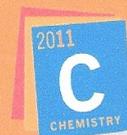


Giornale di Didattica e Cultura della Società Chimica Italiana

C_nS

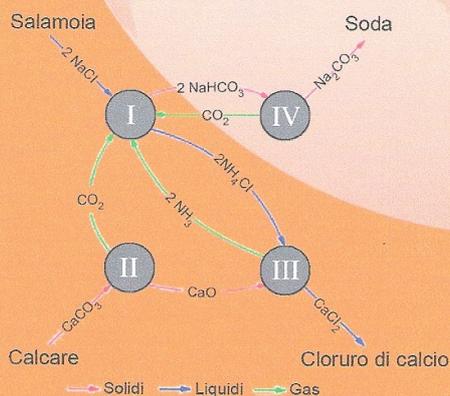
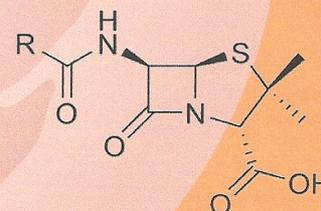


International Year of
CHEMISTRY
2011

LA CHIMICA NELLA SCUOLA



Anno Internazionale della Chimica
Année Internationale de la Chimie
Internationales Jahr der Chemie
International Year of Chemistry
Año Internacional de la Química
Ano Internacional da Química



International Union of
Pure and Applied
Chemistry

STORIA DELLE SCIENZE
CHIMICA E COMUNICAZIONE
DIDATTICA
EPISTEMOLOGIA
MUSEOLOGIA

<http://www.soc.chim.it>
<http://www.didichim.org>

1	Editoriale Luigi Campanella	S O M M A R I O
2	Ricordo di Leonello Paoloni Luigi Campanella	
3	I cristalli liquidi <i>Un'introduzione critica - Parte II</i> Alessandro Marchetti, Valentina Domenici	
18	Bilanciamento delle Reazioni Chimiche e Sistemi Lineari Giorgio Follo, Silvio Lavagnino	
27	A chemoenzymatic synthesis of Baclofen <i>Looking for an effective way of concluding a basic course of organic chemistry</i> Francesco Gurzoni and Andrea Burato	
33	La didattica della chimica: dal modello macroscopico al modello microscopico Francesco Giuliano	
41	Pensare il futuro: Aurelio Peccei e il Club di Roma Marco Santandrea	
54	Arte della Natura, Armonia e Chimica sublime nel Barocco Padano Giorgio Maggi	
59	Eventi	
60	Prove di "Scienze integrate": valutazione delle relazioni di laboratorio Antonella Casarini, Pietro Bonora	
63	Flash	
64	Istruzioni per gli Autori	



Società Chimica Italiana

CnS-La Chimica nella Scuola

Anno XXXIII n. 1
Gennaio - Marzo 2011

Direttore responsabile
Luigi Campanella
Dipartimento di Chimica
Piazzale Aldo Moro, 5 - 00185 ROMA
e-mail: luigi.campanella@uniroma1.it

Redattore
Pasquale Fetto
Via Carlo Iussu, 9
40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. 051463312 cell. 3280221434
e-mail: pasquale.fetto@didichim.org

Editore
SCI - Viale Liegi 48/c - 00198 Roma

Comitato di redazione

Aldo Borsese, Liberato Cardellini, Marco Ciardi, Valentina Domenici, Pasquale Fetto, Silvano Fuso, Fabio Olmi, Pierluigi Riani, Silvia Ripoli, Gianmarco Ieluzzi, Giovanni Villani

Comitato Scientifico

Aldo Borsese, Luigi Cerruti, Rinaldo Cervellati, Giacomo Costa, Michele Antonio Floriano (*Presidente della Divisione di Didattica*), Ezio Roletto, Giuseppe Valitutti, Richard Zare.

Periodicità: trimestrale (4 fascicoli all'anno)

Abbonamenti annuali

Italia euro 48 - Paesi comunitari euro 58
Fascicoli separati Italia euro 12
Fascicoli separati Paesi extracomunitari euro 15

Gli importi includono l'IVA e, per l'estero le spese di spedizione via aerea
Spedizione in abbonamento postale Art.2 comma 20/C Legge 662/96 Filiale di Bologna

Ufficio Abbonamenti

Manuela Mostacci
SCI, Viale Liegi, 48/c - 00198 - Roma
Tel. 068549691 fax 068548734
E-mail: soc.chim.it@agora.stm.it

Copyright 1995 Società Chimica Italiana

Pubblicazione iscritta al n. 219 del registro di Cancelleria del Tribunale di Roma in data 03.05.1996

La riproduzione totale o parziale degli articoli e delle illustrazioni pubblicate in questa rivista è permessa solo se autorizzata dalla Direzione

La direzione non assume responsabilità per le opinioni espresse dagli autori degli articoli, dei testi redazionali e pubblicitari

Editing

Pasquale Fetto
pasquale.fetto@didichim.org

Stampa
DE VITTORIA s.r.l.

Via Degli Aurunci, 19 - 00185 ROMA

Cari Lettori,

il cambio alla Direzione di CnS che oggi assumo vuole essere l'occasione innanzitutto per ringraziare l'amico Riani per quanto fatto in questi anni e poi per cercare di produrre alcune nuove iniziative finalizzate al successo di CnS. Quali? Il collegamento con DD-SCI è una linea di comportamento già percorsa nel passato e che si intende rinforzare. In questo senso contributi ed osservazioni sono i benvenuti. Si vuole poi estendere i campi di interesse del giornale, la comunicazione e la diffusione della chimica, accanto ai metodi ed alle forme innovative di didattica della chimica ed alla storia della chimica anche inserendovi la museologia, l'epistemologia, la multidisciplinarietà. In questo senso invitiamo tutti i colleghi a volere considerare con attenzione queste opportunità offerte. Circa il 2011 tenuto conto che si tratta dell'anno internazionale della chimica il giornale contribuirà alla sua celebrazione e dedicherà il suo annuale numero speciale alla Chimica per i Beni Culturali.

Infine si intende con il prezioso aiuto della SCI dotare il giornale di un servizio di News che saranno comunicate nell'ambito della SCI-LIST come CnS-News. Tale servizio vuole soprattutto rivolgersi agli insegnanti della scuola spesso alla ricerca di fonti di informazioni affidabili e tempestive e sarà tanto più efficace quanto più tutti noi e tutti voi contribuiranno a sostenerlo da un lato essendo vigili rispetto a notizie di interesse del giornale e dall'altro essendo disponibili e volenterosi nel trasmetterle direttamente a me che provvederò a metterle in rete. Infine per dare risalto internazionale al giornale gli articoli a partire dal 2011 aranno corredati da un riassunto in lingua inglese redatto dall'autore o, a sua richiesta, gratuitamente dal CdR.

Un caro saluto

Luigi Campanella

Leonello Paoloni

Collega ed Amico

Parlare di Leonello Paoloni è per me parlare di un collega, ma soprattutto di un amico. Quando, circa 20 anni fa, entrammo in confidenza e gli dissi che da Preside della Facoltà di Scienze MFN della Sapienza avrei istituito all'interno della Facoltà i moduli storici delle discipline fondamentali, fra le quali la chimica, e che avevo la preoccupazione di non avere le forze docenti necessarie a portare avanti il progetto mi disse: se hai bisogno di un giovane eccomi qua anche se i tanti chilometri che ci separano alla mia età (di allora) mi pesano un po'!" di fatto in contrasto con se stesso. Mi aiutò ad impostare qualcuno di quei moduli e quando li riproposi come Presidente SCI i suoi suggerimenti di 20 anni prima risultarono ancora molto preziosi. Da Presidente SCI l'ho rivisto in occasione di una ricerca storica condotta sui documenti SCI; rimasi colpito dall'entusiasmo lo stesso di 20 anni prima e probabilmente anche di 50 anni prima, dico probabilmente perché allora lo conoscevo assai meno. Fu un piacere vederlo con una certa continuità nei locali della SCI con l'entusiasmo e la professionalità di sempre portare avanti le ricerche che insieme avevamo concordato e riferite alle origini della Gazzetta Chimica Italiana ed alla vita di alcuni storici chimici in relazione al prezioso lavoro svolto nella stessa direzione del prof. Scorrano in occasione del Centenario della SCI. Mi lega a Leonello anche l'amicizia con il figlio Giovanni: storia della chimica e musei, scuola ed università i nostri punti di contatto, in fondo gli stessi legami che ho avuto con Leonello e che ritrovo in Giovanni: mi faranno forse sentire meno la sua mancanza, ma non possono alleviare il mio, il nostro dolore.

Luigi Campanella

I cristalli liquidi

Un' introduzione critica - Parte II

Alessandro Marchetti^{a,b*}, Valentina Domenici^c

a. Scuola Normale Superiore, Piazza dei Cavalieri 7, 56127 Pisa (Italy).

b. Centre de RMN à Très Hauts Champs 5 rue de la Doua, 69100 Villeurbanne (Francia).

c. Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale, Università degli studi di Pisa,
via Risorgimento 35, 56126 Pisa (Italy).

Abstract

Liquid crystal (LC) is nowadays a very commonly-used term but, like many other words imported from scientific literature into common life, its deep meaning is poorly understood. In fact, this term is the product of an historical evolution and, although its composite form tends to suggest the concept of something between the two aggregation states, this idea is partially ambiguous and sometimes misleading. This is due to several reasons: 1) liquid crystals are a peculiar and not an intermediate aggregation state, they are more precisely "mesophases"; 2) liquid crystals are not the only class of materials showing properties attributable to the liquid and solid states, but they are part of the wider class of so-called "soft materials"; 3) "LC" implicitly refers to a "defined" type of substance (like an "alcohol", or a "base"), whilst it should be more correct to introduce the concept of "liquid crystalline properties", which are typical of pure substances as well as of mixtures, and specific of phases under a defined narrow or wide interval of thermodynamic conditions. All these statements should be kept in mind when introducing the basic concepts of the LC field to the newcomers: it is indeed very important to stress the principle that a popular explanation for a general audience is often differently targeted than a critical introductory explanation for people that really want to focus on the scientific aspects.

According to these guidelines, in this second part of our didactic review, following the basic concepts provided in the first part (A. Marchetti, V. Domenici, in 'La Chimica nella Scuola', Anno 2010, vol. III), we will go into details of the two main categories of Liquid Crystals: the "Thermotropic" and "Lyotropic" LC systems.

Thermotropic liquid crystalline molecules, called "mesogens", will be described in terms of their basic chemical and conformational features. Depending on their average shape, eventual molecular chirality and type of mesogen-mesogen interactions, several organized supra-molecular structures may be thermodynamically stable in a certain temperature range between the isotropic and the crystalline phases: starting from the calamitic (rod-like) mesogens to the more complex dendrimer and bent-shape molecules, we will briefly review the most commonly observed mesophases (i.e. nematic, smectic, ...), linking their structural and self-assembling properties to their possible technical applications.

Finally, in the last part of this review, we will introduce the definition of "lyotropic" systems, discussing their heterogeneous nature and variety of aggregation properties. The presence of one or more different molecular components diluted in a solvent, which very often is water, and the role of their relative concentration are key to understanding this class of "soft systems". The intrinsic complexity of lyotropic liquid crystals and their ability to form stable aggregates of different shapes (i.e. micelles, lamellar structures, ...) allows them to play a pivotal role in several applications spanning from medical and drug-delivery microsystems to minerals extraction methods.

Parole chiave:

materiali, cristalli liquidi, fluidi, anisotropia, mesofasi, classificazione, nematico, colesterico, smettico, storia, applicazioni.

Parte II

In questa seconda parte del lavoro inizieremo col prendere in esame le fasi liquido cristalline termotropiche, di cui vedremo le caratteristiche generali e i principali tipi di mesogeni. Ci concentreremo poi sui mesogeni calamitici, di cui vedremo la struttura generale e le principali mesofasi, usando queste nozioni per accennare brevemente anche alle altre mesofasi liquido cristalline, ottenute da mesogeni discotici e delle loro mesofasi, da dendriti e da policatenari, da cristalli liquidi "banana" e da cristalli liquidi polimerici. Nella seconda ed ultima Sezione tratteremo il settore dei liotropici, mostrando come questo settore delle scienze dei materiali sia molto interessante anche dal punto di vista applicativo. Per molti dei termini tecnici, forniremo una pratica traduzione in lingua inglese che possa meglio orientarvi nella comprensione delle fonti bibliografiche.

*Autore per corrispondenza: e-mail: a.marchetti@sns.it; tel: 0033-(0)4-26233873; fax: 0033-(0)4-78896761

1. CRISTALLI LIQUIDI TERMOTROPICI

Le mesofasi ottenute riscaldando un solido cristallino (oppure raffreddando un liquido isotropo) sono dette termotropiche, in quanto la transizione di fase è indotta dalla temperatura. Quando un normale cristallo ordinato viene riscaldato, il moto termico delle molecole all'interno del suo reticolo aumenta finché le vibrazioni divengono così intense da distruggerne la precedente disposizione, dando così luogo ad una fase completamente disordinata. La temperatura alla quale ciò avviene è detta temperatura di fusione, mentre il calore necessario a rompere il reticolo è detto calore latente di fusione. Nei cristalli liquidi termotropici questo processo di fusione avviene attraverso una o più fasi intermedie, dando origine quindi a degli ulteriori passaggi di fase, caratterizzati, come la normale fusione/solidificazione, da una precisa temperatura, da calore latente non nullo e da una variazione discontinua della densità (transizione del primo tipo secondo Ehrenfest)[1]. In genere le temperature di transizione ai margini inferiore e superiore dell'intervallo di esistenza di mesofasi liquido cristalline vengono denominate in modo più specifico 'temperatura di fusione' (T_f) e 'temperatura di isotropizzazione' (T_i).

Le fasi termotropiche si dividono a livello fenomenologico in due categorie:

- enantiotropiche, se la transizione di fase avviene sia raffreddando che scaldando il campione;
- monotropiche, nel caso in cui questa avvenga in una sola direzione, o in raffreddamento o in riscaldamento.

Ricordiamo che il diverso comportamento di un sistema lungo un percorso (termodinamico in questo caso) in due sensi distinti prende in letteratura scientifica il nome più generale di isteresi.

Il mesogeno

In modo schematico, in generale si abbina al concetto di fase termotropica il concetto di mesofase composta da sostanze pure, in cui quindi l'unità mesogenica non è altro che una semplice molecola, detta mesogeno. Non mancano eccezioni a questa visione, che accenneremo più avanti.

Per molti anni, tuttavia, i cristalli liquidi di sostanze pure sono stati gli unici cristalli liquidi davvero indagati a livello scientifico, soprattutto per quel che riguarda la relazione fra forma e "proprietà" delle molecole. Anni di letteratura scientifica forniscono un numero enorme di dati che permettono di tracciare una classificazione indicativa dei principali mesogeni in base alla loro forma[2]. Tuttavia, nonostante ci siano delle "linee guida" che accomunano le molecole appartenenti a certe classi di cristalli liquidi, non sempre quello che è prevedibile sulla carta si realizza nella pratica, e siamo quindi ben lungi dal poter stabilire se un composto non ancora sintetizzato possieda eventualmente proprietà liquido cristalline. In generale la peculiarità dei mesogeni termotropici è quella di avere anisotropia di forma, in altre parole essere non sferici, a differenza di quanto accennato nel caso dei cristalli plastici. Il modello geometrico di riferimento per molti di questi è l'ellissoide, cioè la superficie quadrica che costituisce l'analogo dell'ellisse in tre dimensioni. L'equazione dell'ellissoide in un sistema di coordinate cartesiane xyz è:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1$$

dove a , b e c sono numeri reali positivi che determinano la forma dell'ellissoide, e sono i cosiddetti semiassi, legati per una molecola reale alle componenti del momento di inerzia tensoriale. Se tutti i valori sono differenti si ha un ellissoide scaleno, se due di questi numeri sono uguali (per l'approssimazione a livello "pratico" basta che siano "simili"), l'ellissoide si dice **ellissoide di rotazione**. Un'ulteriore distinzione in base alla forma è tra:

- *mesogeni calamitici*, in inglese *rod-like*. Le molecole sono allungate e vengono rappresentate da rotori detti prolati. La simmetria effettiva è cilindrica, con asse lungo molecolare parallelo all'asse del cilindro ($a > b = c$);
- *mesogeni discotici*, in inglese *disk-like*. Le molecole hanno forma di disco, con simmetria di rotori oblati. La simmetria effettiva è sempre cilindrica, con l'asse perpendicolare al piano molecolare ($a < b = c$);

Tuttavia, il comportamento liquido cristallino termotropico è stato riscontrato in fasi di molecole di altra forma, *mesogeni* formati da molecole piegate, in inglese *banana-shaped* o *bow-shaped*, che danno luogo a fasi particolari non sempre riconducibili a quelle formate dagli altri termotropici, il cui studio è recente e tuttora aperto.

Unità mesogeniche non molecolari possono infine originare fasi termotropiche non costituite da sostanze pure, e questo riguarda, ad esempio, i *cristalli liquidi di tipo sanidico*, in inglese *lath-shaped* o *board-shaped*, che sono costituiti generalmente da dimeri di molecole interagenti attraverso legami a idrogeno, e i *cristalli liquidi di tipo polimerico* (PLC o *polymer liquid crystals*).

Struttura dei mesogeni

Vediamo ora quale struttura chimica è in genere associata ai mesogeni termotropici. I primi tipi di mesogeni studiati sono stati i calamitici con la loro caratteristica forma a bastoncino (**Fig. 1**).

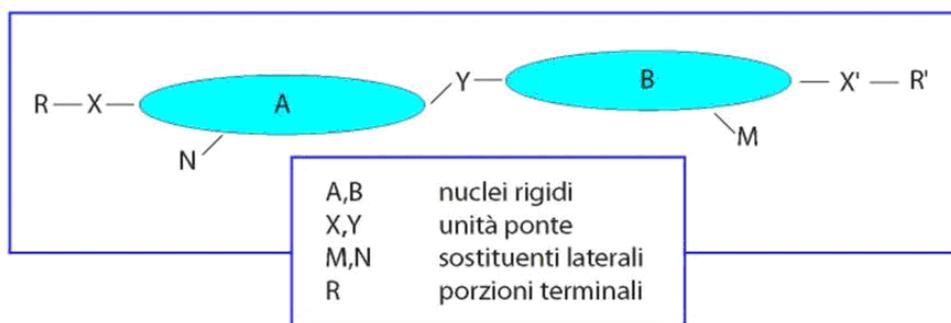


Figura 1. Struttura schematica di un mesogeno calamitico termotropico “standard”. Le sigle corrispondenti alle porzioni sono riportate, riquadrate, in legenda.

Le molecole di mesogeno presentano uno o più frammenti rigidi, a scarsa mobilità conformazionale, che ne formano una sorta di nucleo centrale (detto *core*), a cui sono collegate estremità mobili con elevata flessibilità conformazionale. Le varie componenti, rigide e flessibili, possono essere legate tramite legami C-C o tramite gruppi funzionali, detti *linker*. In generale si possono individuare quattro tipi di componenti strutturali (il nucleo rigido, le porzioni terminali, le unità ponte e i sostituenti laterali).[2] Di queste solo le prime due sono essenziali e imprescindibili per conferire proprietà liquido cristalline. Il nucleo rigido non è quasi mai un unico blocco ma è formato da due (o più) sottostrutture di natura organica dotate di scarsa mobilità conformazionale (indicati in **Fig. 1**, come A e B). Queste porzioni rigide di base possono essere fra loro “fuse” (connesse eliminando alcuni legami delle unità di partenza, come nel caso del naftalene), oppure unite con formazione di nuovi legami, ad esempio un semplice legame C-C o da un gruppo Y (che chiameremo “nodo”), tale da garantire comunque una forma allungata. In genere queste unità strutturali sono di natura aromatica ed eteroaromatica, ma esistono anche mesogeni calamitici aventi anelli ciclici saturi, o anelli con legami a ponte di idrogeno tra due gruppi carbossilici. I nodi o *linking groups* (X, X' e Y, in **Fig. 1**) possono essere interposti all'interno del *core* o anche tra R e R' (i gruppi esterni) ed il nucleo rigido della molecola. Tradizionalmente il loro inserimento nelle strutture dei mesogeni fu dovuto a necessità di sintesi, ma ben presto ci si rese conto che essi non avevano solo un semplice ruolo connettivo, essendo fondamentali nel modificare la lunghezza dei mesogeni e per incrementare l'anisotropia di polarizzabilità molecolare. Per facilitare la formazione di fasi liquido cristalline questi gruppi devono avere struttura compatibile col resto della molecola (ad es. se connettono due unità rigide devono farlo preservando la linearità del *core*): in altri termini essi modulano, più che alterare, le proprietà chimico-fisiche del mesogeno. I gruppi esterni, R e R', svolgono il ruolo di porzioni terminali. Ne esiste una gran varietà: i più comuni sono rappresentati da atomi piccoli e fortemente polari quali i gruppi ciano (CN), tiociano (SCN) e l'atomo di fluoro (F), oppure da catene alchiliche ed alcossiliche di varia lunghezza. Oltre a ciò la funzione delle catene alchiliche e alcossiliche è quella di stabilizzare l'ordine orientazionale molecolare. Molti cristalli liquidi hanno strutture che presentano due catene terminali, uguali o diverse, con un numero pari o dispari di atomi di carbonio, caratteristica apparentemente irrilevante, ma in realtà di grande impatto sulla natura delle mesofasi di questi composti. L'aumentare del numero di unità rigide porta in genere a formare più facilmente fasi cristalline e ad innalzare il loro punto di isotropizzazione, mentre per le porzioni flessibili l'aumento della lunghezza determina una diminuzione delle temperature di transizione. Inoltre, le deviazioni dalla linearità delle catene alchiliche e alcossiliche, dovute alla loro conformazione “*all trans*”, rende meno stabili le fasi liquido cristalline abbassandone di conseguenza la temperatura di isotropizzazione. Anche la natura chirale delle fasi liquido cristalline spesso è legata alla presenza di centri chirali proprio sulle porzioni terminali dei mesogeni. Di natura decisamente diversa da R e R' sono invece i sostituenti laterali (M e N, in **Fig. 1**), come F, Cl, Br, CN, NO₂, CH₃ e CF₃, specificatamente inserite per modulare le proprietà chimico-fisiche della fase. L'effetto delle sostituzioni è molto più marcato sui frammenti rigidi, ad es. aromatici, piuttosto che sulle parti flessibili terminali. Fra i possibili gruppi laterali gli alogeni, soprattutto il fluoro per i sistemi aromatici, sono particolarmente adatti sia perché sono di più facile sintesi (e quindi disponibili commercialmente a basso costo), sia perché le loro dimensioni sono tali da non generare fasi instabili, oltre al fatto che la loro polarità genera cambiamenti molto interessanti nelle mesofasi.

Descrizione delle mesofasi

Indipendentemente da come la fase si sia formata, si distinguono due grandi categorie di fasi liquido cristalline termotropiche: le fasi *nematiche* e quelle *smettiche*. In questa sezione le tratteremo approfonditamente, per poi passare alle fasi definite *chirali*. Ricordiamo che la prima grande classificazione di Friedel, nel 1922, era originariamente tripartita, perché aggiungeva alle nematiche e smettiche le mesofasi colesteriche, che adesso vengono inserite nel settore

dei cristalli liquidi chirali. La classificazione che faremo è in linea con le trattazioni divulgative e i testi di chimica di base, anche se occorre ricordare che oggi si conoscono più di 30 fasi liquido cristalline diverse.

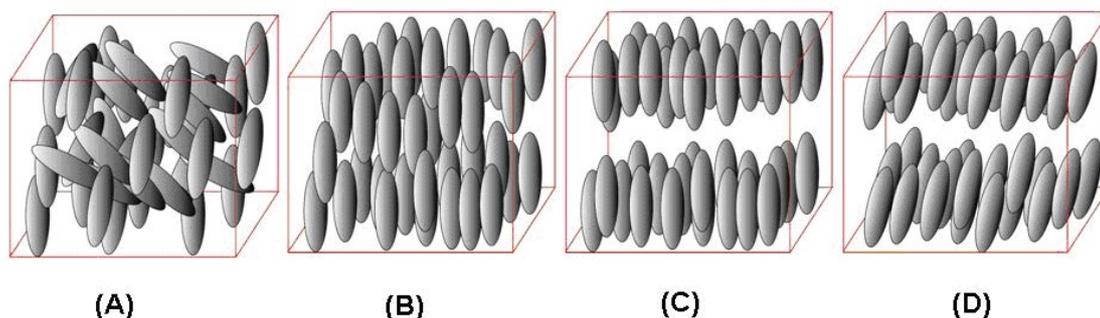


Figura 2. Principali tipi di mesofasi liquido cristalline termotropiche di un mesogeno molecolare calamitico “standard”, ordinate da sinistra a destra in funzione del crescente ordine al loro interno (temperatura decrescente): (A) fase liquida isotropa (*I*), (B) fase nematica (*N*), (C) fase smettica A (*SmA*) e (D) fase smettica C (*SmC*).

Fasi nematiche:

Sono in assoluto i cristalli liquidi sintetici più diffusi, tanto che al giorno d’oggi se ne conoscono svariate decine di migliaia. Generalmente si trovano indicati con la lettera *N*. Nematico viene dal greco $\nu\eta\mu\alpha$ (“filo”) e fu coniato da Friedel perché, osservando al microscopio ottico uno strato sottile di queste sostanze, notò strisce parallele simili a filamenti (si trattava più propriamente di difetti del tessuto ottico). In questa mesofase le molecole allungate tendono ad allinearsi mediamente lungo una direzione preferenziale, il già citato direttore, manifestando pertanto ordine orientazionale a lungo raggio, ma non posizionale (**Fig. 2B**). La simmetria della mesofase è uniassiale attorno al direttore: i.e. la natura della fase non cambia ruotando attorno a quest’ultimo. La direzione del direttore non è costante all’interno del campione se non in presenza di perturbazioni esterne, come campi elettromagnetici o particolari condizioni di superficie. In assenza di questi “agenti orientanti”, la direzione del direttore varia con continuità in modo da mantenere localmente (in piccoli microdomini) una simmetria uniassiale ma macroscopicamente una sostanziale isotropia. Nella fase nematica le molecole mostrano di regola una discreta mobilità intramolecolare congiuntamente ad una certa dinamicità conformazionale. I moti diffusivi traslazionali sono simili a quelli presenti nella fase liquida isotropa. Una delle conseguenze dirette di questa elevata mobilità è la bassa viscosità della fase nematica, molto simile a quella presente nei liquidi isotropi, anche se essa è anisotropa per effetto dell’ordine orientazionale. Alcune eccezioni sono state osservate recentemente per fasi nematiche formate da sistemi molecolari non calamitici, ad es. da mesogeni *banana-shaped* o da polimeri liquido-cristallini.

Fasi smettiche

Il nome deriva dal greco $\sigma\mu\eta\gamma\mu\alpha$ (“sapone”), dovuto al fatto che le soluzioni di prodotti detergenti sono esempi di questa categoria di cristalli liquidi. In queste fasi le molecole sono allineate tra loro come in un nematico, ma anche disposte in strati paralleli in grado di scorrere l’uno sull’altro. Quindi, essi posseggono oltre ad un ordine orientazionale anche un ordine posizionale, perché nella direzione perpendicolare ai piani compare una distribuzione regolare e periodica dei centri di massa delle molecole. Rispetto alla nematica si tratta di una fase più ordinata, stabile a temperature più basse, con viscosità elevata nonostante una certa fluidità indotta dallo scivolamento dei piani gli uni sugli altri. Questo tipo di fase presenta un alto grado di polimorfismo, perché anche se l’ordine è globalmente maggiore, all’interno dei piani le molecole possono orientarsi in modi fra loro assai differenti dando origine a una gran varietà di mesofasi[3], denominate generalmente con la sigla **Sm** seguita da una lettera dell’alfabeto, attribuita in base all’ordine di scoperta, che individua la sottocategoria di fase smettica (A, B, C...). Queste mesofasi vengono caratterizzate principalmente tramite misure di diffrazione a raggi X, dalle informazioni ottenibili dalla miscibilità fra le fasi in sistemi binari, dalle immagini prodotte al microscopio ottico e dalle proprietà calorimetriche. Un’ulteriore suddivisione esiste tra le mesofasi smettiche con o senza ordine posizionale all’interno dei piani. Le mesofasi smettiche più fluide più comuni e meglio caratterizzate sono quelle che non hanno ordine posizionale nei piani e sono dette A e C[4] (**Fig. 2C e Fig. 2D**).

Nella smettica A (*SmA*) il direttore è perpendicolare al piano smettico e non c’è nessun particolare ordine posizionale all’interno degli strati, dove le molecole sono mediamente parallele e libere di ruotare attorno all’asse lungo molecolare (**Fig. 2C**). La fase è uniassiale, essendo le due direzioni perpendicolari a quella descritta dal direttore del tutto equivalenti in termini di proprietà elettroottiche e meccaniche. In alcune *SmA* lo spessore dei piani è più piccolo della lunghezza massima dei mesogeni. Assai più raro è invece il caso in cui lo spessore fra i due strati supera la lunghezza

molecolare, cosa che si verifica quando le molecole hanno gruppi fortemente polari in posizione laterale, tali da far assumere ai mesogeni una disposizione antiparallela per minimizzare le repulsioni intermolecolari.

La smettica C (SmC), a differenza della SmA , è caratterizzata dalla presenza di un angolo di inclinazione (*tilt*, in genere indicato con la lettera greca q) tra il direttore locale, interno ai piani smettici, e la normale ai piani stessi, fatto questo che la rende biassiale (e nel complesso monoclina) (**Fig. 2D**). Sebbene la mobilità molecolare fra piani sia simile alla fase smettica A, la rotazione attorno all'asse principale di simmetria molecolare sembra essere più impedita. L'angolo di inclinazione dipende dalla temperatura e tende a zero in prossimità della transizione $SmC-SmA$.

Esistono poi mesofasi smettiche con ordine posizionale nei piani smettici. Tra queste vi sono sia fasi che presentano un'orientazione molecolare media perpendicolare ai piani, sia fasi dove i mesogeni sono inclinati (o *tiltati*) rispetto alla normale dei piani smettici. Nel caso di impaccamenti molecolari compatti le molecole tendono ad assumere una struttura esagonale all'interno dei piani dando origine alla fase smettica B (SmB), di cui esistono due varianti: con ordine a lungo raggio, quasi cristallina (detta anche SmL) o con ordine a corto raggio (SmB esatica o più semplicemente "fase esatica"). Nel caso di strutture inclinate, con ordine posizionale nei piani, si distinguono alcune varianti inclinate della SmB esatica (dette I, F e M) e varianti della SmB cristallina, ovvero G e J. In particolare, nella SmG è presente un ordine tridimensionale a corto raggio. Ci sono anche casi più complessi, come la SmE , in cui si ha una disposizione degli assi corti a lisca di pesce, a formare una mesofase biassiale. Due possibili strutture inclinate sono esibite dalla smettica H e dalla smettica K, che si differenziano per l'inclinazione dell'orientazione molecolare media. Riassumendo, le mesofasi smettiche più comuni sono la SmA e la SmC , a cui si affiancano varianti con ordine all'interno dei piani quali la SmB e i suoi derivati (I, F, J, G e M), fino alle fasi E, H e K, che somigliano a veri e propri cristalli per il loro marcato ordine posizionale.

La regola di Sackmann e le fasi rientranti

Il polimorfismo dei sistemi liquido cristallini non può essere predetto rigorosamente e non esiste una regola generale capace di mettere in relazione il manifestarsi delle varie fasi col variare della temperatura. Attualmente, comunque, data la grande quantità di cristalli liquidi sintetizzati, si possono trovare strette analogie fra sequenze di fasi distinte in composti polimorfici simili: questo lavoro di razionalizzazione è stato svolto da Sackmann. A lui si deve la seguente regola empirica sull'ordine di comparsa delle mesofasi termotropiche, che illustra come esse si manifestino in generale al crescere della temperatura (da sinistra verso destra):

{solido cristallino - SmH - SmK - SmE - SmG - SmJ - SmF - SmL - SmI - SmB_{Hex} - SmM - SmC - SmA - N - Isotropo}

La regola di Sackmann prevede un decremento dell'ordine molecolare avvicinandosi alla fase isotropa, con le fasi nematiche che seguono le smettiche, che vedono al loro interno manifestarsi prima quelle quasi-cristalline (SmH , SmK , SmE), poi quelle caratterizzate da minore ordine posizionale all'interno dei piani (SmG , SmJ , SmF , SmL , SmI , SmB_{Hex} , SmM) e infine quelle prive di ordine posizionale all'interno dei piani (SmC e SmA). Fino a oggi non è mai stata scoperta una sostanza capace di esibire tutte le mesofasi riportate nella regola di Sackmann: al momento si conoscono molti smettogeni aventi più di cinque fasi smettiche distinte e altre aventi cinque fasi smettiche e una nematica. La regola di Sackmann è sostanzialmente valida per tutti i mesogeni calamitici, con eccezioni interessanti che si manifestano in molecole con catene flessibili particolarmente lunghe, o con la tendenza a associarsi in dimeri. Si tratta di casi di *rientranza*, i.e. casi in cui fasi meno ordinate e meno viscosi si manifestano al calare della temperatura dopo una serie di fasi a simmetria maggiore. Occorre ricordare che la prima sequenza di transizione di fase a comportamento rientrante fu scoperta nel 1975 da Patricia Cladis, che ne è divenuta uno dei più importanti esperti mondiali.[5]

Fasi liquido cristalline chirali

Ad eccezione dei nematici colesterici, dei quali fa parte il primo cristallo liquido termotropico scoperto da Reinitzer, lo studio degli effetti della chiralità nei cristalli liquidi è piuttosto recente, anche se ha avuto negli ultimi trent'anni uno sviluppo tumultuoso: essa infatti conferisce alla fasi proprietà fisiche particolari di grande interesse tecnologico[6]. La chiralità di una fase viene indicata ponendo un asterisco alla sigla che ne indica l'analoga achirale (ad es. N^* , la fase nematica chirale detta anche colesterica). La chiralità di un mesogeno può essere messa in relazione alla chiralità della fase che forma, ma non sempre. L'introduzione di centri chirali nelle molecole mesogene può generare fasi chirali (purché non si usino miscele racemiche), ma esistono anche fasi chirali formate da mesogeni achirali. Le fasi chirali si possono anche formare per aggiunta di una quantità piccola di "drogante" chirale a mesogeni achirali. Ne è un esempio la fase colesterica indotta (indotta sempre con N^*) utilizzata per molti scopi applicativi. In questo caso, la chiralità non è più a livello nanometrico, i.e. molecolare, bensì al livello di dominio (gruppo di molecole in un intervallo di pochi micron) e si esplica in genere con la formazione di soprastrutture elicoidali. Si possono distinguere quindi: i) fasi chirali che sono una semplice variante delle corrispondenti achirali (i.e. le fasi colesteriche N^* e la SmA^*); ii) fasi a cui la chiralità conferisce una serie di varianti nuova e molto articolata (ad es. la fase ferroelettrica SmC^* e le sue sottofasi); iii) fasi di mesogeni a banana (in cui la chiralità è di tipo conformazionale) e iv) fasi "frustrate", che nascono dalla

competizione tra la tendenza a formare una soprastruttura elicoidale e la necessità termodinamica di riempire lo spazio in modo isotropo. Ne sono un esempio le fasi blu (BP), otticamente isotrope ma dalla struttura complessa con doppi arrangiamenti molecolari elicoidali e le fasi *twist grain boundary* (TGB), dove domini o blocchi smettici sono organizzati in soprastrutture elicoidali. Per la trattazione di queste fasi rimandiamo a testi specializzati,[7] mentre di seguito ci soffermeremo sulle fasi chirali più comuni, la fase N^* e la ferroelettrica SmC^* .

Fase nematica chirale (N^*)

La fase nematica chirale è detta storicamente colesterica, perché le mesofasi ricavate dai derivati del colesterolo furono le prime ad essere studiate, anche se oggi questo termine è stato limitato a definire una sottocategoria. Fasi di questo tipo non mostrano alcuna differenza all'analisi ai raggi X con le corrispondenti fasi achirali, ma hanno la particolarità di possedere una viscosità fortemente anisotropa, la capacità di riflettere selettivamente la luce e un potere ottico rotatorio circa mille volte superiore a quello di una normale sostanza chirale. L'origine della chiralità strutturale della fase si spiega ipotizzando che la presenza di un centro chirale induca forze intermolecolari che favoriscono l'allineamento delle molecole con un angolo di torsione sufficiente a indurre un effetto macroscopico nella fase: ne risulta una struttura che può essere vista come un insieme di piccoli strati localmente simil-nematici, ognuno ruotato di un piccolo angolo rispetto al precedente e al successivo. Di conseguenza, la loro direzione di allineamento locale non è costante nello spazio, ma segue una spirale, un *pattern* elicoidale continuo. La relazione fra la fase nematica e quella colesterica può essere evidenziata sperimentalmente. La struttura elicoidale della N^* può essere infatti "srotolata" per dare origine a una fase nematica ordinaria, ad esempio applicando un campo elettrico o un campo magnetico. La caratteristica identificativa della struttura elicoidale è il suo passo (in inglese *pitch*), che ne quantifica la periodicità posizionale: esso è definito come la distanza necessaria al direttore per eseguire un giro completo attorno all'asse dell'elica (**Fig. 3**). Nei nematici chirali il passo dell'elica è molto grande rispetto alle dimensioni delle molecole e risulta per lo più comparabile con la lunghezza d'onda della luce visibile. Per questo motivo alcuni colesterici assumono colore brillante se illuminati per riflessione con luce bianca e il colore varia con l'angolo di osservazione e soprattutto in funzione di agenti fisici esterni quali pressione, temperatura e campi elettrici, che modificano il passo. Per quanto riguarda la temperatura, in generale, il passo aumenta quando essa diminuisce, passando dal blu al rosso, perché l'aumento di energia termica aumenta l'energia torsionale e quindi gli angoli di rotazione fra i microdomini. Non mancano tuttavia comportamenti contrari, riportati in letteratura, di passo crescente con l'aumento della temperatura.

