



Società Chimica Italiana

La Chimica nella Scuola



Indice

- 5 Editoriale
Biodiversità – Giornata Mondiale
Luigi Campanella
- 7 Jan Baptist van Helmont
Pasquale Fetto
- 13 Scuola Secondaria Superiore (Biennio-Triennio)
Polare o non polare, questo è il dilemma...
Giuseppe d'Angelo
- 25 Un semplice metodo per introdurre il concetto di
elettronegatività nel corso di Chimica generale
Giuliano Moretti
- 39 *Cape thura libens* (Accetta benevolo l'incenso)
Maura Andreoni, Pasquale Fetto
- 53 Storia e Filosofia della Scienza: due ancelle
della didattica delle discipline scientifiche
Giovanni Villani
- 57 Le dodici pietre: il Topazio
Pasquale Fetto
- 74 SPAISS Catania 2017 – XI Edizione
Scienza inForma la Forma nella Scienza

La Biodiversità – Giornata Mondiale

Il 22 maggio è stata celebrata la giornata mondiale della Biodiversità indetta dalle Nazioni Unite. Secondo biologi e naturalisti la specie umana potrebbe rappresentare per animali e vegetali ciò che un asteroide fu per i dinosauri 65 milioni di anni fa.

La scelta dell'Onu quest'anno è caduta sull'ecosistema delle isole, in particolar modo le più piccole, in cui vive circa un decimo della popolazione mondiale.

Le isole sono un'importante cartina al tornasole della biodiversità. E lo confermano le indagini della cosiddetta Lista rossa delle specie in pericolo, che proprio quest'anno compie 50 anni, in base alle quali il 90% degli uccelli e il 75% delle specie animali che si sono estinte a partire dal 17esimo secolo vivevano in habitat insulari.

Il biologo di Harvard Edward Owen Wilson più di un decennio fa ha quantificato in 30mila specie l'anno la perdita di biodiversità terrestre, e sintetizzato il peso dell'uomo sulla diversità biologica coniato un curioso acronimo, "HIPPO". Parola in cui la "H" sta per "Habitat loss", cioè la perdita di ambiente naturale in favore di coltivazioni e insediamenti umani; la "I" per "invasive species", le specie aliene introdotte dall'uomo in ecosistemi diversi da quelli d'origine, che proliferano in maniera incontrollata fino a sterminare quelle indigene: le due "P" per "Pollution", l'inquinamento antropico e "Population".

"L'incremento e la diffusione delle aree urbane e delle relative infrastrutture – aggiungono gli esperti della Convenzione Onu sulla biodiversità – ha determinato un aumento dei trasporti e del consumo energetico, con la conseguente crescita delle emissioni di gas serra e inquinanti atmosferici. Inoltre – sottolineano gli studiosi di biodiversità – la trasformazione dei terreni da naturali, come le foreste, ad altre destinazioni d'uso semi-naturali come le coltivazioni, o artificiali come le infrastrutture, non solo sta provocando la permanente, e in molti casi irreversibile, perdita di suolo fertile, ma ha anche altri effetti negativi, come l'alterazione degli equilibri idrogeologici.

Secondo l'ultimo report dell'Ispra, l'Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale la crisi non sembra aver affatto frenato il consumo di suolo nel nostro Paese. Il fenomeno è in aumento, al ritmo di 8 m² al secondo. Negli ultimi tre anni sono stati divorati di 720 km², un'area grande come cinque capoluoghi di regione. Milano, Firenze, Bologna, Napoli e Palermo, perdendo così la capacità di trattenere 270 milioni di tonnellate d'acqua. La cementificazione – si legge inoltre nel rapporto – ha comportato tra il 2009 e il 2012 l'immissione in atmosfera di 21 milioni di tonnellate di CO₂, valore pari a 4 milioni di utilitarie in più, l'11% dei veicoli circolanti nel 2012.

Eppure il nostro Paese parte da una condizione di privilegio – L'Italia – sottolineano gli esperti Onu sulla biodiversità – grazie alla sua varietà geografica che comprende regioni alpine, continentali e mediterranee, e alle sue coste che si estendono per 7400 km, è un Paese estremamente ricco in biodiversità.

La vita ha capacità di recupero incredibili e si è sempre ripresa, anche se dopo lunghi intervalli di tempo, in seguito a spasmi di estinzione importanti – afferma Niles Eldredge, paleontologo dell'American museum of natural history di New York, in un'enciclopedia integrata della biodiversità, dell'ecologia e dell'evoluzione, dal titolo "La Vita sulla Terra". Ma questa ripresa è sempre avvenuta solo dopo la scomparsa di ciò che aveva provocato l'estinzione. E poiché nel caso della sesta estinzione la causa siamo noi, l'Homo sapiens questo significherebbe la nostra scomparsa. A meno che – auspica lo studioso americano – non scegliamo di modificare i nostri comportamenti nei confronti dell'ecosistema globale".

Dalla Copertina

Il *Cháos* di J. B. van Helmont

“...ho chiamato gas quell'alito, non troppo dissimile al *cháos* dei greci”

J. B. van Helmont

Bruxelles 1579

Vilvoorde 1644

di Pasquale Fetto



J. B. van Helmont

Il termine greco antico *Xáος*, *Cháos* viene reso come "Spazio aperto", "Voragine"; nella sua etimologia: "fenditura, burrone", simbolicamente "abisso" in cui sono "tenebre e oscurità". In seguito "metaforicamente" indicò la massa primitiva della materia, confusa e informe da cui si generò l'universo e da qui la connotazione di confusione e disordine".

Sembra che il termine coniato da van Helmont derivasse, secondo Leo Karl Heinrich Meyer¹, dalla trascrizione della pronuncia della parola greca (*Xáος*) che lui fece diventare *geist*.

Gustav Weigand² e Max Scheler³ fecero risalire l'origine etimologica al tedesco *gascht* (fermentazione): quindi, secondo loro, sarebbe stata inizialmente usata van Helmont per indicare la fermentazione vinosa.

Prescindendo dall'etimologia, si sa per certo che van Helmont nel 1642 fu il primo a ipotizzare l'esistenza di sostanze distinte nell'aria che chiamò "geist" nei suoi saggi pubblicati dal figlio Mercurio. Pochi anni dopo Robert Boyle (1627 - 1691) enunciò che l'aria era costituita da particelle indivisibili e da vuoto e solo dopo anni le affermazioni di Boyle e van Helmont si dimostreranno vere.

1. Leo Karl Heinrich Meyer, filologo tedesco (1830-1910).

2. Gustav Weigand, linguista tedesco specialista in lingue balcaniche (1860-1930).

3. Max Scheler, filosofo tedesco (1874 -1928).

Jan Baptist van Helmont nacque a Bruxelles il 12 gennaio 1579, intraprese il suo percorso scolastico presso l'Università Cattolica di Lovanio. Non avendo chiara la scelta del corso di laurea da intraprendere dopo aver seguito le lezioni di varie discipline, senza trovare soddisfazione, rivolse il suo interesse verso la medicina.

Interruppe gli studi per alcuni anni dedicandosi ai viaggi in alcune Nazioni europee dalla Svizzera all'Italia alla Francia per finire in Germania e Inghilterra.

Riprese gli studi al suo ritorno nelle Fiandre laureandosi in medicina nel 1599. Svolse il suo praticantato ad Anversa durante la peste del 1605. Nel 1609 divenne dottore in medicina.

Fu così che nei primi anni del XVII secolo comparve sulla scena scientifica europea Jan Baptist van Helmont che svolse la sua attività negli anni successivi a Paracelso e alla Iatrochimica (chimica medica).

Fu considerato il fondatore della chimica pneumatica; era un uomo del suo tempo che aveva accettato le idee di *generazione spontanea*⁴, *la trasmutazione*⁵ *dei metalli*, e *l'esistenza di una panacea medica* (medicina universale). Tuttavia aveva insistito sul fatto che la conoscenza del mondo naturale si sarebbe potuta ottenere solo con la sperimentazione. Iniziarono in Europa le prime sperimentazioni a sostegno della teoria della generazione spontanea.

In molti dei suoi trattati van Helmont, per accreditare le proprie opinioni, contesta sia quelle derivanti da luoghi comuni che le prove sperimentali. Capì che la materia non può essere né creata né distrutta.

Si ricorda il suo esperimento durato 5 anni e la sua introduzione alla parola gas (derivante a suo parere dalla parola greca chaos).

*Avevo preso un vaso di terracotta. Vi avevo posto 200 libbre (90 kg) di terra, seccata in un forno, di seguito annaffiata, e vi avevo piantato una piantina di salice del peso di 5 libbre (2,2 kg). Cinque anni più tardi, l'albero ottenuto da questa piantina pesava 169 libbre e 3 once (77 kg). Ma il vaso era stato costantemente inumidito unicamente con della pioggia o, se necessario, con acqua distillata ... Non ho rilevato il peso delle foglie cadute nel corso dei quattro autunni. Alla fine, seccai nuovamente la terra del vaso e rilevai che pesava 200 libbre meno 2 once (90 kg - 57 g): 169 libbre di legno, corteccia e radici erano dunque state prodotte unicamente dall'acqua.*⁶

Nelle conclusioni, come da lui stesso dichiarato, non considerò il peso delle foglie cadute. Van Helmont non sapeva nulla del processo fotosintetico

4. Generazione spontanea: processo ipotetico attraverso il quale gli organismi viventi si sviluppano dalla materia non vivente.

5. Trasmutazione: conversione di un elemento chimico in un altro.

6. I valori in grammi e chilogrammi sono approssimati.

in cui il carbonio dall'aria e minerali dal terreno vengono utilizzati per generare nuovi tessuti vegetali. Importante fu l'uso della bilancia in quanto affermava implicitamente che la massa di materiali dovevano essere contabilizzati nei processi chimici.

Nonostante alcuni esperimenti condotti da Van Helmont, a sostegno della teoria della generazione spontanea, non furono trattati nel modo giusto, indicarono che la strada giusta, era quella della verifica sperimentale delle idee.⁷

Van Helmont fu il primo a capire che l'aria atmosferica è un insieme di gas distinti.

Il gas, per Van Helmont, è l'antitesi della materia vuota: *...è quella materia volatile che contiene, o rappresenta, la vera essenza di un oggetto. La vera (essenziale) natura dei corpi solidi è mimetizzata dal loro vestimento, dalle loro "maschere". Quando queste vengono rimosse dal fuoco del chimico o dalla fermentazione naturale, il gas sprigionato è altamente specifico, il vettore materiale o acquoso della specificità di un oggetto*".

Rivendicò l'invenzione della stessa parola *gas* e grazie a lui avvenne l'introduzione nel "vocabolario" degli scienziati.

Inoltre Van Helmont afferma che tutti i corpi solidi possono essere convertiti in gas, quindi esso non è nel corpo: è invece il corpo in una differente condizione.

Con la parola *gas* chiamò una serie di gas, tra cui il diossido di carbonio. Il comportamento del diossido di carbonio fu descritto per la prima volta da van Helmont nel 1638. Riuscì a dimostrare l'esistenza di una sostanza simile all'aria che veniva prodotta da varie fonti. Si rese conto che il *gas silvestre* (diossido di carbonio), che otteneva bruciando carbone, era lo stesso prodotto proveniente dalla fermentazione del mosto che a volte rendeva irrespirabile l'aria nelle cantine sotterranee. Lo stesso gas veniva prodotto dall'azione dell'acido sulle rocce calcaree.

Attraverso molti esperimenti in fisiologia, van Helmont dimostrò che l'*elemento* che favorisce la digestione nello stomaco è l'acido che viene successivamente neutralizzato con alcali nell'intestino. Studiò a lungo la formazione e la natura dei calcoli renali.

La sua teoria dei "*fermenti*" come agenti portanti dei processi fisiologici preannunciava l'idea "*primitiva*" di enzimi.

Per van Helmont va rigettata, in quanto materialistica, l'idea della filosofia naturalistica di Aristotele dominata dai contrari e dal ruolo ad essi attribuito come la prima causa di tutti i cambiamenti, di tutti i movimenti e del progresso.

7. <http://www.minerva.unito.it/SIS/OrigineVita/originiSTORIA%20.htm>.

Ciò che muove la natura sono le *forze spirituali*, e l'antico materialismo ha avuto le sue peggiori ripercussioni nella medicina dove tutto era giudicato in termini di contrari.

La malattia era considerata contraria alla salute, così come il caldo contrario del freddo, il fuoco contrario dell'acqua. La medicina non era governata dalla natura bensì dalla matematica. Anche i farmaci erano somministrati secondo una quantità logico-aritmetica.

Van Helmont, utilizzò la bilancia analitica (Nota 1) in un importante esperimento volto a dimostrare che una ben precisa quantità di sabbia (silice) poteva essere fusa con un eccesso di alcali formando vetro solubile e che questa sostanza, trattata con acidi, avrebbe rigenerato la sabbia nell'esatta quantità iniziale.

In un altro esperimento, dimostrò, contrariamente alle opinioni di molti alchimisti, che un metallo non si distrugge se si scioglie in acido. Pesò l'argento, lo sciolse in acido e poi recuperò tutto l'argento solubilizzato facendo reagire la soluzione con rame. Egli dimostrò, usando il ferro per recuperare il rame, che lo spostamento di un metallo dal suo sale utilizzando un secondo metallo non era dovuto alla trasmutazione, come molti avevano creduto.

Anche se con tendenze ascetiche e credente nella pietra filosofale, era un attento osservatore e un buon sperimentatore. Van Helmont può essere visto come rappresentante del sincretismo alchemico e chimico (Nota 2).

Van Helmont fu un uomo pieno di contraddizioni

Era un mistico e un alchimista che non ebbe timore a disprezzare e ripudiare gli errori di Paracelso, di cui era discepolo, come pure quelli della maggior parte delle autorità contemporanee. Respinse le idee dei quattro elementi (terra, aria, acqua e fuoco) di Aristotele e dei tre principi (sale, mercurio e zolfo) di Paracelso (come ricevute da alchimisti arabi). Nonostante ciò fu colpito e forse affascinato dalla novità del metodo scientifico basato sull'osservazione sperimentale, introdotto da scienziati come William Harvey, Galilei e Bacone.

Per lui, gli unici elementi veri erano l'aria e l'acqua, e ha dimostrato che questi non erano intercambiabili, come qualche pensiero.

Fu il chimico inglese James R. Partington che diede il miglior giudizio sul lavoro di van Helmont: "*van Helmont rappresenta il passaggio dall'alchimia alla chimica, ed è un degno predecessore di Boyle.*"

Nota 1

A partire dall'alto Medio Evo, le tecniche di pesata furono utilizzate non soltanto in campo analitico, ma anche come strumenti per l'indagine sperimentale della Natura.

La bilancia cominciò ad essere usata sistematicamente dai chimici alla fine del XV secolo. Le bilance avevano un'accuratezza fino a circa 0,3 mg; quelle analitiche erano racchiuse in custodie di vetro, dipinte in verde per far riposare l'occhio dell'analista, affaticato dalla lunga permanenza davanti al fuoco della fornace. L'accuratezza della bilancia era controllata pesando lo stesso oggetto su due piatti differenti, i pesi erano calibrati per paragone con gli standard. Nel XVII secolo esistevano due tipi di bilance: quelle a bracci uguali spesso fragile e di debole portata e la romana a bracci diversi più robusta ma poco precisa.

(Roberto Zingales. Storia della chimica 2007, pp. 42-43).

http://www.uop-perg.unipa.it/master_sito/materiali_storia/02%20-%20Misure%20e%20Strumenti.pdf

Nota 2

Sincretismo: questa parola deriva dal greco συγκρητισμός (*synkrētismós*), con il significato di "coalizione cretese". Indica il tentativo di sintesi filosofica tra concezioni inconciliabili fra loro. Il termine fu usato in tal senso per la prima volta da Brucker. Tuttavia la sua origine è antica, e risale a Plutarco, che con esso intendeva l'unione dei Cretesi, solitamente discordi, contro un nemico comune. Più che alla filosofia viene applicato alla storia delle religioni, in particolare quelle antiche, dove è diffusa la tendenza alla fusione di concezioni della divinità diverse tra loro (*teocrasia*). Nelle dispute filosofico-teologiche del XVI-XVII secolo, con sincretismo viene indicata l'unificazione armonica di dottrine divergenti (platonismo ed aristotelismo) oppure, in senso negativo, il risultato confuso dell'assimilazione di teorie opposte tra loro. Le grandi migrazioni agli inizi della storia umana provocarono le prime formazioni sincretistiche, riguardanti non soltanto le credenze religiose, ma anche le istituzioni politiche, la cultura, le tradizioni e la morale.

(<https://it.wikipedia.org/wiki/Sincretismo>)

Letture consigliate:

Gianni Fochi. *La chimica fa bene*. (2016) Firenze, Giunti Editore. Parte prima capitolo II La Chimica è bella.

Salvatore Califano. *Storia dell'alchimia. Misticismo ed esoterismo all'origine della chimica moderna*. (2016) Firenze University Press.

Polare o non polare, questo è il dilemma...

Giuseppe D'Angelo

Lecco scientifico "Leonardo" Giarre (Catania)

e-mail: sitdang@teletu.it

Riassunto

Far comprendere chiaramente il concetto di polare/apolare a degli studenti che si avvicinano con interesse allo studio della Chimica è un passo formativo indispensabile. A tal fine sei veloci esperienze di laboratorio permettono di presentare in modo semplice agli alunni di un triennio delle Superiori i differenti aspetti di tale problematica. Le esperienze proposte permettono dunque di chiarire perché "il simile scioglie il simile" e come mai una sostanza apolare possa esercitare delle consistenti forze attrattive su ciò che è apolare.

Abstract

To make clearly understand the polar/a-polar notion to students who approach the study of chemistry is an essential formative step. For this purpose six fast laboratory experiments let the teacher show in an easy way the different aspects of such subject to the students attending the last three years of High School. The experiments I suggest allow us to explain the reason why "the similar dissolves the similar" and how it's possible that an a-polar chemical compound can exert strong attractive forces upon another a-polar compound.

Introduzione

Tra i primi concetti che devono essere chiariti nell'insegnamento delle Scienze Naturali rientra senza dubbio quello di polarità delle molecole. Ecco che libri di testo ed insegnanti iniziano a spiegare il comportamento fisico – chimico delle varie sostanze distinguendole innanzitutto in polari e apolari e quindi facendo passare la corretta relazione che "il simile scioglie il simile". Quindi le sostanze polari si sciolgono in quelle polari e quelle apolari nelle apolari. In seguito quando si affronta in Chimica lo studio dei legami deboli si chiarisce che le molecole costituite da atomi di differente elettronegatività presentano legami polari e che se la risultante di questi dipoli non è nulla tali molecole possono essere definite complessivamente "polari" come nel caso dell'acqua H_2O , dell'acido cloridrico HCl , ecc. Nel caso invece di risultante nulla le molecole vengono definite complessivamente "apolari" come l'anidride carbonica CO_2 , l'ossigeno O_2 , gli idrocarburi in genere come il

metano CH₄, ecc. Non sempre tuttavia risulta chiara una visione d'insieme di questi aspetti concettuali. Così è difficile far comprendere perché la capillarità si verifica anche nel caso della presenza di sostanze perfettamente apolari come gli idrocarburi, oppure far capire il perché della differente miscibilità tra sostanze considerate generalmente polari come nel caso delle soluzioni acquose di differenti tipi di alcool. Ancora più difficile è far capire perché l'emulsione tra acqua e esano (o altro equivalente idrocarburo) è molto meno stabile di quella realizzata tra acqua e olio vegetale o olio minerale. Si tratterebbe infatti, in questi casi, di sostanze ritenute apolari miscelate con il capostipite dei composti polari che è l'acqua. È evidente che per la comprensione ottimale di questi "bizzarri" comportamenti delle sostanze è necessario far comprendere meglio l'importante ruolo che svolgono i legami idrofobici che, in modo complementare alle interazioni polari forti, rendono chiari tutti i processi fisico – chimici osservati. È facile ad esempio per uno studente, alle prime armi nello studio della Chimica, cadere nell'equivoco che solo una sostanza polare presenti la possibilità di attrarre ed essere attratta da un'altra sostanza simile e che una sostanza definita apolare non possa invece esserlo. Lo scopo di questo breve lavoro vuole essere quello di proporre delle semplici esperienze didattiche che possano far capire meglio ai nostri alunni il rapporto tra "polare" e "apolare".

