



**Vincenzo Balzani**

## LA NATURA NON HA FRETTA, MA L'UMANITA' SI'

(Giacomo Ciamician)

Intervista

a

**Vincenzo Balzani**

di

**Andrea Latini\***, **Francesca De Porzi**<sup>o</sup>, **Michela Lisi**<sup>o</sup>,  
**Sofia Presta**<sup>o</sup>, **Simone Salvitti**<sup>o</sup>

Liceo Scientifico Statale "G. Marconi" Colferro (Roma)

andrea.latini@istruzione.it

\* Insegnante presso il Liceo Scientifico Statale

"G. Marconi" - Colferro (Roma)

<sup>o</sup>Alunni della classe IV D indirizzo P.N.I. del Liceo Scientifico Statale

"G. Marconi" - Colferro (Roma)

### **Riassunto**

*Nell'ambito delle attività del Piano Lauree Scientifiche, a cui la nostra Scuola ha aderito nell'anno scolastico 2010-2011, è nato l'interesse da parte di alcuni alunni di approfondire temi legati agli aspetti quotidiani della Chimica. L'attenzione è stata focalizzata su un argomento di grande attualità come quello dell'energia e, in modo particolare, sulle fonti rinnovabili, prima tra tutte quella solare. Ne abbiamo parlato con il prof. Vincenzo Balzani, chimico di fama mondiale, che ci ha concesso un'intervista sul tema della fotosintesi artificiale.*

### **Abstract**

*During the 2010-2011 academic year, a group of students completing required activities for their Science Degree, became interested in investigating issues related to the daily aspects of Chemistry. A special interest focused on today's interest in other sources of energy and especially renewable sources of energy, first of all solar energy. We talked to Prof. Vincenzo Balzani, an internationally renown chemist, who granted us an interview on the topic of artificial photosynthesis.*

### **Introduzione**

I combustibili fossili hanno rappresentato per tutto il XX secolo l'unica fonte di energia per alimentare tutte le attività dell'uomo. Oggi lo scenario è diverso: le riserve fossili sono in via di esaurimento, la richiesta di energia a livello mondiale cresce a ritmi esponenziali, l'uso delle fonti fossili sta producendo danni all'ambiente e alla salute dell'uomo. E' urgente quindi trovare alternative percorribili e sostenibili.

Il pianeta Terra riceve ogni giorno dal Sole una quantità enorme di energia che purtroppo non può essere impiegata come tale ma deve poter essere convertita in una forma utilizzabile. La fotosintesi artificiale si configura come un tentativo di convertire questa energia in un combustibile, l'idrogeno, che può essere facilmente immagazzinato, trasportato e utilizzato per fornire energia direttamente nei motori a scoppio o nelle celle a combustibile.

Di questo abbiamo parlato con il prof. Vincenzo Balzani che, come è noto, è uno dei massimi esperti a livello mondiale nel campo della Fotochimica e, in particolare, in quello della conversione dell'energia solare. Il prof. Balzani ci ha rilasciato gentilmente un'intervista che riportiamo integralmente qui di seguito.

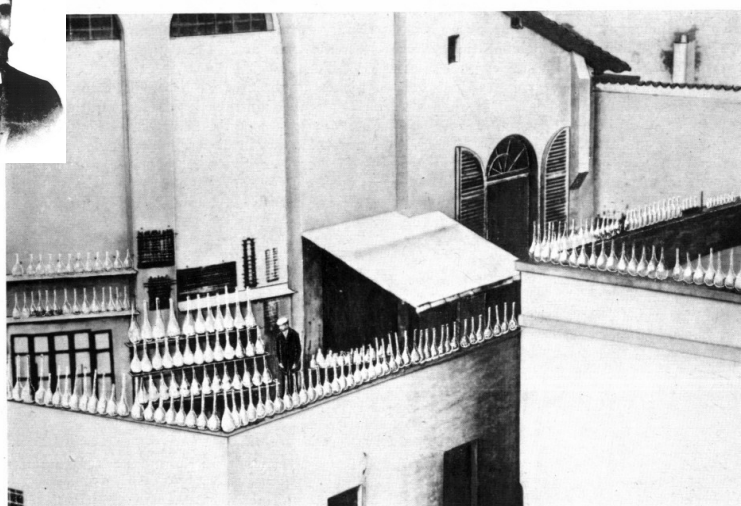
### **L'intervista**

**Il titolo del nostro lavoro è una frase del famoso chimico italiano Giacomo Ciamician: "La natura non ha fretta, ma l'umanità sì" [1]. Ce la commenta brevemente?**

Una frase molto impegnativa, ma anche molto bella. La natura si è evoluta in un tempo lunghissimo e ha trovato le soluzioni migliori senza che ci fosse nessuno che le mettesse fretta, si è evoluta da sola. Noi, purtroppo, dal tempo di Giacomo Ciamician, ma, specialmente negli ultimi anni, viviamo sempre con l'ansia di voler fare, con una pressione fortissima di dover far meglio. L'umanità purtroppo è fatta così e, secondo me, sta anche esagerando in molte cose, per esempio nella drammatica corsa ad avere sempre di più e sempre più in fretta. E' una corsa che ci porterà ad avere dei guai.