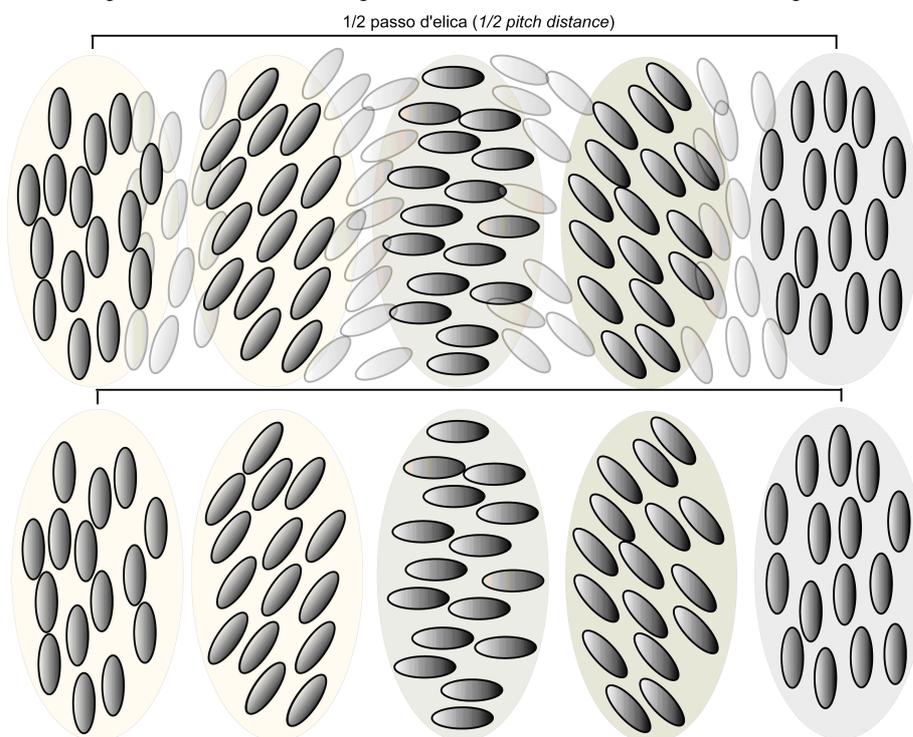


Figura 3. Raffigurazione schematica di una fase colesterica o nematica chirale: le molecole mostrate sono rappresentazioni di mesogeni chirali nematici, i quali nella realtà si collocano in strati di estrema sottigliezza, qui rappresentati con piani che sono dei semplici artifici grafici non esistenti in realtà (a differenza degli strati delle mesofasi smettiche).

Fase smettica C chirale (SmC^*)

La fase SmC^* è la più importante di tutte le mesofasi smettiche chirali per le sue grandi ricadute applicative. Studiata fin dai primi anni '70[8], conserva, come la propria analoga chirale, una struttura lamellare. Le molecole all'interno degli strati smettici sono piegate, con un angolo di *tilt*, rispetto alla normale ai piani smettici, dipendente dalla temperatura. La chiralità molecolare inoltre induce una leggera e graduale torsione della direzione del tilt molecolare passando di strato in strato e questo cambiamento direzionale del *tilt* descrive un andamento elicoidale, con l'asse dell'elica perpendicolare ai piani stessi. (Fig. 4)

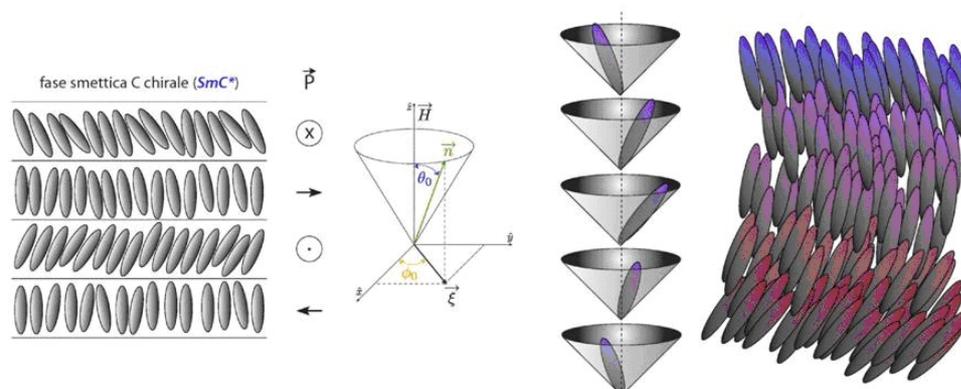


Figura 4. Fase smettica C chirale (SmC^*). A sinistra e a destra, due diverse visualizzazioni dell'allineamento dei mesogeni in strati smettici consecutivi (il vettore di polarizzazione \mathbf{P} è indicato per ogni piano smettico); al centro, due schematizzazioni della sovrastruttura elicoidale.

L'effetto termico sul passo della struttura elicoidale è opposto rispetto a quello nella fase nematica chirale. In genere se una molecola presenta sia una fase nematica chirale che una fase SmC^* , il passo dell'elica è più lungo nella fase smettica. Nella fase SmC^* , la chiralità delle molecole determina una riduzione della simmetria rispetto alla SmC non chirale, e questo ha enormi ripercussioni sulle proprietà macroscopiche di questa fase e sui suoi possibili utilizzi in campo tecnologico. Effetti interessanti della riduzione della simmetria si hanno, ad esempio, sulla polarizzazione spontanea, \mathbf{P} , che deriva dai singoli dipoli elettrici delle molecole e dalla simmetria della struttura, della quale determina le proprietà in presenza di campi elettrici esterni. La biassialità della fase fa sì che esista un vettore di polarizzazione spontanea nel piano smettico non nullo e con una precisa orientazione (Fig. 4). Il direttore \mathbf{n} e la polarizzazione \mathbf{P} ruotano, andando da un piano smettico all'altro, descrivendo una sovrastruttura elicoidale. Macroscopicamente, la fase SmC^* presenta una polarizzazione nulla, ma ogni suo singolo strato può essere ritenuto ferroelettrico, come predetto già nel 1975 da Meyer.[8] Studi successivi hanno evidenziato che l'applicazione di campi elettrici perpendicolarmente all'asse dell'elica della fase sono in grado di "srotolare" la struttura elicoidale. Se il campo elettrico applicato srotola l'elica, è vero altresì che invertendo la polarità di quest'ultimo cambia il verso con cui l'elica viene srotolata: il vettore \mathbf{P} cambierà il suo verso di 180° . L'interesse nei confronti della polarizzazione spontanea e alla natura delle mesofasi SmC^* è legato infatti alle possibili applicazioni tecnologiche connesse al tempo di *switch*, ovvero il tempo richiesto per l'inversione del vettore \mathbf{P} in seguito all'inversione del campo elettrico applicato. La ferroelettricità è solo uno dei fenomeni che possono originarsi in una fase SmC^* , della quale esistono numerose varianti non ferroelettriche. Risale al 1989 la scoperta di Chandani *et al.*[9] di fasi liquido cristalline antiferroelettriche (SmC^*_A) e più tardi di altre varianti smettiche intermedie tra la ferroelettrica e l'antiferroelettrica, dette ferri-elettriche (SmC^*_{FI} , SmC^*_{FII} , ...), il cui studio è tuttora aperto.

Applicazioni dei cristalli liquidi termotropici

Importante per l'applicazione dei cristalli liquidi termotropici è la peculiarità delle loro mesofasi di essere estremamente sensibili alle perturbazioni esterne che possono indurre drastici cambiamenti nella struttura supramolecolare. Ad esempio, esistono sensori ambientali a base di cristalli liquidi colesterici, che cambiano colore in funzione del passo dell'elica, che a sua volta può essere influenzato da fattori ambientali come la temperatura, la pressione e i campi elettromagnetici. Il settore in cui i sensori a cristalli liquidi hanno maggiore impatto economico è quello industriale, dove essi sono utilizzati per il monitoraggio dei cicli produttivi (flussi del calore, stress meccanico, sovraccarichi elettrici). Alcune applicazioni più specialistiche riguardano la regolazione termica degli impianti di nuoto, il controllo qualità nell'industria dei semiconduttori, l'utilizzo in medicina clinica e diagnostica per individuare processi cicatriziali interni postoperatori, fratture, infiammazioni o tumori che danno luogo a forti ipertermie cutanee localizzate.

La principale applicazione tecnologica dei cristalli liquidi è tuttavia quella dei display ovvero quelle superfici in grado

di far passare la luce sotto determinate condizioni e utilizzate nello specifico per rappresentare visivamente i dati forniti o elaborati da un'apparecchiatura elettronica. Per l'esattezza i display a cristalli liquidi (abbreviati in inglese LCDs) sono una delle tecnologie più impiegate per la realizzazione di schermi digitali, assieme agli schermi al plasma (PDP), i LED/OLED, i FED e gli ormai desueti *nixies*, che si contrappone al vecchio settore degli schermi a tubo catodico (CRT), ormai minoritario nel mercato globale. Senza addentrarsi nello specifico, può essere utile descrivere qui in breve il principio di funzionamento degli LCD (**Fig. 5**).

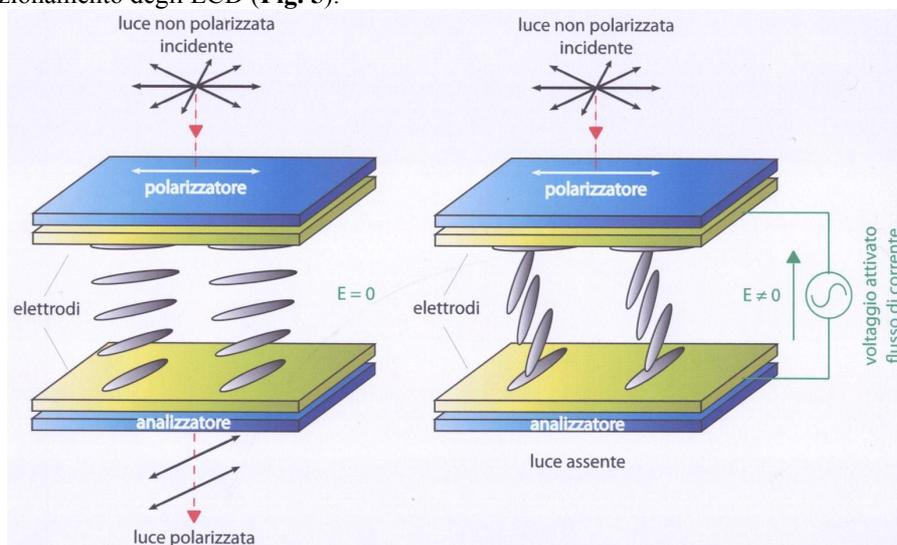


Figura 5. Rappresentazione schematica del funzionamento di una cella TN “*twisted nematic*” (“*nematico avvitato*”). In blu un rivestimento di polimero, normalmente polimide, scanalato che forza ad allineare le molecole di mesogeno all’interno della cella. In azzurro strato conduttivo (*ITO, indium tin oxide*) stratificato sul rivestimento di polimero (senza alterarne la trasparenza) che funge da armatura di condensatore permettendo di applicare un campo elettrico fra le estremità della cella. In arancio le lastre di vetro

La struttura di base di questi schermi è la cella a cristalli liquidi, una costruzione a sandwich in cui la mesofase liquido cristallina, tipicamente un colesterico, è incapsulata fra due substrati vetrosi con funzione di polarizzatore, a loro volta ricoperti da uno strato conduttivo e uno polimerico, entrambi trasparenti (sono dei condensatori aventi per dielettrico il cristallo stesso). Le celle di dimensioni particolarmente piccole, disposte a mosaico regolare sui monitor dei moderni apparecchi, prendono il nome di *pixel*. La mesofase liquido cristallina assume diverse orientazioni spaziali in funzione del campo elettrico applicato: la luce che passa attraverso la cella può quindi essere o no ruotata e quindi passare o meno dai filtri polarizzatori, incrociati a 90 gradi, posti alle due estremità. In altri termini la mesofase consente un meccanismo ON/OFF di *switching*, che ha caratteristiche diverse in funzione della natura di quest’ultima (**Fig. 5**). I primi display a cristalli liquidi che arrivarono sul mercato furono gli schermi degli orologi digitali negli anni Ottanta. Questi erano dei semplici apparati “TN” (*twisted nematic*, o *nematico “avvitato”*) basati su comuni cristalli liquidi colesterici. Negli ultimi vent’anni ci sono stati grossi passi in avanti soprattutto per aumentare la risoluzione, gli effetti di contrasto, la brillantezza e la velocità di risposta (legato al tempo di *switching*) nonché aspetti legati al consumo energetico. Independentemente dalla tecnologia che sta alla base degli LCD, ci sono due fondamentali modalità di illuminazione: *transmissive* (la luce proviene dallo strato interno e viene proiettata verso lo schermo, con alti consumi ma buona visibilità in ambienti poco luminosi) e *reflective* (gli schermi usano la luce presente nell’ambiente, che viene riflessa da uno specchio posto dietro lo schermo con bassi consumi, ma un basso contrasto di immagine). Esistono infine schermi LCD *transflexive*: gli schermi di questo tipo cercano di unire le caratteristiche migliori dei *transmissive* e dei *reflective*. Hanno un semi-specchio posto dietro il display, in grado di riflettere la luce frontale (come i *reflective*), ma di far passare la luce proveniente da un illuminatore posto nella parte posteriore (come i *transmissive*). Questo tipo di display si va diffondendo rapidamente, soprattutto negli apparecchi mobili (telefoni cellulari e computer palmari), per la sua buona leggibilità in tutte le condizioni di luce.

2. CRISTALLI LIQUIDI LIOTROPICI

All’inizio di questo articolo abbiamo detto che lo studio sistematico dei cristalli liquidi ebbe inizio su sostanze pure e che solo successivamente stati mesomorfici con comportamenti liquido cristallini furono riscontrati anche in miscele di sostanze in determinate condizioni. In realtà, le prime osservazioni sulla birifrangenza di miscele sono più antiche degli studi di Reinitzer, risalgono infatti al periodo che va dal 1834 al 1861 e furono condotte su campioni biologici del sistema nervoso da Virchow (si veda Parte I di questo lavoro). La scarsa riproducibilità di campioni così complessi ostacolò la ricerca di Reinitzer e Lehmann su questa sottoclasse di fluidi anisotropi, per la quale una vera “data di inizio”

precisa come quella dei cristalli liquidi termotropici puri non esiste. Le prime miscele mesofasiche indagate in modo sistematico furono quelle di tensioattivi, che vennero considerate all'inizio un ambito di studio completamente diverso. Solo in seguito il concetto di "liotropico" nacque per racchiudere in una denominazione comune questi filoni di ricerca inizialmente frammentari. Ma cosa significa esattamente? I cristalli liquidi termotropici vengono spesso identificati con le mesofasi in cui il carattere liquido cristallino è indotto dalla variazione di temperatura, mentre i "liotropici" con cristalli liquidi in cui l'agente termodinamico che induce la comparsa della fase liquido cristallina è la variazione di composizione. Questa semplificazione porta però ad erronee conclusioni, sia perché i termotropici non sono solo sistemi puri, sia perché anche i liotropici sono influenzati dalla temperatura. Inoltre, nel mondo dei cristalli liquidi bisogna necessariamente arrivare ad una descrizione a livello sopramolecolare per poter capire i diversi comportamenti e le svariate proprietà di questi sistemi complessi, come ricordato in precedenza. Se ci limitiamo alla definizione di "liotropico", vediamo che "lio" proviene dal greco ("liein") che significa sciogliere alludendo al cristallo liquido come prodotto di un "scioglimento" di una sostanza in un'altra. In generale una delle componenti della miscela "liotropica" possiede un carattere più fluido delle altre e svolge il ruolo di solvente. In tale ambiente gli altri componenti possono aggregarsi spontaneamente in strutture nanometriche, che si organizzano nello spazio in diverse strutture in funzione della concentrazione. Il concetto di "scioglimento" alla base della natura liquido cristallina, riportato anche dalla IUPAC, a livello molecolare è diverso dalla semplice "mescola" a livello macroscopico. In questo caso, si sottolinea il fatto che le interazioni fra molecole di due componenti diversi siano assai differenti da quelle fra molecole di uno stesso componente. Ad esempio, in un fase termotropica le unità mesogeniche, anche non molecolari, come dimeri, o leggermente differenti come nel caso di miscele di mesogeni simili, manifestano nello spazio un'omogeneità di interazioni con le altre unità a loro simili o uguali. La concentrazione farà variare il carattere medio di queste interazioni, ma non la loro natura. Questo invece non è vero nel caso di un liotropico. Qui, il concetto di "unità mesogenica" si evolve a quello di aggregato di molecole, che attraverso specifiche interazioni con aggregati a lui simili, stabilisce l'ordine posizionale e la natura della fase, originata dal complesso equilibrio fra le molecole che compongono l'aggregato e il mezzo, o "solvente". A differenza dei termotropici, nei liotropici, a livello molecolare, non c'è più omogeneità di interazioni (i.e. un tensioattivo a catena ha comportamento molto diverso in presenza di molecole di acqua o di altri tensioattivi). L'aumento dei gradi di libertà microscopici rende le fasi liotropiche più delicate delle mesofasi termotropiche, ed incredibilmente più modulabili, perché la distanza fra aggregati e la loro dimensione sono tutt'altro che fisse. Nei prossimi paragrafi analizzeremo in dettaglio le due categorie generali di liotropici: tensioattivi e polipetidici.

Proprietà generali delle molecole di tensioattivi

Sebbene, come vedremo più avanti, esistano altri tipi di fasi liquido cristalline liotropiche, non è scorretto in via introduttiva associare queste ultime al settore dei tensioattivi. Sotto il nome di tensioattivi (o "surfattanti") si collocano tutti quei composti in grado di diminuire la tensione superficiale di un liquido (Fig. 6). La tensione (o anche "energia") superficiale di un liquido (generalmente indicata con γ e misurata in dine/cm) misura la resistenza che questo oppone all'aumentare della sua superficie e la sua origine può essere ricercata nella discontinuità della densità di molecole di sostanza in corrispondenza dell'interfaccia aria-soluzione.

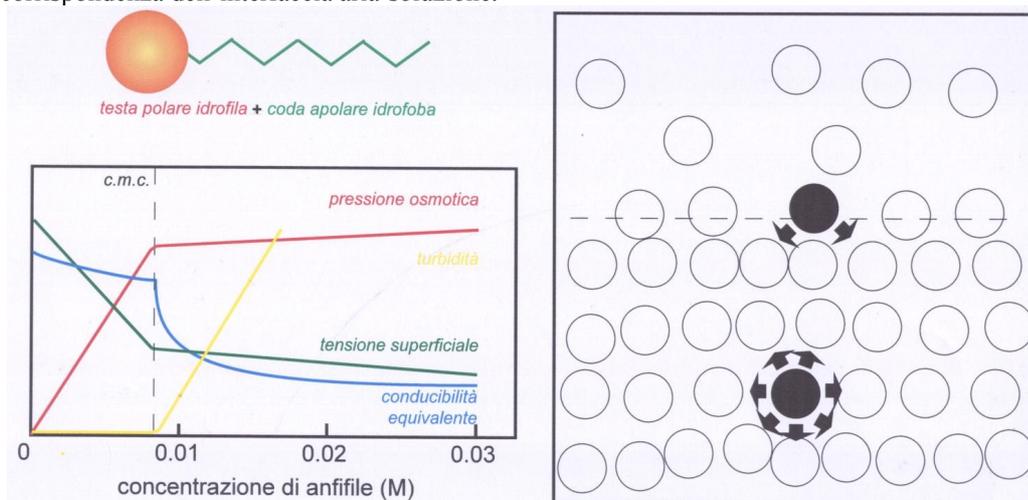


Figura 6 In alto a sinistra, rappresentazione schematica di una molecola di tensioattivo, con la testa polare idrofoba in blu e la catena alchilica lipofila in verde. In basso a sinistra, variazione con la concentrazione di alcune proprietà di una miscela di tensioattivi ed acqua, la discontinuità indicata dalla linea tratteggiata in corrispondenza della variazione di derivata prima corrisponde alla concentrazione micellare critica (indicata con c.m.c.). A destra, grafico esplicativo dell'origine della tensione superficiale in una soluzione.

Possiamo infatti pensare che in una regione interna del liquido ogni molecola sia soggetta a forze attrattive esercitate da tutte le molecole intorno: data la distribuzione isotropa delle molecole la risultante di tali forze sarà mediamente nulla. Una molecola posta all'interfaccia con l'aria invece si trova ad avere sopra di sé tutta una zona dove la densità di molecole è sicuramente minore rispetto a quella del liquido, così che la risultante delle forze attrattive agenti su di essa non è più nulla, determinando una forza complessiva di richiamo verso l'interno del liquido (**Fig. 6**).

I tensioattivi sono molecole che per loro stessa natura preferiscono disporsi non all'interno del liquido in cui vengono poste, generalmente acqua, bensì alla superficie, dove possono rivolgere una parte all'interno del liquido e un'altra all'aria soprastante. In questo modo il loro effetto è quello di diminuire l'energia libera dell'interfaccia liquido-aria, ovvero di abbassare la tensione superficiale del liquido in cui sono immerse. L'attività superficiale dei tensioattivi deriva dalla loro doppia natura: nella molecola convivono infatti una parte idrofila e una idrofobica. Questa loro caratteristica strutturale giustifica per loro anche il nome di "anfifili" e gli aggettivi "anfifilico", "anfipatico", che pongo l'accento sul loro comportamento "misto" di solubilità. In genere la parte idrofila è un gruppo carico o polare di piccole dimensioni indicato col termine "testa" mentre la porzione idrofobica è una catena alchilica, indicata per la sua forma come "coda". Il mondo dei tensioattivi è assai vario. La vera distinzione da fare è in base alla natura della testa idrofila. Se essa è carica può essere cationica (es. -NH_4^+) o anionica (es. -COO^-). Nei tensioattivi non ionici la testa polare è spesso costituita da una catena polieterea con terminazioni idrossiliche e talvolta anche gruppi estere. La parte idrofoba è in genere una catena alchilica, con un numero di unità metileniche compreso fra 6 e 20. I primi surfattanti a essere caratterizzati furono i saponi, che nella loro versione più "naturale" precedente alla produzione di tensioattivi industriali non erano altro che un prodotto dell'idrolisi alcalina dei legami esterei dei trigliceridi, che origina glicerina e sali sodici o potassici degli acidi grassi.[10] I saponi a base di grassi naturali sono un esempio di come composti con proprietà tensioattive esistano anche allo stato naturale. Fra questi possiamo sicuramente elencare i glicerofosfolipidi, gli sfingolipidi, il colesterolo e i già citati acidi grassi. Tutti questi composti fanno parte della categoria dei lipidi o grassi. Col termine lipide si indicano composti di origine biologica (prevalentemente idrocarburici) solubili in solventi organici non polari, come l'etere o l'acetone, ed insolubili in acqua, sulla quale galleggiano in virtù di una loro ridotta densità. I lipidi si suddividono in tre categorie: lipidi semplici, lipidi complessi o lipoidi, e lipidi derivati. Le ultime due sono anfifile e meritano di essere citate in questa trattazione. Tra i lipidi semplici ricordiamo appunto i **trigliceridi** o **triacilgliceroli**, i più diffusi, utilizzati come riserva di energia, prodotto dell'esterificazione del glicerolo (1,2,3-propantriolo) con acidi grassi fra loro eventualmente distinti. Col termine acidi grassi si indicano composti monocarbossilici a catena lunga, in genere lineare, che differiscono o per la lunghezza della catena (ha un numero pari di atomi di C che varia da 12 a 20), o per la natura dei legami carbonio-carbonio al suo interno (si hanno con terminologia intuitiva acidi grassi saturi, monoinsaturi o poliinsaturi). In tutto ne sono presenti in natura ca. 500 varianti. Tra i lipidi complessi vale la pena citare i **glicerofosfolipidi** o **fosfogliceridi**, composti da glicerolo, con un gruppo -OH esterificato con un'unità di acido fosforico, a cui è legato un gruppo -OX di varia natura, che caratterizza le varie sottoclassi generalmente polare, e i due gruppi rimanenti esterificati con acidi grassi a catena lunga: il primo acido grasso è in genere saturo, mentre il secondo, in posizione centrale, è tipicamente insaturo in conformazione *cis*. I fosfogliceridi sono componenti delle membrane cellulari e vengono impiegati nell'industria alimentare come emulsionanti e stabilizzatori. I lipidi derivati includono prevalentemente gli steroidi, lipidi policiclici derivati del ciclopentanoperidrofenantrene, un sistema estremamente rigido di anelli condensati (tre anelli a sei lati e un anello a cinque lati) a cui sono legati gruppi polari. Il loro esemplare più caratteristico, il colesterolo, componente essenziale delle membrane cellulari eucariotiche, precursore di molti ormoni, oltre che precursore della vitamina D3 e degli acidi biliari, possiede ad esempio un solo gruppo idrossilico, responsabile del suo debole carattere anfifilico.

Le micelle

Per le caratteristiche descritte nel paragrafo precedente, le molecole di tensioattivo, poste in acqua, vanno a disporsi prevalentemente all'interfaccia aria-acqua, rivolgendo all'acqua la propria testa polare e all'aria la coda idrofobica. Questa situazione è quella che si realizza quando comincia l'aggiunta di un tensioattivo all'acqua con valori bassi di concentrazione (per esempio inferiori a 0.008 M per il sistema Sodio Dodecil Solfato/Acqua). Aumentando al concentrazione però ci sarà sempre una frazione di molecole che si troveranno all'interno della soluzione in rapido scambio con quelle alla superficie. A queste basse concentrazioni si registrano andamenti regolari, continui, di tutta una serie di proprietà fisiche. Già nel 1913[11] si osservò invece che, in corrispondenza di una certa concentrazione, caratteristica del singolo sistema anfifile/acqua, questi andamenti manifestavano una brusca discontinuità (**Fig. 6**). Venne introdotta in questa circostanza da McBain l'ipotesi che le molecole di tensioattivo in acqua, al di sopra di una certa concentrazione, andassero a formare degli aggregati, simili a sferette costituite da un guscio esterno sul quale si dispongono le teste polari degli anfifili e da un interno in cui vanno a sistemarsi le code idrofobiche e dal quale l'acqua viene quasi totalmente esclusa (**Fig. 7**).

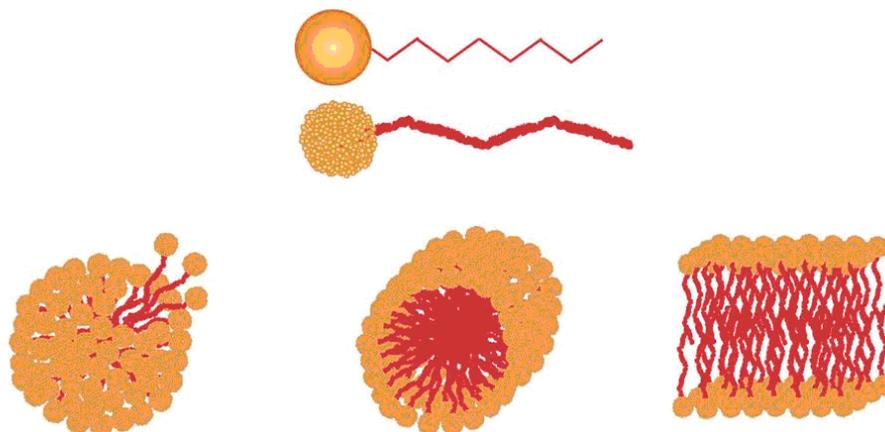


Figura 7. Principali unità di aggregazione di tensioattivi in ambiente acquoso. In alto al centro è schematizzata una semplice molecola di tensioattivo con testa idrofila e coda idrofobica. In basso, da sinistra verso destra: micella/cilindro/doppio strato.

Tali aggregati sono chiamati micelle e la concentrazione di tensioattivo alla quale cominciano ad esistere “concentrazione micellare critica”, o *cmc*. Tipicamente i valori di *cmc* cadono nell’intervallo 10^{-4} - 10^{-1} M. All’origine della formazione delle micelle c’è il tentativo di escludere il più possibile le catene idrofobiche dal contatto con l’acqua. L’insieme di forze e fattori che determinano questa tendenza prende il nome di effetto idrofobico, ed ha origine entropica, associato un notevole “aumento del disordine”. Questo effetto entropico è stato attribuito al carattere del tutto peculiare del solvente acqua e, in particolare, alla sua elevata tendenza a formare legami a idrogeno: una molecola anfifilica disciolta in acqua occupa necessariamente, con la sua coda idrofobica, una piccola cavità, che interrompe la normale ampia possibilità di formare legami a idrogeno tra le molecole di solvente circostanti. Per compensare almeno in parte questa situazione energeticamente sfavorevole, le molecole di acqua creano, per quanto possibile, attorno alla cavità una rete di legami a idrogeno. Questa situazione è tuttavia ben più obbligata e quindi ordinata rispetto a quella in assenza di cavità. L’aggregazione di un certo numero di catene idrofobiche genera nell’acqua una cavità la cui superficie è complessivamente minore della somma delle superfici che si creerebbero se ogni molecola dovesse occupare una sua cavità e questo è presumibilmente non solo il motivo per il quale nel caso degli anfifili si creano le micelle, ma anche quello che spiega la separazione in acqua di piccoli aggregati di composti del tutto apolari nonché in parte la conformazione nativa di molte proteine in ambiente acquoso.

Su scala microscopica si vengono a creare in soluzione tre diverse regioni di sistema chiaramente identificate: [12] (I) consiste nelle catene idrocarburiche, con una limitata quantità di acqua e eventuali controioni in essa dispersi; (II) regione di interfaccia dove si collocano le teste polari o cariche delle molecole di tensioattivo, che interagiscono fortemente con solvente e eventuali controioni; (III) consiste nell’acqua intermicellare con controioni e una limitata presenza di anfifili monomeri.

Per completare la descrizione del diagramma di fase di un tipico anfifile in acqua dobbiamo citare l’esistenza di fasi che spesso compaiono a concentrazioni estremamente alte di anfifile: in tali condizioni le molecole si aggregano in micelle sferiche o di altra forma in cui rivolgono all’“esterno” le catene idrofobiche e all’interno le teste polari. L’acqua viene inglobata all’interno degli aggregati, detti *micelle inverse*. Si può manifestare una successione di fasi micellari e liquido cristalline analoga a quella manifestata dalle micelle “dirette”.

I diagrammi di fase

Superata la *cmc*, le molecole di surfattante aggiunte in soluzione vanno a inserirsi negli aggregati micellari, la quantità di “monomeri” in soluzione rimane cioè pressoché invariata. Le micelle sono però aggregati dinamici: è stato stimato che mentre il tempo caratteristico di formazione/distruzione di una micella va dai millisecondi ai secondi, quello mediamente trascorso da una molecola nell’aggregato è dell’ordine dei microsecondi. Per quanto riguarda la coesistenza di monomeri e micelle in soluzione, questa è possibile e si mantiene, a patto che la temperatura rimanga superiore alla cosiddetta temperatura di Krafft, T_K , funzione della composizione del sistema. Questa temperatura infatti determina, ad ogni concentrazione, la solubilità dell’anfifile in acqua: al di sotto di questa sono presenti, in sospensione, solo piccoli cristalli di anfifili, variamente idratati. Otticamente questo passaggio, nel caso in cui la soluzione micellare apparisse lattiginosa, si manifesta con il suo improvviso schiarimento. L’esistenza di questa soglia di temperatura è stata attribuita alla situazione conformazionale delle catene idrocarburiche: la formazione di aggregati micellari, soprattutto sferici, ri-

chiede infatti una certa flessibilità delle catene, una sorta di loro “fusione”: questa fusione ha un costo energetico che non è più sostenibile al di sotto della T_K . Risultò chiaro fin dall’inizio delle ricerche sui comuni tensioattivi che le dimensioni delle micelle cominciano in genere ad aumentare solo a concentrazioni dieci o venti volte superiori alla *cmc*, dunque le aggiunte di surfattante vanno fino a quel momento ad aumentare prevalentemente il numero degli aggregati in soluzione. Del resto la prima fase micellare che più comunemente si presenta è quella costituita da aggregati globulari. Ci sono quindi vincoli geometrici abbastanza forti che si oppongono alla crescita della micella e che riducono il numero di aggregazione in un intervallo relativamente piccolo (~50 molecole per aggregato). È termodinamicamente prevista anche la formazione di micelle ellissoidali prolate o oblate (si parla schematicamente di micelle a cilindro e a disco, queste ultime dette anche bicelle), e infine anche di micelle biassiali, in cui i tre assi sono distinti. Micelle di questo tipo in realtà si osservano raramente in sistemi binari anfifile/acqua, ma frequentemente quando al sistema binario viene aggiunto un terzo componente (per esempio un alcool a catena lunga). Per queste micelle il numero di aggregazione è molto meno vincolato geometricamente e dunque, aumentando la concentrazione, le loro dimensioni possono crescere più liberamente. Spostandosi a valori alti di concentrazione (generalmente almeno 0.5×10^{-1} M) gli aggregati micellari (globulari o no) crescono in dimensioni e cambiano forma tentando di mantenere la necessaria separazione fra domini idrofili e idrofobi. Nella maggior parte dei sistemi studiati questa crescita comporta la fusione delle micelle sferiche in aggregati cilindrici e/o a doppio strato, entrambi di dimensioni decisamente superiori a quelle delle micelle presenti a basse concentrazioni, tanto che si è soliti parlare in modo schematico di aggregati “infiniti”.

Fasi liquido cristalline di tensioattivi

I tipi di aggregati visti nella paragrafo precedente non forniscono ancora una descrizione completa della natura delle fasi formate da tensioattivi, perché non sono altro che unità strutturali di cui deve essere presa in analisi la disposizione relativa nello spazio, e l'ordine in essa presente. Le combinazioni possibili divengono molteplici e qui cercheremo di esaminare quelle più comuni. Buona parte di queste fasi sono a tutti gli effetti mesofasi liquido cristalline perché fluide ma anisotrope. Salendo in concentrazione di anfifilo, gli aggregati compaiono in genere con questa progressione: a) fase cubica discontinua o fase micellare isotropa fase colonnare esagonale; b) fase cubica discontinua; c) fase cubica continua; d) fase lamellare; e) fase cubica bicontinua; f) fase colonnare esagonale inversa; g) fase cubica (o fase micellare) inversa.

Il processo può essere visto anche al contrario, come se il solvente “penetrasse” una struttura cristallina inizialmente pura: questa intercalazione del solvente è ovviamente possibile solo a determinate temperature, perché, come già detto, la composizione è un grado di libertà aggiuntivo che si affianca alla temperatura del sistema nel determinare l'energia in gioco.

Possiamo dividere le più comuni fasi liquido cristalline liotropiche ottenibili ad alte concentrazioni di anfifile essenzialmente in tre gruppi, uno per ogni tipo di aggregato (**Fig. 8**)

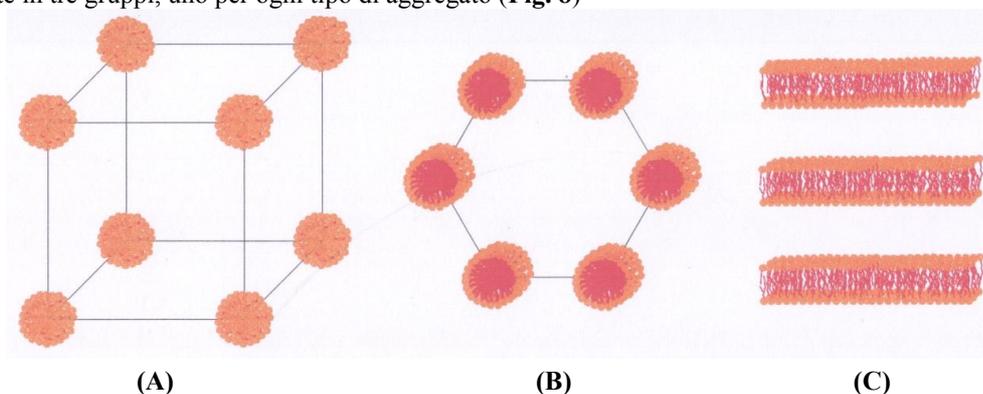


Figura 8. Principali tipi di mesofasi liotropiche formate da aggregati di tensioattivi in soluzione già riportati in fig. 7: da sinistra verso destra: fase cubica (composta di micelle), fase esagonale (composta da cilindri), fase lamellare (composta da doppi strati). Tutte le mesofasi mostrate in figura mostrano ordine posizionale al loro interno.

Fasi lamellari: Queste fasi, definite anche *neat soap phase*, sono composte di grandi aggregati a forma di doppio strato (detti appunto lamelle), con le catene idrofobiche contenute all'interno e le porzioni idrofile all'esterno. Tali lamelle tendono a impilarsi in parallelo, intervallate da strati di acqua, in una struttura decisamente più densa ma non più viscosa delle altre, dal momento che gli strati lamellari possono scorrere l'uno sull'altro. Queste fasi possiedono dunque un ordine orientazionale e uno traslazionale (posizionale) monodimensionale (corrispondono alle fasi *SmA* dei termotropici). Si indicano con L_a e L_b a seconda che le catene siano libere dal punto di vista conformazionale o fissate in conformazione *trans*, anche se altri autori usano per le fasi lamellari il termine *D*.

Fasi cubiche: Collocate fra le fasi lamellari e quelle esagonali, posseggono dei veri e propri reticoli cubici di micelle globulari (**Fig. 8A**). A causa dell'elevata viscosità sono dette anche fasi isotropiche viscosi e si indicano con I_2 o L_2 . Le micelle possono anche essere connesse l'una all'altra, generando le cosiddette fasi cubiche bicontinue. Le fasi cubiche compaiono in genere fra la fase lamellare e quella esagonale e risultano, al microscopio polarizzatore, indistinguibili da quella isotropa, per questo la loro struttura non è ancora ben nota.

Fasi esagonali e rettangolari: gli aggregati sono in questo caso dei lunghi cilindri a sezione circolare o ellittica, tendenzialmente allineati uno con l'altro e organizzati in reticoli bidimensionali rispettivamente esagonali (definite anche *middle soap phase*) o rettangolari, in cui la spaziatura tra i cilindri va in generale da 1 a 5 nm a seconda del contenuto di acqua. (**Fig. 8B**). Queste fasi, sebbene si trovino generalmente a concentrazioni minori rispetto alle precedenti, hanno una viscosità maggiore, possiedono un ordine orientazionale e un ordine traslazionale bidimensionale. Si indicano con H_1 (o E_1) e R.

Come per le micelle, anche in questo caso sono possibili fasi inverse, a cui abbiamo già accennato nell'elenco generale all'inizio di questa sezione. Il loro significato è abbastanza intuitivo, se ci si rifà alla falsariga delle micelle inverse.