Legame idrofobico

È bene ricordare cosa dobbiamo intendere per legami idrofobici. Il concetto è molto importante perché è una realtà estremamente diffusa nel mondo della Chimica e della Biologia. L'effetto idrofobico è la forza fondamentale, dovuta all'idrofobia, che guida l'organizzazione strutturale di tutte le macromolecole biologiche (proteine, acidi nucleici, membrane, ecc.) in soluzione acquosa. Le macromolecole presentano sempre un nucleo idrofobico che è la parte apolare più interna. Nelle proteine globulari, ad esempio, esso è costituito da amminoacidi apolari o idrofobici che hanno poca attitudine ad interagire con l'acqua ma piuttosto con altri amminoacidi simili mediante interazioni deboli (es. forze di Van der Waals). Queste forze insieme ai legami idrogeno ed alle interazioni elettrostatiche¹ contribuiscono a stabilizzare tutto il globulo proteico. Analogamente alle proteine qualsiasi molecola può manifestare interazioni di Van der Waals o sotto l'aspetto di forze di Keesom (interazioni dipolo - dipolo) o sotto forma di forze di Debye (interazioni dipolo – dipolo indotto) od infine come forze di London (interazioni dipolo istantaneo – dipolo istantaneo). Queste forze sono tali da far interagire ad esempio una data molecola organica, tramite le sue parti polari e apolari, con altre tipologie di molecole, anche piuttosto differenti dal punto di vista della polarità. La propensione media complessiva per l'ambiente po-

lare o apolare dipenderà pertanto dalla relativa preponderanza nella struttura molecolare della componente polare rispetto a quella apolare. La miscibilità con acqua degli alcoli può far comprendere meglio i motivi. Come è noto la solubilità degli alcoli in acqua decresce con il crescere delle dimensioni molecolari. Così ad esempio mentre metanolo, etanolo e 1-propanolo sono completamente miscibili in acqua (anche se con qualche differenza osservabile tra essi), l'1-butanolo presenta già una solubilità di soli 7,9 g/100 g d'acqua a 20 °C. L'1-pentanolo solo 2,7 g e l'1-esanolo appena 0,59 g. È evidente che la presenza del gruppo –OH non basta a garantire la piena solubilità. In questi casi intervengono i legami idrofobici che fanno in modo che la parte apolare della molecola organica dell'alcool tenda a rimanere legata con la parte apolare delle altre bilanciando il richiamo polare tra i gruppi ossidrilici dell'alcool e dell'acqua. Come dire il "simile scioglie il simile" e i "diversi" tendono a restare separati. Se si guarda allo scheletro di carbonio della molecola dei vari tipi di alcoli si potrà osservare l'esistenza di deboli dipoli in ciascun legame C – H dove una parziale carica positiva si manifesta sull'idrogeno ed una parziale carica negativa sul carbonio. Così in questa parte la molecola pur non avendo un momento dipolare complessivo risultante per il quale possa ritenersi polare ha pur sempre la possibilità di formare delle interazioni idrofobiche con le rispettive parti apolari di altre molecole. L'idrogeno parzialmente positivo di una molecola attira dunque debolmente il carbonio parzialmente negativo di un'altra molecola ed allo stesso modo ne viene attratto. Più sono i punti di interazione debole lungo la catena di atomi di carbonio (e quindi più lunga e complessa è la molecola medesima) maggiore sarà l'interazione idrofobica nel suo complesso e maggiormente essa controbilancerà le interazioni delle parti polari fino a rendere queste ultime del tutto insufficienti a garantire una buona solubilità. È anche opportuno chiarire perché il simile scioglie il simile e non il dissimile. È importante che tutto dipende dall'entità degli scambi energetici che si verificano quando due sostanze vengono miscelate. Una interazione idrofobica rispetto ad un legame idrogeno è molto differente

1. Le interazioni elettrostatiche comprendono sia le forze attrattive che le repulsive associate all'accumulo di carica in una molecola. Sono generalmente troppo deboli per essere considerate tradizionali legami o sono impossibilitate a formarne uno, probabilmente a causa di un effetto sterico. Solitamente si definisce lo stato di legame quando due atomi sono più vicini della somma dei loro raggi di Van der Waals. Il legame idrogeno si trova al confine tra un vero e proprio "legame" ed un'interazione elettrostatica. Un'interazione elettrostatica è considerata un "legame" se diventa troppo forte; un'interazione repulsiva è sempre un effetto elettrostatico indipendentemente dalla sua forza. Un esempio di azione di un effetto repulsivo è in una molecola che "si contorce" per ridurre al minimo le interazioni coulombiane di atomi che hanno cariche dello stesso segno.

sotto questo punto di vista. È importante tenere conto dei ΔG di reazione per i due tipi di legame. Il ΔG di un legame idrogeno è significativamente maggiore di quello di un legame idrofobico. È evidente che in un sistema chimico – fisico in cui è possibile realizzare entrambe le reazioni i gruppi polari interagiranno tra loro e i le parti apolari tra loro perché in tal modo il ΔG complessivo assumerà valore massimo e il sistema sarà meglio stabilizzato.

Le attività sperimentali

Differenti sono le attività che possono essere presentate agli alunni di un biennio di Liceo per osservare il comportamento polare/apolare di numerose sostanze. Si elencano di seguito alcune tra le più semplici:

1. Prove di miscibilità acqua/alcoli
2. Prove di compatibilità polare/apolare
3. Prove di miscibilità polare/ apolare
4. Prove di conducibilità elettrica
5. Prove di interazione elettrostatica
6. Prove di capillarità

È evidente che si tratta di un ridotto campionario di esempi. Tuttavia sufficienti a far capire l'importanza di tutti i tipi di legami deboli esistenti in natura e la formale differenza che passa tra polare e apolare. Proverò adesso a descrivere sinteticamente le singole brevi esperienze sopra elencate che richiedono, peraltro, materiali normalmente disponibili in un laboratorio scolastico o facilmente reperibili.

Prove di miscibilità acqua-alcoli

Disponendo di almeno due o tre differenti tipi di alcool è possibile confrontare la miscibilità degli stessi con l'acqua. Si tratta di un'esperienza semplicissima. In un becher da 50 mL si pongano un paio di pipettate (pipetta Pasteur da 3 mL) di alcool etilico. Si ripeta quanto fatto con l'alcool etilico anche con propanolo e butanolo. In tutti e tre i becher si aggiunga poi una puntina di rosso metile (poco affine all'acqua). Quindi in tre provette si ponga una pipettata di acqua distillata in ciascuna di esse. Poi si aggiunga lentamente una pipettata di alcool prelevata dal rispettivo becher. Così ad esempio nella prima alcool etilico, nella seconda alcool n-propilico, nella terza alcool n-butilico. Si potrà osservare così che inizialmente tutti gli alcoli si dispongono sopra l'acqua restandone separati per via della differente densità. Tuttavia l'alcool etilico si mescolerà parzialmente all'acqua già al momento del deposito in provetta come dimostra la parziale colorazione dell'acqua presente. L'alcool propilico invece resterà più facilmente separato dall'acqua al momento del travaso. In modo analogo l'alcool butilico. Si provi poi a scuotere debolmente le provette. La provetta con alcool etilico si

colorerà piuttosto uniformemente perché alcool e acqua riescono già a miscelarsi quasi completamente. Nella provetta contenente la soluzione di alcool propilico si noterà che parte dell'acqua è ancora rimasta sul fondo della provetta ed è pressoché incolore. Il fenomeno è ancora più evidente nella provetta con alcool butilico. Se poi si agitano meglio le tre provette si potrà osservare che solo in quella contenente alcool butilico si osserverà ancora una certa separazione tra acqua e alcool. L'esperienza mostra l'importanza crescente che hanno i legami idrofobici tra le parti apolari delle molecole di alcool nel determinare il grado di solubilità degli stessi nell'acqua.

Prove di compatibilità polare-apolare

L'alcool etilico è perfettamente miscibile con l'acqua? Certo è miscibile in tutte le proporzioni, ma con l'acqua ingaggia una lotta...

Con un piattino di plastica da picnic è possibile osservare il differente comportamento di acqua e alcool con le sostanze apolari e tra di loro. Ad esempio se si versa con una pipetta qualche mL di acqua su un piatto da picnic (non usato) si può osservare come questa tenda a formare una sorta di bolla appiattita a causa della sua scarsa affinità con il materiale plastico perfettamente apolare. Se poi si versa un po' di alcool etilico sullo stesso piatto ponendolo a fianco e ad una certa distanza dalla "bolla" d'acqua si potrà osservare un comportamento notevolmente differente. Per prima cosa l'alcool si espande rapidamente aderendo alla superficie del piatto che viene perfettamente bagnato. Inoltre giunto a contatto con l'acqua si può osservare un curioso "frizzare" dei due liquidi lungo la zona di contatto e l'alcool farsi strada in mezzo all'acqua. Si istaura una sorta di "lotta" tra acqua e alcool che dura pochissimi secondi. Il comportamento osservato va interpretato alla luce della differente natura delle due sostanze. In effetti sebbene acqua e alcool siano sostanze comunemente definite polari in verità l'alcool etilico presenta uno scheletro molecolare apolare (la parte idrocarburica della molecola CH_3CH_2-) ciò lo rende affine al polietilene del piatto da picnic (tipicamente apolare). Tale affinità permette all'alcool di bagnare la superficie in plastica. Inoltre al contatto con l'acqua le forze idrofobiche si oppongono alla separazione delle molecole stesse dell'alcool operata dai legami idrogeno tra i gruppi OH di acqua e alcool. Questa breve "lotta" tra forze opposte si può osservare guardando in controluce la superficie del piatto di plastica. Si vedrà un movimento dei due liquidi come se ci fosse un ribollire degli stessi.

Prove di miscibilità polare-apolare

Non tutte le sostanze apolari sono ugualmente apolari. Polare e apolare possono anche convivere. Una facile verifica di ciò può essere fatta mesco-

lando acqua con differenti sostanze definite apolari. Ad esempio si può procedere nel seguente modo. Porre una pipettata d'acqua in differenti provette. Aggiungere poi alla prima una pipettata di olio vegetale. Alla seconda una pipettata di esano (o altro idrocarburo). Ad una terza una pipettata di olio minerale per motori. Ad una quarta una pipettata di olio di vasellina. Dopo aver tappato con un dito agitare energicamente ciascuna provetta per qualche secondo. Quindi riporle nel relativo portaprovette. Sarà possibile osservare che il miscuglio acqua/olio vegetale come quello acqua/olio minerale formeranno una emulsione che si separerà molto lentamente. Invece il miscuglio acqua/esano si separerà molto più velocemente dei primi due. Anche il miscuglio acqua/olio di vasellina si separerà piuttosto velocemente. Come spiegare la differente velocità di separazione dei diversi miscugli? Nel caso del miscuglio acqua/esano è molto evidente che le forze dei legami idrofobici giocano un ruolo chiaro ed essenziale. Polare con polare e apolare con apolare. Similmente si può dire per il miscuglio acqua/olio di vasellina in quanto quest'ultimo è costituito da idrocarburi saturi composti di solito da almeno 25 atomi di carbonio. Per quanto riguarda invece le emulsioni acqua/olio vegetale e acqua/olio minerale è necessario chiarire che non si tratta solo di una miscela di trigliceridi nel primo caso o di idrocarburi a lunga catena nel secondo. Infatti l'olio vegetale è una miscela di sostanze differenti. Oltre i trigliceridi che rappresentano la componente maggiore troviamo numerose altre molecole, a volte piuttosto voluminose, che presentano caratteristiche polari come ad esempio: Oleuropeina, Rutina, Clorofilla alfa, Luteolina, Cicloartenolo, Beta-sitosterolo, ecc. La radice apolare di tali molecole instaura legami idrofobici con i trigliceridi; i gruppi idrofili (principalmente gruppi ossidrilici, eteri e carbonilici) instaurano invece ponti idrogeno con l'acqua. Quest'ultima in parte rimane intrappolata sotto forma di minuscole goccioline nell'intreccio macromolecolare apolare². Analoghe considerazioni possono essere fatte per l'emulsione acqua/olio minerale. Infatti anche l'olio minerale presenta numerose componenti polari disciolte in esso. Le componenti polari si trovano tra gli additivi che di solito sono aggiunti alla base idrocarburica paraffinica. Tra i vari additivi si ricordano: Modificatori di Viscosità, Miglioratori del Punto di Scorrimento, Antischiuma, Antiusura, Detergenti, Disperdenti, Anticorrosivi, Antiossidanti, ecc. Tra i detergenti si ricordano i Solfonati, Solfofenati e Salicilati. Tra i disperdenti si ricordano i Succinimidi e Succinesteri e le basi di Mannich. Tra gli anti usura si ricordano i Ditiofosfati, i Solforizzati, i composti Zolfo – Fosforo. Tra gli antiossidanti ricordiamo infine le Ammine aromatiche e i Fenoli. È evidente

2. Confronta con: CnS-La Chimica nella Scuola "Polarità dell'olio vegetale" nel volume 4, anno 2015 ISBN 978-88-548-9070-1.

come la presenza di tutte queste componenti polari possa permettere una certa “convivenza” tra acqua e olio minerale e quindi la creazione di una emulsione.

Prove di conducibilità elettrica

Le sostanze polari conducono la corrente e le sostanze apolari no? È sufficiente per condurre la corrente elettrica che la molecola sia polare? Per rispondere a queste semplici domande è possibile fare delle veloci verifiche con alcune sostanze di riferimento. Utilizzando alcuni becher si ponga in ciascuno di essi una piccola quantità delle seguenti sostanze:

POLARE	NON POLARE
Acqua distillata	esano
Alcool etilico	benzina
sale da cucina	olio di vasellina

Con l'aiuto di un Tester da elettricisti si verifichi il passaggio di corrente in ciascuna delle sostanze indicate immergendo gli elettrodi nei rispettivi becher. Le prove fatte con le sostanze polari lasceranno un po' delusi i nostri allievi in quanto non si osserverà alcun passaggio di corrente nel sale allo stato solido, mentre l'indice dello strumento si muoverà pochissimo nel caso dell'alcool etilico e un po' di più nell'acqua distillata. Perché questi risultati? Se poi si scioglie anche un solo granellino di sale nel becher con acqua distillata si osserverà che la conducibilità della soluzione aumenta moltissimo. È evidente quindi che la conducibilità ha a che fare più che altro con la presenza di cariche libere in soluzione più che con la polarità delle molecole. Il sale posto in acqua si scioglie passando dallo stato solido a quello liquido dissociandosi in ioni Na^+ e Cl^- . Sono gli ioni Na^+ e Cl^- che chiudendo il circuito elettrico nell'acqua permettono il passaggio di corrente evidenziato dallo strumento. Analogamente la debole dissociazione ionica dell'acqua (in ioni H^+ e OH^-) garantisce il tenue flusso di cariche in grado di chiudere il circuito e far muovere l'indice dello strumento. La già debolissima tendenza a dissociarsi del gruppo ossidrilico dell'alcool etilico associata alla resistenza al flusso ionico offerto dalla parte apolare della molecola stessa danno ragione della pressoché nulla conducibilità elettrica della sostanza. Risulta superfluo spiegare a questo punto che l'assenza di conducibilità elettrica in esano, benzina e olio di vasellina è dovuta all'assenza in soluzione di ioni di qualsiasi tipo. Insomma per condurre la corrente le cariche devono essere libere di muoversi tra i due poli e non basta che esse siano separate parzialmente (acqua, alcool) o totalmente (sale) all'interno dei composti.

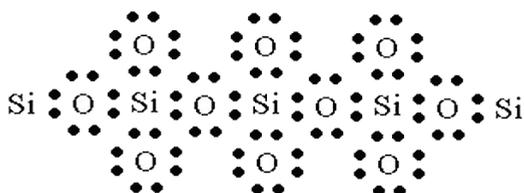
Prove di interazione elettrostatica

Una molecola polare risente della presenza di un campo elettrico venendone attratta. Ciò può essere facilmente dimostrato. Utilizzando una comune buretta per titolazioni acidimetriche è possibile testare il comportamento elettrostatico di differenti sostanze. A tale scopo è sufficiente procurarsi una bacchetta di vetro o di plastica o di plexiglass ed un panno di lana o pile. Si possono testare liquidi come l'acqua, l'alcool, la benzina, l'esano, l'olio vegetale, l'olio minerale, ecc. Riempita una buretta con una data sostanza e posto un becher sotto per la raccolta del liquido in caduta si strofina la bacchetta nel panno e, una volta elettrizzata, la si avvicini al filo di liquido che fuoriesce dalla buretta una volta aperto il rubinetto. Gli effetti prodotti sbalordiscono spesso i nostri ragazzi. È così possibile osservare come ad esempio con benzina ed esano non si ottiene alcuna deviazione del filo di liquido uscente al contrario di acqua e alcool in cui il filo di liquido viene decisamente deviato dalla direzione perpendicolare. Ma la cosa che sbalordisce di più è il constatare che anche l'olio vegetale viene deviato pariteticamente se non di più dell'acqua! In effetti trattandosi di un trigliceride si è propensi a credere che non sia polare e quindi non possa essere attratto da un campo elettrico. Tuttavia come già spiegato, a causa della presenza di molte molecole polari, il suo comportamento, dal punto di vista elettrostatico, fa sì che possa essere associato ai composti polari. Infatti l'essere attratto dal campo elettrico generato dalla bacchetta denota un comportamento polare. Tuttavia ciò dipende non dal fatto che i trigliceridi veri e propri possano essere attratti dal campo generato dalla bacchetta ma dal fatto che essi istaurano dei legami idrofobici con lo scheletro idrocarburico delle molecole polari presenti nell'olio insieme ai trigliceridi. In tal modo l'attrazione della componente polare determina anche il trascinarsi di quella apolare con conseguente deviazione del filo di liquido uscente dalla buretta. Analoga esperienza si può fare utilizzando olio minerale (olio motore). In questo caso l'eccessiva viscosità dell'olio può rendere difficile l'uscita dell'olio dalla buretta per cui anziché avere un flusso continuo si otterrà un gocciolamento. Ciò nonostante avvicinando anche una semplice penna a sfera elettrizzata, come precedentemente descritto, si potrà osservare che le gocce uscenti cambieranno traiettoria. Il fenomeno sarà particolarmente evidente se si avvicinerà la bacchetta elettrizzata all'olio gocciolante nella parte alta, vicino all'uscita dalla buretta. L'apparente contraddizione trova così facile spiegazione. L'esperienza è però importante perché fa riflettere ancora una volta su cosa è polare e su cosa non lo è.

Prove di capillarità

Ancora una volta si ripropone il dilemma su cosa può fare il polare e cosa l'apolare. In altre parole, può l'apolare attrarre ed essere attratto al punto da far risalire un liquido per capillarità? Utilizzando una pipetta Pasteur di vetro che simula un capillare e una striscetta di carta filtro con analoga finalità funzionale è possibile far comprendere i meccanismi della capillarità e rispondere alla domanda. Immergendo infatti due pipette Pasteur rispettivamente in due becher contenenti l'uno acqua e l'altro esano è possibile notare che i due liquidi risalgono per capillarità in entrambe le pipette. Analogamente si verifica se al posto delle pipette si pongono due strisce di carta filtro. Nel caso delle pipette si riscontra soltanto una leggera differenza di livello a favore della pipetta immersa nell'acqua. È evidente che, nel caso dell'acqua, le forze di adesione sospingono la stessa a risalire sulle pareti del capillare di vetro in quanto polare è l'acqua e polare è il vetro, vista la presenza dell'ossido di silicio presente in struttura tetraedrica ($[\text{SiO}_4]_n$). Ma come mai risale anche l'esano che è tipicamente apolare?

I vetri sono solidi amorfi, dunque non possiedono un reticolo cristallino ordinato, ma una struttura disordinata e rigida composta da atomi legati covalentemente; tale reticolo disordinato permette la presenza di interstizi in cui possono essere presenti impurezze, spesso desiderate, date da metalli. A comporre il vetro contribuiscono poi piccole percentuali di numerosi tipi di ossidi quali Na_2O , K_2O , CaO , B_2O_3 , Al_2O_3 . La presenza di tali sostanze accentua la polarità stessa del vetro. Il tetraedro silicico dà origine nel vetro a silicati complessi attraverso un processo di "polimerizzazione". Il meccanismo alla base di ciò sta nella saturazione degli "shell" elettronici degli atomi di ossigeno in modo da formare ottetti elettronici. La neutralizzazione può avvenire con ioni metallici oppure attraverso una connessione dei tetraedri via "ponti ad ossigeno".