Infatti, l'odierna civiltà dell' "usa e getta" è pericolosissima: noi prendiamo qualsiasi risorsa, ne facciamo degli oggetti, li usiamo per poco tempo e poi li gettiamo via e, così facendo, trasformiamo molto rapidamente le risorse in rifiuti. Bisognerà che freniamo in questa frenesia di trasformare tutto e di consumare sempre di più. Siamo portati a pensare che più consumiamo più siamo felici ma, in realtà, non è affatto così ed è importante tener conto dei limiti dell'ambiente in cui viviamo, del pianeta su cui abitiamo.

### Giacomo Ciamician (1857-1922) il profeta dell'energia solare



CIAMICIAN passant eu revue les centaines de flacons exposés au soleil sur le toit de son laboratoire.

Fig. 1

#### *Può spiegarci i vari stadi del processo di fotosintesi artificiale?*

La fotosintesi artificiale, va chiarito subito, è un tentativo di usare la luce solare per produrre combustibili, quindi, non si vuole imitare la fotosintesi naturale dalla quale si ottengono cibi.

Per produrre un combustibile mediante la luce solare bisogna prima di tutto scegliere la sostanza dalla quale partire. Bisogna usare una sostanza comune molto diffusa, per questo si pensa all'acqua e alla possibilità di scinderla in  $H_2$  e  $O_2$ , perché l'  $H_2$ , una volta prodotto, è un combustibile molto efficiente che si può usare in due modi: in un motore a scoppio utilizzando la sua reazione con l'  $O_2$  in cui riforma acqua, oppure in una cella a combustibile dove ancora una volta l'  $H_2$  si ricombina con l'  $O_2$  e dà energia elettrica e acqua (Fig. 2).

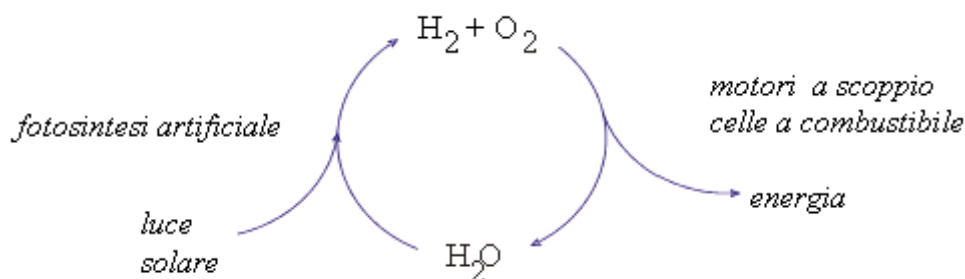


Fig. 2

Allora, è chiaro che è molto attraente questo tentativo di scindere l'acqua con la luce solare perché, in linea di principio, risolverebbe sia il problema dell'energia, producendo appunto un combustibile prezioso, sia il problema ambientale, perché usando il combustibile si produrrebbe solo acqua e non sostanze dannose per l'ambiente.

Sulla carta sembra un processo molto facile, in realtà, quando si cerca di metterlo in pratica sorgono molti problemi. Il primo è che l'acqua, di per sé, non assorbe la luce solare del visibile che è quella che può eccitare elettronicamente le molecole, quindi l'acqua non assorbendo luce solare non può utilizzarla. Allora è necessario aggiungere una sostanza, un sensibilizzatore, che assorba la luce solare e, eccitandosi, metta a disposizione l'energia necessaria al processo che vogliamo effettuare. Deve essere una sostanza in grado di svolgere la stessa funzione svolta dalla clorofilla nella fotosintesi naturale, che assorba la luce solare e poi faccia da intermediario, mettendo a disposizione l'energia assorbita e tornando allo stato iniziale. Quindi, c'è questo primo punto, raccogliere, cioè assorbire, la luce solare.