Tra la fase isotropa di micelle sferiche e le fasi liquido cristalline sopra descritte è stata riscontrata, almeno nei più comuni sistemi binari, una discontinuità abbastanza forte: da aggregati piccoli di forma pressoché sferica si passa a strutture infinite di varie forme geometriche. Dal confronto con la serie di fasi dei sistemi termotropici emerge la mancanza, nel caso dei liotropici, di fasi in cui le unità mesogeniche siano dotate solo di ordine orientazionale, quelle fasi che per i termotropici sono dette nematiche. In effetti nella "storia" dei liotropici la mancanza di una fase nematica non ha permesso per molto tempo di avere campioni facilmente orientabili in un campo magnetico, le fasi lamellari ed esagonali oppongono infatti una notevole resistenza a raggiungere la situazione di equilibrio termodinamico. Nel 1967 venne osservata l'orientazione omogenea in campo magnetico di un campione di SodioDodecilSolfato/Acqua/Decanolo/SodioSolfato,[13] l'anno dopo questo campione al microscopio mostrò una *texture* tipica delle fasi nematiche. Solo nel 1979 Charvolin, Levelut e Samulski, con misure di diffrazione ai raggi X, dimostrarono che questa fase, ed altre simili trovate nel frattempo, erano fatte di aggregati "finiti" discotici o cilindrici, privi di ordine traslazionale, i cui assi di simmetria tendevano al reciproco allineamento: erano dunque a tutti gli effetti delle fasi nematiche. Tutti i primi esempi di fasi liotropiche nematiche, in sistemi anfifilici idrocarburici, richiedevano la presenza di un terzo e a volte un quarto componente, in genere un alcool a catena abbastanza lunga e un sale.

Solo nel 1979 Boden *et al.* [14] trovarono la prima fase nematica stabile in un sistema binario costituito da cesio perfluorooctanoato e Acqua (CsPFO/ H_2O).

Oggi siamo in grado di proporre una classificazione delle fasi nematiche liotropiche, fatta in analogia a quella delle termotropiche: a) Fase Nematica Canonica, costituita da aggregati cilindrici, ossia ellissoidi prolatti o cilindri con estremità emisferiche; si indica con N_C e corrisponde alla fase nematica dei termotropici calamitaci; b) Fase Nematica Discotica, costituita da aggregati a "disco", ossia ellissoidi oblatti o dischi con bordi ricurvi; si indica con N_D e corrisponde alla fase nematica dei termotropici discotici; c) Fase Nematica Biassiale, costituita da aggregati con forma a "tavoletta", si indica con N_B . Nelle prime due fasi si ha un allineamento reciproco e lungo una direzione preferenziale degli assi di simmetria degli aggregati: l'asse di rotazione dei cilindri per la fase N_C , le normali ai dischi per la fase N_D . Nella terza due assi di simmetria risultano ordinati, si parla perciò di fase nematica biassiale. L'orientazione relativa di uno o di due assi (caso N_B) rispetto ai campi esterni determina un'ulteriore classificazione dei nematici liotropici (**Fig. 9**)

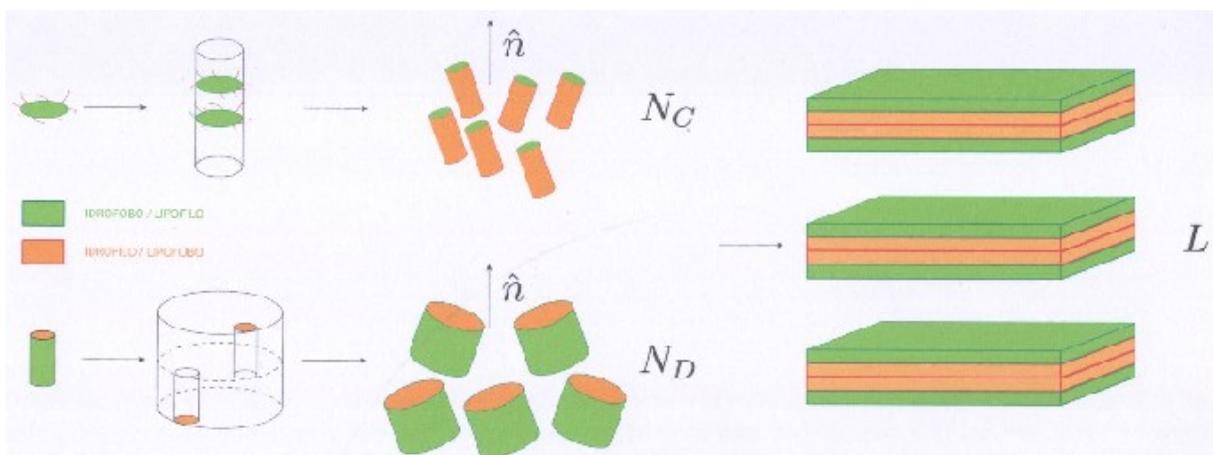


Figura 9. Rapporto fra la struttura anfifilica dei tensioattivi e le più comuni mesofasi liotropiche: nematica colonnare (N_C), nematica discotica (N_D) e lamellare (L).

Attualmente non sono chiari i fattori che potrebbero impedire la crescita esplosiva di micelle sferiche ad aggregati infiniti, fenomeno che si riscontra nei più comuni sistemi binari anfilo/acqua, e che determina la mancanza di una fase nematica. Dopo la preparazione di una fase nematica stabile in diversi sistemi binari di anfilili fluorurati/acqua, è stato ipotizzato che la minor flessibilità delle catene fluorurate rispetto a quelle idrocarburiche sia un fattore strutturalmente favorevole alla formazione di micelle di dimensioni finite. Attualmente la ricerca di fasi liotropiche nematiche in sistemi binari è orientata alla scelta di anfilili che siano il più possibile vincolati a formare aggregati di forma cilindrica o discotica.

Applicazioni dei cristalli liquidi liotropici

Sebbene i cristalli liquidi liotropici siano stati scoperti e utilizzati ben prima dei termotropici, la ricerca su questi ultimi ha avuto una crescita più rapida, soprattutto per le importanti implicazioni tecnologiche. La ricerca sui liotropici deve ancora svilupparsi compiutamente, ma molti sono i settori in cui può rivelarsi cruciale, anche se ben diversi dalle normali applicazioni fisico-tecnologiche che associamo ai cristalli liquidi termotropici:

• *campo igienico-sanitario*

Storicamente il primo campo di applicazione di molecole anfifiliche è stato quello della detergenza, campo che rimane tuttora al centro di molta parte della ricerca su questi sistemi: c'è infatti un continuo sforzo per lo sviluppo di sistemi detergenti il più possibile efficaci e un'attenzione crescente all'impatto ambientale. Per citare qualche esempio, i saponi "classici" (sali di acidi grassi) sono stati oggi sostituiti nei detersivi dai solfonati, questo perché gli ioni bivalenti Ca^{2+} e Mg^{2+} presenti nelle acque dure precipitano facilmente in presenza di carbossilati, mentre i corrispondenti solfonati hanno una solubilità in acqua molto maggiore. Per quanto riguarda l'impatto ambientale vengono preferiti tensioattivi a catena idrocarburica non ramificata, in quanto biodegradabili, digeribili cioè in condizioni aerobiche dai batteri presenti nelle acque dei fiumi.

• *campo estrattivo*

Ultimamente si è cominciata a studiare la possibilità di utilizzare dei liotropici per un migliore sfruttamento dei pozzi petroliferi. Si è infatti stimato che almeno il 30% del petrolio di un giacimento non possa essere estratto perché infiltrato nel terreno, quindi l'impiego dei liotropici per il lavaggio dei pozzi petroliferi esauriti e la successiva separazione del greggio dalle molecole anfifili renderebbe possibile l'estrazione del petrolio residuo. Se la sperimentazione avesse successo, l'impatto economico sarebbe consistente.

• *campo biomedico*

In ambito biologico le fasi liquido cristalline liotropiche hanno un ruolo basilare, che si può cogliere elencando l'enorme complessità degli ambiti in cui esse si manifestano: DNA, zuccheri, proteine, componenti delle membrane cellulari (fosfolipidi, sfingolipidi e colesterolo). I modelli per le mesofasi di mesogeni artificiali possono essere estesi a questo ambito di ricerca razionalizzando due categorie di comportamenti generali: i fenomeni di assemblamento, in cui l'oggetto di indagine è la formazione stessa dell'ambiente liotropico (organizzazione di materiale genetico, colorazione cutanea, formazione mediante estrusione negli invertebrati di esostrutture quali ragnatele, bozzi e banchi, insorgenza di malattie come l'anemia falciforme e l'arteriosclerosi), e i fenomeni in cui l'ambiente liotropico è sede di particolari reazioni e processi coadiuvati dalle sue proprietà chimico-fisiche (es. qualità plastico-dinamiche delle strutture cellulari e permeabilità delle membrane cellulari ai farmaci). L'esempio più citato sono le membrane plasmatiche delle cellule, costituite dalle molecole anfifiliche biologiche. La struttura delle membrane è un perfetto esempio di fase liquido cristallina, la cellula risulta infatti rivestita di un doppio strato di anfilili (**Fig. 10**), in composizione variabile da cellula a cellula, all'interno del quale è possibile la diffusione laterale e - sebbene più lenta - anche quella trasversale.

Questa struttura a doppio strato conferisce alla membrana una perfetta funzionalità, infatti risulta dotata della rigidità necessaria a far da involucro al complesso apparato cellulare, ma anche di una giusta permeabilità alle sostanze per consentire gli scambi fra cellula e ambiente, grazie alla sua fluidità interna. Il transito delle molecole tra esterno e interno della cellula è regolato e spesso fisicamente realizzato da apposite proteine legate alla membrana, distinte tra integrali e periferali a seconda del tipo di associazione alla membrana (**Fig. 10**). Queste membrane liquido cristalline sono soggette, ad una caratteristica temperatura (generalmente intorno ai 10-20°C), ad una transizione da fase liquido cristallina a fase gel: sotto la temperatura di transizione le molecole di anfilo non sono più tanto libere di diffondere lateralmente nel doppio strato, assumono anzi disposizioni ordinate, in genere esagonali, e le catene idrocarburiche assumono una conformazione estesa più rigida. A seguito di questa transizione, le cellule possono perdere la loro funzionalità e morire, per questo gli organismi hanno molti sistemi di controllo della temperatura dell'ambiente intorno alle cellule. Lo studio dei liotropici è quindi di grande importanza per chiarire sempre di più struttura e funzionamento dei tanti tipi di membrane cellulari. Infine fra le tante biomolecole che mostrano comportamento liotropico possiamo citare anche il materiale genetico: per esempio l'RNA del virus del mosaico del tabacco. Da un punto di vista più applicativo dai doppi strati di fosfolipidi si ottengono con opportuni metodi (ad esempio bombardamento con ultrasuoni) i liposomi, aggregati sferici costituiti da uno o più doppi strati, con un interno acquoso (**Fig. 10**). I liposomi costituiscono un semplice modello per la cellula e per questo sono utili a fini di studio, ma anche ritenuti una struttura

chiave di certi processi biologici di duplicazione cellulare di trasporto; sono infatti validi “trasportatori” di sostanze alle cellule in ambito farmaceutico e cosmetico: i liposomi inglobano infatti la sostanza, raggiungono la cellula, si legano alla membrana fosfolipidica dove rilasciano il farmaco. In questo senso la ricerca è molto aperta: il primo obiettivo è quello di rendere selettivi i liposomi, ossia in grado di riconoscere la cellula bersaglio e rilasciare solo là il farmaco, il secondo di ottenere un controllo sulla velocità di rilascio. È possibile preparare strutture analoghe ai liposomi non a base di lipidi, ma di altri anfifili, si parla allora più genericamente di vescicole; anche in quest’ambito la ricerca è ancora in fase di sviluppo.

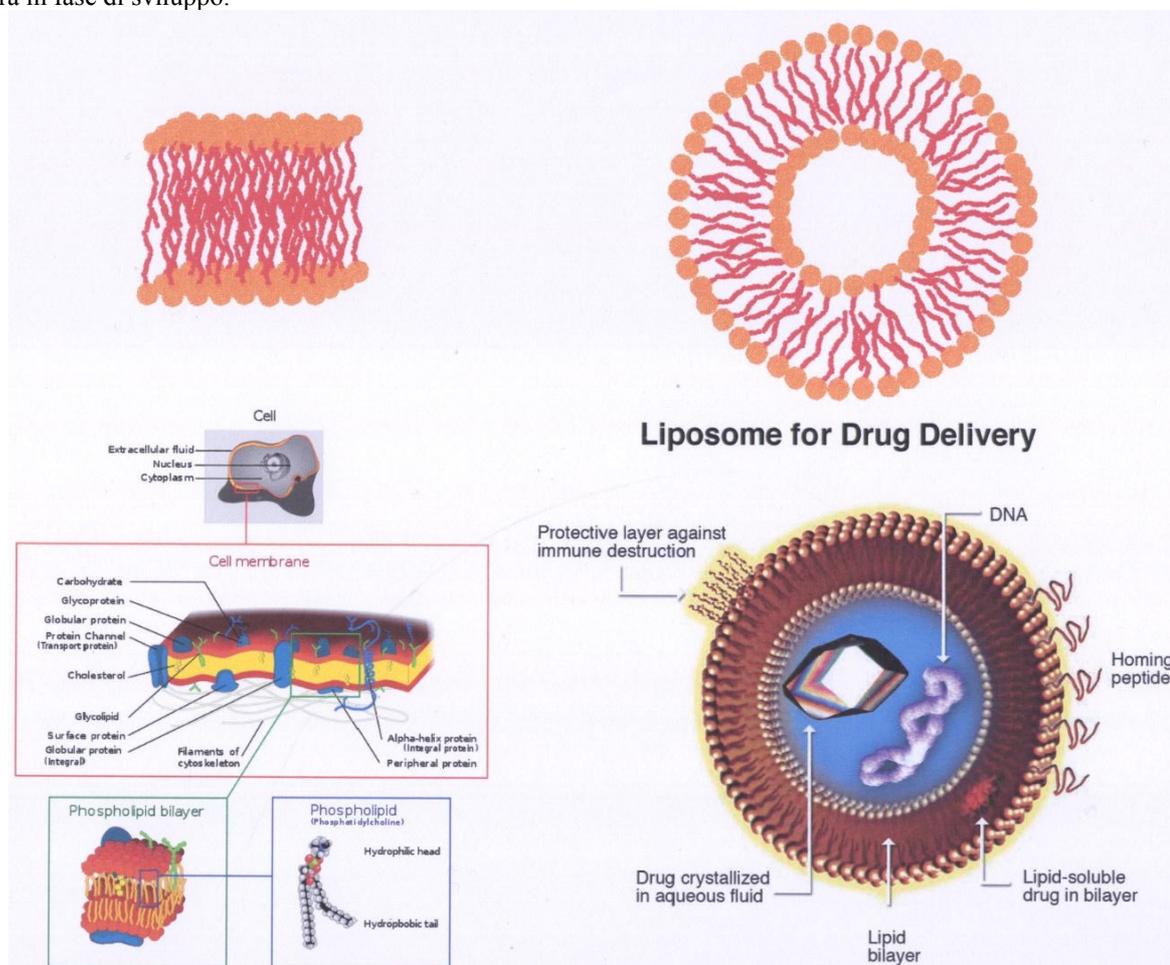


Figura 10. Il doppio strato di anfifile (in questo caso lipide) in natura: il liposoma (doppio strato chiuso circolarmente) e la membrana cellulare (doppio strato esteso) [per le immagini biochimiche, fonte: Wikipedia]

Riferimenti bibliografici

1. P. W. Atkins. *Physical Chemistry*. W.H. Freeman & Company, New York: 1994.
2. V. Domenici. L'affascinante mondo dei cristalli liquidi, in *Ulisse, la rete della Scienza*, Biblioteca dei 500, 2007: ulisse.sissa.it/biblioteca/saggio/2005/Ubib050401s003/atdownload/file/Ubib050401s003.pdf.
3. Petrie S. E. B. *Liquid Crystals: The Fourth State of Matter*, Chapter IV. Xerox Corporation, Webster Research Center, New York: 1979.
4. W. G. Gray, J. W. Goodby, *Smectic Liquid Crystals*. Leonard Hill, Heyden & Sons, London: 1984.
5. P. E. Cladis, *Liq. Cryst.*, 1998, 24, 15.
6. J. W. Goodby, I. Nishiyama, A. J. Slaney, C. J. Booth, K. J. Toyne, *Liq. Cryst.*, 1993, 14, 37.
7. S. Chandrasekhar, *Liquid Crystals*, Cambridge University Press, Cambridge: 1993.
8. R. B. Meyer, G. Liebert, L. Strzelecki, P. Keller. *J. Phys. Lett. (Paris)*, 1975, 36, L69.
9. A. D. Chandani, E. Gorecka, *Jpn. J. App. Phys.*, 1989, 28, L1265.
10. D. Voet, J. G. Voet. *Biochemistry*. John Wiley & Sons Inc., New York: 1995.
11. <http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?idn=982482361&dokvar=d1&dokext=pdf&filename=982482361.pdf>
12. C. L. Khetrapal, A. C. Kunwar, A. S. Tracey, P. Diehl. *Lytotropic Liquid. Crystals*, vol. 9, pp. 1. Springer-Verlag, Berlin: 1993.
13. D. Lawson, T. J. Flautt. *J. Am. Chem. Soc.*, 1967, 89, 5489.
14. N. Boden, P. H. Jackson, K. McMullen, M. C. Holmes. *Chem. Phys. Lett.*, 1979, 65, 476.

Bilanciamento delle Reazioni Chimiche e Sistemi Lineari

Giorgio Follo, Silvio Lavagnino

Istituto Tecnico Statale Commerciale e per geometri "G. A. Giobert" Via G. Roreto, 32 -14100 Asti
segreteria@giobert.it

Lo studio di sistemi di equazioni lineari algebriche trova in fisica e chimica notevoli applicazioni. Basti citare la teoria dei circuiti in corrente continua quando si applichino le leggi di Kirchoff. Tale studio però nella scuola secondaria è stato scarsamente sviluppato, con poche applicazioni pratiche, a causa non della profondità dei concetti espressi nella teoria ma della pesantezza dei calcoli ad essa inerente.

Tale pesantezza ha fatto sì che si siano generati formalismi e procedure diversi che se da un lato hanno permesso una notevole semplificazione dei calcoli dall'altro hanno nascosto allo studente la teoria matematica che c'è alla loro base.

In questa nota si vuole evidenziare che il bilanciamento delle reazioni chimiche (sia di ossido-riduzione che no) ha alla sua base tale studio di sistemi e che i softwares matematici (per esempio Derive, uno dei softwares di didattica più utilizzati nelle scuole italiane), avendo di molto snellito la mole di calcoli, rende i formalismi e le procedure attualmente studiate (numero di ossidazione, scambio di elettroni, ecc.) del tutto obsoleti purché ci sia una proficua collaborazione tra il chimico e il matematico ed eventualmente l'informatico.

Partiamo da un esempio prendendo una tipica reazione:



Il calcolo dei coefficienti stechiometrici si riconduce ad un sistema lineare omogeneo.

Le equazioni di tale sistema si costruiscono sulla conservazione del numero di atomi di ciascuna specie prima e dopo la reazione.

- **(K)** $x_1 = 2 x_4 \rightarrow x_1 - 2 x_4 = 0$
- **(Mn)** $x_1 = x_5 \rightarrow x_1 - x_5 = 0$
- **(O)** $4 x_1 + 2 x_2 + 4 x_3 = 4 x_4 + 4 x_5 + 3 x_6 + x_7 \rightarrow 4 x_1 + 2 x_2 + 4 x_3 - 4 x_4 - 4 x_5 - 3 x_6 - x_7 = 0$
- **(H)** $x_2 + 2 x_3 = x_6 + 2 x_7 \rightarrow x_2 + 2 x_3 - x_6 - 2 x_7 = 0$
- **(N)** $x_2 = x_6 \rightarrow x_2 - x_6 = 0$
- **(S)** $x_3 = x_4 + x_5 \rightarrow x_3 - x_4 - x_5 = 0$

(2)

Chimicamente il sistema è nella forma più classica possibile avendo n incognite in $n-1$ equazioni. Essendo il sistema omogeneo, ammette sempre la soluzione nulla, di nessun interesse pratico. Per il teorema di Rouché Capelli ammette infinite soluzioni dipendenti da almeno un parametro.

Essendo il sistema imponente, alleggeriamo i conti con l'utilizzo dello strumento informatico.

La matrice dei coefficienti è quella riportata sotto

$$\text{RANK} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & -2 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 4 & 2 & 4 & -4 & -4 & -3 & -1 \\ 0 & 1 & 2 & 0 & 0 & -1 & -2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & -1 & 0 & 0 \end{pmatrix} = 6$$

Matrice dei coefficienti. Si nota che i coefficienti sono positivi per le prime colonne relative ai reagenti e negativi per le altre. Ogni riga rappresenta il numero di atomi di un preciso elemento presente nella reazione in ciascuna formula (pedici).

(3)

il cui rango è proprio 7-1. La discussione relativa al concetto di rango di una matrice è rimandato all'ultima parte della trattazione.

Quindi il sistema ammette infinite soluzioni dipendenti da un solo parametro. Questo è un risultato molto importante correlato alla legge di Dalton sulle proporzioni multiple.

In una reazione chimica non sono fissate univocamente le quantità dei reagenti e dei prodotti ma solo rapporti di proporzionalità, essendovi un parametro libero.

Per dare una interpretazione pratica alle soluzioni del sistema è necessario che esse abbiano componenti intere e positive (di solito con i numeri più bassi possibile).

Nel caso specifico basta prendere, per esempio $x_1 = 2$ e si ottengono le soluzioni

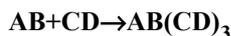
$$x_1 = 2 \quad x_2 = 5 \quad x_3 = 3 \quad x_4 = 1 \quad x_5 = 2 \quad x_6 = 5 \quad x_7 = 3$$

Nelle reazioni citate dalla legge di Proust, reazioni di preparazione di composti partendo da sostanze semplici, questa condizione è evidente. Infatti la più semplice reazione possibile di riaggiustamento di legami con una sola sostanza, ad esempio



prevede due incognite e una sola equazione.

Esaminando sostanze composte più complesse aumenta il numero di equazioni ma contemporaneamente il numero di incognite (3 incognite e 2 equazioni). Passando alle reazioni più generali (daltoniane), non solo quelle di preparazione (Proust), può sembrare che questa condizione non venga rispettata, ma un esame più attento smentisce questa eventualità; infatti, esaminando la reazione astratta

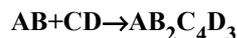


avremo quattro equazioni in tre incognite. Però è evidente che il sistema dovendo avere una soluzione, dipendente da un parametro (poiché tale generica reazione potrebbe avvenire), due delle equazioni devono essere combinazioni lineari delle altre (infatti risulta evidente che le equazioni costruite con la conservazione di **B** e **D** sono uguali a quelle ottenute esaminando la conservazione di **A** e **C**).

Calcolando il rango della matrice dei coefficienti.

$$\text{RANK} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & -3 \\ 0 & 1 & -3 \end{bmatrix} = 2$$

Invece, se avessimo la reazione



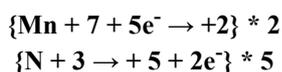
la matrice dei coefficienti

$$\text{RANK} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -2 \\ 0 & 1 & -4 \\ 0 & 1 & -3 \end{bmatrix} = 3$$

Ha rango 3 e quindi le equazioni sono linearmente indipendenti, cioè il sistema ammette un'unica soluzione: quella nulla. Ciò equivale a dire che la reazione non può avvenire.

Le reazioni in cui sono presenti $n-2$ equazioni con n incognite, cioè due parametri liberi, nella didattica della chimica sono rare. Purtroppo Berthollet incorse in una reazione del genere ottenendo quindi risultati discordanti dalla legge di Dalton.

Attualmente il bilanciamento delle reazioni di ossido riduzione viene effettuato con il formalismo dei numeri di ossidazione. Tale formalismo si basa sul principio fisico della conservazione della carica (uguaglianza degli elettroni scambiati), mentre quello proposto nell'esempio si basa esclusivamente sul principio di conservazione della massa (come indotto dalla legge di Lavoisier). Il principio fisico si traduce nel fissare un rapporto tra le specie che scambiano gli elettroni e utilizzarlo all'inizio col coefficienti coprimi. Nel caso specifico della (1)



Il rapporto più basso è quindi $2/5$, ma ovviamente anche $4/10$, $6/15$, ecc, sono soluzioni accettabili.

Il formalismo dei numeri di ossidazione è stato introdotto per risolvere manualmente il sistema; in pratica diagonalizzandolo. Però i software matematici rendono tutto ciò completamente inutile.

Vale la pena di sottolineare il fatto che avvenendo una reazione di ossido riduzione, anche se si basa sulla conservazione della carica automaticamente sottintende l'esistenza di infinite soluzioni dipendenti da un parametro e porta allo stesso risultato ottenuto con il bilanciamento della massa. Questo non deve stupire essendo le cariche ospitate su particelle dotate di massa.

Restano da chiarire alcuni aspetti matematici del problema, sia un punto di vista teorico che didattico.

3 Esistenza di soluzioni positive

Il solo studio del determinante non garantisce l'esistenza di soluzioni positive, come la Chimica vorrebbe. Si consideri, per esempio, la reazione astratta



Il sistema generato porta a soluzioni multiple di $x_1 = 3$, $x_2 = -1$, $x_3 = 1$. Tale reazione non può quindi avvenire.

A questo punto ci poniamo il problema di ricavare condizioni che a priori garantiscano l'esistenza di soluzioni positive. Consideriamo il sistema associato alla reazione, scritto con tutte le incognite a sinistra e la relativa matrice dei coefficienti.

Con semplici passaggi algebrici che non sono proponibili agli studenti si può dimostrare che l'esistenza di soluzioni positive è equivalente alla seguente condizione: *Il semplice (in $n+1$ dimensioni), che ha come vertici le n colonne della matrice, contiene lo 0.*

Ricordiamo la definizione di semplice

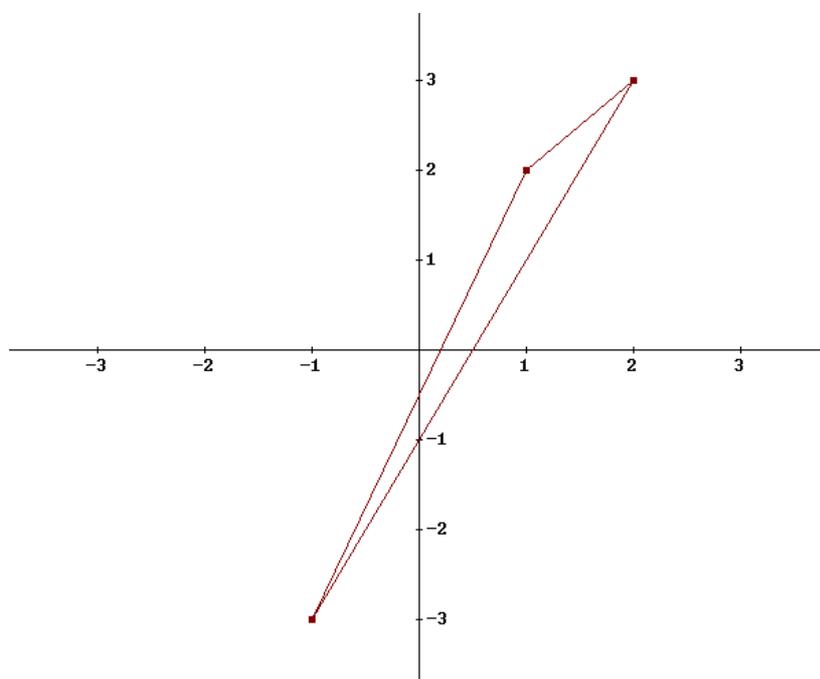
Definizione. Dati $n+1$ punti in \mathbf{R}^n , chiamiamo n -simpleso di vertici i punti dati, la più piccola figura convessa che li contiene.

Le colonne della matrice sono formate dai pedici presenti nelle formule molecolari.

Nell'esempio precedente abbiamo $n = 3$ e la matrice è

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & -1 \\ 2 & 3 & -3 \end{bmatrix}$$

In questo caso il semplice è il triangolo avente vertici i punti (1,2),(2,3),(-1,-3).



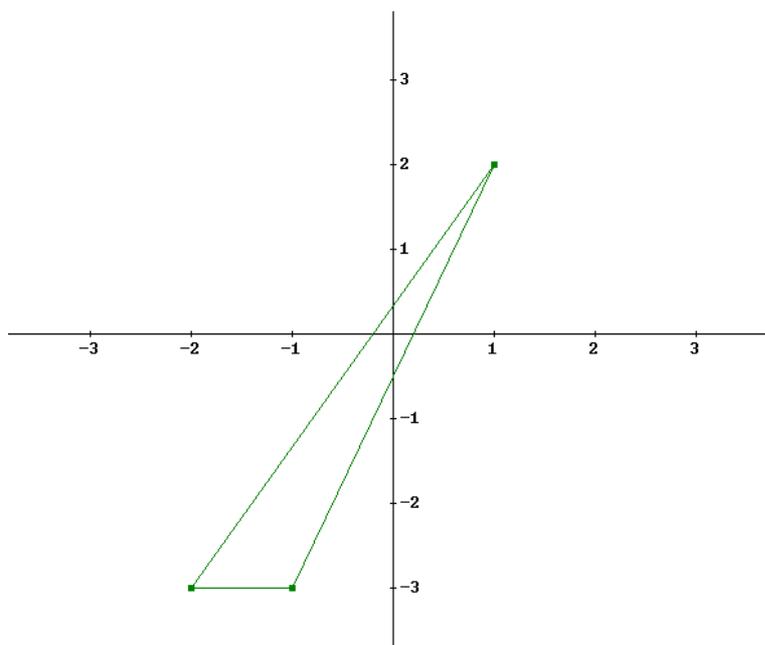
Si vede che l'origine non cade nel triangolo. I punti corrispondenti ai reagenti possono trovarsi solo nel primo quadrante e quelli dei prodotti nel terzo.

Viceversa la reazione



Bilanciamento delle reazioni chimiche e sistemi lineari

Può avvenire. Il relativo disegno è

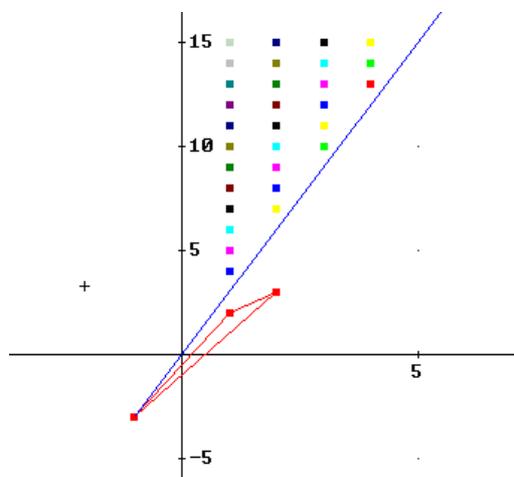


Si vede che l'origine degli assi cade nel triangolo.

Torniamo al primo esempio e domandiamoci quali valori si possono assegnare ai numeri relativi di atomi, per esempio, nella seconda molecola della reazione (4) al posto di 2, 3, affinché la reazione possa avvenire. A tale scopo la riscriviamo nella forma



Si tratta quindi di trovare i possibili valori di x e y .



I punti accettabili sono al di sopra della retta passante per $(-1, -3)$ e $(0, 0)$, in modo che il triangolo comprenda l'origine.]

Si vede che l'origine degli assi cade nel triangolo.

Purtroppo la rappresentazione grafica è di aiuto per reazioni che coinvolgano fino a tre elementi. Per un numero maggiore si potrebbero visualizzare le proiezioni del simpleso e dello 0 su piani, ma la condizione che la proiezione dello 0 sia contenuta nella proiezione del simpleso è solo necessaria.

Mappe concettuali

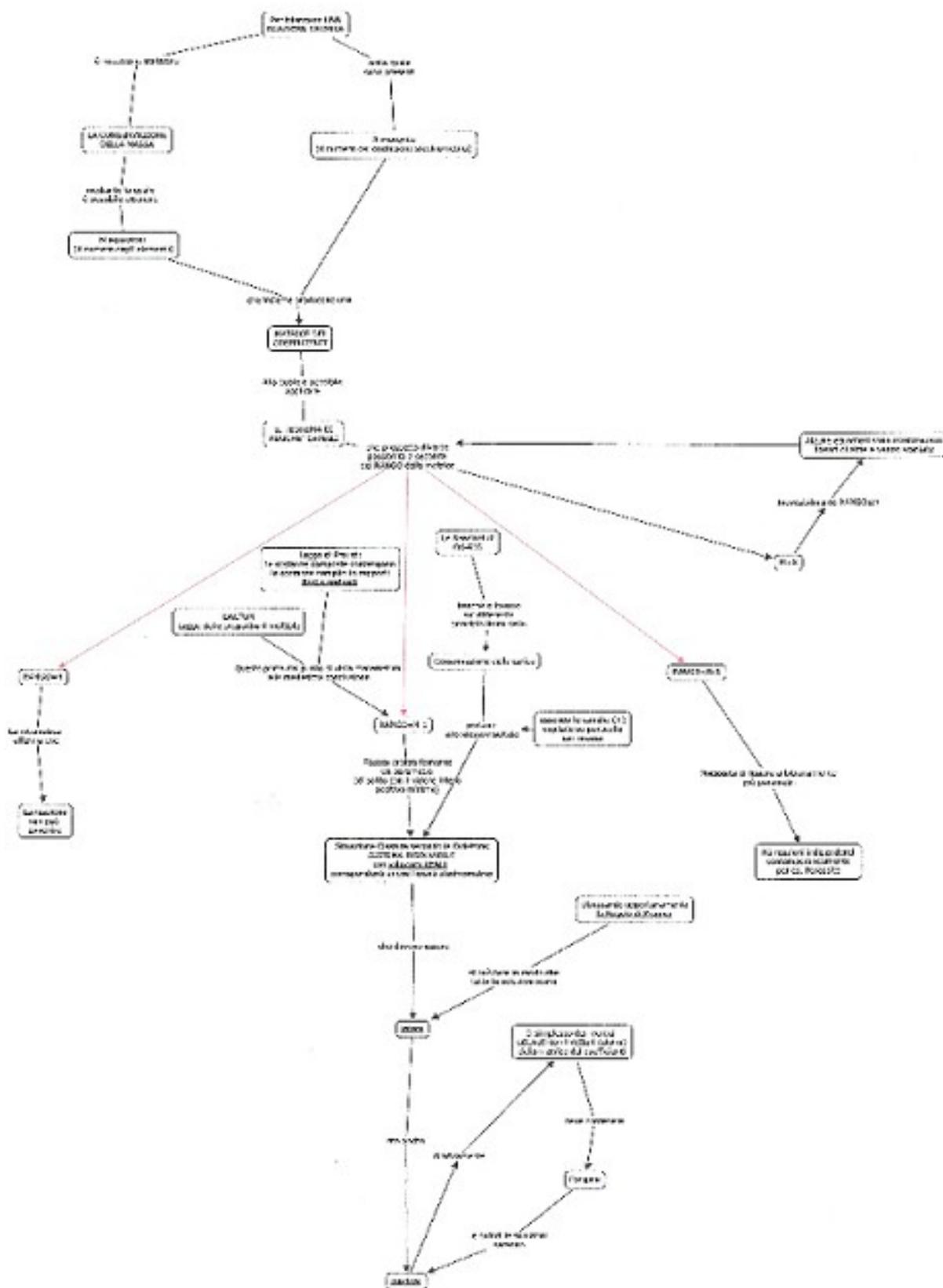
I concetti espressi in questa nota possono essere sintetizzati in una mappa concettuale (Reazioni). Ci pare opportuno dividerla in 3 sottomappe collegate al discorso fatto.

Nella prima si evidenzia come dalla reazione chimica si arrivi alla matrice dei coefficienti (sottomappa 1), nella seconda i possibili casi collegati con la matrice dei coefficienti (sottomappa 2). Nella terza la discussione relativa alle soluzioni (sottomappa 3).

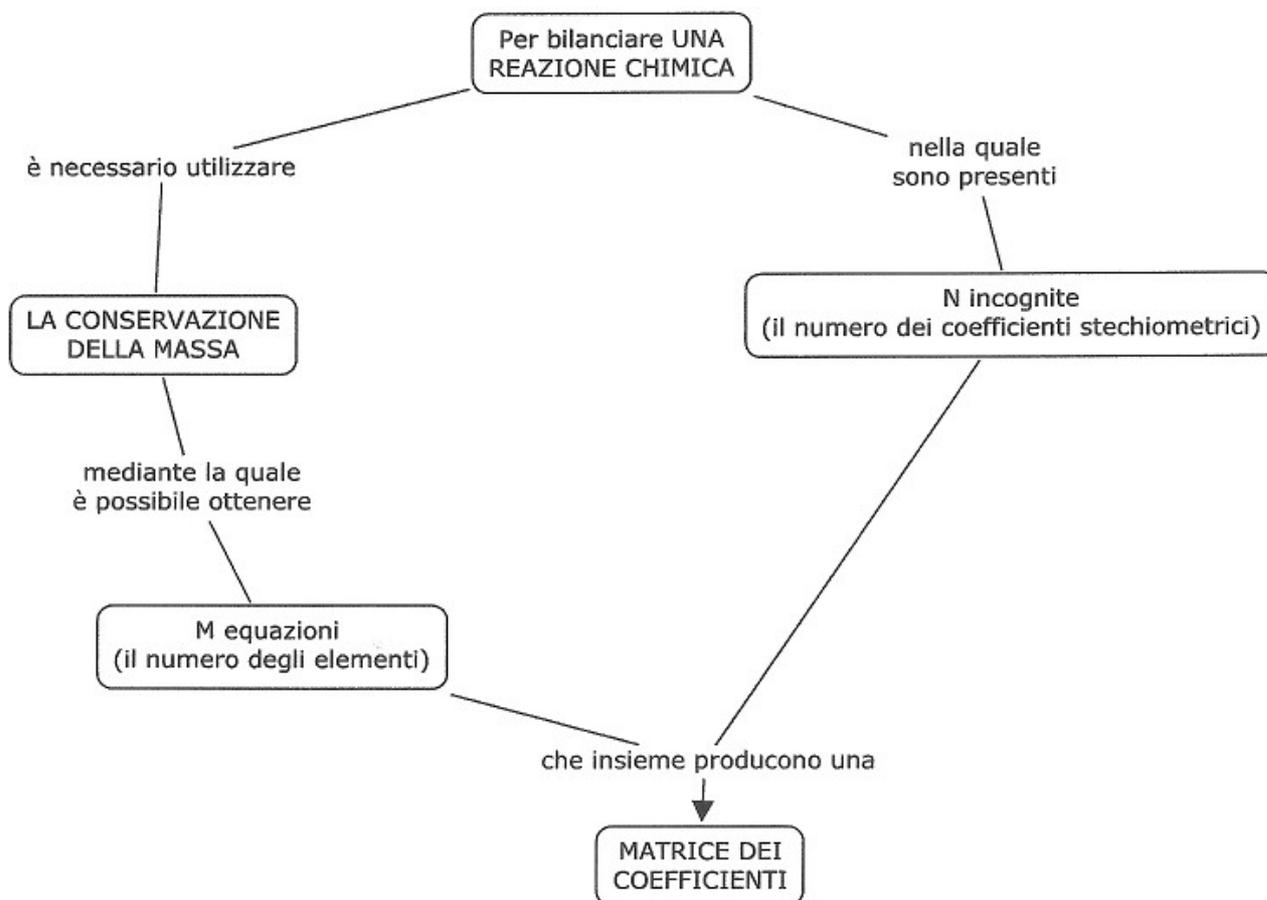
Ringraziamenti

Ringraziamo A. Laface per averci suggerito la condizione del simpleso trattata nell'ultimo paragrafo.

