



Società Chimica Italiana

La Chimica nella Scuola



- 5 Editoriale
Senza l'errore non esiste la verità
Pasquale Fetto
- 9 Dalla Copertina
Bernard Courtois
Pasquale Fetto
- 13 Il nuovo Sistema Internazionale di Unità di Misura (SI):
La nuova definizione della quantità di sostanza e della mole
Giuliano Moretti e Ida Pettiti
- 21 Materiali Lapidari: Il Patrimonio Genovese
Riccardo Carlini, Laura Ricco, Stefania Bottasso, Rosamaria Malerba, Francesca Palmonella
- 37 L'oro di Atlantide: un metallo tra chimica e leggenda
Maura Andreoni
- 43 Arsenico: fra storia e leggenda
Rinaldo Cervellati
- 57 La battaglia contro il riscaldamento e l'inquinamento del pianeta è indispensabile.
Fabio Olmi
- 69 Innamorarsi della Chimica. I parte - Le basi teoriche dell'approccio
Leonardo Seghetti, Liberato Cardellini
- 95 Lo iodio: scoperta, storia ed altro
Fetto Pasquale

EDITORIALE

Senza l'errore non esiste la verità

Il nostro tempo non è mediocre, anzi è ricco e significativo. L'errore è splendente, se non ci fosse l'errore non ci sarebbe la verità.
(*Emanuele Severino*)

L'errore come tale non è insito nella conoscenza ma nel suo rapporto con la realtà.

Siamo consapevoli che gli esperimenti siano stati realizzati senza commettere errori?

Gli errori presuppongono nello scienziato la capacità “di principio” di raggiungere un risultato corretto.

La scienza è costituita da un insieme di procedure, tecniche di abilità e di strumenti. Non sempre lo scienziato raggiunge la verità quando svolge la sua indagine correttamente, usando metodi sicuri e verificando i risultati nell'ambito del confronto con la comunità scientifica. La verità nasce solo dal confronto, abbiamo imparato dalla scienza che non solo è molto facile, ma è addirittura probabile che in una discussione si parta con idee sbagliate.

La formula magica della scienza è l'errore; l'errore è uno stimolo.
(*Saul Perlmutter*)

La storia della scienza è piena di esempi di tentativi imperfetti di scoprire la realtà, in seguito superati, senza che possano essere definiti come “errori”.

L'importanza dell'errore nella scienza è sottolineato da molti studiosi.

[...] evitare errori è un ideale meschino: se non osiamo affrontare problemi che siano così difficili da rendere l'errore quasi inevitabile, non vi sarà allora sviluppo della conoscenza. In effetti, è dalle nostre teorie più ardite, incluse quelle che sono erronee, che noi impariamo di più. Nessuno può evitare di fare errori; la cosa più grande è imparare da essi. (Karl Popper)

Superare i propri limiti imparando dagli errori passati non è facile, lo studente, una volta acquisita una sufficiente conoscenza delle cause che lo hanno indotto all'errore, dimostrerà di avere prontezza e capacità, riuscendo ad accostarsi in maniera critica al lavoro da svolgere.

[...] *“Dalla scienza abbiamo imparato che non solo è molto facile, ma è addirittura probabile che in una discussione si parta con idee sbagliate. A volte facciamo errori globali nella comprensione del mondo fisico e della società umana. Altre volte gli errori sono locali, ad esempio riguardo all'accuratezza dei dati in nostro possesso. Abbiamo cioè imparato che ci sono molti modi in cui possiamo sbagliare, e molti modi in cui possiamo migliorare”.*

“Sicuramente gli scienziati pensano che ci siano molti aspetti del mondo per i quali si possa parlare di verità. Nel senso che il mondo si comporta nel modo in cui si comporta, indipendentemente dal modo in cui noi pensiamo. C'è una realtà oggettiva, anche se noi spesso possiamo soltanto avvicinarci. Il che è comunque sempre meglio che alzare le mani e arrendersi all'idea che non si possa sapere niente”.
(Piergiorgio Odifreddi: Intervista a Saul Perlmutter, premio Nobel per la Fisica nel 2011 - Repubblica Nazionale 2016-01-02)

L'errore nell'educare

Abbiamo bisogno di Maestri? Abbiamo bisogno di Educatori?

Questi interrogativi si risolvono nell'affermare che sia necessario avere dei Maestri che siano soprattutto Educatori.

Educàre = latino composto dalla particella E (*da, di, fuori*) e -ducàre per Ducere *condurre, trarre* (vedi *Duce - Dux = Guida*).

Allevare, Istruire.

Il termine **“Educazione”** deriva dal latino **“ex-ducere”** che letteralmente vuol dire *tirare fuori*, far venire alla luce ciò che è nascosto.

“Istruzione” deriva sempre dal latino **“in-struere”** e significa inserire, portare dentro **“materiali”**. Vuol dire inserire qualcosa dentro un contenitore.

Nel caso della **formazione**, l'inserimento è riferito alle **nozioni**.

L'apprendimento si concretizza solo al termine di **molteplici errori** che ci porteranno successivamente alla risposta corretta. E' più facile e rapido rifugiarsi nel dare nozioni e non a tirare fuori studenti maturi che abbiano consapevolezza delle proprie responsabilità e conoscenza del mondo che li circonda e che non lo subiscano ma partecipino attivamente al suo sviluppo!

Lo studente dovrà prendere coscienza che l'**errore non deve considerarsi negativo** bensì è un aiuto che invita a stare più attenti in quelle attività che lo mettono in difficoltà.

La consapevolezza di poter sbagliare facilita l'accettare il giudizio negativo, considerando che l'errore porta all'aumento della conoscenza.

Lo studente che sbaglia e che sa individuare i propri errori, soprattutto della scuola primaria, si sentirà molto legato ai compagni che inevitabilmente potranno sbagliare gli esercizi. Insieme capiranno quindi che errare è un qualcosa che fa parte della loro natura e della loro formazione scolastica.

Gli studenti hanno bisogno di avere opportunità per collaborare tra loro e con il maestro per imparare e acquisire esperienza sull'atto di insegnare. Per divenire insegnanti efficaci gli studenti devono avere l'opportunità di assumersi la responsabilità di essere per la vita intera discenti. Questo significa condividere con gli altri ciò che imparano sull'insegnamento e realizzando tutte le cose che non hanno ancora scoperto.

Il maestro deve creare situazioni tali che portino gli studenti a farsi carico di ciò che apprendono e di come ciò si possa applicare nelle loro classi. (Lev S. Vygotskij)

Pasquale Fetto

Bernard Courtois

8 febbraio 1777
Digione

27 settembre 1838
Parigi

di
Pasquale Fetto



Bernard Courtois

Bernard Courtois nacque a Digione nel 1777 e visse l'influenza dell'ambiente di lavoro del padre presso l'Accademia di Digione (*Académie des sciences, arts et belles-lettres de Dijon*). La famiglia Courtois, in effetti, viveva nella sede dell'Accademia, logicamente ricavata in un piccolo albergo adattato per studi scientifici. Il padre Jean-Baptiste, lavorava per il chimico Louis-Bernard Guyton de Morveau come farmacista motivo per cui nella sua famiglia lo chiamavano “*pharmacien de l'Academie*”.

Nel 1780 Jean-Baptiste Coutrois fu nominato direttore del nuovo Saint Medard Nitrury alla periferia di Digione. Nel 1789 il padre acquistò da Guyton de Morveau un impianto sperimentale di nitrati e la famiglia si trasferì al Saint-Medard Nitrury, da ragazzo Bernard aveva acquisito una notevole conoscenza chimica ed esperienza di laboratorio presso il Laboratorio Accademico e al nitrury. A Parigi fu allievo di M. Frémy ed in seguito lavorò con Antoine-François de Fourcroy; nel 1798 Bernard divenne assistente di laboratorio all'*Ecole Polytechnique*¹

1. Louis-Bernard Guyton de Morveau dopo il trasferimento a Parigi nel 1791 fu uno dei fondatori dell'*Ecole Polytechnique*; fu membro dell'assemblea legislativa e professore di mineralogia a l'*Ecole* divenendone direttore nel 1798-1799 e dal 1800-1804.

Nel 1799 Courtois svolse la sua attività come farmacista presso gli ospedali militari. Nel 1801 tornò all'*École Polytechnique* e lavorò nel laboratorio di Louis Jacques Thénard, collaborò con Armand Séguin per gli studi dell'oppio e della morfina.

Dal 1805 al 1821 Bernard dovette occuparsi della famiglia in quanto il padre era finito in carcere per i debiti contratti in seguito al fallimento della sua società. Bernard continuò a gestire la fabbrica di salnitro di famiglia anche dopo la liberazione del padre che avvenne nel 1807.

La serendipità

Nel primo decennio del 1800 la Francia era in guerra e di conseguenza la domanda di polvere da sparo era cresciuta rapidamente e con essa la richiesta di salnitro (nitrato di potassio), componente essenziale per la polvere da sparo. Il governo francese finanziò la ricerca al fine di trovare l'alternativa alla fabbricazione del salnitro, che tradizionalmente usava il legno di frassino, materia prima che la Francia stava esaurendo. Contemporaneamente cresceva la richiesta di carbonato di sodio necessario per la sbianca dei tessuti; la materia prima era costituita dalle ceneri delle alghe che si depositavano sulle spiagge della Normandia. Il nitrato di potassio veniva isolato bruciando le alghe marine raccolte sulle spiagge, le ceneri venivano lavate con acqua e il residuo era poi distrutto aggiungendo acido solforico.

Durante i trattamenti per distruggere le ceneri aggiungendo dell'acido solforico "in eccesso" si sprigionò una densa nuvola di vapore violetto, Courtois notò che il vapore cristallizzava sulle superfici fredde dei tini formando cristalli scuri.

Il giovane Courtois sospettò che ci fosse qualcos'altro nelle ceneri oltre al sodio e al potassio, *qualcosa di corrosivo*, perché i vasi di rame nel suo laboratorio venivano attaccati da qualche sostanza chimica a lui incognita.

Ebbe da ciò il sospetto che si trattasse di un nuovo elemento.

A Courtois sembrava impossibile di aver scoperto un nuovo elemento. Ma ahimè!, non disponendo dei mezzi economici necessari per indagare più a fondo sulle sue osservazioni, pensò di chiedere aiuto al suo futuro cognato Charles Bernard Desormes (1777-1862) che in collaborazione con Nicolas Clément (1779-1841), condusse altre ricerche. Bernard diede un po' della sostanza anche a Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850) e ad André-Marie Ampère (1775-1836) affinché continuassero le ricerche.

Il 29 novembre 1813 Bernard Desormes e Nicolas Clément poterono annunciare la scoperta dello iodio alla comunità scientifica. L'annuncio della scoperta di Courtois avvenne durante un congresso dell'Istituto Imperiale di Francia durante il quale descrissero la sostanza.

Il 6 dicembre Gay-Lussac annunciò che la nuova sostanza era o un elemento o un composto dell'ossigeno. Ampère aveva dato alcuni dei suoi campioni a Humphry Davy (1778-1829), che condusse su questi alcuni esperimenti e ne notò la somiglianza con il cloro. **Davy** spedì una lettera datata **10 dicembre** alla Royal Society a Londra, in cui **annunciava di avere identificato un nuovo elemento**. Ne scaturì una grossa polemica fra Davy e Gay-Lussac su chi dei due avesse per primo identificato lo iodio, ma alla fine entrambi **gli scienziati riconobbero che era stato Bernard Curtois ad avere isolato per primo l'elemento**.

Nel 1842 il chimico svedese Jakob Berzelius propose il termine "*alogeni*" per gli elementi del gruppo VII B che combinandosi con i metalli formano composti che non contengono ossigeno (chiamati sali aloidi). Il termine "*alogeno*", in realtà, era stato proposto per la prima volta come nome per il cloro (appena scoperto) nel 1811 dal chimico e fisico tedesco Johann Schweigger (1779-1857).

Per questo elemento fu scelto il termine proposto da Humphry Davy mentre la parola sostenuta da Schweigger fu tenuta, su suggerimento di Berzelius, come nome per il gruppo di elementi che contenevano il cloro.

Nel 1813 il chimico britannico Sir Humphry Davy, essendo stato insignito da Napoleone di una medaglia per la qualità del suo lavoro in campo elettrochimico, si recò a Parigi assieme alla moglie e a Michael Faraday per ritirare la medaglia; in quella occasione Gay-Lussac gli chiese di studiare la sostanza trovata da Courtois.

Davy riconobbe nella sostanza un elemento analogo al cloro e suggerì per esso il nome di **iodio** dal greco *ioeides* (color viola), in riferimento al colore del vapore emesso per riscaldamento dei cristalli.

Humphry Davy aggiunse al nome **iode** il suffisso chimico **-ine** per mettere in risalto la proprietà analoga al cloro e al fluoro.

Il nuovo Sistema Internazionale di Unità di Misura (SI)

La nuova definizione della quantità di sostanza e della mole

Giuliano Moretti e Ida Pettiti

Dipartimento di Chimica, Sapienza Università di Roma,
piazzale A. Moro 5, 00185 Roma
e-mail: giuliano.moretti@uniroma1.it - ida.pettiti@uniroma1.it

Riassunto

Il 20 maggio 2019 è entrato in vigore il nuovo Sistema Internazionale di Unità di Misura (SI) nel quale le sette unità di misura fondamentali sono definite per mezzo di sette costanti di natura, con valore numerico fissato. Da un punto di vista pratico le grandezze fisiche fondamentali e le unità di misura sono rimaste le stesse del precedente SI, ma con il nuovo SI è stato realizzato un sistema completamente libero da quantità fisiche basate su artefatti. L'unità di massa, il chilogrammo, non è più basato su un lingotto di una lega platino-iridio conservato presso il Bureau International de Poids et Mesures (BIPM) a Sèvres (Francia).

In questa nota riportiamo le definizioni delle sette unità di misura fondamentali e il valore delle costanti di natura che le caratterizzano, con particolare attenzione alla quantità di sostanza (quantità chimica) e alla sua unità di misura, la mole, che sono di importanza fondamentale per la Chimica, allo stesso livello della Tavola Periodica degli elementi.

Abstract

Starting from May 20th, 2019 the new International System of Units (SI) should be in use in all the Nations. In this new SI the seven base quantities are defined by means of seven constants of nature with fixed numerical values. From a practical point of view the base quantities and the base units are the same of the previous SI but in the new SI it is realized a system free from physical units based on artifacts. The mass unit, the kilogram, is no more based on a platinum-iridium ingot maintained at the International Bureau of Weights and Measures (BIPM) in Sèvres (France).

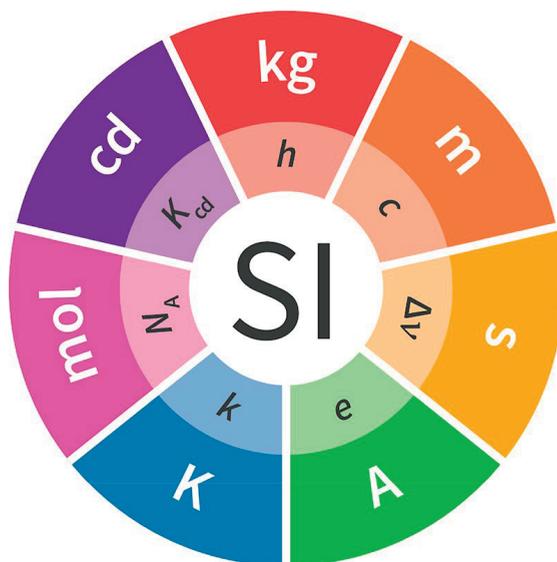
In the present contribution we report the definitions of the seven base units and the numerical value of the seven constants of nature by which they are characterized. We devote particular attention to the amount of substance (chemical amount) and to its base unit, the mole, which are of fundamental importance for Chemistry, as well as the Periodic Table of the elements.

Il nuovo Sistema Internazionale di Unità di Misura (SI), entrato in vigore il 20 maggio 2019, si basa sulle solite sette grandezze fisiche fondamentali ma la definizione delle relative unità di misura ora è data in funzione di costanti di natura, con valore numerico fissato. La decisione di adottare questo nuovo SI è stata deliberata nel corso del 26° incontro della General Conference on Weights and Measures (13-16 novembre 2018) [1]. Il logo elaborato dall'International Bureau of Weights and Measures (BIPM) per illustrare il nuovo SI è riportato qui di seguito insieme a una tabella con i nomi delle grandezze fisiche di base, le relative unità di misura e le costanti di natura per mezzo delle quali le unità di base sono state definite.

(Il logo appartiene al BIPM, <https://www.bipm.org/en/>, ed è qui riprodotto al solo scopo didattico.)

Da un punto di vista pratico nulla cambia rispetto al precedente SI, ma con il *nuovo SI* è stato realizzato un sistema completamente libero da quantità fisiche basate su artefatti. L'unità di massa, il chilogrammo, non è più rappresentata da un lingotto di una lega platino-iridio depositato presso il *BIPM* a Sèvres (Francia).

Questa nota rappresenta un necessario complemento a un precedente contributo pubblicato in questa rivista dal titolo "The amount of substance and the mole: a historical approach to their teaching and learning" [2].



Grandezza fisica	Simbolo	Unità di misura	Simbolo	Costante di natura su cui si basa la definizione dell'unità di misura
massa	<i>m</i>	kilogrammo	kg	h, costante di Planck
lunghezza	<i>ℓ</i>	metro	m	c, velocità della luce nel vuoto
tempo	t	secondo	s	$\Delta\nu_{\text{Cs}}$, frequenza della transizione iperfine del ^{133}Cs nello stato fondamentale non perturbato
intensità di corrente	i	ampere	A	e, carica elettrica elementare
temperatura	T	kelvin	K	k, costante di Boltzmann*
quantità di sostanza	n	mole	mol	N_A , costante di Avogadro
intensità luminosa	I	candela	cd	K_{cd} , potenza luminosa di una radiazione monocromatica di frequenza $540 \times 10^{12} \text{ s}^{-1}$
*) Seguendo l'indicazione data per la costante di Avogadro, N_A , il simbolo per la costante di Boltzmann dovrebbe essere k_B , ma come si vede dal logo il simbolo da utilizzare è k [1].				

I progressi realizzati in metrologia hanno ridotto di molto le incertezze dei valori numerici delle costanti di natura. A partire dal 20 maggio 2019 i valori delle unità di misura delle grandezze fisiche fondamentali sono definiti rispetto alle relative costanti di natura con valore fissato esattamente e non più considerate quantità sperimentali. Nella tabella seguente riportiamo i valori numerici e le unità di misura delle costanti di natura su cui si basa il nuovo SI [1].

Costante di natura	Simbolo	Valore numerico	Unità*
Costante di Planck	h	$6,626\ 070\ 15 \times 10^{-34}$	J s
Velocità della luce nel vuoto	c	299 792 458	m s^{-1}
Frequenza della transizione iperfine del ^{133}Cs nello stato fondamentale non perturbato	$\Delta\nu_{\text{Cs}}$	9 192 631 770	Hz
Carica elettrica elementare	e	$1,602\ 176\ 634 \times 10^{-19}$	C
Costante di Boltzmann	k_B	$1,380\ 649 \times 10^{-23}$	J K^{-1}
Costante di Avogadro	N_A	$6,022\ 140\ 76 \times 10^{23}$	mol^{-1}
Potenza luminosa di una radiazione monocromatica di frequenza $540 \times 10^{12} \text{ s}^{-1}$	K_{cd}	683	lm W^{-1}

A seguire riportiamo una tabella con le definizioni delle unità di misura delle grandezze fisiche fondamentali [1] da cui si evince con maggior chiarezza la filosofia del nuovo SI.

Unità di misura di base	Definizione
kilogrammo	Il kilogrammo, simbolo kg, è l'unità SI della massa. E' definito prendendo il valore numerico fissato della costante di Planck h di $6,626\ 070\ 15 \times 10^{-34}$ espresso in unità J s che equivalgono a $\text{kg m}^2 \text{s}^{-1}$, con le unità metro e secondo definite tramite le costanti c e $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.
metro	Il metro, simbolo m, è l'unità SI della lunghezza. E' definito prendendo il valore numerico fissato della velocità della luce nel vuoto c di $299\ 792\ 458$ espresso in unità m s^{-1} , con l'unità secondo definita tramite la costante $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.
secondo	Il secondo, simbolo s, è l'unità SI del tempo. E' definito prendendo il valore numerico fissato della frequenza della transizione iperfine nello stato fondamentale non perturbato, $\Delta\nu_{\text{Cs}}$, dell'atomo di cesio-133 di $9\ 192\ 631\ 770$ espressa in unità Hz (s^{-1}).
ampere	L'ampere, simbolo A, è l'unità SI della corrente elettrica. E' definito prendendo il valore numerico fissato della carica elettrica elementare e di $1,602\ 176\ 634 \times 10^{-19}$ espressa in unità C che equivale a A s, con l'unità secondo definita tramite la costante $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.
kelvin	Il kelvin, simbolo K, è l'unità SI della temperatura termodinamica. E' definito prendendo il valore numerico fissato della costante di Boltzmann k di $1,380\ 649 \times 10^{-23}$ espressa in unità J K^{-1} che equivalgono a $\text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{K}^{-1}$, con il kilogrammo, il metro e il secondo definiti eon tramite le costanti h , c e $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.
mole	La mole, simbolo mol, è l'unità SI della quantità di sostanza. Una mole contiene esattamente $6,022\ 140\ 76 \times 10^{23}$ entità elementari. Questo numero è il valore numerico fissato per la costante di Avogadro, N_A , espressa in mol^{-1} ed è chiamato numero di Avogadro. La quantità di sostanza, simbolo n , di un sistema rappresenta il numero di specificate entità elementari. Un'entità elementare può essere un atomo, una molecola, uno ione, un elettrone, ogni altra particella o specificato gruppo di particelle.
candela	La candela, simbolo cd, è l'unità SI dell'intensità luminosa in una data direzione. E' definita prendendo il valore numerico fissato della potenza luminosa di una radiazione monocromatica di frequenza 540×10^{12} Hz, K_{cd} di 683 espressa in unità $\ell\text{m W}^{-1}$ che equivalgono a cd sr W^{-1} oppure $\text{cd sr kg}^{-1} \text{m}^{-2} \text{s}^3$, con il kilogrammo, il metro e il secondo definiti tramite le costanti h , c e $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.

In conclusione di questa nota riportiamo alcune osservazioni relative alle definizioni delle grandezze fisiche di base massa e quantità di sostanza, di interesse primario per la chimica.

Per quanto riguarda la definizione dell'unità di base della massa risulta chiaro che ci si è liberati di artefatti, il lingotto di platino-iridio di 1 kg conservato insieme ad alcune copie ufficiali presso il *BIPM* a Sèvres (Francia), e di tutte le altre copie conservate negli istituti di metrologia della diverse nazioni. La massa delle copie tende a variare con il tempo rispetto al campione originale del 1889, per diverse decine di μg , per ragioni ancora oggi non chiarite [3]. La nuova definizione dell'unità di base della massa non è semplice come la vecchia. Essenzialmente la massa di un campione può essere determinata attraverso relazioni in cui entra la costante di Planck, in modo da poter definire il kilogrammo per mezzo del valore numerico fissato di tale costante. Ad esempio, mediante tecniche di interferometria ottica e di interferometria di raggi X si possono contare gli atomi di un cristallo di silicio, N , di opportuna forma e dimensione e la massa, m , di tale cristallo può essere scritta come:

$$m = h N A_r(\text{Si}) (m_u/h)$$

dove h è la costante di Planck, $A_r(\text{Si})$ è il peso atomico relativo del silicio utilizzato (dipende dalla composizione isotopica), e la costante fisica (m_u/h) con unità $\text{m}^{-2} \text{s}$, definita dall'unità di massa atomica, $m_u = m_a(^{12}\text{C})/12$, e dalla costante di Planck, h , può essere misurata con accuratezza in due diversi esperimenti di fisica atomica [4].

La massa di un campione si può anche ottenere con la cosiddetta "Kibble watt balance" in cui essenzialmente si confrontano la potenza meccanica e la potenza elettrica in presenza di un campo magnetico [4]. Nella definizione della potenza elettrica intervengono l'effetto Hall quantistico (resistenza Hall $R_H = (h/e^2)/i$, dove i rappresenta un numero intero) e l'effetto Josephson (tensione $U_n = n f (h/2e)$, dove f rappresenta la frequenza di microonde che irradiano l'elemento di circuito elettrico contenente due semiconduttori debolmente accoppiati ed n è un numero intero). Si dimostra che la massa di un campione può essere scritta come:

$$m = h (nn'i/4)(ff'/gv)$$

dove entra nuovamente la costante di Planck, dei numeri interi, $(nn'i/4)$, due frequenze, una velocità e l'accelerazione di gravità, (ff'/gv) .

Chiaramente non possiamo spiegare queste misure ai nostri studenti della scuola secondaria superiore o del primo anno di università e quindi, dal pun-

to di vista della chiarezza della definizione, il passaggio dal lingotto di platino-iridio alla costante di Planck non è favorevole. Comunque dobbiamo ricordare che il Sistema Internazionale di Unità di Misura ha come principale scopo l'accuratezza della misure e non la chiarezza e la semplicità delle definizioni.

La nuova definizione dell'unità di base della quantità di sostanza, al contrario di quanto riportato per la massa, è più diretta e semplice della precedente.

Come prima cosa osserviamo che, in alternativa al nome quantità di sostanza, può essere usato il termine forse più appropriato di *quantità chimica*, suggerito per primo da G. Gorin per evitare confusione con la quantità di materia (la massa) e ora accettato dall'International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) [2].

La nuova definizione fissa la costante di Avogadro e i miglioramenti ottenuti risultano evidenti se ricordiamo la precedente definizione della mole [5,6]; in particolare si ponga attenzione ai punti 1 e 3:

- 1) La mole (simbolo mol) è la quantità di sostanza (simbolo n) che contiene tante entità elementari quanti sono gli atomi in 0,012 kg di carbonio-12.
- 2) Le entità elementari devono essere specificate e possono includere atomi, molecole, ioni, elettroni e altre particelle o gruppi specificati di tali particelle.
- 3) E' inteso che gli atomi di carbonio-12 devono essere non coinvolti in legami chimici, a riposo e nello stato fondamentale sia nucleare che elettronico.

La definizione data nel 2013 in un primo documento di presentazione del nuovo SI aggiungeva informazioni sulla grandezza della mole [7]:

- 4) La grandezza della mole è fissata dal valore numerico della costante di Avogadro $N_A = 6,022\ 140\ 857 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ (oggi definitivamente $6,022\ 140\ 76 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$).

Risulta chiaro che non dobbiamo più passare attraverso l'unità di massa atomica, $m_u = m_a(^{12}\text{C})/12$, con la specifica che gli atomi di carbonio-12 devono essere allo stato libero, a riposo e nello stato fondamentale sia nucleare che elettronico. Inoltre secondo il nuovo SI la relazione $N_A = 12/m_a(^{12}\text{C})$ (cioè $N_A m_a(^{12}\text{C})/12 = N_A m_u = \text{unità di massa molare} = M_u = 1 \text{ g mol}^{-1}$, e quindi $12 M_u = M(^{12}\text{C})$) non è più rigorosamente valida in quanto il rapporto $12/m_a(^{12}\text{C})$ deve risultare esattamente pari a $6,022\ 140\ 76 \times 10^{23}$.

Quindi a 1 mol di carbonio-12 corrisponde una massa di carbonio-12 che può cambiare man mano che si ottengono misure sempre più accurate della

massa assoluta dell'atomo di carbonio-12. In pratica nulla cambia essendo tali variazioni entro livelli di parti per 10^{10} [8].

Concludiamo sottolineando che, sulla base della definizione della mole sia nel nuovo che nel vecchio SI, la quantità chimica di una sostanza X si calcola con la seguenti equazioni:

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

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

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

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

dove con $m_f(X)$ abbiamo indicato la massa assoluta dell'entità elementare che costituisce la sostanza X (atomi, ioni, molecole), con m la massa della sostanza (in g) e con $M(X)$ la massa molare.