Struttura reticolare del vetro con tetraedri connessi attraverso ponti ad ossigeno.

È ipotizzabile che la struttura tridimensionale di tali silicati complessi rappresenta anche una rete a maglie idrofobiche in quanto i legami polari $\text{Si} - \text{O}$ sono uniformemente distribuiti su tutta la struttura vetrosa così come avviene in un complesso macromolecolare con legami $\text{C} - \text{H}$. I dipoli $\text{Si} - \text{O}$

orientati in tutte le direzioni offrirebbero così numerosi punti per realizzare interazioni di Van der Waals uniformemente distribuiti. È anche ragionevole pensare che il dipolo Si – O riduca la sua polarità quando inserito in una struttura tetraedrica come $[\text{SiO}_4]$ congiunta con altre quattro strutture identiche rivolte in tutte le direzioni. Ciò a causa del fatto che l'attrazione delle coppie elettroniche del legame Si – O si realizza in direzioni pressoché opposte rispetto all'atomo del silicio posto in posizione centrale. Di conseguenza la rete tetraedrica acquista caratteristiche anche apolari. Pertanto si possono instaurare legami idrofobici tra tale rete tetraedrica e eventuali strutture molecolari di tipo idrocarburico. Se si avvicina la molecola dell'acqua ai tetraedri l'ossigeno di questi ultimi interagisce con l'idrogeno del gruppo OH e si instaura un legame polare (legame idrogeno). Quindi il vetro può essere bagnato sia da composti tipicamente polari come l'acqua e da composti tipicamente apolari come l'esano. Sembra poi che le interazioni polari siano complessivamente più forti di quelle idrofobiche a giudicare dalla leggera differenza di livello raggiunto nel capillare. Quindi potremmo dire che il vetro è più polare che apolare. Anche l'esperienza effettuata con la carta manifesta tale realtà risultando anche quest'ultima un'ottima matrice capillare sia per le sostanze polari che per quelle apolari. Anche la carta presenta infatti nel suo principale costituente che è la cellulosa sia componenti polari che componenti apolari. Pertanto in essa risalgono sia liquidi polari che apolari.

Conclusioni

Le esperienze suggerite sono molto semplici concettualmente, coinvolgono inoltre parecchio gli alunni alle prime armi con lo studio della Chimica e si prestano molto bene ad essere eseguite in un'ora di lezione anche più di una alla volta. Ritengo che far riflettere i ragazzi di un biennio sull'importanza delle forze intermolecolari sia cosa essenziale. È importante infatti far capire loro come ad esse siano dovute gran parte dei fenomeni fisici e biochimici del mondo che ci circonda di cui anche noi facciamo parte. Il presentare loro questa realtà con delle coinvolgenti attività sperimentali diventa un passo essenziale e propedeutico nella trasmissione dei Saperi scolastici. Non avrebbe ad esempio senso parlare di strutture secondaria, terziaria e quaternaria delle proteine senza comprendere il ruolo delle interazioni polari ed idrofobiche nel determinare le specifiche funzioni svolte dalle stesse. Tali interazioni infatti le rendono particolarmente versatili per svolgere funzioni essenziali quali scambi di membrana, riconoscimento di molecole, unione delle cellule tra loro, fusione di vescicole con la membrana cellulare, ecc. È importante insomma far capire che dietro quel gioco che fanno tutti i ragazzi di attrarre i pezzettini di carta dopo essersi strofinato la penna addosso si nasconde una realtà fisica di importanza davvero universale.

Bibliografia

https://it.wikipedia.org/wiki/Effetto_idrofobico

https://it.wikipedia.org/wiki/Forza_di_van_der_Waals

https://it.wikipedia.org/wiki/Forza_di_Debye

<http://www.periziebaffigi.com/files/articolooli.pdf>

J.D. Watson et Al. *Biologia molecolare del gene* – sesta edizione pag. 50-54

<https://it.wikipedia.org/wiki/Vetro>

http://www.antonio.licciulli.unisalento.it/didattica_2005/vetro.pdf

http://spazioinwind.libero.it/giovann_baldi/Capitolo%202/Capitolo%202.htm

https://it.wikipedia.org/wiki/Effetti_elettronici

H. Hart et Al. *Chimica Organica* settima edizione

Un semplice metodo per introdurre il concetto di elettronegatività nel corso di Chimica generale

Giuliano Moretti

Dipartimento di Chimica, Sapienza Università di Roma
Piazzale A. Moro, 5 00185 Roma
(giuliano.moretti@uniroma1.it)

Riassunto

Viene proposto un semplice metodo per introdurre il concetto di elettronegatività, uno dei concetti più importanti della chimica, nel primo corso di insegnamento della Chimica generale. Il metodo può essere utilizzato al primo anno-primo semestre di un corso universitario e, nelle sue linee principali, anche nella scuola secondaria superiore. Per gli atomi isolati vengono definite le grandezze elettronegatività assoluta di Mulliken e durezza assoluta mostrandone le proprietà periodiche. Il concetto di elettronegatività assoluta degli atomi ed il principio di equalizzazione dell'elettronegatività sono correlati alla struttura elettronica delle molecole, secondo le formule di struttura di Lewis, e alla geometria molecolare secondo il modello di Gillespie (VSEPR). I concetti di carica parziale, carica formale e di numero di ossidazione di un atomo in una molecola vengono introdotti su una base più razionale, facilitando la didattica della Chimica a tutti i livelli di insegnamento.

Abstract

Electronegativity is one of the most important concepts in chemistry. Here a simple way to introduce this concept for a General chemistry course is proposed, having in mind a university class along a semester of the first academic year. However, the background and the guidelines of this new approach can be useful also for science lessons in a high school. Mulliken's absolute electronegativity and absolute hardness of free atoms are introduced together with the principle of electronegativity equalization for the atoms in a molecule. These concepts are related to the electronic structure of molecules, according to the Lewis structure, as well as to the molecular geometry, according to the Gillespie's model (VSEPR). The concepts of partial charge, formal charge and oxidation number characterizing an atom in a molecule are presented on a more rational basis, aiming to make easier the teaching of chemistry for different levels and degrees of education.

Introduzione

L'elettronegatività rappresenta uno dei più importanti concetti della chimica. I chimici cercano di studiare la natura attraverso un approccio intuitivo, cioè una peculiare capacità di sintesi della complessità chimica. Il concetto di elettronegatività ben rappresenta l'approccio intuitivo dei chimici nello studio della struttura e della reattività delle molecole.

L'elettronegatività degli atomi (χ) è stata definita da Linus Pauling nel 1932. La scala delle elettronegatività atomiche di Pauling è basata sul confronto dell'energia del legame chimico tra due atomi A-B (D_{AB}) con le energie del legame chimico covalente tra atomi uguali A-A (D_{AA}) e B-B (D_{BB}) (energie di legame in kcalmol⁻¹):

$$\Delta = D_{AB} - (D_{AA} + D_{BB}) / 2$$

oppure, se risulta $(D_{AA} + D_{BB}) / 2 > D_{AB}$,

$$\Delta = D_{AB} - \sqrt{(D_{AA} + D_{BB})}$$

La differenza di elettronegatività tra gli atomi A e B, fissando arbitrariamente l'elettronegatività dell'atomo d'idrogeno $\chi_H = 2.1$, viene definita dall'equazione

$$|\chi_A - \chi_B| = 0.208 \sqrt{\Delta}$$

Tale differenza di elettronegatività è grande se uno dei due atomi possiede una spiccata tendenza ad attrarre a se la coppia degli elettroni del legame. Sono state proposte altre scale di elettronegatività, basate su diversi concetti fisici (elettronegatività di Mulliken, di Sanderson, di Allred-Rochow, di Gordy etc.) e risultate, con buona approssimazione, sempre correlate con la scala di elettronegatività di Pauling (1). Come conseguenza di questo fatto anche i più recenti manuali di Chimica generale presentano solo i valori di elettronegatività in unità di Pauling (kcal^{1/2} mol^{-1/2}).

In questo contributo viene proposto un nuovo metodo per introdurre il concetto di elettronegatività che potrebbe fornire alla Chimica generale una base più razionale ed unitaria.

Si introduce la scala di elettronegatività assoluta degli atomi isolati secondo Mulliken, ed il concetto di durezza di un atomo (1). La definizione di elettronegatività di Mulliken usata insieme al concetto di equalizzazione dell'elettronegatività degli atomi nella molecola permette di introdurre in modo semplice ed intuitivo i concetti di *carica parziale*, *carica formale* e *numero di ossidazione* di un atomo in una molecola, di fondamentale importanza nello studio della Chimica.

Da questi concetti fondamentali si potranno poi approfondire gli argomenti relativi alla natura del legame chimico, necessariamente per mezzo della

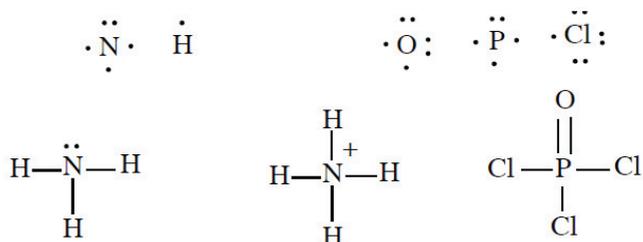
teoria quantistica degli atomi, delle molecole e dei solidi, nella versione oggi di maggior successo, la teoria del funzionale densità (DFT) (1).

Dagli atomi alla formula di struttura di Lewis

Dagli atomi isolati passiamo alle molecole di cui con i metodi di Lewis (regola dell'ottetto) e di Gillespie (Valence Shell Electron Pair Repulsion, VSEPR) possiamo rappresentarne, in modo semplice e con ottima approssimazione, sia la formula di struttura sia la geometria molecolare. Gli esempi che utilizziamo in questa nota rappresentano la formazione di ammoniaca, dello ione ammonio e del cloruro di fosforile (V) (ossotricloruro di fosforo) a partire dagli atomi isolati.

Non è qui necessario ripercorrere la strada che ci porta a disegnare la formula di struttura di Lewis per NH_3 , NH_4^+ e POCl_3 a partire dagli atomi isolati, essa viene delineata in tutti i manuali di Chimica generale (2).

Le formule di struttura sono riportate nello Schema 1.



NH_3	NH_4^+	POCl_3
$Q^0_{\text{N}} = 5$	$Q^0_{\text{H}} = 1$	$Q^0_{\text{N}^+} = 4$
$Q^0_{\text{O}} = 6$	$Q^0_{\text{P}} = 5$	$Q^0_{\text{Cl}} = 7$
$Q^0_{\text{N/NH}_3} = 2$	$Q^0_{\text{N/NH}_4^+} = 0$	$Q^0_{\text{O/POCl}_3} = 4$
		$Q^0_{\text{P/POCl}_3} = 0$
		$Q^0_{\text{Cl/POCl}_3} = 6$

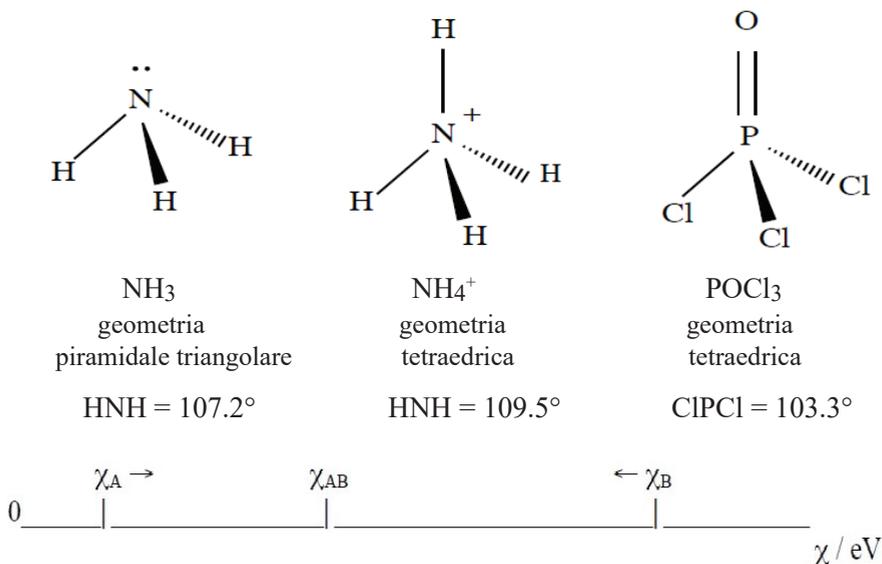
Schema 1

Insieme alle formule di struttura di Lewis è riportato il simbolo di Lewis degli atomi isolati, il numero di elettroni di valenza ($Q^0_{\text{N}} = 5$, $Q^0_{\text{N}^+} = 4$, $Q^0_{\text{H}} = 1$, $Q^0_{\text{O}} = 6$, $Q^0_{\text{P}} = 5$, $Q^0_{\text{Cl}} = 7$) ed il numero di elettroni ancora presenti come coppie isolate sull'atomo dopo la formazione della molecola ($Q^0_{\text{N/NH}_3} = 2$, $Q^0_{\text{N/NH}_4^+} = 0$, $Q^0_{\text{O/POCl}_3} = 4$, $Q^0_{\text{P/POCl}_3} = 0$, $Q^0_{\text{Cl/POCl}_3} = 6$). Per l'atomo di fosforo, al terzo periodo della Tavola periodica, abbiamo assunto l'espansione dell'ottetto (2).

(Con molecole radicaliche dobbiamo includere anche gli elettroni spaiati, ad esempio nel caso del diossido d'azoto NO_2 la formula di struttura di Lewis prevede: $Q^0_{\text{N}^+} = 4$ e $Q^0_{\text{N/NO}_2} = 1$; $Q^0_{\text{O}} = 6$, $Q^0_{\text{O}^-} = 7$, $Q^0_{\text{O/NO}_2} = 4$ e $Q^0_{\text{O-/NO}_2} = 6$).

Dalla formula di Lewis alla geometria molecolare

Seguendo il metodo di Gillespie (VSEPR) ampiamente discusso nei manuali di Chimica generale (3) riportiamo nello Schema 2 la geometria molecolare prevista per le tre molecole considerate. Il modello di Gillespie prevede la geometria tetraedrica per lo ione ammonio e per il cloruro di fosforile (V). Nel cloruro di fosforile (V) gli angoli di legame CIPCl sono, in accordo con il modello di Gillespie, minori di 109.5° a causa del grande volume occupato dalle due coppie elettroniche che formano il doppio legame $P=O$ le quali esercitano di conseguenza una forte repulsione sulle coppie elettroniche di legame P-Cl. Sperimentalmente si misurano angoli CIPCl di 103.3° e distanze di legame $P-Cl = 199.3$ pm e $P=O = 144.7$ pm (4). Nel caso dell'ammoniaca la geometria molecolare prevista dal modello è piramidale triangolare ed effettivamente le misure sperimentali confermano tale geometria con angoli di legame HNH di 107.2° e distanza di legame $N-H = 101.5$ pm. Per lo ione ammonio risulta una distanza di legame $N-H = 103.2$ pm ed una geometria, come previsto dal modello, tetraedrica regolare (4).



Equalizzazione dell'elettronegatività

A perde elettroni

B acquista elettroni

Nella molecola AB : $\chi_{A/AB} = \chi_{B/AB} = \chi_{AB}$

La carica parziale sugli atomi sarà $A^{q+}B^{q-}$

Schema 2

Elettronegatività assoluta di Mulliken degli atomi isolati

Per definire l'elettronegatività assoluta di un atomo, ad esempio l'atomo di fosforo, dobbiamo considerare le variazioni di energia (entalpia) necessarie per le reazioni di ionizzazione positiva e ionizzazione negativa, cioè le due seguenti reazioni:



Per strappare l'elettrone più debolmente legato ad un atomo si deve spendere l'energia di prima ionizzazione e la reazione risulta endotermica ($\Delta H > 0$). Si noti che l'energia di affinità elettronica (A) positiva comporta una reazione esotermica ($\Delta H < 0$).

Sottraendo la seconda equazione dalla prima otteniamo la reazione



L'energia coinvolta in questa reazione, in generale per ogni atomo, normalizzata *per elettrone emesso* è direttamente collegata con l'elettronegatività assoluta definita da Mulliken (1)

$$\chi = (I_1 + A)/2$$

Per gli atomi di azoto, idrogeno, fosforo, ossigeno e cloro abbiamo i seguenti valori elettronegatività assoluta calcolati dai valori sperimentali I_1 e A riportati in letteratura (5)

$$\chi_N = 7.267 \text{ eV}; \quad \chi_H = 7.176 \text{ eV}; \quad \chi_P = 5.616 \text{ eV}$$

$$\chi_O = 7.540 \text{ eV}; \quad \chi_{Cl} = 8.290 \text{ eV}$$

Il valore di elettronegatività assoluta dello ione N^{+} può essere stimato considerando l'energia di seconda ionizzazione dell'azoto:

$$\chi_{N^{+}} = (I_2 + I_1)/2 = 22.07 \text{ eV.}$$

Notiamo che elevati valori di elettronegatività assoluta sono caratteristici di atomi che presentano elevati valori (positivi) sia di energia di prima ionizzazione sia di energia di affinità elettronica.

Non è l'obiettivo di questa nota commentare i valori di elettronegatività assoluta dei diversi atomi nella Tavola periodica.

Notiamo che l'elettronegatività assoluta è una proprietà periodica come risulta evidente dalla Figura 1.

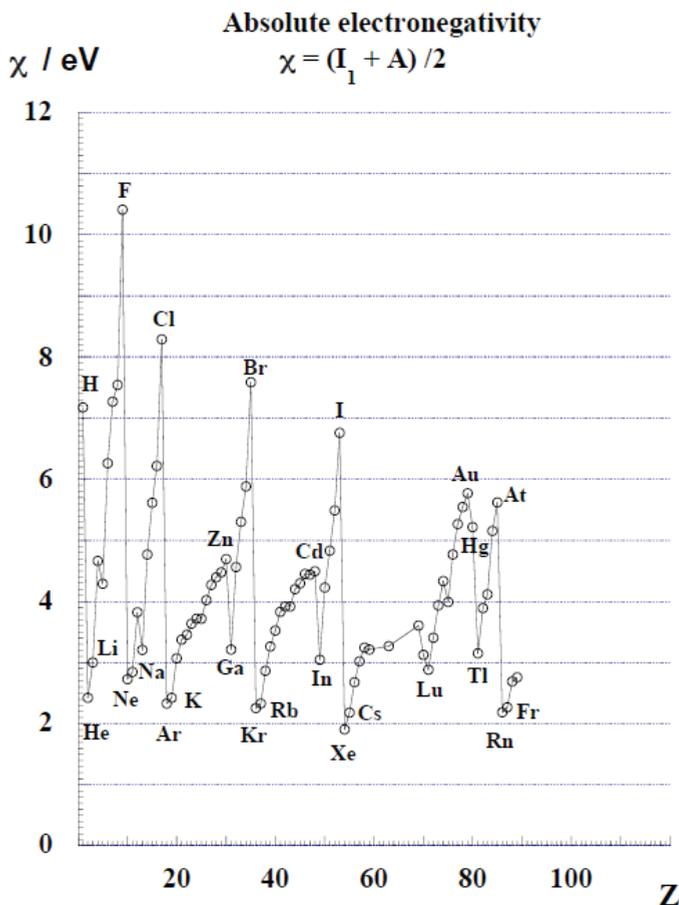


Figura 1. Elettronegatività assoluta degli atomi in funzione del numero atomico

Durezza assoluta degli atomi isolati

Per definire la durezza assoluta di un atomo (1), sempre considerando come esempio il fosforo, dobbiamo sommare le due reazioni di ionizzazione sopra riportate per ottenere la reazione



Se normalizziamo l'energia della reazione *per atomo di fosforo ionizzato* otteniamo la durezza assoluta dell'atomo di fosforo. In generale per ogni atomo la durezza è definita dalla relazione

$$\eta = (I_1 - A) / 2$$

Per gli atomi di azoto, idrogeno, fosforo, ossigeno e cloro abbiamo i seguenti valori di durezza calcolati dai valori sperimentali I_1 e A (5)

$$\begin{array}{lll} \eta_{\text{N}} = 7.267 \text{ eV}; & \eta_{\text{H}} = 6.422 \text{ eV}; & \eta_{\text{P}} = 4.870 \text{ eV} \\ \eta_{\text{O}} = 6.078 \text{ eV}; & \eta_{\text{Cl}} = 4.677 \text{ eV} & \end{array}$$

Il valore della durezza per lo ione N^+ può essere stimato considerando l'energia di seconda ionizzazione dell'azoto: $\eta_{\text{N}^+} = (I_2 - I_1)/2 = 15.07 \text{ eV}$.
 Notiamo che piccoli valori di durezza sono caratteristici di atomi che presentano bassi valori di energia di prima ionizzazione ed elevati valori di energia di affinità elettronica, infatti la durezza tende a zero quando $I_1 \approx A$, cioè per atomi con grande raggio atomico e nube elettronica del guscio di valenza facilmente deformabile (atomi molto polarizzabili). Al contrario elevati valori di durezza sono caratteristici di atomi con elevati valori di I_1 e valori di A vicini a zero o leggermente negativi (come nel caso dell'atomo di azoto nello stato fondamentale). Valori fortemente negativi dell'energia di affinità elettronica sono da attribuire ai gas nobili, i quali per accettare un elettrone devono prima passare ad uno stato eccitato ad alta energia (6).
 Notiamo che anche la durezza è una proprietà periodica degli elementi come risulta evidente dalla Figura 2.