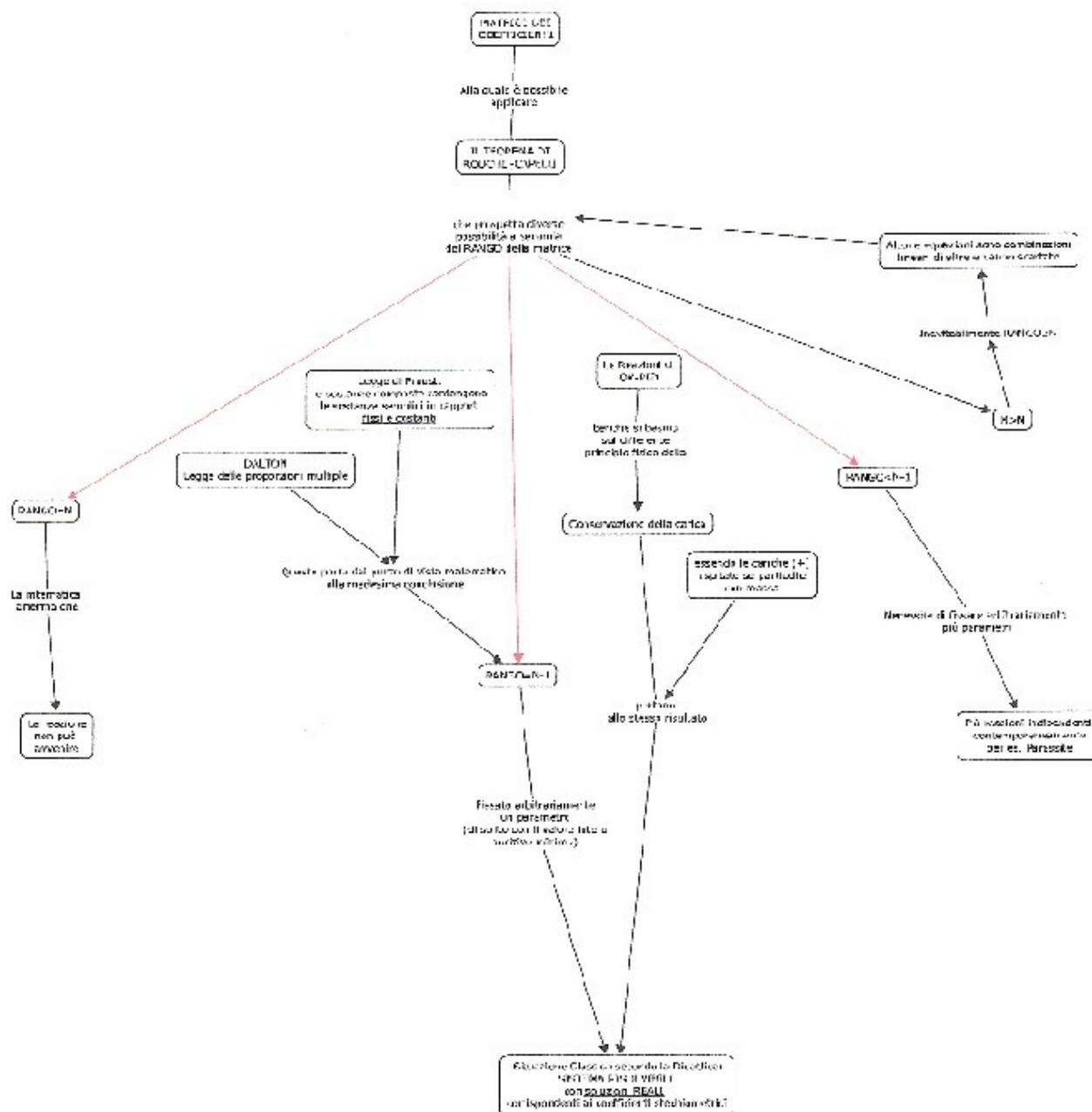
Mappa concettuale (Reazioni)



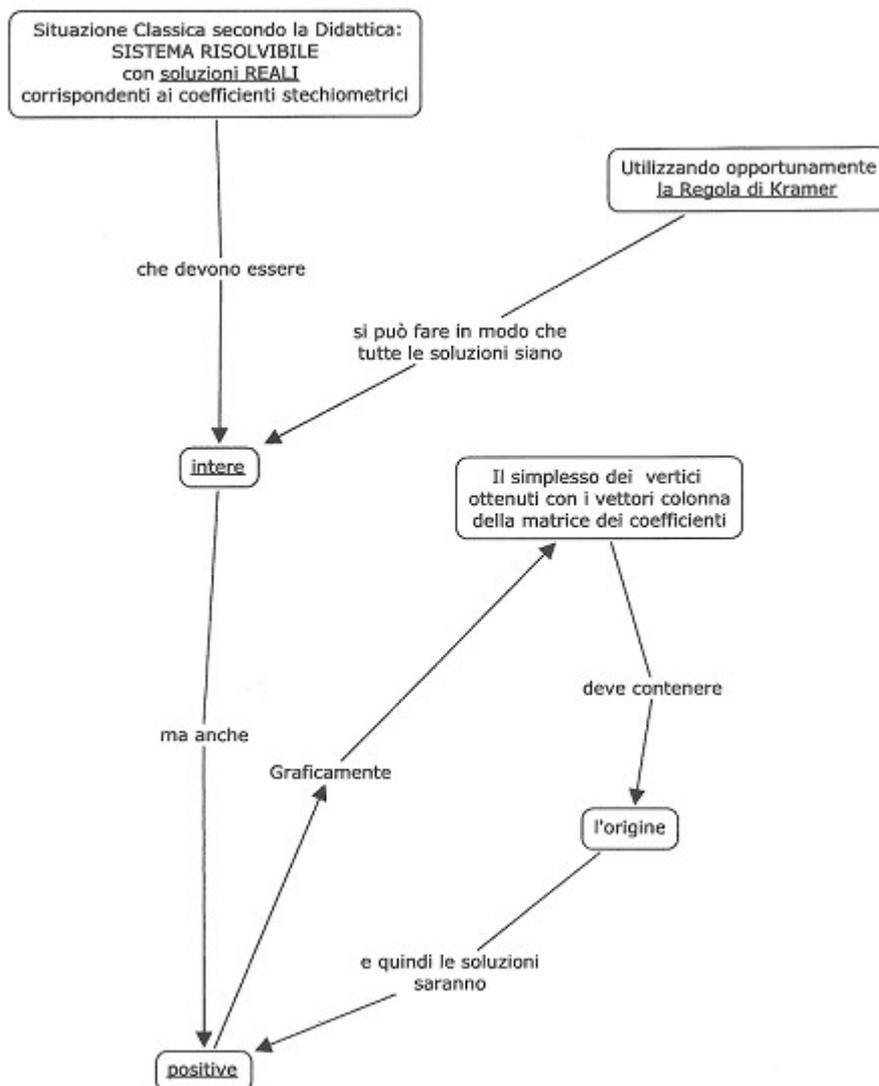
Sottomappa 1



Sottomappa 2



Sottomappa 3



A chemoenzymatic synthesis of Baclofen

Looking for an effective way of concluding a basic course of organic chemistry

Francesco Gurzoni* and Andrea Burato

Istituto Tecnico Industriale "Galileo Ferraris", Via del Pontiere 40, 37122 Verona, Italy,
*gurzoni@tiscali.it

Abstract

The chemoenzymatic synthesis of an antispastic drug [4-amino-3-(4-chlorophenyl)butanoic acid, also known as Baclofen] is described. The synthesis consists of six steps and was carried out by a group of 18-year old students at the end of a two-year introductory organic chemistry course. The main purposes of this experience were to show how a few important organic reactions can be connected in order to prepare a biologically active molecule and to check the students' experimental skills in a particularly motivating context. After a short comment on the experimental results, the article discusses thoroughly the pedagogical benefits of such a challenging project, emphasizing the effectiveness of a close cooperation between organic and analytical chemistry.

Keywords

Second-Year Undergraduate; Organic Chemistry; Hands-On Learning/Manipulatives; Synthesis; Drugs/Pharmaceuticals; Enzymes; Chromatography; Spectroscopy; Chirality/Optical isomers.

Teachers of a basic organic chemistry course usually do not have time to illustrate meaningful applications of organic reactions. As a consequence, even good students end up learning a list of reactions that they cannot put together in a logical way so as to produce a target-oriented process. They remind us of people who know a lot of words of a foreign language, but are not able to make a sentence and say what they want to say. This was more or less the situation of the students of our technical high school at the end of the fourth class after a two-year introductory organic chemistry course.

In an attempt to solve this problem we thought that the best way to reply to annoying questions such as "What are all these reactions for?" would be to recall that the job of an organic chemist is basically to make molecules. So we decided to synthesize Baclofen, a drug widely used to treat muscle spasms associated with multiple sclerosis, Lou Gehrig's disease and spinal cord injuries [1].

The main purposes of our project were: to apply both various laboratory techniques and important organic reactions to the synthesis of a biologically active molecule; to help students to integrate the theory of organic chemistry with practical experience; to give them the opportunity to face one of the basic problems in modern organic synthesis: reaction control, which means to reach the highest possible level in chemoselectivity, regioselectivity and stereoselectivity.

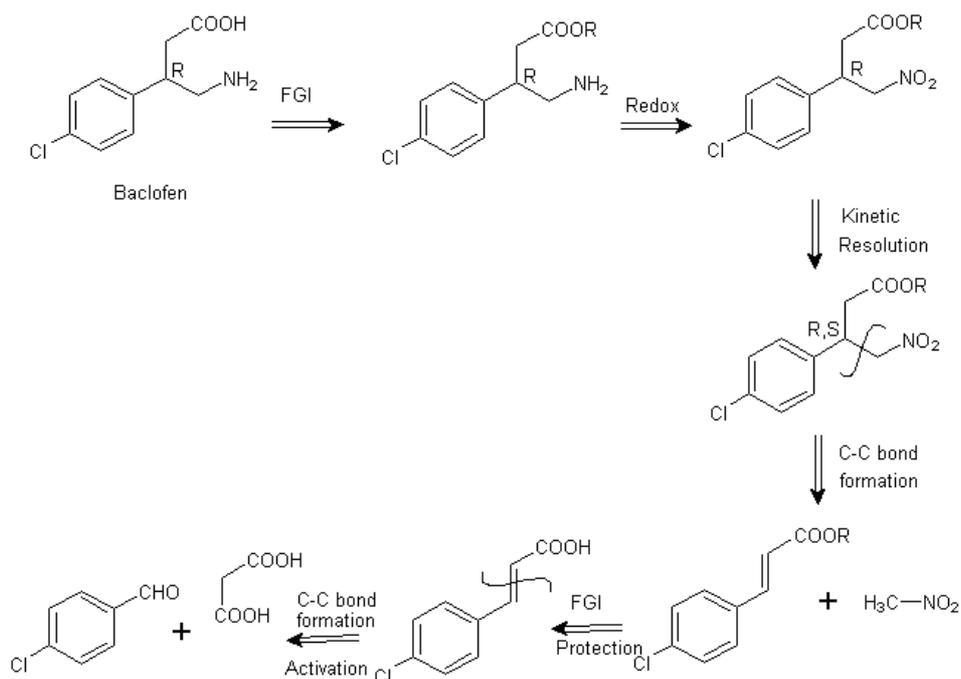
Overview and theoretical background of the synthesis

The chemical name of Baclofen is 4-amino-3-(4-chlorophenyl)butanoic acid (scheme I). Despite its apparent simplicity, this molecule shows several structural aspects which deserve attention. It contains both a carboxylic and an amino group in an unusual 1,4-relationship, and a 1,4-disubstituted benzenic ring. Last but not least, there is a stereogenic centre. This feature is of particular interest, because the enantiomers of this compound differ in their pharmacodynamic and toxicological properties: the (R)(-)-enantiomer is much more active but also more toxic than the (S)(+)-enantiomer [2].

Because of its biological and pharmacological importance, there are several reports in the literature concerning the total synthesis of Baclofen [3]. Among these, we focused our attention on the work of Felluga and coworkers [4], which seemed more suitable for our purposes, albeit with some additions and the necessary appropriate modifications.

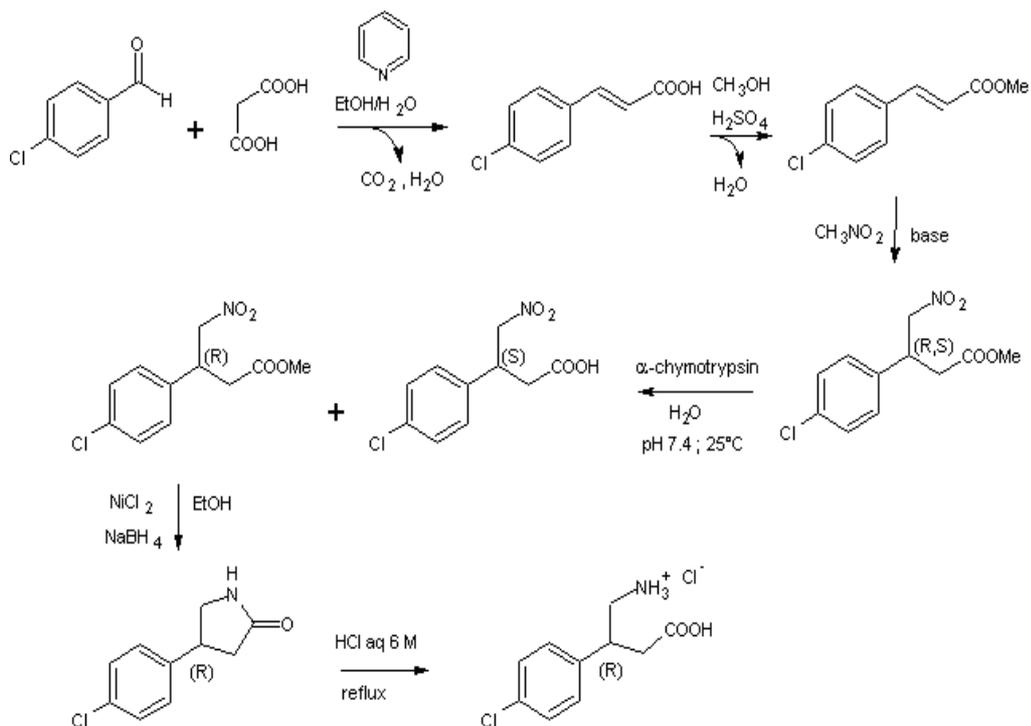
According to our retrosynthetic approach (scheme I)[5], the starting compound is 4-chlorobenzaldehyde, a simple and inexpensive aromatic compound having the correct substitution pattern.

A chemoenzymatic synthesis of Baclofen



Scheme I. Retrosynthetic analysis of Baclofen.

The synthetic path that corresponds to this retrosynthesis is illustrated in scheme II. The first step is a Knoevenagel reaction, an aldol-type condensation widely used to prepare cinnamic acids, where 4-chlorobenzaldehyde is the acceptor whereas malonic acid plays the role of an activated donor [6]. The presence of the C=C bond conjugated with the carbonyl is a key factor here, because it paves the way for the following Michael reaction, which allows the formation of the second new C-C bond and the required 1,4-relationship between the two final functional groups. Before the Michael reaction, however, it is necessary to protect the carboxylic group through esterification.



Scheme II. Baclofen synthesis.

In the nucleophilic attack of nitromethane on the cinnamate ester a problem of regioselectivity may arise. But the competition between direct addition and conjugate addition is easily won by the latter, thanks to the use of an α,β -unsaturated ester as acceptor and of nitromethane as donor, both of which favour the conjugate addition mechanism [7].

In the last step the sp^2 -hybridized prochiral β -carbon atom turns into a stereogenic centre. However, because the two enantiotopic faces of the planar conjugated system show the same reactivity towards the nucleophile, the reaction produces a racemic mixture of (R) and (S) γ -nitroesters. Then the mixture reacts with α -chymotrypsin, an enzyme which stereoselectively hydrolyzes the (S)-nitroester faster than it does with the (R)-enantiomer [4]. A simple extraction follows, which separates the (S)-nitroacid from a nitroester sample enriched in the (R)-enantiomer.

As the nitro group has already performed its task, it can be reduced to an amino group. If we used for this purpose a strong reducing agent like $LiAlH_4$ it would reduce the ester group as well. It is therefore necessary to employ a milder, more chemoselective reagent, like H_2 and Pd/C [4] or $NaBH_4$ in combination with a transition metal [8-9]. Actually, the resulting aminoester is not isolated, because of an intramolecular acyclic nucleophilic substitution leading to the formation of a lactam [4-(4-chlorophenyl)pyrrolidin-2-one]. After a chromatographic purification step the optical activity of the lactam is checked by polarimetric measures. Eventually, the acid hydrolysis of the lactam affords Baclofen in the form of its hydrochloride.

Hazards

All the reactions and the purification steps were carried out in a fume hood. 4-chlorobenzaldehyde, malonic acid, 4-chlorocinnamic acid, methyl 4-chlorocinnamate, α -chymotrypsin and Baclofen itself are irritant to skin, eyes and respiratory system, and so is 6 M hydrochloric acid. Methanol is flammable and toxic. Sodium borohydride is toxic by contact and by ingestion. It forms hydrogen by reaction with water and can cause burns. 1,1,3,3-Tetramethylguanidine, the base used in the Michael reaction, is flammable and can cause burns. Pyridine is flammable and harmful by inhalation and by contact. Concentrated sulphuric acid can cause severe burns. Nickel chloride is a cancer suspect agent and n can cause sensitization to skin. Nitromethane and all the solvents used (see the experimental procedure) are highly flammable. The hazards of some intermediates (γ -nitroester and lactam) are unknown.

Results

The project required a 42 hour lab period for its completion. Throughout the synthesis students worked in pairs. The average overall yield obtained by the seven groups of our class was 12%. The physical properties of the final product were in accordance with those reported in the literature. Its optical purity (about 30%) was indirectly evaluated through polarimetric analysis of the lactam, taking advantage of its higher specific optical rotatory power.

We found two steps particularly challenging: the enzymatic resolution (conversion lower than expected, despite the long reaction time) and the γ -nitroester reduction (high conversion, but rather low yield). See the experimental part for details. These steps should be optimized through the identification of the nature of by-products and an accurate evaluation of the influence of experimental conditions on the outcome of the reaction.

Students were regularly asked to record their observations and experimental data, in order to write a final laboratory report. Some of them noticed that resolution of racemic mixtures drastically lowers the overall yield, resulting in a waste of reagents. This observation led to an interesting discussion, highlighting the recent development of asymmetric synthesis.

Pedagogical benefits for students

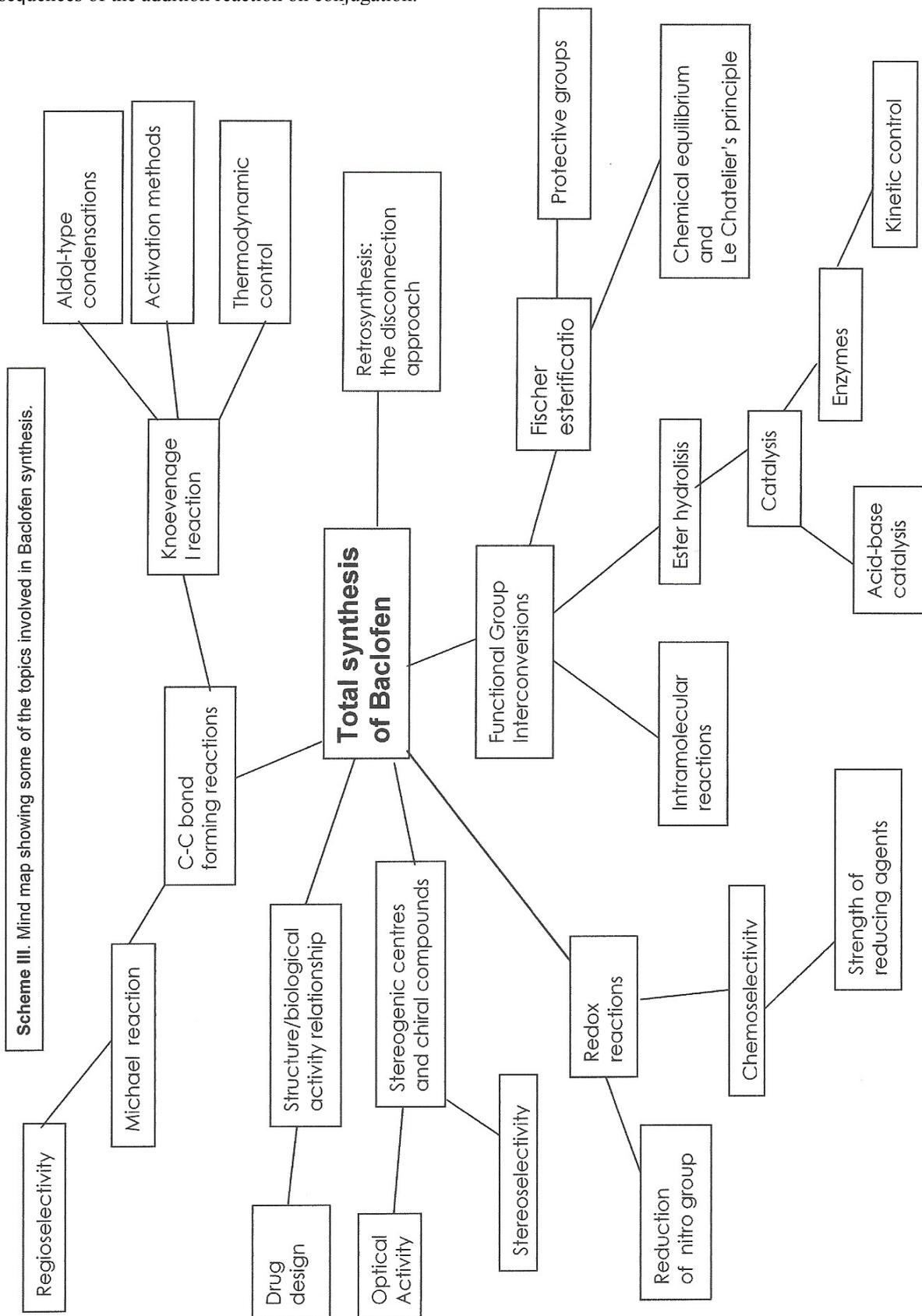
The map of scheme III illustrates how many topics can be involved and dealt with in planning and carrying out a total synthesis. This makes the project particularly suitable for revising some important reactions and concepts of a standard organic chemistry course and for creating useful links between them.

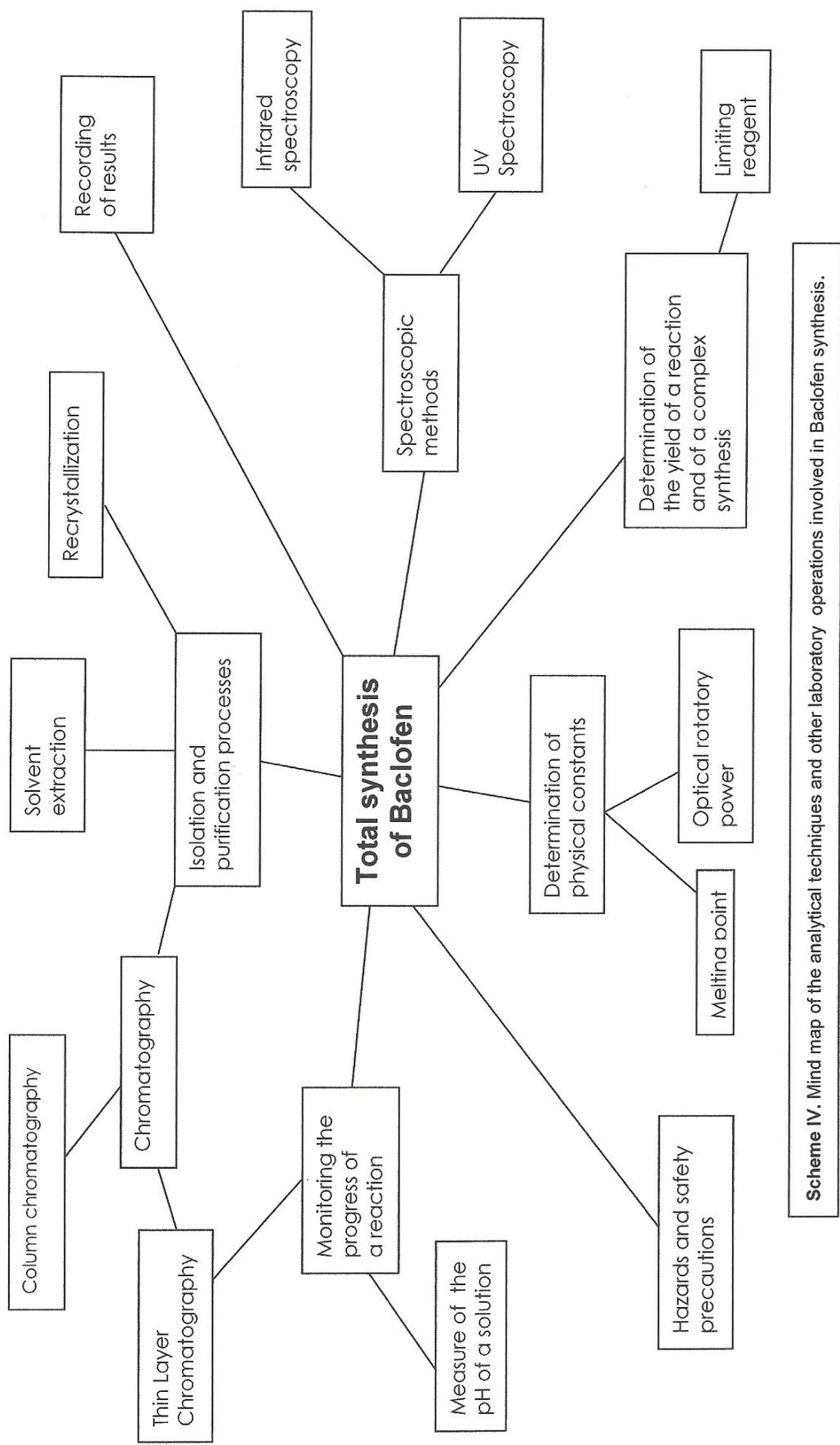
It should be kept in mind that in a target synthesis each chemical transformation is part of a logical scheme, where it plays a specific role, and even the order of steps is closely related to the chemical properties of the intermediate compounds. For example, even a trivial reaction like the Fischer esterification can become significant, once employed in the Baclofen synthesis. Not only did it protect the carboxylic group during the Michael reaction, it also allowed the enzymatic resolution to take place and favoured the cyclization step, which resulted in the formation of a very useful lactam. In this sense we think that such an activity may support a better understanding of metabolic pathways, an important topic in the biochemistry course.

As scheme IV clearly shows, throughout the synthesis our students could appreciate the benefits from a close cooperation between organic and analytical chemistry. TLC analysis of some reaction mixtures and product purification by column chromatography were effective approaches to the theory and practice of chromatography. In addition, at each step of the synthesis students were asked to compare the IR spectra of the starting compound and of the product. This "dynamic" interpretation of spectra is particularly useful for developing the ability of relating spectroscopic similarities and differences to the structural changes occurring during a reaction. Something similar happened after the Michael

A chemoenzymatic synthesis of Baclofen

step, when the striking difference between UV spectra of methyl cinnamate and γ -nitroester highlighted the consequences of the addition reaction on conjugation.





Scheme IV. Mind map of the analytical techniques and other laboratory operations involved in Baclofen synthesis.

A chemoenzymatic synthesis of Baclofen

Conclusion

Target synthesis calls for diverse skills in the organic chemist. For this reason, we think that a total synthesis is the ideal activity to conclude an introductory course, provided that a well equipped laboratory is available. Due to its complexity, however, such a project requires accurate planning and should be supported by a close cooperation between organic and analytical chemistry teachers. Some slow reactions and some time-consuming purification procedures make it hard to meet the experimental needs, particularly when the organization of the school timetable is rather rigid.

Acknowledgements

We thank the "Ordine dei chimici della provincia di Verona" for financing this project.

Literature Cited

1. Mann, A.; Boulanger, T.; Brandau, B.; Durant, F.; Evrard, G.; Heaulme, M.; Desaulles, E.; Wermuth, C.G. *J. Med. Chem.* **1991**, *4*, 1307-1313.
2. Chenevert, R.; Desjardins, M. *Tetrahedron Lett.* **1991**, *32*, 4249-4250.
3. For a partial, but quite recent list, see: Thakur, V.V.; Nikalje, M.D.; Sudalai, A. *Tetrahedron: Asymmetry* **2003**, *14*, 581-586.
4. Felluga, F.; Gombac, V.; Pitacco, G.; Valentin, E. *Tetrahedron: Asymmetry* **2005**, *16*, 1341-1345.
5. Menicagli, R. *La Chimica nella Scuola* **2004**, May-June and September-October
6. Wiley, R.H.; Smith, N.R. *Organic Syntheses Coll. Vol. 4*; Wiley: New York, 1963; pp 731-734
7. Clayden, J.; Greeves, N.; Warren, S.; Wothers, P. *Organic Chemistry*; Oxford University Press: Oxford, 2001; pp 236 and 766.
8. Okino, T.; Hoashi, Y.; Furukawa, T.; Xu, X.; Takemoto, Y. *J. Am. Chem. Soc.* **2005**, *127*, 119-125.
9. Camps, P.; Munoz-Torrero, D.; Sanchez, L. *Tetrahedron: Asymmetry* **2004**, *15*, 2039-2044.

La didattica della chimica: dal modello macroscopico al modello microscopico

Francesco Giuliano
francesco.giulianolt@libero.it

Riassunto

La nascita della scienza chimica non deriva dall'ipotesi atomica-molecolare, la cui comprensione si mostra complessa e richiede capacità di astrazione e solide basi di tipo fisico; essa scaturisce, invece, da tutte le tecniche e i procedimenti utilizzati per l'estrazione e la purificazione delle sostanze, a cui ha dato un ampio contributo l'alchimia, e dalla ricerca e dalla determinazione delle loro proprietà fisiche e chimiche. Per questi motivi, a livello di scuola media e di biennio della scuola secondaria di secondo grado, bisogna caratterizzare la didattica della chimica seguendo il percorso storico-epistemologico con una metodologia che passi gradualmente dall'ambito macroscopico a quello microscopico.

Abstract

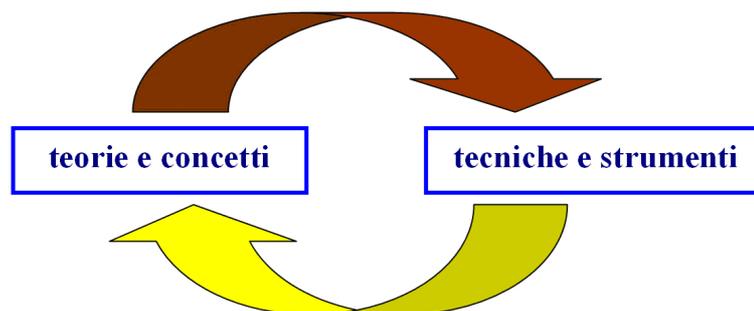
The birth of the chemical science doesn't derive from the atomic-molecular hypothesis, whose understanding appears complex and asks for ability of abstraction and mathematical knowledge. Instead, chemistry comes from all the techniques and the procedures used for the extraction and the purification of the substances, to which the alchemy has given a relevant contribution, and from the search and the determination of their physical and chemical properties. Because of that, the teaching of chemistry in middle school and in the first two years of the secondary school of according to degree, must follow the historical and epistemological development, with a methodology that gradually passes from the macroscopic level to that microscopical.

1. Premessa

Prima ancora che fossero avanzate le teorie atomico-molecolari, gli alchimisti avevano affinato le tecniche per l'estrazione di alcuni metalli dai rispettivi minerali o per la produzione di alcune sostanze. Essi, infatti, avevano fondato i loro esperimenti e la manipolazione dei corpi materiali basandosi sui quattro *principi* aristotelici e sui tentativi del *provare e riprovare*. In effetti, con il loro lavoro, gli alchimisti avevano posto le premesse per lo sviluppo della chimica. Molti composti, infatti, erano stati ottenuti con procedimenti empirici. Anche alcuni metalli erano stati isolati con metodi codificati nel tempo, ancor prima della scoperta delle leggi fondamentali della chimica. Oggi, nell'introdurre la chimica a livello scolastico, si fa un salto nel tempo di diversi millenni trascurando tutto il lavoro fatto dagli alchimisti. Allo studente vengono presentate le ipotesi atomico-molecolari utilizzando modelli microscopici, trasmettendogli così il convincimento che la chimica sia una scienza molto difficile, teorica e che esige forti basi di fisica e di matematica. Si trascura in questo modo il suo giusto valore sperimentale, epistemologico e culturale. Si cancellano così i millenni di ricerca forsennata condotta dagli alchimisti, senza tener conto che se non ci fosse stata l'alchimia non ci sarebbe la chimica, se non ci fosse stata l'alchimia sarebbero venuti meno alcuni de "gli strumenti [che] permettono di conferire realtà alle più ingegnose congetture scientifiche" [1].

Limitarsi, tuttavia, soltanto alle tecniche alchemiche provocherebbe un disorientamento in chi vuol comprendere una scienza dai connotati particolari che induce, chi non è addetto ai lavori, a interpretazioni inafferrabili, irrazionali e magiche. Lo stesso errore si commetterebbe presentando la chimica soltanto dal punto di vista teorico, tralasciando cioè i suoi riferimenti generatori. Bisogna ritenere che alcune intuizioni degli alchimisti (tra cui quella di trasformare un *metallo vile* in oro, oppure quella secondo la quale i metalli costituivano una scala gerarchica in cui l'oro, metallo perfetto, occupava l'apice, o ancora quella secondo la quale i *metalli vili* erano soggetti a continue trasformazioni) siano state sperimentate e dimostrate corrette dalla ricerca scientifica.

La speculazione filosofica, d'altra parte, da sola non avrebbe causato la nascita della chimica, perché, come afferma Francesco Bacone, "gli assiomi correttamente scoperti e riconosciuti veri armano la pratica in modo non superficiale, ma profondo, e generano un gran numero di applicazioni pratiche ... Non la sola mano, o l'intelletto in sé possono sussistere; tutto si compie mediante gli strumenti e i mezzi ausiliari". Per migliorare, allora, il processo di insegnamento/apprendimento della chimica, come dimostra l'evoluzione del pensiero chimico, teorie e concetti da una parte e tecniche e strumenti dall'altra devono essere integrati, in quanto il loro significato si realizza passando circolarmente dagli uni agli altri.



Questa dissertazione, dunque, vuole essere, anche se in termini non approfonditi, una digressione storica dei principi e dei metodi della conoscenza chimica con l'intento di presentare per sommi capi una metodologia didattica che trasporti gradualmente, nel processo di insegnamento/apprendimento, lo studente dallo studio macroscopico della materia a quello microscopico seguendo appunto il percorso epistemologico (dal greco *episthmh*, scienza, e *logos*, discorso).

2. Concezioni filosofiche

Nel V secolo a.C. il filosofo greco Leucippo fondò una corrente di pensiero conosciuta con il nome di atomismo, che venne sviluppata da Democrito di Abdera. Secondo gli atomisti, l'universo si fondava su due principi, gli atomi (l'essere), corpuscoli indivisibili, e il vuoto (il non essere). Gli atomi muovendosi nel vuoto, in modo vorticoso, si aggregavano originando ogni cosa senza subire alcun mutamento. Essi si distinguevano tra loro solo per grandezza e per forma. Atomi e vuoto erano le uniche certezze, tutte le altre cose erano soltanto convinzioni personali. Il sofista Protagora di Abdera, discepolo di Democrito, infatti, sosteneva che " *l'uomo è misura di tutte le cose, di quelle che sono in quanto sono, di quelle che non sono in quanto non sono*". Dando a " *misura*" il significato di " *criterio*" e a " *cose*" quello di " *fatti*", si può sostenere che questo filosofo abbia introdotto già nel V secolo a.C. il principio della relatività [2]. La concezione atomistica materialistica derivava dall'impossibilità di dividere in pratica all'infinito la materia. Per successive divisioni, infatti, sarebbe rimasto qualcosa di indivisibile, l'atomo (dal greco *a-témnw*, " *non si spezza ulteriormente*"). Gli atomisti dunque confondendo l'astrazione con l'osservazione riuscirono a superare i limiti delle sensazioni dirette e per questa strada giunsero anche all'idea della sfericità della Terra. Questa fu la prima concezione in termini astratti di interpretazione della natura.