La *massa molare relativa* della sostanza X (adimensionale) è per definizione:

$$M_r(X) = m_f(X) / m_u$$

$$\text{con } m_u = m_a(^{12}\text{C}) / 12$$

Con evidenti passaggi possiamo scrivere:

$$M_r(X) m_u = m_f(X)$$

$$N_A M_r(X) m_u = N_A m_f(X)$$

$$N_A M_r(X) m_u = M(X)$$

e quindi considerando la relazione:

$$N_A m_a(^{12}\text{C}) / 12 = N_A m_u = \text{unità di massa molare} = M_u = 1 \text{ g mol}^{-1}$$

vediamo la massa molare e la massa molare relativa hanno lo stesso valore numerico:

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

Riferimenti bibliografici

[1] Risoluzione della General Conference on Weights and Measures del 16 novembre 2018, (<https://www.bipm.org/utils/en/pdf/CGPM/Draft-Resolution-A-EN.pdf>)

[2] Moretti G., "The amount of substance and the mole: a historical approach to their teaching and learning", *CnS La Chimica nella Scuola* **5**, 13-27 (2016).

- [3] Stock M., “The revision of the SI-towards an international system of units based on defining constants”, *Measurement Techniques* **60**, 1169-1177 (2018).
- [4] Marquardt R., Meija J., Mester Z., Towns M., Weir R., Davis R., Stohner J., “A critical review of the proposed definitions of fundamental chemical quantities and their impact on chemical communities (IUPAC Technical Report)”, *Pure Appl. Chem.* **89**, 951-981 (2017).
- [5] Petley B.W., “The mole and the unified atomic mass unit”, *Metrologia* **33**, 261-264 (1996).
- [6] Cohen E.R., Cvitaš T., Frey J.G., Holstro, B. (eds.), *IUPAC definition in “Quantities, Units and Symbols in Physical Chemistry” (IUPAC Green Book)*, 3rd ed. Royal Chemical Society of Chemistry, Cambridge (2007).
- [7] Fischer J., Ullrich J., “The new system of units”, *Nature Physics* **12**, 4-7 (2016).
- [8] Davis R.S., Milton J.T., “The assumption of the conservation of mass and its implications for present and future definitions of the kilogram and the mole”, *Metrologia* **5**, 169-173 (2014).

Materiali Lapidèi

Il Patrimonio Genovese

Riccardo **Carlini**^a, Laura **Ricco**^a, Stefania **Bottasso**^a,
Rosamaria **Malerba**^a, Francesca **Palmonella**^a

^aLiceo Artistico “Klee-Barabino” - via Giovanni Maggio 5, Genova

Riassunto

L'attività si è focalizzata sullo studio di alcuni materiali lapidei presenti nel patrimonio architettonico genovese: il marmo, l'ardesia e la pietra di promontorio. Il progetto è destinato alle classi quarte del Liceo Artistico “Klee-Barabino” di Genova e si è articolato in diverse unità centrate sugli aspetti geologici-mineralogici delle rocce, chimici-applicativi dei materiali e organizzativi-didattici. Gli studenti hanno potuto valutare i materiali lapidei direttamente dagli edifici genovesi, valutandone lo stato di conservazione; questa attività ha visto l'interazione di docenti di storia dell'arte, di scienze e di chimica. Al termine è stato effettuato un incontro collettivo dedicato alla discussione dei risultati e alla progettazione di un documento divulgativo.

Abstract

The activity focused on the study of some stone materials observable in the architectural heritage in Genoa: marble, slate and “Promontorio stone”. The project is intended for the fourth classes of the Art School “Klee-Barabino” in Genoa and was divided into several units centered on the geological-mineralogical aspects of rocks, chemical-application materials and organizational-didactic steps. The students were able to evaluate the stone materials directly from the buildings, evaluating their state of preservation; this activity saw the interaction of art history, science and chemistry teachers. At the end, a collective meeting was held dedicated to the discussion of the results and the planning of a dissemination document.

Introduzione

In questo articolo presentiamo un'attività che è stata proposta presso il Liceo Artistico “Klee-Barabino” di Genova, nell'ambito dei progetti PTOF approvati dal collegio dei docenti e volti ad approfondire tematiche specifiche inerenti all'ambito artistico. Il progetto, intitolato “Materiali Lapidèi: Il Patrimonio Genovese”, ha come scopo principale la valutazione della con-

servazione di alcuni edifici storici genovesi in funzione di differenti agenti deterioranti. Nelle attività sono state coinvolte tre discipline: Chimica dei materiali, Scienze e Storia dell'arte. Il contributo della storia dell'arte è stato molto utile per effettuare una contestualizzazione storica degli edifici, valutandone gli stili presenti, le tecniche di costruzione e in certi casi, di restauro. Le scienze hanno dato un apporto in ambito geologico con la classificazione delle rocce usate. La chimica dei materiali invece ha trattato e studiato i principali fenomeni degradativi che sono riscontrabili sui materiali lapidei studiati; inoltre ha proposto un laboratorio durante il quale questi effetti sono stati riprodotti su campioni più piccoli usando sostanze che simulavano quelle presenti negli agenti degradanti.

Il progetto è stato suddiviso in 4 fasi al fine di ideare un prodotto che fosse curato, massimamente fruibile agli studenti e funzionale per i docenti. Analizzeremo a seguire la proposta procedendo attraverso le singole fasi.

Fase 1 - Progettazione

La fase iniziale è come sempre quella più ostica poiché molti sono gli ostacoli che si presentano. Innanzitutto l'aspetto didattico: è difficile conciliare il rigore scientifico con il programma previsto per la tipologia di scuola nella quale è proposto il progetto. La chimica che si studia al Liceo Artistico è una chimica molto applicativa che non tratta tutti gli argomenti della disciplina e che, soprattutto, non li analizza in modo approfondito poiché le conoscenze degli studenti, in ambito scientifico, risultano generalmente adeguate alla funzione che le stesse hanno in ambito artistico. Nel liceo Artistico è previsto un corso di scienze nei primi due anni e poi altri due anni di scienze o di Chimica a seconda degli indirizzi. Pur effettuando il progetto nelle classi quarte molti argomenti utili alla corretta comprensione dei risultati non vengono affrontati e diventa necessario, così, modificare le attività in modo da aggirare l'ostacolo senza fornire conoscenze errate. Un esempio è la mancanza di conoscenze nell'ambito delle ossido-riduzioni: questa lacuna ha impedito di valutare tutti quei processi ossidativi dei metalli o di alcuni composti presenti nelle rocce. Tuttavia, giungendo come sempre a un compromesso, si è riusciti a ottenere buoni risultati in termini sperimentali e didattici. Il fattore tempo è un altro aspetto che ha avuto un ruolo fondamentale. A scuola, è noto, che i tempi a disposizione sono molto ristretti e riuscire a completare il programma diventa sempre più una missione ardua. Se ci aggiungiamo anche progetti extra-curricolari le cose si complicano. La sinergia che si può instaurare tra i docenti può esserne la via d'uscita. Infatti, coordinando le attività in modo da usare le proprie ore di

insegnamento, compiendo attività pomeridiane e consentendo il lavoro a casa, non sono stati riscontrati grandi problematiche alla fine dei lavori. Ultimo aspetto su cui vale la pena ragionare è quello relazionale. Molto spesso è difficile organizzare attività interdisciplinari a causa delle differenti impostazioni didattiche usate per insegnare le materie. Inoltre non tutti i docenti sono disponibili a calarsi nei panni dei colleghi accettando di *imparare* più che di *insegnare*. Questa evidenza, nel nostro caso fortunatamente non si è presentata, tuttavia rappresenta uno dei principali motivi di *empasse* nelle fasi iniziali di progettazione.

Fase 2 - Laboratorio sperimentale

In questa fase sono state riprodotte le principali reazioni. Per riassumere quanto proposto abbiamo pensato di inserire la scheda che abbiamo fornito agli studenti da compilare durante gli esperimenti.

Fotografa ogni fase del tuo lavoro e completa la scheda man mano che lavori

Attività 1: osserva e ricorda

Osserva i campioni di marmo e descrivine le caratteristiche macroscopiche utilizzando vista e tatto

- Ricordi a quale categoria di rocce appartiene e la sua composizione chimica?
- Osserva i campioni di ardesia e descrivine le caratteristiche macroscopiche utilizzando vista e tatto.
- Ricordi a quale categoria di rocce appartiene e la sua composizione chimica?

Attività 2: attacco con soluzioni acide

- Dopo aver versato qualche goccia di acido muriatico (HCl in soluzione) sul campione di marmo che cosa è successo?
- A tuo parere, quale fenomeno di degrado stiamo simulando versando HCl sul marmo?
- Quale nuova sostanza si forma con l'effervescenza?
- Ricorda le reazioni realizzate in classe lo scorso anno e ricostruisci l'equazione di reazione tra il principale minerale che costituisce il marmo e HCl.
- Dopo aver versato qualche goccia di acido muriatico (HCl in soluzione) sul campione di ardesia che cosa è accaduto? Sottolinea
- eventuali differenze rispetto al marmo

- Prova a giustificare la differente reattività di marmo e ardesia in presenza di HCl.
- Versa qualche goccia di aceto sul campione di marmo a tua disposizione. Descrivi che cosa è successo, sottolineando eventuali differenze rispetto all'attacco con HCl.
- Prova a giustificare la differente reattività di HCl e aceto (suggerimento: misura il pH).

Attività 3: attacco con soluzioni basiche

- Dopo aver versato qualche goccia di idrossido di sodio sul campione di marmo che cosa è successo?
- A tuo parere, quale fenomeno di degrado stiamo simulando versando NaOH sul marmo?
- Dopo aver versato qualche goccia di idrossido di sodio sul campione di ardesia che cosa è successo? Sottolinea eventuali differenze rispetto al marmo.

Attività 4: attacco con soluzioni di NaCl

- Dopo aver versato qualche goccia di cloruro di sodio sul campione di marmo che cosa è successo?
- A tuo parere, quale fenomeno di degrado stiamo simulando versando NaCl sul marmo?
- Dopo aver versato qualche goccia di cloruro di sodio sul campione di ardesia che cosa è successo? Sottolinea eventuali differenze rispetto al marmo.

Attività 5: attacco con fumo di candela

- Accendi una candela e, con cautela, deposita un po' di fuliggine sul campione di marmo. Quale fenomeno di degrado stiamo simulando?
- Ripeti l'operazione sull'ardesia e annota tutte le differenze che ritieni significative.
- Osserva la fuliggine depositata nei due campioni: cosa potresti fare per asportarla?

Attività 6: attacco con olio

- Versa una goccia di olio sul marmo e aiuta l'assorbimento con un piccolo pezzo di stoffa. Diresti che il marmo è poroso nei confronti dell'olio? Giustifica la risposta.
- Ripeti l'operazione sull'ardesia e annota tutte le differenze che ritieni significative.

Pensi che sia possibile eliminare l'olio assorbito dai campioni? Se sì, descrivi come faresti, se no giustifica comunque la tua affermazione.

[N.d.A.] Per fornire riscontri realistici abbiamo pensato di inserire le considerazioni originali riportate in fase di discussione dagli studenti coinvolti nel progetto: Alessio Serra, Marco Mazzarello, Luca Biasotti, Agnese Dechet, Chiara Remorgida, Alice Ronco, Lorenzo Masala, Giulia Massone, Davide Strada, Francesca Merighi della *IV Q*. Silvia Peschiera, Gaia El Foutoun della *IV R*. Francesco Bertolini, Giulia Burani, Giorgia Sisinni, Matteo Allocca, Elena Falconi, Ludovica Ruscelloni, Giacomo Glioti, Sara Sciaccaluga, Chiara Pedullà, Edoardo Bombace di *IV S*.

Per quanto riguarda il trattamento con HCl:

“**Marmo:** si nota una **forte effervescenza**, corrode la superficie rendendola ruvida. Il *fenomeno* in questione è di tipo *corrosivo*, con l'effervescenza si forma anidride carbonica (CO₂).

Ardesia: si nota anche in questo caso una **forte effervescenza**, la superficie è divenuta più ruvida”.

Dopo aver usato aceto:

“**Marmo:** versando qualche goccia di aceto sul marmo si nota una **piccola effervescenza** sotto forma di CO₂.

Ardesia: si ha una **piccola effervescenza**, il materiale si corrode poco con un conseguente scolorimento della superficie (presenza di aloni forse dovute alla formazione di sale ai bordi a causa dell'evaporazione).

Trattando con olio:

“**Marmo:** a contatto con l'olio lo assorbe quindi significa che è abbastanza poroso.

Pietra di Promontorio: assorbe l'olio più del marmo e si scurisce quindi è più poroso rispetto a quest'ultimo”



Figura 1. Scaglia di Pietra di Promontorio attaccata con olio

Sottoponendo le rocce al nerofumo prodotto da una candela:

“**Marmo:** si ha una deposizione di un composto nero ceroso.

Pietra di Promontorio: il nerofumo che si deposita sulla roccia, non si pulisce del tutto con la carta. Ipotizziamo che si debba trattarlo con acqua ad alta pressione o solventi specifici oppure attraverso la sabbiatura”



Figura 2. Scaglia di Pietra di Promontorio annerita da fumo di candela

Prima di procedere con la fase successiva è doveroso fare una piccola introduzione sulle rocce che abbiamo visto e in particolare sulle due, tipiche del genovesato l’ardesia e la pietra di promontorio.

Il **marmo** è una roccia metamorfica prevalentemente composta da carbonato di calcio (CaCO_3) e carbonato di magnesio (MgCO_3). In particolare sia il marmo ligure sia quello toscano derivano dal processo metamorfico di rocce sedimentarie (calcare o dolomia) formatesi dalla sedimentazione di gusci e apparati scheletrici di minuscoli organismi viventi presenti nei mari bassi e tropicali presenti in questa zona nel triassico inferiore circa 200 milioni di anni fa. La sabbia e il calcare hanno poi cementato e compattato questi materiali dando origine alla roccia. Il metamorfismo, infine, provocando la ricristallizzazione del carbonato di calcio ha formato i cristalli di calcite o dolomite che rendono il marmo brillante. La presenza di impurezze quali ossidi o metalli dà origine alle varie colorazioni del marmo.

L’**ardesia**, comunemente utilizzata in vari monumenti in Liguria, è una roccia metamorfica di origine sedimentaria formata da scisti calcareo argillosi derivanti dal metamorfismo di rocce sedimentarie formate dalla deposizione di limo finissimo. I minerali principali sono calcite (30-35%) accompagnata da *fillosilicati* quali *illite*, *mica*, *clorite* e *quarzo*; in quantità minore da *dolomite*, *solfori* e *grafite* che ne causano il colore scuro. La parti-

colare scistosità dell'ardesia è causata proprio dai fillosilicati che hanno una struttura a strati

La **pietra di Promontorio**, analogamente all'ardesia, può definirsi un *calcare marnoso* costituito da multistrati di calcare, arenaria finissima e marne. Questa roccia è il principale componente dello spartiacque che divide il mare dalla Val Fontanabuona, partendo dal promontorio di San Benigno, quello su cui poggia la Lanterna di Genova, e arriva fino a Lavagna alle foci dell'Entella. La val Fontanabuona è notissima per la produzione di ardesia tuttavia nel gergo comune tutte le rocce estratte dalle cave del levante genovese (Recco, Uscio, Chiavari. Etc.) vengono chiamate popolarmente ardesia pur essendo, in gran parte riconducibili alla pietra di promontorio. Questo ha provocato un'iniziale confusione tra le due tipologie di rocce che è stata prontamente risolta dall'analisi geomorfologica del territorio. D'altronde, sotto il profilo della reattività chimica, possiamo considerare entrambe le rocce come calcari e quindi praticamente identiche in termini di stabilità agli inquinanti. L'unica differenza sono i piani di sfaldatura che nell'ardesia sono paralleli, rendendola adatta per la laminatura in tegole sottili adatte per i rivestimenti o per la scultura, mentre nella Pietra di Promontorio le fratture riprendono la struttura della calcite con angoli diedri di circa 60 e 120 gradi: questa caratteristica la rende più adatta per l'architettura.

Entrambe sono pietre dal colore plumbeo nerastro che tende a schiarirsi per l'ossidazione dei residui carboniosi a contatto con l'ossigeno, l'umidità e le radiazioni ultraviolette.

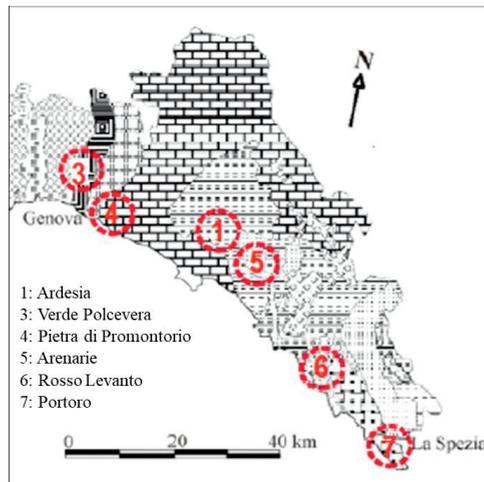


Figura 3. Mappa geologica del levante ligure

Fase 3 - Analisi dei monumenti

I monumenti selezionati tra le principali chiese genovesi sono tre: Santo Stefano, San Matteo e la cattedrale San Lorenzo.

Chiesa di Santo Stefano

La chiesa di S. Stefano a Genova è una chiesa romanica fondata nel 972 dal vescovo Teodolfo (o, secondo altre versioni, dai monaci benedettini) su una preesistente cappella dedicata a San Michele. Nel corso dei secoli ha subito varie modifiche dovute ai danni provocati dai bombardamenti durante la seconda guerra mondiale e in parte anche in seguito alla riqualificazione della zona di Portoria seguita alla costruzione di via XX settembre (allora via Giulia).



Figura 4. Chiesa di Santo Stefano ai tempi di via Giulia e dopo i bombardamenti



Figura 5. Chiesa di Santo Stefano oggi

La chiesa, originariamente a pianta rettangolare a una sola navata, presenta l'aggiunta di una navata adiacente con ingresso autonomo al cui interno si trovano la sagrestia e delle abitazioni. All'interno vi è un presbiterio sopraelevato sotto al quale si trova una cripta (probabilmente proprio il nucleo originario della piccola cappella dedicata a San Michele) dove oggi si celebra il rito bizantino. La cupola (ricostruita in laterizio nel XIV secolo), ha forma ottagonale ed è stata realizzata nello stesso periodo della cella della torre campanaria. La facciata, che presenta elementi non propriamente romanici (come il rosone, per esempio) è divisa in fasce orizzontali bianche e nere, caratteristica comune a molte chiese liguri e toscane. Le fasce nere sono composte da blocchi di pietra di promontorio, una pietra dalla composizione chimica quasi identica a quella dell'ardesia (CaCO_3 , SiO_2 , miche, FeO_2 e composti carboniosi), che però presenta diverse caratteristiche meccaniche (è per esempio meno scistosa) e da marmo bianco (CaCO_3 e MgCO_3). La Pietra di Promontorio è stata largamente usata in tutta Genova, il suo nome deriva dal luogo da dove veniva estratta principalmente: il promontorio di San Benigno, oggi abbattuto quasi completamente per permettere l'unione tra Genova est e la zona di Sampierdarena.

La facciata, a causa della vicinanza a un'importante strada trafficata e all'azione costante degli agenti atmosferici presenta numerosi segni di erosione. Grazie ai laboratori eseguiti in precedenza riusciamo a identificare le cause di questo danneggiamento. La pietra di promontorio è stata schiarita a causa degli agenti atmosferici e delle piogge acide, fenomeno relativamente recente che si concretizza nell'abbassamento del pH delle precipitazioni a causa di un aumento di CO_2 , SO_2 e NO_x in atmosfera (la cui emissione è dovuta in gran parte all'attività umana) che, in seguito a una serie di reazioni, acidificano le piogge abbassandone il pH. Le piogge acide soprattutto hanno danneggiato notevolmente la pietra (poiché basica) che è stata erosa, scolorita, "abrasa" e danneggiata dalla reazione acido base; l'acqua inoltre, penetrando proprio all'interno della pietra (che è molto porosa, lo abbiamo potuto osservare applicando e strofinando dell'olio sulla sua superficie) ha contribuito ad asportare parte del materiale e crepato anche gravemente le facce dei blocchi. All'interno si può infatti vedere come la pietra, non essendo venuta a contatto con questi reagenti, abbia un colore più intenso e scuro e una superficie integra (eccetto qualche zona dove infiltrazioni d'acqua l'hanno resa simile alla pietra esterna). L'azione dell'acqua ha inoltre ossidato gli ossidi di ferro presenti all'interno della pietra, formando degli idrossidi e donandole un colore rossastro proprio di un oggetto arrugginito. Nel corso del tempo, questa azione erosiva ha asportato alcuni centimetri di materiale; il marmo è invece in condizioni meglio conservate,

nonostante infatti la sopracitata azione degli agenti atmosferici che agiscono quotidianamente da poco più di mille anni e dello smog (che ha contribuito anche per la pietra di promontorio a un danneggiamento di proporzioni esponenziali rispetto a quello avvenuto in molti anni a causa degli agenti atmosferici) piccole quantità di quarzo presenti all'interno del materiale hanno donato maggiore resistenza alla roccia. Guardando con attenzione la facciata si può vedere la diversità di provenienza dei materiali: osservando la pietra di promontorio alcuni blocchi presentano un comportamento diverso ai fenomeni di erosione, tralasciando la parte destra della facciata (completamente abbattuta e ricostruita in seguito a un bombardamento) alcuni blocchi si comportano diversamente si fenomeno erosivi poiché più simili all'ardesia, (sono visibilmente più "stratificati": l'ardesia è una roccia che deriva dalla sedimentazione, compattazione e metamorfizzazione di strati di fanghi e sabbie primordiali) e quindi più rovinati poiché l'acqua è entrata più facilmente all'interno della roccia. Osservando il marmo invece vediamo come questo si presenti talvolta più "grigiastro" talvolta più bianco, ciò è dovuto alla diversa composizione chimica del materiale, il quale talvolta è composto maggiormente da calcite, o da quarzo.

All'interno la Chiesa ha un'unica navata centrale. La particolarità è che è interamente fatta di sola Pietra di Promontorio infatti il colore nero prevale su tutti.

Chiesa di San Matteo

La Chiesa di S. Matteo ha come stile quello romanico, caratterizzato sempre dalle strisce bianche e nere di marmo e Pietra di Promontorio. Le liste di marmo bianco sono ricche di iscrizioni che esaltano le gesta di alcuni componenti della famiglia Doria. Nella lunetta sopra al portale d'ingresso è inserito un mosaico medioevale raffigurante San Matteo. Diversi palazzi della famiglia, caratterizzati da fregi di archetti e paramento a bande bianche e nere, la circondano interamente creando un suggestivo ambiente medioevale. Il marmo e la Pietra di Promontorio sono molto rovinati dagli agenti atmosferici, Si notano molti restauri. Sulla roccia vi sono delle venature dovute all'acqua piovana, che essendo acida per l'inquinamento, lascia dei solchi con il passare del tempo. Il basamento ha un materiale marmoreo più quarzoso ovvero più resistente e stabile, ma ha un aspetto comunque degradato. Intorno alla Chiesa vi sono altre strutture che riprendono le stesse decorazioni, alcune facciate dei palazzi più riparati hanno la struttura visibilmente più resistente rispetto ad altre, e i colori delle rocce sono più brillanti.



Figura 6. Chiesa di San Matteo facciata e particolare sullo stato di conservazione delle rocce

Cattedrale di San Lorenzo

La chiesa sorse intorno al V secolo. Verso il 1230 si decise una profonda ristrutturazione dell'edificio, in stile gotico. Si iniziò così la facciata dalla parte bassa caratterizzata dai tre portali gotici. Tra il 1307 e il 1312 si completò la facciata e si iniziò l'elevazione del campanile. Tra il 1894 e il 1900 l'edificio venne restaurato e lo scultore Carlo Rubatto ridisegnò la scalinata esterna d'accesso, con i due leoni.



Figura 7. Chiesa di San Lorenzo, facciata e portali

La facciata presenta i portali gotici, e sopra il paramento a fasce bianche e nere, che nel Medioevo era simbolo di nobiltà, tipico dell'uso locale genovese. Gli apparati decorativi esibiti lasciano intravedere analogie importanti con l'architettura francese. I temi rappresentati dai bassorilievi e altorilievi raffigurano il Cristo con San Lorenzo.

Ai lati della scalinata davanti alla facciata sono due leoni stilofori di epoca gotica; altri leoni, ma in scene da bassorilievo, stanno sopra il portale centrale, e sono realizzati dalla scuola di Benedetto Antelami.



Figura 7a. Chiesa di San Lorenzo, i portali.

L'interno del duomo è a pianta basilicale con transetto e coro. Il piedicroce è diviso in tre navate da colonne marmoree trecentesche. Si distingue chiaramente la parte gotica, in basso, con le colonne e le arcate a strisce bianche e nere, e la precedente serie di arcate a tutto sesto romaniche in pietra grigia ad esse sovrapposta, appartenente alla costruzione romanica. Una particolarità di questa Chiesa è che l'endonartece è interno, invece solitamente è esterno. Si tratta di una sorta di porticato, in questo caso interno. E' sempre presente l'alternanza tra nero e bianco. Basamento diverso dalla parte superiore, più resistente per sostenere il peso della Chiesa. Nella parte più bassa vi sono pietre più pregiate, colori come il verde, rosso, rosa. Il verde proviene dalla Val Polcevera ed è il precursore dell'amianto e il rosso è di Levanto.

Dall'analisi del monumento, soprattutto all'esterno, la pietra di promontorio mostra una minore resistenza agli agenti atmosferici rispetto al marmo. Infatti, non si presenta nera come in origine proprio a causa delle reazioni

con agenti degradanti quali la pioggia, il sole e lo smog; in alcuni punti presenta aloni rossastri causati dall'ossidazione dei minerali di ferro contenuti al suo interno.



Figura 8. Chiesa di San Lorenzo, interno

Da notare sono le numerose linee di frattura con angoli di 120 e 60 gradi, analoghe a quelle della calcite. Le linee sono spesso contraddistinte dal colore bianco che sta ad indicare la presenza di calcite formatasi per segregazione e successiva deposizione del carbonato di calcio.

All'interno le pietre sono meno rovinate perché quelle all'esterno sono esposte agli agenti atmosferici, soprattutto quando San Lorenzo era situata in una zona di traffico molto intenso.

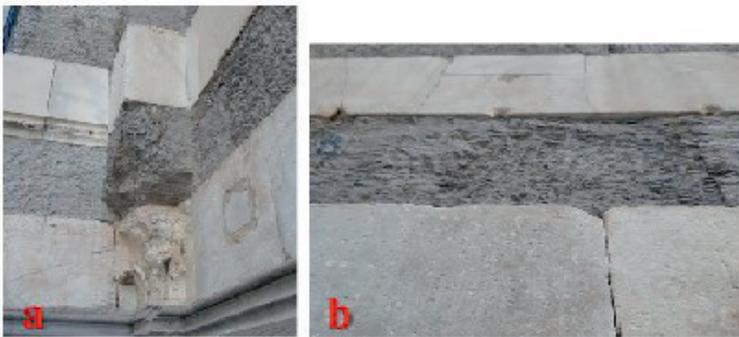


Figura 9. Chiesa di San Lorenzo, a: particolare angolare danneggiato, b: stato di abrasione della Pietra di Promontorio rispetto al marmo.



Figura 9a. Chiesa di San Lorenzo, c: frattura angolare e venature calcifiche tipiche della Pietra di Promontorio, d: *pitting* del marmo

L'unica evidenza degradativa che si riscontra sul marmo sono aree di corrosione nelle quali si genera una macro-porosità visibile ad occhio nudo. In particolare si formano delle zone nelle quali sono presenti veri e propri buchi simili all'effetto che si ha sui metalli corrosi.

Fase 4: Discussione in aula

L'analisi dei monumenti è stata condivisa con i compagni di classe mediante una discussione mediata con i docenti. Gli studenti che hanno partecipato al progetto hanno relazionato ai compagni i risultati della loro ricerca fornendo lo spunto per un dibattito inerente al tema. Dalla discussione sono emersi dei punti fondamentali così riassunti dagli studenti: I materiali lapidei con cui sono costruiti i monumenti genovesi analizzati sono prevalentemente marmo e pietra di Promontori, con l'inserimento di pietre locali più pregiate usate principalmente per manufatti scultorei. Tutte queste rocce sono soggetti a deperimento dovuto a varie cause, in particolare possiamo ricordare le seguenti:

- Cause fisiche quali l'esposizione al sole che causano, generalmente un progressivo schiarimento dei materiali.
- Le alte temperature e l'escursione termica che accentuano soprattutto gli stress meccanici.
- Cause chimiche quali i gas acidi (ossidi di azoto e zolfo) che uniti all'aumento della concentrazione di anidride carbonica presente nell'atmosfera danno origine a piogge acide corrosive soprattutto per i materiali calcarei quali quelli analizzati. Le conseguenze più evidenti sono la corrosione dei calcari e la formazione di croste nere dovute all'inglobamento di particelle carboniose tra i cristalli di gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e di calcite (CaCO_3) durante la ricristallizzazio-

ne ovvero la nuova cristallizzazione del calcare disciolto dagli agenti corrosivi.