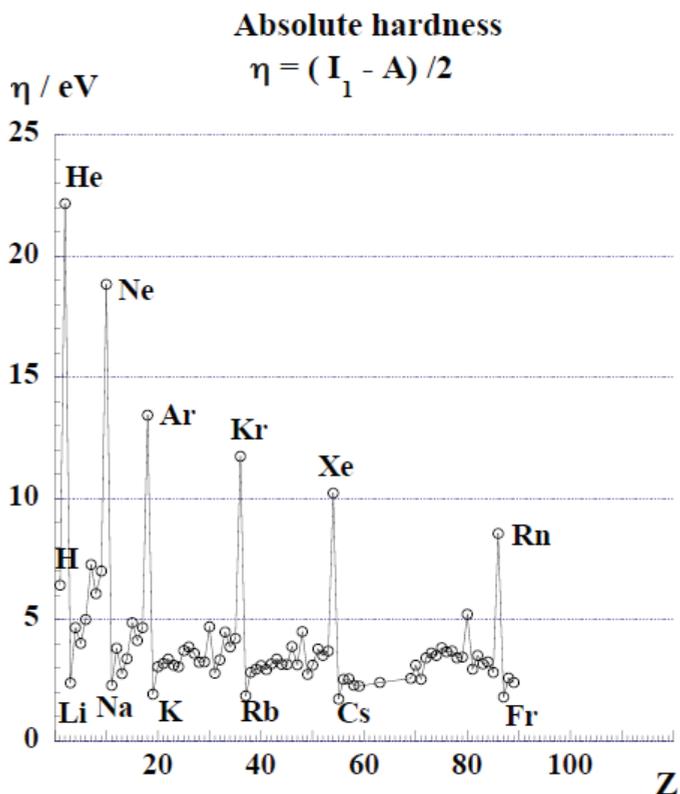


Figura 2. Durezza assoluta degli atomi in funzione del numero atomico

Un semplice modello per stimare l'elettronegatività degli atomi in una molecola

Dalla definizione di elettronegatività assoluta appare evidente che le differenze di elettronegatività sono responsabili del trasferimento elettronico tra gli atomi nella molecola.

Il numero di elettroni presenti nel guscio di valenza di ogni atomo in una molecola può essere stimato considerando la formula di struttura di Lewis per la molecola ed il *principio dell'equalizzazione dell'elettronegatività*.

Nella formazione della molecola a partire dagli atomi isolati, gli atomi più elettronegativi tenderanno a diminuire la loro elettronegatività acquistando elettroni, mentre gli atomi meno elettronegativi tenderanno ad aumentare la loro elettronegatività perdendo elettroni. Nello stato finale la molecola adotterà distanze di legame ben definite ed una geometria particolare per minimizzare l'energia totale (schema 2). Ogni atomo nella molecola avrà una carica parziale ben definita, positiva o negativa, e un determinato valore di elettronegatività, lo stesso per tutti gli atomi che rappresenta anche l'elettronegatività della molecola nel suo stato fondamentale (1).

Con riferimento agli schemi 1 e 2 riportiamo per le specie NH_3 , NH_4^+ e POCl_3 le formule generali che definiscono le cariche parziali sugli atomi (indicate con la lettera q minuscola per distinguerle dal numero di elettroni nel guscio di valenza dell'atomo nella molecola indicato con la lettera Q maiuscola) sono le seguenti:

$$\begin{aligned} \text{NH}_3 : \quad & q_{\text{N}/\text{NH}_3} = Q^0_{\text{N}} - Q_{\text{N}/\text{NH}_3} = 5 - Q_{\text{N}/\text{NH}_3} \\ & q_{\text{H}/\text{NH}_3} = Q^0_{\text{H}} - Q_{\text{H}/\text{NH}_3} = 1 - Q_{\text{H}/\text{NH}_3} \\ \\ \text{NH}_4^+ : \quad & q_{\text{N}/\text{NH}_4^+} = Q^0_{\text{N}^+} - Q_{\text{N}/\text{NH}_4^+} = 4 - Q_{\text{N}/\text{NH}_4^+} \\ & q_{\text{H}/\text{NH}_4^+} = Q^0_{\text{H}} - Q_{\text{H}/\text{NH}_4^+} = 1 - Q_{\text{H}/\text{NH}_4^+} \\ \\ \text{POCl}_3 : \quad & q_{\text{P}/\text{POCl}_3} = Q^0_{\text{P}} - Q_{\text{P}/\text{POCl}_3} = 5 - Q_{\text{P}/\text{POCl}_3} \\ & q_{\text{O}/\text{POCl}_3} = Q^0_{\text{O}} - Q_{\text{O}/\text{POCl}_3} = 6 - Q_{\text{O}/\text{POCl}_3} \\ & q_{\text{Cl}/\text{POCl}_3} = Q^0_{\text{Cl}} - Q_{\text{Cl}/\text{POCl}_3} = 7 - Q_{\text{Cl}/\text{POCl}_3} \end{aligned}$$

Dai valori di elettronegatività assoluta degli atomi isolati, per il principio di equalizzazione dell'elettronegatività, possiamo prevedere i valori entro cui deve essere compresa l'elettronegatività della molecola (e quindi di ogni atomo nella molecola: $\chi_{\text{H}/\text{NH}_3} = \chi_{\text{N}/\text{NH}_3} = \chi_{\text{NH}_3}$)

$$\begin{aligned} \text{NH}_3 : \quad & \chi_{\text{H}} < \chi_{\text{NH}_3} < \chi_{\text{N}} \\ \\ \text{NH}_4^+ : \quad & \chi_{\text{H}} < \chi_{\text{NH}_4^+} < \chi_{\text{N}^+} \\ \\ \text{POCl}_3 : \quad & \chi_{\text{P}} < \chi_{\text{POCl}_3} < \chi_{\text{O}} < \chi_{\text{Cl}} \end{aligned}$$

L'elettronegatività della molecola dipenderà dalle distanze di legame e dalla geometria molecolare. Ovviamente la somma delle cariche parziali sugli atomi deve risultare uguale alla carica netta della molecola

(per NH_3 : $q_N + 3q_H=0$; per NH_4^+ : $q_N + 4q_H=1$; per POCl_3 : $q_P + q_O + 3q_{Cl}=0$).

Cariche nel guscio di valenza degli atomi nella molecola

NH_3 : Il numero di elettroni nel guscio di valenza dell'azoto nella molecola NH_3 può essere rappresentato dalla seguente equazione (schema 1)

$$Q_{N/\text{NH}_3} = Q^0_{N/\text{NH}_3} + 3 \cdot 2 \cdot (\chi_N - \chi_{\text{NH}_3}) \cdot f_N(\chi_N, \chi_H)$$

Il fattore $3 \cdot 2$ deriva dalla presenza di 3 legami N-H, ognuno dei quali coinvolge 2 elettroni. Per il principio di equalizzazione il numero di elettroni nel guscio di valenza dell'azoto tende ad aumentare rispetto all'atomo isolato in quanto $(\chi_N - \chi_{\text{NH}_3}) > 0$.

Non conosciamo la funzione $f_N(\chi_N, \chi_H)$ però possiamo stimare che per grandi valori di $(\chi_N - \chi_{\text{NH}_3})$

$$(\chi_N - \chi_{\text{NH}_3}) \cdot f_N(\chi_N, \chi_H) \rightarrow 1$$

cioè l'atomo d'azoto (ed in generale l'atomo più elettronegativo) tenderà a prendersi tutti gli elettroni impegnati nei legami chimici. Il numero di elettroni nel guscio di valenza diventa $Q_{N/\text{NH}_3} = 2 + 6 = 8$ e la carica parziale il *numero di ossidazione* dell'azoto nell'ammoniaca

$$q_{N/\text{NH}_3} (\text{n.o.}) = Q^0_N - Q_{N/\text{NH}_3} = 5 - 8 = -3$$

Possiamo stimare che per valori di $(\chi_N - \chi_{\text{NH}_3}) \rightarrow 0$

$$(\chi_N - \chi_{\text{NH}_3}) \cdot f_N(\chi_N, \chi_H) \rightarrow 1/2$$

l'atomo d'azoto prenderà solo la metà degli elettroni di legame, tendendo alla configurazione elettronica di Lewis dell'atomo isolato.

Il numero di elettroni nello strato di valenza diventa $Q_{N/\text{NH}_3} = 2 + 3 = 5$ e la carica parziale rappresenta la *carica formale* dell'azoto nell'ammoniaca

$$q_{N/\text{NH}_3} (\text{c.f.}) = Q^0_N - Q_{N/\text{NH}_3} = 5 - 5 = 0$$

Il numero di elettroni nel guscio di valenza dell'idrogeno nella molecola NH_3 può essere rappresentato dalla seguente equazione

$$Q_{H/\text{NH}_3} = Q^0_{H/\text{NH}_3} + 2 \cdot (\chi_H - \chi_{\text{NH}_3}) \cdot f_H(\chi_N, \chi_H)$$

il fattore 2 deriva dalla presenza di un legame H-N, ed ovviamente $Q^0_{H/\text{NH}_3} = 0$.

Per il principio di equalizzazione l'idrogeno tenderà a perdere elettroni rispetto all'atomo isolato in quanto $(\chi_H - \chi_{NH_3}) > 0$.

Per grandi valori (negativi) di $(\chi_H - \chi_{NH_3})$

$$\begin{aligned}(\chi_H - \chi_{NH_3}) \cdot f_H(\chi_N, \chi_H) &\rightarrow 0 \\ Q_{H/NH_3} &= 0 \\ q_{H/NH_3} \text{ (n.o.)} &= Q^0_H - Q_{H/NH_3} = 1 - 0 = 1\end{aligned}$$

Per valori di $(\chi_H - \chi_{NH_3}) \rightarrow 0$

$$\begin{aligned}(\chi_H - \chi_{NH_3}) \cdot f_H(\chi_N, \chi_H) &\rightarrow 1/2 \\ Q_{H/NH_3} &= 1 \\ q_{H/NH_3} \text{ (c.f.)} &= Q^0_H - Q_{H/NH_3} = 1 - 1 = 0\end{aligned}$$

NH_4^+ : Il numero di elettroni nel guscio di valenza dell'azoto nello ione NH_4^+ può essere rappresentato dalla seguente equazione

$$Q_{N/NH_4^+} = Q^0_{N/NH_4^+} + 4 \cdot 2 \cdot (\chi_{N^+} - \chi_{NH_4^+}) \cdot f_{N^+}(\chi_{N^+}, \chi_H)$$

Il fattore $4 \cdot 2$ deriva dalla presenza di 4 legami N-H (Schema 1). Per il principio di equalizzazione il numero di elettroni nel guscio di valenza dell'azoto tenderà ad aumentare rispetto allo ione N^+ isolato in quanto $(\chi_{N^+} - \chi_{NH_4^+}) > 0$.

Per grandi valori di $(\chi_{N^+} - \chi_{NH_4^+})$

$$(\chi_{N^+} - \chi_{NH_4^+}) \cdot f_{N^+}(\chi_{N^+}, \chi_H) \rightarrow 1$$

il numero di elettroni nel guscio di valenza diventa $Q_{N/NH_4^+} = 0 + 8 = 8$ e la carica parziale diventa il *numero di ossidazione* dell'azoto nello ione ammonio

$$q_{N/NH_4^+} \text{ (n.o.)} = Q^0_N - Q_{N/NH_4^+} = 5 - 8 = -3$$

Per valori di $(\chi_{N^+} - \chi_{NH_4^+}) \rightarrow 0$

$$(\chi_{N^+} - \chi_{NH_4^+}) \cdot f_{N^+}(\chi_{N^+}, \chi_H) \rightarrow 1/2$$

il numero di elettroni nel guscio di valenza diventa $Q_{N/NH_4^+} = 0 + 4 = 4$ e la carica parziale diventa la *carica formale* dell'azoto nello ione ammonio

$$q_{N/NH_4^+} \text{ (c.f.)} = Q^0_N - Q_{N/NH_4^+} = 5 - 4 = 1$$

Il numero di elettroni nel guscio di valenza dell'idrogeno nello ione ammonio può essere rappresentato dalla seguente equazione

$$Q_{H/NH_4^+} = Q^0_{H/NH_4^+} + 2 \cdot (\chi_H - \chi_{NH_4^+}) \cdot f_H(\chi_{N^+}, \chi_H)$$

Il fattore 2 deriva dalla presenza di 2 elettroni nel legame H-N, e ovviamente $Q^0_{H/NH4+} = 0$.

Per il principio di equalizzazione il numero di elettroni nel guscio di valenza dell'idrogeno tenderà a diminuire rispetto all'atomo isolato in quanto $(\chi_H - \chi_{NH4+}) < 0$.

Possiamo stimare che per grandi valori (negativi) di $(\chi_H - \chi_{NH4+})$

$$\begin{aligned}(\chi_{NH4+} - \chi_H) \cdot f_H(\chi_{N^+}, \chi_H) &\rightarrow 0 \\ Q_{H/NH4+} &= 0 \\ q_{H/NH4+} \text{ (n.o.)} &= Q^0_H - Q_{N/NH4+} = 1 - 0 = 1\end{aligned}$$

Per valori di $(\chi_H - \chi_{NH4+}) \rightarrow 0$

$$\begin{aligned}(\chi_H - \chi_{NH4+}) \cdot f_H(\chi_{N^+}, \chi_H) &\rightarrow 1/2 \\ Q_{H/NH4+} &= 1 \\ q_{H/NH4+} \text{ (c.f.)} &= Q^0_H - Q_{H/NH4+} = 1 - 1 = 0\end{aligned}$$

$POCl_3$: Il numero di elettroni nel guscio di valenza del fosforo nella molecola $POCl_3$ può essere rappresentato dalla seguente equazione

$$\begin{aligned}Q_{P/POCl3} &= Q^0_{P/POCl3} + 3 \cdot 2 \cdot (\chi_P - \chi_{POCl3}) \cdot f_P(\chi_{Cl}, \chi_P) + \\ &+ 2 \cdot 2 \cdot (\chi_P - \chi_{POCl3}) \cdot f_P(\chi_O, \chi_P)\end{aligned}$$

I fattori $3 \cdot 2$ e $2 \cdot 2$ derivano dai 3 legami P-Cl (6 elettroni) e dal doppio legame P=O (4 elettroni).

Per il principio di equalizzazione il numero di elettroni nel guscio di valenza del fosforo tende a diminuire rispetto all'atomo isolato in quanto $(\chi_P - \chi_{POCl3}) < 0$.

Non conosciamo le funzioni $f_P(\chi_{Cl}, \chi_P)$ e $f_P(\chi_O, \chi_P)$ però possiamo stimare che per grandi valori di $(\chi_P - \chi_{POCl3})$

$$(\chi_P - \chi_{POCl3}) \cdot f_P(\chi_{Cl}, \chi_P) \rightarrow 0 \quad \text{e} \quad (\chi_P - \chi_{POCl3}) \cdot f_P(\chi_O, \chi_P) \rightarrow 0$$

Il numero di elettroni nel guscio di valenza del fosforo diventa $Q_{P/POCl3} = 0 + 0 + 0 = 0$ e la carica parziale rappresenta il *numero di ossidazione* del fosforo

$$q_{P/POCl3} \text{ (n.o.)} = Q^0_P - Q_{P/POCl3} = 5 - 0 = 5$$

Per valori di $(\chi_P - \chi_{POCl3}) \rightarrow 0$

$$(\chi_P - \chi_{POCl3}) \cdot f_P(\chi_{Cl}, \chi_P) \rightarrow 1/2 \quad \text{e} \quad (\chi_P - \chi_{POCl3}) \cdot f_P(\chi_O, \chi_P) \rightarrow 1/2$$

il numero di elettroni nel guscio di valenza diventa $Q_{P/POCl_3} = 0 + 3 + 2 = 5$ e la carica parziale rappresenta la *carica formale* del fosforo

$$q_{P/POCl_3} \text{ (c.f.)} = Q^0_P - Q_{P/POCl_3} = 5 - 5 = 0$$

Il numero di elettroni nel guscio di valenza dell'ossigeno nella molecola $POCl_3$ può essere rappresentato dalla seguente equazione

$$Q_{O/POCl_3} = Q^0_{O/POCl_3} + 2 \cdot 2 \cdot (\chi_O - \chi_{POCl_3}) \cdot f_O(\chi_O, \chi_P)$$

Il fattore $2 \cdot 2$ deriva dalla presenza del doppio legame $P=O$ (4 elettroni). Per il principio di equalizzazione il numero di elettroni nel guscio di valenza dell'ossigeno tende ad aumentare rispetto all'atomo isolato in quanto $(\chi_O - \chi_{POCl_3}) > 0$.

Possiamo stimare che per elevati valori di $(\chi_O - \chi_{POCl_3})$

$$\begin{aligned} (\chi_O - \chi_{POCl_3}) \cdot f_O(\chi_O, \chi_P) &\rightarrow 1 \\ Q_{O/POCl_3} &= 4 + 4 = 8 \\ q_{O/POCl_3} \text{ (n.o.)} &= Q^0_O - Q_{O/POCl_3} = 6 - 8 = -2 \end{aligned}$$

Per valori di $(\chi_O - \chi_{POCl_3}) \rightarrow 0$

$$\begin{aligned} (\chi_O - \chi_{POCl_3}) \cdot f_O(\chi_O, \chi_P) &\rightarrow 1/2 \\ Q_{O/POCl_3} &= 4 + 2 = 6 \\ q_{O/POCl_3} \text{ (c.f.)} &= Q^0_O - Q_{O/POCl_3} = 6 - 6 = 0 \end{aligned}$$

Il numero di elettroni nel guscio di valenza del cloro può essere rappresentato dalla seguente equazione

$$Q_{Cl/POCl_3} = Q^0_{Cl/POCl_3} + 2 \cdot (\chi_{Cl} - \chi_{POCl_3}) \cdot f_{Cl}(\chi_{Cl}, \chi_P)$$

Il fattore 2 deriva dal singolo legame $P-Cl$. Per il principio di equalizzazione il numero di elettroni nello strato di valenza del cloro tende ad aumentare rispetto all'atomo isolato in quanto $(\chi_{Cl} - \chi_{POCl_3}) > 0$.

Per grandi valori di $(\chi_{Cl} - \chi_{POCl_3})$

$$\begin{aligned} (\chi_{Cl} - \chi_{POCl_3}) \cdot f_{Cl}(\chi_{Cl}, \chi_P) &\rightarrow 1 \\ Q_{Cl/POCl_3} &= 6 + 2 = 8 \\ q_{Cl/POCl_3} \text{ (n.o.)} &= Q^0_{Cl} - Q_{Cl/POCl_3} = 7 - 8 = -1 \end{aligned}$$

Per piccoli valori di $(\chi_{Cl} - \chi_{POCl_3})$

$$\begin{aligned} (\chi_{Cl} - \chi_{POCl_3}) \cdot f_{Cl}(\chi_{Cl}, \chi_P) &\rightarrow 1/2 \\ Q_{Cl/POCl_3} &= 6 + 1 = 7 \\ q_{Cl/POCl_3} \text{ (c.f.)} &= Q^0_P - Q_{P/POCl_3} = 7 - 7 = 0 \end{aligned}$$

Si noti che le funzioni f_{Cl} , f_O e f_P devono poter descrivere il passaggio dagli atomi isolati $P + 3Cl + O$ allo stato intermedio $PCl_3 + O$ necessario per abbassare l'elettronegatività degli atomi di cloro al valore di elettronegatività dell'atomo di ossigeno isolato. Da questo stato intermedio (χ'_P/PCl_3 ; $\chi_O = \chi'_{Cl}/PCl_3$) si arriva alla molecola $POCl_3$ con elettronegatività compresa nell'intervallo $\chi_P < \chi_{POCl_3} < \chi_O$.