L'atomismo venne ripreso più tardi tra i filosofi greci soltanto da Epicuro, e da Lucrezio, scrittore latino epicureo, che nel *De rerum natura*, affermando un principio fondamentale, *nil ex nilo, nil in nilum*, niente nasce dal nulla, nulla si trasforma in niente, sosteneva che esiste una *materies aeterna* composta da *rerum primordia*, corpi piccolissimi, gli atomi, da cui si originano tutte le cose. Aristotele di Stagira, filosofo vissuto nel IV secolo a.C., invece contrappose all'atomismo meccanicistico democriteo una visione naturalistica del mondo fisico il cui movimento derivava da Dio. Secondo questa concezione ogni sostanza era considerata una miscela dei quattro *principi, aria-acqua-terra-fuoco*, ognuno dei quali si trasformava nell'altro. Ad esempio, il legno (terra) bruciando generava fuoco e aria, oppure l'acqua evaporando si trasformava in aria. La concezione atomistica tuttavia fu abbandonata ben presto perché era molto astratta, mentre la concezione aristotelica si affermò nei secoli futuri, in quanto era più facilmente comprensibile perché legata a fatti percepibili con i sensi, quindi non astratti. L'alchimia, infatti, interagendo con la cultura filosofica della Magna Grecia abbracciò la concezione dei *principi aristotelici* come fondamento della composizione di tutti i corpi.

3. Riferimenti storici dell'alchimia

Nell'antico Egitto, molti secoli prima della concezione atomistica della materia, si era sviluppata una tecnica, a cui venne dato il nome di alchimia (forse dal greco *Chmía*, terra nera), sui cui procedimenti si basava la mummificazione dei defunti, fatta per impedire che l'uomo perdesse la purezza e la grandezza raggiunte in vita. Dopo la morte, infatti, si riteneva che il corpo entrasse, con la putrefazione, nel ciclo biologico e di conseguenza venisse *reincarnato*. Gli alchimisti avevano messo a punto nel frattempo molte di quelle tecniche che oggi sono proprie della chimica, in particolare l'estrazione dei metalli dai loro minerali mediante i processi metallurgici o, durante l'antica civiltà Assiro-Babilonese, la produzione di coloranti, di profumi e di medicinali artigianali. Ci sono poi tracce dei processi alchemici sin da quando *l'uomo preistorico* imparò ad estrarre i metalli dai minerali corrispondenti (ad esempio il rame dalle rocce carbonatiche) originando la prima grande rivoluzione culturale della storia, che determina il passaggio dall'*Età della pietra* all'*Età del rame*. L'alchimia in ogni modo si può considerare la genitrice della chimica perché, in quell'affannosa indagine di trasformare senza successo il *vil piombo in oro* oppure nella fallimentare ricerca di scoprire la *pietra filosofale* o *l'elisir di lunga vita*, gli alchimisti misero a punto altri processi, quali quello di produzione della ceramica a partire dai minerali argillosi, quello di estrazione dei coloranti o di produzione di alcuni composti chimici. Tutto questo senza conoscere le leggi fondamentali su cui la chimica si fonda.

Qualche secolo dopo la caduta dell'Impero Romano, furono gli Arabi che, con il loro espansionismo nel bacino del Mediterraneo, si impossessarono delle consolidate tecniche alchimistiche antiche integrandole con la loro cultura. Gli alchimisti arabi, infatti, svilupparono le tecniche di distillazione dell'acqua e del vino con gli *alambicchi* ottenendo l'alcool etilico (dall'arabo *al-ghul*, *spirito del demone*), con cui disinfettavano le ferite e preparavano molti miscugli medicamentosi. Si può dire, in definitiva, che l'alchimia araba fece grandi scoperte e affinò tecniche importantissime e rivoluzionarie tra le quali quella di produzione della carta. Verso la fine dell'VIII secolo dopo Cristo, infatti, a Bagdad si costruì la prima cartiera industriale per la produzione della carta utilizzando come materie prime, la canapa, il gesso, l'allume e la colla. La produzione della carta fu una grande rivoluzione perché permise a sua volta la diffusione della cultura araba in tutti i paesi dominati. Giabir, fondatore dell'alchimia araba, vissuto tra IX e il X secolo dopo Cristo, isolò l'acido acetico dall'aceto e scoprì sia l'acido solforico che l'acido nitrico. Questi acidi consentirono agli alchimisti di fare notevoli progressi. Il tedesco Alberto Magno (1206–1280) per primo importò in Europa le tecniche alchimistiche in seguito alle crociate in Terra Santa. Nel Medio Evo la religione cristiana considerò l'alchimia mera magia e stregoneria perché vedeva in essa e nelle sue tecniche operative un pericoloso stravolgimento della natura così come essa era stata creata da Dio. Per questo fu perseguita dall'Inquisizione fondata verso la fine del XII secolo.

Soltanto nel Rinascimento, l'alchimia ritornò ad essere tollerata. Il filosofo e scienziato tedesco Georgh Bauer, detto Agricola (1494- 1555), nella sua opera *De re metallica* (1556) in cui sono descritti diversi processi metallurgici, pose le fondamenta della mineralogia e della metallurgia. Lo svizzero Philipp Theophrast Bombast von Hohenheim, detto Paracelso (1493-1541), ai *principi* aristotelici ne aggiunse altri tre, *sale-solfo-mercurio*, su cui riteneva si fondi la natura: il *sale* o principio della solubilità e fissità; lo *zolfo* o principio della combustibilità; il *mercurio* o principio della volatilità, e avviò inoltre lo sviluppo della farmacologia. L'alchimista tedesco Libau Andreas, detto Libavius (1550–1616) pubblicò il primo libro di alchimia in cui descrisse la preparazione dell'acido cloridrico, del tetracloruro di stagno e del solfato di ammonio ed anche quella dell'acqua regia, la soluzione in grado di reagire con l'oro.

4. I fatti che hanno permesso la nascita della scienza chimica [3]

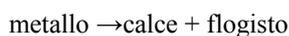
La concezione aristotelica della natura era stata condivisa dalla religione cristiana perché i suoi *principi* erano stati creati da Dio, mentre quella atomistica era stata respinta perché considerata materialistica. A parte queste considerazioni, tali *principi* risultavano molto comprensibili e comunemente accettati dagli alchimisti perché si riferivano alle esperienze sulle sostanze macroscopiche associate ai dati sensoriali. Nel 1623 il filosofo inglese Francesco Bacone (1561–1626) rifiutò la concezione del filosofo di Stagira e cercò di utilizzare il metodo induttivo col quale l'uomo avrebbe potuto dominare la natura (*Instauratio magna*). Il filosofo inglese sosteneva che “*l'acutezza che la natura mostra nelle sue cose*” si prestava molto a spiegazioni irrazionali e quindi magiche. Nel XVII secolo, infatti, ci fu un rifiorire di posizioni critiche nei confronti dell'aristotelismo anche in scienziati e filosofi ecclesiastici, i quali ripresero la concezione atomistica democritea. Il filosofo naturalista e sacerdote francese P. Gassend, detto Gassendi (1592–1655), dalle sue ricerche con il microscopio, strumento inventato da Galilei, fu indotto a riprendere la concezione atomistica, perché rivelò particelle minutissime che, essendo invisibili ad occhio nudo, pensò che fossero atomi. Il prelado tentò di conciliare l'atomismo con l'escatologia cristiana e condivise la concezione eliocentrica copernicana. Era molto pericoloso condividere le idee filosofiche di stampo democriteo o condividere il sistema eliocentrico perché si rischiava di essere inquisiti e considerati eretici dall'Inquisizione che combatteva con il rogo tutti gli individui che erano accusati di posizioni eterodosse o eretiche nei confronti della Chiesa. Questo costituì un freno allo sviluppo del pensiero critico e creativo per lungo tempo.

Anche Robert Boyle (1627-1691) fu indotto a supporre che la materia comune, di cui erano costituiti i *corpi misti*, fosse divisa in minute particelle, differenti per dimensioni e forma. Una concezione questa che riprendeva di fatto quella democritea. Anche lui si sforzò di dimostrare che l'atomismo non negava l'esistenza di Dio, anzi ne era la prova. Nello stesso tempo criticò fortemente l'alchimia, che entrò in crisi già dalla seconda metà del XVII secolo e cessò di esistere definitivamente con la scoperta delle leggi ponderali e volumetriche della chimica, avvenuta a cavallo tra il XVIII ed il XIX secolo. La concezione aristotelica, considerata assoluta e indiscutibile, venne messa effettivamente in discussione per la prima volta dal chimico irlandese nel 1661 che, con la pubblicazione del *The sceptical chymist*, manifestò la sua convinzione che i *principi aristotelici* non erano in grado di poter spiegare i risultati sperimentali in modo razionalmente accettabile, e criticò anche la teoria di Paracelso perché i suoi *principi* impedivano la classificazione esaustiva delle sostanze. Contemporaneamente lo scienziato e filosofo tedesco Gottfried Wilhem von Leibniz (1646–1716) tuttavia diede sostegno ancora alla concezione aristotelica con la pubblicazione, nel 1666, de “*Dissertatio de arte combinatoria*” in cui indicava le quattro qualità della natura: siccità (*siccitas*), caldo (*caliditas*), umidità (*humiditas*) e freddo (*frigittas*) che, rispettivamente, perdute o acquistate da ciascuno dei quattro elementi, permettevano la sua trasformazione in un altro elemento. Secondo Leibniz era possibile ottenere l'oro da un metallo: bastava aggiungere o togliere la giusta quantità di ognuno dei quattro elementi al metallo per fargli acquistare le caratteristiche dell'oro. Non riuscì, tuttavia, a provare con i fatti tale sua convinzione.

La dottrina atomistica doveva superare ancora molti ostacoli tra gli intellettuali perché, pur essendo molto più antica di quella aristotelica, richiedeva una grande capacità di astrazione e molta razionalità, dato che veniva a mancare

Dal modello macroscopico al modello microscopico

qualunque legame tra le proprietà percepite sensorialmente e la composizione delle sostanze. A ciò si aggiungeva poi la posizione intransigente della Chiesa Cattolica che considerava la concezione democritea atea e materialista e quindi eretica. Il passaggio dall'alchimia alla chimica non fu semplice dunque, ma fu una laboriosa conseguenza dell'instaurarsi innanzitutto del metodo scientifico per lo studio dei fenomeni naturali dovuto sia a Francesco Bacone che a Galileo Galilei (1564-1642) e della dialettica suscitata dalla comparsa di varie teorie. La teoria del flogisto (dal greco *flogiston*, *infiammabile*), ad esempio, venne esposta da Johann Joachim Becher nel 1669 in *Physica subterranea* e poi sviluppata dal chimico tedesco Georg Ernst Stahl (1660–1734) nel 1723. Secondo Stahl riscaldando per molto tempo metalli come il ferro, lo stagno, il piombo o il rame si otteneva un materiale – chiamato calce – polverulento e più pesante del metallo e il flogisto:



A sua volta la calce riscaldata con carbone, riacquistando il flogisto, ridava il metallo originario, più leggero della calce :



Tale teoria venne in un primo momento accettata, ma successivamente respinta dal francese Antoine-Laurent Lavoisier (1743–1794) in quanto essa non spiegava alcuni fatti sperimentali. Egli affermò nel 1774, in una sua pubblicazione *Opuscoles phisiques e chimiques*, che l'aumento di peso nella combustione dello zolfo e del fosforo e nella calcinazione del piombo e dello stagno in un recipiente chiuso era conseguenza della combinazione di questi elementi con una parte dell'aria contenuta nel recipiente stesso. L'aumento, infatti, di peso del metallo corrispondeva alla diminuzione del peso dell'aria. Nel 1777 egli riuscì anche ad analizzare l'aria, individuandone i suoi principali componenti, l'ossigeno e l'azoto. La teoria del flogisto di Stahl venne sostituita quindi dalla teoria dell'ossigeno, tant'è che nel 1786, in una nuova pubblicazione *Réflexions sur phlogistique*, Lavoisier dimostrò che il flogisto non esisteva e che tutti i fenomeni di combustione e di calcinazione avvenivano alla presenza dell'ossigeno, componente dell'aria. Grazie a questa scoperta nel 1789, nel *Traité élémentaire de chimie*, Lavoisier enunciò il *principio di conservazione della massa* nelle trasformazioni chimiche. Dieci anni più tardi, il chimico francese Joseph-Louis Proust (1754–1826) formulò la *legge delle proporzioni definite* secondo cui in un composto chimico il rapporto tra le masse degli elementi che lo compongono è definito e costante. Tale rapporto è detto di combinazione.

In contrapposizione, il chimico francese Claude-Louis Berthollet (1748–1822), tra il 1801 e il 1803, pubblicò due libri *Ricerche sulle leggi dell'affinità* e *Saggio di statica chimica*, in cui enunciò la variazione continua della composizione delle sostanze e l'esistenza di composti con composizione variabile basata sull'affinità chimica delle sostanze “*La combinazione di una sostanza con un'altra sostanza dipende dalla sua affinità e dalla sua quantità*”. Nel 1808 la disputa tra Proust e Berthollet finì a vantaggio del primo grazie all'uso di un'accurata analisi ponderale secondo cui nelle reazioni intervenivano quantità definite delle sostanze reagenti, in accordo con la legge di conservazione della massa di Lavoisier. Già agli inizi del 1800 il chimico inglese John Dalton (1766–1844) aveva posto le basi della moderna *teoria atomica* e, nel 1803, aveva enunciato la *legge delle proporzioni multiple*, avviando il processo di matematizzazione della composizione della materia dalla quale ha preso avvio la chimica classica. Grazie alla *legge dei volumi* (1809) di Louis Joseph Gay-Lussac (1778–1850) e al *principio* (1811) di Amedeo Avogadro (1776–1856) si pervenne al concetto di molecola come aggregato di atomi, anche se con circa cinquanta anni di ritardo (1858), grazie al chimico siciliano Stanislao Cannizzaro (1826–1910) [4]. Fin qui alcuni dei principali riferimenti storici del travagliato passaggio dall'alchimia alla chimica. Da tutto questo si evince che molti procedimenti chimici di estrazione e di purificazione delle sostanze siano stati preparati e affinati senza il possesso della concezione microscopica atomistica e che la nascita della chimica fosse stata rallentata per i seguenti motivi: 1) ogni esperienza eseguita veniva associata al dato sensoriale; 2) l'opposizione della chiesa cattolica ad una concezione filosofica che contrastava i dogmi testamentari.

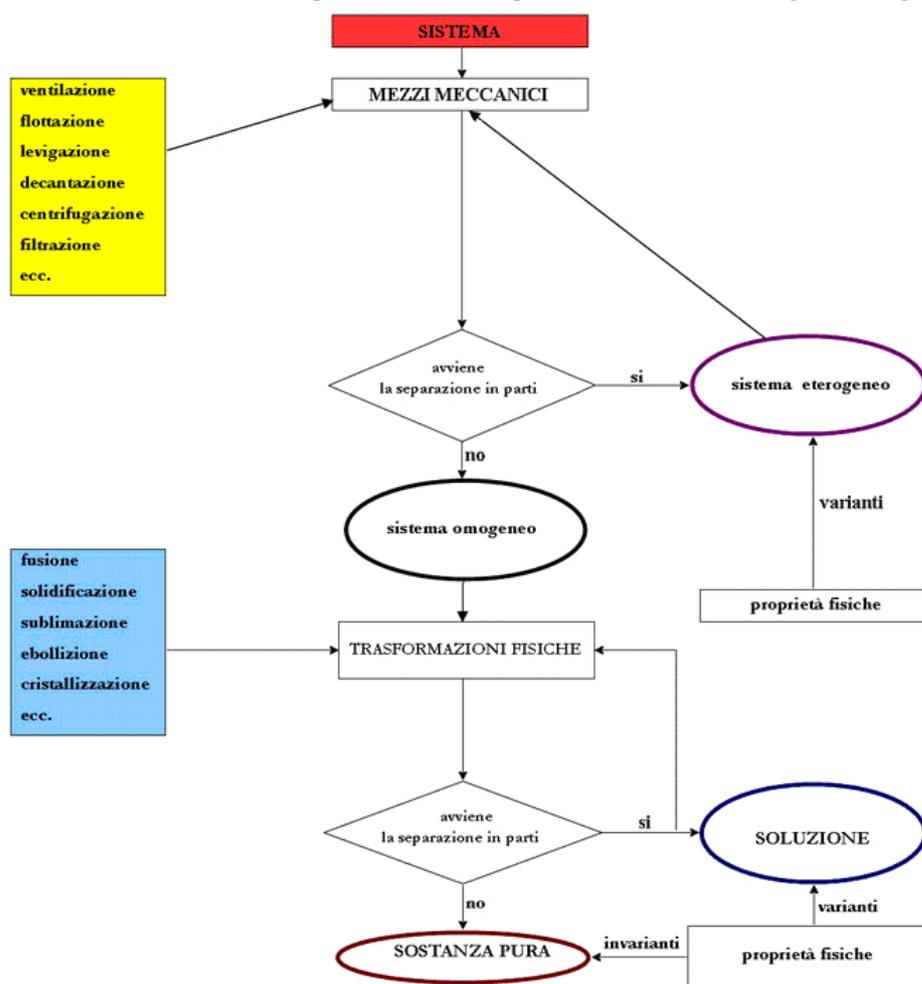
5. Indicazioni metodologiche

Nell'ambito macroscopico della chimica il discorso si riferisce ai vari procedimenti utilizzati dagli alchimisti, che permettevano l'isolamento della sostanza da un dato miscuglio eterogeneo (ad esempio da un minerale). Le tecniche di ventilazione, levigazione, decantazione, filtrazione, ecc. erano adottate per ottenere la separazione del miscuglio delle parti omogenee. Ciascuna di queste parti veniva sottoposta poi a ulteriori trasformazioni fisiche, come la sublimazione, la distillazione o la fusione e la solidificazione, mediante le quali si otteneva un'altra divisione in parti ciascuna delle quali, nel caso avesse presentato determinate proprietà percepite empiricamente, (per i metalli, ad esempio, la malleabilità, la duttilità, la resilienza) veniva individuata come la sostanza cercata. L'ottenimento di talune proprietà in definitiva dava la conferma empirica di aver isolato la sostanza. Dando ora a questa procedura i connotati scientifici, in ambito didattico, e applicando il criterio di invarianza delle proprietà fisiche si perviene alla definizione di sostanza pura. L'identificazione della composizione di un dato materiale richiede dei procedimenti operativi tendenti ad individuare prima le proprietà fisiche e poi quelle chimiche. La determinazione di alcune proprietà fisiche del corpo,

quali la densità, la temperatura di fusione e la temperatura di ebollizione, potrebbe dare una prima indicazione identificativa e la possibilità di accomunare o di differenziare due corpi apparentemente simili, come l'acqua distillata e l'acqua di mare.

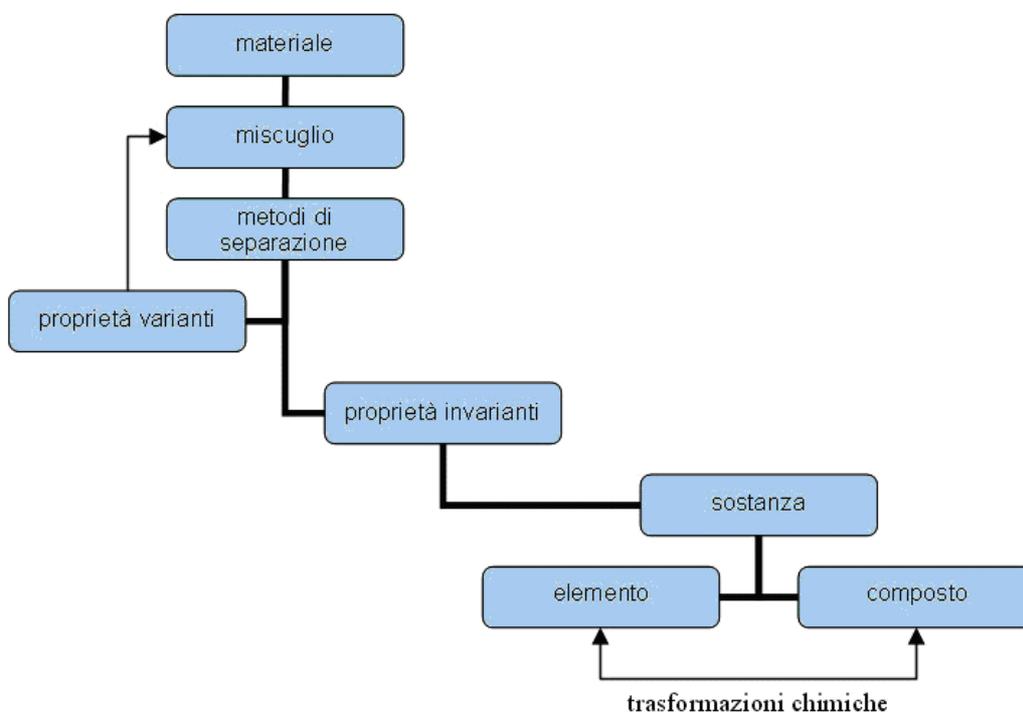
A pressione costante l'acqua distillata (sostanza pura), sottoposta a riscaldamento, bolle a temperatura costante, mentre l'acqua di mare (soluzione acquosa di diversi sali) bolle a temperatura variabile crescente; nel primo caso, in qualunque momento, riportando il liquido alla temperatura di partenza, la sua densità rimane costante, nel secondo caso, invece, raffreddando il liquido alla temperatura di partenza si constata una variazione della sua densità. Il primo campione mantiene invarianza nelle proprietà fisiche indagate, temperatura di ebollizione e densità, mentre il secondo campione con il riscaldamento presenta varianza nelle medesime proprietà. L'invarianza delle proprietà fisiche del campione di acqua distillata o la varianza delle proprietà fisiche riscontrate nel campione di acqua di mare ci permette di capire che i due corpi liquidi, ambedue trasparenti, limpidi, incolori, apparentemente uguali, in effetti sono diversi. L'invarianza ci induce a pensare che il corpo è una sostanza pura, mentre la varianza ci spinge a riflettere sul fatto che il riscaldamento apporta una variazione nella composizione quantitativa del liquido, che si manifesta con la variazione dei valori numerici delle proprietà fisiche considerate e che, quindi, potrebbe trattarsi di un aggregato di sostanze. Da questo esempio, si evince che per studiare un qualunque corpo materiale bisogna trattarlo come un aggregato di sostanze.

Sarà la varianza o l'invarianza delle proprietà fisiche riscontrate che ci farà comprendere razionalmente se il corpo è una sostanza pura o un miscuglio di sostanze pure. L'invarianza nel tempo delle proprietà fisiche determinate è il criterio che permetterà l'isolamento e la caratterizzazione di ogni componente di un dato miscuglio come diverso da qualunque altro. È appena il caso di distinguere le proprietà fisiche intensive, non dipendenti dalla dimensione del corpo campione, quali la temperatura di ebollizione, la temperatura di fusione, la densità, la concentrazione, la tensione superficiale, la conducibilità elettrica, da quelle estensive, dipendenti dalla dimensione del corpo campione, quali il numero di particelle, la superficie, la lunghezza, il volume (nelle condizioni di T e P in cui si trova), il peso, la massa, la carica elettrica. La sostanza pura, quindi, rappresenta un punto di arrivo e non un punto di partenza come invece viene presentata e definita in molti testi scolastici. Il procedimento complessivo è descritto dal seguente diagramma:

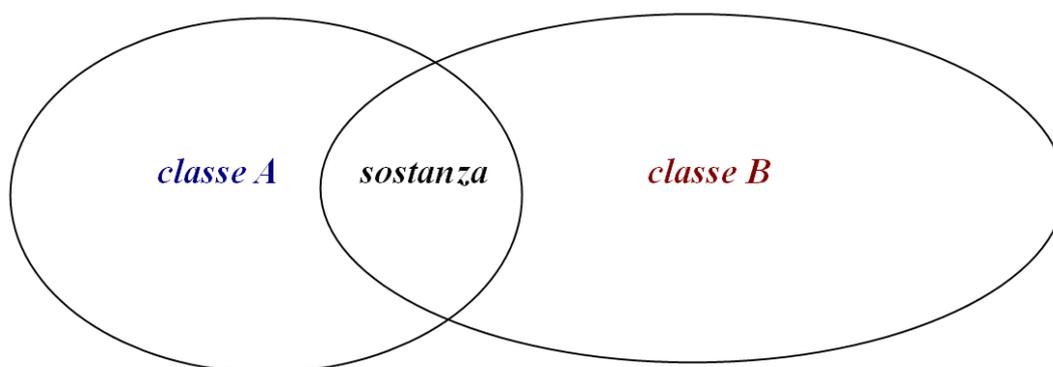


Dal modello macroscopico al modello microscopico

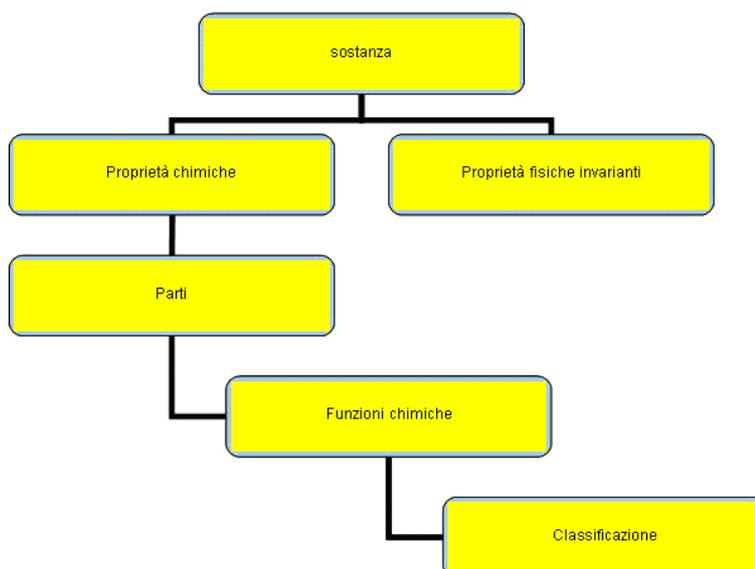
O, più semplicemente, dal seguente diagramma che indica la posizione in cui intervengono le trasformazioni chimiche che permettono di caratterizzare la composizione di una sostanza composta:



In seguito all'isolamento e alla purificazione, infatti, la classificazione chimica di una sostanza (dal latino *sub*, sotto e *stantia*, fondamento, essenza) sarà determinata mediante una serie di saggi chimici o prove di tipo chimico-fisico che permetteranno l'individuazione delle parti che costituiscono la medesima. Queste parti saranno collocate di conseguenza in classi chimiche diverse (o insiemi) che per semplicità indichiamo con A, B, C, ecc. (tali classi possono essere cloruri, nitrati, fosfati, solfati, carbonati, solfuri, ecc.), l'intersezione tra queste classi determinerà il riconoscimento e la classificazione della sostanza:



In tal caso la sostanza pura sarà un composto. Nel caso in cui, invece, la classe di appartenenza è una e una sola, in quanto è stata manifestata una sola qualità, allora, la sostanza pura è un elemento. Il seguente diagramma sintetizza la procedura descritta:



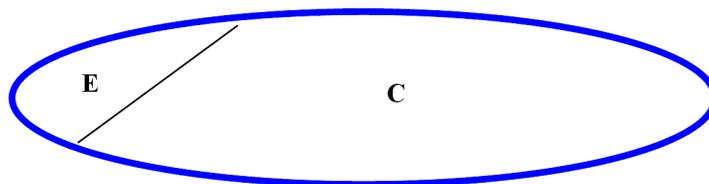
Dunque “ogni sostanza è caratterizzata da un insieme di proprietà chimiche e fisiche non variabili che la rendono unica e indistinguibile da tutte le altre” [5]. Mediante procedimenti quantitativi si può risalire ai relativi pesi equivalenti da cui è possibile determinare i rapporti di combinazione, e mediante l’analisi elementare pervenire agli elementi che costituiscono la sostanza. Applicando, infatti, il principio di Cannizzaro secondo il quale “*le diverse quantità del medesimo elemento contenute nelle molecole di composti diversi sono tutte multiple intere di una stessa quantità, che, entrando sempre intera a far parte dei composti, deve considerarsi atomo*”, si accetta la indivisibilità dell’atomo postulata da Dalton e, misurando sperimentalmente i pesi di combinazione dei diversi elementi, si ricava la diversa capacità combinatoria che l’atomo di ogni elemento chimico manifesta nei confronti di quella dell’atomo di idrogeno. La capacità equivalente di combinazione di ogni elemento con un grammo di idrogeno viene chiamato peso equivalente. Da ciò deriva “*la valenza come rapporto tra il peso atomico ed il peso equivalente di un elemento*”.

D’altra parte, portando la sostanza allo stato gassoso, mediante misure di densità [6] (ad esempio col metodo Meyer) e fruendo dei risultati della citata analisi elementare, si possono determinare, passando nell’ambito microscopico, sia i pesi atomici relativi o masse atomiche MA che i pesi molecolari o masse molecolari MM. Conseguentemente si ricavano la formula minima e quella molecolare, le quali simbolicamente evidenziano il raggruppamento di atomi (nella molecola) degli elementi che compongono la sostanza secondo i rapporti di combinazione determinati. Da qui si possono scrivere le equazioni chimiche che sono il modello microscopico delle reazioni. Da tutto ciò si evince che alcuni dei concetti incontrati sono **macroscopici**, mentre altri sono **microscopici** e tra i due c’è una stretta correlazione. Gli uni integrano gli altri. Gli elementi chimici, ad esempio, possono essere “*manipolati*” praticamente con i simboli corrispondenti e i composti altrettanto con le formule corrispondenti. Parimenti con le equazioni chimiche possiamo descrivere le relative reazioni. Nella tabella seguente sono indicati gli uni e gli altri, da cui può estrapolarsi la relativa corrispondenza. Questa classificazione si ritiene necessaria in quanto molto spesso si fa confusione tra i concetti macroscopici e quelli microscopici.

CONCETTI MACROSCOPICI	CONCETTI MICROSCOPICI
Proprietà fisiche	Simboli
Sostanza	Formula chimica
Funzioni chimiche	Equazione chimica
Reazioni chimiche o saggi	Peso atomico o Massa atomica
Pesi equivalenti	Peso molecolare o Massa molecolare
Elemento	Atomo
Composto	Molecola

Dal modello macroscopico al modello microscopico

Possiamo, allora, dire che l'**insieme delle sostanze pure** è costituito da due sotto-insiemi: quello degli elementi (E) e quello dei composti (C):

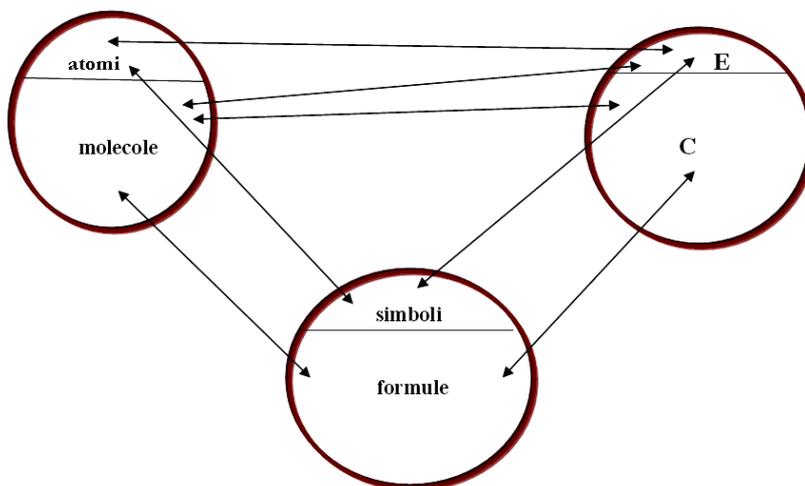


“Al primo sono assegnate tutte le sostanze la cui invarianza è (supposta) assoluta. Al secondo, quelle la cui invarianza è condizionata dalla identificazione di un intervallo di valori per ciascuno dei parametri associati alla loro persistenza (illimitata) nel tempo. Il collegamento tra i due sotto-insiemi è stato basato sulla ipotesi che due o più sostanze di (E) generino per combinazione tra loro tutte le sostanze di (C) aventi composizione elementare assegnata” [7]. Il modello **macroscopico** ci permette di identificare le sostanze e classificarle nel sotto-insieme di appartenenza, di stabilire la composizione delle sostanze composte sulla base degli elementi che le costituiscono, di determinare la composizione delle sostanze del sotto-insieme (C) costituite dalle sostanze del sotto-insieme (E) e di stabilire i rapporti quantitativi che regolano le combinazioni delle sostanze di (E) nelle sostanze del sotto-insieme (C).

“Il modello **microscopico** associato alle sostanze dei due sotto-insiemi è così differenziato



Le sostanze del sotto-insieme (E) sono rappresentate convenzionalmente dai simboli, mentre le formule chimiche, corrispondenti alle leggi di combinazione, rappresentano le sostanze appartenenti al sotto-insieme (C). Simboli e formule sono il modello che rappresenta con linguaggio chimico le entità microscopiche, atomi e molecole, di cui sono costituite rispettivamente le entità macroscopiche, gli elementi e i composti. “Le formule hanno consentito così di manipolare, sia in forma concreta (grafica) che astratta, gli <<oggetti>> della scienza chimica”[7].



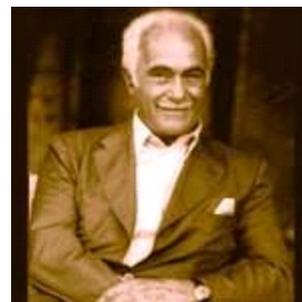
Bibliografia e note

1. L. Geymonat, *Lineamenti di filosofia della scienza*, Mondadori, Milano, 1985.
2. M. Bonazzi (a cura di), *I sofisti*, BUR, 2007.
3. Alcuni riferimenti riguardanti la storia della chimica sono presi dal libro di J.I. Solov'ev, *L'evoluzione del pensiero chimico dal '600 ai giorni nostri* (trad. A. Quilico), EST, Mondadori.
4. Le date di nascita e di morte degli scienziati citati sono state prese dal Dizionario Enciclopedico di Arti, Scienze, ecc., (a cura di EDIGEO), ed. Zanichelli, 1995.
5. E. Torracca, *Contenuti educativi delle teorie chimiche classiche*. In *Storicità e attualità della cultura scientifica e insegnamento delle scienze*, a cura del C.I.D.I. di Firenze, Marietti-Manzuoli, 1986.
6. Se d è la densità misurata alla pressione p mmHg e alla temperatura t °C, sapendo che la densità d (STP) permette di calcolare la massa molecolare della sostanza $MM = d$ (STP) 22414 cm^3 questa si può ricavare dalla formula $d(\text{STP}) = d \cdot 760/p \cdot T/273$ dove $T = t + 273$ è la temperatura in K.
7. L. Paoloni, *Il passato delle teorie strutturali nel presente della chimica*, in *Storicità e attualità della cultura scientifica e insegnamento delle scienze*, Marietti-Manzuoli, Firenze, 1986.
8. In base al principio di Avogadro.

Pensare il futuro: Aurelio Peccei e il Club di Roma

Marco Santandrea

marco.santandrea2@studio.unibo.it



Aurelio Peccei

Riassunto

Il Club di Roma rappresenta un'importante oggetto di analisi per la storia dell'ecologia. Con esso la critica al consumismo illimitato della società industriale, già teorizzata a fine Ottocento, esce dal campo della speculazione astratta per approdare ad un livello di analisi quantitativo. Le nuove metodologie di studio dei sistemi complessi, elaborati a partire dagli anni Sessanta, vengono applicate al "sistema Terra" al fine di formulare previsioni a lungo termine che mettano in luce l'impronta ecologica dell'uomo sul Pianeta.

Abstract

The Club of Rome is an important subject of analysis in the history of ecology. With it the criticism of unlimited consumerism of industrial society, already theorized in the nineteenth century, out of range of abstract speculation to arrive at a quantitative level of analysis. The new methods of studying complex systems, developed since the sixties, are applied to the Earth system in order to formulate long-term forecasts that highlight the human footprint on the planet.

1. Vita e opere di un manager filosofo

La figura di Peccei, a ormai venticinque anni dalla sua scomparsa, rimane oscura e ancora tutta da decifrare per la storiografia contemporanea, in particolare per quella italiana. Se il suo nome ora dice poco, negli anni settanta fu associato a una delle più interessanti e provocatorie operazioni culturali che prende il nome di Club di Roma. Su Peccei, manager della Fiat, combattente nella Resistenza e imprenditore di numerose compagnie sia in Italia che all'estero, si può trovare in rete un'enorme quantità di letteratura secondaria che si apre a ventaglio nelle sue interpretazioni: da alcuni considerato nella sua figura di imprenditore filantropo, da altri visto come un potente manovratore politico che ha saputo influenzare le scelte degli Stati nella ridefinizione di un ordine internazionale. E' però difficile fare chiarezza su certe questioni, dal momento che le uniche documentazioni biografiche di cui disponiamo si limitano a due libri: "La qualità umana", scritto da Peccei nel 1976, nel quale esso formula anche le sue concezioni filosofico-manageriali più mature, e "Crusader for the future: a portrait of Aurelio Peccei founder of the Club of Rome", biografia scritta nel 1987, tre anni dopo la sua morte, dal suo amico e assistente Gunter Pauli¹. Dal momento che manca ancora una documentazione oggettiva e spassionata della vita di Peccei, in queste pagine ci basterà mettere in luce alcuni tratti salienti della sua vita e delle sue opere.

