



CLAUDIO DELLA VOLPE  
UNITN, SCI, ASPO-ITALIA  
CLAUDIO.DELLAVOLPE@UNITN.IT

## I CHIMICI E I DERVISCI

Come chimici siamo abituati a sentirci dire che la chimica fa male, non è bene, non è biologica; e a rispondere in modo più o meno gentile o a muso duro; tuttavia è chiaro che la Chimica, intesa più limitatamente e precisamente come chimica di sintesi di nuovi composti, “può” fare male; eccome, questo specie se usata male, fuori posto.

Vorrei oggi approfondire con voi questo tema; perché la chimica, intesa come i composti di sintesi, può fare “male”? Intendo qui “male” in senso molto, molto generale; non stiamo parlando di veleni o di etica ma di cambiare le cose del mondo naturale, alterarle in modo profondo e a volte inaspettato, non voluto; il male inteso come alterazione dell’andamento “normale” della biosfera; dunque non sto parlando (forse) di cose etiche. E la biosfera, ovviamente, non è necessariamente un posto idilliaco. Non è per capirci Gaia, il pianeta vivente di Asimov ma è un luogo dove si lotta per la vita, ma nel quadro di un “sistema” vivente.

Anzitutto è chiaro che non mi sto riferendo genericamente a ciò che è velenoso per noi; veleni ce ne sono sia naturali che sintetici; quelli naturali sono anche più potenti di quelli di sintesi, e oggi non vi parlerò di veleni nel senso comune. I veleni sono tali perché sono per così dire “sostanze fuori posto”, molecole che sono conservate in ambienti a loro proprii e che in quel contesto non fanno danni. Il veleno della vipera chiuso nella sua ghiandola è innocuo (per la vipera), ma diventa velenoso se immesso nel torrente circolatorio di un altro essere vivente. Dopo tutto anche l’acqua è innocua, anzi indispensabile; ma solo fuori dai polmoni. Nei polmoni e in sufficiente quantità *sorella acqua* diventa “velenosa”, mortale, ossia è male.

Ma, ripeto, non vi parlerò di veleni. Vi parlerò invece di molecole di sintesi ben progettate per il loro scopo, spesso utili, anzi utilissime, ma

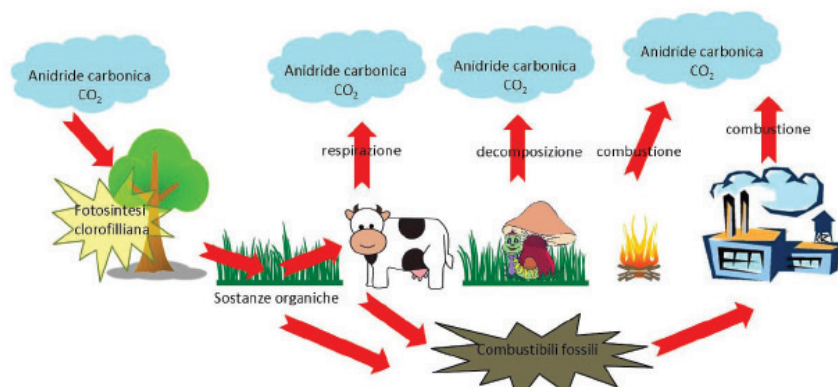
ciononostante almeno potenzialmente dannose. Molecole per così dire “fuori posto”.

Come ho scritto altrove la letteratura è stata spesso uno strumento sensibile che ha recepito le alterazioni dovute alla chimica.

“*Il mondo sta cambiando; lo sento nell’acqua, lo sento nella terra, e l’odore nell’aria*” è la frase di Galadriel, regina degli Elfi, che apre la versione cinematografica de “*Il Signore degli Anelli*”; in un gioco degli specchi nel libro di Tolkien si trova nella parte finale e la dice Fangorn, un albero maschio deambulante.