- Depositi di particolato atmosferico dovuto principalmente alle polveri sottili e alle particelle carboniose.
- Cause biologiche dovute, ad esempio, al guano corrosivo di piccioni e altri volatili, funghi, licheni, piante infestanti o il respiro dei fedeli e dei turisti.
- All'interazione antropica dovuta in genere al calpestio dei pavimenti e allo sfregamento di parti tangibili da parte degli utenti di questi monumenti.
- Purtroppo anche il vandalismo deve essere annoverato tra le cause di degrado, benché non sia imputabile a questioni fisiche o chimiche ma coinvolga esclusivamente la sfera comportamentale e civile.

Alcuni studenti hanno anche elaborato un personale bozzetto dei monumenti interpretandone gli stili. Tra tutti quello che rappresenta meglio la cattedrale di San Lorenzo è quello realizzato da Francesca Merighi. La sua opera è stata realizzata utilizzando il software contenuto su un tablet ed è riportata in figura 9. Dall'immagine è possibile valutare come ormai, con i moderni mezzi tecnologico sia possibile produrre opere d'arte senza ricorrere esclusivamente materiali classici come tela e pennello.



Figura 10. Facciata della cattedrale di San Lorenzo, elaborazione grafica.

Conclusioni

Il progetto trattato in questo articolo ha cercato di presentare agli studenti del liceo artistico “Klee-Barabino” di Genova la stretta relazione che esiste tra arte e scienza puntando sullo studio della stabilità delle rocce che costituiscono gran parte del patrimonio monumentale genovese.

Le attività hanno permesso loro di sperimentare in prima persona come potrebbe sia strutturato il metodo scientifico con il quale si fa ricerca, quanto sia fondamentale riprodurre in laboratorio le evidenze che si riscontrano sui campioni da analizzare. Con la visita dei monumenti, hanno anche avuto modo di constatare, dal vivo, quanto appreso in classe durante l’attività di laboratorio. Gli aspetti reazionali sono parimenti entrati in gioco: spesso si sottovaluta quanto sia fondamentale che in un team di ricerca ci sia armonia e collaborazione; ecco che durante l’elaborazione dei risultati i gruppi hanno dovuto mediare e negoziare le decisioni, confrontarsi con le differenti conoscenze e competenze, organizzare uno schema dei compiti ben preciso per giungere a ottenere un prodotto valido e adeguato.

Anche a livello dell’interazione tra i docenti, progetti come questo fanno emergere sinergie e differenze. Molto spesso è difficile che materie con fondamenti così differenti come le scienze e la storia dell’arte riescano a lavorare su un piano comune. Qui entra in gioco la capacità dei singoli docenti di abbattere i protagonismi che troppo spesso caratterizzano la scuola e di lavorare per l’obiettivo comune: insegnare e imparare. In questo caso la sinergia che si è instaurata ha fornito ottimi risultati in termini di qualità dell’offerta, di feedback degli studenti e arricchimento professionale. Il liceo artistico, sotto questo punto di vista, ha al suo interno un rosa di competenze molto variegata che permette la progettazione di attività altamente interdisciplinari che portano, ragionevolmente a risultati di alto livello. Tutto all’inizio sembra irrealizzabile, soprattutto se si parte da punti molti distanti ma, citando Eraclito: “Bisogna volere fortemente l’impossibile, perché l’impossibile accada!”

Bibliografia

- Cimmino F., Faccini F., Stones and coloured marbles of Liguria in historical monuments, *Periodico di Mineralogia* (2003), **73**, 71-84
- Carlini R., Pentimalli R., *Materia Chimica - Grandezze, linguaggi, modelli*. Ed. Principato (2018) Milano
- Carlini R., Pentimalli R., *Materia Chimica - Principi, processi, applicazioni*. Ed. Principato (2018) Milano
- Toncini Cabella A., *Chiese e parrocchie gentilizie a Genova. Arte, aristocrazia, devozione*, Ed. De Ferrari (2001)

L'oro di Atlantide *un metallo tra chimica e leggenda*

Maura Andreoni
maurandreoni@gmail.com

Per gli Antichi era un metallo leggendario, un favoloso minerale di rame, quello di qualità più preziosa perché lucente come l'oro, estratto ed utilizzato soprattutto per le armi. Lo chiamavano oricalco. Tra il IX e VIII sec. a.C. forse fece temporaneamente calare il valore del famoso rame cipriota, il calcitide¹; tra IV e III si cercò di riconquistarne la lucentezza con una lega di rame e zinco (ottone), anch'essa denominata oricalco² e in età tardoantica questo termine venne infine riferito ad una lega che aveva la "durezza del bronzo e la lucentezza dell'oro"³. I primi riferimenti a questo metallo sono riscontrabili in alcuni testi poetici, fra i quali un inno minore omerico dedicato ad Afrodite (seconda metà del VII sec. a.C.⁴) e un'opera attribuita ad Esiodo, *lo scudo di Eracle* (prima metà del VI sec. a.C.)⁵. Fu però Platone (428/7 - 348/7 sec. a.C.) a descriverlo, per la prima volta, come un metallo rossastro, che veniva estratto nella mitica Atlantide ed era considerato secondo per valore soltanto all'oro. Di oricalco erano placcati l'interno del tempio di Poseidone e Clito e le mura della terza cinta della leggendaria isola, quella che racchiudeva l'acropoli, che così «risplendevano di rossa luce [...]». Ai tempi di Platone però era già dimenticato e ignoto⁶.

1. Cfr. Plin. *Nat. Hist.* XXXIV, 2, 2.

2. Teoph. *De Lapid.* 49.

3. Is. *Etym.* XVI, 20, 3.

4. "[...] *L'accolser (Afrodite) con animo lieto/l'Ore dai veli d'oro, le cinsero vesti immortali:/la fronte sua divina velaron d'un aureo serto,/bello, d'egregia fattura: nei lobi forati, alle orecchie/un fior, nell'oricalco foggiate, e nell'oro fulgente [...]*" (*Hom. Inno ad Afrodite*, II, 5-9, traduzione di Ettore Romagnoli, 1914).

5. "[...] *E, così detto, alle gambe d'attorno legò gli schinieri/di lucido oricalco, d'Efesto bellissimo dono [...]*" (*Hes. Aspis. Her.* 122-23).

6. "[...] *Quel metallo che ormai si sente solo nominare, allora era più che un nome, ed era estratto dalla terra in molti luoghi dell'isola, ed era a quel tempo il metallo più prezioso dopo l'oro... essi ricoprirono di bronzo, a guisa di vernice, tutto il percorso del muro della cinta esteriore, e spalmarono di stagno liquefatto quello della cinta interiore, e d'oricalco dai riflessi ignei quello della stessa acropoli [...]. Al centro della città vi era il santuario di Poseidone e Clito, lungo uno stadio, largo tre plettri ed alto in proporzione, rivestito di argento al di fuori e di oricalco, oro e avorio all'interno [...]*". Plat. *Crit.* 116-119.

Secondo le leggende, nessuna spada, freccia o lancia era in grado di scalfire gli scudi fatti di oricalco, che risultavano imbattibili per qualunque arma⁷. La più antica testimonianza identificabile con un processo di fusione per ottenere questo metallo è in un frammento delle perdute *Filippiche* di Teopompo di Chio (IV sec. a.C.), un'opera estremamente vasta, con numerosissime digressioni geografiche, culturali, mitologiche, storie fantastiche e racconti favolosi. In un frammento del XIV libro, tramandatoci nella "*Geografia*" di Strabone (I sec. a.C./I sec. d.C.)⁸, Teopompo parla di una pratica di fusione, diffusa presso Andira (odierna città di İnönü) nella Troade (Turchia nord-occidentale, a circa 80 km a sud-est da Troia), che prevedeva l'utilizzo di "*una certa terra*" che, aggiunta al rame, dava origine ad una lega "*che alcuni chiamavano oricalco*".



Dupondio di Nerone in oricalco, I sec. d.C.
(immagine <https://artgallery.yale.edu/collections/objects/128168>)

All'inizio del II sec. a.C., in una delle commedie dello scrittore romano Plauto⁹, l'oricalco è ancora paragonato per valore all'oro ma, circa 150 anni dopo, il suo reale valore sembra essere ormai di dominio pubblico, visto che Cicerone ammoniva che: "*Se qualcuno vende oro ritenendo di vendere oricalco, l'uomo onesto dovrà fargli notare che quello è oro oppure per un denaro comprerà ciò che ne vale mille*"¹⁰.

A partire dalla riforma monetaria augustea, attuata fra il 23 e il 20/19 a.C., l'oricalco entrò nella monetazione¹¹. Una delle principali novità della rifor-

7. Cfr. Hom. *Il.* VI 9-11.

8. Strab. *Geog.*, XIII, 1, 56.

9. Plaut. *Curcul.*, vv. 201-202.

10. Cic. *De Off. I.* II, 23,92.

11. In rame continuarono ad essere conati assi, semissi e quadranti, prima conati in bronzo.

rma fu infatti la sostituzioni di sesterzi e dupondi (i primi piccole monete d'argento di scarso peso; i secondi grandi monete in bronzo), con appariscenti monete in oricalco di grande modulo, peraltro più pratiche nei conteggi e soprattutto ottimo veicolo pubblicitario per la propaganda augustea¹².

Il tenore di zinco nella lega non restò costante nei secoli. Fino al periodo di Claudio (I sec. d.C.) i nominali emessi in oricalco ne contenevano il 20-25%, ma successivamente iniziò una lenta diminuzione fino ad arrivare, nel periodo di Filippo l'Arabo (III sec. d.C.), attorno al 5%¹³.

Nello stesso periodo, il medico Dioscoride Pedanio (I sec. d.C.) cita, a proposito di un medicamento, una polvere bianca ottenuta dalla calcinazione di certe pietre a base di rame che producevano una “fuliggine giallastra color rame”¹⁴.

Plinio il Vecchio, suo contemporaneo, parla di un "*lapide aereo*", letteralmente “un minerale ricco di rame”, che avrebbe ricordato la qualità e il colore aureo dell'oricalco e che sarebbe stata di ottima qualità se il rame fosse stato puro¹⁵.

Era infatti il “colore simile all'oro” che affascinava e, a una prima vista, il termine del metallo prezioso sembra comparire anche nel nome stesso del minerale. In realtà non è così perché il termine greco ὀρείχαλκος (oreikhalkos) deriva da ὄρος (oros = montagna) e χαλκός (chalkos = rame) e

12. Aug. *Res Gest.* 15-17 e 21; cfr. Plin. *Nat. Hist.* XXXIV, 2, 4.

13. I motivi di questo impoverimento nella lega sono da leggere in chiave economica piuttosto che tecnologica e probabilmente sono legati al costo elevato dello zinco ed alla diminuzione di materiale disponibile come, del resto, avvenne per l'argento.

Un'altra delle motivazioni potrebbe essere legata alla ormai diffusa consapevolezza della effettiva natura dell'oricalco, soprattutto considerando che una lega di ottone con quantità di zinco inferiori all'8-10% non conferisce al prodotto finito il caratteristico colore giallo oro, ma viene utilizzata semplicemente per rendere più brillante il rame.

14. Diosc. *Mat. Med.* V, 84

15. Plin. *Nat. Hist.* XXXIV 2, 2-4. L'interpretazione è comunque dubbia, poiché potrebbe trattarsi di un miscuglio di minerali di rame (cuprite, calcocite, malachite, etc.) e calamina minerale (miscuglio di minerali zinciferi comune nelle aree di estrazione del rame, che conferiva al rame un colore splendente, simile all'oro) oppure di rame nativo con impurità a base di zinco (calamina o singoli minerali come la smithsonite). Considerando la giacitura dei depositi minerali citati da Plinio, si può ritenere più plausibile, similmente al caso di Teopompo, la seconda ipotesi (rame nativo con percentuali elevate di calamina minerale).

stava a indicare un metallo noto come “rame della montagna”, forse il rame nativo, di particolare purezza in quanto composto quasi esclusivamente da rame con piccole quantità di altri metalli.

Ma con la successiva trascrizione in latino il prefisso “oros” venne adattato ad “*aurum*”, “oro”, cosicché “*aurichalcum*” prese a significare, con un’interpretazione paretimologica, “rame d’oro” o “rame dorato”¹⁶.

Per i Romani l’identificazione dell’oricalco con l’ottone non fu automatica, anzi molte fonti fanno credere il contrario e, a partire dal I sec. d.C., si cominciò ad intravedere una doppiezza di significato fra l’oricalco degli Antichi e l’ormai noto ottone, chiamato a volte *aurichalcum* e altre volte *orichalcum*.

Come visto, anche Plinio fa una sorta di distinzione fra l’*aurichalcum* leggendario, cioè un rame di eccezionale qualità, ormai esauritosi a causa dello sfruttamento intensivo delle miniere (“[...] *poiché la terra si è stancata di produrne* [...]” ...) e l’*aurichalcum*, da identificarsi con l’ottone, utilizzato per la fabbricazione di gioielli e, appunto, la coniazione di monete¹⁷.

Anche il dizionario enciclopedico *De verborum significatione* di Sesto Pompeo Festo (II sec. d. C.) distingue fra un *aurichalcum* (o *orichalcum*) inteso come “*una certa materia che si ritiene composta da rame e oro, o che dell’oro possiede il colore*”¹⁸ e un *aurichalcum* (ottone) prodotto aggiungendo *cadmea terra* (la calamina) al rame.

E, a metà dello stesso secolo, Pausania nel suo “*Periegesi della Grecia*” usa il termine *oreichalkos* quasi incidentalmente, nel corso di una descrizione di una statua di Corinto, non spiegandolo né soffermandovi, cosa che fa supporre che ai suoi tempi la lega e il suo utilizzo fossero comuni¹⁹.

Quindi resta il dubbio se storicamente l’oricalco sia sempre stato ottone oppure all’ottone sia stato dato il nome di oricalco in memoria di un metallo creduto estinto, della cui composizione si era perso per sempre il segreto

16. La Piccola Treccani, Istituto dell’Enciclopedia Italiana fondata da Giovanni Treccani, Vol. VIII, pag. 517.

17. Plinio *Naturalis Historia*, XXXVII, 42. L’idea che la terra si esaurisca per la continua generazione non solo di uomini, piante e animali, ma anche di pietre e minerali, con la conseguente condanna dell’uomo che la depaupera con la sua attività estrattiva, sono un *tòpos* ricorrente nel mondo antico e in Plinio stesso (cfr. Plin. *Storia naturale*, traduzione e note di Corso A., Mugellesi R., Rosati G. Giulio Einaudi ed. 1988, pp 113-115). Il riferimento pliniano all’uso dell’ottone in gioielleria si trova in XXXVII, 42.

18. Cfr. Is. *Etym.* XVI, 20, 3

19. Paus. II, 37, 2-3.

e ritenuto persino leggendario²⁰.

Fino ad una quindicina di anni fa non esisteva la prova tangibile di un commercio dell'oricalco in epoca antica; tutti i (rarissimi) reperti in ottone fino ad allora rinvenuti costituivano dei pezzi unici ed erano principalmente piccoli oggetti di gioielleria e artigianato, nessuna produzione in serie. Ma tra il 2014 e il 2017, sulla costa sud della Sicilia a Gela, di fronte al litorale di contrada Bulala, in un relitto di una nave greca risalente a circa 2.600 anni fa, sono stati rinvenuti 86 lingotti di un metallo lucente, composto da una lega che, alle analisi metallo grafiche, è risultata essere al 75-80% rame, al 15-20% zinco, con piccole percentuali di nichel, piombo e ferro: oricalco, così come lo si conosce, anche dall'aspetto dorato, dalle fonti²¹.



Alcuni dei lingotti di oricalco rinvenuto al largo di Gela nel 2004. (foto: Emanuele Riela [CC BY-SA 4.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>])

Nel Medioevo la lega fu usata per la fabbricazione di strumenti musicali a fiato, tipo trombe, chiarine ed altri simili e per tale motivo, ancora nell'800, con "oricalchi" in generale si intendevano tutti gli strumenti metallici a boc-

20. Anatrini L., Atlantide, l'oricalco e altre cose misteriose, in Query on line, la scienza indaga i misteri, 1 marzo 2017. Il fascino dell'oricalco continua anche ai giorni nostri: ancora nel romanzo *Occidente* di Mario Farneti (2001), le insegne imperiali dell'Impero Romano d'Occidente sono forgiate nell'oricalco.

21. Oltre ai lingotti sono stati rinvenuti due elmi corinzi provenienti dai fondali di contrada Bulala: si tratta di due oggetti molto simili tra di loro, inquadrabili nella tipologia dell'elmo diffuso in Grecia tra il 650 e il 450 a.C.

chino, che attualmente chiamiamo “ottoni”²², termine storico con cui sidentificanogli strumenti a fiato costruiti nell’omonimo metallo²³.

22. Vedi “*Il rimbombo de' bellici Oriccalchi*” di Manzoni, nell’introduzione a “I Promessi Sposi” (1827); il verdiano “*I titanici oricalchi squillano nel ciel*” (Verdi, “Otello”, 1887) o ancora, *Le città del silenzio, Orvieto* del D’Annunzio: “[...] *Gli angeli formidabili di Luca/ domani soffieran nell’oricalco/l’ardente spiro del torace aperto [...]*”.

23. La definizione tuttavia non deve trarre in inganno perché esistono strumenti costruiti in ottone che però ricadono in altre categorie, come ad esempio il sassofono, che non è un aerofono (come il corno, il trombone, la tuba, il flicorno, il cornetto e il serpente) ma uno strumento ad ancia. Più precisamente l’ottone è uno strumento musicale in cui il suono è prodotto dalla vibrazione delle labbra del musicista appoggiate ad un bocchino collegato ad un tubo cavo, in cui la vibrazione risuona.

Arsenico: fra storia e leggenda

Rinaldo Cervellati

Gruppo Nazionale di Fondamenti e Storia della Chimica (GNFSC)

Riassunto

Di primo acchito, chiunque legga o ascolti la parola arsenico, pensa a un veleno, ma quasi certamente ignora che questo elemento è stato usato anche come medicinale, un arsenobenzolo è stato fondamentale nel debellare la sifilide, malattia venerea dall'esito fatale prima della scoperta di questo farmaco. Ne presente articolo, senza pretesa di esaustività viene presentata una dettagliata raccolta di fatti sull'arsenico, sui suoi principali composti e applicazioni dai primi secoli fino ai giorni nostri.

Abstract

At first glance, anyone who reads or hears the word arsenic, thinks of a poison, but it is almost certainly ignores that this element has also been used as a medicine, an arsenobenzol has been fundamental in eradicating syphilis, a venereal disease with a fatal outcome before discovery of this drug. In this article, without a claim to completeness, a detailed collection of facts on arsenic, on its main compounds and applications from the first centuries to the present day is presented.

L'arsenico (As) è l'elemento n. 33 della tavola periodica, collocato nel gruppo 15, sotto il fosforo, a fianco di germanio (a sinistra) e selenio (a destra). La sua abbondanza nella crosta terrestre è stimata fra 1,6 e 1,8 ppm. Sebbene raramente, si trova libero in natura sottoforma cristallina costituita dall'isotopo stabile ^{75}As .

Tre sono le sue forme allotropiche: grigia, gialla e nera. La grigia è la più comune e in questa si presenta allo stato nativo. È presente in molti minerali, ad es. il realgar (un solfuro contenente anche altri elementi), il più importante è l'arsenopirite (arsenosolfuro di ferro (FeAsS)) dal quale si estrae.



L'arsenico è noto fin dall'antichità, il suo nome ha origine nella parola siriana (al) zarnīqa, dalla parola persiana zarnikh, che significa "giallo" (letteralmente "color oro") a causa del suo noto minerale orpimento, intensamente di questo colore.



Orpimento

Fu trasformato nel greco arsenikon (ἀρσενικόν), forma neutra della parola greca arsenikos (ἀρσενικός), che significa "maschio", "virile". La parola greca fu adottata in latino come *arsenicum*, che in italiano divenne *arsenico* e inglese *arsenic*.

Zosimo (circa 300 d.C.)¹ descrive la torrefazione del realgar per ottenere una “nuvola di arsenico” (triossido di arsenico o anidride arseniosa As_2O_3), che poi viene ridotta in arsenico grigio.



Simbolo alchemico per l'arsenico

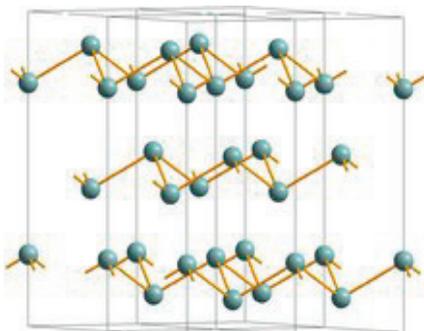
Come noto l'arsenico e molti suoi composti sono altamente velenosi con sintomi non molto specifici. A causa del suo uso da parte della classe dominante per uccidersi a vicenda e la sua potenza e discrezione, l'arsenico è stato chiamato il "veleno dei re" e il "re dei veleni".

1. Zosimo di Panopolis (in greco Ζώσιμος ὁ Πανοπολίτης, noto anche con il nome latino Zosimus Alchemista) è stato un alchimista egiziano che visse tra la fine del 3° e l'inizio del 4° secolo d.C. Nacque a Panopolis, l'attuale Akhmim, nel sud dell'Egitto romano. Scrisse i più antichi libri noti sull'alchimia, che chiamò "Cheirommeta", usando la parola greca per "cose fatte a mano".

Durante l'Età del Bronzo l'arsenico era spesso incluso nella lega per renderla più dura. L'isolamento dell'arsenico fu descritto da Jabir ibn Hayyan² prima dell'815 d.C. Alberto Magno³, nel 1250, isolò l'elemento da un composto, riscaldando sapone insieme a trisolfuro di arsenico. Nel 1649 Johann Schröder⁴ ottenne arsenico elementare riscaldando il suo ossido.

In epoca vittoriana l'"arsenico bianco" (triossido di arsenico) veniva mescolato con aceto e gesso e usato dalle donne come cosmetico per migliorare la carnagione del viso, rendendo la pelle più chiara.

L'arsenico grigio, la forma più stabile dell'arsenico, ha una struttura cristallina a doppio strato costituita da molti anelli intrecciati, a sei membri.



Struttura cristallina dell'arsenico grigio

A causa del debole legame tra gli strati, l'arsenico grigio è fragile e ha una durezza Mohs relativamente bassa (3,5) e un'alta densità (5,73 g/cm³). L'arsenico grigio è un semimetallo, può cioè formare sia composti basici sia acidi. Allo stato amorfo diventa semiconduttore con una banda di 1,2–1,4 eV.

2. Abū Mūsā Jābir ibn Hayyān (721?-815? d.C.), arabo/persiano, è il presunto autore di un numero enorme di opere, in arabo spesso chiamato corpus jabiriano. Il corpus copre una vasta gamma di argomenti, tra cui alchimia, cosmologia, numerologia, astrologia, medicina, magia, misticismo e filosofia. È stato ampiamente descritto come il padre della prima chimica, inventando molti dei processi in parte ancora oggi utilizzati dai chimici.

3. Albertus Magnus (1193 -1280), noto anche come Sant'Alberto Magno e Alberto di Colonia, è stato un frate e vescovo domenicano cattolico tedesco. Durante la sua vita fu conosciuto come Doctor universalis e Doctor expertus e, alla fine della sua vita, il soprannome di Magnus fu aggiunto al suo nome.

4. Johann Schröder (1600 - 1664), medico e farmacologo tedesco che fu la prima persona a riconoscere che l'arsenico era un elemento.

Arsenico nativo: *amorfo*Arsenico nativo: *semicristallino*

L'arsenico giallo è morbido e ceroso e in qualche modo simile al tetrafosforo (P_4). Entrambi hanno quattro atomi disposti in una struttura tetraedrica in cui ciascun atomo è legato agli altri tre da un singolo legame covalente. Questo allotropo instabile, essendo molecolare, è il più volatile, meno denso e più tossico. L'arsenico giallo solido è prodotto dal rapido raffreddamento dei vapori di arsenico. Viene velocemente trasformato in arsenico grigio dalla luce. La forma gialla ha una densità di $1,97 \text{ g/cm}^3$. L'arsenico nero ha una struttura simile al fosforo rosso, è vetroso, fragile, cattivo conduttore elettrico.

L'arsenico ha elettronegatività e numeri di ossidazione simili a quelli del fosforo, i più comuni sono -3, +3 e +5, quindi forma rapidamente molecole covalenti con la maggior parte dei non metalli. Sebbene stabile all'aria secca, l'arsenico forma una patina bronzea che infine diviene uno strato superficiale nero se esposto all'umidità. Riscaldato in aria, l'arsenico si ossida in triossido di arsenico As_2O_3 (anidride arseniosa); i fumi di questa reazione hanno un odore simile a quello dell'aglio. Questo odore può essere percepito anche nei minerali come l'arsenopirite. Brucia in ossigeno per formare triossido di arsenico e pentossido di arsenico As_2O_5 , e nel fluoro per fornire pentafluoruro di arsenico. L'arsenico e alcuni suoi composti sublimano per riscaldamento a pressione atmosferica, convertendosi direttamente in forma gassosa senza passare per lo stato liquido. L'arsenico reagisce con l'acido nitrico concentrato formando acido arsenico (H_3AsO_4), con acido nitrico diluito forma invece acido arsenioso ($As(OH)_3$). Reagisce con acido solforico concentrato per dare triossido di arsenico. Non reagisce con acqua, alcali o acidi non ossidanti come l'acido cloridrico. L'arsenico reagisce con i metalli per formare arseniuri, sebbene essi non siano composti ionici contenenti lo ione As^{3-} poiché la formazione di un tale anione sarebbe altamente endotermica, vanno pertanto considerati composti intermetallici.

Il più semplice composto dell'arsenico è l'idruro, AsH_3 , comunemente chiamato *arsina*, gas infiammabile e tossico. L'arsina è stabile a temperatu-

ra ambiente, sopra i 250 °C si decompone rapidamente in arsenico e idrogeno. Si ossida facilmente in aria per formare triossido di arsenico.

L'arsenico forma ossidi incolori, inodori, solubili in acqua per formare soluzioni acide. L'acido arsenico è un acido debole, i suoi sali sono chiamati arseniati. Gli arseniati naturali sono i principali responsabili della contaminazione da arsenico delle acque sotterranee.

L'arseniato sintetico di rame (verde di Scheele) è stato usato come pigmento in pittura, quelli di calcio e piombo furono impiegati come insetticidi.

È nota un'ampia varietà di composti solforati di arsenico, sono già stati ricordati l'orpimento (As_2S_3) e il realgar (As_4S_4), minerali usati anche come pigmenti per pittura.

Tutti gli alogenuri di arsenico (III) sono noti, per quanto riguarda l'As(V), l'unico importante è il pentafluoruro di arsenico (AsF_5), che riflette la bassa stabilità dello stato di ossidazione +5, infatti il pentacloruro è stabile solo al di sotto di -50 °C, al di sopra si decompone rilasciando cloro gassoso

L'arsenico elementare, come gli altri elementi del gruppo 15, è usato nei semiconduttori, ad esempio arseniuri di gallio, indio e alluminio. Il contorno elettronico di valenza dell'arseniuro di gallio (GaAs) è lo stesso di quello del silicio, ma la struttura della banda di conduzione è completamente diversa, il che conferisce a GaAs peculiari proprietà.

I composti organoarsenici sono una grande varietà, per l'importanza che hanno avuto in medicina e farmacologia li tratteremo a parte. Qui ricordiamo solo il cacodile (tetrametil diarsenico), detto anche liquido fumante di Cadet, perché considerato come il primo composto organometallico sintetico, ottenuto nel 1760 da Louis Claude Cadet⁵ facendo reagire acetato di potassio con triossido di arsenico.