La vita di Peccei può essere vista come espressione di un percorso che attraversa la storia del Novecento, toccando vari e interessanti aspetti. Nato a Torino il 4 luglio del 1908 da una famiglia piccolo-borghese, Peccei trascorse la sua giovinezza a contatto con quella cultura illuminata che caratterizzava il capoluogo piemontese agli inizi del secolo: "la vita della mia famiglia e la mia educazione mi avevano reso critico rispetto a quanto avveniva in Italia e nel mondo. Mio padre era stato uno dei primi socialisti. Torino era ancora una città di stile severo e gentile, con molti ricordi delle lotte per il Risorgimento e l'Unità d'Italia [...]. Più tardi, quando Torino divenne altamente industrializzata, molti tratti del suo carattere andarono perduti, ma le sue virtù civiche e il suo amore per la libertà restarono vivi. L'intera città dette esempi notevoli di socialismo maturo e fu culla di quel comunismo colto e umano che ancor oggi contraddistingue il

1. Fondatore ed ex presidente di Worldwatch Europe.

Aurelio Peccei e il Club di Roma

Partito Comunista Italiano"². Nel 1927, ai primi anni di università, Peccei trascorse sei mesi intensi a Parigi, dividendo i propri interessi tra corsi alla Sorbona e incontri con esiliati politici di molti paesi. Il suo soggiorno parigino “lo aveva avvicinato agli ambienti intellettuali francesi, cioè a quella particolare espressione della cultura europea tradizionalmente ricca di fermenti idealistici, si pensi per esempio a Jacques Maritain, Emanuel Mounier e Simon Veil che furono alla base di quel movimento olivettiano dal quale Peccei non fu affatto estraneo: una cultura nello stesso tempo tesa verso le prospettive più ardite. Di certo ebbe contatti con Bertrand De Jouvenel e Gaston Berger”³. Inoltre, grazie a un viaggio premio della Lega Navale Italiana, poté visitare l'Unione Sovietica, della cui economia era stato colpito e affascinato. Pur non essendo mai stato marxista, egli era attratto dalla drammatica esperienza della rivoluzione Russa. Nel 1930 si laureò in economia con una tesi sulla nuova politica economica di Lenin, argomento assai provocatorio in un clima di sempre maggior consenso al fascismo. Fu inoltre uno degli ultimi studenti che si sia presentato a discutere la tesi di laurea rifiutandosi di indossare la camicia nera. Già nel 1927, a soli diciannove anni, cominciò a lavorare come dipendente presso la Fiat e, data la sua conoscenza della lingua russa, non faticò ad ottenere in poco tempo un posto fisso come stenografo nello "Special Project Division", che curava gli affari esteri dell'azienda con l'Unione Sovietica. Dopo breve vide che questo tipo di lavoro anonimo presso grandi uffici affollati non era per lui, così riuscì a convincere la Fiat a mandarlo in Cina dove resterà fino al 1939. Lavorò come direttore delle operazioni nell'industria aeronautica di Nanchang, e insieme al direttore generale Luigi Acampora entrò in stretto contatto con la first lady della Cina Madame Chiang Kai-shek, moglie del generale e presidente Chiang Kai-shek. La funzione dello stabilimento di Nanchang era di favorire la cooperazione del governo italiano con la Commission of Aeronautics Affairs (della quale Madame Chiang era la presidente) attraverso la costruzione di aerei militari e l'addestramento di molti cinesi nel campo della più avanzata ingegneria aeronautica.

Qui a Nanchang, nell'agosto 1937, Peccei fece la sua prima esperienza di bombardamenti aerei. I giapponesi infatti, con sorpresa di tutti avevano incominciato a invadere la Cina lanciando bombe su Nanking e Nanchang; e dato che la direzione degli affari generali dell'impresa era affidata al giovane Peccei, egli dovette occuparsi dell'evacuazione di centinaia di donne e bambini italiani che vivevano tra Nanchang e Hong Kong.

In quei giorni l'Italia fascista aveva cambiato le sue alleanze, abbandonando la Cina per farsi amica del Giappone, per cui l'evacuazione venne condotta con una certa fretta. Fu in quel periodo che Peccei cominciò ad accorgersi della rapidità con cui le scelte politiche possono cambiare le alleanze tra gli Stati. Intanto, in Italia il fascismo si era imposto massicciamente dominando presto tutti gli aspetti della vita personale e pubblica. Al ritorno di Peccei la seconda guerra mondiale era sul punto di scoppiare, ed egli decise immediatamente di prendere parte al movimento antifascista Giustizia e Libertà, divenendone uno dei leader intellettuali. Poiché non era ancora schedato dalla polizia segreta, essendo appena tornato dall'estero, poté muoversi liberamente per il paese coordinando e organizzando i contatti tra i gruppi armati della Resistenza. Nel 1944, durante una normale operazione di rastrellamento, fu arrestato dalla milizia fascista. Era di ritorno da Roma, dove aveva stabilito contatti con i capi politici del movimento, e aveva con sé piani militari, codici e istruzioni sul loro uso. In quel momento gli alleati erano sbarcati ad Anzio e i fascisti non risparmiavano mezzi per costringere i prigionieri a parlare in fretta. Ciononostante riuscì a resistere per ben undici mesi, durante i quali rischiò di venir fucilato da un momento all'altro per rappresaglia. “Gli undici mesi di prigionia furono uno dei periodi che più hanno arricchito la mia vita, e mi considero davvero fortunato di aver subito la prova del carcere e delle sevizie. In quelle angosciose circostanze appresi dai più umili e dai più semplici quanto grande possa essere la dignità umana. Non avendo fuori dalla prigione amici in grado di aiutarli, essi resistevano affidandosi soltanto alle loro convinzioni e alla loro umanità. Fu allora che si confermò in me la convinzione dell'esistenza nell'uomo di una grande forza per il bene che attende di essere liberata, ma che la società moderna non è ancora stata capace di liberare. Ebbi la conferma che in prigione si può rimanere uomini liberi; che le persone possono venire incatenate ma non le idee”⁴. Nel marzo del 1945, quando la guerra non era ancora terminata e la Germania occupava ancora il nord dell'Italia, il Comitato di Liberazione Nazionale (CLN) accusò il senatore Agnelli e il Direttore Generale Vittorio Valletta di aver collaborato con il fascismo, e ordinò che la direzione della Fiat venisse affidata a una commissione temporanea. Il mese dopo Peccei fu nominato commissario della Fiat. Il suo primo compito era quello di organizzare la ricostruzione degli stabilimenti e la ripresa delle attività produttive. Pochi giorni dopo la nomina di commissario, Aurelio incontrò Valletta, promettendogli supporto contro le accuse di collaborazionismo. In effetti l'anno dopo Valletta riprese la sua attività di dirigente presso il quartier generale della Fiat Mirafiori. Il senatore Agnelli invece morì nel '45, e al suo posto salì il figlio omonimo Giovanni, che divenne vice-presidente della compagnia. Negli anni del dopoguerra Peccei fu a capo delle attività della Fiat nei settori dei macchinari agricoli, dei materiali ferroviari e della produzione aeronautica, i quali richiedevano un'ampia riconversione e riorganizzazione. Fu anche tra i cofondatori di Alitalia nel '46. Nel 1949 “chiesi che mi fosse affidato il compito di riportare la Fiat in America Latina, dove la sua presenza era stata quasi del tutto cancellata nel corso della guerra. Decisi di concentrarmi sull'Argentina, dove stabilii la mia sede, vivendo molti anni in

2. A. Peccei, “*La qualità umana*”, pag. 18

3. Luigi Pucci, “*La caduta dell'immaginario tecnologico*”, pagg.71-72

4. “*La qualità umana*”, pag. 24

mezzo a quel popolo generoso".⁵ Qui fu responsabile delle operazioni Fiat fino al 1974, e poté stringere contatti con personaggi politici del calibro di Salvador Allende, il presidente del Cile morto nello scontro con i militari che rovesciarono il suo governo legittimo nel 1973, o della bella Eva Peron, chiamata affettuosamente dal popolo Evita, "la più spiccata personalità che conobbi durante la mia esperienza latinoamericana".⁶ Nel marzo 1972 venne anche personalmente coinvolto nel rapimento e nell'uccisione di Oberdan Sallustro, suo collaboratore, amico e direttore generale della Fiat in Argentina, da parte di un commando dell' ERP, l'esercito rivoluzionario del popolo di ispirazione neotrozkista.

Intanto, nel 1957, dopo la prima crisi di Suez, era stata costituita l'Italconsult con la partecipazione di alcune delle principali imprese industriali e finanziarie italiane, una società che avrebbe dovuto operare senza fini di lucro nei paesi meno avanzati, per fornire assistenza e sovrintendere alla costruzione di opere e impianti. Peccei accettò l'incarico di amministratore delegato con pieni poteri. Nel 1964 l'Olivetti si trovò in difficoltà per la mancanza di "una guida salda, dotata di immaginazione", e ancora una volta vediamo il nostro manager farsi carico della conduzione della società divenendone amministratore delegato con pieni poteri operativi. Fiat, Italconsult, Olivetti, cofondatore di Alitalia: non si può dire che la vita di Peccei sia stata priva di responsabilità. A lui però non bastavano tutte queste direzioni. Già verso la fine degli anni '50 cominciava a chiedersi se quanto faceva rispondeva effettivamente a quel che sentiva di fare. "Viaggiando per il mondo, avevo preso coscienza che i problemi con cui la gente lottava, sovente purtroppo con scarso successo, sarebbero diventati ancor più complessi e minacciosi negli anni a venire. [...] Concentrare praticamente ogni sforzo su progetti o programmi specifici, mentre il contesto più ampio in cui questi sono inseriti - cioè la condizione globale del mondo - si va rapidamente deteriorando, poteva risolversi in pura perdita."⁷ In particolare vedeva urgente la necessità di modificare l'atteggiamento miope e sterile di molti circoli finanziari e industriali, che pur proclamando la necessità per l'America Latina di rimanere ancorata all'Occidente, non si impegnavano in essa senza avere la certezza di realizzare profitti straordinari in tempi veloci. L'occasione venne un giorno del 1962, quando due senatori americani "progressisti"⁸, Hubert H. Humphrey e Jacob K. Javits, in visita a Roma, gli chiesero se era d'accordo a guidare un progetto di rilancio dell'iniziativa privata in America Latina. Pur rimanendo perplesso dall'eccessiva enfasi che era stata attribuita all'iniziativa privata, Peccei accettò la responsabilità del progetto. Poteva essere l'occasione per un nuovo esperimento manageriale, decisamente poco ortodosso per industrie come la Fiat. Esso "consisteva nella creazione di una società di investimenti e gestioni fondata sulla cooperazione di vari continenti. Il suo obiettivo principale doveva infatti essere quello di mobilitare finanza, tecnica ed esperienza in tutti i paesi industrializzati, per dirigerle verso l'America Latina onde rinvigorire e sviluppare il settore privato di quelle economie".⁹ Il risultato fu la costituzione nel 1963 della società Adela.¹⁰ La novità principale della società era "la sua forma e struttura di impresa a carattere collettivo. Il suo capitale venne concepito come un mosaico di quote azionarie relativamente piccole sottoscritte da un gran numero di compagnie industriali e finanziarie di primo piano".¹¹ Per arginare il rischio di verticalizzazioni monopolistiche, nessun azionista (erano in tutto più di 230, provenienti da 23 paesi) poteva possedere una quota superiore a 500.000 dollari. Il capitale complessivo era relativamente ridotto, appena 60 milioni di dollari, da impiegare principalmente come moltiplicatore intervenendo direttamente sullo sviluppo di centinaia di imprese locali. Un'altra innovazione che distingueva l'Adela era infatti l'interesse pubblico come fine societario, e a questo fine venne stabilita come regola che "tanto la promozione di nuove imprese quanto l'espansione di imprese esistenti dovessero aver luogo nel rispetto e in applicazione dei programmi e delle politiche nazionali dei paesi ospitanti, e per quanto possibile mirando a progetti di priorità nazionale"¹². Nei fatti Adela rappresentò un successo, contribuendo in maniera significativa al progresso economico della regione e creando oltre 250.000 nuovi posti di lavoro nel corso del decennio successivo. Ma l'importanza maggiore di questa impresa stava nella dimostrazione che essa ha saputo dare di come è possibile rivitalizzare e reinventare la funzione dell'iniziativa privata in un mondo che cambia. Per Peccei era inevitabile oltre che indispensabile che vi fossero imprese transnazionali; allo stesso tempo però queste società multinazionali stavano diventando sempre meno accettabili, non erano affatto mosse da interessi etici e guardavano solo al profitto immediato senza avere prospettive a lungo termine. Occorreva invece una rivoluzione manageriale che si propagasse fino a riformare l'intero establishment produttivo mondiale. In particolare il mondo stava divenendo talmente intrecciato e connesso in ogni sua parte che non era più possibile ignorare problemi generali di fondo come la sovrappopolazione, il divario tra Nord-Sud e l'inquinamento dell'ambiente: era tempo di innescare una profonda revisione dell'organizzazione

5. *Ivi*, pag.26

6. *Ivi*, pag.28

7. *Ibid.*, pag. 30

8. È quanto dice Peccei a pag. 55, anche se il secondo era un repubblicano. Il senatore Hubert H. Humphrey fu invece vice-presidente degli Stati Uniti sotto la presidenza di Lyndon B. Johnson, e nel 1968 venne nominato dal partito democratico per le elezioni presidenziali, che perse a favore del repubblicano Richard Nixon.

9. "La qualità umana", pag.58

10. Acronimo per Atlantic development of Latin America, sviluppo Atlantico dell'America Latina

11. *Ibidem*

12. *Ivi*, pagg.58-59

produttiva globale, a partire dai suoi stessi principi e obiettivi. Innanzitutto il requisito fondamentale di ogni impresa doveva essere ricercato nella sua utilità sociale, attorno alla quale si sarebbe dovuto organizzare il guadagno, e non viceversa. Inoltre "oggi, come mai prima d'ora, c'è bisogno di sforzi collettivi, coordinati. Le grandi imprese invece tendono ad agire come lupi solitari. Tutto il loro universo è condensato nel loro bilancio [...]. Le grandi imprese debbono cambiare il concetto di se stesse e del loro ruolo, e il loro modo di essere e di agire - se vogliono servire la società e i loro stessi interessi".¹³ In un certo qual modo il manager doveva essere per lui, a differenza dell'imprenditore, una sorta di "pastore di uomini", un leader d'opinioni. Pur non dovendo rinunciare a fare il suo mestiere, egli doveva essere dotato di una maggiore apertura ai problemi del mondo e di una spiccata visione generale: il profitto non poteva più rappresentare l'unica ragione dell'azione. E d'altra parte erano proprio le multinazionali, con il loro dinamismo e la loro capacità di adattamento, a poter garantire un siffatto rinnovamento della società capitalistica. Ci avviciniamo così al fulcro del pensiero pecceiano: gli Stati, con le loro politiche miopi e a breve termine, non possono far fronte alla complessità crescente dell'umanità; in un mondo in cui i problemi s'intrecciano in un groviglio gigantesco, in cui ciascuno di essi interferisce e interagisce con tutti gli altri, è necessario intervenire attraverso apposite strutture transnazionali che siano libere di scavalcare i confini politici e culturali dei paesi per porsi in un'ottica globale. D'altronde al tempo in cui scriveva Peccei "non esisteva una vera economia internazionale, bensì solo un insieme di mercati diversi di cui soltanto certi manager erano in grado di padroneggiare le interconnessioni. L'appello che Peccei rivolgeva a questi uomini era quello di creare aziende che fossero autenticamente internazionali, sotto l'egida dell'ONU o di qualche altra agenzia da costituirsi. L'idea era quella di una comunità organica guidata da un 'foro internazionale di Stati', una specie di federazione dal sapore vagamente kantiano"¹⁴

In una serie di conferenze tenute negli Stati Uniti agli inizi del 1966, dal titolo "La sfida degli anni Settanta al mondo di oggi", Peccei metteva in rilievo due concetti essenziali:

- che il futuro del mondo doveva essere valutato e affrontato con uno sforzo complessivo, che sappia coinvolgere anche i paesi comunisti e quelli in via di sviluppo;
- che l'uso di simulatori e di analisi dei sistemi, in cui l'America si trovava all'avanguardia, era indispensabile per comprendere appieno le dinamiche globali.

Intanto il senatore Hubert H. Humphrey, una delle figure chiave per il lancio di ADELA in America Latina, divenne vice-presidente degli Stati Uniti sotto la presidenza di Lyndon Johnson, aprendo così a Peccei numerose strade. Egli poté infatti esporre le sue idee al Dipartimento di Stato e alla Casa Bianca, raccomandando che venisse intrapreso un progetto internazionale per studiarne la realizzazione pratica, possibilmente a-politico e non patrocinato da enti governativi. Nel 1972, sette anni più tardi, fu creato su questa iniziativa l'IIASA¹⁵ con sede a Luxemburg, in Austria. Membri fondatori furono Stati Uniti, Unione Sovietica, Canada, Giappone, Germania Occidentale, Germania Orientale, Polonia, Bulgaria, Francia, Gran Bretagna e Italia. Durante tutti i negoziati il rappresentante dell'Italia fu Peccei, anche se su basi puramente personali e senza avere mandato ufficiale alcuno. Particolarità dell'IIASA fu la rete di collegamenti che esso ha saputo stabilire con istituti scientifici di molte parti del mondo, nonché una spiccata propensione per i problemi di carattere globale.

Ma torniamo indietro di qualche anno. Nel settembre 1965 Peccei pubblicò un breve scritto, dove espone in maniera sommaria la sua visione del mondo. Era senza titolo e fu distribuito tra amici, uomini d'affari e organizzazioni internazionali. Nel 1969 divenne la spina dorsale del suo primo libro, pubblicato in America con il titolo "The chasm ahead" (letteralmente "l'abisso davanti") e tradotto in italiano, con un'accezione più pessimistica e allarmante, "*Verso l'abisso*". In esso Peccei ribadiva la necessità di rimodellare i nostri schemi di pensiero e azione per far fronte all'incalzare dell'era tecnologica e mantenere il contatto con la realtà che ci circonda. La prima parte del libro si apre con una decisa dichiarazione di emergenza: "Mi spinge a scrivere questo libro la convinzione che si trae quando, attraversando il mondo da un capo all'altro, si osserva la complessità crescente dei problemi e delle aspettative dei nostri giorni: la convinzione, cioè, che l'umanità stia procedendo al galoppo verso una catastrofe certa e forse completa. Donde la necessità tassativa e urgente di mutare radicalmente rotta e di tenere il timone con molto maggior senso di responsabilità. La virata è possibile perché è stato l'uomo stesso a mettersi sulla rotta attuale; ma il colpo di barra deve essere preciso, e l'ora è già tarda"¹⁶.

L'umanità si trova a un bivio che non è più possibile ignorare, e a seconda della strada che deciderà di intraprendere si decideranno irrevocabilmente le sorti del suo futuro. Questa tensione escatologica caratterizzerà tutto il pensiero successivo di Peccei. La ritroviamo ad esempio nel "*Campanello d'allarme per il XXI secolo*" a pag. 16: "Altrettanto importante è il renderci conto che per la prima volta il nostro sarà un futuro planetario, nel senso che i due poli dell'alternativa che questo futuro ci propone - realizzazione di noi stessi o rovina - rischiano di coinvolgere l'intera umanità: non semplicemente alcune nazioni o regioni reciprocamente autonome" o ne "*La qualità umana*" a pag. 154,

13. *Ivi*, pagg.68-69

14. Luigi Pucci, "*La caduta dell'immaginario tecnologico: da Aurelio Peccei a Milton Friedman*", pag.76

15. International Institute for Applied Systems Analysis, Istituto Internazionale per l'analisi dei sistemi applicati

16. A.Peccei, "*Verso l'abisso*", pag.19

quando dice: "Nella sua corsa disordinata, l'umanità è giunta a una grande svolta che nasconde pericoli senza precedenti, ma che può anche aprire orizzonti meravigliosi. Non può quindi permettersi di fare errori. Tutto dipende dall'uomo"

L'agire umano deve, per poter cambiare rotta, fare capo a tre principi fondamentali, imperniati sui concetti correlativi di globalità, lungo termine e complessità:

- Il primo principio ci dice che il mondo è divenuto a tal punto unico e indivisibile da non permettere fratture e squilibri profondi come quelli attuali. Ormai è impensabile che un popolo o nazione possa rifiutare di accettare la globalizzazione isolando il proprio destino da quello degli altri.

- Questo intreccio di fenomeni genera un complesso indissolubile, al quale non è possibile dare soluzioni semplici attraverso approcci parziali. L'interazione continua tra i fenomeni fa sì che ogni problema sia concatenato con tutti gli altri, per cui dal punto di vista metodologico occorre incoraggiare un'approccio sistemico e olistico all'analisi dei problemi.

- E' necessario inoltre porsi obiettivi a lungo termine che scavalchino le politiche miopi e a breve termine degli Stati. A causa della repentina accelerazione del corso della storia "le crescenti velocità, dimensioni e potenze delle manifestazioni umane conferiscono elevati gradi di inerzia e inflessibilità alla gerarchia dei sistemi in cui operiamo"¹⁷, per questo è necessaria un'opera di pianificazione degli obiettivi a lungo termine da portare avanti a scapito di convenienze o esigenze immediate.

Questi tre principi si può dire costituiscano gli obiettivi primari e l'argomento centrale non solo dei successivi testi di Peccei, ma anche di tutti i rapporti al Club di Roma. Ogni sforzo intellettuale viene d'ora in avanti orientato alla giustificazione e alla traducibilità di essi in specifici programmi d'azione. "E' interesse di tutti i popoli programmare insieme il futuro comune a tutta l'umanità, poiché l'alternativa è semplicemente nessun futuro." Un tale progetto doveva essere intrapreso con la massima urgenza, tanto che Peccei lo chiamò "Progetto 1969", intendendo con esso "uno studio sotto egida plurinazionale, sull'attuabilità di una pianificazione sistematica, di lungo termine, su scala mondiale"¹⁸.

Le idee contenute in questo primo libro di Peccei, oltre a costituire la base dei lavori del Club di Roma, stimolarono anche la creazione dell'IFIAS (Federazione internazionale degli istituti per gli studi avanzati), un organismo non governativo nato dal finanziamento delle Fondazioni Nobel e Rockefeller, di cui Alexander King (amico di Peccei e membro del Club di Roma) ne è il presidente. Il proposito, molto simile a quello dell'IIASA, era quello di creare una rete di collegamenti tra istituti scientifici di tutto il mondo, onde creare una comunità di lavoro di carattere transnazionale che permetta di effettuare ricerche sui problemi globali.

Proliferazione umana, ingiustizia sociale, fame, povertà, rivolta dei giovani, alienazione, criminalità, corruzione politica: questi sono solo alcuni dei problemi che formano quell'intricabile groviglio che il Club di Roma chiamerà "la problematica". Tutti questi problemi tendono a valicare i confini e a diffondersi a macchia d'olio: "il pericolo maggiore sta nel nostro continuare a concentrarci su quei problemi periferici o settoriali che appaiono più grandi e più vicini, mentre la ferrea morsa della ben più formidabile problematica a raggio mondiale si va vieppiù restringendo, pressoché inavvertita o quanto meno incontrastata".¹⁹ Le strutture dei governi e delle organizzazioni internazionali sono inerentemente incapaci di reagire con rapidità a questa situazione, poiché sono stata concepite per provvedere a esigenze settoriali. Le loro burocrazie offrono resistenza ai cambiamenti ai quali bisogna invece prestare seria attenzione.

Nel 1967 Peccei ebbe un fortuito incontro a Parigi con Alexander King, allora direttore generale degli affari scientifici dell'OCDE²⁰. Egli ne "La qualità umana" viene descritto come "uomo di rara cultura che a una solida base scientifica unisce una serena ed equanime capacità di giudizio"²¹. Insieme discussero della necessità di costruire una "non-organizzazione" di studiosi per discutere della complessa situazione mondiale. Decisero così di invitare una trentina di esperti tra scienziati, sociologi e economisti a venire a Roma il 6 e il 7 aprile 1968. Il convegno fu finanziato dalla Fondazione Agnelli, e si tenne presso l'Accademia Nazionale dei Lincei alla Villa Farnesina. Nonostante le buone intenzioni, fu impossibile mettere d'accordo i convenuti, tant'è che Alexander King ebbe poi a dire "Questo meeting fu un monumentale fiasco". Ma alcuni dei partecipanti non erano disposti a dichiararsi sconfitti, così dopo il convegno un piccolo gruppo si riunì a casa di Peccei per approfondire l'argomento. Tra essi c'erano Erich Jantsch, Alex King, Hugo Thiemann (direttore dell'istituto Battelle di Ginevra) e Max Kohnstamm (braccio destro di Jean Monnet nel movimento europeista), Dennis Gabor (premio Nobel per la fisica) e ovviamente Peccei. Nacque così il Club di Roma, quella che Peccei definì "un' appassionante avventura dello spirito"²², rivendicando il merito del Club di "essersi per primo ribellato all'ignoranza suicida della condizione umana".

17. *Ivi*, pag. 7

18. *Ivi*, pag. 179

19. *Ivi*, pag. 82

20. Organizzazione per la cooperazione e lo sviluppo economico

21. *Ivi*, pag. 83

22. *Ivi*, pag. 79

*“Fare previsioni è una cosa molto difficile,
specialmente se riguardano il futuro”*

Niehls Bohr

2. Il malpasso dell'umanità: Un'analisi dei rapporti al Club di Roma

"Rinnovando la ricerca di Diogene dell'uomo vero, il nostro piccolo gruppo si mise in moto e per quasi due anni cercò gente valida pronta ad accompagnarci o ad aiutarci",²³ organizzando convegni in giro per il mondo presso università, comunità scientifiche e circoli politici.

I risultati erano però poco tangibili e le persone scettiche, anche chi applaudiva le osservazioni di Peccei e i suoi uomini, non sarebbe stato disposto a sacrificare tempo e denaro per progetti di così lungo termine. Presto il gruppo si accorse che per attirare l'attenzione degli uomini su problemi apparentemente remoti, occorreva cambiare approccio e mezzi di comunicazione; "per poter avere un impatto, il messaggio del Club di Roma doveva essere presentato in maniera differente, immaginativa. A mio avviso, doveva colpire la gente come una terapia d'urto"²⁴. Nel 1969 si tenne un convegno ad Alpbach, nel Tirolo, dal titolo "Futuro - visione, ricerca, programmazione" e al Club di Roma fu riservata una sessione, nella quale fu maturata l'idea di analizzare la problematica mondiale mediante l'uso sistematico di modelli globali. In seguito Hasan Ozbekhan, un cibernetico e filosofo di origine turca, propose un progetto specifico con il titolo di "Ricerca di risposte strutturate alle crescenti complessità e incertezze mondiali". Questo primo tentativo fu laborioso e ben articolato, ma forse per questo non seppe rispondere all'immediata esigenza del Club di Roma, ovvero divulgare un messaggio chiaro e coerente nel ragionamento e nelle conclusioni. Esso intendeva riuscire a esprimere argomenti astrusi e complessi in un linguaggio comprensibile ai molti non-addetti ai lavori, doveva concentrarsi innanzitutto in un'opera di divulgazione, capace di innescare un forte dibattito a livello mondiale. Nel frattempo vennero definiti alcuni degli aspetti organizzativi principali del Club di Roma: doveva essere minuscolo, costituito da non più di cento membri, doveva disporre di fondi limitati al fine di preservarne l'indipendenza da alcun finanziatore, doveva essere apolitico e transculturale, attingendo a tutte le discipline e sistemi di valori senza identificarsi in nessuno di essi. Doveva rimanere inoltre una non-organizzazione, le sue modalità di lavoro dovevano essere svolte nella massima informalità e si sarebbe dovuto sciogliere non appena il suo obiettivo fosse stato raggiunto. Non per ultimo, "il Club era concepito non come luogo di dibattiti ma come gruppo orientato all'azione"²⁵. Se in primo luogo bisognava promuovere e diffondere una conoscenza più approfondita delle condizioni dell'umanità, sulla base di questo corpo di conoscenze bisognava poi "stimolare l'adozione di nuovi atteggiamenti, nuove politiche e nuove istituzioni in grado di raddrizzare la situazione attuale". Occorreva dunque un'opera di forte impatto per attirare l'attenzione di un pubblico vasto. "Il nostro proposito era quello di organizzare una 'operazione di comando' diretta ad aprire una breccia nella cittadella di autocompiacimento in cui la società si era follemente trincerata. A tal fine era necessario disporre di una versione divulgativa delle conclusioni del progetto il più presto possibile, anche prima che i saggi tecnici fossero in ordine perfetto"²⁶. L'occasione si presentò nel giugno 1970, quando a Berna, durante l'annuale riunione del Club di Roma, fece la sua prima comparsa Jay Forrester, specialista americano di dinamica dei sistemi e professore presso il MIT di Boston. Le sue ricerche, finalizzate allo studio dei problemi urbani, potevano divenire la base per un ambizioso progetto: stabilire un modello di simulazione del mondo, con l'obiettivo di cogliere meglio la problematica mondiale ma soprattutto di elaborare, attraverso una simulazione al computer, proiezioni che permettessero di comprendere verso quale futuro fosse avviata l'umanità. Nel giro di quattro settimane preparò un primo semplicissimo modello fondato su cinque parametri: popolazione, investimento di capitali, sfruttamento di risorse non rinnovabili, inquinamento e produzione alimentare. Il modello di simulazione, chiamato da Forrester World 1, definiva più di quaranta equazioni non lineari che collegavano le variabili prescelte, e permetteva l'analisi dell'interdipendenza dinamica delle cinque variabili. Modelli di questo tipo venivano già utilizzati nello studio di microsistemi come i sistemi industriali e urbani, ma il salto di qualità consisteva appunto nel trasferimento della loro applicazione da tali microsistemi al macrosistema globale Terra. Dopo una prima sperimentazione privata, Forrester preparò una seconda versione più accurata di tale modello chiamata World 2 ed espone i risultati raggiunti nel libro *World Dynamics*, scritto indipendentemente dal Club di Roma. Sulla base di questi dati propose che un'equipe, diretta dal suo assistente Dennis Meadows, prendesse in esame un'ulteriore sviluppo del modello e le sue implicazioni, per giungere a quello che sarebbe stato poi conosciuto come *World 3*. Grazie al generoso contributo di 250.000 dollari della Fondazione Volkswagen, il gruppo del MIT elaborò in meno di due anni il primo rapporto al Club di Roma, che venne presentato al pubblico il

23 *Ibidem.*, pag. 87

24 *Ibidem.*, pag. 88

25 *Ivi*, pag. 94

26 *Ivi*, pag. 104

12 marzo 1972 nella sede della Smithsonian Institution di Washington con il titolo “*The Limits to Growth*”²⁷. Lo studio, portato al termine dal System Dynamic Group del MIT sotto la direzione di Dennis Meadows ed il coordinamento di Horgen Randers, William Berthens III e Donella Meadows, fu pubblicato in ventinove paesi diversi e vendette ben nove milioni di copie, provocando un forte impatto a livello di opinione pubblica e suscitando ovunque dibattiti spesso con opinioni contrastanti. Studiando le variabili individuate da Forrester, gli autori del progetto dichiarano che di questo passo l'umanità andrà incontro ad un avvenire disastroso, poiché il sistema mondiale, nel volgere di un secolo, subirà un puro e semplice crollo. Proviamo ora ad analizzare più da vicino il contenuto di questo libro. Innanzitutto esso, come si evince dalla premessa, “ha come scopo di definire chiaramente i limiti fisici e le costrizioni relativi alla moltiplicazione del genere umano e alla sua attività materiale sul nostro pianeta [...]”. Le conclusioni indicano che l'umanità non può continuare a proliferare a ritmo accelerato, considerando lo sviluppo materiale come scopo principale, senza scontrarsi con i limiti naturali del processo, di fronte ai quali essa può scegliere di imboccare nuove strade che le consentano di padroneggiare il futuro, o di accettare le conseguenze inevitabilmente più crudeli di uno sviluppo incontrollato”²⁸. Ritornano le stesse considerazioni che pochi anni prima aveva espresso Peccei; la novità rispetto al pensiero del fondatore del Club sta nell'aver tentato una quantificazione (seppur parziale) di queste dinamiche, attraverso la tecnica del System Dynamics Group, che consente una rappresentazione grafica delle relazioni mondiali e una simulazione delle loro conseguenze nel lungo periodo. Tutti e cinque i parametri principali presi in considerazione (popolazione, industrializzazione, sfruttamento delle risorse naturali, produzione di alimenti e inquinamento) crescono esponenzialmente con il tempo. La differenza tra crescita lineare e crescita esponenziale, ci ricordano gli autori, consiste nel fatto che mentre nella prima ad intervalli di tempo uguali corrispondono incrementi uguali, nella seconda a intervalli di tempo uguali corrispondono incrementi pari a una frazione costante del totale. E' utile esprimere la crescita esponenziale in termini di tempo di raddoppiamento, cioè come tempo occorrente perché la grandezza in esame raddoppi il proprio valore (incremento del 100%). Nel rapporto il ragionamento della crescita esponenziale viene esemplificato con un indovinello francese per l'infanzia significativo: “Supponete di avere un laghetto nel quale cresce una ninfea che ogni giorno raddoppia le proprie dimensioni: se potesse svilupparsi liberamente, la ninfea coprirebbe completamente il laghetto in trenta giorni, soffocando tutte le altre forme di vita presenti nell'acqua. Se si decide di tagliare la ninfea allorché è arrivata a coprire metà dello specchio d'acqua, in quale giorno bisognerà farlo? (La risposta è al 29° giorno: vi è quindi un solo giorno di tempo per salvare il laghetto.)”²⁹. Questo indovinello ci mostra la subitanità con la quale una quantità che cresce in modo esponenziale si avvicina a un limite dato. Nel caso dei nostri cinque parametri, la crescita esponenziale viene in parte bilanciata da quelli che la cibernetica chiama anelli di retroazione (*feedbacks*) negativi, tali che “una modificazione di un elemento si propaga lungo l'anello fino a ripercuotersi sull'elemento di partenza con un'influenza operante in senso contrario rispetto alla modificazione iniziale. Un anello negativo tende allora a regolare la crescita mantenendo un sistema in una condizione di stabilità”³⁰. Prendendo come esempio il capitale industriale, mentre i beni di investimento (ad es. nuove macchine per la produzione) incrementano lo stock di capitale industriale, originando così un anello di retroazione positivo, il deprezzamento e la perdita del valore d'uso del capitale rappresentano il feedback negativo che bilancia tale tendenza. Nel caso della popolazione la situazione è più complicata. Qui l'anello di retroazione negativo è dato dalla mortalità media, che aumenta parallelamente al progressivo aumentare della popolazione. Tuttavia tale rapporto non è da considerarsi costante, poiché il miglioramento delle condizioni sanitarie nel mondo, dato dal diffondersi della medicina moderna e delle nuove tecniche di produzione e distribuzione degli alimenti, ha fatto precipitare l'indice di mortalità a valori bassissimi in tutti i paesi. Dai dati demografici si può vedere come la durata media della vita nel mondo abbia subito un incremento che va dai circa 30 anni nel 1650, ai 53 anni nel 1970. Questo fenomeno determina uno squilibrio sempre più acuto tra anello di retroazione positivo (nascite) e anello di retroazione negativo (decessi), divario che origina quella che gli autori chiamano “crescita iperesponenziale”. Questo li porta alla discussa quanto inquietante conclusione che, a meno di una rigorosa pianificazione delle nascite, il sovraffollamento assumerà dimensioni tali da minacciare la sopravvivenza stessa della razza umana.

Questi tassi di crescita esponenziali e, nel caso della popolazione, addirittura “iperesponenziali”, si scontrano inevitabilmente con i propri limiti, dati dalla finitezza delle risorse naturali e dalla loro non rinnovabilità. Le conclusioni allora si presentano in maniera limpida: se le attuali tendenze di crescita materiale (demografica ed economica) continueranno, nel corso di poche generazioni l'espansione umana raggiungerà limiti al di là dei quali non si potrà evita-

27. Trad. it. “*I limiti dello sviluppo*”. Questa infedele traduzione, probabilmente in buona fede, di “*The limits to Growth*”, letterariamente “I limiti della crescita”, avrebbe secondo Carla Ravaioli generato nel corso del tempo l'identificazione dei termini “sviluppo” e “crescita” e la naturale interscambiabilità dei due vocaboli. In realtà “crescita” è riferito a questioni economiche come le merci e il reddito, mentre lo “sviluppo” concerne beni sociali, diritti civili, libera informazione, parità dei sessi e in generale tutto ciò che contribuisce all'umanizzazione delle risorse.

28. “*I limiti dello sviluppo*”, pag. 19

29. *Ivi.*, pag. 34

30. *Ivi.*, pag. 38

re una crisi profonda e quindi il collasso. Non è difficile smascherare all'interno di questo discorso un forte credo malthusiano. Già due secoli prima, infatti, Malthus, cercando di far luce sul futuro economico del suo paese, era giunto a conclusioni simili adottando lo stesso procedimento intuitivo. Egli aveva dimostrato che, mentre la popolazione cresce in maniera esponenziale (2,4,8,16,32) il tasso di crescita della produzione agricola segue un andamento aritmetico (2,3,4,5,6), il che avrebbe dovuto comportare come conseguenza il diffondersi di crisi alimentari. La fine dello sviluppo economico era per Malthus solo un'ipotesi remota, poiché nei fatti il divario tra i due tipi di crescita sarebbe stato colmato dalla fame, che abbassando la crescita della popolazione avrebbe agito da potente feedback negativo.

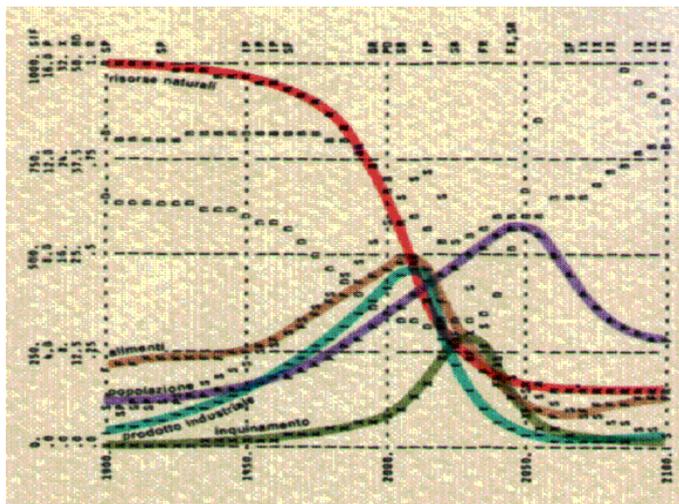


Figura 1

Il grafico di fig.1, illustrato nella copertina del libro, mette in mostra un'allarmante situazione: le risorse naturali (curva rossa) cominceranno a diminuire esponenzialmente nel corso della seconda metà del '900 fino ad incontrare nei primi anni del Duemila le curve degli alimenti e del prodotto industriale, "mozzandone" letteralmente la crescita. Seguirà l'inversione di tendenza dell'inquinamento e, per ultimo, della popolazione. Dunque, nell'ipotesi che l'attuale linea di sviluppo continui inalterata nei cinque settori fondamentali, l'umanità sarà destinata a raggiungere i limiti naturali dello sviluppo entro i prossimi cento anni, con il risultato di un improvviso, incontrollabile declino del livello di popolazione e del sistema industriale.

Questi tassi di crescita esponenziali e, nel caso della popolazione, addirittura "iperesponenziali", si scontrano inevitabilmente con i propri limiti, dati dalla finitezza delle risorse naturali e dalla loro non rinnovabilità. Le conclusioni allora si presentano in maniera limpida: se le attuali tendenze di crescita materiale (demografica ed economica) continueranno, nel corso di poche generazioni l'espansione umana raggiungerà limiti al di là dei quali non si potrà evitare una crisi profonda e quindi il collasso. Non è difficile smascherare all'interno di questo discorso un forte credo malthusiano. Già due secoli prima, infatti, Malthus, cercando di far luce sul futuro economico del suo paese, era giunto a conclusioni simili adottando lo stesso procedimento intuitivo. Egli aveva dimostrato che, mentre la popolazione cresce in maniera esponenziale (2,4,8,16,32) il tasso di crescita della produzione agricola segue un andamento aritmetico (2,3,4,5,6), il che avrebbe dovuto comportare come conseguenza il diffondersi di crisi alimentari. La fine dello sviluppo economico era per Malthus solo un'ipotesi remota, poiché nei fatti il divario tra i due tipi di crescita sarebbe stato colmato dalla fame, che abbassando la crescita della popolazione avrebbe agito da potente feedback negativo.