Il libro fu scritto fra la II guerra mondiale e la guerra di Corea (1940-1954), mentre la chimica, ed in generale la scienza applicata alla produzione, aveva un impatto profondissimo sulla vita dell’umanità. Il processo era iniziato alcuni decenni prima, ma è nel coinvolgimento bellico e nello sviluppo industriale postbellico che si realizza un vero salto di qualità. Arrivate a dimensioni enormi durante la fase bellica e drogate dalla crescita le varie aziende si inventano un modello sociale che possa sostenerne la nuova dimensione. Si afferma un modello produttivo “consumista”, con la diffusione dell’automobile, degli elettrodomestici e dell’elettronica di massa ma, ancor prima, con l’aumento della produzione agricola basata sull’uso intensivo di pesticidi e di concimi sintetici, lo sviluppo massivo della petrol-

### Il ciclo del carbonio





chimica, la sintesi di nuovi catalizzatori per nuovi rivoluzionari polimeri e i farmaci finalmente efficaci della chimica fine.

Quello di Tolkien viene a volte visto come un libro che denuncia il male, il nuovo male, costituito proprio dal nuovo mondo, rispetto alla tradizione (e per questo è diventato per un certo periodo il vessillo della estrema destra). Un po' come "Quel che resta del giorno" racconta il male, il cambiamento del potere dal vecchio impero britannico al nuovo impero americano.

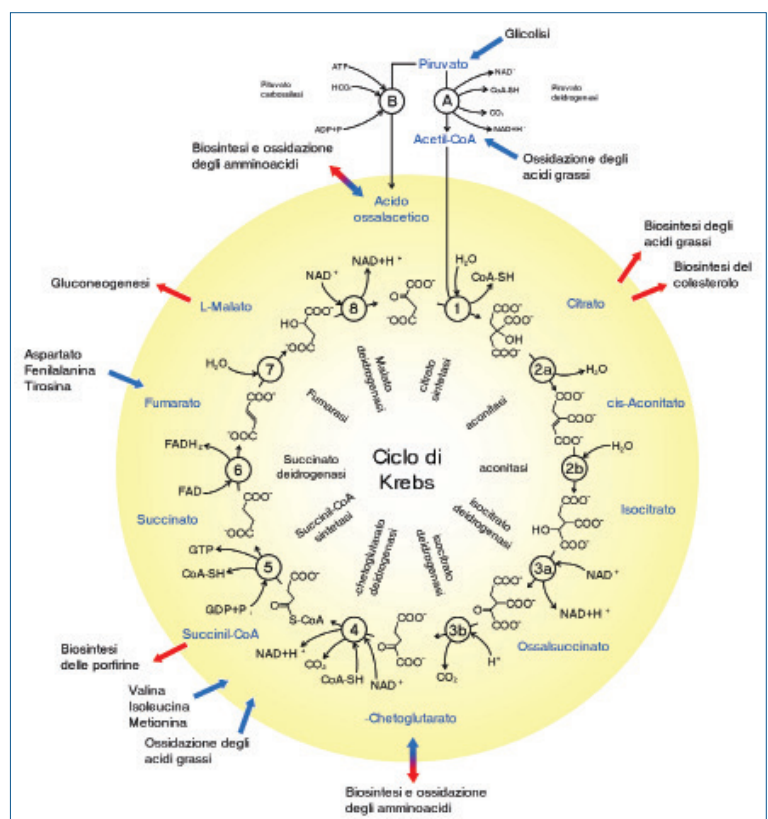
Ma torniamo al nostro problema: perché la chimica di sintesi può far male? Dove e perché sono "fuori posto" le sue molecole? La vita naturale è una complessa reazione autocatalitica che dipende dall'enorme flusso di entropia della biosfera terrestre. Non è dissimile dai vortici che un flusso di acqua intenso e veloce si lascia alle spalle; e come i vortici ruotano geometricamente dissipando per attrito energia cinetica, così la vita dissipa il flusso radiativo di energia libera proveniente dal sole per realizzare complessi cicli di reazioni di sintesi, che si riproducono.

Nei moti turbolenti l'energia viene trasmessa al fluido in strutture vorticosi paragonabili alla grandezza del corpo che si muove, ad esempio un ventilatore trasferirà energia

a "vortici" di grandezza paragonabile alle sue pale, o l'ala di un aereo produrrà dei "vortici" sulla scala della sua sezione; allo stesso modo le strutture dissipative della biosfera hanno una dimensione integrale che è la medesima della biosfera.