La materia è fatta di atomi

“Se in qualche cataclisma andassero perdute tutte le conoscenze scientifiche, e una sola frase potesse essere tramandata alle generazioni successive, quale enunciato conterrebbe la maggiore informazione nel minor numero di parole?”. Questa domanda è riportata in una delle prime ormai leggendarie lezioni di Fisica di Richard Feynman (7). La risposta di Feynman, sicuramente condivisa da tutti gli scienziati del mondo, fu la seguente:

“Io credo si tratti dell'*ipotesi atomica* (o *fatto atomico*, se preferite), cioè che *tutte le cose sono fatte di atomi, piccole particelle in perpetuo movimento che si attraggono a breve distanza, ma si respingono se pressate l'una contro l'altra*. In questa frase, come vedremo, c'è una quantità enorme di informazione su come è fatto il mondo; basta usare un po' di fantasia e di ragionamento”.

Se ci fosse permesso di aggiungere un'altra frase questa, secondo me, potrebbe essere la seguente:

Gli atomi si combinano e formano le molecole, modificando il loro stato in accordo con la loro predisposizione ad acquistare o rilasciare elettroni. Questa predisposizione degli atomi è ben descritta dal concetto di elettronegatività che ci aiuta a razionalizzare la reattività chimica. Poi con un po' di fantasia e di ragionamento...

Bibliografia

- [1] R.G. Parr e W. Yang, *Density-Functional Theory of Atoms and Molecules*, p.277, Oxford Science Publications, 1989.
- [2] D.A. McQuarrie, P.A. Rock e E.B. Gallogly, *Chimica generale*, Seconda edizione italiana, Zanichelli, 2012. Cap.7 Formule di Lewis, p.153.
- [3] D.A. McQuarrie, P.A. Rock e E.B. Gallogly, *Chimica generale*, Seconda edizione italiana, Zanichelli, 2012. Cap.8 Previsione delle geometrie molecolari, p.181.
- [4] R.J. Gillespie e I. Hargittai, *The VSEPR Model of Molecular Geometry*, p. 125, Allyn and Bacon, 1991.
- [5] *Handbook of Chemistry and Physics*, D.R. Lide, Editor-in-Chief, 87th Edition, 2006-2007, CRC Press Taylor & Francis, 10-156 : Electron Affinities, Table 1 edited by T. M. Miller; 10-203 : Ionization Energies of Atoms and Atomic Ions.

[6] G. Moretti, A. Palma e M. Satta, *On the electronegativity and hardness of noble gases*, manoscritto in preparazione (2017).

[7] R.P. Feynman, *Sei pezzi facili*, Adelphi Edizioni 2000. I. Atomi in movimento, p.19.

Cape thura libens
(Accetta benevolo l'incenso)
(Tibullo, *Elegie* III, 11)

Maura Andreoni*, Pasquale Fetto**

*maurandreoni@gmail.com

**pasquale.fetto@didichim.org

Riassunto

L'incenso è una sostanza aromatica che rilascia una profumata fragranza se combusto. Il termine stesso deriva dal latino "incendere", metto a bruciare, e fin dalla più remota antichità è stato usato per vari scopi, sia medici, che cosmetici, che devozionali. L'incenso era apprezzato già dagli antichi Egizi, i Babilonesi lo usavano durante offerte votive o sedute oracolari e presto, per limitarsi a parlare dell'Europa, il suo uso si diffuse anche in Grecia e a Roma. Non entrando nel dibattito della pericolosità per la salute derivante dalla sua combustione, questo contributo indaga brevemente l'utilizzo dell'incenso nel mondo antico. Le caratteristiche e le proprietà chimiche dei componenti dell'incenso sono riportate, brevemente, nelle Appendici.

Abstract

Incense is an aromatic biotic material which releases a perfumed fragrance if burned. The term derives from Latin "incendere" meaning "to burn". Since most remote antiquity it has been used for various purposes, both medical, and cosmetic or devotional. Incense was already appreciated by ancient Egyptians and Babylonians who used it during offering prayers or divination sessions. Soon, just to speak only about Europe, its use also spread in Greece and Rome. Not entering into the debate of the danger to health arising from its combustion, this contribution briefly investigates the use of incense in the Ancient World. The characteristics and the chemical properties of the components of incense are briefly reported in the Appendices.

Botanica e merceologia

Incenso è il nome attribuito ad una resina aromatica estratta principalmente dalla *Boswellia sacra*, pianta arbustiva del genere *Boswellia*, famiglia delle Burseraceae che conta circa 700 specie (Figura 1).



Figura 1. Arbusto, foglie e fiori della *Boswellia sacra* (Dhofar- Oman)

La massima concentrazione di questi alberi si ha nell'isola di Socotra nella repubblica dello Yemen, attualmente l'incenso viene importato quasi esclusivamente dalla Somalia.

La prima produzione di resina, da parte della pianta, avviene dopo una decina di anni; la raccolta è effettuata ancora nel modo tradizionale praticando delle incisioni sulla corteccia, questo impegno è assolto dagli uomini. Dalle incisioni profonde nel tronco dell'albero trasuda il "latte" gommo-resina e in breve tempo indurisce (Figura 2). Le "lacrime" chiare di ottima qualità vengono raccolte per prime mentre successivamente viene raccolta la parte, di qualità inferiore, che è scivolata lungo il tronco o è caduta al suolo. La raccolta della resina è compito preminente delle donne e può essere ripetuta fino a 12 volte in un anno nel periodo tra settembre e giugno ad intervalli di 15 o 25 giorni.



Figura 2. Resina d'incenso "lacrime di "latte"

La quantità di resina dipende dalla specie di *Boswellia* e dalle condizioni atmosferiche in generale da ogni albero si raccolgono da 1 a 3 kg annui di resina (Figura 3). Dopo la raccolta si provvede alla selezione secondo 5 gradi di qualità; sulla base di grandezza, colore e purezza dei grani.

La resina della *Boswellia*, al pari delle altre resine, dopo la cristallizzazione è in grado di liberare nell'aria un forte e penetrante profumo al momento della combustione.



Figura 3. Granuli di incenso dopo la pulitura e l'eliminazione dei pezzi di corteccia.

I granuli d'incenso fragili e bianco-giallastri sono traslucidi a forma di pera, o irregolari e solitamente sono ricoperti da una sostanza farinosa prodotta dallo sfregamento dei granuli l'uno contro l'altro. I granuli hanno l'odore caratteristico dell'acquaragia vegetale (trementina), sono composti in maggior parte da terpeni in proporzioni variabili a seconda della specie di pianta, del territorio di produzione e dell'epoca di raccolta; quando brucia, produce una fiamma brillante sprigionando un aroma gradevole. Si scioglie con difficoltà assumendo una morbida consistenza simile al mastice, forma un'incompleta emulsione bianca se sfregata con acqua, viene disciolto dall'alcol.

Le antiche fonti descrivono la pianta dell'incenso come un albero di grandezza moderata, alto circa 5 cubiti (il cubito era l'unità di misura di lunghezza in uso presso vari popoli mediterranei e presso i Greci e i Romani era equivalente a 44,4 cm), con molti rami e con foglie dal colore verde intenso. La loro forma ricordava quelle del pero, però più piccole (Teofrasto. *Historia Plantarum*, IX, 4).

Fin dall'Antichità, la forte domanda dei vari tipi di incenso e la loro elevata utilità sia in cosmetica che in medicina per impiastri e fumigazioni, che per scopi devozionali, determinarono il sorgere di un importantissimo circuito commerciale. Il più antico, iconograficamente attestato, risale all'antico Egitto che, almeno dalla IV alla XXVI dinastia (XXVI-VI sec. a. C. circa) intratteneva rapporti commerciali per oro, incenso, altre resine

aromatiche, cannella, avorio e animali soprattutto con il leggendario Paese di Punt, chiamata anche Terra di Punt o degli dèi.

Questa terra è stata identificata dagli storici moderni con il Corno d'Africa o forse, secondo altre ipotesi, con l'Isola di Sumatra, in Indonesia. La spedizione più famosa rimane quella condotta dalla regina *Hatshepsut* (XVIII dinastia, 1473 – 1458 a. C.), documentata dai rilievi del tempio funerario di Deir el Bahari.

La regina (seconda donna a detenere il titolo di Faraone) approntò perfino un'apposita flotta composta da 5 navi della "*lunghezza di 70 piedi*" per facilitare le spedizioni con Punt e il commercio di numerosi tesori, tra cui mirra e alberi d'incenso da piantare nel cortile del tempio funerario della regina.

La menzione dell'incenso per noi più nota è forse quella dell'evangelista Matteo, che lo cita quale dono portato dai Magi al Bambino Gesù, insieme a oro e mirra. Ma già nell'Antico Testamento (*Genesi*, 8, 21, Salmo 140, 2) e in genere nelle religioni pagane, l'offerta di incenso era un sacrificio la cui fragranza odorosa giungeva fino alle narici della divinità (cfr. Apocalisse di Giovanni 8, 3-5).

In latino *incensum* deriva dal verbo *incendo*, parola dotta ecclesiasta del III sec. d. C., e significa "metto a bruciare", intendendo con questo l'offerta agli dèi di un profumo che si differenzia dal *per fumum*, o *pro fumo*, che invece indicava le offerte che, durante i sacrifici, raggiungevano gli dei attraverso il fumo di carne animale combusta (Porfirio. *Astinenza dagli Animali*. II, 5-6).

Nel mondo classico, la divinità di riferimento per le sostanze aromatiche era Afrodite e all'ambito divino rimandano anche numerosi termini greci e latini che definiscono il carattere essenziale degli *aromata*.

Nell'antichità, l'aroma dell'incenso, chiamato anche *libanus/libanos* (gr. *libantos*) dall'omonimo monte dell'Arabia dove veniva tradizionalmente raccolto (Isidoro di Siviglia, *Ethymologiae*. XVIII 8, 2-3), talvolta era il mezzo anche per conoscere la volontà degli dei attraverso la cosiddetta libanomanzia, una tecnica divinatoria consistente nell'interpretazione della direzione del fumo dell'incenso o nell'interpretazione delle sue ceneri.

I primi manuali di libanomanzia datano dell'epoca babilonese, fra il 2000 ed il 1600 a.C., ma le tecniche, per un certo periodo cadute in disuso, furono poi raccolte dall'Egitto e dalla Persia e da qui tramandate in Grecia (dove la pratica fu attribuita a Tiresia, l'indovino per eccellenza della mitologia greca), tra gli Etruschi e infine a Roma. Uno dei più famosi fruitori della libanomanzia, descritta come *μαντιχή διά λιβανου*, fu il filosofo Pitagora (IV sec. a.C., Porfirio, *Vita di Pitagora* XI).

Il filosofo e botanico Teofrasto (IV/II sec. a.C.) e il naturalista Plinio (I sec. d.C.) accomunavano l'incenso alla mirra, sia per le comuni regioni

d'origine – l'*Arabia Felix* – sia per la somiglianza delle piante da cui si estraevano le resine.

Plinio specifica che non più di tremila famiglie possedevano tali alberi “[...] perciò i membri di quelle famiglie erano chiamati sacri e nel periodo di incisione degli alberi e della raccolta evitavano di essere a contatto con le donne o con i morti, aumentando così il valore religioso della merce [...]”.

La raccolta si faceva tradizionalmente all’inizio della Canicola e l’incenso veniva poi trasportato fino a Sobota (*Shivta*, uno dei più grandi insediamenti Nabatei nel Negev, parte meridionale dell’odierno stato d’Israele), dove si trovava l’unica porta che era permesso varcare per tale uso. “[...] Passare da un’altra porta sarebbe stato un sacrilegio che i re avevano stabilito di punire con la morte [...]”. Presso quella porta i sacerdoti prelevavano poi la decima per il dio Sabis (o *Assabinus*, che Teofrasto chiama Sole Divino), al quale era dedicato un tempio dove gli abitanti depositavano tutto l’incenso raccolto (Teofrasto, *Historia Plantarum*, IX, 4; Plinio, *Naturalis Historia*, XII 51-72).

Plutarco e Plinio raccontano che durante un sacrificio Alessandro Magno, ancora ragazzo, aveva preso dell’incenso a due mani e lo aveva gettato nel fuoco. Il suo austero pedagogo Leonida d’Epiro lo riprese, dicendogli che avrebbe potuto versare l’incenso in quel modo solo quando fosse diventato padrone della terra dove quegli aromi nascevano. Dopo la conquista di Gaza (332 a.C.), Alessandro inviò al suo vecchio maestro 600 talenti di incenso e mirra con il messaggio "*Affinché tu non sia più avaro nelle tue offerte agli dei*". (Plutarco, *Alessandro*, 25; Plinio, *Naturalis Historia*, XII, 62).

Stando ai prezzi elencati nell'*Editto sui Prezzi Massimi* di Diocleziano del 301 d.C. (*Editto* 34), l’incenso di prima qualità costava 100 denari alla libbra (poco più di tre etti) e l’elevato prezzo di mercato spiega la frequente adulterazione del prodotto, attestato in molte fonti, ottenuta mediante l’aggiunta di resina bianca o resina di pino, inganno però facile da scoprire già dal primo utilizzo. Per dare un’idea del rapporto tra i costi, alla stessa epoca un bracciante agricolo, con vitto, costava 25 denari al giorno

Il medico greco Dioscoride (I sec. d.C., *De Materia Medica*, I, 68) si sofferma sulle diverse qualità: la migliore era il cosiddetto incenso maschio detto *stagonias* (*σταγονιασ*, “che scorre goccia a goccia”), bianco, tondo, oleoso, in grado di bruciare rapidamente. Più scadente era invece l’incenso indiano, giallo, o rossiccio, reso tondo artificialmente. Tra questi due limiti, vi erano altre qualità, tutte precisamente classificate secondo la dimensione delle gocce, il colore e la consistenza.

L’utilizzo dell’incenso per scopi rituali presupponeva l’utilizzo di incensieri o turiboli (dal greco per *τυρον*, da cui il latino classico *thus-ris*), che erano essenzialmente di due tipi: a braciere, utilizzato prevalentemente

nei templi e nelle case greco-romano, e manuale, in uso soprattutto presso la cultura egizia e siriana e, più in generale, in Oriente. (Figura 4 e 5)



Figura 4. Louvre: incensiere a braccio XV dinastia

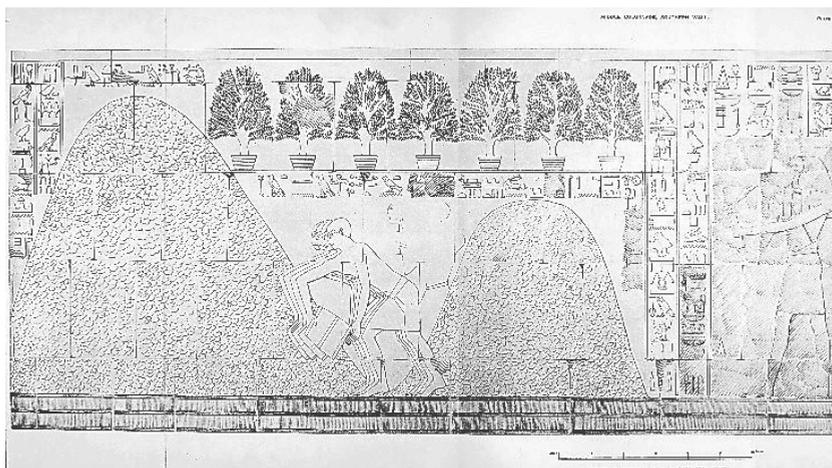


Figura 5. Measuring the heaps of incense from Punt (Eduard Naville, 1898)

Classificazione e composizione chimica delle resine

Le resine naturali sono classificate, in base alla durezza e alla composizione chimica, in due categorie principali: le resine dure, le oleoresine.

Spesso alcune resine, tra cui la benzoina, la mirra e l'incenso, sono classificate come *gommoresine*; l'uso di questo termine, secondo molti autori, è

improprio in quanto si dovrebbe parlare più correttamente di "resine contenenti intrusioni di gomme" e non di un "tipo di resina".

Le *resine dure*, tra le quali l'ambra e il mastice, sono resine naturali che all'aria solidificano completamente o che si ottengono dalle gommoresine per eliminazione degli oli volatili o per estrazione con alcol. La resina più importante dal punto di vista commerciale è quella ottenuta dalla distillazione dell'olio di trementina.

Le *oleoresine* comprendono i balsami e la trementina. Le resine e gli oli essenziali, responsabili dei profumi dei fiori, delle foglie, dei frutti e delle radici di molte piante da cui si ricavano le essenze usate in profumeria, sono costituite da idrocarburi, alcoli, eteri, aldeidi ed esteri molti dei quali sono terpeni.

Il nome terpeni, proposto da A. Kekulé (Lehrbuch der organischen Chemie, II, p. 464), ricorda che le prime osservazioni intorno a questi composti furono fatte sull'*olio di trementina* (ted. Terpentinöl). L'olio di trementina è un liquido incolore di odore aromatico piacevole che si ottiene dalla distillazione dell'olibano (incenso). I terpeni sono idrocarburi naturali di formula generale $(C_5H_8)_x$ con $x \geq 2$. Le resine e gli oli essenziali, usati in profumeria, sono responsabili dei profumi caratteristici delle parti di molte piante.

L'isoprene rappresenta l'unità strutturale dei poli isopreni, in natura è presente in una vasta classe di terpeni. La classificazione e la nomenclatura dei terpeni tiene conto delle unità isopreniche contenute nelle loro molecole (Tabella 1).

Regola di Wallach o regola dell'isoprene: i terpenoidi possono essere ipoteticamente costruiti da unità ripetute di molecole di isoprene.

Tabella 1. Classificazione dei terpeni

Classificazione	Unità isopreniche (C ₅ H ₈)	Numero Atomi di carbonio
emiterpeni	1	5
monoterpeni	2	10
sesquiterpeni	3	15
diterpeni	4	20
sesterpeni	5	25
triterpeni	6	30
polierpeni	>6	>30

La frazione resinosa è composta principalmente da triterpeni contenenti sei unità isopreniche, ovvero 30 atomi di carbonio.

I triterpeni sono abbastanza diffusi in natura e sia trovano sia sotto *forma aciclica*, che sotto *forma ciclica*. La resina possiede anche polisaccaridi.

I terpeni più semplici contengono due unità isopreniche risultanti dall'unione di due molecole di isoprene (Figura 6).

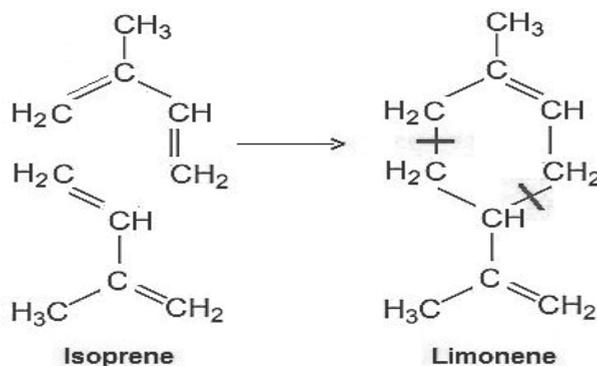


Figura 6. Le due unità isopreniche sono individuate dalle linee rosse.

La composizione biochimica dell'incenso consiste principalmente di una resina acida solubile in alcool e avente la formula $C_{20}H_{32}O_4$. La resina se fusa con potassio idrossido (KOH) non produce derivati del benzene. I componenti variano numericamente, secondo quanto riportato dal Talmud (uno dei testi sacri ebraici). Sono disponibili diversi tipi di incenso con aromi più o meno intensi a seconda della specie di pianta e dell'epoca di raccolta. L'incenso contiene circa il 30% di acido β -boswellico (Figura 7).

