano distinzioni di ruoli tra chi studia, chi amministra e chi ammira il nostro immenso Patrimonio ed è per questo che gli emendamenti non sono una protesta e nemmeno una pretesa, bensì un atto d'amore nei confronti della nostra identità."

Se un'Istituzione vuole aderire ufficialmente in quanto tale, può inviare una mail a [beniculturaliaperti@gmail.com](mailto:beniculturaliaperti@gmail.com) Questo indirizzo email è protetto dagli spambots. E' necessario abilitare JavaScript per vederlo. .

Ulteriori informazioni e sottoscrizioni sul sito: [www.beniculturaliaperti.it](http://www.beniculturaliaperti.it)  
[#beniculturaliaperti](https://twitter.com/beniculturaliaperti)

**Luigi Campanella**

## **L'era digitale**

La natura della comunicazione scientifica si sta evolvendo nell'era digitale e le tecnologie emergenti presentano continuamente nuove sfide ed opportunità per le società e le associazioni scientifiche e comunque per le comunità della scienza nella loro funzione di contribuire all'avanzamento della scienza, rendendo la comunicazione fra differenti paesi capace di superare le barriere ed i confini culturali, nazionali e linguistici. Ad esempio IUPAC per prima è stata capace di responsabilizzarsi per la standardizzazione dei sistemi di misura e delle terminologie (comprese abbreviazioni, segni, parole composte) agevolando così in modo significativo la comunicazione fra i chimici. La stessa associazione dissemina idee ed informazioni attraverso modi tradizionali come meeting fisici o dibattiti o comunicazioni scritte. Oggi l'informazione e la comunicazione digitale stanno impattando sui metodi tradizionali, anche rendendo possibile in tempo reale il trasferimento dei risultati di esperienze, rendendo così necessaria anche a questi livelli l'uniformazione del linguaggio inteso in termini non linguistici tradizionali. Uno strumento ulteriore molto nuovo è costituito dal colloquio virtuale, anche detto confcall: si tratta di conferenze on line durante le quali si possono alternare sessioni di presentazione di lavori e sessioni di dibattito e a domanda/risposta, così agevolando la partecipazione resa difficile dalla contemporaneità di congressi in sedi diverse e dai costi non sempre sostenibili.

**Luigi Campanella**

## **L'intelligenza artificiale**

Il futuro sarà pervaso di intelligenza artificiale: ovunque intorno a noi ci saranno dei computer trasparenti, pressoché al limite dell'invisibilità, grandi come granelli di polvere. Questa è la previsione di Luca Gammaitoni, professore di fisica sperimentale all'Università di Perugia, dove dirige il *Noise in Physical Systems Laboratory (NiPS)*, un laboratorio dove si progettano computer e sensori elettronici di nuova generazione. *“Certo, continueremo a usare computer dalle dimensioni necessariamente simili a quelle attuali ma la nuova frontiera delle telecomunicazioni e dell'elettronica è a livello delle nano e microscale”*: ha raccontato al Festival della Scienza di Genova ove ha tenuto una lectio magistrali. *“Se 15 anni or sono avessi detto che avrei usato il telefono anche per fare fotografie mi avrebbe dato del matto, perché all'epoca il telefono era un oggetto ingombrante, che tenevamo in casa, in salotto sopra un mobile. Quello che sembrava assurdo, però, è diventato realtà. Oggi sembra assurdo sostenere che un telefonino possa fare il caffè ma cosa succederà fra 20 anni? Quale sarà l'evoluzione*

*dei sistemi che usiamo per comunicare? Del resto esistono già dei prototipi che ci offrono uno squarcio sul futuro: sistemi di telecomunicazioni distribuiti ovunque e miniaturizzati in grado di interfacciarsi con noi esseri umani, ma anche di comunicare con gli oggetti e tra di loro”.*

*“L’alimentazione dei microcomputer è in effetti il collo di bottiglia”. Già oggi “siamo in grado di progettare computer piccoli quanto i granelli di polvere” ma ancora “non sappiamo come alimentarli”. E’ necessario pensare a batterie di nuova concezione, che non esauriscano la loro carica perché non sarebbe “pratico sostituirle oltre a doverle poi smaltire come rifiuti”.*

E’ necessario trovare soluzioni alternative che garantiscano l’energia necessaria per il funzionamento di questi micro dispositivi elettronici.