Il secondo punto è questo: poiché la luce è fatta di fotoni che arrivano uno alla volta, quando un fotone colpisce una molecola del sensibilizzatore la eccita e può trasferire un elettrone da questa molecola ad un'altra. Insomma un fotone causa la separazione di una carica positiva da una parte e di una carica negativa dall'altra. La luce funziona così con le molecole, un fotone muove un elettrone. Ora sorge un problema: se si vuole scindere l'acqua in modo che si formi ossigeno molecolare si devono avere due molecole di acqua in cui i due atomi di ossigeno abbandonino gli idrogeni e vadano a unirsi per formare la molecola  $O_2$ . Questo processo può avvenire solo se vengono utilizzate simultaneamente 4 cariche. Ma, ogni fotone che arriva produce solo una carica, quindi, è ovvio che per riuscire a compiere questo processo, dopo che i fotoni uno alla volta abbiano prodotto ciascuno una carica, ci sia un sistema che queste cariche le tiene lì, le conserva, finché non sono diventate in numero sufficiente da poter entrare assieme nel meccanismo della reazione con l'acqua. Quindi, mentre la luce produce la separazione di una carica positiva da una carica negativa, quando si va a scindere l'acqua in  $H_2$  e  $O_2$  si ha bisogno, dalla parte dell' $O_2$ , di quattro cariche positive che lavorano collettivamente e, dalla parte dell' $H_2$ , di due cariche negative che lavorano collettivamente. Mentre l'interazione di luce e materia è in rapporto 1:1, un fotone muove un elettrone, nella generazione dei prodotti che voglio ottenere dalla separazione dell'acqua sono coinvolte più cariche, per cui è necessario utilizzare catalizzatori, sostanze che raccolgono le cariche che arrivano una alla volta dal sistema fotochimico e poi le utilizzano collettivamente per il processo che serve, ed è una cosa piuttosto complicata.

Schematicamente, nel processo di fotosintesi artificiale ci sono tre punti fondamentali: il primo punto è assorbire la luce; secondo, la luce deve generare in modo efficiente una separazione di cariche, perciò servono prima delle molecole antenna per assorbire la luce e poi un centro di reazione che separi le cariche; queste cariche separate, terzo punto, vanno convogliate sui catalizzatori che le devono usare in modo collettivo.

Quindi, sono tre i passaggi principali della fotosintesi artificiale: assorbimento di luce, separazione delle cariche e reazione multielettronica sui catalizzatori [2] (Fig. 3).

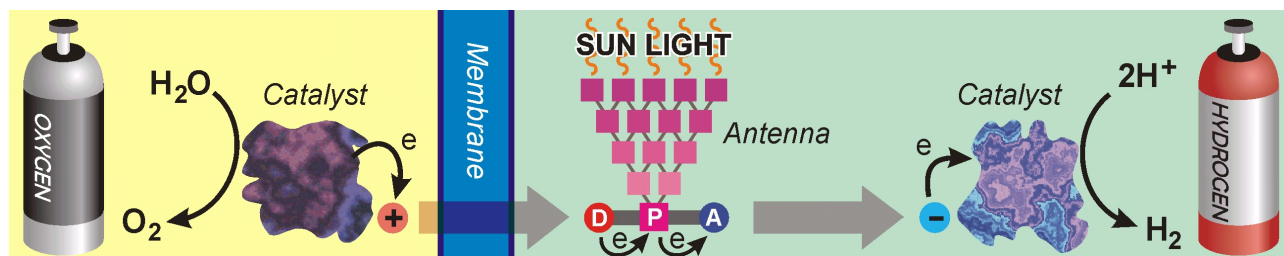


Fig.3

***A noi sembra che uno dei problema maggiori nella realizzazione di un sistema per la fotosintesi artificiale sia quello che riguarda proprio la scelta dei catalizzatori per lo sviluppo di ossigeno e idrogeno dall'acqua. Quali devono essere i loro requisiti? Su quali catalizzatori ci si sta orientando?***

Sono sostanze molto particolari, molto strane. A seconda del processo da effettuare, abbiamo bisogno di uno specifico catalizzatore. Per esempio, per lo svolgimento dell' $H_2$  va bene il platino, ma deve essere platino colloidale. Questo perché i catalizzatori sono sostanze che lavorano con la loro superficie, cioè, la superficie di un catalizzatore ha siti particolarmente attivi che sono in grado di legarsi temporaneamente con atomi e radicali. Quando si sviluppa  $H_2$  è necessario che un atomo di H vada da una molecola di acqua al catalizzatore che lo tiene lì legato temporaneamente finché non arrivi un altro atomo di H e il catalizzatore permetta ai due atomi legati alla sua superficie di combinarsi per dare la molecola. Insomma, il catalizzatore offre punti d'appoggio temporanei sulla sua superficie in attesa di formare i prodotti definitivi.