La vita è una reazione che ha come dominio tutta la biosfera, è un sistema di reazioni grande come tutta la biosfera; analogamente processi fisici della biosfera, come, chissà, il sistema di nubi che sovrasta l'oceano nella zona tropicale; potrebbe essere rappresentata da "morning glory", la nuvola tubolare lunga anche oltre 1.000 chilometri che si forma in alcune stagioni nel golfo di Carpentaria, oppure dall'onda di Kelvin che dà origine al fenomeno del "niño", o dai monsoni che influenzano tutta la biosfera ed i loro effetti si risentono anche sull'altra faccia del pianeta.

I "vortici" di grande scala produrranno vortici via via sempre più piccoli dando origine al fenomeno della "cascata di energia", ossia l'energia (in questo caso) cinetica introdotta alle scale più grandi non si trasformerà subito tutta in energia termica,



ma alimenterà l'energia di vortici sempre più piccoli (intervallo inerziale) con una parziale dissipazione. Al medesimo modo il ciclo del carbonio si dissipa in cicli sempre più piccoli, come le reazioni che avvengono in ogni cellula e che sono (fateci caso) anche esse cicli di reazioni, come il celeberrimo ciclo di Krebs (v. immagine pagina precedente): nella concezione che vi sto proponendo il ciclo di Krebs è un vortice "più piccolo".

Come scrisse nel suo libro *Weather Prediction by Numerical Process* (p. 66) il fisico Lewis Fry Richardson: *Big whirls have little whirls that feed on their velocity, and little whirls have lesser whirls and so on to viscosity.*

Questo è qualcosa che inizia a mettere insieme cose così diverse come il clima, il meteo e i frattali, la fisica, la chimica, la vita.

La termodinamica guarda sorniona.

Probabilmente l'idea teorica più vicina alla verità delle cose, per interpretare la vita è l'iperciclo, un concetto immaginato dal premio Nobel Manfred Eigen. L'idea iniziale di Eigen e di altri era che all'inizio della vita esistessero delle molecole autoreplicantesi; queste molecole, individuate poi nell'RNA, che potrebbero sintetizzarsi spontaneamente nell'ambiente primordiale e che sono certamente in grado di costituire anche delle strutture catalitiche per la propria stessa replicazione, i ribozimi, enzimi non proteici, costituiscono i cosiddetti *nudi replicanti*.

C'è un problema in questa replicazione, denominato paradosso di Eigen: se le molecole autoreplicantesi sono troppo lunghe allora il numero di errori possibili è troppo grande e l'autoreplicazione ne è impedita. L'autoreplicazione è un processo imperfetto e durante ogni evento replicativo c'è il rischio di incorporare errori creando delle nuove sequenze, ossia delle nuove specie di molecole. In assenza di un meccanismo che assicuri un'elevata fedeltà replicativa l'errore, che aumenta con la lunghezza della catena, porta alla catastrofe degli errori, cioè allo spegnimento della vita. Si calcola che la dimensione del genoma RNA sia pari all'inverso della velocità di replicazione per sito e per replicazione. Dunque un'elevata frequenza di errori pone dei limiti alla dimensione della molecola che si replica.

Per risolvere il problema della fedeltà replicativa Eigen propose che si formassero dei supporti proteici, ma d'altronde, anche in questo caso, per codificare le proteine occorrono delle sequenze più lunghe. Dunque la fedeltà ha un prezzo: per ottenere la fedeltà ci vogliono le proteine, non basta il ribozima, tuttavia per codificare le proteine ci vogliono sequenze più lunghe che introducono più errori. Eigen propose di risolvere questo paradosso introducendo l'iperciclo [M. Schuster, P. Eigen, *The Hypercycle: a principle of natural self-organization* (Reprint Ed.), Berlin (West) (u.a.), Springer, 1979, ISBN 9783540092933].

Il suggerimento di Eigen è che per superare il problema dell'errore occorrono più trasportatori di informazione, ciascuno dei quali immagazzini un piccolo pezzo di informazione e collegati fra di loro in modo che ognuno di essi controlli la concentrazione degli altri. In modo più preciso si tratta di cicli di reazioni autocatalitiche connessi fra di loro a formare cicli di retroazione positiva.

Dunque un iperciclo è una rete chiusa di reazioni cicliche fra entità autoreplicantesi connesse a loro volta da effetti di retroazione positiva.

Collegare l'autoreplicazione alla mutua catalisi produce effetti di crescita non lineare e rende il sistema resistente ad eventuali sviluppi "parassiti", ossia di un singolo ciclo, che però non aiutano la crescita generale.