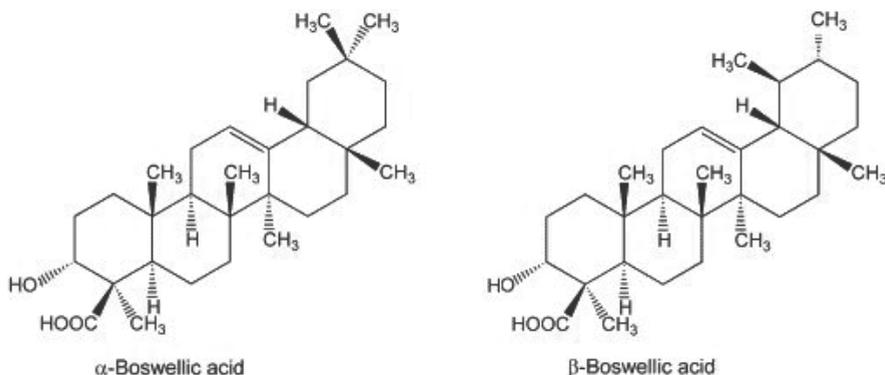


Figura 7. Acidi presenti nella resina della *Boswellia sacra*

Gli acidi α -boswellico e β -boswellico hanno la stessa formula ($C_{30}H_{48}O_3$).

La gran parte di acido β -boswellico (*incensolo*) volatilizza quando l'incenso viene bruciato. Il profumo è dovuto alla presenza di altre molecole quali *1-ottanolo* ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{OH}$) e *ottil acetato*. (Figura 8)

L'acqua rimuove la sostanza viscosa di sapore amaro, poco solubile in etere. L'olibano (antico nome dell'incenso) contiene: gomma (dal 30 al 36%) insolubile in alcool, il 3% circa di cenere, e dal 4 al 7% di un olio volatile.

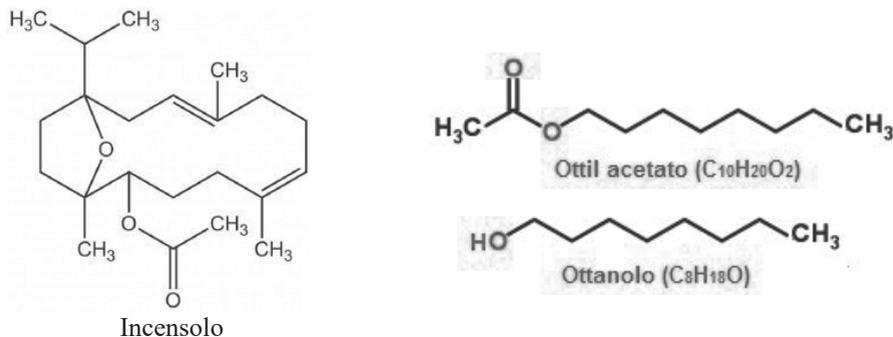
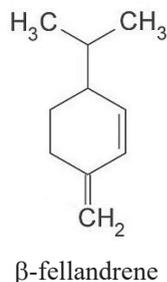
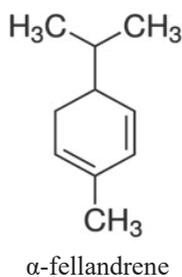


Figura 8. Prodotti volatili prodotti dalla combustione dell'incenso

Tra i componenti dell'incenso ricordiamo i fellandreni¹, idrocarburi aromatici di natura terpenica, di formula bruta $\text{C}_{10}\text{H}_{16}$. Presenti in natura nelle due forme isomere: α -fellandrene e β -fellandrene.

L' α -fellandrene (α -2-metil-5-(1-metiletil)-1,3-cicloesadiene) è contenuto nell'essenza di eucalipto, nella cannella, nell'anice stellato.

Il β -fellandrene (β -3-metilene-6-(1-metil etil) cicloesene) è il principale componente dell'essenza di limone.



Tali composti, tuttavia, sono scarsamente volatili e non contribuiscono al

1. Fu O. Wallach che, nel 1904, diede a due terpeni, uno scoperto da A. Cahours nel 1842 e l'altro da L. Pesci nel 1886, il nome di fellandreni. Wallach, in particolare, chiamò α -fellandrene l'idrocarburo che si ricava nella forma destrogira dal *Foeniculum vulgare* e nella forma sinistrogira dall'*Eucalyptus dives*; chiamò β -fellandrene quello che ordinariamente si ricava dal *Phellandrium aquaticum*.

tipico aroma dell'incenso, ma è interessante sapere che nei fumi si rinven-
gono l'acetato di ottilo, l'ottanolo, vari composti terpenici e l'incenso
acetato.

Il profumo che emanano, una volta sottoposti ad una fonte di calore, è la
risultanza degli elementi volatili (terpeni) presenti. La gommoresina
rappresenta la parte medicinale della pianta, essa contiene un olio essenziale
(16%) e acidi triterpenici pentaciclici (50%), denominati acidi boswellici,
che sono considerati i principi attivi della boswellia. Gli acidi boswellici
includono l'acido β -boswellico, l'acido cheto- β -boswellico, l'acido acetil-
11-cheto- β -boswellico, l'acido 3-oxo- tirucallico, acido 4-O-metil-
glucuronico $C_6H_{10}O_7$.

Tutti i componenti chimici naturali, presenti nella resina acida
($C_{20}H_{32}O_4$) dell'incenso, contribuiscono direttamente o con i loro prodotti
(derivati dalla fusione della resina) al suo caratteristico odore.

Appendice A

Il comportamento delle diverse molecole rispetto all'odore

Per avere una visione completa del comportamento delle molecole è
necessario considerare la loro struttura molecolare come uno dei fattori che
maggiormente influiscono sulla qualità dell'odore di una sostanza. Tra i vari
fattori che contribuiscono alla determinazione del tipo di odore prodotto da
una molecola vi sono gli isomeri di struttura.

Isomeria è il fenomeno per cui due composti presentano la stessa formula
bruta ma diversa formula strutturale e diverse proprietà chimico-fisiche.

Gli idrocarburi cicloterpenici dal punto di vista chimico si possono
considerare vicini agli idrocarburi cicloolefinici, si trovano in natura negli
organismi vegetali: allo stato di liquidi odorosi e volatili. Tra i più importanti
si possono ricordare:

Anche il 3,7-dimetilottanolo, quando la sua catena si chiude a formare il
mentolo, altera il proprio odore passando dalla fragranza di rosa a quella più
forte della menta.

Un forte impatto sull'odore trasmesso da una sostanza, è la ciclizzazione
del composto. La ciclizzazione di molecole lineari inodori, in numerosi casi
porta alla formazione di composti ciclici con forti fragranze, anche
gradevoli. È questo il caso, ad esempio, dello pseudo ionone, la cui forma
ciclica è lo ionone, un terpene molto ricercato in profumeria per via del suo
caratteristico odore di violetta. Quando lo pseudo ionone viene trattato con
trifluoruro di boro (BF_3) in acido acetico, la chiusura dell'anello avviene con
formazione di α -ionone e β -ionone. (Figura 9)

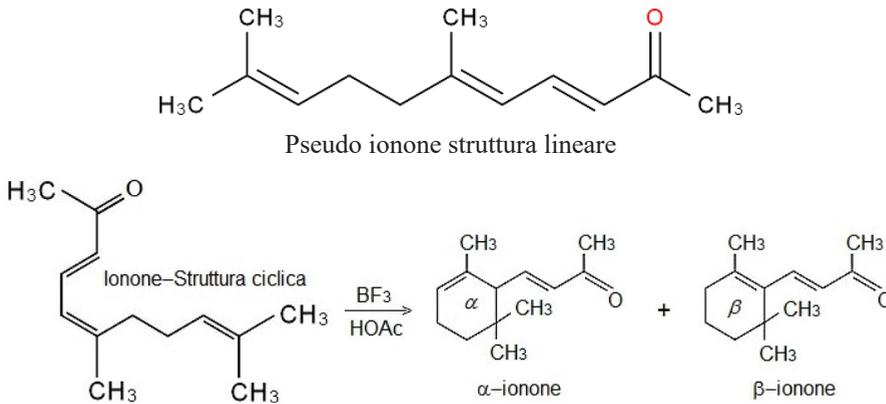


Figura 9

Il modo irrazionale dell'utilizzo delle attività umane nei riguardi dell'ambiente sono causa della riduzione delle cenosi^{1a} naturali di *Boswellia*, tra di esse:

- Il carico eccessivo del bestiame pascolante impedisce la crescita delle giovani piante che vengono mangiate arrecando danni anche le piante adulte;
- i rami vengono brucati e non hanno la possibilità di svilupparsi normalmente;
- il taglio dei rami delle piante per ricavare legna da ardere e per costruire ricoveri;
- la conversione delle aree naturali in terreni coltivati con disboscamenti totali;
- l'uso di metodi impropri di raccolta dell'incenso con eccessivo sfruttamento delle piante e loro indebolimento per mancanza di periodi di riposo adeguati.

Oltre a ciò, la rarefazione delle fitocenosi dipende anche dall'aumento della siccità nelle zone di produzione dell'incenso, le precipitazioni negli ultimi decenni hanno afflitto molti paesi dove vivono gli alberi dell'incenso, causando l'indebolimento progressivo delle piante fino alla morte per essiccamento.

Gli effetti negativi di tutti questi fattori sulle piante di incenso riducono la germinabilità dei semi al 16%, mentre le piante non danneggiate producono semi con una fertilità superiore all'80%.

^{1a}. Cenosi: l'insieme delle specie vegetali (fitocenosi) e animali (zoocenosi) che vivono in un determinato ambiente.

Appendice B

Il Terpeneolo è un alcool monoterpene naturale composto da una miscela di quattro isomeri dei quali l'alfaterpineolo è il costituente dominante, fu isolato da una varietà di fonti come olio Cajuput (olio estremamente pungente, ha l'odore di una miscela di trementina e canfora), olio di pino e olio di petitgrain (olio distillato dalle foglie di orancio). (Figura 10)

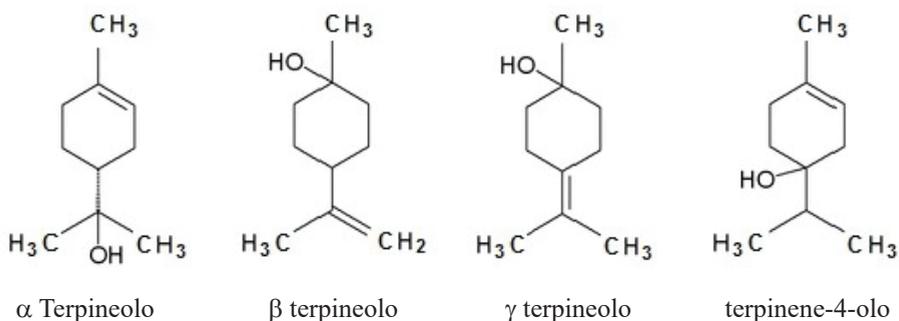


Figura 10. β terpineolo γ terpineolo differiscono solo per la posizione del doppio legame.

Otto Wallach caratterizzò il terpineolo fra i prodotti del trattamento della trementina con acido solforico diluito e alcool. Nella reazione, il terpineolo, si forma secondariamente dall'α e dal β-terpineolo; da ciò fu dedotta la costituzione del terpineolo.

Secondo A. Kurbatow (1874), il terpineolo consiste principalmente di un olibene terpene (C₁₀H₁₆), il punto di ebollizione è 158 °C e peso specifico 1,221 g/cm³

Il terpineolo si usa spesso per adulterare l'olio di lavanda.

Bibliografia

- Raffaelli M., Tardelli M., L'incenso fra mito e realtà, Centro Studi Erbario Tropicale pubbl. n. 108, Firenze, 2007, pp. 1-80.
- Abrahams, H.G. (1980), *Onycha, ingredient of the ancient Jewish incense*, in Economic Botany n. 33, New York Botanical Garden, Bronx, NY 10458.
- Cattabiani A. (1996), *Florario. Miti, leggende e simboli di fiori e piante*, Arnoldo Mondadori ed.
- Dayagay-Mendels M. (1989), *Perfume and cosmetics in the ancient world*, The Israel Museum, Jerusalem.
- De Martino G. e Cristiano L. (2007), *Viaggi e profumi*, Urra Ed..
- Fumagalli S. (1996), *Versi aurei. Seguiti dalle vite di Porfirio e Fazio, da testi pitagorici e da lettere di donne pitagoriche*, Mimesis, Milano, 1996.

- Mannucci, E.J. (2008), *La cena di Pitagora. Storia del vegetarianismo dall'antica Grecia a Internet*. Carocci Ed. Roma.
- Modugno F., Ribechini E., Colombini M.P. (2006), *Aromatic resin characterisation by gas chromatography–mass spectrometry: Raw and archaeological materials*, Journal of Chromatography A Volume 1134, Issues 1-2, 17 November 2006, Pages 298-304.
- Naville H.E. (1898), *The Temple of Deir El Bahari*, The Offices of The Egypt Exploration Fund, London.
- Pettinato G. (1966), *Libanomanzia presso i Babilonesi*, in *Rivista degli Studi Orientali*, vol. 41, no 4, dicembre , pp. 303-327.
- Rachet G., *Dizionario Larousse della civiltà egizia*, Gremese Editore, pag. 111.
- Bargellini A., (2002) *Chimica Società Ambiente*, Signorelli Editore, Milano, 2002.
- Scarponi L. (a cura di), *Biochimica agraria*, Patron, Bologna, 2003
- Eggert T., O.C. Hansen; *Survey and emission of chemical substances from incense. Terpenoids* pp. 73-77 Report: Survey of chemical substances in consumer products no. 39, 2004, Danish Technological Institute <http://eng.mst.dk/media/mst/69122/39.pdf>

Storia e Filosofia della Scienza: due ancelle della didattica delle discipline scientifiche

Giovanni Villani

Istituto di Chimica dei Composti OrganoMetallici del CNR (UOS di Pisa)
villani@pi.iccom.cnr.it

Una corretta e coerente didattica delle scienze richiede di considerare, tra i tanti contributi che concorrono a costituirla, la storia e la filosofia della scienza. Il loro apporto alla didattica, attraverso l'introduzione nell'insegnamento di un approccio storico/epistemologico è, a mio avviso, fondamentale.

Nella pratica scolastica, molti professori di discipline scientifiche (nei loro corsi) e molti libri di testo forniscono cenni su alcuni aspetti storici disciplinari e alcuni si avventurano anche in qualche fugace cenno alla filosofia della scienza; ma pochi (se non pochissimi) si preoccupano che gli aspetti storici/epistemologici abbiano una coerenza interna, si rapportino alle altre parti del corso e non siano solo dei "medaglioni" staccati dal resto, un "qualcosa in più" che si può leggere o meno, un approfondimento nella migliore delle ipotesi.

La Divisione di Didattica della SCI, ritenendo importante rendere consapevoli gli insegnanti della centralità dell'approccio storico/epistemologico nell'insegnamento della chimica, è impegnata a valorizzarlo attraverso diverse attività e manifestazioni. Tra queste, a titolo esemplificativo, due promosse quest'anno: la Scuola di Didattica "Ulderigo Segre" a Torino e le 12 conferenze presso il Polo dei Lincei di Pisa (realizzate presso la Scuola Normale Superiore di Pisa e usufruibili nel sito www.culturachimica.it, curato dalla DDSCI).

Va, tuttavia, messo in evidenza che la scelta di una didattica impostata secondo un approccio storico/epistemologico implica una certa idea della scienza e di come trasmetterla ed è sul principale di questi aspetti nascosti, su questa premessa, che voglio brevemente richiamare l'attenzione.

In ambito scientifico - sia di ricerca sia di analisi concettuale sia, infine, di didattica - molto spesso la scienza viene vista secondo quello che in ambito epistemologico viene chiamato "realismo ingenuo". Detto nei termini del linguaggio degli spot pubblicitari: la scienza scopre non inventa le verità dei fatti.

Una recente citazione del microbiologo M. D. Gershon nel suo libro *Il secondo cervello* (Utet, 2006) chiarisce bene la problematica: "La Natura è la Natura. Non sono gli scienziati a produrre o inventare i principi, essi semplicemente li scoprono. Pertanto, si tratta di una professione tediosa.

La scienza non è creativa come, per esempio, l'arte. Un artista produce un'opera, uno scienziato osserva semplicemente i fatti e li comunica. [...] La natura laboriosa della loro professione spesso è, per gli scienziati, causa di dolore". Le sottolineature nel testo della citazione sono mie e non sono presenti nell'originale, ma servono a evidenziare che se ci mettiamo in quest'ottica, se la scienza "scopre non inventa", essa diviene di conseguenza "tediosa", "non è creativa", "è causa di dolore" per lo scienziato che lavora in quest'ambito per professione.

Se questa fosse la realtà della scienza, la domanda di didattica: "come interessare gli studenti" resterebbe senza risposta. Se persino lo scienziato si "annoia" nel lavorare con la scienza, ne prova "dolore", come può uno studente, che non si è scelto questo ambito di "lavoro", trovarla interessante? Inoltre, in questa ottica avrebbe poco o nessun senso parlare della storia della scienza. Se la verità è nei fatti, per capire quella verità a che mi giova sapere che è stata "trovata" dal signore x o y? A che mi giova il sapere che questa "scoperta" è stata fatta nel 1850 o l'altro ieri?

Credo ci sia un profondo errore concettuale/filosofico in questa posizione "ingenuamente realista" di molti scienziati e di tanta parte della pubblica opinione colta (e, purtroppo, anche di molti docenti). La scienza è nata e si configura ancora oggi come una risposta a esigenze pratico/concettuali dell'uomo. Per le esigenze pratiche, la scienza e la sua applicazione tecnologica hanno dato "risposte" che hanno cambiato in maniera sostanziale il mondo. Se catapultassimo nel presente i nostri nonni, troverebbero un mondo "strano", quasi "incomprensibile". Per esempio mio nonno, che ha vissuto la sua infanzia all'inizio del Novecento, sicuramente "capirebbe" molto poco il "mondo dei cellulari" odierno. Si pensi che persino l'illuminazione pubblica, oggi conquista di qualsiasi borgo rurale, è nata alla fine dell'Ottocento e solamente nei grandi centri. Nel maggio 1884, infatti, fu inaugurato il primo impianto italiano di illuminazione elettrica a Torino in piazza Carlo Felice con 12 lampade da 800 candele (circa 800 Watt, per una lampadina a incandescenza).

Non è, tuttavia, solamente l'aspetto pratico della scienza a essere legato alle domande della società. Chi studia la storia della scienza (ma anche noi tutti che siamo degli "utilizzatori") sa bene che la Termodinamica è nata nell'Ottocento a seguito dell'industrializzazione dell'Inghilterra e la Termochimica quando è stata applicata in Germania all'industria chimica in pieno sviluppo. Se la scienza è, quindi, una "risposta" a domande pratiche e concettuali della società, si capisce che il binomio scoperta/invenzione non descrive bene la nascita e l'affermarsi di un'idea scientifica. Io credo che una "verità" scientifica si possa configurare come "un'invenzione vincolata". Essa è un'invenzione di uno scienziato, spesso di una comunità

di scienziati, “vincolata” dal fatto che deve essere una risposta ad un problema, deve “chiarire” qualcosa.

In quest’ottica si vedono bene l’utilità della storia e della filosofia di ogni disciplina scientifica. Non è possibile, infatti, capire la “risposta” se non è esplicitata la “domanda”, se non si ricostruisce il contesto storico in cui quella “risposta” è stata data. D’altra parte, ogni risposta si inserisce in un contesto di idee prevalenti in quel momento storico, in una “filosofia” imperante. Questo si vede bene, per esempio, con le idee del Positivismo che hanno sviluppato certi ambiti scientifici e ne hanno ostacolato altri.

In conclusione, una coerente didattica della scienza dovrebbe ricostruire le condizioni pratiche e concettuali in cui una specifica “invenzione vincolata” scientifica è venuta fuori, rendendo la stessa scienza un’impresa “entusiasmante”, altro che “tediosa”, sia per chi ci lavora sia per chi è chiamato a insegnarla e/o a studiarla.