Per lo sviluppo dell' $O_2$  la cosa è molto più complicata perché studiando la fotosintesi naturale ci si è resi conto, pochi anni fa, che per poter svolgere  $O_2$  dall'acqua, bisogna che vengano coinvolti anche protoni per bilanciare le cariche. Insomma, queste reazioni non sono solo reazioni di trasferimenti elettronici ma sono reazioni di trasferimenti elettronici e protonici, troppo complicate da spiegare in questa sede. Fatto sta che per la separazione dell' $O_2$  i catalizzatori più in-

## Intervista a Vincenzo Balzani

indicati al momento sono ossidi di metalli preziosi tipo rodio e iridio, molto costosi, che devono avere, anche in questo caso, un grande sviluppo superficiale. Qui entrano in gioco le nanotecnologie che consentono di ottenere particelle molto piccole in modo da offrire una grande superficie alla reazione C'è stato, recentemente, qualche progresso in questo campo perché un ricercatore americano, di origini italiane, Daniel Nocera [3], ha dimostrato, anche se ci sono tuttora esperimenti in corso, che un metallo come il cobalto, che è molto meno prezioso, legato a gruppi fosfato, formerebbe un catalizzatore capace di svolgere ossigeno in modo reversibile.

Questi processi catalitici sono molto complicati perché devono esserci legami che si rompono e contemporaneamente legami che si formano e, tutto questo, rimanendo a bassi livelli energetici. La ricerca va avanti, ma questo problema della catalisi penso sia il punto cruciale per il momento.

***Anche l'integrazione dei catalizzatori con gli altri sistemi molecolari che riproducono i singoli stadi della fotosintesi artificiale e cioè la cattura della luce, il trasferimento dell'energia al centro di reazione e la conseguente separazione di carica, ci è sembrata un'altra difficoltà da superare. E' così?***

È così perché il sistema è complicato. Bisogna mettere insieme tre pezzi che devono compiere funzioni differenti le quali devono svolgersi una dopo l'altra e l'una alimenta quella che viene dopo. L'antenna, l'insieme delle molecole che assorbono l'energia solare, deve assorbire la luce e, poi, trasferire tutta l'energia assorbita in un punto preciso dove deve essere collocato il centro di reazione che usa l'energia per separare le due cariche. Questi due componenti vanno legati fra di loro, la natura ce l'ha fatta benissimo in un modo complicatissimo che non possiamo imitare.

Noi, in laboratorio, cerchiamo prima di costruire antenne con la sintesi chimica unendo fra loro molecole separate, poi, una volta ottenuta, l'antenna va legata chimicamente al centro di reazione, il quale poi a sua volta va collegato ai catalizzatori. Ma, non si è ancora riusciti ad ottenere in modo del tutto soddisfacente, e abbastanza economico, nessuna delle tre parti e, poi, queste parti, una volta ultimate e collaudate separatamente, vanno unite in modo che poi si "conoscano", cioè una trasferisca all'altra le informazioni che ha ottenuto, cioè la capacità di convertire energia. Eh, sono cose complicate...

***Dopo aver risolto tutte le difficoltà a livello molecolare o, più precisamente, supramolecolare, come si passa alla realizzazione di un sistema macroscopico che produca idrogeno?***

Se effettivamente si riuscisse a mettere insieme i tre componenti essenziali (antenna, centro di reazione e catalizzatore) e, se fossimo in grado di produrre tante di queste unità complesse in soluzione acquosa, dovrebbero funzionare, con l'avvertenza però che se si irradia una soluzione acquosa che contiene uno di questi sistemi si produrrebbero simultaneamente  $H_2$  e  $O_2$  mescolati tra di loro. La cosa è pericolosa perché  $H_2$  e  $O_2$ , come è noto, reagiscono tra di loro. Allora, è necessario che le unità catalitiche che da una parte producono  $O_2$  e dall'altra  $H_2$ , vengano separate da una membrana in modo tale che i due processi avvengano da parti opposte, così da raccogliere i due gas separatamente. Ma, sembra che questa non sia una difficoltà insormontabile perché la ricerca sulle membrane è in grande progresso, si costruiscono membrane di tutti i tipi. In ogni caso non è che possiamo sperare che la fotosintesi artificiale sia fattibile entro pochi anni, ci vorrà ancora molto tempo.