In definitiva l'iperciclo non solo risolve il problema dell'errore ma dà stabilità al processo e lo rende resiliente.

Infine è da notare che ogni tanto qualche errore avviene comunque, ma che il numero è basso e consente, entro certi limiti, un'evoluzione del sistema verso i replicanti più efficienti. A certe condizioni un'evoluzione può avvenire, per esempio, in conseguenza di cambiamenti delle condizioni ambientali (<http://www.d.umn.edu/~pschoff/documents/OrgelRNAWorld.pdf>).

Ecco questo è il modello mentale (ovviamente i più curiosi si potranno guardare il sistema di equazioni differenziali) della vita e delle sue origini; non è stato ancora sperimentalmente verificato in modo integrale ma appare un modello abbastanza robusto e credibile.





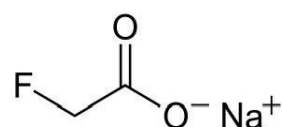


Vita intesa come questo processo, la vita, la parte del nostro corpo, la vite, l'oggetto che tiene insieme molta della nostra meccanica e la pianta della vite da cui traiamo il paradisiaco (ma se esagerate anche cancerogeno) nettare chiamato vino, sono tutte parole femminili e che contengono l'idea di qualcosa che ruota su se stessa. Fateci caso. Ruotare su se stessi, come i dervisci, i sacri danzatori che cercano con questo movimento di raggiungere la comprensione totale dell'universo. Più prosaicamente noi chimici modelliamo e analizziamo la rotazione, il ciclo reattivo che definisce la reazione meglio riuscita, ossia la vita, e dunque siamo una sorta di dervisci ruotanti laici.



Ovviamente non pretendiamo di raggiungere una conoscenza perfetta e, a differenza dei dervisci rotanti, riteniamo che il mondo evolva e noi e la nostra conoscenza evolvano con esso: la via della conoscenza è infinita come quella dell'evoluzione. Ma torniamo qui alla più semplice domanda iniziale. È chiaro che una sostanza di sintesi che non rientri nel processo iperciclico complessivo può avere effetti indesiderati; può interrompere il ciclo o distruggerlo, può vanificarne alcuni degli aspetti che abbiamo descritto. In natura per esempio certi legami chimici appaiono meno probabili e meno comuni; il legame carbonio fluoro (C-F) per esempio non sembra in grado di integrarsi bene almeno nella biosfera terrestre, ma è alla base di una parte importante della nostra chimica di sintesi. Pochi esseri viventi usano legami carbonio fluoro;

per esempio la nucleocidina, prodotta da una muffa, e la fluorotreonina, isolata dal mezzo di cultura del microorganismo *Streptomyces Cattleya*. Non sembrano esistere materiali perfluorurati naturali; la superidrofobicità naturale (come quella del loto o del comune cavolo cappuccio) deriva da cere normali che cristallizzano in geometrie particolari. Per completezza ricordiamo qui che esiste almeno una pianta superiore, *Dichapetalum cymosum* che produce spontaneamente come sostanza di difesa dagli erbivori il fluoroacetato:



Come agisce? Il composto in sé non è tossico ma nel corpo reagisce con il coenzima A, producendo il fluoroacetilcoenzima A. A sua volta questo reagisce con l'ossalacetato per formare fluorocitrato che è tossico perché è un substrato alternativo per l'aconitasi dalla quale non si separa più, un po' come il monossido di carbonio per l'emoglobina. La conseguenza è l'interruzione del ciclo di Krebs e della respirazione cellulare, ossia la morte. Il male, il contrario della vita.

Il chimico è un derviscio laico; la sua ricerca continua della verità sugli ipercicli della vita deve condurlo a sintesi che siano attente a non liberare in ambiente molecole che interagiscano in modo indesiderato con gli ipercicli essenziali, cosa che purtroppo è avvenuta varie volte, ma non deve più avvenire.

Da questo punto di vista REACH è lo strumento del derviscio laico.