La fig.1 viene assunta dai ricercatori come 'tracciato standard' sulla base dell'ipotesi che nel futuro né i fondamentali valori umani né il funzionamento del sistema popolazione-capitale subiranno sostanziali cambiamenti. Questo modello viene poi confrontato con altri tracciati ottenuti sulla base di undici ipotesi alternative. Tra queste vi è l'ipotesi che la disponibilità di risorse naturali sia doppia rispetto alla reale, l'ipotesi della disponibilità di risorse naturali illimitata dovuta all'introduzione dell'energia nucleare, l'ipotesi di un completo controllo volontario delle nascite; e ancora, che dal 1975 ogni inquinamento possa venire ridotto nel rapporto 1:4, o che il rendimento di tutte le terre coltivate possa venire raddoppiato. La quasi totalità di questi modelli alternativi falliscono, e nella migliore delle ipotesi la crisi verrebbe posposta solo di pochi decenni. L'unico modello vincente è rappresentato da quello che vede l'unione congiunta di misure volte alla stabilizzazione delle crescite esponenziali. Gli assunti necessari ad evitare la collisione tra le curve dei cinque valori fondamentali possono essere così sintetizzati:

-controllo completo delle nascite
 -riduzione dell'inquinamento di 1:4 rispetto al valore del 1970
 -riduzione del consumo di materie prime per unità di prodotto industriale di 1:4 rispetto a quello attuale
 -attività economica indirizzata verso la produzione di servizi e alimenti piuttosto che verso la produzione di beni materiali di consumo, oltre che verso la riutilizzazione delle materie prime già usate e di riduzione dell'inquinamento (ad.es. mediante l'estensione dell'uso degli impianti che trasformano i rifiuti organici in concime).

L'ultimo modello che l'analisi Meadows ci offre è anche il più inquietante: le curve mostrano l'andamento risultante delle varie grandezze del sistema mondiale nell'ipotesi che gli stessi provvedimenti dell'esempio precedente vengano adottati 25 anni più tardi, e cioè nel 2000 anziché nel 1975. I provvedimenti risulterebbero in questo caso inefficaci, poiché 25 anni di crescita ulteriore di popolazione e capitale porterebbero alimenti e risorse ad esaurirsi prima del 2100. Ecco così messa in luce l'urgenza con la quale deve essere intrapreso il processo di stabilizzazione dei parametri principali, per evitare di varcare la soglia di un 'punto di non ritorno', oltrepassato il quale sarebbe poi impossibile tornare indietro. Nell'indoviniello del laghetto, questo punto di non ritorno è rappresentato dal 29° giorno, nello scenario mondiale in un punto imprecisato tra il 1975 e il 2000.

Uno stato d'equilibrio³¹ deve essere imposto al più presto al sistema mondiale, se non si vuole che sia la natura ad imporre il suo, con conseguenze gravi per tutta l'umanità.

I ricercatori tengono a sottolineare che l'equilibrio definito in questo modo non significa stagnazione, esso deve essere inteso come una "configurazione di equilibrio dinamico, che non richiede di 'congelare' il mondo nello stato attuale: lo scopo è quello di creare le condizioni per una maggiore libertà, e non quello invece di imporre all'umanità una camicia di forza."³² Qualsiasi attività umana, a patto che non impegni grandi quantitativi di risorse non recuperabili e che non contami gravemente l'ambiente, potrà essere libera di svilupparsi senza alcuna limitazione. In particolare potranno trovare maggiore spazio quelle attività che sono fonte delle più autentiche soddisfazioni, come l'arte, la letteratura, lo sport e la ricerca scientifica pura.³³ Dopo la pubblicazione di questo primo rapporto al Club di Roma si aprì un forte dibattito sulle questioni dell'energia, della crescita materiale e dei suoi limiti. La crisi petrolifera del '73 acuì la gravità delle predizioni, generando a livello di opinione pubblica un forte allarmismo e un senso di inadeguatezza del sistema produttivo mondiale. Ovunque nel mondo si tennero centinaia di convegni, tavole rotonde e discussioni televisive. Nell'aprile del 1972 la regina Guglielmina d'Olanda inaugurò un'esposizione nel centro di Rotterdam dedicata alle idee del Club di Roma, l'anno successivo la Fondazione tedesca per la pace assegnò al Club il premio annuale, a Francoforte, in virtù della sua "attività internazionale ed ecumenica". Non mancarono le critiche e gli attacchi, che accusarono l'equipe Meadows di propugnare la crescita zero. In effetti la "situazione di equilibrio" che veniva auspicata nel capitolo conclusivo del libro, e che ne costituiva la tesi fondamentale, rimaneva un concetto vago e astratto, incapace di calarsi nella complessità storica dei singoli popoli. In che misura bisognava smettere di crescere? Chi per primo? La lacuna fondamentale del primo rapporto sembrava essere la concezione dello sviluppo mondiale come "monolitico", omogeneo, che ignorava completamente le differenti situazioni regionali, i diversi livelli di sviluppo e l'ineguale distribuzione delle risorse naturali. Per avviare alla rudimentalità di questa idea di sviluppo, nel 1974 venne alla luce il secondo rapporto al Club di Roma, affidato a Mihajlo Mesarovic e Eduard Pestel, entrambi ingegneri. Il libro, intitolato "Strategie per sopravvivere" (Mankind at the Turning Point), anch'esso finanziato dalla Fondazione Volkswagen, aveva come obiettivo "un'analisi delle questioni globali, la quale tenesse realisticamente conto della diversità delle numerose regioni del mondo e riuscisse a studiare tali questioni globali non in termini astratti ma in modo concreto"³⁴. La crescita è un processo complesso ed eterogeneo, non la si può indicare fisicamente alla stregua di un oggetto; se nelle regioni industrializzate i consumi materiali hanno raggiunto le proporzioni di uno sperpero assurdo, in molte regioni meno sviluppate la sopravvivenza stessa della popolazione dipende dallo sviluppo dei settori produttivi. Perciò è privo di senso domandarsi se la "crescita" sia giusta o sbagliata in sé, senza rapportarla alla specifica realtà socio-economica nella quale è inserita. Gli autori analizzano il concetto di crescita rapportandolo alla sua manifestazione in natura, dove si possono distinguere due tipi di processi: uno è la *crescita indifferenziata*, puramente quantitativa, come nel caso della divisione cellulare (in cui la cellula si divide in due, in quattro, in otto e così via), l'altro è la *crescita organica*, qualitativa, in cui i diversi gruppi di cellule cominciano a differenziarsi nella struttura e nella funzione, seguendo il processo evolutivo dell'organismo nel suo complesso. I dibattiti sulla crisi dello sviluppo mondiale hanno sempre considerato la crescita come indifferenziata, mentre essa deve ora essere considerata come organica e differenziata nelle

31. Gli autori definiscono lo stato di equilibrio per il sistema mondiale come "la condizione in cui popolazione e capitale rimangono sostanzialmente costanti, grazie al controllo esercitato sulle forze che tendono a farli aumentare o diminuire" (pag.137)

32. "I limiti dello sviluppo", pag.139

33. Le conclusioni del rapporto Meadows si rifanno esplicitamente alla lezione degli economisti classici come John Stuart Mill, che già nel 1857 aveva ipotizzato uno stato stazionario dell'economia, inteso come una situazione di crescita zero dello stock di capitale fisico e della popolazione, ma caratterizzato da miglioramenti continui nella tecnologia e nell'etica. Una concezione, quest'ultima, che venne in seguito abbandonata dagli economisti neoclassici in favore di una crescita economica illimitata, secondo il modello marginalista della domanda-offerta.

34. "Strategie per sopravvivere", prefazione, pag.8

varie regioni dell' "organismo" mondo. Se un tempo la comunità mondiale era un insieme di parti indipendenti, che potevano essere libere di crescere come meglio volevano, ora essa si è trasformata in un sistema mondiale, cioè in un insieme di parti funzionalmente interdipendenti. In un sistema siffatto "la crescita di ogni parte dipende dal fatto che le altre crescano o non crescano; pertanto una crescita indesiderabile di una parte qualsiasi mette in pericolo non solo quella parte, ma tutto l'insieme. Se però il sistema mondiale riuscisse a imboccare la via della crescita organica, le interrelazioni organiche agirebbero come un freno contro una crescita indifferenziata in un punto qualsiasi del sistema"³⁵. Rifiutando l'aggregazione su scala mondiale dei dati relativi alle variabili studiate da Meadows, gli autori elaborano un modello complessivo del mondo suddiviso in dieci regioni, considerate come sottosistemi tra loro interagenti. Ognuna di queste macroregioni accomuna popoli con tradizioni, stili di vita, condizioni socio-economiche e gradi di sviluppo simili, non senza alcune generalizzazioni e forzature, come nel caso della regione costituita al contempo da Australia, Nuova Zelanda e Sud Africa. Sulla base di questo modello, come nel rapporto precedente si procede a un'analisi di scenari eventuali in relazione alle scelte possibili che l'umanità si troverà ad affrontare.³⁶

In un modello del mondo regionalizzato e non più tutto-d'un-pezzo come il precedente, anche il corrispettivo concetto di limite si configurerà in maniera nuova. In una visione omogenea dello sviluppo del mondo, in cui sono sopresse le differenze tra le varie parti, il sistema tenderà a raggiungere i propri limiti contemporaneamente e nella sua totalità, al pari di un pendolo che, per evitare la collisione con un limite, deve ridurre immediatamente accelerazione e velocità (fig.2.a). Al contrario, nella visione del mondo basata sulla diversità, non esiste un concetto unico di limite e le singole parti si scontrano con limiti diversi e in tempi diversi, propagandosi sull'intero sistema in funzione dell'intensità delle interazioni esistenti. Un' analogia che esemplifica questo concetto di mondo differenziato è data da un insieme di sfere collegate da un sistema di molle (fig.2.b). Ogni sfera può incontrare i propri limiti indipendentemente dalle altre, che possono trovarsi a distanza dai propri.

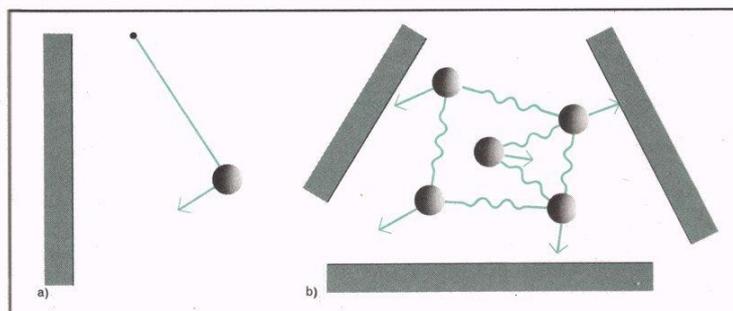


Figura 2

Le predizioni rimangono allarmanti, seppur in maniera diversa rispetto a quelle di Meadows. Più che di un crollo generale del sistema, per Mesarovic e Pestel bisognerebbe parlare di catastrofi su scala regionale, che però, data l'interdipendenza delle componenti del sistema, finirebbero comunque per avere ripercussioni profonde lungo tutto il globo. Il modello offre anche scenari che permetterebbero di scongiurare crisi di questa portata, i quali implicano un abbandono rapido delle direttive politiche adottate dai governi e dalle potenze economiche, non più al fine di raggiungere una situazione di equilibrio (crescita zero), quanto alla conversione della crescita indifferenziata in crescita organica, ovvero ad uno sviluppo equilibrato e armonico delle diverse regioni del pianeta. Affrontando lo spinoso problema della crescita iper-esponenziale della popolazione, gli autori si chiedono se il rallentamento dello sviluppo demografico debba dipendere da un gioco di forze di tipo malthusiano o da una politica deliberata di riduzione delle nascite; in realtà, nella domanda è già insita la risposta: "Lasciando che sia un meccanismo di retroazione naturale' a controllare la crescita mediante la denutrizione e la morte per inedia, si arriverebbe a raggiungere lo stesso risultato di una ben riuscita politica demografica, e cioè lo stesso livello complessivo di popolazione: ma quale tragica differenza vi sarebbe per le singole famiglie, e per la qualità di vita dei sopravvissuti."³⁷. L'idea di una pianificazione delle nascite incombe ancora una volta in tutta la sua inevitabilità. Ritorna anche l'elemento escatologico che abbiamo in precedente riscontrato in Peccei quanto in Meadows: "l'umanità è a una svolta nella sua storia: si tratta di proseguire lungo la via di una crescita indifferenziata cancerosa o di imboccare la via della crescita organica. Il passaggio dall'attuale crescita indifferenziata e squilibrata del mondo alla crescita organica rappresenterà un'alba, non una catastrofe, un inizio, non una fine"³⁸.

Una particolare differenza rispetto al modello precedente sta invece nella pragmaticità con cui gli autori intendono

35. *Ivi.*, pag.22

36. L'approccio regionale suggerito da Mesarovic e Pestel è molto simile alla teoria sociologica del regionalismo sviluppata diversi decenni prima dal sociologo americano Howard W. Odum. Il regionalismo come approccio allo studio della società è basato sul riconoscimento di precise differenze nelle qualità culturali e naturali delle diverse aree che, tuttavia, sono interdipendenti.

37. *Ivi.*, pagg. 76-77

38. *Ivi.*, pagg. 21-21

affrontare le proprie previsioni; lungi dal costituire un mero esercizio accademico, questo nuovo modello venne concepito come in grado di portare un contributo immediatamente utile ai responsabili della politica, mostrando loro quali sarebbero le conseguenze delle diverse scelte che possono affrontare. Per questo Mesarovic e Pestel proposero il loro modello a diversi governi, alcuni dei quali, come quelli dell'Egitto e dell'Iran, risposero favorevolmente. Nel 1976, durante una riunione del Club di Roma ad Algeri, venne presentato un terzo rapporto, elaborato sotto il coordinamento del premio Nobel per l'economia Jan Tinbergen, dal titolo "Progetto Rio, per la rifondazione dell'ordine internazionale". Tale rapporto voleva servire da contributo alle preoccupazioni sollevate durante la Sesta sessione speciale dell'Assemblea generale delle Nazioni Unite, svoltasi nel 1974, che si concluse con la volontà da parte dei Paesi membri di tracciare un 'programma d'azione' per fondare un nuovo ordine economico internazionale. Il punto di partenza del gruppo di Tinbergen è la constatazione di una forbice sempre più allargata tra il Nord e il Sud del mondo, fatta di ingiustizie e diseguglianze crescenti. La ricerca di un nuovo assetto mondiale deve fondarsi, per gli autori, su un'azione concertata tra Nord e Sud, il mondo ricco e il mondo povero, attraverso la presa di coscienza dei comuni interessi. Nel quarto rapporto al Club di Roma, presentato nello stesso anno e intitolato "Oltre l'età dello spreco", i ricercatori Dennis Gabor e Umberto Colombo insistono sulla necessità di politiche d'insieme programmate sul lungo periodo, orientate alla creazione di nuove tecnologie che contrastino i limiti fisici dello sviluppo. La crisi petrolifera del 1973, infatti, aveva in un breve periodo portato al quadruplicarsi del prezzo del petrolio, facendo sentire con forza l'esigenza da parte delle nazioni importatrici di investire su settori energetici alternativi ai combustibili fossili.

Fino al 1980 vennero commissionati da Club di Roma altri nove rapporti, per un totale di tredici rapporti principali. Per ovvi motivi di spazio non è nostra intenzione analizzarli tutti in questa sede³⁹. Per concludere vorrei invece soffermarmi in particolare su uno di essi, il quinto rapporto, intitolato "Obiettivi per l'umanità". I precedenti quattro rapporti avevano avuto l'obiettivo di definire i limiti strutturali, innanzitutto di ordine fisico, a cui la moderna società capitalista sarebbe andata incontro nel corso del suo sviluppo materiale, e di ricercare i mezzi per evitare la crisi che avrebbe luogo qualora l'umanità si fosse scontrata con tali limiti. Nell'analisi della problematica mondiale è però mancata una riflessione di livello più alto, concernente i fini ai quali l'umanità aspira e gli obiettivi che, in maniera differente tra i vari popoli, si pone. Per colmare questa lacuna nel 1978 fu pubblicato il rapporto "Obiettivi per l'umanità", sotto la guida di Ervin Laszlo, al tempo professore di filosofia alla State University di New York e ricercatore presso l'UNITAR (l'Istituto delle Nazioni Unite per l'addestramento e la ricerca). In questo quinto rapporto, che si caratterizza dal taglio più decisamente etico, il dibattito sui limiti dello sviluppo viene trasferito dal piano fisico a quello cognitivo-spirituale: i limiti contro i quali dobbiamo lottare, se non vogliamo andare incontro a una catastrofe, sono di tipo psicologico ancor prima che fisico e riguardano la sfera delle nostre aspirazioni e ideali. Dopo i primi anni di allarmismo, il Club di Roma era maturo per gettare le basi di una *pars construens* che possa davvero ridare valore alle scelte che si possono effettuare. Come scrisse due anni prima Peccei ne "La qualità umana" è giunto il momento di passare "dalla fase del puro shock, indispensabile per svegliare la gente ai pericoli che tutti stiamo correndo, a una nuova fase di visione positiva dell'evoluzione umana e di quello che essa può permettere di realizzare nel futuro prevedibile"⁴⁰. In un mondo diventato sempre più interdipendente, gli obiettivi sulla base dei quali Popoli e Nazioni agiscono si rivelano di vitale importanza. Innanzitutto, il rapporto si propone di delineare un'atlante degli obiettivi mondiali suddiviso per regioni culturalmente e politicamente omogenee⁴¹, per provare poi a definire gli obiettivi e i fini comuni ai quali l'umanità dovrà tendere, abbandonando le politiche miopi ed egoistiche per dar vita ad un'azione concertata tra i Popoli fondata su obiettivi di carattere globale e a lungo termine.

La realtà è per il momento assai diversa e la strada da compiere è ancora molto lunga: se dal punto di vista delle relazioni commerciali il nostro mondo è strettamente interdipendente, altrettanto atomizzato lo è dal punto di vista degli obiettivi che vengono perseguiti. "Nazioni, grossi complessi industriali e finanziari, organizzazioni definiscono gli obiettivi alla luce degli interessi che percepiscono per l'immediato, sperando che il raggiungimento di tali obiettivi porterà in qualche modo dei vantaggi anche ad altri"⁴². La storia ha però ampiamente dimostrato il fallimento della cosiddetta 'teoria dello sgocciolo', i sostenitori della quale pensavano di eliminare la fame nel mondo accumulando ricchezza per farla poi 'sgocciolare' sui poveri. Si assiste invece ad uno scenario in cui i ricchi diventano sempre più ricchi e i poveri fanno sempre più figli. L'idea che una mano invisibile distribuirà i vantaggi a patto che ognuno giochi a produrre il proprio guadagno si è dimostrata una tremenda illusione, e l'invisibile mano di Smith sempre più sembra essersi trasformata in un 'piede invisibile' che tira calci qua e là, a seconda delle fluttuazioni del mercato finanziario. E' giunto il momento di cambiare rotta, abbandonando la fede filosofica nell'economia di mercato così a fondo radicata nella nostra cultura industriale. "Essere è espandersi" è stata per troppo tempo la convinzione di fondo del dogma neoli-

39. una esposizione chiara e sintetica si può trovare in Braillard, "Impostura del Club di Roma"

40. "La qualità umana", pagg.150-151

41. Vengono analizzati gli obiettivi delle democrazie industrializzate, del mondo comunista e del terzo mondo, in secondo luogo gli obiettivi delle multinazionali, delle organizzazioni religiose e degli organismi transnazionali come le Nazioni Unite.

42. "Obiettivi per l'umanità", pag.24

berista⁴³. Deve essere ora intrapresa con coraggio una 'rivoluzione copernicana' per riportare al centro degli studi sulla problematica mondiale l'uomo, con tutti gli intrecci di motivazioni etniche, culturali e sociali che contribuiscono a determinarne gli obiettivi e i modi di vita. La questione per l'economia non sta nel scegliere di crescere o non crescere: bisogna domandarci come crescere e in vista di quale scopo; la crescita economica dovrebbe sussistere solo nella misura in cui adempie alle finalità umane.

Nonostante certe approssimazioni, vaghezze e alcune marcate componenti ideologiche sottese ai lavori del Club⁴⁴, non è il caso di sottovalutare il messaggio da esso mandatoci. Già nel 1956 il geologo americano M.K. Hubbert ci dimostrò che è possibile fare delle previsioni a lungo termine con una discreta approssimazione. In quella data, con una curva non tanto diversa da quella usata dai ricercatori del MIT, Hubbert prevedeva che la produzione di petrolio statunitense avrebbe raggiunto un picco fra il 1969 e il 1971, predizione che si verificò quasi puntualmente. La teoria del "picco di Hubbert" fu denigrata dal momento in cui fu proposta, e si è continuata a denigrarla anche dopo che si è rivelata giusta. Per quanto riguarda il Club di Roma, le sue previsioni sono state criticate molto prima che si potessero avverare: come si può accusare il Club di aver sbagliato le previsioni se esse erano riferite a un periodo di tempo compreso tra il 2010 e il 2050? Il professor Ugo Bardi, in un'articolo sul sito dell'ASPO Italia⁴⁵, parla a tal proposito di "effetto Cassandra", ovvero una sorta di meccanismo psicologico che porta a denigrare a-priori le predizioni di tipo pessimistico: "La maledizione di Cassandra è la base del comportamento umano. Non riusciamo a prendere provvedimenti verso un problema finché non diventa veramente grave. Non sappiamo dove ci porterà questa incapacità di fare fronte al futuro, che pure è prevedibile entro certi limiti. Possiamo solo sperare che quelli negano l'esistenza di qualsiasi problema vadano a rileggersi i libri di mitologia per rendersi conto che Cassandra, ai suoi tempi, aveva sempre avuto ragione"⁴⁶. Appena uscì "I limiti dello sviluppo", il libro ebbe un successo strepitoso, con milioni di copie vendute e traduzioni in 30 lingue. Quando nel 1979 i prezzi del petrolio schizzarono a livelli stratosferici, si pensò che le previsioni effettuate dal modello Meadows, di un aumento vertiginoso dei prezzi come conseguenza dell'esaurimento delle materie prime, si fossero avverate. A torto, però, dato che come dicevamo le previsioni si riferivano a un arco di tempo successivo al 2010. Quando poi dal 1985 in poi si assistette alla fine della crisi, si pensò a un falso allarme: le previsioni del Club di Roma erano sicuramente sbagliate, dal momento che dalla crisi si era usciti indenni si trattava di un ennesimo falso catastrofista. La crisi e la ripresa economica, però, non erano per nulla correlati con l'analisi proposta da Meadows, poichè le predizioni parlavano di qualcosa che era ancora trent'anni nel futuro. Gli scienziati del MIT seguirono negli anni a venire l'evoluzione del loro modello. Nel 1992 fu presentata una prima revisione del Rapporto, dal titolo "Oltre i limiti dello sviluppo", nel quale sostenevano che i limiti della "capacità di carico" del pianeta erano già stati superati. Nel 2004 uscì "I nuovi limiti dello sviluppo", in cui i coniugi Meadows riproposero il proprio vecchio modello base (I limiti dello sviluppo, 1972) rinnovato con i dati più recenti⁴⁷:

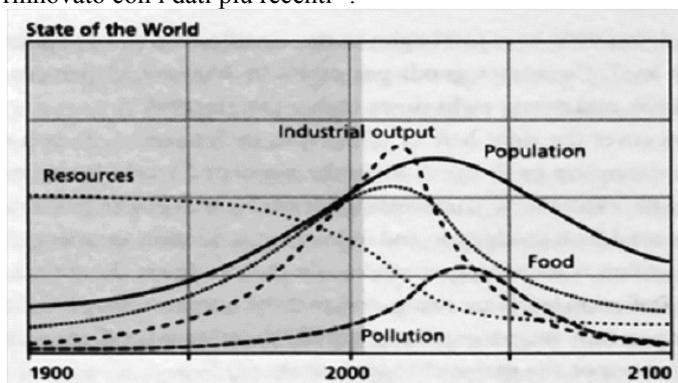


Figura 3

43. C'è una lunga tradizione nelle teorie filosofiche americane che consiste nel considerare l'azione come l'essenza dell'essere. Questo approccio ha le sue radici nel pragmatismo di Peirce, James e Dewey sviluppato sviluppatosi alla fine Ottocento, e ha avuto implicazioni in settori anche tra loro distanti come la psicologia, la sociologia, l'economia. Ci sono state interessanti spiegazioni socio-culturali di questo fenomeno, che fanno riferimento all'etica protestante, all'industrialismo e il capitalismo emergenti, alle frontiere ecc.

44. Per una rassegna delle critiche mosse al Club di Roma v. Zona U., "Il verde del padrone": il rapporto Meadows "The Limits to Growth", in "Le culture dei verdi: un'analisi critica del pensiero ecologista", a cura di Fabio Giovannini, Bari, Dedalo, 1987

45. <http://www.aspoitalia.it/archivio-articoli/35-cassandra>

46. www.aspoitalia.it

47. Al fine di interrompere le crescite esponenziali gli autori invocano la necessità di una "rivoluzione sostenibile". Nel passato vi sono state due grandi rivoluzioni: la rivoluzione agricola, che spinse i nomadi del mesolitico ad insediarsi dando vita al neolitico, e la rivoluzione industriale, che grazie ad un enorme sviluppo nella produttività risolse i timori di Malthus sulla sovrappopolazione. E' necessario che ci sia ora una rivoluzione sostenibile, di lunga durata come le precedenti, accompagnata però, e questo deve costituire una novità, dalla *consapevolezza* della sua necessità e dalla definizione degli obiettivi che si vogliono raggiungere.

Esaminando il grafico di fig.3 e comparandolo con quello di fig.1, vediamo come i massimi per la produzione industriale e per la produzione alimentare siano rimasti quasi invariati. Un cambiamento, forse neanche troppo significativo, si ha nelle curve della popolazione e delle materie prime, ma il risultato finale fa dire agli autori che il primo modello del 1972 si era rivelato sorprendentemente accurato. Se le previsioni si dimostreranno giuste o sbagliate ce lo saprà dire il futuro, che come sempre è alle porte.

Bibliografia

- Laszlo E., *Obiettivi per l'umanità*, quinto rapporto al Club di Roma, prefaz. di Aurelio Peccei e Alexander King, Milano, A.Mondadori, 1978
- Latouche S., *Obiettivo decrescita*, ed. italiana a cura di Mauro Bonaiuti, Bologna, EMI, 2004
- Lucci S., Poletti S., *Lo sviluppo sostenibile*, Bologna, Alpha Test, 2004
- Meadows, Donella H., *I limiti dello sviluppo: rapporto de System Dynamics Group Massachussets Institute of Technology (MIT) per il progetto del Club di Roma sui dilemni dell'umanità*, prefaz. di Aurelio Peccei, Milano, ed. tecniche e scientifiche Mondadori, 1972
- Meadows D., Meadows D., Randers J., *I nuovi limiti dello sviluppo: la salute del pianeta nel terzo millennio*, trad. di Maurizio Riccucci, Milano, Oscar Mondadori, 2006
- Mesarovic M., Pestel E., *L'umanità a una svolta: Strategie per sopravvivere*, secondo rapporto al Club di Roma, Milano, ed. scientifiche e tecniche Mondadori, 1974
- Odum Eugene P., *Basi di ecologia*, a cura di Loreto Rossi, Padova, Piccin, 1987
- Paccino D., *L'imbroglia ecologica: l'ideologia della natura*, Torino, Einaudi, 1972
- Pauli, Gunter A., *Crusader for the future: a portrait of Aurelio Peccei, founder of the Club of Rome*, Oxford, Pergamon Press, 1987
- Peccei A., *La qualità umana*, Milano, A. Mondadori, 1976
 - *Verso l'abisso*, Milano, ETAS kompass, 1970
 - "Agenda for the End of the century" in *Development in a World of Peace*, Club of Rome Conference Bogotà 1983, Banco Central Hipotecario (1984)
- Peccei A., Ikeda D., *Campanello d'allarme per il ventunesimo secolo*, Milano, Bompiani, 1985
- Pucci L., *La caduta dell'immaginario tecnologico: da Aurelio Peccei a Milton Friedman*, [S.l. : s.n.], 1994
- Tinbergen J., a cura di, *Progetto Rio: per la rifondazione dell'ordine internazionale*, Terzo rapporto al Club di Roma, Milano, ed. scientifiche e tecniche Mondadori, 1977
- Zona U., "Il verde del padrone": il rapporto Meadows "The Limits to Growth", in "Le culture dei verdi: un'analisi critica del pensiero ecologista", a cura di Fabio Giovannini, Bari, Dedalo, 1987

Chimica sublime nel Barocco Padano

Giorgio Maggi*

Istituto Tecnico Settore Tecnologico- Liceo Scientifico delle Scienze Applicate.
Via Seminario, 19 - 26100 Cremona
(maggim@libero.it)

Introduzione

La Chimica del passato è stata spesso letta in modo affrettato da letterati, giornalisti, convinti neopositivisti o appassionati d'utopie alchimistiche. Interessi per gli aspetti letterari e magici più evidenti hanno trascurato l'interpretazione del lessico paleo-scientifico, l'applicazione pratica dei contenuti della disciplina, l'approfondimento di metafore simboliche.

Una importante occasione, questa, per parlare di storia della Chimica con i ragazzi del Liceo per affrontare con straordinarietà un periodo storico quale quello barocco, età in cui la scienza si confronta con le altre arti sostenendo elementi metafisici che derivano dalla tradizione alchemica ma anche si apre con proposte legate alla classificazione e sistematica, basi del linguaggio e del metodo scientifico.

*Il barocco nella "Bassa Padana" interagisce con il pensiero religioso ed alchemico, con le nuove scoperte scientifiche e le nuove tecnologie: arte, medicina, musica ed artigianato sembrano alla ricerca di un'identità pur non rinunciando a comuni e classiche radici trascendenti. Robert Boyle (in **Chymista Scepticus**-1677) interpreta il secolo stigmatizzando **"la volgarità di alcuni sedicenti chimici che compiono esperimenti, ne divulgano esiti senza curarsi delle implicazioni filosofiche ed etiche"**. Le affermazioni di Boyle, sembrano evocate dopo più di duecento anni, nel R.D. 01.03.1928 N.842 art.21- "Regolamento per l'esercizio della professione di chimico" in cui possono essere iscritti all'Albo anche i ... laureati in filosofia (sezione di Chimica) provenienti dalla "cessata monarchia Austroungarica".*

A Cremona, città della musica, Theoria e Praxis del tempo che prepara ai "Lumi", è quella degli Speciali e dei Liutai. Si può affermare che nel barocco, lo Speciale pur legato al "Deus sive Natura" teorizzi la nuova IatroChimica e il Liutaio, trait d'union tra musica, tecnologia del legno e delle corde vibranti, applichi la nuova scienza all'arte della preparazione delle vernici acustiche. Un connubio che ci permetterà di costruire una raccolta di suggestioni e relazioni dimenticate, base per un'originale Wunderkammer all'interno del nuovo Museo che si sta allestendo all'ITIS "Torriani" di Cremona.

Abstract

The Chemistry of the past has often been hastily read by men of letters, journalists, convinced neo-positivists or lovers of alchemic utopias, interested only in the literary and magic aspects and not in the interpretation of the paleo-scientific lexicon, in the practical application of the contents of the discipline or in a close examination of symbolic metaphors. This can be considered as a greedy chance to talk about the history of Chemistry to high school students and to introduce an historical period such as the Age of Baroque in an uncommon way.

*The Baroque in the Padan-valley interacts with the religious and the alchemic thought and with the new scientific discoveries and with the new technologies : art, medicine, music, and craftsmanship which seem to be in search of an identity although not abdicating common and classical transcendent origins. Robert Boyle in "**Chymista Scepticus**"1677, interprets the century denouncing **" the vulgarity of some self-styled chemists who perform experiments, divulge their results without taking care of philosophical and ethic implications"**. Boyle's affirmations seem to be evoked, quite oddly nowadays, in the R.D. 01.03.1928 N.842 art.21- "Rules for the exercise of the profession of the chemist" where also people with a degree in Philosophy could be put in the register, according to an old bill of the Austro-Hungarian monarchy. In Cremona, city of music, Theoria and Praxis of the time which leads to the Age of Enlightenment is that of the Chemists and the violin Makers. We can say that during the age of Baroque the Chemist, although tied up to the "Deus sive Natura" theorizes the new Iatrochemistry, the violin Maker, linked to music, wood technology and vibrating strings, applies the new science to the art of acoustic varnishes preparation. A union that will allow us to build a collection of suggestions and forgotten relationships, basis for an original Wunderkammer inside the new Museum that is up at IT IS "Torriani" school in Cremona.*

IL BAROCCO TRA CREMONA E VENEZIA

Il barocco (approx dal 1600 al 1750) tra Cremona e Venezia attraverso Mantova, Parma, Ferrara e Modena offre spunti per riflettere su relazioni ancor poco indagate ma necessarie per affrontare ed approfondire l'epistemologia della scienza Chimica.

*Insegnante di Chimica Organica e Laboratorio all'ITIS Torriani - Membro dell'Ordine dei Chimici di Cremona

Chimica alchemica incontra Letteratura, Musica e Liuteria alla corte di Ferrara a partire da Caterina de' Vegri (sec.XV) santa virtuosa alla ribeca detta "ferrarese" e Alfonso I d'Este (1476-1534), marito di Lucrezia Borgia. "Alfonso I... ordinava al suo ambasciatore a Venezia Jacopo Tibaldi di chiedere al noto Sigismondo Mahler (liutaio) come si faceva e come si applicava la vernice" (Michele Stenta- 1896/97).

Il Duca, che apprezza l'arte dell'Ariosto, di Dosso Dossi, del Tiziano, di Giovanni Bernardi incisore su cristalli di rocca, potenzia le tecniche di alchimia metallurgica di Paolo Giovio, medico e poeta (i migliori metodi di fusione dei cannoni permisero al Duca importanti vittorie proprio sui veneziani). Nello stesso contesto in cui a Parma e Casalmaggiore opera il Parmigianino (Francesco Maria Mazzola, 1503-1540) pittore ed alchimista, Girolamo Cardano (1501 - 1576) Mediolanensis e insegnante di medicina a Pavia e a Bologna, scrive la sua *Opera Omnia* con tesi di : *Philologica, Logica, Moralia, Physica ; Arithmetica, Geometria, Musica , Astronomica, Astrologica, Onirocritica , Medicinalia* . Antonio Brasavola, (1500- 1555) medico, fisico e logico al servizio d'Ercole II d'Este dal 1521 approfondisce l'intima relazione armonica tra note musicali scienza ed astronomia, contenuti ripresi dallo scienziato cremonese Aglio, due secoli più tardi e contemporaneo di Stradivari, in " *Dichiarazione dell'Immagine predicante* " dedicata e approvata da Benedetto XIV.

Argentum musicum. X, X — — — — Saiten/ Saiten. da Medicinisch-Chymisch und Alchemisches Oraculum. Ulma. 1783



Il periodo è complesso : Marin Mersenne (1588 - 1648) pubblica " *Sulla verità delle scienze contro gli scettici o pirroniani* " (1625) in preparazione a *L'armonia universale*, (1636), negli stessi anni Galileo è processato per "grave sospetto di eresia" per il suo " *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* " mentre Giovanni Keplero completa le " *Tabulae Rudolphinae* " (1625), basate sulle osservazioni astronomiche di Brahe. Jan Baptista Van Helmont, (1579 – 1644), getta le basi del principio di conservazione della massa fondendo silice in eccesso d'alcali (il liquor silicum di Glauber) e rigenerandola con acidi (taluni, sostengono che la tavola armonica degli strumenti musicali subisse "segretamente" il trattamento elaborato da Van Helmont e ciò pare dimostrato da recenti indagini di Chimica strumentale). Gaspare Aselli pubblica (1627) il *De lactibus sive lacteis Venis*, importante traguardo nella medicina sperimentale ed a Marburgo in Assia nel 1609 viene istituita la prima cattedra di *chemiatria* o Chimica medica , Giovan Battista della Porta (1608) razionalizza metodi e preparazioni in farmacia nel " *De distillatione libri IX* ", ed alla corte di Rodolfo II d'Asburgo (1552-1612) convergono a Praga alchimisti, pittori, orafi, distillatori e importanti iatrochimici esperti nell'arte spargirica (separare ed unire), ermetica e distillatoria. Glauber (1604 – 1670) sviluppa il saggio alla fiamma ed alla perla di borace, alla base della Chimica Analitica moderna.

Il Cardinal del Monte, tutore di Michelangelo Merisi, detto il Caravaggio, alla fine del XVI sec. arreda il Casino romano più tardi detto "Buoncompagni, Ludovisi" a laboratorio alchemico : il soffitto del Casino sarà dipinto dal Caravaggio con elementi simbolici che fanno riferimento alla distillazione ed ai segni zodiacali. Nel 1646 Joannes Chrysostomus Magnenus, recupera le filosofie atomistiche in " *Democritus reviviscens sive de atomis* " riproponendo l'antica disputa ripresa nel 1706 da Martino Poli che nel " *Trionfo degli acidi* " si scaglia contro la " *favolosa canzona delli moderni Democritici, e riformati Epicurei, che pretendono di spiegare il sistema della natura e l'operazioni della Chimica con l'ideali figure degl'atomi, e metafisica modalità della materia & altri accidenti mendicati dalla torbida & offuscata immaginazione dei settatori di una sì vana, e fallace Filosofia...* " .

OPUS MAGNUM LA DISTILLAZIONE E LA TRASMUTAZIONE

L'*Opus Magnum*, la Grande Opera degli alchimisti viene rappresentata con la fusione di elementi chimici, come la distillazione, ed astrologici come gli elementi zodiacali. Il 1600 è il secolo di Galileo ma anche di Andreas Libavius che in *Alchymia* (1606) pone per primo le basi della sistematica in Chimica.