***Tra quanti anni pensa che potremo finalmente ricavare energia dall'idrogeno prodotto con la fotosintesi artificiale?***

Spero presto. Noi tutti speravamo presto quando abbiamo cominciato nel 1975, ma è un presto che è diventato tardi. In ogni caso, però, noi siamo capaci già di produrre  $H_2$  attraverso la luce solare con i pannelli fotovoltaici, producendo energia elettrica con la quale fare l'elettrolisi dell'acqua. Dal punto di vista industriale l' $H_2$  si produce già con questo processo, attraverso la conversione di energia solare in energia elettrica. Considerate che un pannello fotovoltaico non c'è in natura! C'è la fotosintesi naturale che ha un'efficienza bassissima, meno dell'1%, mentre i pannelli fotovoltaici oggi hanno un'efficienza del 14-15-16%. Quindi, l'uomo è stato molto bravo a fare questi pannelli i quali, sia pure passando attraverso l'energia elettrica, sono in grado di produrre un combustibile.

La fotosintesi artificiale, se vorrà affermarsi, quindi, dovrà essere economicamente competitiva con la generazione di  $H_2$  attraverso pannelli fotovoltaici che funzionano già bene. È vero che c'è un passaggio in più, poiché questi pannelli prima trasformano l'energia solare in energia elettrica e, poi, questa in energia chimica attraverso la produzione di  $H_2$ ; però, c'è anche il fatto che, con la fotosintesi artificiale, ora siamo molto indietro, non sappiamo che rendimenti potrà avere, non sappiamo per esempio se le sostanze che usiamo per fare antenne e catalizzatori funzioneranno per 20 o 30 anni, come invece funziona un pannello fotovoltaico.

Quindi, io direi senza aspettare miracoli, che potrebbero anche avvenire, intanto cominciamo a utilizzare l'energia solare come siamo già capaci di fare, con i pannelli fotovoltaici che la ricerca scientifica migliorerà sempre di più.

***In che modo potrebbe risultare migliore l'utilizzo della fotosintesi artificiale piuttosto che dei pannelli solari?***

Semplicemente perché c'è un passaggio in meno, cioè si converte direttamente l'energia solare in energia chimica, producendo idrogeno. Però, praticamente ci sono moltissime incognite: per esempio le antenne artificiali sono fatte di

sostanze organiche simili alla clorofilla che c'è in natura; ma, in natura, ogni volta che una molecola di clorofilla si degrada, ne viene prodotta una nuova. Bisogna tener conto che quando la luce interagisce con la materia, in particolare con le molecole antenna, può darsi che in piccola percentuale esse si decompongano; in tal caso dovrebbero essere sostituite e questo costa.

Io direi di non farsi troppe illusioni sulla fotosintesi artificiale che anche a me piace tanto e che concettualmente è molto valida, però, non si può nascondere che ci sono molte incognite, soprattutto sul piano economico, rispetto ad altri sistemi quali ad esempio la produzione di idrogeno con i pannelli fotovoltaici di cui abbiamo parlato prima.

### Conclusioni

Siamo convinti che la principale sfida scientifica e tecnologica dei prossimi anni sarà quella di realizzare sistemi per immagazzinare ed utilizzare l'enorme quantità di energia che ogni giorno proviene dal Sole. Oggi siamo già in grado di produrre combustibile dal Sole, ad esempio idrogeno, utilizzando i pannelli fotovoltaici. Il processo di fotosintesi artificiale per la produzione di idrogeno, concettualmente molto valido, potrà affermarsi solo se i chimici, come speriamo, riusciranno a renderlo competitivo, soprattutto sul piano economico, rispetto agli altri sistemi.

Ci piace concludere questo lavoro con le parole di Giacomo Ciamician pronunciate quasi cento anni fa in occasione dell'*VIII International Congress of Pure and Applied Chemistry* tenutosi a New York nel 1912: "...*life and civilization will continue as long as the sun shines!*".

### Bibliografia

- [1] G. Ciamician, *Science*, 1912, **36**, 385.
- [2] V. Balzani, A. Credi, M. Venturi, *ChemSusChem*, 2008, **1**, 26.
- [3] A.J. Esswein, Y. Surendranath, S.Y. Reece, D.G. Nocera, *Energy Environ. Sci.*, 2011, **4**, 499.  
Y. Surendranath, M.W. Kanan, D.G. Nocera, *J. Am. Chem. Soc.*, 2010, **132** (46), 16501.  
D.A. Lutterman, Y. Surendranath, D.G. Nocera, *J. Am. Chem. Soc.*, 2009, **131** (11), 3838.  
M.W. Kanan, D.G. Nocera, *Science*, 2008, **321**, 1072.