Su questo fronte si sta lavorando a livello internazionale: Stati Uniti e Europa si contendono il primato. Quello delle microenergie è un settore strategico: studiarle significa studiare i principi fondamentali del funzionamento della natura con ricadute tecnologiche molto importanti. Basta pensare, infatti, a quanta energia i computer attuali consumano scaldandosi: una grande quantità di energia che *“si trasforma in calore che non serve alla potenza di calcolo e a quanti soldi vengono spesi per raffreddarli per evitare che brucino”.*

**Luigi Campanella**

### **Quale percezione si ha della chimica**

*“Basta il termine scientifico per capire che si tratta di un pericolo: cicloesanone”.* Così esordisce Rinaldo Frignani sul Corriere della Sera del 25 febbraio 2014, Cronaca di Roma, pag. 5, a proposito del sequestro di maschere di carnevale di provenienza cinese in cui erano rimasti residui di questa sostanza in quantità oltre la norma.

Basta dunque la parola, come nella pubblicità di un noto lassativo, per capire la pericolosità di una sostanza o di un materiale. Certo, il suffisso “one” è tutt’altro che tranquillizzante, capace com’è di suscitare l’immagine di un soggetto grosso e cattivo; peggio se è abbinato al prefisso “ciclo”, che può evocare il ciclope Polifemo, brutto, grosso e cattivo per eccellenza. Con buona pace del panettone e del ciclomotore. E del ciambellone, che se ciclico non è di nome, lo è di fatto.

Fermo restando che nei prodotti destinati alla vendita non debbano rimanere residui di solventi, c’è da riflettere su quale sia, nel nostro paese, la percezione che il non addetto ai lavori ha della chimica, ed il livello medio di cultura scientifica. E quella frase la dice lunga.

E si tratta di uno dei più prestigiosi quotidiani nazionali, sia pur nelle pagine di cronaca locale.

**Claudio Giomini**

**Mostra Didattica sul DNA a Rosignano Solvay**

E' stata inaugurata sabato 22 febbraio 2014 la nuova Mostra Didattica organizzata annualmente dall'Associazioni di volontari "Amici della Natura Rosignano" presso il Museo di Storia Naturale di Rosignano Solvay. La conferenza di apertura della Mostra, intitolata "La molecola della Vita: la doppia elica del DNA", è stata tenuta dal biologo Franco Giorgi, che ha introdotto aspetti storici ed epistemologici legati alla scoperta di Watson e Crick e al loro celebre lavoro pubblicato su Nature nel 1953. Il Sindaco di Rosignano, Alessandro Franchi, ha confermato l'attenzione dell'amministrazione verso iniziative culturali e in particolare eventi scientifici che hanno il ruolo di avvicinare i non addetti ai lavori alla scienza e di offrire un fondamentale supporto didattico alle scuole del territorio. Franco Giorgi ha poi raccontato, ad una platea di studenti, insegnanti e cittadini di tutte le età, le implicazioni filosofiche della scoperta del DNA sulle successive ricerche in Biologia e in Chimica.

La mostra "La Molecola della Vita" rimane aperta alle Creste (Centro Culturale di Rosignano) fino al primo marzo per poi spostarsi al Museo fino alla fine di aprile, per poi iniziare un'esposizione itinerante, prima al Liceo Enrico Fermi di Cecina e poi alle scuole superiori di Volterra, per poi tornare al Museo nel periodo estivo. Durante la permanenza della mostra al Museo di Rosignano, le classi delle Scuole Elementari e delle Scuole Medie del territorio potranno visitare la mostra ed effettuare attività laboratoriali legate al DNA organizzate in collaborazione con il Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale dell'Università di Pisa, nell'ambito del corso di Didattica della Chimica.

Sito Web: <http://www.musrosi.org/>

Sito FB: <https://www.facebook.com/events/279956698827609/?source=1>

**Valentina Domenici**

Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale,  
via Risorgimento 35, 56126 Pisa (Italia)  
*E-mail: [valentina.domenici@unipi.it](mailto:valentina.domenici@unipi.it)*



## 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'antichità, 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

*Il catalogo delle pubblicazioni di Aracne editrice è su*

[www.aracneeditrice.it](http://www.aracneeditrice.it)

Compilato il 1 aprile 2014, ore 11:36  
con il sistema tipografico  $\text{\LaTeX}$  2 $\epsilon$

Finito di stampare nel mese di marzo del 2014  
dalla «ERMES. Servizi Editoriali Integrati S.r.l.»  
00040 Ariccia (RM) – via Quarto Negroni, 15  
per conto della «Aracne editrice S.r.l.» di Roma