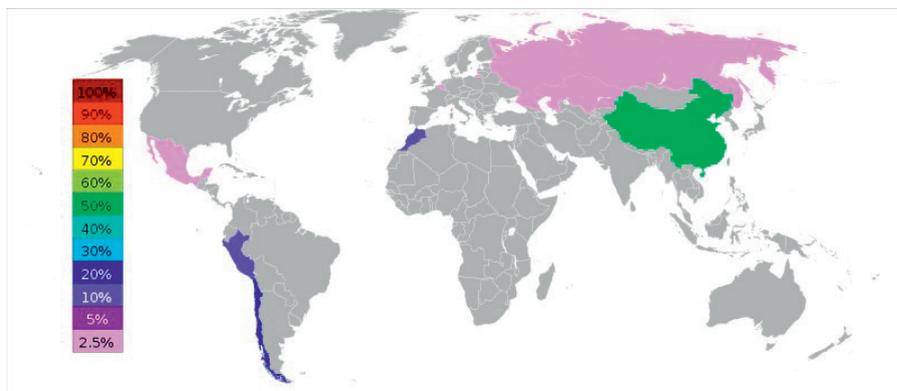
Per torrefazione dell'arsenopirite in aria, l'arsenico sublima come ossido di arsenico (III) lasciando ossidi di ferro, mentre la torrefazione senza aria provoca la produzione di arsenico grigio. L'ulteriore purificazione dallo zolfo e da altre scorie si ottiene mediante sublimazione sotto vuoto, in atmosfera di idrogeno o mediante distillazione da una miscela fusa di piombo-arsenico.

La maggior parte delle fabbriche di raffinamento dell'arsenico negli Stati Uniti e in Europa hanno chiuso per problemi di inquinamento ambientale.

L'arsenico si trova anche nelle scorie delle fonderie di rame, oro e piombo e viene recuperato principalmente dalla polvere di raffinazione del rame.

5. Louis Claude Cadet de Gassicourt (1731 – 1799), chimico e farmacista francese, noto per aver sintetizzato nel 1757 il primo composto organometallico, l'ossido di cacodile.

Secondo il BGS (British Geological Survey) e l'USGS (United States Geological Survey), nel 2014 la Cina è stata il principale produttore di arsenico bianco con quasi il 70% della produzione mondiale, seguita da Marocco, Russia, Belgio e Cile.



Produzione mondiale di arsenico (2006)

Per torrefazione dell'arsenopirite in aria, l'arsenico sublima come ossido di arsenico (III) lasciando ossidi di ferro, mentre la torrefazione senza aria provoca la produzione di arsenico grigio. L'ulteriore purificazione dallo zolfo e da altre scorie si ottiene mediante sublimazione sotto vuoto, in atmosfera di idrogeno o mediante distillazione da una miscela fusa di piombo-arsenico.

La maggior parte delle fabbriche di raffinamento dell'arsenico negli Stati Uniti e in Europa hanno chiuso per problemi di inquinamento ambientale.

L'arsenico si trova anche nelle scorie delle fonderie di rame, oro e piombo e viene recuperato principalmente dalla polvere di raffinazione del rame.

Usi dell'arsenico

In agricoltura

La tossicità dell'arsenico per insetti, batteri e funghi ha portato al suo uso come conservante del legno: l'arseniato di rame e cromo (CCA) nel trattamento del legno è stato per decenni il più ampio uso industriale dell'arsenico. Una maggiore consapevolezza della tossicità dell'arsenico ha portato a un divieto del CCA nel 2004, avviato dall'Unione europea poi seguita dagli USA. Tuttavia, il CCA è ancora utilizzato in altri paesi, ad es. nelle piantagioni di gomma della Malesia.

L'arsenico è stato anche usato in vari insetticidi e veleni agricoli. Ad esempio, l'arseniato di piombo era un insetticida comune per gli alberi da frutta, ma talvolta il contatto con il composto causava danni cerebrali in chi lavorava con gli spruzzatori. Nella seconda metà del 20° secolo, il monosodio metil arsenato (MSMA) e il disodio metil arsenato (DSMA) - forme organiche meno tossiche di arsenico - sostituirono l'arseniato di piombo in agricoltura. Questi arsenocomposti sono stati a loro volta gradualmente eliminati entro il 2013 in tutte le attività agricole ad eccezione dell'agricoltura del cotone.

L'arsenico organico è stato usato come additivo per mangimi nella produzione di pollame e suini, in particolare negli USA per prevenire le malattie, aumentare il peso e la velocità di crescita degli animali. Un esempio è il roxarsone, usato come additivo da circa il 70% dei produttori industriali di polli da carne fino al 2009. Fortunatamente per noi, l'Unione Europea vietò l'uso di questi additivi già nel 1999.

In medicina e farmacologia

Sebbene molti composti dell'arsenico siano considerati altamente tossici, un'ampia varietà di composti organoarsenici viene prodotta biologicamente e vari composti di arsenico organico e inorganico vengono metabolizzati da numerosi organismi. Qualunque sostanza può mostrare effetti sia benefici sia deleteri⁶. La biochimica dell'arsenico è diventata attuale poiché molti composti tossici di arsenico si trovano in alcune falde acquifere, colpendo potenzialmente molti milioni di persone attraverso processi biologici.

Nel corso dei secoli XVIII, XIX e XX, un certo numero di composti dell'arsenico, a concentrazione subtossica, furono usati come medicine nel trattamento di malaria, diabete, bronchite, nevralgia, gastralgie e disturbi uterini. Il principale successo medico di un composto organico dell'arsenico, un arsenobenzolo (arsfenamina) è stato nella cura della sifilide.

Sintetizzato da Paul Ehrlich⁷ attorno al 1908, il composto fu commercializzato nel 1910 con il nome di Salvarsàn 606. Fino all'avvento della penicillina è stato l'unico farmaco efficace contro la sifilide. Tuttavia, il Salvarsàn e analoghi organoarsenici, come il melarsoprol, sono ancora utilizzati per il trattamento della tripanosomiasi africana (malattia del sonno),

6. *Omnia venenum sunt: nec sine veneno quicquam existit. Dosis sola facit, ut venenum non fit.*, ovvero: Tutto è veleno: nulla esiste di non velenoso. Solo la dose fa in modo che il veleno non faccia effetto. (Paracelso, Opera omnia)

7. Paul Ehrlich (1854 - 1915), microbiologo e immunologo tedesco, fondatore della chemioterapia, cioè della terapia con particolari composti chimici in grado agire in modo specifico contro determinati microbi. Premio Nobel 1908 per la medicina.

poiché sebbene questi farmaci abbiano una grave tossicità, la malattia è quasi sempre fatale se non trattata.

Il triossido di arsenico, sottoforma di soluzione di Fowler⁸, è stato usato in molti modi negli ultimi 230 anni, più comunemente nel trattamento della leucemia, ma anche in altre patologie meno gravi come la psoriasi.

Recentemente, i ricercatori hanno localizzato i tumori usando l'isotopo artificiale radioattivo ⁷⁴As. Questo isotopo produce immagini di scansione PET (tomografia a scansione di positroni) più chiare rispetto al precedente agente radioattivo, lo iodio-124, perché il corpo tende a trasportare lo iodio nella ghiandola tiroidea producendo rumore di fondo che disturba i segnali.

In metallurgia ed elettronica

L'uso principale dell'arsenico è in lega con piombo. I componenti di piombo nelle batterie per auto sono rafforzati dalla presenza di una percentuale molto piccola di arsenico. La dezincificazione dell'ottone (una lega rame-zinco) è notevolmente ridotta dall'aggiunta di arsenico. Dell'arseniuro di gallio si è già detto: i circuiti integrati realizzati con GaAs sono molto più veloci (ma anche molto più costosi) di quelli realizzati con silicio. Viene anche utilizzato in diodi laser e LED per convertire l'energia elettrica direttamente in luce.

Ruolo biologico

Alcune specie di batteri ottengono la loro energia ossidando vari alimenti mentre riducono l'arseniato in arsenito. In condizioni ambientali ossidative alcuni batteri ossidano l'arsenito in arseniato come combustibile per il loro metabolismo. Gli enzimi coinvolti sono noti come arseniato reductasi (Arr).

Nel 2000 sono stati scoperti batteri che sfruttano una versione della fotosintesi in assenza di ossigeno con arseniti come donatori di elettroni, producendo arseniati (proprio come la fotosintesi ordinaria usa l'acqua come donatore di elettroni, producendo ossigeno molecolare). Questo processo può essere classificato come ossidazione di arsenito chemolitotrofica, per la quale l'ossigeno viene utilizzato come accettore di elettroni terminale, l'arsenito è il donatore di elettroni e l'anidride carbonica è la fonte di carbonio.

I ricercatori ipotizzano che, nel corso della storia, questi organismi fotosinte-

8. La soluzione di Fowler, contenente l'1% di arsenito di potassio (KAsO₂), si ottiene sciogliendo l'ossido di arsenico (III) in una soluzione di carbonato di potassio. Thomas Fowler (1736-1801), medico inglese, direttore dell'ospedale di York, propose il farmaco nel 1786 come antianemico e ricostituente.

tizzanti abbiano prodotto gli arseniati che hanno consentito di prospettare ai batteri che riducono l'arsenico. Alcune prove indicano che l'arsenico è un elemento traccia essenziale in alcuni uccelli e mammiferi (ratti, criceti e capre). Nell'uomo è considerato un elemento ultra traccia, non sono noti ruoli biologici scientificamente provati nella nutrizione umana.

L'arsenico è stato collegato a variazioni epigenetiche, cambiamenti ereditabili nell'espressione genica che si verificano senza cambiamenti nella sequenza del DNA. Questi includono la metilazione del DNA e l'interferenza nell'RNA. Livelli tossici di arsenico causano una significativa ipermetilazione dei geni soppressori del tumore p16 e p53 nel DNA, aumentando così il rischio di carcinogenesi. Questi eventi epigenetici sono stati studiati in vitro usando cellule renali umane e in vivo usando cellule epatiche di ratto e leucociti di sangue periferico nell'uomo. La tecnica ICP-MS (Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry o spettrometria di massa a plasma accoppiato induttivamente) è utilizzata per rilevare livelli precisi di arsenico intracellulare e altre basi di arsenico coinvolte nella modificazione epigenetica del DNA. Gli studi sull'arsenico come fattore epigenetico possono essere utilizzati per sviluppare specifici biomarcatori di esposizione e suscettibilità.

La felce cinese del fieno (*Pteris vittata*) iperaccumula l'arsenico dal terreno nelle sue foglie ed è stata proposta nel *Fitorisanamento*, tecnologia che utilizza piante verdi e microrganismi associati, insieme a opportuni trattamenti del suolo e tecniche agronomiche, per contenere, rimuovere o rendere innocui i contaminanti ambientali tossici. Tuttavia, in questo caso è necessario prendere in considerazione lo smaltimento del materiale vegetale contaminato.

L'arsenico inorganico e i suoi composti, entrando nella catena alimentare, sono progressivamente metabolizzati attraverso un processo di metilazione. Ad esempio, la muffa *Scopulariopsis brevicaulis* produce quantità significative di trimetilarsina se è presente arsenico inorganico. Il composto organico arsenobetaina si trova in alcuni alimenti marini come pesce e alghe e, in concentrazioni maggiori, anche nei funghi. L'assunzione media del consumatore è di circa 10-50 µg/giorno. I valori di circa 1000 µg non sono insoliti dopo il consumo di pesce o funghi, ma c'è un basso pericolo perché questo composto di arsenico è praticamente atossico.

Depurazione delle acque inquinate da arsenico

Le acque dolci non dovrebbero contenere più di 10 µg/L di arsenico, ma la biochimica dell'arsenico e l'inquinamento dovuto all'uomo hanno inquinato molte falde acquifere in diversi Paesi.

Sono stati usati metodi fisici e chimici per depurare l'acqua contaminata da arsenico, ad esempio l'adsorbimento su ferro, la coagulazione e flocculazione con ferro e l'elettroflocculazione.

Sembra tuttavia che il biorisanamento sia più economico e rispettoso dell'ambiente. Il biorisanamento delle acque sotterranee contaminate con arsenico mira a convertire l'arsenito, la forma tossica dell'arsenico per l'uomo, in arseniato. L'arseniato è la forma dominante di arsenico nelle acque superficiali, mentre l'arsenito è la forma dominante in ambienti privi o scarsi di ossigeno. L'arsenito è più solubile e mobile dell'arseniato. Molte specie di batteri possono trasformare l'arsenito in arseniato in condizioni anossiche usando l'arsenito come donatore di elettroni. Questo metodo è utile per la bonifica delle acque sotterranee. Indipendentemente dal metodo utilizzato, solo un monitoraggio costante può prevenire future contaminazioni.

Tossicologia

L'arsenico elementare e i suoi composti sono classificati come tossici e pericolosi per l'ambiente nell'Unione Europea ai sensi della direttiva 2008/50/EU. L'Agenzia internazionale per la ricerca sul cancro (IARC) riconosce l'arsenico e i composti inorganici dell'arsenico come agenti cancerogeni del gruppo 1 e l'UE elenca il triossido di arsenico, il pentossido di arsenico e gli arseniati come agenti cancerogeni di categoria 1.

L'esposizione professionale e l'avvelenamento da arsenico possono verificarsi in persone che lavorano in settori che prevedono l'uso di arsenico inorganico e suoi composti, come la conservazione del legno, la produzione di vetro, di leghe metalliche non ferrose e la produzione di semiconduttori elettronici. L'arsenico inorganico si trova anche nelle emissioni di forni da coke associate all'industria metallurgica.

L'Unione Europea ha fissato il limite massimo di 6 ng/m³ di arsenico nell'aria per un anno di lavoro.

L'arsenico è noto per causare arsenicosi quando presente nell'acqua potabile.

I sintomi dell'intossicazione acuta sono nausea, vomito, dolori addominali, irritazione cutanea, laringite e bronchite. In mancanza di un pronto intervento sopravvivono danni all'apparato circolatorio, al sistema nervoso centrale e periferico che conducono al coma e poi alla morte.

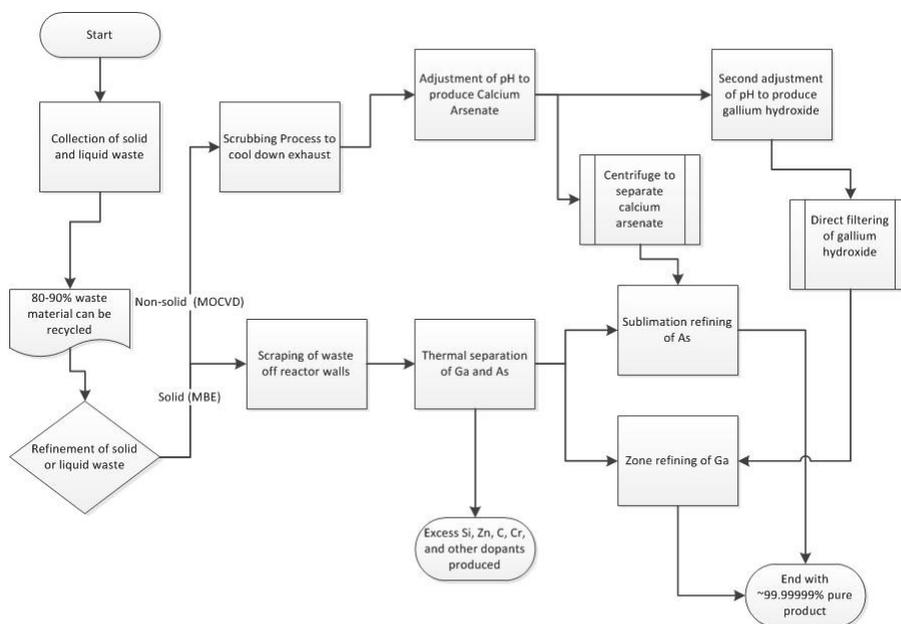
I sintomi dell'intossicazione cronica da As inorganico comprendono: alito agliaceo, epatotossicità, ematotossicità, neurotossicità, debolezza muscolare, irritazione cutanea, strie biancastre sulle unghie. L'intossicazione cronica da As organico è rara.

È possibile il trattamento dell'avvelenamento da arsenico: il dimercapolo (ditioglicerina) e la penicilamina sono farmaci efficaci se somministrati entro un'ora o al massimo due dall'avvelenamento. La somministrazione deve proseguire per almeno otto giorni.

Tuttavia non è possibile prevedere gli effetti a lungo termine dell'esposizione all'arsenico che è stata collegata all'insorgenza di cancro alla vescica, alla prostata ai reni e al fegato, oltre al tumore ai polmoni.

Riciclaggio degli scarti di lavorazione e dei rifiuti fine vita dell'arseniuro di gallio

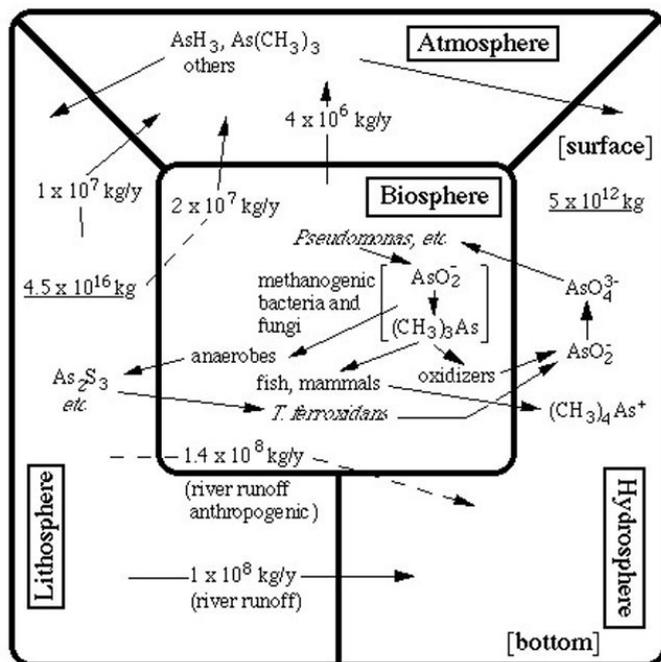
È stato proposto e in stato di attuazione un processo per il recupero praticamente completo dei due elementi del semiconduttore. In figura è riportato lo schema completo [1].



Ciclo Biogeochimico

In figura è rappresentato un diagramma di tale ciclo, tratto da [2]. Il diagramma è diviso in quattro parti: al centro la biosfera, circondata da atmosfera (in alto), litosfera e idrosfera ai lati sinistro e destro rispettivamente. La quantità totale dell'elemento in una sfera (ad es. litosfera) è data in kg

e il numero è sottolineato. La velocità di trasferimento (flusso o tasso di scorrimento) da una sfera a un'altra è riportata in termini di kg l'anno (kg/y) e il valore è inserito in una freccia che mostra la direzione del flusso.



Ciclo biogeochimico dell'arsenico

Sono anche indicati i nomi dei principali composti o minerali coinvolti nei flussi. Poiché le attività umane (antropogeniche) oggi trasferiscono quantità di elemento a tassi significativi, questi trasferimenti antropogenici sono evidenziati da una linea tratteggiata attraverso la biosfera.

I dati quantitativi riportati sono stime basate su dati noti relativi alla composizione elementare di acqua di fiume, acqua di mare, di alcuni organismi rappresentativi e le quantità totali nella crosta terrestre, nell'acqua di mare, nella biosfera, ecc.

Tali dati possono essere considerati accurati entro più o meno un ordine di grandezza [1].

Nel caso specifico dell'arsenico possiamo vedere che molti microrganismi contribuiscono al suo ciclo biogeochimico. Batteri del suolo come *Pseudomonas*, *Xanthomonas*, *Alicigenes faecalis* e *Achromobacter ossida-*

no l'arsenite ad arseniato. L'enzima responsabile di questa ossidazione, è l'arsenito deidrogenasi. Il *Tiobacillus ferroxidans*, un versatile batterio ossidante, è in grado di ossidare l'arsenico presente in minerali come l'arsenopirite, l'enargite e l'orpimento. La riduzione di arseniato in arsenito può essere effettuata praticamente da qualsiasi sistema riducente, ma nelle piante e negli animali superiori i re-sponsabili di questo processo sono microbi come ad es., il *Micrococcus lattilyticus*. Un certo numero di funghi e la specie *Methanobacterium* producono arsina dall'arsenato.

La via più diffusa per il metabolismo di arseniato o arsenito è la metilazione, da cui si possono ottenere tre prodotti metilati: dimetil arsina ($(\text{CH}_3)_2\text{AsH}$), trimetil arsina ($(\text{CH}_3)_3\text{As}$) e tetrametil arsonio ($(\text{CH}_3)_4\text{As}^+$). Batteri anaerobici come il *Methanobacterium* producono dimetil arsina, mentre i funghi aerobici come la *Scopulariopsis brevicaulis* e la *Candida humicola* sintetizzano trimetil arsina sia dall'arsenato che dai suoi intermedi metabolici. Trimetil arsina e dimetil arsina, una volta formati, possono prontamente diffondersi dalle cellule. In organismi con sistema di escrezione urinario, la trimetil arsina può essere ulteriormente metilata in sali di tetrametil arsonio, che sono solubili in acqua e facilmente escreti. Questa reazione è stata dimostrata nell'uomo e in altri animali.

Desidero infine precisare che poiché l'impatto delle attività antropogeniche può alterarli, lo studio dei cicli biogeochimici degli elementi è oggetto di continui aggiornamenti e revisioni.

L'arsenico in letteratura e cinematografia

A parte i numerosi romanzi gialli in cui l'arsenico è l'"arma del delitto", molti dei quali dovuti alla penna della prolifica Agatha Christie, con l'arsenico si suicida la protagonista del famoso romanzo sociale "Madame Bovary" di Gustave Flaubert. All'arsenico è dedicato uno dei racconti de "Il sistema periodico" di Primo Levi. "Arsenico e vecchi merletti", film di Frank Capra del 1944, è considerata una delle migliori pellicole della commedia statunitense.

Altre curiosità

Si è molto dibattuto se la morte di Napoleone sia stata provocata da avvelenamento da arsenico. Un dettagliato resoconto sul fatto si trova in un bell'articolo didattico di Laura Gasque Silva, che contiene anche la delucidazione della struttura del Salvarsán, avvenuta solo nel 2005 [3].

Opere consultate

CRC, Handbook of Chemistry and Physics, 85th, p. 4-4

<https://en.wikipedia.org/wiki/Arsenic>

Bibliografia

[1]<https://www.appropedia.org/>

Semiconductor_recycling_plant_case_study_of_GaAs_photovoltaic_manufacturing_-_case_study

[2] V. Cilek (a cura di), Earth System: History and Natural Variability - Volume IV, UNESCO-EOLSS, 2009, pp. 239-240.

[3] L. Gasque Silva, Arsénico, el elemento inclasificable., *Educación. Química.*, **2013**, 24(2), 495-500. (in Spagnolo).

La battaglia contro il riscaldamento e l'inquinamento del pianeta è indispensabile.

Per realizzarla occorre promuovere azioni scientificamente fondate

Fabio Olmi
fabio.olmi@gmail.com

Sono ormai molti anni che mi interesso dei problemi della salvaguardia dell'ambiente che ritengo essenziale per la sopravvivenza del pianeta, consapevole di due particolari opportunità che mi si offrivano: da un lato l'essere un chimico mi offriva la possibilità di entrare nel merito dei problemi da un punto di vista privilegiato e scientificamente fondato su dati, dall'altro come insegnante mi consentiva di far maturare nei miei studenti la consapevolezza dell'importanza di combattere l'inquinamento del pianeta e di promuovere azioni individuali virtuose rivolte al quotidiano rispetto dell'ambiente. Sul sito personale www.lachimicadelprofolmi.it sono presenti i vari lavori che sono stati eseguiti negli anni con i miei studenti.

Ora che sono ormai insegnante in pensione, di fronte al rapido aggravarsi dei segnali di crisi ambientale (inquinamento sempre più diffuso e riscaldamento ambientale sempre più rapido), ho voluto testimoniare la mia preoccupazione scrivendo alcuni contributi^{1,2} e ho iniziato ad andare nelle scuole secondarie di secondo grado per incontrare e dialogare con gli studenti. Ho tenuto alcune conferenze-dibattito con lo scopo di stimolare la loro consapevolezza sulla gravità della situazione del pianeta e l'esigenza di promuovere azioni virtuose a livello individuale e quotidiano.

Il presente contributo, pensato come oggetto di presentazione-discussione con gli studenti delle classi IVe e Ve, è rivolto alla riflessione su alcune questioni controverse relative alle varie problematiche della tutela dell'ambiente.

I tanti problemi che la salvaguardia dell'ambiente coinvolge vengono affrontati spesso con superficialità, disinformazione e anche con visioni parziali e talvolta scientificamente errate. Poiché affrontare i problemi della salvaguardia dell'ambiente è questione essenziale e urgente è allora necessario esaminare alcuni suoi aspetti che è necessario vengano affrontati con corrette decisioni.

1. Fabio Olmi - *Economia circolare, fonti energetiche rinnovabili, cambiamento di stile di vita*, blog SCI, posted 23 Gennaio 2019.

2. Fabio Olmi - *Oltre la differenziata: il riciclo dei rifiuti come miniere antropiche*, CnS, La Chimica nella Scuola, n.1 , 2019.

C'è senz'altro una grande convergenza di vedute da parte di scienziati e tecnici di diverso orientamento sull'esigenza di promuovere una sempre più ampia economia circolare e sull'impiego sempre più diffuso delle energie rinnovabili, il **come farlo**, però, dà adito a delle differenze anche grandi, non sempre scientificamente sostenibili. Affrontiamo brevemente alcuni punti controversi.

PRIMO PUNTO: discariche e/o termovalorizzatori?

Fino a pochi anni fa lo smaltimento in discarica in Italia era il principale metodo di eliminazione (?) dei rifiuti: dati del 2004 indicano che il 51,9% del totale dei rifiuti prodotti veniva smaltito in discarica, con un enorme spreco nel recupero di materia e di energia. Da allora la raccolta differenziata dei rifiuti e l'economia circolare ha fatto notevoli passi in avanti e la quantità di rifiuti recuperata e trattata in diverse filiere della differenziata è passata a circa il 53%, ma con una forte disomogeneità far Nord, Centro e Sud Italia³. Quali sono gli obiettivi per i prossimi anni fissati dalle normative europee? I traguardi fissati per il 2030 sono i seguenti:

- avviare al recupero almeno il 65% dei rifiuti
- affidare alla termovalorizzazione il 25% dei rifiuti
- ridurre il conferimento in discarica dei rifiuti urbani a non più del 10%

Si tratta di obiettivi ovviamente impegnativi, ma non irraggiungibili.

E'certo però che per raggiungere questi obiettivi occorrono tutta una serie di impianti che attualmente mancano nel paese e la decisione sulla loro realizzazione deve passare dalla politica. I politici, tuttavia, si oppongono alla costruzione di qualsiasi nuovo impianto perché questo genera consenso presso gli elettori, ma si rendono così responsabili di un deficit impiantistico sempre maggiore in futuro. C'è un modo di dire simile a quello che dice "no nel mio giardino" che sintetizza molto bene questa posizione dei politici e suona "no nel mio mandato"...Non ci dobbiamo allora stupire che sempre più frequentemente si registrino incendi di rifiuti stivati in capannoni (e non solo a Sud, ma anche a Roma e al Nord) poiché lo smaltimento costa più del recupero, per il riciclo mancano gli impianti e l'esportazione in altri paesi è sempre più difficile (e in alcuni casi, ad esempio per la Cina, è bloccata).

Naturalmente, per il principio della conservazione della materia nelle tra-

3. Nelle regioni settentrionali la differenziata ha raggiunto nel 2016 il 65%, nelle regioni centrali il 48,5% e in quelle meridionali il 38% e la quantità conferita in discarica è passata a circa il 25%.

trasformazioni, si producono così grandi quantità di residui solidi, di polveri e gas e tra questi sono elevatissime le percentuali delle diossine, con gravi danni per le popolazioni circostanti...ma questi elementi tendono ad essere minimizzati.

Ora per puntare verso gli obiettivi indicati da Bruxelles, nel nostro paese dobbiamo incrementare la differenziata, riequilibrando il Nord con il Sud, e soprattutto diminuire il conferimento in discarica redistribuendo i termovalorizzatori in modo più omogeneo incrementandoli a Sud.

Occupiamoci delle discariche. A quelle attuali, a norma e controllate, in gran parte in via di esaurimento, sarà necessario aggiungerne di nuove, piccole e distribuite sul territorio in modo opportuno. La scheda che segue fornisce *le caratteristiche che deve avere una discarica e le essenziali modalità del suo “funzionamento” e controllo.*

Scheda 1 – Caratteristiche e funzionamento di una discarica

Le discariche sono di tre tipi: per rifiuti inerti (detriti di materiali da costruzione), per rifiuti non pericolosi (RSU), per rifiuti pericolosi (es. ceneri e scarti di inceneritori). La normativa italiana ha recepito quella europea 99/31/CE e stabilisce che in discarica devono finire solo materiali a basso contenuto di carbonio organico e materiali non riciclabili: deve essere assolutamente evitato il rifiuto indifferenziato. Si dà priorità al recupero di materia con il riciclo e il compostaggio.