Le dodici pietre: il Topazio

Pasquale Fetto
pasquale.fetto@didichim.org

Riassunto

Anche per il Topazio la parte storica e mitologica coinvolge maggiormente nella lettura. Il topazio, per certi versi, è una delle pietre la cui storia e la posizione sul pettorale sono abbastanza controverse.

Riporterò in appendice alcune testimonianze che pur non risolvendo le controversie possono aiutare e stimolare una ricerca affascinante.

Mi auguro che la stessa curiosità e coinvolgimento possa attrarre la parte chimica-mineralogica che viene proposta come stimolo alla conoscenza e all'approfondimento da operare con l'insegnante disciplinare.

Parole chiave: topazio, septuaginta, *Kush*

Abstract

Also for the Topaz historical and mythological part may involve people in reading. The topaz, in some ways, is one of the stones whose history and position on the chest are quite controversial.

I will report in the appendix to some witnesses who have not resolving disputes and can help stimulate a fascinating research.

I hope that the same curiosity and involvement will attract the chemical-mineralogical that is proposed as a stimulus to the knowledge and to work with the teacher discipline.

Keywords: topaz, septuaginta, *Kush*

1. La storia tra mitologia e leggenda

Il Topazio è stato apprezzato per diverse migliaia di anni nell'antichità grazie alla disponibilità in una ricca scala di colori.

L'utilizzo delle pietre si evidenzia in tutte le religioni: il primo segno lo si riscontra presso gli Egiziani, i quali incisero i testi di antichissimi rituali, quale ad esempio *il libro dei morti*, su pietre preziose che venivano intagliate in diverse forme. *Il libro dei morti* descrive il passaggio dello spirito del defunto verso il regno dei cieli e si riteneva che l'utilizzo congiunto di preghiere particolari unite alla sacralità delle pietre proteggessero l'anima in questo delicato passaggio. Le pietre utilizzate in questo caso erano le pietre rosse, quali ad esempio il diaspro rosso e la corniola, e il lapislazzuli.

Gli Egizi credevano che la colorazione del topazio fosse dovuta ai raggi del Dio del Sole, Ra. Il topazio era quindi considerato un potente amuleto che proteggeva il fedele dai pericoli.

Presso i Greci si credeva che donasse l'invisibilità a chi lo indossava facendo aumentare le forze.

I Romani lo associavano a Giove, loro massima divinità. Fino al medioevo, si è continuato a credere che il topazio fosse un ottimo rimedio per numerose malattie, come l'asma, le emorragie e l'insonnia, e che il suo potere fosse in qualche modo legato alle fasi lunari.

I greci si procuravano i topazi noti a Plinio il Vecchio e ad altri scrittori dell'antichità.

Una leggenda Afgana narra che il Topazio fu regalato all'uomo perché capisse che anche sotto terra era possibile trovare il sole, bastava cercare con determinazione. Considerata una pietra "solare", il topazio è stato sempre considerato come portatore di allegria, forza e coraggio.

Il Topazio era la gemma più apprezzata dall'antico popolo ebraico. Questa gemma, associata alla tribù di Simeone, è la seconda pietra della prima fila del Pettorale del Giudizio (Esodo 28:15-30).



Cornalina	Topazio	Smeraldo
Turchese	Zaffiro	Berillo
Giacinto	Agata	Ametista
Crisolito	Onice	Diaspro

Figura 1. Pettorale del Giudizio: Le gemme, il colore e la posizione sul pettorale

Numerose sono le fonti che descrivono il topazio come una pietra di colore giallo (Sa'adya ben Yössef¹, Jonah ibn Janah²) o color zafferano (Cantico dei Cantici 5:14).

1. Sa'adya ben Yössef (882–942) fu un rabbino egiziano di cultura e religione ebraica, una delle più celebri autorità spirituali e scientifiche nominato rettore dell'Accademia Talmudica Babilonese di Sūra.

2. Jonah ibn Janah di origini ebraiche, noto anche come Abu al-Walid ibn Marwan Janah, (990–1050), è stato un letterato spagnolo nonché valente grammatico della lingua ebraica e lessicografo del Medioevo. Era nato a Cordoba, in Spagna, e aveva studiato a Lucena, dopo aver lasciato la sua città natale nel 1012. Dopo aver girato la penisola iberica, si stabilì definitivamente a Saragozza. Fu autore di varie opere lessicografiche riguardanti la lingua ebraica.

Se si parte dal presupposto che la Settanta, Septuaginta³ (in latino) avesse cambiato di posto il topazio con lo smeraldo, allora sarebbe corretto tradurre questo come *topazion*, greco per il topazio o pietre gialle simili.

2. Il Topazio

Le delicate tonalità di colore hanno attirato l'interesse per questa pietra, più che la sua lucentezza, durezza, dimensione o trasparenza.

Nel passato tutte le pietre preziose gialle o di un marrone dorato erano chiamate *Topazi*.

La varietà usata come gemma è un minerale duro, limpido e cristallino. È più duro del quarzo e spesso si trova nelle cavità delle rocce granitiche. Il topazio può essere incolore, ma si trova anche in una grande varietà di colori fra cui bianco, giallo, marroncino, rosso rosato e a volte verde o azzurro pallido. La sfumatura più comune è un colore paglierino.

Rara e seducente attira per i suoi tenui e lucenti colori. Il prezzo, nel caso del topazio, dipende soprattutto dal suo colore, a differenza di quanto accade per altre gemme.

Il libro di Giobbe collega il topazio con Cus, (regione che confinava col Mar Rosso?).

(Appendice A; Appendice B)

2.1 Origine del nome Topazio

Secondo le fonti greche antiche, topazio è la traduzione del termine *pitdah* che in ebraico traduceva *Bareketh*. La derivazione ebraica della parola *pitdah* sembra dubbia.

Il nome topazio deriverebbe dal sanscrito *tapas* = *fuoco, calore*, oppure dall'isola Topazos, nel Mar Rosso. La pietra indicata nella Bibbia è probabilmente una olivina; il topazio vero e proprio è un silicato di fluoro e alluminio; la sua colorazione può essere giallo-oro, giallo-miele, azzurro e la sua provenienza è dall'Alto Egitto insieme agli smeraldi.

Strabone, nel libro 16 della Geografia, scrivendo dell'isola di Ofiodo, afferma che era detta *isola dei serpenti e dei topazj* e che questa pietra era trasparente, lucida di splendor d'oro tanto che a mezzo giorno difficilmente si vedeva mentre di notte la vedevano coloro che la volevano raccogliere avendo posto durante la notte un vaso come segnale per poterla vedere di giorno. La stessa citazione si riscontra in Diodorus Siculus (03:39): *in Ophiade insulâ invenitur Topazius lapis, vitro similis, colore aureo*. Plinio scrive che due tipi di pietre erano presenti in quest'isola, uno era di color dell'oro, mentre l'altro tendeva al giallo verdognolo e prendeva il nome di *Chrysoprasio*, in riferimento alla combinazione dei colori oro e verde.

3. La LXX è la versione della Bibbia in lingua greca. Approfondimenti in Appendice.

Vi è, tuttavia, un problema: il *topas* menzionato nelle fonti antiche è lo stesso topazio conosciuto oggi?

Molti scrittori ritengono che il gioiello conosciuto in tempi moderni con il nome topazio è una splendida pietra di un magnifico splendore colore giallo.

Questo interrogativo, a mio avviso, rimarrà irrisolto in quanto tutte le fonti a noi giunte sono il frutto di trascrizioni e traduzioni di originali non sempre esistenti che derivano dalla tradizione orale. Esempi emblematici ci vengono dati dalla sequenza delle pietre poste nella prima linea del Pettorale del Giudizio: 'Sardion, topazi, smeraldi' (Giuseppe Flavio, *Antichità* 3: 7: 5, Guerre 5: 5: 7). Tuttavia, sembra che la tradizione corrente principale ha avuto una lettura nella Settanta, 'Sardion, smeraldo, topazio'. Lo stesso Plinio traduce la *pitdah* come *smaragdus*, greco per smeraldo o malachite (Plinio 37:16). Alcune indicazioni che il 'topazio' degli antichi fosse realmente verde ci sono date dallo stesso Plinio (37:32). Tuttavia, ci sono un certo numero di fonti successive che identificano il *pitdah* col topazio. Il *pitdah* era la pietra di Simeone, altri dicono che era la pietra di Issacar (nono figlio di Giacobbe).

Il Topazio è una delle nove “*pietre di fuoco*” presenti nell'Eden, questa citazione biblica (Esodo 28:13-15) giustificherebbe il colore giallo fuoco attribuito al topazio: *"eri in Eden il giardino di Dio; eri coperto d'ogni sorta di pietre preziose: rubini, topazi, diamanti, crisoliti, onici, diaspri, zaffiri, carbonchi, smeraldi, oro; tamburi e flauti erano al tuo servizio, preparati il giorno che fosti creato. Eri come un cherubino ad ali spiegate a difesa; io ti ho posto sul monte santo di Dio e camminavi in mezzo a pietre di fuoco. Tu eri perfetto nelle tue vie dal giorno in cui fosti creato, finché non si trovò in te la perversità."*

In riferimento alla composizione delle fondamenta della nuova Gerusalemme il Topazio è il nono strato:

"Le fondamenta del muro della città erano adorne d'ogni pietra preziosa; il primo fondamento era di diaspro, il secondo di zaffiro, il terzo di calcedonio, il quarto di smeraldo, il quinto di sardonico, il sesto di sardio, il settimo di crisolito, l'ottavo di berillo, il nono di topazio, il decimo di crisopazio, l'undicesimo di giacinto, il dodicesimo di ametista."

(Rivelazione 21: 19-20)

2.2 Varietà

Il Brasile (Minas Gerais) è il maggior fornitore di topazio. Altri giacimenti si trovano in Afghanistan, Australia, Cina, Giappone, Madagascar, Messico, Birmania, Namibia, Nigeria, Pakistan, Russia, Sri Lanka, Ucraina, Stati Uniti e Zimbabwe. Le pietre con la colorazione giallo-rossiccio provengono soprattutto dal Pakistan, dall'India e dallo Sri Lanka.

Il *Topazio arancio* è la tradizionale pietra della nascita (*birthstone*) associata al segno zodiacale del mese di novembre. Queste pietre provengono da numerose miniere tra le quali le più importanti sono le Minas Gerais (Brasile).



Topazio arancio

Dalle miniere del Topaz Mountain nello Utah (USA) si estraggono pietre di colore azzurro. Il 7 febbraio 1969 il topazio è stato dichiarato la pietra dello Stato dell'Utah.



Topazio azzurro



Topazio azzurro gezzo

I topazi blu, detti “*safiras*”, e quegli blu-verdi sono abbastanza rari. La località più famosa per i topazi azzurro-blu si trova negli Urali, presso Mursinka, vicino a Sverdlovsk.



Topazio Safiras

La varietà più ricercata “Topazio Imperiale” proveniente unicamente dalle miniere di Ouro Preto in Brasile, presenta un colore giallo di fondo con sfumature rosa-arancio (dovute alla presenza di Alluminio).

Il nome deriva dalla casa “*imperiale russa*”, che diede particolare pregio e importanza ad alcuni esemplari di questo colore, rinvenuti nella zona degli Urali, realizzandone magnifici gioielli.



Topazio Imperiale grezzo

Il “Diamante di Braganza”, leggendaria gemma incolore appartenuta alla Casa Reale Portoghese di Braganza, scomparsa senza lasciare traccia dopo la morte di Re Giovanni VI nel 1826, pesava 1.640 carati e in origine si pensava che fosse un diamante.



Topazio rosa grezzo



Topazio rosa grezzo

Il “Topazio El-Dorado” è la più grande gemma sfaccettata al mondo, dal peso di 31.000 carati (circa 6,2 Kg). La pietra è tagliata a smeraldo, con un una buona limpidezza e un colore bruno-giallastro. Attualmente fa parte delle Programa Royal Collections.



Topazio El Dorado



Topazio bruno grezzo

Dal Medioevo, fino alla metà del XIX sec., il topazio veniva molto apprezzato. La scoperta dei giacimenti brasiliani, portò sul mercato una maggiore quantità di topazio facendone diminuire il valore commerciale pur non diminuendo l'interesse per questa pietra.



Topazio citrino



Topazio giallo

I topazi brasiliani raggiungono spesso dimensioni enormi (un metro) e un peso di molti chilogrammi. Il loro colore è in prevalenza giallo miele, rosso-giallognolo, rosso-rosa fino a viola; le varietà rosse e viola talvolta vengono erroneamente indicate come *rubini brasiliani*.

Nota

Il **carato** è l'unità di misura del sistema metrico decimale per le pietre preziose. All'inizio del ventesimo secolo si standardizzò l'unità di misura per le gemme, quindi si stabilì che 1 carato equivale a 0,20 g.

La curiosità, non nota a tutti, è che prima dell'introduzione del carato l'unità di misura usata come contrappeso nelle bilance di precisione erano i semi di carruba. La particolarità dei semi della *Ceratonia Siliqua* (carrubo) è la loro omogeneità sia in termini di dimensioni che di peso. Queste caratteristiche fecero sì che questi semi venissero scelti come unità di misura per le pietre preziose.

3. Simbolismo e potere delle pietre

Come annotato dal famoso geologo George Frederick Kunz⁴ nel suo libro, *Le Tradizioni Curiose sulle Pietre Preziose*: “Non c'è alcun dubbio che, chiunque possieda un gioiello con una pietra portafortuna, abbia la convinzione di possedere qualcosa di così intimamente collegato alla sua personalità rispetto a qualsiasi altra pietra e questo a prescindere dalla bellezza dell'oggetto o dal suo valore. L'idea che una pietra possieda un certo significato, indefinito, ma non per questo meno reale, risale alla notte dei tempi ed ancora affascina la mente di chiunque sia dotato di romanticismo e di un tocco d'immaginazione.”

4. George Frederick Kunz (1856–1932) ha avuto notorietà per aver identificato una nuova varietà "gemma" del minerale spodumene $\text{LiAl}(\text{SiO}_3)_2$ che è stato chiamato "Kunzite" in suo onore.

3.1 Virtù terapeutiche

È da sempre ritenuta *Pietra Magica*, terapeutica, divina. Il più noto e diffuso dei topazi (quello giallo oro cosiddetto Imperiale) ha effetti portentosi. Irradia energia e vitalità e posato sul III° chakra *Manipura*⁵, localizzato all'altezza del diaframma tra sotto l'obelico e lo sterno, infonde coraggio e influisce sulla creatività e sulla lucidità mentale. Indossarlo è come ricevere un caldo soffio di luce, come se la sua solarità penetrasse in noi.

Nello *Speculum Lapidum* (XVI secolo), Camillo Leonardi attribuisce alla pietra topazio la capacità di frenare la lussuria, le passioni e l'ira. Il topazio conferisce il potere di esaltare i sani principi e conferire la virtù della castità insita nel cristallo.

Il *topazio blu* è in armonia con i centri energetici, stimolandone la capacità di verbalizzazione. Il suo colore è eccellente per entrare in stato meditativo, aiuta a prendere contatto con le proprie radici profonde e a vivere secondo le proprie aspirazioni e punti di vista personali.

Il *topazio imperiale* è una delle più stimate varietà di topazio per il suo magnifico colore giallo rosato che richiama il fuoco o il calore. In natura pur esistendo topazi rosa, azzurri, rossi e incolore il più richiesto è quello giallo dorato, considerato fin dall'antichità *simbolo di fermezza e costanza*, anche nelle avversità.

Si diceva addirittura che la gemma avesse la capacità di salvaguardare da qualsiasi stregoneria e che segnalasse, al suo possessore, i pericoli incombenti diventando improvvisamente torbida.

In Cina, si riteneva che il topazio assorbisse i raggi del sole e, per assicurarsi energia e salute, lo si appendeva alla porta di casa. In passato, i topazi venivano anche incisi con figure di divinità o simboli propriatori; si trattava in genere di pietre di notevoli dimensioni, oggi molto rare, provenienti principalmente dal Brasile.

I Romani ritenevano potesse vincere i disturbi intestinali.

Il *topazio giallo* d'origine leggendaria, non ha perso le sue proprietà terapeutiche secondo i cultori della medicina ayurvedica che l'applicano al terzo chakra, sede del benessere e della personalità. L'Ayurveda lo ritiene ancora oggi indicato per prevenire le vene varicose, per rendere elastica la pelle, impedire la formazione di rughe e guarire le infezioni cutanee.

In cristalloterapia, il topazio imperiale viene utilizzato per tonificare il cuore, curare i disturbi della circolazione sanguigna e quelli della pelle.

La gemma è indicata anche per acquietare la mente e sciogliere la tensione nervosa, vincere l'insonnia e stimolare la sensibilità.

5. Il termine Manipura in sanscrito significa "gioiello luminoso" o "città del gioiello spendente". Definisce lo chakra del plesso solare.

Il topazio giallo montato in oro si porta al dito indice; oppure si indossa come ciondolo da tenere al collo all'altezza del cuore.

Chi lo indossa diventa saggio, immune da paure e fantasmi.

In Europa il topazio iniziò ad essere utilizzato per scopi terapeutici al tempo di Marco Polo (XIII° secolo). Si riteneva che aumentasse i propri poteri se incastonato in oro e appeso al collo, secondo la credenza, allontanava gli incantesimi. Secondo le tradizioni medioevali, un topazio inserito in un bracciale e portato al braccio sinistro proteggeva dal malocchio.

Il topazio, ridotto in polvere, messo nel vino, è utile a curare asma e insonnia; riesce, inoltre, a placare il dolore dovuto alle ustioni e alle emorragie.

Si riconosce al topazio la facoltà di cambiare colore in presenza di veleno.

Questa gemma dorata possiede la forza e la solarità, è legata al pianeta Giove che stimola la buona salute e al successo.

Si credeva che i cambiamenti (fasi) lunari potessero aumentare o diminuire i poteri di questa pietra come di altre.

Il Topazio è simbolo di originalità e nobiltà d'animo. È simbolo di amicizia legato alla verità e alla capacità di perdonare; si dice che abbia la facoltà di provare la lealtà in amici e collaboratori.

Santa Ildegarda di Bingen raccomanda, per coloro che abbiano problematiche agli occhi, di lasciare un topazio in un bicchiere di vino rosso per tre giorni e tre notti, poi strofinare la pietra sugli occhi prima di coricarsi.

Al topazio vengono attribuiti poteri calmanti e curativi. Durante il Medioevo era usato per curare le malattie mentali e si pensava che potesse ritardare la morte.

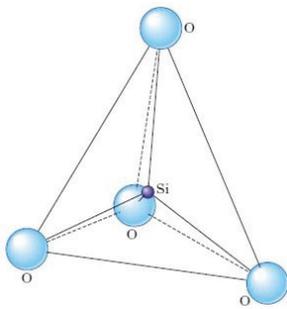
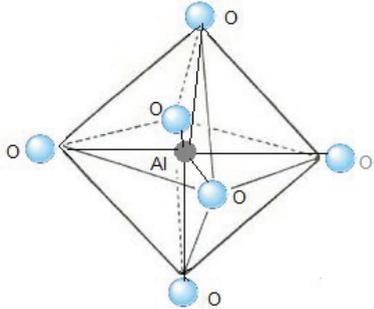
Sovente si associano agli anniversari di nozze delle materie preziose o simboliche. Il topazio blu è la gemma per il 4° anniversario di matrimonio; il topazio imperiale per il 23° anniversario di matrimonio.

4. Chimica del topazio

Il **topazio** chimicamente è un composto di fluorosilicato di alluminio; si rinviene comunemente in rocce ignee acide come graniti e rioliti.

È un minerale che si forma, anche, in pegmatiti e greisen (graniti alterati da fluidi) ad opera di fluidi pneumatocitici ricchi di fluoro, derivanti dalle ultime fasi di cristallizzazione di un corpo igneo. In tale ambiente il topazio si forma in cavità ed è comunemente associato a cassiterite, tormalina, apatite ecc. È una pietra che si scheggia facilmente pur essendo molto dura.

Il topazio è una pietra che non fonde, e non è soggetta all'azione della maggior parte degli acidi, ad eccezione dell'acido solforico.