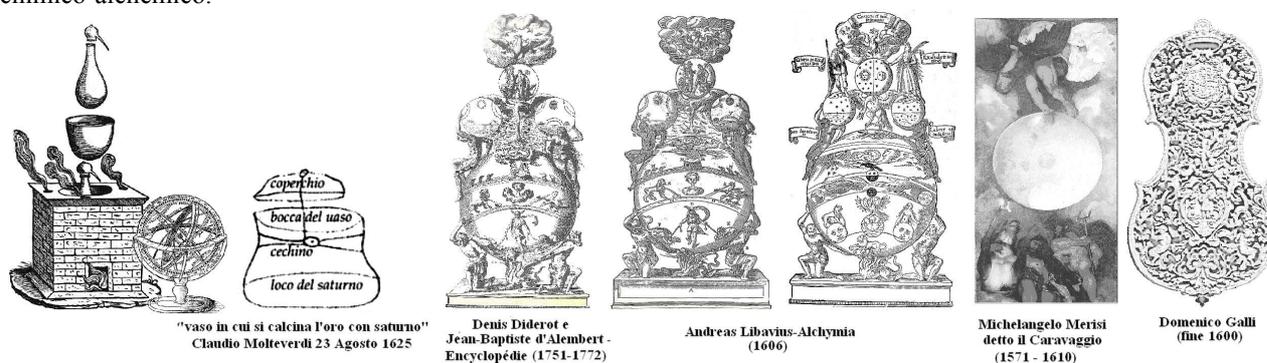
Le rappresentazioni simboliche di Libavius sono contemporanee del dipinto del Caravaggio nel laboratorio alchemico del Cardinal del Monte, sono stilizzate nel violino di Domenico Galli costruito per Francesco II d'Este (fine 1600) e verranno anche interpretate nella Encyclopedie (Sec. XVIII). (vedi figura 2)

Al fondo appare Cerbero (fuoco) affiancato da Nettuno (acqua) e Plutone (terra) che sostengono la sfera celeste (uovo alchemico) dalla quale distillano o sublimano i tre principi (fisso, volatile, combustibile, sintetizzati con tre sfere o putti alati) per raggiungere il risultato ermetico rappresentato da Giove e l'aquila (aria) o dallo stemma nobiliare o semplice-

mente dal prodotto della distillazione.

Osservando inoltre i bassorilievi incisi nel fondo del violino del Galli (musicista, compositore e liutaio alla corte di Francesco II (1662-1694) si possono individuare figure come Apollo all'interno dell'uovo alchemico. Il dio guerriero e della musica, simbolo di Cristo ma anche del sole, è armonia del Cosmo secondo Kircher 1665) e principio creativo centrifugo secondo Fludd 1638. Al di sopra tre putti alati (ascensione dei principi), due dei quali trattengono una corona di mirto simbolo della regalità Chimica e della perfezione, un terzo cavalca un cigno simbolo dell'elisir bianco, arsenico dei filosofi, che a contatto del principio volatile mercurio produce la riunione (conjunctio) delle tinture. Nel violoncello è Ercole l'elemento interno all'ampolla alchemica che rappresenta il microcosmo nell'albero della Pansofia di Theophilus Schweighart in Speculum sophericum Rhodostauroticum. Essa è sorretta dall'aquila filosofica che nasce dal nero e che separa leone (simbolo del fisso- zolfo), e leonessa (simbolo del volatile- mercurio) in opposizione. Nel violoncello riappare la corona di mirto dalla quale scaturiscono tre figure che sorreggono il sole simbolo dell'unità della materia. La simbologia si completa, sia nel violino sia nel violoncello, nello stemma ducale e nella corona che rappresenta il completamento delle operazioni terrene che portano alla Grande Opera.

Nella figura 2 sono accomunati un distillatore, una sfera armillare, una strana pentola schematizzata dal Musicista Monteverdi, raffigurazioni ermetiche con simboli ricorrenti, ed un fondo di un violino, senza relazione apparente. Essi possono forse introdurre alla complessità ermetica dell'Opera, prodromo d'armonia metafisica ma anche d'equilibrio chimico-alchemico.



CLAUDIO MONTEVERDI MUSICA ED AMALGAMA D'ORO

A Venezia giungendo da Mantova, Claudio Monteverdi (1567 – 1643), applicando il cosiddetto “*stile concitato*”, rappresenta il combattimento di Tancredi e Clorinda su testo del Tasso sperimentando colti ermetismi. Il musicista, figlio di “*spetiario e medico di piaga*” si dedica, all'alchimia: in scambi epistolari con il mantovano Ercole Marliani, datati dal 23 Agosto 1625 al 28 Marzo 1626, riferisce, con prudenti allusioni a “*quell'agente*” ed a “*quella cosa*”, di progressi nella “*confezione del mercurio*”, vantando la conoscenza di “*tal signore medico... qual si diletta molto d'investigare la pietra filosofica ... per aver da lui il modo come fa a far un certo mercurio agiacciato*”.

Monteverdi, musicista appartenente dell'Accademia dei Filomusi, apprezza “*andar ad udire Astrologia da un tale signor padre Gièsuitta*” trasferendo le sue conoscenze filosofiche dell'Arte nella composizione musicale e nella musica teurgica. Il suo “*Vespro della Beata Vergine*” (1610) si ritiene contenga elementi che possano essere riconducibili al simbolismo ermetico della “*Grande Madre*” ed alle operazioni alchemiche della *Grande Opera*, così come appare evidente la simbologia nel suo torneo tra “*Mercurio e Marte*” musicato su parole del poeta bolognese Claudio Achillini (1574-1640). In una lettera al Marliani, Monteverdi illustra un vaso “*commissionato alle fornaci di Murano*” con coperchio “*lutato*” (sigillato) in cui “*si calcina l'oro con il saturno*” (avviene l'amalgama tra l'oro di uno zecchino appeso al centro e il mercurio posato sul fondo del contenitore). Il musicista inoltre sostiene di saper come “*fare il mercurio che si converta in acqua chiara...la qual retificata scioglie l'argento gagliardamente*” (argento o mercurio detto altrimenti argento vivo si sciolgono in acquaforte usata per separare oro e argento: la preparazione dell'acido nitrico richiede conoscenze di Chimica non superficiali perché tale acido era ottenuto per reazione del sal nitro o sal di pietra con acido solforico che a sua volta si preparava diluendo in acqua anidridi “*sulfuree*” ottenute per ossidazione dello zolfo in specifici reattori) spiegando “*or son dietro a far foco sotto ad un orinale di vetro con sopra il suo capello...*”. L'attività del Monteverdi è ben conosciuta tanto che nel poema di Paolo Piazza “*Fiori poetici*” esso è definito “*grande professore di Chimica*”.

GLI AMATI, STRADIVARI E LA VERNICE ...ARMONICA DAI RIFLESSI GIALLO ORO

A Cremona, Andrea Amati (1560/64/74) riceve dal re di Francia Carlo IX, figlio di Caterina de Medici, la commissione di 24 violini, 6 contralti, 8 violoncelli e Ant. e Hieron. Amati arricchiscono con un loro strumento datato nei primi decenni del '600 la collezione del Ducato di Modena che vanta anche la famosa “*Arpa Estense*” di Jacomelli del 1581 e un violino e violoncello di Domenico Galli (1687-1691).

La tradizione musicale si rinnova in Francesco II (1662-1694) Duca di Modena : un Arisi (1725Bibl. Stat. CR), sempre ben informato, così scrive “*nel 1685, 5 aprile d’ordine dell’A.S. Regnante di Modena, un violoncello, la quale volle, che Antonio (Stradivari) glielo portasse in persona per conoscerlo di vista, a cui oltre il pagamento li donò 30 doppie*” (C.B.Spotti ,M.T.Mantovani). Francesco II, che disponeva di una ricca biblioteca con volumi d’argomento ermetico-scientifico, si dilettava nel suonare il violoncello e nella Cappella di San Petronio riuni i grandi virtuosi dello strumento come Bononcini, Giovanbattista Degli Antonii (1687), Domenico Gabrielli detto Minghén del viulunzèl(1691), Franceschini, Jacchini.

Negli stessi anni studiosi gesuiti come Padre Daniello Bartoli (1716) magnificano le virtù dell’ambra (succino o carabe: l’ *electrum* degli antichi) mentre R.P.Bonanni, esperto nell’uso di gommalacca e pece (la cremonese “*Ràza per i viouleen*”) per strumenti musicali, dichiara: “*Ho una ricetta che mi è stata comunicata da un chimico che dimora ad Augsburg...*”. (Il Bonanni sostiene anche di possedere nuove ricette vernicianti avute da Don Garnier medico di Maria Casimira di Polonia. La regina appassionata d’alchimia e di musica vantava tra i suoi musicisti il genio di Scarlatti). Ricette simili sono proposte come novità da De Mayerne(1620) e Giuseppe Quinti (1711) che impara l’Arte “*con molte fatiche, patimenti, e stenti, per lo spatio d’undeci anni, caminando diverse parti di Francia e Lombardia...*”. Il chimico, contemporaneo di Stradivari, in “*Meravigliosi segreti chimici*” illustra una vernice della Cina ad alcool ed essenza che “*vuol essere lavorata in Estate*” ciò è altresì confermato in una lettera di Padre Micazio riportata dagli Hill (Venice, April 24th, 1638) al Galilei nella quale la finitura di un violino “*non può giungere a perfezione senza il forte calore del sole* “. Gli Hill e Sacconi fanno riferimento alla lettera di Stradivari che giustifica il ritardo della consegna di un violino “*per la vernice per le gran Crepate che il sole non le faccia aprire*” mostrando la difficoltà nell’ottenere una buona finitura dell’opera allo stesso modo del fiammingo Van Eyck che, secondo il Marcucci, “*un giorno nel dar la vernice al sole... questo per il troppo caldo gli si aprì nelle commissure della tavola e... studiò un modo di fare una vernice che seccasse all’ombra e... trovò che l’olio di seme di lino, e quello di noce, tra i tanti che ne aveva messo in opera si seccavano più presto...*” Nel *Compendio dei Secreti rationali* di Leonardo Fioravanti 1592 si riferisce “*del modo efficace di fare una vernice finissima*” in cui le resine si sciolgono in “*acqua vita di quattro passate*” e il “*mirabile secreto di natura* “ è che la vernice “*si secca all’ombra senza sole*”. Dunque il Sole che interviene con l’afflato filosofico dell’elemento alchemico di finitura uniforme dell’opera artistica, che accompagna un diverso procedere nei metodi della **Chimica detta “sublime”** e che più prosaicamente, favorisce la stratificazione della pellicola e induce polimerizzazione, e perossidazione delle insaturazioni degli acidi grassi e resinici.

Le stesse materie prime soprattutto la gommalacca sono importate da lontani paesi d’Oriente e si ritrovano nella trascrizione di Bacchetta del Carteggio di Cozio di Salabue (collezionista e primo biografo di Antonio Stradivari) che recita:” *ho ricevuto la seguente ricetta ...ricevuta dal Conte Maggi e che sia quella dell’Antonio Stradivari...: gomma lacca once 4; sandracca once 2; mastice in lacrime oncie2; sangue di drago ... 40; zafferano mezza dramma; una pinta di spirito rettificato (0,56 l nel sist . Ingl.). ..E dopo la soluzione fatta al fuoco vi si incorporano once 4 di trementina di Venezia e poi si cola il tutto con un panno lino piuttosto raro ma fine di filato*” molto simile a formulazioni coeve e ripresa più tardi da Maugin - Manuel du Luthier- 1834.

SPEZIERIE E LA NUOVA SCIENZA CHIMICA

A Cremona la tradizione ermetica risale a Gerardus Cremonensis (1114 – Toledo, 1187) allievo del famoso alchimista Michele Scotto che Dante incontra nell’Inferno (XX,115), Adamo da Cremona (medico di Federico II), Pietro Azzanello (se.XIV) studioso di Galeno ed Avicenna, Rolando e Rinaldo da Cremona (se.XIV) ed a Giovanni Bracesco (1673) il cui laboratorio alchemico è da alcuni collocato nel munito castello di Soncino, roccaforte cremonese. Cremona già dal 1300 aveva alle dipendenze un “astrologo del Comune” e l’Ariosto nel 1520 ambienta nella città la commedia del “Negromante” dedicandola a Leone X. La leggenda vuole che G.Battista Ceruti, liutaio romantico, conservasse le formule delle vernici d’Antonio Stradivari, che si ipotizza in contatto con “l’aromatario” Valeriano Meschieri. Il fascino di un segreto non rivelato o la presunzione di conoscerlo, aleggia ancor oggi tra le botteghe dei liutai a pochi passi dal luogo dove sorgeva il Convento di San Domenico. La chiesa ed il monastero annesso disponeva di “*una Spezieria fornita di qualsivoglia anco peregrino medicinale*” (Manini) “*Gli spicchi (spetiales et aromatarii), che in antico vendevano e fabbricavano, assieme con le droghe e le composizioni medicinali, anche le spezierie da cucina, le tinte, le cere, le resine e le peci, la carta e l’inchiostro*” (Giovanni Leonardi). “*...troverai assai ricette, e specialmente pigliando amistà (facendo amicizia) di frati*” (Cennini). I cosiddetti “*spicchi*” operano altresì con la raccolta dei “*semplici*”: interessante è il “*Diario di Giuseppe e Tomaso Donzelli (1681) nella quale si ricorda allì Spetiali il tempo debito di raccogliere le Materie più usuali per uso delle loro Spetiarie : l’occhi di pioppo (colorante resinoso delle gemme del pioppo raccolto dalle api per produrre propoli) si raccolgono a Gennaro, la Rubia di Tintori a Marzo, si lava e si notrisce l’Aloè a Luglio e si raccoglie il Zaffarano in Ottobre*”. A poca distanza da San Domenico nel 1551 la Farmacia Piazza fornisce prodotti ai fratelli Campi, pittori, e in San Marcellino i Gesuiti (a Cremona dal 1591) tengono Liceo e Ginnasio con una biblioteca ricca di manoscritti e cinquecentine, inoltre dispongono di laboratorio di Chimica e scienze impreziosito da globi terracquei di Gherardo Mercatore. Essi riuniscono, in congregazioni dedicate a “San Giuseppe ed

Chimica sublime nel barocco padano

all'Annunziata di M.V.", gentiluomini d'arte e di scienza (Il liutaio Guarneri si farà chiamare non a caso "del Gesù"). L'Ospitale Maggiore, nato nel quattrocento, ha una Scuola interna di Chimica e farmacia dal 1629, mentre già dal 1313 appaiono gli aromataria nella viscontea Cremona. *L'Università del Collegio dei signori aromataria* approva preciso statuto nel 1388 ed in San Giovanni Damasceno assume dignità di Corporazione "*Paraticum Speciariorum et Formaglariorum*".

Quattro secoli più tardi in una lettera indirizzata dal cremonese Fromond ad Alessandro Volta, si legge delle curiose esperienze con resine ed ambre sull'ancor poco spiegato fenomeno dell'elettromagnetismo. Fromond "*conobbe che la Chimica spiegava meglio i grandi come i piccoli fenomeni di natura... e per lui si istituì in Pisa nel 1757 la nuova cattedra di questa scienza*" (Manini,Robolotti).



Sangue di drago:
da "Hortus Sanitatis" Mainz-1484



ginepro articolato o
Tetraclinis articulata
da cui si ricava la Sandaracha Vernix



Crocus Albiflorus
o Zafferano



Rubia Tinctorum L.
da cui si estrae
il pigmento colorante



PHARMACOPŒIA MEDICO-CHYMICA.
IOHANNIS SCHRÖDERI M. D. M. DC. L.

Omnia nodis arcanis connexa quiescunt, dunque, Musica e Chimica, accomunati alla sfera armillare, si confondono con filosofie e leggende come la trasmutazione dei metalli, la provenienza del Sangue di Drago e della greca "*sandarake*": una avventura della conoscenza da rileggere a Scuola per recuperare il fascino della scoperta, dell'analisi del metodo e dunque della Scienza..



Campi
"Cremona fedelissima..."



Hermes Trismegisto



Basil Valentine
Revelation des mysteres
Paris 1668



Theophrast Von Hohenheim
-Paracelso in
Basilica_chymica 1541 (collage)



H Khunrath
Amplute atrium Sapienae
1609.

Si ringrazia la prof. Anna Lucia Maramotti Politi (*Presidente dell'Associazione Liutaria Italiana e del Comitato Scientifico per il Museo del Violino di Cremona*), la dott.ssa Maria Paola Negri Preside dell'ITIS Torriani di Cremona, la prof.ssa Antonella Cinquetti, e il m°. Mario Maggi – Insegnante di viola e violino alla Scuola Internaz di Liuteria di Cremona; musicista, organologo e collezionista;

BIBLIOGRAFIA

- G. Gusberti, "Domenico Galli" Archi Magazine 2009;
- L. Astegiano, -Codice Diplomatico Cremonese, II,Torino 1898 (*Historiae Patriae Monumenta*, s. II, XXII), p. 26;
- Biblioteca Statale di Cremona, Deposito Libreria Civica, A.A.3.26.Statuto degli Aromataria 1388 Comune di Cremona, Antico Regime, Fragmentorum, b. 175;
- L. Manini, *Memorie Storiche della città di Cremona*, Cremona 1819, tomo II, p. 76;
- R. Bacchetta, – "Carteggio di Cozio di Salabue"- 1950;
- G.Donzelli , *Teatro farmaceutico dogmatico e spagirico-1704* ;
- J. R. Glauber, -*Operis mineralis... : ubi docetur separatio auri è silicibus...*1651; *Furni Novi Philosophici*. Amsterdam, 1646 ;
- N. Lémery, *Pharmacopée;... Corso di Chimica-1695*;
- G. Maggi, " Chimica e misteri nelle vernici cremonesi per Liuteria" *Il Chimico Italiano*" giugno 2006; "Vernici per Liuteria" Premio Green Scuola (III ed.-2007), Consorzio Interuniversitario Nazionale, Ministero della Pubblica Istruzione --- "Chimica dell'af-

fresco ed una proposta di laboratorio Chimico al Liceo” il “Chimico Italiano” 2008;--- “Chimica e naturalismo per reinterpretare Caravaggio” rivista Green n°10 consorzio interuniversitario dicembre 2007;--- “Il Codice Caravaggio” Chimica Liuteria del ‘600, sponsorizzato dalla BCC e Comune di Caravaggio, 2008 ; --- E.Santoro, G. Maggi “Viole da Gamba e da Braccio tra le figure sacre delle chiese di Cremona” Editrice Turrus (1982);--- “In margine alla Trementina...” in Liuteria Musica Cultura (2010) rivista dell’ALI; –Saggio sul laboratorio dell’affresco al Liceo Artistico all’interno del libro DVD –Ordine dei Chimici di Parma --- 1° premio ed.2009 “V Olimpiadi della Scienza” del Consorzio Interuniversitario Nazionale inserito nel programma ministeriale per la valorizzazione delle eccellenze”Io merito”;

- J. Michelman ,Violin Varnish, Cincinnati, Ohio, 1946;

- Tommaso d’Aquino: (Thomae Aquinatis) Thesaurus Alchemiae secretissimus ... (1224-1274) ;

- Pharmacoepa Augustana (1652/3) (1734) ;

- Pizzamiglio, Pierluigi Gerardo da Cremona, Cremona, Libreria del Convegno, 1992 ;

- Maramotti Politi, Anna Lucia: “In Margine al tema: scienza e musica” in Liuteria Musica Cultura” organo ufficiale dell’ALI n° 2/2010;

- Negri, Maria Paola “Gerardo da Cremona” in NUOVA SECONDARIA” Brescia n°10 pp. 74-76, del 15 giugno 1994.

- Sacconi, S. - I “Segreti” di Stradivari (Libreria del Convegno, Cremona, 1972 ;

- Sangiorgio, Paolo- La farmacia descritta secondo i moderni principi di Lavoisier... 1804 ;

<http://www.collezionemaggi.altervista.org>; [www.musei.confartigianato.it/Museo.asp?](http://www.musei.confartigianato.it/Museo.asp)

<http://moodle.itistorriani.it/course/category.php?id=7>; <http://moodle.itistorriani.it/course/info.php?id=13>;

<http://opac.sbn.it/opacsbn/opaclib>; Vai a: Navigazione, cerca <http://www.agescicaravaggio.it/FiloDiretto.pdf>

http://www.artisticomunari.it/dispense/programmi%20fino%20al%202007/lez_%20di%

http://www.chimici.it/cnc/fileadmin/rivista/2006/Chimico_Italiano-2-2006.pdf

<http://www.progettobabele.it/racconti/showrac.php?ID=167>

http://www.slidefinder.net/v/vernici_per_liuteria_Una_ricerca/4342291

Annuncio Preliminare

Il XIV Convegno di Storia e Fondamenti della Chimica, organizzato dal Gruppo Nazionale di Fondamenti e Storia della Chimica (GNFSC) e dall’Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, si terrà a Rimini, presso il Polo Scientifico-Didattico dell’Università di Bologna, dal 21 al 23 Settembre 2011. E’ incluso fra gli eventi dell’Anno Internazionale della Chimica 2011 e celebrerà il 200^{mo} anniversario dell’ipotesi di Avogadro, oltre al 150^{mo} dell’Unità Nazionale. Evidenzierà il carattere sperimentale delle scienze chimiche e darà ampio spazio alle loro applicazioni in campo agricolo e industriale. Sito web <http://www.storiachim2011.fci.unibo.it>. Contatti: marco.taddia@unibo.it.

Prove di “Scienze integrate”: valutazione delle relazioni di laboratorio

Antonella Casarini, Pietro Bonora

Istituto Tecnico Industriale “Giordano Bruno” – Via I Maggio, 3 – 40054 Budrio (BO)

antocasarini@alice.it; pietro.bonora@istruzione.it

Riassunto

Le relazioni di laboratorio di Fisica e di Chimica negli ITI spesso sono affrontate dagli studenti con superficialità, mentre si rivelano come l'ostacolo maggiore per il raggiungimento degli obiettivi minimi. La costruzione di una griglia comune tra le due discipline ha portato alla riduzione di tale problema e ad una maggiore consapevolezza della funzione della relazione.

Abstract

Students often approach Physics and Chemistry laboratory reports in a superficial way, and they find great difficulties in obtaining pass marks with this kind of performances. We prepared a common rubric for both disciplines and we noticed an improvement of students' results and a better consciousness of reporting usefulness

Introduzione: la scelta di una valutazione comune

Nella nostra scuola abbiamo cercato di coordinare il più possibile le attività delle due materie scientifiche sperimentali del biennio ITIS, Chimica e Fisica, per indurre gli studenti a ragionare il più possibile in modo interdisciplinare, rendere più efficace il processo di insegnamento e apprendimento attraverso l'adozione di modalità comuni, fornire un metodo di lavoro e un approccio unificato per due discipline che hanno molti punti di contatto.

Un coordinamento di questo tipo può risultare ancora più utile alla luce della riforma, per cui questi insegnamenti verranno riuniti sotto la denominazione di “scienze integrate”, soprattutto interagendo sulle attività di laboratorio, che subiranno una consistente riduzione di ore.

Tra i vari interventi attuati (adozione di un unico libro di testo di scienze della materia tra quelli già disponibili in mercato, coordinamento per lo svolgimento dei programmi e dei contenuti, ecc.) abbiamo elaborato una griglia unica per la valutazione delle relazioni di laboratorio.

Ci siamo basati su una check list che indichi i contenuti necessari e gli obiettivi minimi da raggiungere per la valutazione sufficiente, con gli elementi che ne comportino maggiorazioni o diminuzioni di punteggio.

Abbiamo scelto di penalizzare particolarmente le omissioni di uno o più punti fondamentali nella stesura della relazione: questo per evitare che negli studenti si insinuasse la convinzione che tali omissioni potessero essere compensate con arricchimenti (spesso non necessari) di altre parti. In un'ottica di educazione al metodo scientifico riteniamo di non dovere incoraggiare un approccio che accetti l'acquisizione di competenze parziali.

Va sottolineato che la griglia proposta appare come valutazione del “prodotto-relazione”, il che non significa (e non esclude) la valutazione di processo dell'attività sperimentale. Questa può essere effettuata a parte con una rubric opportuna o con altri strumenti.

Esperienza di utilizzo e risultati

Gli studenti hanno ricevuto copia della griglia all'inizio dell'anno, utilizzandola come riferimento durante la redazione delle relazioni, in classe o a casa.

Nella valutazione si è cercato di indicare con chiarezza le motivazioni delle decurtazioni di punteggio o, per le valutazioni più elevate, le ragioni per cui non si era assegnato un punteggio maggiore, in modo che, nelle relazioni successive, ogni allievo potesse migliorare il proprio lavoro.

La presenza di un sussidio schematico e preciso, che gli studenti hanno tenuto come riferimento durante l'anno, è apparsa molto utile perché:

- ha permesso a tutti l'autoverifica della completezza in relazione agli obiettivi minimi indicati;
- per gli studenti in difficoltà è stato più facile individuare i settori su cui intervenire per il raggiungimento della sufficienza;
- per gli studenti più motivati ha permesso di individuare le parti migliorabili al fine di ottenere un voto più elevato nelle prove successive;
- sull'intera classe si è verificata un'evoluzione particolare, per cui, nel corso dell'anno scolastico, i voti intermedi (sei-sette) si sono notevolmente ridotti in frequenza, con un aumento di valutazioni superiori: dalla nostra esperienza ci è parso che un maggior numero di studenti abbia raggiunto con più facilità obiettivi elevati, avendo molto chiare le modalità con cui questi potevano essere conseguiti;

- alcuni studenti hanno predisposto un file di testo “relazione tipo” dove aggiungere, di volta in volta, le informazioni richieste: questo è stato particolarmente utile per le voci “materiali”, “strumenti” e “precauzioni per la sicurezza”, per evitare gravi omissioni.

Cosa deve essere presente nella relazione di FISICA E CHIMICA per prendere almeno 6: ricordati che la relazione serve per poter riprodurre l'esperienza anche a distanza di anni... e per capire che cosa hai imparato. Non è detto che queste voci siano sempre da "coprire" tutte		
1	Intestazione	Scrivere il proprio nome e cognome, Classe, numero del gruppo, numero progressivo, titolo e data dell'esperienza, scopo dell'esperimento
2	Materiali	Indica tutti i materiali di consumo: nel caso di prodotti chimici indicarne la formula, il nome e come si usano (es. solido, soluzione acquosa, ecc.)
3	Strumenti	Riporta tutti gli strumenti di misura indicando la sensibilità ed eventualmente la portata. Fai un disegno schematico dell'apparato sperimentale, soprattutto per le esperienze di fisica (per chimica non serve quasi mai)
4	Precauzioni per la sicurezza	Riguarda soprattutto le esperienze di chimica: indica la pericolosità delle varie sostanze usate, che precauzioni avete adottato e perché
5	Procedimento	Scrivere il procedimento per punti, possibilmente in modo sintetico, ma senza tralasciare quei passaggi che sono fondamentali per riprodurre l'esperienza. In questa parte non devi indicare ne' le osservazioni, ne' le misure. Non cominciare con "siamo andati in laboratorio e il prof..."
6	Osservazioni	Indica le osservazioni relative ai vari passaggi. A volte le osservazioni vanno scritte in una tabella.
7	Dati	Vanno indicate (se necessario in tabella): le misure dirette con errore e unità di misura, le informazioni precedenti all'esperienza, le equazioni chimiche relative alle reazioni che avvengono (nel caso ce ne siano). I dati vanno indicati seguendo l'ordine cronologico delle misure (es. non si indica prima la massa finale di quella iniziale, ecc.) coerentemente con quanto indicato nel procedimento
8	Calcoli del gruppo	Indicare i calcoli fatti con le misure dirette, soprattutto quelli che sono stati guidati durante e dopo l'esperienza dall'insegnante. Prima di ogni calcolo deve esserci sempre la formula che lo rappresenta.
9	Rielaborazione dei dati o delle osservazioni della classe o di più gruppi	Come sopra per quanto riguarda la parte calcoli. Per le osservazioni possono essere necessarie delle integrazioni che sono emerse dalle osservazioni dell'intera classe (es.: significato di alcuni termini, spiegazione di un particolare fenomeno osservato, motivazione di una differenza tra i risultati ottenuti da gruppi diversi)
10	Tabella riassuntiva dei risultati della classe	Nella prima riga indicare bene di che grandezze si tratta e l'unità di misura. Indicare l'errore delle misure. Se l'errore assoluto è uguale per tutte le misure, si può mettere nella riga di intestazione
11	Grafico	Nel grafico, che deve essere fatto su carta millimetrata, devono essere indicati i significati degli assi (grandezza con unità di misura, non X o Y), i punti sperimentali con l'errore, la scala utilizzata; eventualmente tracciare la linea (retta, curva, mai una spezzata) che interpola i punti sperimentali
12	Risposte alle domande	Le risposte alle domande dettate dall'insegnante di solito riguardano problemi affrontati durante l'elaborazione dei dati o al termine dell'esperienza. Quindi scrivi il testo e, se prendi appunti, non dovresti avere problemi a dare le risposte. Le domande ti aiutano a sintetizzare meglio le conclusioni raggiunte, a capire se l'obiettivo è stato raggiunto o no e perché.
13	Conclusioni riassuntive	Scrivi una frase sintetica che riassume il senso dell'esperienza. Spiega se l'obiettivo è stato raggiunto, giustificando la risposta. In caso negativo, prova ad individuare le possibili motivazioni. Frasi del tipo "mi sono molto divertito" non solo non danno punteggio, ma possono toglierne. Ha senso invece "non ho raggiunto lo scopo perché...."
14	Ordine	La relazione deve essere fatta su un foglio protocollo o ad anelli (se il tuo quaderno è ad anelli): nel caso un foglio non basti, usane più di uno, ma scrivi il nome in piccolo su ciascun foglio e numera le pagine. La calligrafia deve essere ordinata e leggibile. Sono ben accette anche relazioni scritte al computer, ma state attenti al “copia-incolla”

Prove di "Scienze integrate": valutazione delle relazioni di laboratorio

Elementi che comportano la decurtazione di punteggio	
Descrizione	Penalità: fino a
Relazione incompleta: mancanza o grave inadeguatezza di una o più voci della tabella; parti da svolgere individualmente non personali o palesemente copiate in modo anche errato o incoerente con quanto effettivamente svolto.	-1
Calcoli gravemente incompleti (meno del 70% di quelli richiesti) o gravemente errati (portano a risultati fisicamente inconsistenti) o incoerenti con i dati indicati; dati sperimentali incompleti o errati (meno del 70% presenti o corretti); mancanza dell'equazione chimica relativa alla reazione chimica coinvolta nell'esperienza, se fondamentale ai fini della sua comprensione.	-1
Grafico errato: scala sbagliata, mancanza di più del 20% dei punti o più del 20% dei punti posizionati in modo errato. Osservazioni e deduzioni molto superficiali o in cui siano evidenti errori rispetto a quanto osservato dal gruppo o discusso con la classe	-1
Conclusioni incoerenti con i dati o con il risultato, contenenti gravi errori concettuali (esempio: "il prodotto tra le grandezze è costante, quindi sono direttamente proporzionali"), non inerenti l'obiettivo.	-1
<p>N.B.: chi subisce penalità di interi di punto NON guadagna punteggio! (Ad esempio, non ha senso fare una relazione particolarmente ordinata e con tutte le unità di misura, e poi non fare il grafico o non scrivere i dati. Chi non facesse il grafico prenderebbe 4, perché la relazione è incompleta (-1) e mancano il 100% dei punti (-1), anche se il resto è perfetto.</p> <p>Invece ci possono essere penalità di mezzo punto che non escludono l'incremento del punteggio</p>	

Elementi che comportano l'incremento di punteggio	Punteggio aggiunto
>90% dei calcoli dei dati corretti e/o osservazioni particolarmente pertinenti e personali	+ ½
>90% Arrotondamenti ed errori di misura corretti e/o puntualità nelle considerazioni svolte con l'intera classe	+ ½
Tutte le unità di misura presenti e corrette (anche nella scrittura, esempio: 1°C e non 1°)	+ ½
Grafico senza errori nei punti e nelle barre d'errore, con scala adeguata (punti oltre la metà del foglio e scala di facile lettura, es. 0,1 g ogni cm e non ogni 1,3 cm)	+1
Lessico appropriato e buona esposizione nelle parti descrittive (procedimento e conclusioni)	+ 1
Ordine generale (calligrafia perfettamente leggibile, disegni accurati, tabelle ordinate, corretta consequenzialità dei calcoli , ecc...)	+½
Il voto della relazione va da 10 (guadagnando tutti i punteggi positivi) a 2 (subendo tutte le penalità).	
Relazione NON consegnata: VOTO 1	

Anche per i docenti ci sono stati dei vantaggi:

- l'attuazione di una metodologia comune ha determinato risparmi di tempo sia nell'impostazione del lavoro che nella correzione, dato che, sulla modalità di utilizzo di alcuni strumenti di misura o di elaborazione dei dati, in molti casi ci si è potuto riferire a quanto fatto dal collega in precedenza;
- l'indicazione chiara dei punti che avevano causato decurtazioni o incrementi del punteggio ha limitato al minimo sia i dubbi degli studenti che le loro contestazioni sulla valutazione;
- alcune relazioni, sia di chimica che di fisica, sono state corrette anche dalla docente di lettere, che ha valutato la forma delle parti discorsive (obiettivi, procedimento, risposte alle domande e conclusioni): questo ha portato ad un maggior impegno da parte dei ragazzi che sapevano di essere valutati "a quattro mani".

Va sottolineato anche che i risultati migliori sono stati ottenuti nelle classi prime: le seconde, abituate dall'anno precedente ad una valutazione meno omogenea tra le due discipline e non così codificata, hanno avuto più difficoltà nell'adattarsi alla maggiore oggettività di una griglia di questo tipo. Questo fatto non crediamo che sia un difetto della nostra griglia, ma ne confermi piuttosto l'efficacia: gli studenti che dalla prima classe si sono abituati al rispetto di poche regole, ma esplicite e condivise, hanno raggiunto un approccio trasversale al laboratorio, unito ad un metodo rigoroso applicabile anche in altre discipline.



Sempre alla ricerca di nuove strade per rendere l'insegnamento della chimica quanto più accessibile si succedono proposte di natura diverse. Uno degli ultimi indicato come **metodo STSE**, viene dalla Turchia, è stato testato attraverso l'esperimento CAT (traguardi Conseguiti dall'insegnamento della Chimica) e supportato da una generale approvazione da parte degli studenti. Il principio base consiste nel correlare da parte dell'insegnante gli argomenti di Chimica a Scienza, Tecnologia, Società e Ambiente particolarmente attraenti per gli studenti, con un taglio internazionale in quanto al cambiare del Paese interessato, fatti salvi i principi ,cambiano gli specifici argomenti di Scienze, Tecnologia, Società, Ambiente da scegliere opportunamente da parte del docente.

Il 2010 è stato il **50° anniversario** dell'adozione del nome **Sistema Internazionale di Unità di Misura** e del simbolo SI da parte della Conferenza Generale. Pesi e Misure nel primo meeting del 1960. Il successo del sistema SI nel fornire standard accettati internazionalmente dal Mondo delle Scienze dell'ingegneria e della tecnologia è un'occasione che merita di essere ricordata. Le 7 unità di misura base del sistema SI sono il metro per la lunghezza, il Chilo per la massa, il secondo per il tempo, l'ampere per L'intensità di corrente elettrica, il grado Kelvin per le temperature, la mole per la quantità di sostanza, la candela per l'intensità luminosa.

Due progetti uno in Francia ed uno in Italia sono nati a distanza di pochi anni basandosi sugli stessi principi. Riguardano l'insegnamento delle scienze nella scuola primaria. I due progetti sono chiamati "**Il dito nella torta**" (Francia) e **insegnare Scienze Sperimentali** (Italia) lanciati rispettivamente negli anni 2002 e 2008 dai Ministeri di competenza. In tutte e due i casi si tratta di avventure pedagogiche che pongono lo studente in posizione centrale e propongono sperimentazione diretta, stretto legame fra scienza e linguaggio, attenzione massima allo sviluppo dell'immaginazione e della creatività degli studenti, nonché delle loro attitudini naturali. Il tutto viene distribuito tra i differenti periodi scolastici, sostenuto da didattica in laboratorio, contesto sensoriale, approccio verticale e intercurriculare.



Marie Curie

**100° anniversario
dell'assegnazione
del Premio Nobel
per la Chimica**

100° Anniversario IACS

International Association of Chemical Societies



George Johnstone Stoney

**100° anniversario
della morte**

Fisico irlandese famoso per l'introduzione del termine **elettrone**. Il concetto era stato introdotto dallo stesso Stoney nel 1874 e nel 1881, il termine è venuto nel 1891. Fu professore di "filosofia naturale e sperimentale" (cioè fisica), al Trinity College di Dublino.

ISTRUZIONI PER GLI AUTORI

Leggere attentamente!

Informazioni generali

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

Sono pertanto ben accetti quei contributi che:

- trattino e/o rivisitino temi scientifici importanti alla luce dei progressi sperimentali e teorici recenti;
- trattino con intento divulgativo argomenti relativi alla didattica generale ed alla didattica disciplinare;
- affrontino problemi relativi alla storia ed alla epistemologia della Chimica.
- illustrino varie esperienze didattiche e di lavoro, anche con il contributo attivo dei discenti;
- presentino proposte corrette ed efficaci su argomenti di difficile trattamento didattico;
- trattino innovazioni metodologiche, con attenzione particolare sia alle attività sperimentali, sia ai problemi di verifica e valutazione;

-che illustrino esperienze di attività scolastiche finalizzate all'insegnamento delle scienze, in particolare della chimica;

-che discutano collaborazioni ed interazioni fra università e scuola secondaria ai fini dell'insegnamento della chimica.

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

Invio dei materiali per la pubblicazione

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

Correzione delle bozze

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

Dettagli tecnici – Importante!

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

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

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

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

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

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

- Lavori pubblicati su riviste: Autori (preceduti dalle iniziali dei nomi), rivista (abbreviazioni internazionali in uso), anno, volume (in grassetto), pagina. Es.:

W. M. Jones, C. L. Ennis, *J. Am. Chem. Soc.*, 1969, **91**, 6391.

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

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

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

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

h) Figure. Devono essere fornite in forma informatica in formato adeguato (WORD, TIFF, JPEG o altro), numerate e munite di eventuale didascalia. Nel testo devono essere indicate le posizioni approssimative. Deve essere assicurata la leggibilità delle scritte, anche dopo l'eventuale riduzione.

i) Grafici e tabelle. Come per le figure.

j) In caso di difficoltà, soprattutto per figure, grafici e tabelle, la redazione può chiedere l'invio in forma cartacea.

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

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