La struttura di una discarica “a norma” parte dalla preparazione terreno di fondo e la deposizione di una barriera di impermeabilizzazione sul fondo e sui fianchi per impedire la fuoriuscita di percolato⁴. Ha un sistema di drenaggio del percolato; i rifiuti ammassati vanno compattati e i vari strati vanno coperti con terra; deve essere fornita di un sistema di captazione del biogas (deve essere recuperato almeno il 90% di quello prodotto). Al suo esaurimento va ricoperta con terra mettendo a dimora piante. La discarica ha tre fasi di decomposizione e, soprattutto nell'intermedia, produce un forte odore nauseabondo.

Una discarica deve essere costantemente controllata durante la sua gestione e devono essere monitorate le acque sotterranee, il percolato prodotto, le emissioni di gas e la qualità dell'aria nelle sue vicinanze e comporta sempre un certo grado di inquinamento ambientale.

4. Il percolato è il liquido che si forma, insieme a prodotti gassosi, in seguito alla fermentazione anaerobica della massa dei rifiuti della discarica

Come si vede una discarica non è una semplice buca del terreno in cui raccogliere a basso prezzo i rifiuti, ma presenta molte difficoltà nella *scelta della sua localizzazione*, comporta *una certa tipologia in base al tipo di rifiuti che deve accogliere e necessita di un costante controllo e monitoraggio insieme all'ambiente circostante per i problemi di inquinamento che produce*. Concludendo, si dovrà lavorare per ridurre al minimo la quantità di rifiuti da inviare alle discariche ma, pur tenendo conto del complesso dell'economia circolare a cui tendere sempre più, **ci sarà comunque sempre bisogno anche di discariche**.

Vediamo ora **quali sono le questioni che riguardano gli inceneritori** e perché sembrano anello indispensabile nel trattamento dei rifiuti. E' necessario precisare subito che oggi si costruiscono termovalorizzatori che recuperano energia termica producendo energia elettrica e, in alcuni casi, anche calore per teleriscaldamento: *i vecchi inceneritori o sono stati eliminati o convertiti in termovalorizzatori (nel nostro paese non ci sono più inceneritori)*.

Una parte dei sostenitori del riciclo sostiene che i termovalorizzatori vanno banditi e che i residui finali vanno messi in discarica, un'altra parte sostiene che per chiudere il ciclo, prima del'uso della discarica, si debba far ricorso all'impiego dei termovalorizzatori.

Vediamo, ad esempio, cosa sostengono a questo proposito Rossano Ercolini⁵, e Antonio Massarutto⁶. A pagina 40 di "Rifiuti zero" leggiamo: "Il progetto rifiuti zero è antitetico ad ogni forma di incenerimento. Non solo perché gli inceneritori sono comunque responsabili di emissione di sostanze nocive (diossine, furani, metalli pesanti come mercurio, cadmio e nano polveri) che anche a bassissime dosi possono essere responsabili di tumori, ma perché puntare sugli impianti di incenerimento significa incoraggiare gli sprechi distruggendo risorse preziose..."⁷

Su chi sostiene poi l'esigenza di scegliere una sola delle due possibilità di eliminare i residui finali del ciclo della differenziata, quella delle discariche, giocano in larga misura non tanto i dati provenienti dall'esperienza di eser-

5. Rossano Ercolini - Rifiuti zero, Ed. Baldini e Castoldi, Mi., 2018

6. Antonio Massarutto – Un mondo senza rifiuti? Viaggio nell'economia circolare, Ed. Il Mulino, Bo, 2019

7. Non si comprende perché con la combustione si "distruggono risorse preziose" quando invece con l'uso delle discariche, anche se correttamente gestite, si buttano senza alcun recupero, nemmeno energetico, le suddette risorse di materia e energia: la contraddizione appare evidente.

cizio di termovalorizzatori di seconda o terza generazione o dei problemi connessi alla corretta gestione di una discarica, quanto **preconcetti e paure che trovano fondamento in una ignoranza molto diffusa dei problemi chimico-fisici che stanno alla loro base.**

A pagina 77-78 di “Un mondo senza rifiuti?” Massarutto sostiene: “In Italia la discussione pubblica è ancora dominata dall’immagine sinistra che vede l’inceneritore un seminatore di morte ... come se non vi fossero ampie e documentate prove che con le tecnologie attuali simili impianti non solo non costituiscono un’apprezzabile fonte di inquinamento, ma semmai contribuiscono significativamente **a migliorare la situazione, una volta messe nel conto anche le emissioni evitate dal riscaldamento domestico e dalle centrali elettriche**”. Più avanti l’autore sostiene che invece dobbiamo cercare di ridurre al minimo lo scarico in discarica dei rifiuti, possibilmente limitandoci a mettere in discarica solo quelli provenienti dai residui degli inceneritori (rifiuti ultimi). Quindi *non si sostiene no alle discariche, ma si indica di far giocare a queste il ruolo di deposito dei rifiuti ultimi, senza illusioni che l’uomo possa costruire qualcosa di simile al recupero del 100% che la natura fa dei propri residui naturali* (organici). Questa sembra una posizione razionale e condivisibile. Per comprendere meglio i problemi, vediamo le caratteristiche essenziali e il funzionamento di un termovalorizzatore attuale (Scheda 2).

Scheda 2 – Caratteristiche e funzionamento di un termovalorizzatore

E' un impianto che utilizza come combustibile i rifiuti con duplice scopo: eliminarli e produrre contemporaneamente energia con il calore della combustione. E' composto da un forno nel quale vengono inceneriti i rifiuti (a volte si utilizza anche gas metano per innalzare la temperatura di combustione).

- La combustione produce ceneri che comunque vanno smaltite e soprattutto fumi in parte nocivi per l’ambiente e per l’uomo che vengono abbattuti. Dopo l’arrivo dei rifiuti provenienti dalla raccolta differenziata o da impianti di selezione del territorio, questi vengono stoccati in luoghi dotati di aspiratori per far in modo che l’odore cattivo prodotto venga eliminato o quantomeno limitato. Successivamente, mediante una gru, i rifiuti vengono depositati nel forno e iniziano le fasi di combustione.
- La combustione avviene nel forno a temperature molto alte, anche più di 1000 gradi per consentire l’abbattimento di diossine e furani. Le numerose griglie mobili permettono il continuo movimento dei rifiuti in modo da avere la migliore combustione possibile.

- La grande quantità di calore prodotta vaporizza l'acqua in circolazione nella caldaia posta a valle dell'impianto e il vapore generato ad altissima temperatura aziona una turbina che trasforma l'energia termica in elettrica.
- Circa il 30% del peso totale dei rifiuti non è combustibile, quindi viene raccolto in una vasca piena d'acqua posta a valle dell'ultima griglia in modo da raffreddarsi; si possono estrarre da queste i diversi metalli pesanti e il residuo finale viene trasportato in discariche per rifiuti speciali. Lo stesso per quanto riguarda le polveri fini, circa il 4% del peso del rifiuto in ingresso, classificate come rifiuti speciali pericolosi.
- I fumi prodotti dalla combustione vengono filtrati per eliminare il contenuto di agenti inquinanti, e raffreddati fino a 140° C ed infine rilasciati in atmosfera. Il sistema di filtraggio purtroppo non garantisce l'eliminazione delle particelle con diametro inferiore ai 2,5 nanometri che finiscono in atmosfera.
- Talvolta il termovalorizzatore ha anche una rete di teleriscaldamento a cui sono allacciate numerose abitazioni poste in vicinanza.
- I moderni termovalorizzatori, dotati anche di camera di postcombustione, lavorano a temperature tali che gli inquinanti più pericolosi che si potrebbero formare (come le diossine) vengono **quasi** completamente decomposti⁸. E non a caso sono spesso collocati nelle città o in loro vicinanze, come quello recente di Copenaghen.

Vediamo di chiarire questo “quasi” indicato nella scheda. Com'è noto, sono fissati per legge i valori ammissibili e massimi per i diversi inquinanti di base⁹ e così anche per i microinquinanti come le diossine¹⁰.

8. Anna Dichiarante – *Calore sotto, sul tetto si scia*. La Repubblica, suppl. 23 Aprile 2019, pagina 14. Il termovalorizzatore di Copenaghen Amager Bakke di recente costruzione è uno degli impianti più avanzati al mondo: i rifiuti (anche quelli ospedalieri), vengono bruciati a 950-1100 °C senza emissione di diossine. Qui si trattano 560.000 t di rifiuti l'anno, fornendo riscaldamento a circa 160.000 famiglie ed elettricità per altre 60.000. Dalle ceneri di combustione si ricavano i metalli da riciclare e le ceneri residue vengono impiegate per materiali da fondo strade.

9. La normativa sul controllo dell'inquinamento atmosferico, il DLn.155/2010 e successive integrazioni, prevede il controllo di 14 parametri da sottoporre a controllo e questi sono: NO₂, Nox, SO₂, CO, O₃, PM 10, PM 2,5, benzene, benzopirene, piombo, arsenico, cadmio, nichel e mercurio e di essi fissa il valore limite, la soglia di informazione e di allarme e il valore obiettivo. I valori devono essere inviati al Ministero dell'Ambiente.

10. APAT, Agenzia per la Protezione dell'ambiente e per i servizi Tecnici: le norme e i limiti per le diossine, pp.45-54. Il valore limite per le diossine e i furani è di 0,004mg/m³

I dati ci dicono che i termovalorizzatori recenti con la postcombustione danno al camino valori di tali composti dalle 10 alle 100 volte più bassi di quelli indicati per legge. Non ci si meravigli allora che, anche nel nostro paese, per esempio a Brescia, un moderno termovalorizzatore (capace di trattare fino a 800.000 ton./anno) sia collocato alla periferia della città e **che le analisi delle emissioni dimostrino che non costituisce un pericolo apprezzabile per l'ambiente.**

Infatti un moderno termovalorizzatore è sì una struttura inquinante ma *incide sull'inquinamento di una città assai meno di quanto lo faccia il traffico veicolare.* Vediamo alcuni dati paragonando la qualità dell'aria di Firenze (382.000 ab., 2017) con quella di Brescia (200.000 ab., 2017): Brescia ha un inquinamento da traffico veicolare assai ridotto rispetto a Firenze ma, mentre Firenze è privo di termovalorizzatore (dopo la chiusura, una trentina di anni fa, dell'inceneritore di S. Donnino, di costruzione molto vecchia, che rilasciava una quantità di diossine al di là dei limiti di legge), Brescia ha il più grande termovalorizzatore d'Europa. Alcuni dati dei più importanti inquinanti nelle due città sono riportati nella tabella che segue:

Scheda 3- Quantitativi di inquinanti fregistrati a Firenze¹¹ e Brescia (in momenti diversi)

FIRENZE			
Tipo di inquinante	Valore registrato	Limite max di legge	Note
Polveri, PM 10	11,3-19,4 µg/m ³ (nell'arco di una giornata)	50 µg /m ³	Qualità dell'aria (ICA): buona
Polveri sottili PM 2,5	7,4-10,2 µg /m ³		
Ossidi di azoto (NOx)	4,4- 8,8 µg /m ³	200 / µg m ³	Soglia di allarme 400 µg /m ³
Ozono (O ₃)	81-100 µg /m ³	180 µg /m ³	Soglia di allarme 240 µg /m ³
BRESCIA			
Tipo di inquinante	Valore registrato	Limite max di legge	No
PM 10	11 / µg m ³	50 µg /m ³	Media giornaliera
PM 2,5	10 / µg m ³		Media giornaliera
Diossido di azoto (NO ₂)	60 µg /m ³		Massimo giornaliero
Ozono (O ₃)	69 µg /m ³	180 µg /m ³	Massimo giornaliero

11. I valori di Firenze si riferiscono al periodo primi Aprile 2019, quando erano ormai completamente in funzione le tre linee tramviarie di cui le prime 2 unificate (Villa Costanza -- Stazione + Stazione - Careggi = T1 e Stazione Aeroporto= T2) e i dati dell'inquinamento dell'aria della città hanno subito una notevole diminuzione rispetto al periodo precedente la loro realizzazione

Come si vede i valori degli indici più importanti con cui si determina l'inquinamento dell'aria nelle città sono assai simili tra loro e il maggior valore della concentrazione di NO₂ riscontrato a Brescia è dovuto al fatto che il termovalorizzatore, per l'abbattimento di diossine e furani, lavorando ad alta temperatura, incrementa la formazione di ossidi di azoto (che tuttavia restano ben al disotto della soglia massima giornaliera). *L'abbattimento delle polveri rappresenta il vero problema degli inceneritori*: nonostante l'applicazione dei più avanzati sistemi di abbattimento quelle molto sottili in parte sfuggono. Per i metalli pesanti esistono vari modi efficaci per abatterli e vengono, come abbiamo detto, recuperati poi nelle ceneri.

Concludendo, quello che va evitato in un piano integrato di trattamento dei rifiuti è che il termovalorizzatore serva a coprire le carenze anche gravi nella differenziazione dei rifiuti. Ma senza l'impiego di termovalorizzatori non sembra sia possibile gestire nel ciclo corretto di trattamento dei rifiuti quel circa 25% di residui indifferenziati che rimangono: non sarebbe dunque sostenibile il solo impiego di discariche. Per cui, *tornando al titolo che abbiamo dato a questo primo punto preso in esame, dovremo puntare su termovalorizzatori e discariche insieme.*

SECONDO PUNTO: molto importante per la salvaguardia dell'ambiente è quello dell'**impiego delle energie rinnovabili: ebbene c'è chi sostiene che le energie fossili possono essere integralmente sostituite da quelle rinnovabili¹² producendo solo energia elettrica.** “Negli ultimi anni sono stati riportati studi dettagliati da parte di molti gruppi di ricerca secondo i quali si possono sostituire *completamente*, entro il 2050, i combustibili fossili con le energie rinnovabili... Lo studio più dettagliato è quello di M.Z.Jacobson della Stanford University che, con 26 coautori, presenta una roadmap di transizione per 139 paesi... Il piano è denominato WWS (Wind, Water, Sunlight) in quanto è basato unicamente sull'utilizzo di vento, acqua e sole come sorgenti primarie nel 2050. Sono esclusi il gas e il nucleare e anche i biocombustibili... Il piano prevede che i consumi energetici di **tutti i settori dell'attività umana siano soddisfatti esclusivamente con l'elettricità fornita dalle energie rinnovabili.**”¹³

Ebbene questo scenario è irrealizzabile e scientificamente non sostenibile. In un mio recente articolo¹⁴ ho descritto in dettaglio perché questa prospet-

12. M.Z.Jacobson et al., *Joule*, 2017, 1, 108-121

13. Vincenzo Balzani – *Salvare il pianeta: energie rinnovabili, economia circolare, sobrietà* - parte seconda, *La Chimica e l'Industria*, 2018, Novembre, p. 7

14. Idem 1

tiva non può essere integralmente perseguita: sintetizzo qui le considerazioni più importanti rimandando per i dettagli all'articolo citato. Ci sono dei processi in cui **la fonte energetica in gioco non è deputata al solo riscaldamento ma interviene a livello chimico per rendere possibile la realizzazione di una reazione.** In altre parole per passare dalle rocce al cemento è necessario l'impiego di una combustione e questa può essere prodotta solo da una fonte energetica non rinnovabile (carbone, gas naturale oppure rifiuti).

La stessa cosa accade per poter estrarre dai minerali di ferro (generalmente ossidi) il metallo: è necessario l'impiego di una sorgente di energia fossile che consenta l'eliminazione dell'ossigeno presente nel minerale, il carbone negli altiforni (trasformato in coke) o comunque un combustibile gassoso (miscela di idrocarburi) nei processi di "riduzione diretta" che non impiegano altiforni, come è stato messo a punto e sperimentato in Sud Africa e in Australia.¹⁵

Quindi attenzione a visioni irrealistiche nelle problematiche ambientali: occorre una valutazione delle questioni a livello interdisciplinare altrimenti si rischia di sostenere delle grosse falsità. Concludendo questo secondo punto: **dobbiamo lavorare per ridurre al minimo le combustioni**, ad esempio azzerando l'impiego nella mobilità terrestre privata e pubblica dei motori a combustione interna (a benzina o diesel) sostituendoli con quelli elettrici, **ma non potremo eliminare del tutto l'impiego di combustibili fossili per alcuni processi essenziali.**

IL TERZO PUNTO riguarda un'altra estremizzazione: quella che si accredita come **prospettiva dei "rifiuti zero"**. L'autore già citato in 5 ritiene sostenibile che si possa raggiungere la completa eliminazione dei rifiuti col loro riciclo: questo è un palese errore. Già la differenziazione domestica prevede un residuo non differenziabile e quindi di impossibile recupero di materia al 100%, ma anche le singole filiere che gestiscono scarti omogenei, carta, filati e tessuti, ecc. *terminano sempre con rifiuto finale non più riciclabile.* Sono stati fatti a questo proposito numerosi sforzi da parte della ricerca tecnologica per affrontare quest'ultimo problema con alcuni risultati positivi, ad esempio la produzione di bancali con gli ultimi rifiuti della carta, ma siamo lontani dall'aver azzerato i rifiuti. Non solo ma anche nell'incene-

15. Da tenere presente anche che mentre il ferro (acciaio) è riciclabile, non lo è altrettanto il cemento che una volta avvenuta la reazione di "presa", non essendo questa una reazione reversibile, non può essere riciclato.

rimento si hanno alla fine, come abbiamo visto, delle ceneri e quindi anche in questo caso si ha un rifiuto finale. **Se allora “rifiuti zero” lo interpretiamo come un limite a cui tendere non possiamo che dividerlo, ma non ingeneriamo l'illusione che possiamo operare come la natura con una perfetta circolarità della materia: questo è un falso scientifico.**

UN QUARTO PUNTO E': plastica sì o plastica no? Ecco un dilemma che va chiarito.

Se volessimo definire la nostra Era con riferimento ai principali componenti materiali dei suoi prodotti, dopo l'Età della pietra, l'Età del bronzo, l'età del ferro, la nostra sarebbe l'Età della plastica. “Questo materiale si è insinuato pressoché ovunque nelle nostre vite, grazie ad un insieme di proprietà che la rendono semplicemente imbattibile. Costa pochissimo, è leggera (fino all'85% in meno di altri materiali) è resistente, può assumere qualunque forma. ..Ha consentito di realizzare fibre tessili dalle proprietà più svariate, materiali da costruzione, rivestimenti di ogni foggia e natura. Si presta a conservare i cibi, a isolare i cavi elettrici e i circuiti elettronici. Dovunque ci guardiamo intorno la plastica è dappertutto. Più corretto sarebbe dire plastiche poiché la chimica di sintesi produce decine, centinaia di polimeri diversi..”¹⁶ Le materie plastiche traggono origine dal petrolio, pur impiegandone quantità limitate: si stima che la produzione della plastica assorba circa il 4-6% della domanda mondiale di idrocarburi. La scheda che segue ci illustra quali sono oggi i tipi di plastica più diffusi e per cosa vengono impiegati:

Scheda 4 – Tipi di plastica più diffusi e loro impieghi

- **PE, polietilene:** sacchetti, flaconi per detersivi, giocattoli, pellicole e altri imballi;
- **PP, polipropilene,** con usi diversissimi: oggetti per l'arredamento, contenitori per alimenti, flaconi per detersivi e detersivi, moquette, mobili da giardino;
- **PVC, cloruro di polivinile:** vaschette per le uova, film, tubi; è anche nelle porte, nelle finestre, nelle piastrelle;
- **PET, polietilene tereftalato:** bottiglie per bevande, fibre sintetiche, nastri per cassette;
- **PS, polistirene (polistirolo):** vaschette per alimeti, posate, piatti, bicchieri.

16. Idem 6, p.68

Il futuro è però già tra noi: sono state effettuate tutta una serie di ricerche che hanno portato alla **produzione di diverse materie plastiche non derivate da petrolio** e alcune vengono prodotte già su ampia scala come ad esempio la MaterBi con cui vengono fatti schopper e vari prodotti che, anche con l'usa e getta, sono riciclabili naturalmente. Non c'è che da augurarci che questo settore si ampli sempre più per liberarci in prospettiva dalla vecchia plastica.

Intanto però la “vecchia” plastica derivata dal petrolio, quasi indistruttibile, sta invadendo il mondo ed è diventata sinonimo di inquinamento e di distruzione del pianeta: nel Pacifico sono state individuate gigantesche isole galleggianti di plastica e si è trovato che i piccoli frammenti prodotti da queste plastiche sono ormai presenti in tutti i mari, compreso il Mediterraneo, e sono pericolose per l'alimentazione dei pesci.

E' necessario, però, sottolineare due cose: la plastica che inquina oceani e mari **non ci va da sola ad inquinarli, ma viene gettata per incuria un po' dappertutto**, sia in mare che sulle spiagge o lungo i fiumi che poi la riversano in mare: *l'usa e getta non vuol dire “gettala dove vuoi”!!* Allora invece di demonizzare la plastica in quanto tale sarebbe opportuno rendersi conto che è necessario prima di tutto **far progredire la conoscenza e la consapevolezza dei danni che essa produce per evitare che questa venga dispersa così pesantemente nell'ambiente.**

I principali fiumi che riversano plastiche nell'Oceano sono quelli che attraversano paesi come l'India e il Bangladesh dove però sono in corso tentativi di arginare questa marea di plastica prima che raggiunga il mare^{17,18}. *Ma come si spiega che anche nel Mediterraneo si comincino ad individuare isole di plastica?* Significa che anche dove la popolazione dovrebbe essere più informata e consapevole dei danni che questa provoca è **diffusa l'incuria per l'ambiente e vengono abbandonati comunemente oggetti di plastica di vario tipo:** eppure costerebbe molto poco riportarsi a casa le bottigliette vuote o i piatti e le stoviglie di plastica usate e *inserirle negli appositi contenitori cittadini della differenziata.*

E' inoltre largamente noto che **la maggior parte delle plastiche è perfettamente riciclabile** e può essere immessa nuovamente al consumo in

17. Giacomo Talignani – *Il paladino antiplastica “Così pulirò il Pacifico”*, la Repubblica, 7/9/2018.

18. Cecilia Gentile – *E alla foce una barriera per i rifiuti di plastica*, la Repubblica, 18/12/2018.

oggetti analoghi a quelli originali oppure di diversa foggia¹⁹. Uno dei nostri obiettivi per la salvaguardia dell'ambiente deve essere senza dubbio quello di riciclarne o almeno recuperarne indirettamente la quasi totalità, *azzerando la componente abbandonata*.

Per contribuire a risolvere il problema, oltre alla costruzione di nuovi impianti per il riciclaggio, è necessario anche che vengano rimossi altri fattori: almeno il 30% degli imballaggi in plastica non può essere riciclato per l'uso di materiali eterogenei utilizzati e dalla presenza di materiali composti non separabili: è essenziale che **anche l'industria provveda a favorire al massimo il riciclo di quanto viene prodotto**.

UN QUINTO PUNTO: cosa fare dei cosiddetti “biocombustibili rinnovabili”?

Vanno promossi e incentivati o dobbiamo scoraggiare la loro diffusione? Vediamo intanto di quali tipi di energie si tratta: produzione di biogas, di bioetanolo e biodiesel. **Si tratta di fonti energetiche non fossili**, ma per essere impiegate **devono essere bruciate**, ed ecco di nuovo il problema della produzione di CO₂: anche in questo settore, dunque, occorre grande prudenza per **non alimentare pratiche che contribuiscono al riscaldamento ambientale**. Il prof. Balzani, nel suo articolo già citato si esprime in 13 in questi termini (pag. 16): “I biocombustibili: una scelta sbagliata”.

Vale la pena di soffermarci un momento anche sulle cosiddette **energie pulite**, così chiamate perché non generano polveri. Si tratta del metano, del gas di petrolio liquefatto (gpl) e del gas naturale liquefatto (gnl). Attenzione, saranno sì energie che non producono rifiuti solidi, particelle di polveri, prodotti solforati, ma il loro impiego produce pur sempre residui gassosi con produzione di CO₂ perché **vengono sfruttate bruciandole nei motori a combustione interna** e sono pur sempre **fonti fossili non rinnovabili**. È interessante osservare come vengano presentate, ad esempio, in un recente articolo apparso su un quotidiano dove sembrano dello stesso tipo fonti energetiche rinnovabili e fossili²⁰. In esso leggiamo “Da dati Aci del'Osser-

19. Una misura invece del divario tra plastica usata e quella riciclata ce lo forniscono le seguenti cifre: con riferimento alla plastica impiegata negli imballaggi, le stime effettuate ci dicono che delle 78Mt circa del consumo mondiale, solo il 14% viene riciclato, un altro 14% viene bruciato in modo controllato, viene mandata in discarica per il 40% e abbandonata per il 32%.

20. AA.VV. – *Nella Regione [Toscana] il 9,3 % dei veicoli è ad energia pulita*, La Repubblica, 29/4/19, pag.VII (cronaca)

vatorio Autopromotec [si ricava che] su un totale di 2.892.208 autoveicoli circolanti in Toscana, quelli elettrici, ibridi a metano o a gpl sono 270.185, , il 9,3% del parco, mentre quelli alimentati a benzina o gasolio sono 2.622.023, cioè il 90,7%. Più nello specifico, dei 270.185 autoveicoli a ad alimentazione alternativa [sic], il 5,5% è alimentato a gpl, il 3,2% è alimentato a metano e gli autoveicoli ibridi ed elettrici rappresentano solo lo 0,6% (16067 unità)”.

Conclusioni

Affrontare da subito i tanti problemi legati alla salvaguardia dal riscaldamento e dall'inquinamento ambientale è un'esigenza primaria, essenziale, ma questa va perseguita con chiarezza di idee basata su dati scientifici affidabili e non su ipotesi anche suggestive, ma irrealistiche e non scientificamente fondate. Va poi ribadito, e deve essere ben chiaro, che **senza l'apporto urgente della politica che si traduca in decisioni concrete per realizzare ciò che è necessario per una corretta e sostenibile economia circolare e per promuovere al massimo la crescita delle energie rinnovabili, non si va da nessuna parte.** Auguriamoci che le sempre più grandi e numerose manifestazioni dei giovani contro il riscaldamento globale che interessano ormai l'intero mondo riescano ad imporre alla politica e all'economia questi temi per far avanzare concretamente nei vari paesi la salvaguardia del pianeta.

Innamorarsi della Chimica. I parte: Le basi teoriche dell'approccio

Leonardo Seghetti¹, Liberato Cardellini²

¹I.I.S. Celso Ulpiani, Ascoli Piceno, leonardo.seghetti@tin.it

²Università Politecnica delle Marche, Ancona.

Riassunto

La chimica può essere una materia scolastica che gli studenti trovano interessante e coinvolgente. Molto dipende dagli argomenti del programma. Ma è l'insegnante che può rendere gli argomenti e i concetti rilevanti per la formazione degli studenti. In questa prima parte vengono presentati i presupposti teorici dell'approccio utilizzato per coinvolgere gli studenti.

Gli studi sul funzionamento della mente hanno evidenziato l'importanza della working memory: la memoria di lavoro può gestire un numero molto limitato di informazioni. Questo fatto ha importanti conseguenze nel modo in cui gli argomenti vengono presentati agli studenti. La conoscenza della teoria del carico cognitivo permette di trovare delle maniere per spiegare gli argomenti agli studenti in modo utile ed efficace. Molti altri fattori e variabili contribuiscono a rendere l'insegnamento una attività utile, gratificante e di qualità. Tra questi consideriamo l'ambiente di apprendimento, la motivazione, l'attitudine e la capacità dell'insegnante di rendere interessante la chimica.

Gli studenti devono trovare le attività proposte interessanti e pertinenti per la loro formazione scolastica e professionale. Le attività, il carico di lavoro e le sfide devono dare alla maggioranza degli studenti la possibilità di avere successo, perché confidenza e abilità si alimentano a vicenda. Nella seconda parte verranno presentate le sette attività sviluppate con lo scopo di rendere familiari e far utilizzare alcuni argomenti qualificanti del corso di chimica. In questi progetti sono stati coinvolti studenti di due classi di una scuola superiore.