Ci sono molti modi in cui molecole di sintesi possono interagire con gli ipercicli e interromperli: alcuni li abbiamo sperimentati. Il buco dell'ozono, per esempio, il DDT, i composti perfluorurati: tutti casi in cui molecole ben progettate per il loro scopo, ed anche ragionevolmente inerti, hanno mostrato piccole imperfezioni, difettucci, ma tuttavia così efficaci da interagire ed interrompere od alterare alcuni degli ipercicli esistenti.

Non deve più avvenire.

Voi cosa ne pensate?



Società Chimica Italiana

La *Società Chimica Italiana*, fondata nel 1909 ed eretta in Ente Morale con R.D. n. 480/1926, è un'associazione scientifica che annovera quasi quattromila iscritti. I Soci svolgono la loro attività nelle università e negli enti di ricerca, nelle scuole, nelle industrie, nei laboratori pubblici e privati di ricerca e controllo, nella libera professione. Essi sono uniti, oltre che dall'interesse per la scienza chimica, dalla volontà di contribuire alla crescita culturale ed economica della comunità nazionale, al miglioramento della qualità della vita dell'uomo e alla tutela dell'ambiente.

La *Società Chimica Italiana* ha lo scopo di promuovere lo studio ed il progresso della Chimica e delle sue applicazioni. Per raggiungere questi scopi, e con esclusione del fine di lucro, la *Società Chimica Italiana* promuove, anche mediante i suoi Organi Periferici (Sezioni, Divisioni, Gruppi Interdivisionali), pubblicazioni, studi, indagini, manifestazioni. Le Sezioni perseguono a livello regionale gli scopi della Società. Le Divisioni riuniscono Soci che seguono un comune indirizzo scientifico e di ricerca. I Gruppi Interdivisionali raggruppano i Soci interessati a specifiche tematiche interdisciplinari.

La Società organizza numerosi convegni, corsi, scuole e seminari sia a livello nazionale che internazionale. Per divulgare i principi della scienza chimica nella scuola secondaria superiore organizza annualmente i *Giochi della Chimica*, una competizione che consente ai giovani di mettere alla prova le proprie conoscenze in questo campo e che seleziona la squadra nazionale per le *Olimpiadi Internazionali della Chimica*.

Rilevante è l'attività editoriale con la pubblicazione, congiuntamente ad altre Società Chimiche Europee, di riviste scientifiche di alto livello internazionale. Organo ufficiale della Società è la rivista *La Chimica e l'Industria*.

### **Nuova iscrizione**

Per la prima iscrizione il Candidato Socio deve essere presentato, come da Regolamento, da due Soci che a loro volta devono essere in regola con l'iscrizione. I Soci Junior (nati nel 1987 o successivi) laureati con 110/110 e lode (Laurea magistrale e Magistrale a ciclo unico) hanno diritto all'iscrizione gratuita e possono aderire - senza quota addizionale - a due Gruppi Interdivisionali.

#### **Contatti**

##### **Sede Centrale**

Viale Liegi 48c - 00198 Roma (Italia)

Tel +39 06 8549691/8553968

Fax +39 06 8548734

Ufficio Soci Sig.ra Maria Carla Ricci

E-mail: [ufficiosoci@soc.chim.it](mailto:ufficiosoci@soc.chim.it)

Segreteria Generale Dott.ssa Barbara Spadoni

E-mail: [segreteria@soc.chim.it](mailto:segreteria@soc.chim.it)

Amministrazione Rag. Simone Fanfoni

E-mail: [simone.fanfoni@soc.chim.it](mailto:simone.fanfoni@soc.chim.it)

Congressi Sig.ra Manuela Mostacci

E-mail: [ufficiocongressi@soc.chim.it](mailto:ufficiocongressi@soc.chim.it)

#### **Supporto Utenti**

Tutte le segnalazioni relative a malfunzionamenti del sito vanno indirizzate a [webmaster@soc.chim.it](mailto:webmaster@soc.chim.it)

Se entro 24 ore la segnalazione non riceve risposta dal webmaster si prega di reindirizzare la segnalazione al coordinatore WEB [giorgio.cevasco@unige.it](mailto:giorgio.cevasco@unige.it)

#### **Redazione "La Chimica e l'Industria"**

**Organo ufficiale della Società Chimica Italiana**

Anna Simonini

P.le R. Morandi, 2 - 20121 Milano

Tel. +39 345 0478088

E-mail: [anna.simonini@soc.chim.it](mailto:anna.simonini@soc.chim.it)