Topazio $\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{F}_2\text{OH})_2$ Struttura cristallina	
 <p>tetraedro SiO_4</p>	 <p>ottaedro AlO_6</p>
Proprietà chimiche e fisiche	
<p>Peso molecolare: 182,25 gm densità: 3,53-3,56 g/cm³ durezza (Mohs): 8 indice di rifrazione: 1.609 – 1.643 peso specifico: 3,50 – 3,58 colore: giallo, giallo bruno, azzurro, rosa, rosa violetto, bruno, arancio-bruno, verdastro, rosso, viola pallido, arancio rosato, incolore lucentezza: vitrea</p>	

La struttura del topazio è formata da gruppi tetraedrici di SiO_4 e gruppi ottaedrici AlO_6 . 4 dei 6 ioni coordinati dall'alluminio sono ossigeni appartenenti a gruppi SiO_4 , gli altri sono ioni fluoro, che in parte possono essere sostituiti da gruppi OH. La composizione chimica del topazio è estremamente costante, l'unica variazione è quella del rapporto tra ioni F e gruppi OH.

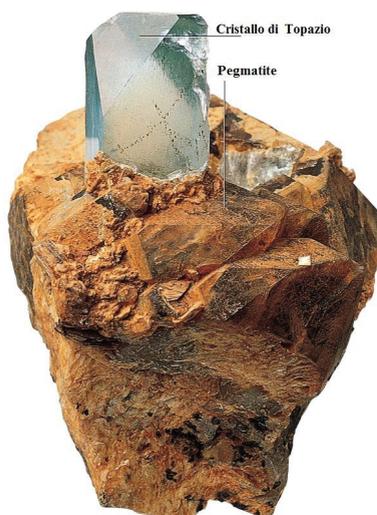
		Tetraedro
		Ottaedro

Figura 2. Poliedri di coordinazione

Ambiente Magmatico

Nelle zone più profonde delle pegmatiti⁶, rocce cristalline a grana grossa, si trovano cristalli di grandi dimensioni. Tra i più pregiati troviamo: topazio, berillio, tormalina, corindone.

Il *topazio* si forma principalmente in rocce plutoniche e vulcaniche di tipo acido ossia ricche in silicio e fluoro, più raramente nelle rocce metamorfiche. Le condizioni di formazione variano dalle alte temperature delle condizioni magmatiche, a quelle intermedie della fase pegmatitica fino a quelle più basse della fase idrotermale.



Topazio: Fase pegmatitica



Topazio in roccia pegmatitica

8



Topazio in roccia ignea

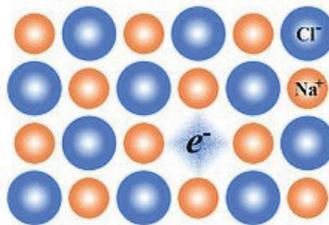


Quarzo in roccia pegmatitica

6. Pegmatiti o ipoabissali sono un tipo di rocce magmatiche che si raffreddano all'interno della crosta terrestre, a metà tra la superficie e la camera magmatica.

Questo silicato di alluminio è molto simile per struttura allo zirconio; sono, infatti, entrambi silicati che appartengono al gruppo dei nesosilicati, cioè la loro struttura mineralogica si basa su tetraedri isolati di SiO_4 , ne risulta una disposizione molto compatta così che i vari minerali presentano elevati valori di rifrangenza, durezza e densità.

Il topazio è un minerale allocromatico, è chimicamente puro e incolore; tracce di elementi quali cromo, manganese, ferro e/o centri di colore⁷ nella struttura reticolare gli conferiscono le molteplici colorazioni con cui è conosciuto. In natura si riscontrano le seguenti colorazioni, elencate dalla più rara alla più comune: rosso, rosa, blu-verde, azzurro (naturale), rosa-arancio, giallo-bruno, giallo-arancio (cherry), giallo, incolore (Figura 3). I topazi marroni, gialli, arancio, ciliegia, rossi e rosa, si trovano in Brasile e nello Sri Lanka. I topazi rosa si trovano in Pakistan e Russia.

Salgemma (NaCl)Centro di colore di NaCl

Il topazio come si presenta nella sua forma più pura, è una pietra trasparente, ma in natura possiamo trovarlo raramente senza impurità. Queste ultime presenti all'interno del reticolo cristallino, sono i responsabili in senso positivo della diversa colorazione della pietra.



Centri di colore



Assorbimento da ioni metallici

Figura 3 - Difetti cristallografici - Danilo Bersani - Dipartimento di Fisica
Università di Parma

7. Il centro di colore è un *difetto cristallografico* in cui una vacanza anionica di un cristallo è riempita da uno o più elettroni, a seconda della carica dello ione mancante nel cristallo. Gli elettroni di questa vacanza tendono ad eccitarsi nello spettro visibile, in modo tale che un materiale normalmente trasparente diventa colorato. I centri di colore sono spesso paramagnetici e si possono studiare con tecniche di risonanza paramagnetica elettronica.

Dalle imitazioni alle frodi

Di solito sfaccettato, spesso mescolato tagliati a causa dei lunghi forma prismatica di cristallo; alcune pietre tagliate a forma ovale allungata o pietre pendeloque.

L'indice di rifrazione è elevato, ciò significa che, se tagliata correttamente, la pietra si distinguerà per lucentezza e brillantezza.

Il topazio naturale eguaglia in bellezza moltissime pietre più rare, senza comunque raggiungerne il valore.

Come imitazioni del topazio si usa molto il quarzo citrino di colore intenso che si ricava riscaldando l'ametista mediocre: si tratta quindi di una imitazione del più raro quarzo giallo varietà citrino.

Per queste imitazioni di topazio si usa in commercio la dicitura erronea di *Topazio madera*; oppure anche di *Quarzo topazio*. Altre possibili diciture delle imitazioni sono il Topazio Aureo (Quarzo Citrino), Topazio fumè (Quarzo fumè), Topazio imperiale (Corindone giallo), Topazio Palmeira (Quarzo Citrino), Topazio Orientale (Zaffiro giallo).

Benché il blu ed il rosa siano presenti fra le colorazioni naturali, i Topazi con queste colorazioni sono estremamente rari, più facilmente in realtà si tratta di gemme pesantemente trattate.

Dal 1975 sono stati immessi sul mercato topazi azzurri sintetici, mentre la maggior parte dei Topazi blu intenso sono stati sottoposti a trattamento di irraggiamento per aumentarne la saturazione.

I topazi “indiani” o “orientali” sono corindoni gialli, tutte queste denominazioni sono da evitare. A volte vengono usati anche corindoni sintetici al posto di topazi naturali.

Esistono anche colorazioni intense, ma tutte ottenute con irraggiamento e/o trattamento termico.

È sovente confusa con altre pietre che presentano la medesima colorazione, specialmente con il quarzo che, nelle tonalità bruna e gialla, è spesso spacciato per topazio.

Appendice A

Gli studi moderni sull'antico Egitto e sul Sudan spesso non riescono a fare alcuna distinzione tra cusiti e nubiani. Consapevolmente o no, la maggior parte di questi studi usano i termini *Kush* e *Nubia* indifferentemente quando si riferiscono ai popoli che vivevano nella parte meridionale dell'attuale Egitto e nella parte settentrionale dell'attuale Sudan. Questa è una falsificazione d'identità e della storia di due grandi popolazioni che sono state la base delle culture e delle civiltà degli antichi Sudan ed Egitto.

Kush era il figlio maggiore di Cam, uno dei tre figli di Noè, e fu padre di Nimrod. Dai figli di Noè “uscirono le nazioni che si sparsero sulla terradopo il diluvio”. Cus (*Kush*) è considerato come eponimo^{1a} ed è usato

nelle Scritture Ebraiche per indicare i suoi discendenti e le regioni che essi abitarono. Dalla *Genesi* 10:6 apprendiamo che i figli di Cus furono: Seba, Avila, Sabta, Raama, Sabteca, mentre Nimrod viene ricordato in *Genesi* 10:8. Questi nomi sono identificati dagli studiosi moderni con tribù arabe.

Lo storico ebreo Giuseppe Flavio^{2a} nell'opera *Antichità Giudaiche* (in XX libri), scritta tra il 93-94 d.C., fornisce spiegazioni della popolazione di Cus, figlio di Cam e nipote di Noè: “*Cus regnò sugli etiopi, che esistono fino ad oggi, chiamati da tutti gli uomini in Asia cusiti*”.

Libro I:130 - 2. *I figli di Cam occuparono la terra che inizia dalla Siria, dai monti Amanò e dal Libano e tutto il distretto che continua in direzione del mare, e si appropriarono di quanto vi è fino all'Oceano. Ma i nomi in parte sono fuori uso o mancano completamente, in parte furono stravolti e strutturati in tutt'altro modo, e mal si conoscono; pochi sono quelli che si sono conservati incorrotti.*

Libro I:131 *Così dei quattro figli di Cam solo uno, Cuseo, non patì nulla dal tempo: infatti gli Etiopi, suoi sudditi, a tutt'oggi si chiamano Cusei, e così tutti quelli dell'Asia.*

Se si vuole approfondire quanto detto in precedenza da Giuseppe Flavio è bene consultare quanto ha scritto, a proposito della Tavola delle Nazioni^{3a}, Franco Maria Boschetto^{4a}:

"I discendenti di Cam

Come si vede, cominciamo ad avere un'idea precisa del carattere "etnografico" della tavola delle genti. Una ulteriore conferma ci viene dai quattro figli di Cam: Cus, Mizraim, Put e Canaan. Cus indica anzitutto la Nubia (l'attuale Sudan), dove si era formata la civiltà di Kush...."

"I figli di Cus ...

Pochi i dubbi sul fatto che Saba, nipote di Cus, rappresenti il favoloso paese da cui proviene la regina di Saba che va a trovare re Salomone nel I libro dei Re (10, 1-13); la tradizione poneva tale paese in Etiopia, ma alcune iscrizioni ritrovate nel nord dello Yemen, risalenti al IX secolo a.C., ci parlano di Saba come di un fiorente regno dell'Arabia meridionale, quella che i Romani chiameranno "Arabia Felix". Infatti a quei tempi tale regione era molto fertile, essendo bagnata da ingegnosi sistemi di irrigazione controllati da una grande diga che sbarrava il fiume Adhanat, oggi prosciugato: la diga crollò nel 542 a.C., un evento che viene ricordato nel Corano e descritto come un giudizio di Dio su quel popolo. Il Regno di Saba ci è noto anche attraverso iscrizioni assire dell'VIII secolo a.C., nelle quali era famoso come una delle quattro "Terre delle Spezie" (le altre erano

Minea, Kataban e Hadramaut), ed oggi ne sono stati riportati alla luce alcuni resti archeologici di proporzioni monumentali..."

1a. Eponimo (dal greco *epónymos*, *epi* "sopra" e *ónoma* "nome"; cioè "sopranominatore") è un personaggio, sia esso reale o fittizio, che dà il suo nome a una città, un luogo geografico, una dinastia, un periodo storico, un movimento artistico, o altro. In origine indicava il personaggio, in genere mitico, a cui si attribuiva la fondazione di una città o di una stirpe.

2a. Giuseppe Flavio storico ebreo (37–38 d.C.) nacque a Gerusalemme da Mattia discendente di una famiglia di sacerdoti e imparentato con il sommo sacerdote da parte della madre.

3a. La Tavola delle Genti detta anche Tavola delle Popolazioni è una sorta di geneologia dei discendenti di Noè che appare nella Genesi 10 della Bibbia ebraica, e rappresenta un'etnologia tradizionale.

4a. Franco Maria Boschetto, nato nel 1969, dopo aver svolto la professione di Ingegnere è dall'inizio del 2000 insegnante presso il Liceo Scientifico e Classico di Gallarate.

Appendice B

Il Regno di Cus (Genesi 2:13), in lingua ebraica *Kush*; nel regno di Cus si sviluppo una delle prime civiltà apparse nella valle del Nilo. Il termine Kush fu tradotto dalla LXX greca con *Aithiopia*, Etiopia. L'antico Regno d'Etiopia non corrispondeva a ciò che è oggi l'Etiopia, ma alla Nubia. La Nubia occupava la zona meridionale dell'attuale Egitto e la parte settentrionale della Repubblica del Sudan. (Figura 4)



Figura 4 – Sulla sinistra sono rappresentati i confini attuali dell'Egitto e del Sudan e la posizione dell'antico regno di Kush (Cus). Sulla destra è rappresentata la mappa del Mar Rosso con l'isola di Topazos.

Interessante è osservare che, nelle revisioni del 1927 del libro di Giobbe, in particolare (Giobbe 28:19), a proposito della sapienza così si legge:

1. *Non la eguaglia il topazio d'Etiopia; con l'oro puro non si può scambiare a peso.*

2. *Il topazio di Cus non si può paragonare con essa; Non si può pagare nemmeno con oro nella sua purezza.*

Notiamo (Figura 4) che l'antica Etiopia era senza alcun dubbio il regno di Cus.

Il nome di Settanta (sigla LXX) deriva dalla leggenda che narra della sua formazione, attestata nella *Lettera dello Pseudo Aristea avvenne* verso il 100 a.C. Si racconta che settantadue anziani di Gerusalemme, appartenenti alle dodici tribù d'Israele, furono invitati ad Alessandria d'Egitto da Tolomeo II Filadelfo per tradurre in greco i libri della Legge. La narrazione riferisce che il re accolse questi scribi ebrei ad Alessandria e si prostrò innanzi alla Legge sette volte. Terminata la traduzione, gli scribi furono rimandati a casa con grandi doni.

Al di là della leggenda, è probabile che la traduzione greca della Bibbia ebraica non sia avvenuta per impulso di qualche mecenate, ma per necessità ed esigenze interne alla comunità giudaica di Alessandria. Essendo il greco la lingua praticata normalmente, si sentiva l'urgenza di disporre di una traduzione greca dei testi sacri per un uso liturgico, ma anche giuridico, in vista del funzionamento interno della comunità.

I più antichi manoscritti della LXX comprendono frammenti di Levitico^{1b} e Deuteronomio^{2b}, risalenti al II secolo a.C. e frammenti del I secolo a.C. di Genesi, Levitico, Numeri^{3b}, Deuteronomio e Profeti Minori^{4b}.

Manoscritti relativamente completi della LXX sono il Codex Vaticanus e il Codex Sinaiticus del IV secolo e il Codex Alexandrinus del V secolo. Questi peraltro sono i manoscritti quasi completi più antichi dell'Antico Testamento: il testo ebraico completo più antico risale al 1008 (Codex Lenigradensis).

Importante, direi fondamentale, per chiarire alcuni aspetti controversi riscontrati sui manoscritti della LXX è l'opera di Alfred Rahlfs^{5b} *Septuaginta-Studien*, 3 volumi, stampati a Göttingen da Vandenhoeck & Ruprecht, (1904-1911).

1b) Levitico è il terzo libro della Torah ebraica e della Bibbia cristiana.

2b) Il Deuteronomio (*Deuteros nomos*) si presenta come la "Seconda Legge", la nuova Legge che Mosè consegna al popolo poco prima di morire. La Prima Legge, fu data da Dio a Mosè sul Sinai.

3b) Il Libro dei Numeri è scritto in ebraico e, secondo l'ipotesi maggiormente condivisa dagli studiosi, la sua redazione definitiva, ad opera di autori ignoti, è col-

locata al VI-V secolo a.C. in Giudea, sulla base di precedenti tradizioni orali e scritte. È composto da 36 capitoli che descrivono la storia degli Ebrei durante il loro soggiorno nel deserto del Sinai (circa 1200 a.C.).

4b) Profeti minori, o i 12 profeti, sono gli autori di 12 libri della Bibbia, considerati un unico libro nella Tanakh dagli ebrei e contati separatamente nell'Antico Testamento dai cristiani).

5b) Alfred Rahlfs (1865 – 1935) studioso tedesco della Bibbia. Nato a Linden nei pressi di Hannover, studiò Teologia protestante, Filosofia e Lingue Orientali ad Halle e Gottinga. Ottenne il dottorato in filosofia e la sua carriera professionale si svolse come professore straordinario nel 1914 divenne professore di antico testamento dal 1919 fino al 1933 anno in cui si ritirò dall'insegnamento.

Bibliografia

- Corsi Faustino. *Delle pietre antiche Libri quattro*. Roma 1833, Parte IV, Specie II pp. 271-272. Tipografia Salviucci e Figlio. Digitalizzato da Google.
- Antonio Licciulli Scienza e tecnologia dei materiali Struttura del corindone ($\alpha - Al_2O_3$) http://www.antonio.licciulli.unisalento.it/didattica/%20brindisi/strutture_cristalline.pdf
- Biblistica: uno studio accurato della sacra scrittura. http://www.biblistica.it/wordpress/?page_id=3691
- Giuseppe Flavio. *Antichità Giudaiche*. <http://www.alateus.it/Antichitait.pdf>
- Franco Maria Boschetto. *Le tre famiglie di popoli*. http://www.fmboschetto.it/religione/Genesi/Genesi_7.htm
- Fetto Paquale. Le dodici pietre: il Crisolito. (2015) *CnS-La Chimica nella Scuola*. XXXVII, 4, pp. 63-82. Aracneeditrice.

Sitologia

- <http://www.maranatha.it/Bibbia/3-LibriSapienziali/22-GiobbePage.htm>
- <http://bes.biblia.org/c-le-traduzioni-del-testo/la-lxx-.html>
- <http://xoomer.virgilio.it/chiesadicristodipadova/genesi08.html#indice>
- https://it.wikipedia.org/wiki/Figli_di_No%C3%A8
- <http://www.minerali.it/articolo-scientifico/Etimologia-dei-termini-gemmologici/Scienza-e-Curiosita/e27258df-9a13-43ee-bfa5-76694b7acd09/Il-termini-zaffiro-.aspx>
- <http://www.minerali.it/scheda-scientifica/66274864-fbf4-4be2-8b06-24552fbcc1f5/topazio-topaz.aspx>
- <http://www.gagliesigioielli.it/faq.asp?a=7>
- <https://it.wikipedia.org/wiki/Septuaginta>
- <https://it.wikipedia.org/wiki/Levitico>
- <https://it.wikipedia.org/wiki/Deuteronomio>
- [https://it.wikipedia.org/wiki/Numeri_\(Bibbia\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Numeri_(Bibbia))
- https://it.wikipedia.org/wiki/Profeti_minori



SPAIS

Scuola Permanente per l'Aggiornamento degli Insegnanti di Scienze Sperimentali

Quali conoscenze di base per comprendere l'innovazione?

La scuola si pone come obiettivo l'individuazione e il conseguente approfondimento delle **conoscenze di base** che sono necessarie nel campo della biologia, della chimica, della fisica e della geologia per comprendere e comunicare i contenuti fondamentali della **moderna ricerca scientifica e tecnologica**.

XI Edizione

Scienza inForma - La Forma nella Scienza Le Dune Sicily Hotel Catania, 24-29 luglio 2017



"Che fai?" gli domandai. E lui, a sua volta, mi fece una domanda. "Qual è la forma dell'acqua?". "Ma l'acqua non ha forma!" dissi ridendo: "Piglia la forma che le viene data" (Andrea Camilleri, *La forma dell'acqua*, Sellerio editore - Palermo, 1994)

La Scuola affronta il tema della "forma" in vari ambiti scientifici, dalle molecole all'Universo proponendosi di far uscire fuori dalla lavagna le molecole evidenziandone la struttura tridimensionale e di approfondire l'analisi dell'importanza della forma in vari campi del sapere scientifico. Come sempre proporrà anche stimolanti "contaminazioni" fra scienze, storia, filosofia e arte.

SPAIS 2017 è rivolta a docenti di discipline scientifiche della scuola secondaria di primo e secondo grado. Sono previste lezioni frontali (23 h) e lavoro in gruppo e attività sperimentali (9 h), suddivisi in 6 giornate consecutive. Interverranno come relatori autorevoli esponenti del mondo della ricerca accademica e industriale di vari ambiti scientifico-tecnologici e esperti di didattica delle Scienze.

La Scuola è una delle attività formative comprese nei progetti di sede delle Università di Catania, Messina e Palermo incluse nei progetti nazionali delle aree di Chimica, Fisica, Scienze Biologiche e Biotecnologie e Scienze della Terra del Piano Nazionale Lauree Scientifiche.

INFORMAZIONI E ISCRIZIONI

infospais@gmail.com

www.unipa.it/flor/spais.htm



UNIVERSITÀ
degli STUDI
di CATANIA



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 giugno del 2017
dalla tipografia «System Graphic S.r.l.»
00134 Roma – via di Torre Sant'Anastasia, 61
per conto della «Giacchino Onorati editore S.r.l. – unipersonale» di Canterano (RM)