Abstract

Chemistry can be a school subject that students can find interesting and involving. It depends a lot on the topics of the curriculum. It is the teacher who can make the topics and concepts relevant to the education of students. In this first part we discuss the theoretical assumptions of the approach used to involve the students. Studies on mind functioning have highlighted the

importance of working memory: working memory can handle a very limited number of information. This fact has important consequences on how topics are presented to students. The knowledge of the cognitive load theory allows us to find effective strategies to explain topics to the students successfully. Many other factors and variables help make teaching a useful, rewarding and quality activity. Among these we consider the learning environment, the motivation, the attitude and the teacher's ability to make chemistry fascinating.

Students have to find the planned activities motivating and relevant for their learning and professional training. The activities, the workload and the challenges should let most of the students succeed, because confidence and ability feed each other. The second part will present the seven activities developed with the aim of familiarizing and using some qualifying principles of the chemistry course. Students from two classes of a high school have been involved in these projects.

Introduzione

La chimica come materia scolastica è affetta dalla non invidiabile considerazione di essere astratta, complessa e poco amata da una parte degli studenti (Johnstone, 2000) e come conseguenza sempre meno studenti la scelgono come professione. In parte ciò è dovuto al fatto che a scuola "chemistry and physics are irrelevant and boring, mainly because their instruction is out of synchrony with the world outside of school". (Aikenhead, 2003, p. 103)

Uno studio esteso riguardante l'istruzione scientifica, che ha coinvolto 20 gruppi di discussione formati da studenti, 20 gruppi di discussione formati da genitori e 5 gruppi di discussione formati da insegnanti in tre diverse città è stato condotto in UK sul curriculum scolastico (gli aspetti interessanti e le loro opinioni su possibili miglioramenti del contenuto). È risultato che la scienza è considerata essere un importante argomento di studio da parte di tutti gli studenti e dei gruppi di genitori, ma che l'istruzione scientifica è valutata dagli studenti solo come argomento per realizzare aspirazioni di carriera, piuttosto che come un soggetto di interesse intrinseco; incidentalmente, "The subject that attracted the most antipathy was, surprisingly, chemistry. This was seen as abstruse and irrelevant to contemporary needs." (Osborne, Collins, 2000, p. 5)

La prospettiva della irrilevanza è stata sollevata anche da un rapporto ufficiale riguardante l'istruzione scientifica in Europa: "students have a perception of science education as irrelevant and difficult". (Rocard et al., 2007, p. 9) Secondo questa commissione i miglioramenti passeranno attraverso nuove forme di pedagogia da parte degli insegnanti e viene racco-

mandata l'introduzione di approcci basati sull'indagine, l'*Inquiry-Based Science Education (IBSE)* per le materie scientifiche e tecnologiche. La rilevanza è un aspetto delicato del programma scolastico e in genere viene definita rispetto alle idee degli adulti senza molto considerare il punto di vista degli studenti. Inoltre, va tenuto conto che il desiderio di approfondire un certo aspetto da parte degli studenti non ne garantisce il necessario impegno cognitivo: "an indication by a student that he or she wishes to learn about a topic cannot be equated with a willingness to make the intellectual effort and commitment required to achieve the necessary understanding." (Jenkins, Nelson, 2005, p. 53)

Molte ricerche hanno studiato il fenomeno della scarsa attrazione delle discipline scientifiche, con l'intento di individuarne le cause e proporre suggerimenti per rendere la chimica interessante. Secondo Alex Johnstone (1984, p. 847), ci sono almeno tre cause che rendono la chimica difficile:

1. The nature of the science itself makes it inaccessible.
2. The methods by which we have traditionally taught raise the problems.
3. The methods by which students learn are in conflict with either or both of the above.

Oltre alla difficoltà dei concetti, è il modo in cui viene insegnata che rende la chimica poco attraente. Come altre discipline scientifiche la chimica utilizza un linguaggio specializzato, delle idee astratte e dei concetti che richiedono parecchio impegno per essere assimilati in modo corretto. Possiamo presentare esempi di 'elemento' o 'composto', ma queste idee sono astratte ed esistono solo nella mente. (Johnstone, 1991) Infatti, è stato affermato che "... perhaps more than other sciences, understanding chemistry relies on making sense of the invisible and untouchable" (Kozma, Russell, 1997, p. 949). Anche il linguaggio specializzato necessario per esprimere in modo compiuto un concetto può essere un componente della percezione della difficoltà della chimica per via della confusione generata dal linguaggio comune utilizzato in un contesto scientifico. (Cassels, Johnstone, 1984; Byrne, Johnstone, Pope, 1994; Johnstone, Selepeng, 2001)

Difficoltà con l'apprendimento della chimica

La conoscenza chimica utilizza dei concetti che richiedono un impegno ed uno sforzo per essere padroneggiati e presenta delle difficoltà concettuali, ma non è la materia scientifica più difficile o l'unica difficile, almeno in certe condizioni e per molti studenti. Già nel 1956 Polya riportava che "mathematics has the dubious honor of being the least popular subject in the curriculum ... Future teachers pass through the elementary schools learning to detest mathematics ... They return to the elementary school to teach a new generation to detest it." (Polya, 1985, p. ix)

L'apprendimento dei termini, dei nuovi nomi e del loro preciso significato costituisce per gli studenti una difficoltà oggettiva, in parte analoga all'apprendimento di un nuovo linguaggio. Come è stato riportato, “the symbols and grammar of the language of chemistry are closely tied to its basic conceptual principles, and so the language of chemistry has to be constructed on an abstract and less familiar knowledge base” (Taber, 2009, p. 101). Però secondo Dudley Herron le difficoltà sono anche più profonde: “A lack of understanding of familiar words used to convey meaning in chemistry; a lack of understanding of technical terms introduced in the study of chemistry; ascribing a familiar meaning to a common word used in technical sense; using everyday meaning to draw incorrect inferences about chemical events; failing to learn the conventions applied to specialized chemical language to the level of automatization required to “read chemistry” fluently” (Herron, 1996, p. 165).

Il linguaggio specialistico, i simboli e le formule che i chimici usano possono essere una barriera alla comprensione per i nuovi studenti: “Chemists communicate in a highly elaborated alphabetic and symbolic language. ... The chemical nomenclature works with a distinct syntax and semantic, but is not suited for textual sentences.” (Sliwka, 2003, p. 24). Ci sono argomenti e capitoli del corso di chimica poco motivanti e coinvolgenti dal punto di vista cognitivo. Se consideriamo lo sviluppo dei modelli atomici dobbiamo riconoscere che la ricostruzione storica riportata nei libri di testo e spesso allo stesso modo spiegata, difficilmente è in grado di suscitare la curiosità degli studenti. (Cardellini, 2012) L'aspetto della rilevanza per gli studenti degli argomenti del corso è importante perché come vedremo nel seguito, contribuisce alla loro motivazione.

L'acquisizione della conoscenza: l'importanza della working memory

Uno degli aspetti che qualificano e giustificano l'istruzione è l'acquisizione della conoscenza. Studenti di tutte le età si sottopongono alle regole delle scuole, in modo analogo a chi frequenta una palestra, per acquisire una conoscenza utile alla propria formazione umana e professionale e per avere dei vantaggi in seguito. Tenendo conto che “knowledge ultimately depends on how the brain represents knowledge clearly has not stopped philosophers from thinking about knowledge as ... something independent of the world. But, just as clearly, grounded knowledge is essential if we (among other animals) are to survive in the real world.” (Sejnowski, 2018, p. 132)

Ma com'è che il cervello umano acquisisce la conoscenza? “The recent brain research shows that at its most basic, learning is simply a matter of electrical and chemical exchanges in the brain. The signals coming in from

our senses trigger certain connections in the brain and it is the pathway of neurons that creates our thinking.” (Townsend, 2007, p. 947) Il grande numero di informazioni che i nostri sensi ricevono dall’ambiente circostante viene filtrato e ridotto in proporzioni accettabili per la nostra mente. Questo meccanismo ci consente di ignorare una grande quantità di informazioni sensoriali e di prestare la nostra attenzione su ciò che consideriamo interessante e/o importante.

Di fatto il filtro è da considerare come un meccanismo di difesa; altrimenti la nostra mente sarebbe invasa da un eccesso di informazioni e la memoria di lavoro andrebbe in sovraccarico e diminuirebbe la sua efficienza. Opera come un meccanismo di selezione delle informazioni e viene guidato da ciò che già conosciamo, comprendiamo ed ha un senso, dal nostro punto di vista. La mente utilizza la conoscenza compilata che è stata immagazzinata e prodotta dalle esperienze e dalla riflessione sulle esperienze come schemi; in molte situazioni questi schemi pronti all’uso facilitano la nostra vita. Quanto tempo altrimenti sarebbe necessario per decidere cosa fare quando in auto ci avviciniamo ad un semaforo e scatta il giallo? Attraverso la percezione, non solo vengono selezionate le informazioni, ma all’input sensoriale vengono aggiunte altre informazioni contenute nella mente per meglio comprendere degli stimoli incompleti. Consideriamo come esempio le macchie senza un significato riportate in Figura 1:



Figura 1. Macchie colorate apparentemente senza senso: il lettore è invitato a chiedersi cosa percepisce dopo aver capovolto la figura. (Leeper, 1935, p. 49)

Capovolgendo la figura le macchie irregolari assumono una forma che possiamo riconoscere: un cane! Ma dov’è il cane? È nella nostra mente, che utilizzando schemi e immagini familiari ha ricostruito una figura a noi nota.

Probabilmente un meccanismo simile si attiva nella mente degli studenti, quando in aula sentono delle spiegazioni o vedono dei grafici e delle figure. Per comprendere in modo significativo, dovrebbero collegare quanto di nuovo percepiscono e apprendono con quanto già conoscono. Se la conoscenza precedente è incompleta o mancante, probabilmente il collegamento corretto con concetti precedenti è impossibile oppure non significativo e questo fatto produce ciò che viene chiamato misconcezioni o idee sbagliate.

La scienza neurale cerca di capire come il flusso di segnali elettrici attraverso i circuiti neuronali dia origine alla mente; a come percepiamo, agiamo, pensiamo, apprendiamo, e ricordiamo. Gli studiosi utilizzano dei modelli; uno dei più noti è quello proposto da Baddeley e Hitch (1974) che comprende tre componenti: un sistema di controllo e due sistemi di memorizzazione (Central executive, Visuospatial sketchpad e Phonological loop). Una descrizione completa di tutte le funzioni della memoria di lavoro non è qui necessaria ed è descritta da una copiosa bibliografia. (Atkinson, Shiffrin, 1968; Baddeley, 1992; Richardson et al., 1996; Baddeley, 2003; Baddeley, 2007; Miyake, Shah, 2007)

Il concetto della memoria di lavoro e della sua limitazione è stato introdotto da Miller (1956) nel suo articolo seminale "The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information" che ha successivamente introdotto il termine *Working memory* (Miller, Galanter, Pribram, 1960). È un costrutto importante perché ha a che fare con la nostra attenzione, la memoria e la percezione. "The concept of a working memory system that temporarily stores information as part of the performance of complex cognitive tasks is proving to be productive. ... Working memory stands at the crossroads between memory, attention, and perception. ... The central executive clearly reflects a system concerned with the attentional control of behavior, with subsequent developments almost certainly depending on parallel developments in the study of attention and of the control of action." (Baddeley, 1992, p. 559)

La working memory è caratterizzata da due fattori che hanno un ruolo importante nell'istruzione; trattiene le informazioni per un breve tempo "The contents of this short-term phonological store were assumed to be vulnerable to rapid decay over the course of 1 to 2 seconds, unless they could be "refreshed" by means of the control process of articulatory rehearsal." (Richardson et al., 1996, p. 19) "Working memory should also be distinguished from sensory short-term memory. The latter can retain information in sensory cortices for around two seconds in the absence of attention, provided that the representations aren't overwritten by subsequent stimuli." (Carruthers, 2015, p. 12) "*working memory* is defined as the management,

manipulation, and transformation of information drawn from short-term and long-term memory. At its core, working memory consists of processes that work with material from short- and long-term working memory.” (Dehn, 2008, p. 58)

Un'altra severa limitazione è costituita dal numero di informazioni (Chunks) che può contenere ed elaborare; sette secondo Miller (1956); cinque secondo Simon “The magic number proposed here is five, rather than Miller’s seven, because the estimates that I derive from data in the literature are closer to the former number than to the latter.” (1974, p. 487) e quattro secondo Cowan (2010). Il chunk è difficile da definire e con questo termine si intende “a chunk of any kind of stimulus material is the quantity that short-term memory will hold five of.” (Simon, 1974, p. 484) Lo studio, la riflessione e gli esercizi aumentano le informazioni contenute in ciascuna unità: “Since the memory span is a fixed number of chunks, we can increase the number of bits of information that it contains simply by building larger and larger chunks, each chunk containing more information than before.” (Miller, 1956, p. 93)

Alcuni studiosi hanno condotto un interessante e importante esperimento. Uno studente come tanti altri, di circa 20 anni, “with average memory abilities and average intelligence for a college student” (Ericsson, Case, Faloon, 1980, p. 1181) è stato coinvolto in un esperimento che è durato oltre un anno e mezzo. L’esperimento consisteva nel mandare a memoria una successione di cifre casuali lette alla velocità di una cifra ogni secondo e poi nel ripeterle. Se la sequenza veniva ripetuta in modo corretto, la successione successiva veniva incrementata di una cifra, altrimenti veniva diminuita di una cifra. Questa pratica durava circa un’ora da tre a cinque giorni ogni settimana. Nei 20 mesi (per oltre 230 ore di test di laboratorio) il numero di cifre ripetute è aumentato in modo costante passando da 7 a circa 80 (Figura 2). Nell’articolo citato sono riportate le strategie (associazioni mnemoniche) usate dallo studente per associare le successioni sconosciute con qualcosa a lui familiare. In questo modo veniva diminuito il carico della memoria di lavoro perché il ricordo avveniva per mezzo di una unica associazione con quanto già contenuto nella memoria a lungo termine.

Gli Autori si sono chiesti se questo esperimento di allenamento nella ripetizione di successioni casuali di numeri avesse aumentato la capacità della memoria di lavoro. Diverse evidenze indicavano che non era possibile e un esperimento lo ha convalidato. Dopo circa 3 mesi di pratica con i numeri, allo studente è stato chiesto di ripetere una successione casuale di lettere e non è risultato alcun trasferimento di abilità: lo studente è stato capace di ripetere successioni di circa sei consonanti. La conclusione è stata che “the reliable working capacity of short-term memory is about three or

four units, ... and that it is not possible to increase the capacity of short-term memory with extended practice. Rather, increases in memory span are due to the use of mnemonic associations in long-term memory. With an appropriate mnemonic system and retrieval structure, there is seemingly no limit to improvement in memory skill with practice.” (Ericsson, Case, Faloon, 1980, p. 1182).

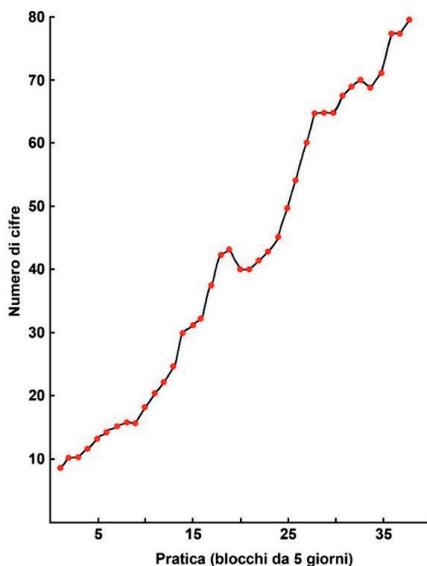


Figura 2. Media del numero di cifre (digit span) in funzione della pratica.
 Ridisegnato da: Ericsson, Case, Faloon, 1980, p. 1181.

Nell’esempio riportato, la capacità del numero di chunk resta fisso, ma la dimensione di ciascuno aumenta: una sorta di schemi efficienti per la memorizzazione di numeri. “What are chunks? These days, most people equate them with schemas. A large chunk is simply an extensive, sophisticated *schema*” (Colvin Clark, Nguyen, Sweller, 2006, p. 30). La limitazione della memoria di lavoro ha importanti conseguenze nell’istruzione. Studi sulle difficoltà incontrate dagli studenti nell’apprendimento delle materie scientifiche ne evidenziano l’importanza: “Science education research has battled for many decades in seeking solutions to the problems of learner difficulty which seem inherent in much of physics and chemistry as well as some areas of biology ... [There is] abundant evidence that one key factor causing the learner difficulties lies in the limitations of working memory capacity.” (Reid, 2009, p. 245) L’adagio che quando eravamo studenti ci ve-

niva ripetuto da insegnanti e genitori circa la necessità di studiare di più e di ripassare, aveva un fondamento scientifico.

È possibile superare la limitazione della memoria di lavoro con l'esercizio e la pratica intenzionale; l'esercizio e la riflessione permettono la realizzazione di processi efficaci di chunking e di sviluppare utili strategie. (Ericsson, Krampe, Tesch-Römer, 1993) "Increased use of strategies, such as subvocal verbal rehearsal, chunking, and organization, is also partially responsible for the apparent expansion in working memory. Broad executive processing and strategy use develop and increase with age, leading to more efficient functioning of cognitive resources in general. Strategy use and working memory span are positively correlated; higher span individuals are more likely to use strategies, such as chunking, imagery, and elaboration." (Dehn, 2008, p. 69)

Diventare esperto richiede molta pratica (Simon, Chase, 1973; Ericsson, Krampe, Tesch-Römer, 1993; Macnamara, Maitra, 2019) e sembra non ci siano limiti alla possibilità di migliorare le abilità mentali e la capacità della memoria a breve termine con l'esercizio: "... increases in memory span are due to the use of mnemonic associations in long-term memory. With an appropriate mnemonic system and retrieval structure, there is seemingly no limit to improvement in memory skill with practice." (Ericsson, Case, Faloon, 1980, p. 1182)

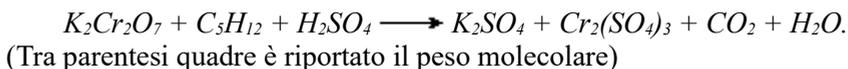
Ci sono però due aspetti negativi che mettono in crisi l'uso della memoria di lavoro: il panico, ove le reazioni sono dettate dall'istinto e l'annebbiamento della mente sotto pressione. Queste situazioni sono controproducenti nella classe (Beilock, 2010), ma possono originare situazioni drammatiche. (Gladwell, 2000) L'ambiente di apprendimento che possiamo creare per gli studenti eviterà questi aspetti negativi per l'apprendimento. La memoria di lavoro svolge un ruolo importante nei processi di apprendimento e insegnamento, insieme a molti altri fattori considerati in questo articolo. "... despite the importance of working memory, scholastic performance is also likely to depend on many other factors." (Baddeley, 2007, p. 205)

Lo sviluppo della mente e la capacità di svolgere ragionamenti complessi sono in gran parte dipendenti dall'età. Ma su cosa possiamo agire per aiutare i nostri studenti? Secondo Michelene Chi, tre fattori influenzano lo sviluppo della memoria: le strategie, la conoscenza e la capacità della memoria di lavoro ed elabora queste affermazioni. "The strategy component is an important factor in memory development because older children are adept at acquiring and using strategies to cope with memory tasks. ... Broadly, a strategy is a set of decision processes that determines what sequences of actions to perform. ... Knowledge affects development through the growth of knowledge base. ... Associated with the growth of knowledge is a better

structure for that knowledge. ... The capacity hypothesis states that the improvement of performance with age can be partially explained by an increase in the capacity of working memory.” (Chi, 1978. p. 74-75) Cosa possono significare queste conoscenze in un corso di chimica? Consideriamo il problema:

10,00 g di pentano [72,15] reagiscono con una soluzione contenente 10,00 g di $K_2Cr_2O_7$ [294,2] e 10,00 g di acido solforico [98,09].

Calcolare i grammi di CO_2 [44,01] che si ottengono dalla reazione:



Questo problema viene risolto con facilità dalla maggioranza degli studenti che segue il corso di chimica. Il concetto di reagente limitante viene presentato con un esempio familiare: la metafora del panino. (Cardellini, 1995) Agli studenti viene spiegata la logica del metodo e suggerito di risolvere un numero adeguato di problemi per rinforzare l'acquisizione dei nuovi ragionamenti. Nell'ultima sessione di esame, alcuni studenti che avevano già sbagliato lo scritto della sessione precedente, hanno sbagliato la soluzione di questo problema. Consideriamo gli errori per comprendere la loro origine. Una prima soluzione:

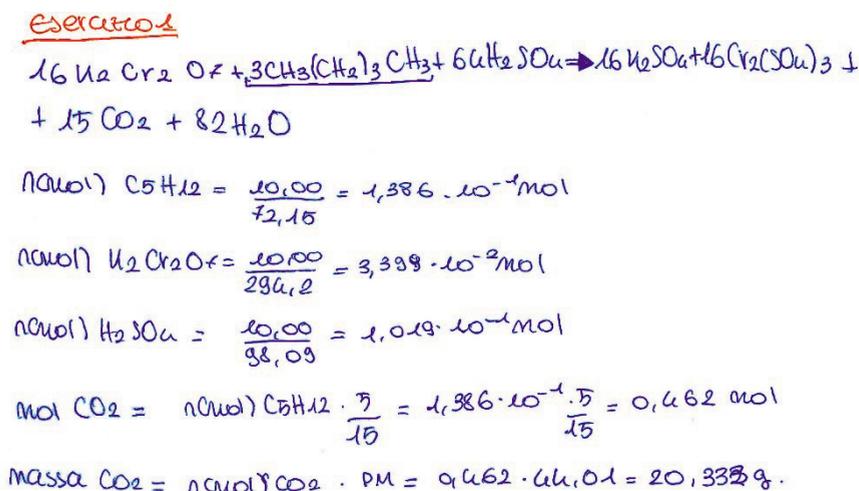


Figura 3. Osservando che la CO_2 si forma per ossidazione del C nei reagenti, la studentessa ha considerato il pentano essere il reagente limitante.

Un altro studente ha trovato che i grammi di CO₂ prodotti sono 91,1:

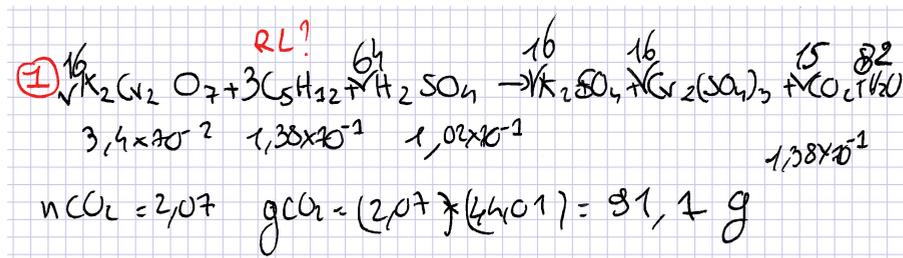
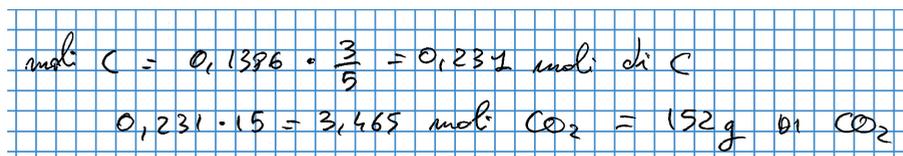


Figura 4. In questa soluzione un altro errore è nel calcolo delle moli di CO₂: $(1,38 \times 10^{-1} \text{ mol rzn}) \times (15 \text{ mol CO}_2 / 1 \text{ mol rzn}) = 2,07 \text{ mol CO}_2$; le 15 moli di CO₂ sono però formate da 3 moli di C₅H₁₂ che reagiscono.

La familiarità con i processi di verifica, le capacità logiche e critiche avrebbero dovuto far sorgere il dubbio che il risultato non fosse accettabile: come è possibile che la massa dei prodotti sia superiore ai 30,00 grammi di reagenti? E che dire di un risultato di 152 grammi di CO₂?



Questi studenti hanno giustificato, come già detto, la determinazione del reagente limitante. Ma non potrebbe essere che la determinazione del reagente limitante sia per questi studenti un procedimento complesso (dato l'insufficiente esercizio, in modo da poter attivare processi di chunking) e sotto la pressione dell'esame hanno fatto ricorso ad una soluzione per loro più semplice? Nei fatti, le loro capacità critiche sono state diminuite dal sovraccarico della memoria di lavoro. Un'altra soluzione conferma questa ipotesi:

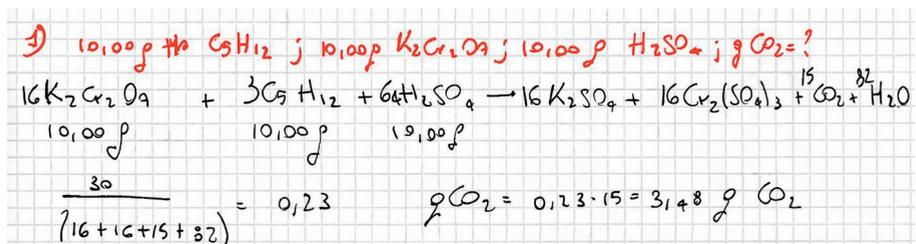


Figura 5. Lo studente ha diviso i grammi dei reagenti (30) per $(16 + 16 + 15 + 82)$ che sono i coefficienti dei prodotti; richiesto, non ha saputo spiegare il motivo logico di tale operazione. Si noti l'assenza delle unità di misura nei calcoli dei procedimenti riportati.

Queste soluzioni evidenziano difficoltà evidenti con il ragionamento chimico. Per aiutare gli studenti a familiarizzare con i ragionamenti del calcolo stechiometrico viene fornita una procedura (Cardellini, 2014, pp. 123-124):

1. si scrive e si bilancia la reazione;
2. si calcolano le moli dei reagenti;
3. moli di reazione che avvengono: r mol rzn
4. prima e dopo (p e d);
5. calcolo del reagente limitante: $RL = \dots$;
6. si calcolano le quantità dei prodotti formati;
7. si calcolano le quantità dei reagenti che hanno reagito;
8. si esegue la verifica.

Si commentano (spiegando e argomentando) i passaggi, si riporta il tempo impiegato e considerazioni sulle difficoltà incontrate.

È importante risolvere molti problemi, ma ancor più importante è ragionare molto sui problemi che si risolvono.

L'acquisizione di questo schema aumenta l'efficacia e l'efficienza; la grande maggioranza degli studenti risolve in modo corretto i problemi e impara dei ragionamenti logici utili per aumentare le capacità cognitive. La studentessa che ha svolto il problema in modo sbagliato come riportato in Figura 3, cinque mesi prima, in un esame scritto parziale aveva risolto un problema strutturalmente identico (reazione: $\text{KMnO}_4 + \text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH} + \text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{MnSO}_4 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$.) in modo corretto, anche nel calcolo del reagente limitante:

$$\begin{cases} 0,135 - 5r = 0 & r = 0,027 \\ 0,063 - 24r = 0 & r = 0,0026 \rightarrow \text{reagente limitante} \\ 0,102 - 36r = 0 & r = 0,0028 \end{cases}$$

$$RL \times 20 = 0,0026 \times 20 = 0,052$$

$$\begin{aligned} \text{massa in grammi } \text{CO}_2 &= \text{numero moli } \text{CO}_2 \times \text{massa molecolare} = \\ &= 0,052 \times 44,01 = \mathbf{2,29 \text{ g}} \end{aligned}$$

Come mai lo schema appreso non è stato persistente? Una risposta proviene dalla teoria del carico cognitivo: “The purpose of instruction is to increase the store of knowledge in long-term memory. If nothing has changed in long-term memory, nothing has been learned.” (Sweller, Ayres, Kalyuga, 2011, p. 24) Con l'esercizio, la studentessa ha imparato ad utilizza-

re lo schema acquisito in modo conseguente, ma ciò che ha appreso non è stato persistente, ovvero, l'esercizio non è stato sufficiente a cambiare in modo definitivo i collegamenti nella rete neuronale. Gli sforzi degli insegnanti nel motivare e nello spronare allo studio trovano un limite ben descritto da un vecchio proverbio: "You can lead a horse to water but you can't make him drink". Ci sono però delle possibilità di natura emotiva e psicologica che possono aiutare e rendere più facile lo sforzo degli studenti per imparare, come riportiamo nel seguito.

Interesse e motivazione

Richard Ryan e Edward Deci hanno a lungo studiato i fattori che influenzano la motivazione ed hanno sviluppato la Self-Determination Theory (SDT); questa teoria evidenzia l'importanza che ha la motivazione nel guidare il comportamento umano. La SDT suggerisce che, se ci sono le giuste condizioni, gli studenti sono capaci di motivarsi da soli ad apprendere ed evidenzia la differenza tra motivazione intrinseca ed estrinseca. "intrinsic motivation, which refers to doing something because it is inherently interesting or enjoyable" e "extrinsic motivation, which refers to doing something because it leads to a separable outcome." (Ryan, Deci, 2000, p. 55) La motivazione in aula è connessa e si riferisce alla partecipazione alle attività didattiche, al fare, all'atteggiamento positivo degli studenti verso quanto l'insegnante propone. È stata definita come "a student's tendency to find academic activities meaningful and worthwhile and to try to get the intended learning benefits from them." (Brophy, 2004, p. 249)

Altri studiosi hanno proposto tre indicatori: il comportamento, il livello del coinvolgimento e la persistenza e gestione dello sforzo. "Students make choices every day about activities and tasks in which to engage. ... A second aspect of motivated behaviors is level of activity, or involvement in a task. Some students are very involved in their courses. They ask questions during lectures, summarize their textbooks, spend considerable effort after class refining notes, outlining readings, and, in general, using different learning strategies to make sense of what they are learning. Other students are less engaged in their courses and do the minimal amount required to get by. ... The third aspect of motivated behaviors is effort and persistence. The willingness of students to work hard and persist when tasks are difficult, boring, or unchallenging is an important factor in motivation and academic success." (Dembo, Seli, 2016, p. 47)

Diverse sono le sorgenti della motivazione degli studenti; l'ambiente scolastico e la percezione dello standard della scuola, l'interesse dei genitori verso l'apprendimento dei figli, la qualità degli insegnanti, il livello di interesse della classe, tanto per citarne alcune. Uno studente più facilmente

parteciperà attivamente alle attività scolastiche se troverà le attività proposte interessanti e importanti per la sua formazione; inoltre, il constatare che è capace di avere successo è un altro fattore motivante. “A key source of self-motivation is *self-efficacy* beliefs, which are related to performance phase processes such as one’s choice of activities, effort, and persistence. ... *Outcome expectancies* constitute a second important source of self-motivation. *Outcome expectations* are beliefs about the ultimate consequences of one’s performance, such as receiving social recognition or obtaining a desirable position. ... Students’ *goal orientations*, or reasons for learning, is another source of motivation to self-regulate that pertains to beliefs or feelings about the purpose of learning.” (Zimmerman, Schunk, Dibenedetto, 2017, p. 315) Esperienze positive costruiscono la confidenza nello studente; la confidenza è importante perché confidenza e abilità si alimentano a vicenda.

L’interesse è una formidabile forza che dirige la nostra energia e la nostra attenzione verso attività che riteniamo *piacevoli*; è uno stato psicologico importante da considerare nell’istruzione perché “is grounded in a personal reactions to a wide range of things, including other people, objects, and tasks. Interest also describes a unique, content-specific, motivational variable that is responsible for the processes underlying how people act, feel, engage, and learn.” (Renninger, Hidi, 2016, p. 9)

L’interesse viene concettualizzato nella letteratura in diverse maniere che riflettono l’impostazione teorica delle ricerche e dei metodi usati. Una assunzione piuttosto comune è che l’interesse è un fenomeno che emerge dall’interazione dell’individuo con il suo ambiente. (Krapp, Hidi, Renninger, 2014) Viene definito come “a psychological state that involves a desire to become engaged in an activity or know more, in general, about a subject. ... curiosity and interest differ by their objects of desire (specific knowledge vs. general knowledge / activity engagement).” (Markey, Lowenstein, 2014, p. 231)

Interesse e motivazione sono concetti differenti: in alcuni casi ci può essere motivazione senza interesse. Ad esempio, uno studente può studiare la chimica per evitare un brutto voto. Più in generale, va considerato che “The concept of “interest” has often been associated with intrinsically motivation behaviors because people seem to adopt those behaviors out of interest. In fact, several theories of human motivation have referred to people as being *intrinsically motivated* when they are freely doing what interest them.” (Deci, 2014, p. 45) L’interesse è una spinta notevole e potente: “Interest is powerful. The triggering of interest initiates productive engagement and the potential for optimal motivation. A person is said to be

interested in some activity, ..., if they voluntarily engage in thinking about it, happily prioritize the problems that arise.” (Renninger, Hidi, 2016, p. 1)

Studiare con interesse è importante perché “People working with contents of well-developed individual interest are motivated learners, in the sense that their activity appears purposeful, sustained, and ever deepening. ... their understanding of contents for which they have well-developed individual interest continues to develop because they seize opportunities to learn and seek to work with others and/or texts that provide models for and feedback that supports their curiosity questioning and challenge seeking and serves as a kind of scaffold to more complex aspects of the subject content.” (Renninger, 2000, p. 390)

L'impegno significativo viene favorito da un ambiente di apprendimento ottimale per gli studenti; cosa dovrebbe fare un insegnante per avere un clima ottimale nella classe? Vediamo alcuni suggerimenti dalla letteratura: “teachers facilitate the positive emotions of their students by modeling their own enthusiasm and also by *providing support* for their students and their needs. ... This is done by providing choice, affirming students' abilities, scaffolding, expressing care, and otherwise providing a positive encouragement. Teachers foster academic intensity by holding high expectations for critical thinking and rigorous work, and *challenging* students to reach and meet them. ... [Questo perché] ... students are disengaged when both unsupported and unchallenged and that teachers who positively engage students combine these features by supporting students (i.e., emotionally, interpersonally) to meet the challenge of high-level thinking or completing high-quality work.” (Shernoff, 2013, p. 130)

In un ambiente di apprendimento ottimale, l'insegnante facilita il coinvolgimento e il miglioramento dell'apprendimento attraverso l'uso e l'insegnamento di strategie che aumentano l'efficacia e l'efficienza. “In good strategies instruction classroom, teachers are concerned with each student's improvement. The goal is to teach every student how to carry out tasks more competently and with less effort. ... This emphasis on task competency and improvement rather than on ability differences is pedagogically sound, with substantial evidence of greater interest in, effort at, and commitment to learning when task involvement/orientation is emphasized rather than ego enhancement.” (Pressley et al., 2014, p. 335)

In questo ambiente agli studenti viene suggerito l'uso delle mappe concettuali e di riassunti argomentati per strutturare la conoscenza e verranno impiegati i suggerimenti derivanti dalla cognitive load theory per aumentare l'efficacia e l'efficienza della comprensione e dell'apprendimento.

“Fundamentally, cognitive load theory is about efficiency. Cognitive load theory defines efficiency in terms of two variables: learner performance and

learner mental effort. Instructional environments that result in higher learning outcomes with less mental effort are more efficient than environments that lead to lower outcomes with greater mental effort.”. (Colvin Clark, Nguyen, Sweller, 2006, p. 19)

Un maggior numero di studenti proverà interesse e si sentirà più confidente e competente nel perseguire attività scolastiche “when learning environments insure that (a) students are responsible to the group and the group is responsible to the individual, (b) students genuinely respect and value each other’s contributions, and (c) students pursue meaningful and substantive ideas and goals.” (Goldman et al., 1998, p. 192)

Un ultimo aspetto importante da considerare è la percezione della capacità di riuscire ad un livello designato: il successo e la competenza innescano negli studenti il desiderio di un impegno maggiore; questa convinzione è nota come self-efficacy. “Self-efficacy beliefs have also shown convergent validity in influencing such key indices of academic motivation as choice of activities, level of effort, persistence, and emotional reactions. There is evidence that self-efficacious students participate more readily, work harder, persist longer, and have fewer adverse emotional reactions when they encounter difficulties than do those who doubt their capabilities.” (Zimmerman, 2000, p. 86)

Inoltre, gli studenti che percepiscono la propria efficacia usano strategie di apprendimento efficaci, sono capaci di valutare i loro progressi e si distraggono di rado; infatti, risulta che “Students who feel more efficacious about learning should be more apt to engage in self-regulation (e.g., set goals, use effective learning strategies, monitor their comprehension, evaluate their goal progress) and create effective environments for learning (e.g., eliminate or minimize distractions, find effective study partners). In turn, self-efficacy can be influenced by the outcomes of behaviors (e.g., goal progress, achievement) and by input from the environment (e.g., feedback from teachers, social comparisons with peers).” (Schunk, Pajares, 2009, p. 36)

L’interazione profonda tra motivazione e guadagni cognitivi è a fondamento del modello unificato di apprendimento (ULM). “The ULM is founded on three basic principles of learning:

1. Learning is a product of working memory allocation.
2. Working memory’s capacity for allocation is affected by prior knowledge.
3. Working memory allocation is directed by motivation.

These three principles of learning form the foundation for a complete theory of instruction and teaching. Simply put, teaching that follows these

principles will be effective; teaching that does not follow these principles will be ineffective. (Shell et al., 2010, p. 3)

Gli insegnanti fanno la differenza

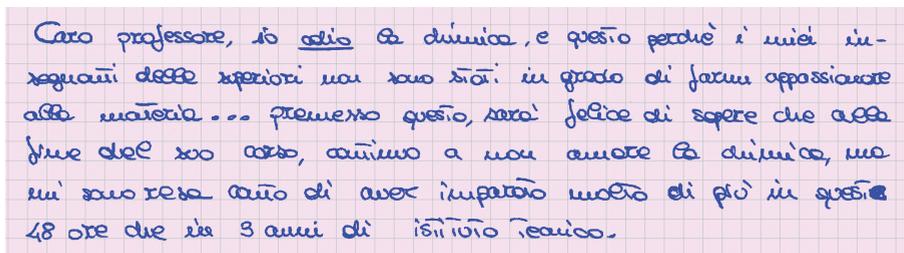
Gli studenti utilizzano la tecnologia con grande abilità e facilità; nondimeno hanno bisogno dell'aiuto degli insegnanti per sviluppare le loro capacità cognitive, poiché non riescono a trasferire queste loro abilità nelle conoscenze formali impartite a scuola, necessarie per riuscire nella vita. "Although our students are generally highly skilled and comfortable with using technology, what we have found with working with K–12 students is that there is limited transfer of this skill between using technology for entertainment and personal use and using technology to learn academic content and skills. This is where educators play a crucial role." (Donovan, Green, 2014, pp. 58-59)

Il titolo di questo capitolo sottolinea un cambiamento avvenuto negli ultimi decenni: le numerose riforme messe in atto in molti paesi hanno partorito risultati deludenti e non sono sopravvissute ai cambiamenti avvenuti nella scuola. "... almost none of the widely advocated reforms – modular scheduling, open space, individualized instruction, different school governance experiments, vouchers, charter schools, the various curriculum reform initiatives – have survived or changed student performance." (Coddling, 1997, come riportato in Townsend, 2007, p. 933)

Che cosa è importante per la formazione degli studenti? Nel caso di molti premi Nobel, due fattori hanno influito in modo positivo alla loro formazione: i genitori, anche attraverso le competenze derivate dalla loro occupazione; "Parents also influenced the development of scientific innovators of Nobel caliber in children via their professions. Particularly, professional occupations of many parents were related to science." (Shavinina, 2013, p. 263) e alcuni insegnanti speciali; "The findings demonstrate that almost each Nobel Prize winner had at least one exceptional teacher in elementary or secondary school." (Shavinina, 2013, p. 267)

Quali erano le peculiarità di questi insegnanti di premi Nobel? Avevano alcune caratteristiche in comune che li distinguevano: "First of all, they were *teachers with love and curiosity for the subjects they were teaching*. This love for the subjects was contagious and sparked imagination and interest of future Nobel laureates. ... Second, teachers of Nobel laureates were *enthusiastic, inspiring, and challenging teachers with a playful spirit*." (Shavinina, 2013, p. 267) Le qualità professionali e umane di questi insegnanti possono variare molto; ma all'altro estremo dello spettro forse va collocato l'insegnante descritto da alcuni commenti fatti da uno studente:

“As a student, I hated chemistry. ... The teacher ... appeared to dislike chemistry as much as he disliked the students.” (Lippincott, 1979, p. 1) Purtroppo, forse questo tipo di insegnanti è conosciuto anche nel nostro paese; la conseguenza più negativa di questa avversione è che gli studenti non imparano la chimica:



Caro professore, io odio la chimica, e questo perché i miei compagni delle superiori non sono stati in grado di farmi appassionare alla materia... premendo questo, sono felice di sapere che alla fine del tuo corso, continuo a non amare la chimica, ma mi sono resa conto di aver impatto molto di più in queste 48 ore che in 3 anni di istruzione tecnica.

Figura 6. “Caro professore, io odio la chimica ...”

Per avere un impatto, l’insegnante dovrebbe tener conto dei differenti contesti che formano l’ambiente nel quale l’apprendimento ha luogo e del fatto che l’insegnante stesso con le sue caratteristiche e personalità è parte di questi contesti. “Educational contexts include social elements such as teachers and peers, cultural elements such as norms and expectations, and instructional and material elements such as content area, curricula and tasks. However, more recent motivational constructs have been focused on the self while regarding context as “background.”” (Turner, 2001, p. 85)

Anche le emozioni possono svolgere un ruolo nell’istruzione, in certe età più che in altre. “We believe that the goals of teaching and learning science include knowledge (cognition), emotion and motivation.” (Shavelson, Ruiz-Primo, Wiley, 2005, p. 414) L’esistenza di aspetti affettivi ed emotivi è più evidente nelle scuole materne e nelle prime classi elementari, ove alcune maestre vengono chiamate ‘mamma’. Stati emotivi in qualche modo analoghi sono attivi in tutte le età evolutive. A cosa ci si riferisce quando nell’insegnamento si parla di dimensioni affettive? “Affective dimensions refer to such psychological constructs as attitudes, values, beliefs, opinions, emotions, interests, motivation, and a degree of acceptance or rejection.” (Kahveci, Orgill, 2015, p. v)

Va evidenziato anche il concetto di attitudine, in qualche modo collegato con la motivazione. In letteratura è accettata la definizione di Eagly e Chaiken: “attitude is a psychological tendency that is expressed by evaluating a particular entity with some degree of favor or disfavor” (Albarracín et al., 2005, p. 4) Le attitudini sono costrutti che esistono nella mente e che hanno riflessi importanti nel comportamento; la percezione di

una positiva attitudine in chimica costituisce un potente facilitatore verso l'impegno necessario alla sua acquisizione.

Insegnare in modo da conquistare gli studenti all'impegno e coinvolgerli in ciò che desideriamo essi imparino è difficile. Ad esempio, apprendere in modo significativo le procedure ed i ragionamenti necessari per padroneggiare la soluzione di complessi problemi di stechiometria richiede molto sforzo mentale. In *Qualities of Effective Teachers* James Stronge (2007) argomenta circa il significato di efficacia nell'insegnamento: "Effective teaching is the result of a combination of many factors, including aspects of the teacher's background and ways of interacting with others, as well as specific teaching practices. To discover what makes an effective teacher, we must understand what is meant by the word *effective*, realizing that the definition of this term has multiple layers and implications within the teaching profession." (p. 99) Riassume in quattro affermazioni generali le qualità che un insegnante efficace in tutte le situazioni e per tutti i tipi di studenti dovrebbe personificare; le quattro "c" (p. 100):

- The effective teacher *cares* deeply.
- The effective teacher recognizes *complexity*.
- The effective teacher *communicates* clearly.
- The effective teacher serves *conscientiously*.

L'insegnante che abbiamo finora descritto è in grado di offrire agli studenti un ambiente di apprendimento adeguato al coinvolgimento degli studenti. Ma, dal punto di vista degli studenti, che caratteristiche dovrebbe avere questo ambiente? Sono state condotte delle interviste con tre gruppi di studenti e l'analisi delle risposte ha permesso di evidenziare otto temi motivanti per gli studenti. "The eight elements are listed below.

- Establishing interest
- Allowing choice of courses so that interests can be followed
- Establishing relevance
- Learning activities
- Teaching for understanding
- Assessment of learning activities
- Close teacher–student relationships
- Sense of belonging between classmates." (Kember, 2016, p. 80)

Aspetti motivanti e demotivanti sono complementari e la noia è all'estremo opposto dell'interesse. L'interesse è un elemento molto motivante ed è stato scelto dal 77,8% degli intervistati; ecco una delle argomentazioni: "*Interest is most important. If you are not interested in chemistry, doing labs will be very toilful for you.*" (Kember, 2016, p. 82)

Che cosa soprattutto motiva gli studenti? L'interesse dell'insegnante per la riuscita dei suoi studenti e l'entusiasmo che prova per il proprio lavoro: "the lecturer's own attitudes and enthusiasm have an important effect on student motivation. Research on student ratings of teaching as well as on student learning indicates that the enthusiasm of the lecturer is an important factor in affecting student learning and motivation." (Svinicki, McKeachie, 2014, p. 59) Tutti gli insegnanti, anche coloro che non possono vantare una solida esperienza, possono fare piccoli miracoli motivando i loro studenti con il loro entusiasmo per l'insegnamento.

Rilevanza di ciò che si apprende

La rilevanza di ciò che si insegna è un aspetto fondamentale per ciò che si intende per apprendimento significativo. Questo è sempre vero, ma in certe età è cruciale; una domanda che spesso gli studenti pongono è: "Perché devo studiare ...". In letteratura è un concetto ricorrente, ma non esiste una definizione condivisa del termine rilevanza: certamente ha più dimensioni ed è spesso usato come sinonimo di altri concetti educativi. Un'ampia recensione recente fornisce alcuni suggerimenti per concettualizzare e rendere operativo il concetto. "These suggestions intend to differentiate between a perception of relevance which merely overlaps students' interests and a perspective which contains other areas of relevance, e.g. those justified by economical needs and/or defined by societal interests. ... The definition of 'relevance' we have chosen to employ possesses a multi-dimensional character (not just the perspective of learner needs and interests). ... relevance contains different major dimensions, namely those stemming from the individual, societal and vocational realms. All of these dimensions are part of a broader field covering both intrinsic and extrinsic components which have value for both the present and the future." (Stuckey et al., 2013, p. 26)

Il laboratorio e più in generale le applicazioni sono aspetti che aumentano l'interesse e la rilevanza dell'insegnamento. Come è stato osservato, "chemistry curricula tend to put the subject first, and applications a poor second. Forgotten is that relevancy is in the processes and products we utilise in society, and only afterwards in the understanding (should we wish to utilise scientific principles in solving a problem or making a decision). Thus, in terms of relevant conceptual learning, it would seem that current curriculum approaches are not providing the impetus to promote the popularisation of chemistry that is expected." (Holbrook, 2005, p. 1)

Una domanda importante riguarda i modi in cui si può aumentare la rilevanza del nostro insegnamento. L'interesse aumenta se gli studenti si sentono sfidati nelle loro capacità e percepiscono la possibilità di riuscire.

“Relevance can be achieved through the use of realistic science - related problems in which opportunities are provided for critical judgements and decisions. Understanding of the processes of science can be promoted by exercises in which simultaneous cognition and exhibition of scientific behaviours is ensured.” (Byrne, Johnstone, 1988, p. 45)

Insegnanti desiderosi sia di insegnare ciò che viene richiesto dal programma che di migliorare le capacità cognitive degli studenti, cercano un equilibrio nell'organizzare il tempo nella classe. Le richieste del programma sono importanti, ma la qualità degli studenti non è da meno e varia di anno in anno. A volte è necessario tralasciare alcuni argomenti del programma, o dare ad essi una enfasi minore, per adattarlo alla qualità degli studenti. L'organizzazione del tempo è necessaria per spiegare gli argomenti rilevanti e per avere tempo per delle attività motivanti. Non è sempre vero che *repetita iuvant*: “It’s a common misconception that the more you give the learners the better.” (Colvin Clark, Nguyen, Sweller, 2006, p. 108)

La comunità Europea, attraverso i descrittori di Dublino e la società hanno grandi aspettative nella scuola; oltre alla conoscenza delle materie scolastiche viene richiesta la formazione umana e sociale degli studenti: “The ability to plan, think critically and creatively, work with others and make decisions about your future, be aware and appreciate yourself and others from your own and other cultures, recognize your value and responsibilities as a citizen, become a life-long learner that has a value system, the leadership skills and commitment to build a better life for yourself, your family and the community, both local and global, may be, in the end, of more value to our development as a society than learning trigonometry or when a particular event in history occurred.” (Townsend, 2007, p. 954)

Bibliografia

G. S. Aikenhead, Chemistry and physics instruction: Integration, ideologies, and choices, *Chemical Education: Research and Practice*, **4** (2), 115-130, 2003.

D. Albarracin, B. T. Johnson, M. P. Zanna, G. T. Kumkale, Attitudes: Introduction and scope. In D. Albarracin, B. T. Johnson, M. P. Zanna (Eds.), *The handbook of attitudes* (pp. 3-19). Erlbaum: Mahwah, NJ, 2005.

R. C. Atkinson, R. M. Shiffrin, Human memory: A proposed system and its control processes. In K. W. Spence, J. T. Spence (Eds.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory*, Vol. 2 (pp. 89-195). Academic Press: New York, 1968.

A. D. Baddeley, G. J. Hitch, Working memory. In G. H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory*, Vol. 8 (pp. 47-89). Academic Press: New York, 1974.

A. Baddeley, Working memory. *Science*, **255** (5044), 556-559, 1992.

- A. Baddeley, Working memory: Looking back and looking forward. *Nature Reviews*, **4**, 829-839, 2003.
- A. Baddeley, *Working memory, thought, and action*. Oxford University Press: Oxford, 2007.
- S. Beilock, *Choke: What the secrets of the brain reveal about getting it right when you have to*. Free Press: New York, 2010.
- M. S. Byrne, A. H. Johnstone, How to make science relevant. *School science review*, **70** (251), 43-46, 1988.
- J. Brophy, *Motivating students to learn*. Lawrence Erlbaum: Mahwah, NJ, 2004.
- M. Byrne, A. H. Johnstone, A. Pope, Reasoning in science: a language problem revealed? *School Science Review*, **75** (272), 103-107, 1994.
- L. Cardellini, Moli di reazione che avvengono: un concetto utile nella stechiometria. *La Chimica nella Scuola*, **17** (1), 19-21, 1995.
- L. Cardellini, Chemistry: Why the subject is difficult? *Educación Química*, **23**, E2, 305-310, 2012.
- L. Cardellini, *Strategie per il problem solving in chimica*. Libreria Scientifica Ragni: Ancona, 2014,
- P. Carruthers, *The centered mind. What the science of working memory shows us about the nature of human thought*. Oxford University Press: Oxford, 2015.
- J. R. T. Cassels, A. H. Johnstone, The effect of language on student performance on multiple choice tests in Chemistry. *Journal of Chemical Education*, **61** (7), 613-615, 1984.
- M. T. H. Chi, Knowledge structures and memory development. In R. S. Siegler (Ed.), *Children thinking: What develops?* (pp. 73-96). Erlbaum: Hillsdale, NJ, 1978.
- R. Colvin Clark, F. Nguyen, J. Sweller, *Efficiency in learning. Evidence-based guidelines to manage cognitive load*. Pfeiffer: San Francisco, CA, 2006.
- N. Cowan, The magical mystery four: How is working memory capacity limited, and why? *Current Directions in Psychological Science*, **19** (1), 51-57, 2010.
- E. L. Deci, The relation of interest to the motivation of behavior: A self-determination theory perspective. In K. A. Renninger, S. Hidi, A. Krapp (Eds.), *The role of interest in learning and development* (pp. 43-70). Psychology Press: New York, 2014.
- M. H. Dembo, H. Seli, *Motivation and learning strategies for college success. A focus on self-regulated learning*. Routledge: New York, 2016.
- M. J. Dehn, *Working memory and academic learning. Assessment and intervention*. John Wiley & Sons, Inc.: Hoboken, NJ, 2008.
- L. Donovan, T. Green, *Making change: Creating 21st century teaching & learning environments*. Shell Education: Huntington Beach, CA, 2014.
- K. A. Ericsson, W. G. Chase, S. Faloon, Acquisition of a memory skill. *Science*, **208** (4448), 1181-1182, 1980.
- K. A. Ericsson, R. T. Krampe, C. Tesch-Römer, The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance. *Psychological Review*, **100** (3), 363-406, 1993.
- M. Gladwell, The art of failure. Why some people choke and others panic. *The New Yorker*, August 21 & 28, 84-92, 2000.

- S. R. Goldman, C. Mayfield-Stewart, H. V. Bateman, J. W. Pellegrino, Environments that support meaningful learning. In L. Hoffmann, A. Krapp, K. A. Renninger, J. Baumert (Eds.), *Interest and learning* (pp. 184-196). IPN: Kiel, 1998.
- J. D. Herron, *The chemistry classroom. Formulas for successful teaching*. American Chemical Society: Washington, DC, 1996.
- J. Holbrook, Making chemistry teaching relevant. *Chemical Education International*, **6** (1), 1-12, 2005.
- E. W. Jenkins, N. W. Nelson, Important but not for me: students' attitudes towards secondary school science in England. *Research in Science & Technological Education*, **23** (1), 41-57, 2005.
- A. H. Johnstone, New Stars for the Teacher to Steer by? *Journal of Chemical Education*, **61** (10), 847-849, 1984.
- A. H. Johnstone, Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, **7** (2), 75-83, 1991.
- A. H. Johnstone, Chemical education research: Where from here? *University Chemistry Education*, **4** (1), 32-36, 2000.
- A. H. Johnstone, D. Selepeng, A language problem revised. *Chemistry Education Research and Practice in Europe*, **2** (1), 19-29, 2001.
- M. Kahveci, M. Orgill, Preface. In M. Kahveci, M. Orgill (Eds.), *Affective dimensions in chemistry education* (pp. v-ix). Springer-Verlag: Berlin, 2015.
- D. Kember, *Understanding the nature of motivation and motivating students through teaching and learning in higher education*. Springer: Singapore, 2016.
- R. B. Kozma, J. Russell, Multimedia and understanding: Expert and novice responses to different representations of chemical phenomena, *Journal of Research in Science Teaching*, **34** (9), 949-968, 1997.
- A. Krapp, S. Hidi, K. A. Renninger, Interest, learning, and development. In K. A. Renninger, S. Hidi, A. Krapp (Eds.), *The role of interest in learning and development* (pp. 3-25). Psychology Press: New York, 2014.
- R. Leeper, A study of a neglected portion of the field of learning—the development of sensory organization. *The Pedagogical Seminary and Journal of Genetic Psychology*, **46** (1), 41-75, 1935.
- W. T. Lippincott, Why students hate chemistry. *Journal of Chemical Education*, **56** (1), 1-1 1979.
- B. N. Macnamara, M. Maitra, The role of deliberate practice in expert performance: revisiting Ericsson, Krampe & Tesch-Römer (1993). *Royal Society Open Science*, **6** (8), 190327, 2019.
- A. Markey, G. Lowenstein, Curiosity. In R. Pekrun, L. Linnenbrink-Garcia (Eds.), *International handbook of emotion in education* (pp. 228-246). Routledge: New York, 2014.
- G. A. Miller, The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, **63** (2), 81-97, 1956.
- G. A. Miller, E. Galanter, K. H. Pribram, *Plans and the structure of behavior*. Holt: New York, 1960.
- A. Miyake, P. Shah (Eds.), *Models of working memory: mechanisms of active maintenance and executive control*. Cambridge University Press: New York, 2007.

- J. Osborne, S. Collins, *Pupils' and parents' views of the school science curriculum*. King's College London: London, 2000.
- G. Polya, *How to solve it: A new aspect of mathematical method*, 2nd Ed. Princeton University Press: Princeton, NJ, 1985.
- M. Pressley, P. Beard El-Dinary, M. B. Marks, R. Brown, S. Stein, Good strategy instruction is motivating and interesting. In K. A. Renninger, S. Hidi, A. Krapp (Eds.), *The role of interest in learning and development* (pp. 233-358). Psychology Press: New York, 2014.
- N. Reid, Working memory and science education: conclusions and implications. *Research in Science & Technological Education*, **27** (2), 245-250, 2009.
- K. A. Renninger, Individual Interest and its implication for understanding intrinsic motivation. In C. Sansone, J. M. Harackiewicz (Eds.), *Intrinsic and extrinsic motivation. The search for optimal motivation and performance* (pp. 373-404). Academic Press: San Diego, CA, 2000.
- K. A. Renninger, S. E. Hidi, *The power of interest for motivation and engagement*. Routledge: New York, 2016.
- J. T. E. Richardson, R. W. Engle, L. Hasher, R. H. Logie, E. R. Stoltzfus, R. T. Zacks, *Working Memory and human cognition*. Oxford University Press: New York, 1996.
- M. Rocard, P. Csermely, D. Jorde, D. Lenzen, H. Walberg-Henriksson, V. Hemmo, *Science education now: A renewed pedagogy for the future of Europe*, Directorate General for Research, Science, Economy and Society, Brussels 2007. Retrieved 03/12/2016, from http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/report-rocard-on-science-education_en.pdf.
- R. M. Ryan, E. L. Deci, Intrinsic and extrinsic motivations: Classic definitions and new directions. *Contemporary Educational Psychology*, **25** (1), 54-67, 2000.
- R. M. Ryan, E. L. Deci, An overview of self-determination theory: An organismic-dialectical perspective. In E. L. Deci, R. M. Ryan (Eds.), *Handbook of self-determination research* (pp. 3-33). University of Rochester Press, Rochester, NY, 2002.
- D. H. Schunk, F. Pajares, Self-efficacy theory. In K. R. Wentzel, A. Wigfield (Eds.), *Handbook of motivation at school* (pp. 35-53). Routledge: New York, 2009.
- T. J. Sejnowski, *The deep learning revolution*. The MIT Press: Cambridge, MA, 2018.
- H. A. Simon, How big is a chunk? By combining data from several experiments, a basic human memory unit can be identified and measured. *Science*, **183** (4124), 482-488, 1974.
- R. J. Shavelson, M. A. Ruiz-Primo, E. W. Wiley, Windows into the mind. *Higher Education*, **49** (4), 413-430, 2005.
- L. V. Shavinina, Where did all great innovators come from? Lessons from early childhood and adolescent education of Nobel laureates in science. In L. V. Shavinina (Ed.), *The Routledge international handbook of innovation education* (pp. 259-272). Routledge: New York, 2013.

- D. F. Shell, D. W. Brooks, G. Trainin, K. M. Wilson, D. F. Kauffman, L. M. Herr, *The unified learning model. How motivational, cognitive, and neurobiological sciences inform best teaching practices*. Springer: Dordrecht, Heidelberg, 2010.
- D. J. Shernoff, *Optimal learning environments to promote student engagement*. Springer New York, 2013.
- H. A. Simon, W. G. Chase, Skill in chess. *American Scientist*, **61** (4), 394-403, 1973.
- H.-R. Sliwka, Reform of chemical language as a model for spelling reform. *Journal of the Simplified Spelling Society*, **32**, 24-28, 2003.
- J. H. Stronge, *Qualities of effective teachers*, 2nd Ed. Association for Supervision and Curriculum Development: Alexandria, VA, 2007
- M. Stuckey, A. Hofstein, R. Mamlok-Naaman, I. Eilks, The meaning of ‘relevance’ in science education and its implications for the science curriculum. *Studies in Science Education*, **49** (1), 1-34, 2013.
- M. D. Svinicki, W. J. McKeachie, *McKeachie’s teaching tips. Strategies, research, and theory for college and university teachers*, 14 ed. Wadsworth, Cengage Learning: Belmont, CA, 2014.
- J. Sweller, P. Ayres, S. Kalyuga, *Cognitive load theory*. Springer: New York, 2011.
- K. S. Taber, Learning at the symbolic level. In J. K. Gilbert, D. Treagust, (Eds), *Multiple representations in chemical education* (pp. 75-105). Springer: Dordrecht, The Netherlands, 2009.
- T. Townsend, School effectiveness and improvement in the twenty-first century: Reframing for the future. In T. Townsend (Ed.), *International handbook of school effectiveness and improvement* (pp. 933-962). Springer: Dordrecht, The Netherlands, 2007.
- J. C. Turner, Using context to enrich and challenge our understanding of motivational theory. In S. Volet, S. Järvelä (Eds.), *Motivation in learning contexts. Theoretical advances and methodological implications* (pp. 85-104). Elsevier Science: Oxford, UK, 2001.
- B. J. Zimmerman, Self-efficacy: An essential motive to learn. *Contemporary Educational Psychology*, **25** (1), 82-91, 2000.
- B. J. Zimmerman, D. H. Schunk, M. K. Dibenedetto, The role of self-efficacy and related beliefs in self-regulation of learning and performance. In A. J. Elliot, C. S. Dweck, D. S. Yeager (Eds.), *Handbook of competence and motivation: theory and application* (pp. 313-333), 2nd Ed. The Guilford Press: New York, 2017.



UNESCO

"Building peace in the minds of men and women"

16 Sulfur
Società

6 Carbon
Chimica

53 Iodine
italiana

2019



INTERNATIONAL
YEAR OF THE
PERIODIC TABLE

The International Year of the
Periodic Table

150th anniversary of publication
of Mendeleev's Periodic table

IODIO

Scoperta, storia e altro

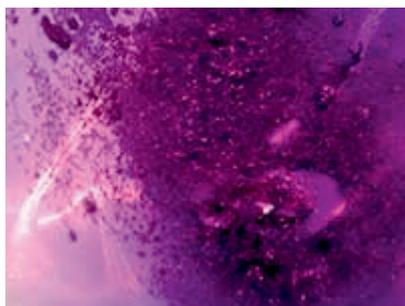
Pasquale Fetto
pasquale.fetto@didichim.org

Carta d'identità

GRUPPO		IODIO																ALOGENO										0																																																																																																																																																																																																																																									
IA																												2																																																																																																																																																																																																																																									
1																												10																																																																																																																																																																																																																																									
2																												18																																																																																																																																																																																																																																									
3																												36																																																																																																																																																																																																																																									
4																												54																																																																																																																																																																																																																																									
5																												86																																																																																																																																																																																																																																									
6																												118																																																																																																																																																																																																																																									
7																												184																																																																																																																																																																																																																																									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260

*Lanthanide Series

†Actinide Series



Vapori di iodio (Eleonor A Merritt)



Cristalli di Iodio (Wikipedia)

La forma elementare dello iodio venne scoperta nel 1811. Un anno dopo, la scoperta fu attribuita al chimico francese Bernard Courtois. Il nome *iodo* deriva dal greco antico *ἰοειδής* (*ioeidēs*) e fa esplicito riferimento al colore viola o lilla dei vapori di questo elemento.

[N. d. A.]

Le notizie riguardanti i dati bibliografici dello scopritore e le vicende legate all'attribuzione e alla causalità della scoperta sono riportate nella Rubrica (v. "Dalla Copertina" pp. 7-9).

La presenza in natura

Lo **iodio** è un minerale **presente solo in natura**. La fonte principale di iodio è lo iodato di sodio (NaIO_3) presente nel nitrato del Cile (NaNO_3); lo iodio nel nitrato del Cile si trova solo combinato con diversi metalli. È presente nell'acqua di mare come ione ioduro (I^-) nella misura di circa 0,045359237 grammi per tonnellata. È presente nelle alghe, nelle ostriche e nel fegato di merluzzo. Tra le fonti vegetali vi sono **bietole, zucchine, aglio, semi di sesamo e di soia, cime di rapa, spinaci e fagioli**.

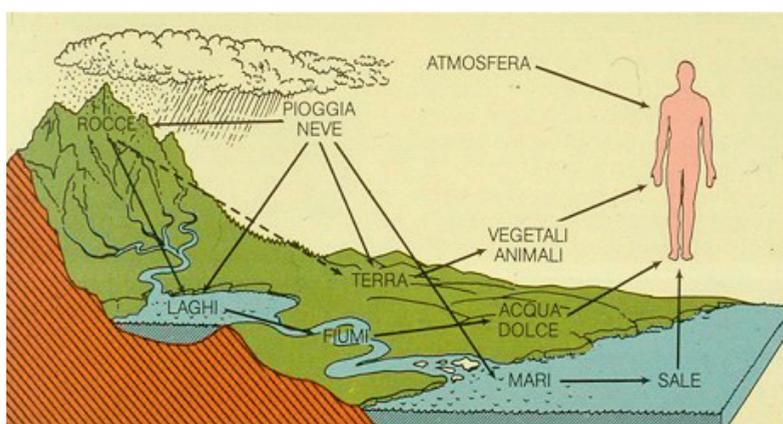
Il più antico sfruttamento minerario riguarda il **sodanitro**, noto dal punto di vista chimico come **nitrato di sodio**. Il sodanitro è detto anche *nitratina*, *nitro del Cile* o *nitronatrite*; localmente è chiamato **caliche**. Le acque madri di cristallizzazione del sodanitro si utilizzano per l'estrazione dello iodio.

I principali sottoprodotti sono il **borace** e lo **iodio**. I giacimenti, molto estesi, si trovano nel Cile settentrionale e per decenni il Cile ne ha detenuto il monopolio mondiale. Ancora oggi il settore più ricco dell'economia cilena è di gran lunga quello minerario ed il Cile, assieme al Giappone, è tra i maggiori produttori di iodio a livello mondiale.

Lo iodio è diffuso nell'ambiente in diverse forme chimiche. È presente

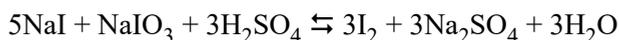
nelle rocce e nel suolo e per azione delle piogge e dell'erosione giunge con le acque superficiali nei mari e negli oceani. Lo iodio contenuto nell'acqua dei mari evapora nella atmosfera e, con le piogge, ritorna sulla superficie terrestre. Lo iodio presente nel mare si accumula nelle alghe, nei pesci e nei crostacei, mentre quello presente nei terreni viene assorbito dalle piante. Le verdure possono contenere un discreto quantitativo di iodio soltanto se sono state coltivate in terreni ricchi di questo minerale.

Alcune acque minerali *salsiodiche* (in Italia si contano diverse località in cui sono presenti delle sorgenti), sono relativamente ricche di iodio che ne contengono sino a 60,5 mg/L. Nelle acque salmastre che accompagnano il petrolio nei suoi giacimenti lo iodio è presente sotto forma di iodato.



Ciclo dello iodio

Lo iodio si estrae dalle acque madri di cristallizzazione del nitrato di sodio, dalle acque di sorgenti salsiodiche e da alcune varietà di alghe (lo iodio presente nelle ceneri delle alghe è pari allo 0,2-0,4% rispetto al prodotto secco). Nelle acque di cristallizzazione del nitrato di sodio lo iodio si trova sotto forma di iodato sodico; una parte di questa soluzione viene trattata con acido solforoso o con un bisolfito in modo da ridurre lo iodato in ioduro. Contemporaneamente la soluzione diventa acida per acido solforico perché il gruppo SO_2^- si ossida a SO_4^- . Questa soluzione acida contenente iodio come ioduro viene aggiunta alle acque madri contenenti lo iodato e si ha la reazione seguente, con formazione di iodio libero (che precipita e può essere recuperato per filtrazione):



Proprietà chimiche

Lo iodio fa parte del gruppo degli alogeni ed è il *meno abbondante degli alogeni stabili*, è inoltre il *sessantunesimo elemento più abbondante in natura*.

Allo stato solido, liquido e gassoso la molecola iodio è biatomica. È un elemento con spiccata elettronegatività, chimicamente si comporta in generale come ossidante tendendo allo stato di ossidazione -1. Reagisce con la maggior parte degli elementi tranne i gas nobili il carbonio e l'azoto.

Lo iodio ha **peso atomico 126,90, numero atomico 53**.

Stati di ossidazione: **+7, +5, +3, +1, -1**.

Lo **I^{VII}** forma una vasta famiglia di ossiacidi anche polinucleari (H₇I₃O₁₄) e dei loro anioni.

Lo **I^{III}** esiste solo combinato con altri alogeni.

Lo **I^I** forma, con i metalli, composti ionici o parzialmente molecolari.

Gli **ioni metallici ossidanti** (Fe³⁺, Tl³⁺) ossidano **I⁻** a **I₂** o **I₃⁻**.

Lo iodio **forma cationi ed anioni polinucleati** (I₂⁺, I₄²⁺, I₃, I₉, I₈²⁻).

Esistono anche **composti interalogeni neutri** (**I^{VI}F₇**), **anionici** (**I^{II}F₂⁻**), **cationici** (**I^{VI}F₆⁺**).

I composti di iodio più comuni sono gli ioduri di sodio (NaI) e di potassio (KI), e gli iodati (KIO₃).

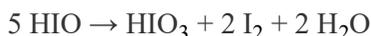
Tabella riassuntiva delle proprietà chimiche dello iodio

stati di ossidazione	specie fondamentali	proprietà acido-base	proprietà Redox pH = 0	proprietà Redox pH = 14	alogenuri
+7	HIO ₄ H ₅ IO ₆ IO ₄ ⁻ IO ₆ ⁵⁻	acido debole	ossidante forte	ossidante medio	IF ₇
+5	I ₂ O ₅ HIO ₃ IO ₃ ⁻	acido debole	ossidante medio	ossidante debole	IF ₅
+1	HIO IO ⁻	acido debole	ossidante forte	ossidante medio	IF ICl IBr
0	I ₂		ossidante medio	ossidante medio	---
-1	HI I ⁻	acido forte	inattivo	inattivo	---
Alogenuri: IF ₃ , I ₂ F ₆					

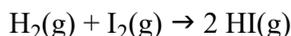
Acido ipiodoso

Il valore della K della reazione pari a 10^{-13} è molto bassa e l'equilibrio si sposta verso sinistra e la quantità di acido ipiodoso che si ottiene è molto bassa.

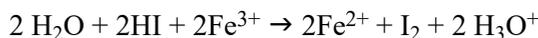
La reazione che si viene a stabilire è **una reazione di disproportionazione** da cui si forma acido iodico e iodio:

**Ioduro di idrogeno**

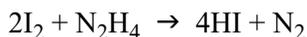
Lo ioduro di idrogeno (**HI**) è un acido forte che si ottiene per reazione tra gli elementi catalizzata da platino supportato su gel di silice:



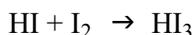
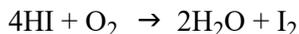
I sali ferrici possono facilmente riossidare lo ioduro formatosi secondo la reazione:



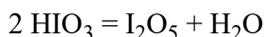
Industrialmente si utilizza la reazione tra lo iodio molecolare e l'idrazina con formazione, come sottoprodotto, dell'azoto molecolare:



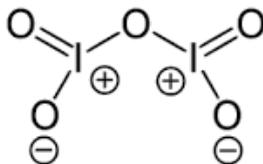
Lo ioduro di idrogeno se esposto all'aria si ossida secondo le reazioni sotto indicate:

**Ossidi di Iodio**

Il **pentossido di iodio** (I_2O_5) o anidride iodica è il più importante fra gli ossidi dello iodio, la preparazione avviene secondo la reazione:

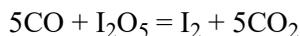


È costituito da gruppi piramidali IO_3 che per condivisione di un ossigeno formano unità O_2IOIO_2 .



Struttura del perossido di iodio

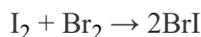
Il *pentossido di iodio* è stabile fino a circa 300°C, a questa temperatura fonde decomponendosi in iodio e ossigeno. Con varie sostanze, quali H₂S, HCl e CO, si comporta da ossidante. Un suo impiego importante è come reattivo per la determinazione quantitativa del monossido di carbonio:



nella reazione si forma iodio, che viene poi determinato quantitativamente mediante gli usuali procedimenti iodometrici.

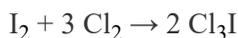
Reazioni con gli alogeni

Lo iodio con gli alogeni forma dei prodotti diversi in relazione alla condizioni in cui avviene la reazione:

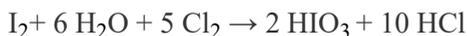


il *bromuro di iodio* è un prodotto instabile con una bassa temperatura di fusione (40°C).

Con il cloro reagisce a -80°C formando il *tricloruro di iodio*:



in presenza di acqua forma *acido iodico*:



L'*acido iodico in cristalli* si forma dalla reazione dello iodio con acido nitrico concentrato a caldo:

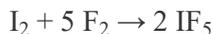


Lo iodio, *in ambiente basico*, convertito parzialmente in iodato:

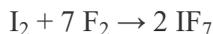


Interessanti sono le reazioni dello iodio con il fluoro che avvengono a diverse temperature:

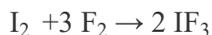
1) **temperatura ambiente** si forma **pentafluoruro di iodio**:



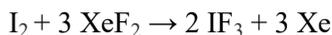
2) **a 250°C** il prodotto di reazione è l'**eptafluoruro di iodio**:



3) a -45°C lo iodio in presenza di triclorofluorometano (FREON-11) dà luogo alla formazione di **trifluoruro di iodio** solido di colore giallo [1]:

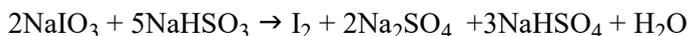


4) lo iodio può essere fluorurato con difluoruro di xeno con formazione di **trifluoruro di iodio** (stabile solo a temperature inferiori ai -28°C ; a temperatura ambiente si decompone in I_2 e IF_5)



Estrazione dello iodio

Lo iodio viene estratto industrialmente dallo iodato di sodio del Cile per riduzione dello iodato con bisolfito di sodio:



Lo iodato di sodio è un agente ossidante utilizzato in medicinali, disinfettanti e antisettici, e per l'analisi di reagenti e ossidanti.

Lo iodio può essere preparato in forma molto pura facendo reagire lo ioduro con il solfato secondo la reazione:



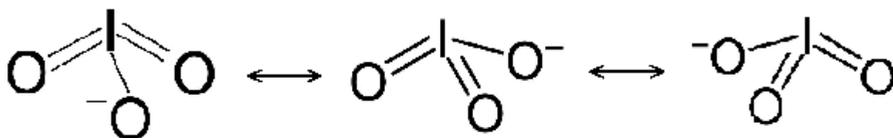
Oltre allo iodato di sodio riveste una notevole importanza lo iodato di potassio (KIO_3) anch'esso solubile in acqua e usato per il potere ossidante.

Inoltre hanno una notevole importanza gli iodati di alcuni **metalli tetravalenti** come: *zirconio* (Zr^{4+}), $\text{Zr}(\text{IO}_3)_4$; *afnio* (Hf^{4+}), $\text{Hf}(\text{IO}_3)_4$; *cerio* (Ce^{4+}), $\text{Ce}(\text{IO}_3)_4$; *torio* (Th^{4+}), $\text{Th}(\text{IO}_3)_4$; la **caratteristica principale** è l'**insolubilità in un mezzo fortemente acido**, caratteristica che permette la loro separazione da altri elementi con i quali coesistono nei loro minerali.

Lo ione iodato (IO_3^-)

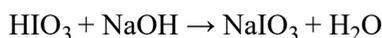
La struttura dello ione iodato presenta un atomo di iodio centrale legato ai tre atomi di ossigeno con legami covalenti e un doppietto elettronico libero collocato nell' sp^3 dello iodio, in modo da conferire struttura tetraedrica alla molecola.

I tre legami I-O sono identici sia per contenuto energetico che per lunghezza, ed hanno una natura intermedia tra un legame doppio ed un legame singolo. In questo senso, lo iodato può essere considerato come **ibrido di risonanza** definito dalle tre forme limite:



Lo iodato di sodio

Per la sintesi dello iodato di sodio si parte dall'acido iodico (HIO_3) in presenza di sodio idrossido (NaOH):



La sintesi dello iodato di sodio può anche essere ottenuta partendo dalla reazione tra iodio e idrossido di sodio in etanolo (la solubilità in etanolo è pari a 139 g/L):

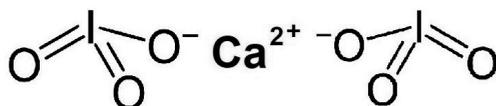


in soluzione rimane lo ioduro di sodio; mentre non tutto lo iodato di sodio prodotto precipita, parte di questo, infatti, viene solubilizzato dall'acqua prodotta dalla reazione stessa.

La sua dissoluzione avviene con un forte sviluppo di calore; nel caso dell'etanolo o di altri solventi organici, tale calore potrebbe far infiammare i vapori del solvente.

Il diiodato di calcio o *lautarite*

Il $\text{Ca}(\text{IO}_3)_2$ è presente come impurezze nel nitrato del Cile.



Struttura del *diiodato di calcio*

La *lautarite* o **diiodato di calcio** è un sale inorganico, si trova in natura come minerale anidro, con lo ioduro di potassio e lo iodato di potassio, rappresenta la principale fonte di iodio presente negli alimenti; cristallizza nel sistema monoclinico è incolore o giallastro con durezza 4 e peso specifico 4.59.

Il calcio diiodato risulta essere irritante per gli occhi; a livello dermico ha effetti allergizzanti; provoca congestione polmonare e se ingerito può provocare vomito, diarrea, dolori di stomaco, convulsioni e abbassamento

della pressione sanguigna.

Un'altra importante fonte di iodio è rappresentata dalle alghe come il *fucus vesiculosus* e la *laminaria digitata*.

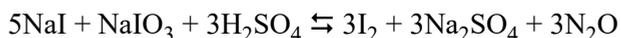


Fucus vesiculosus



Laminaria digitata

La reazione riportata di seguito è quella che, presumibilmente, avvenne quando Bernard Courtois, trattò le ceneri ricavate dall'arrostimento delle alghe con acido solforico **in eccesso** ottenendo un vapore viola che condensò in una sostanza nera cristallina, che chiamò "sostanza X".



Lo iodato di calcio, assieme allo ioduro di potassio e allo iodato di potassio, rappresenta la principale forma chimica nella quale lo iodio si trova presente nel cibo.

Cibi ad alto contenuto di iodio sono il pane, i cereali integrali, il sale da cucina e i pesci marini; il pesce è un alimento prezioso che spesso non viene consumato a sufficienza nonostante contenga iodio.

Il nostro corpo ha bisogno di iodio per il proprio benessere e deve essere assunto quotidianamente, la sua carenza può causare disturbi di vario tipo, la quantità da assumere varia in rapporto all'età.

Lo iodio è l'elemento fondamentale degli ormoni tiroidei, sono necessari al corretto sviluppo e mantenimento delle funzioni vitali dell'organismo.

E' presente nell'organismo umano in piccole quantità, 15–20 mg; è quasi esclusivamente **presente nella tiroide**, ghiandola endocrina posta alla base del collo.

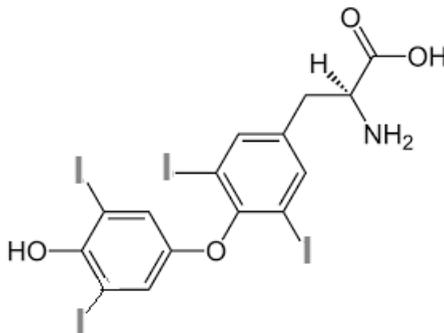
Lo iodio è un *micronutriente* dal quale dipende il corretto funzionamento di questa ghiandola; l'apporto giornaliero necessario è pari a 150 µg.

La **tiroide** produce due *ormoni*:

- la **tiroxina (T₄)**; formula molecolare = C₁₅H₁₁I NO₄

- la **triiodotironina (T₃)**; formula molecolare = C₁₅H₁₂I NO₄

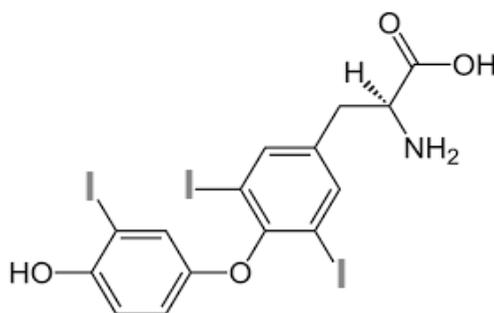
Questi due ormoni contengono iodio nella loro struttura chimica. Questi ormoni regolano numerosi processi metabolici nella maggior parte delle cellule e svolgono un ruolo importantissimo nelle prime fasi della crescita e nello sviluppo di diversi organi, in particolare del cervello.



Struttura **Tiroxina (T₄)**

Tiroxina (T₄) nome IUPAC:

acido (2S)-2-ammino-3-[4-(4-idrossi-3,5-diiodossifenossil)-3,5-diiodofenil] propanoico.



Struttura **Triiodotironina (T₃)**

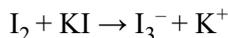
Triiodotironina (T₃) nome IUPAC:

acido (2S)-2-ammino-3-[4-(4-idrossi-3-iodofenossil)- 3,5-diiodofenil] propanoico.

Utilizzo

Il **reattivo di Lugol**² è una soluzione acquosa *iodo-iodurata* di colore marrone chiaro, inodore.

In soluzione lo ioduro di potassio si dissocia e l'anione I⁻ reagisce con lo iodio elementare con formazione di ione triioduro, secondo la reazione:



in laboratorio di analisi chimica e biologica viene utilizzata come colorante per marcare alcune strutture cellulari durante l'osservazione microscopica o per il riconoscimento della presenza di amido.

I₂ è usato come disinfettante (tintura di iodio: 2% I₂ e 2,4% NaI in alcool etilico).

I₂ è irritante e tossico; **I⁻** è debolmente tossico.

Molti composti dello iodio sono usati come mezzo di contrasto nella radiologia diagnostica. In soluzione acquosa anche quantità minime di iodio in presenza di amido producono un colore blu-nero.

Gli Isotopi

Sono noti 30 isotopi dello iodio di cui soltanto lo Iodio-127, è **stabile** e presente in natura con un'abbondanza del 100%. Gli altri, con l'eccezione dello Iodio-129 e dello Iodio-¹²⁹I, sono tutti piuttosto difficili da sintetizzare.

Lo **Iodio-123** (¹²³I) è un isotopo radioattivo utilizzato in **medicina nucleare** per la marcatura di alcuni radiofarmaci. Particolarmente utile e sicuro dal punto di vista della radioprotezione del paziente sia per la sua emivita³ piuttosto bassa, 13,2235 ore, sia per la sua energia di decadimento. La sola "*controindicazione*" è legata all'**alto costo di produzione**.

Lo **Iodio -127** (¹²⁷I) è tra gli isotopi dello iodio l'**unico isotopo naturale stabile**.

Lo **Iodio-129** (¹²⁹I) ha un'emivita di 15,7 milioni di anni, è stato usato negli studi sull'acqua piovana successivi all'incidente nucleare di Černobyl, come tracciante per acque sotterranee e come indicatore di dispersione di rifiuti nell'ambiente naturale.

Lo **Iodio-131** (¹³¹I) è un isotopo radioattivo (radioisotopo) eccezionalmente utile in quanto ha un'emivita di decadimento radioattivo di circa 8 giorni (8,0197 giorni). Lo iodio-131 è impiegato in medicina per monitorare il funzionamento della tiroide, per trattare il gozzo e il cancro alla tiroide e per localizzare i tumori del cervello e del fegato. Viene anche utilizzato nelle indagini per tracciare il decorso dei composti nel metabolismo.

Stabilità degli isotopi dello Iodio					
Isotopo	Presenza in Natura	Tempo di Dimezzamento	Modalità di Decadimento	Energie di Decadimento	Prodotto del Decadimento
¹²³ I	sintetico	13,2 ore	ε	0,16	¹²³ Te
¹²⁷ I	naturale 100%	Stabile con 74 neutroni			
¹²⁹ I	sintetico	1,57 x 10 ⁷ anni	β ⁻	0,194	¹²⁹ Xe
¹³¹ I	sintetico	8,02 giorni	β ⁻	0,971	¹³¹ Xe
	PN	TD	MD	ED	PD

Bibliografia - Sitografia

[1] M. Schmeisser, W. Ludovici, D. Naumann, P. Sartori e E. Scharf, *Zur Kenntnis des Jodtrifluorids*, in Chem. Ber., vol. 101, n°12, 1968, pp. 4214-4220.

- https://eo.wikipedia.org/wiki/Bernard_Courtois

- Snelders, H. A. M., J. S. C. Schweigger: His Romanticism and His Crystal Electrical Theory of Matter, in Isis, vol. 62, n. 3, 1971, pp. 328-338, DOI:10.1086/350763

- James L. Marshall, Beta Eta 1971, and *and Iodine*, Department of Chemistry, University of North Texas, Denton, TX 76203-5070.

- https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc111240/m2/1/high_res_d/

- http://www.salute.gov.it/imgs/C_17_opuscoliPoster_18_ulterioriallegati_ulterioriallegato_2_alleg.pdf

- <http://www.fondazionemicheletti.it/nebbia/courtois-la-scoperta-dello-iodio/>

- <http://www.chimica.unibo.it/it/risorse/files/elementi/i>

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

AREA 15 – Scienze teologico–religiose

Il catalogo delle pubblicazioni di Aracne editrice è su

www.aracneeditrice.it

Finito di stampare nel mese di dicembre del 2019
dalla tipografia «The Factory S.r.l.»
00156 Roma – via Tiburtina, 912
per conto della «Giacchino Onorati editore S.r.l. – unipersonale» di Canterano (RM)