

Liberato Cardellini

✉ l.cardellini@univpm.it

Celebrando la vita di chimici inorganici: un'intervista a Vincenzo Balzani



Vincenzo Balzani.

Riassunto

Questa intervista descrive alcuni aspetti della storia e della vita scientifica di Vincenzo Balzani, dallo studio delle reazioni fotochimiche dei composti di coordinazione, ai processi di trasferimento degli elettroni, alle macchine molecolari. Vincenzo argomenta circa i valori sociali dell'insegnamento e della ricerca e della necessità di far comprendere ai cittadini di ogni età, bambini o adulti che siano, perché la chimica è così importante e utile. Discute anche della libertà di ricerca, dei problemi etici e delle responsabilità degli scienziati.

Abstract

This interview gives a glimpse on the story of Vincenzo Balzani's scientific life. From the study of photochemical reactions of coordination compounds, to electron transfer processes, to molecular machines. He talks about the social values of teaching and research work and the need to tell children and citizens why chemistry is so important and useful. He also discusses research freedom, ethical problems, and the responsibility of scientists.

Il 4 dicembre 2006, amici, colleghi e collaboratori dall'Italia e dall'estero, si sono riuniti, presso il Dipartimento di Chimica «Giacomo Ciamician» dell'Università di Bologna per festeggiare il settantesimo compleanno di Vincenzo Balzani e onorarlo come scienziato, educatore e uomo. Ignaro di questa celebrazione, rientrando dalle lezioni della mattina, trovò un folto gruppo che lo aspettava nel suo ufficio, in silenzio, che al suo ingresso ha fatto esplodere un lungo applauso (Fig. 1).

Laureato in Chimica *con lode*, nel 1960, presso l'Università di Bologna, con una tesi relativa alla fotochimica di sali complessi in soluzione. Dall'inizio degli anni '60 ha studiato in modo sistematico il comportamento fotofisico e fotochimico di diverse famiglie di composti di coordinazione. Negli anni '70 ha affrontato il problema della conversione dell'energia solare attraverso la scissione dell'acqua fotosensibilizzata.



Fig. 1. Il professore Jean-Marie Lehn che scrive la parola «Lucifero» (portatore di luce) sulla lavagna in occasione del compleanno di Vincenzo Balzani.

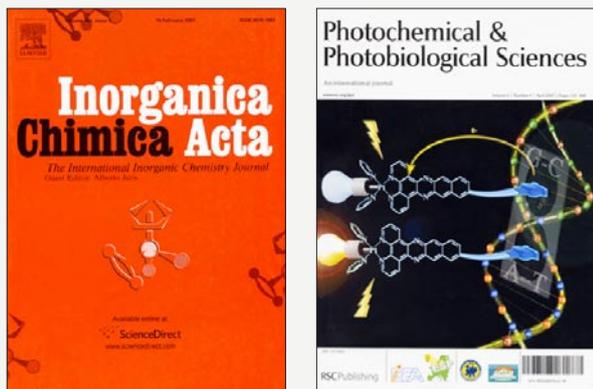


Fig. 2. Riviste di prestigio hanno dedicato un numero a Vincenzo Balzani in occasione del suo settantesimo compleanno.

Nel 1975 ha dimostrato, per la prima volta, le proprietà ossidanti dello stato eccitato luminescente del $[\text{Ru}(\text{bpy})_3]^{2+}$, un complesso estremamente importante, ampiamente utilizzato da allora in molti processi fotochimici, chemiluminescenti ed elettrochemiluminescenti. Negli anni '80 ha studiato il comportamento fotochimico e fotofisico dei complessi di Ru(II)-polipiridina, mostrando che le proprietà dello stato fondamentale ed eccitato di una tale classe di composti può essere controllato da un'opportuna scelta di ligandi. Ha inoltre investigato i complessi ciclometallati Pt(II), Pt(IV), Rh(III) e Pd(II), che sono attualmente impiegati per lo sviluppo di diodi che emettono luce. Dal 1983 ha iniziato a studiare il meccanismo dell'energia bimolecolare e i processi con trasferimento elettronico rilevante per gli stati eccitati dei composti di coordinazione.

Un'intensa collaborazione con Jean-Marie Lehn (Università di Strasburgo, Francia) sui complessi luminescenti di ioni lantanidi ha fatto nascere l'idea di un sistema di antenne artificiali. Nel 1984 ha introdotto il concetto di chimica supramolecolare nel campo dei composti di coordinazione mostrando la possibilità di controllare le proprietà fotochimiche e fotofisiche tramite un'architettura molecolare intelligente. Negli ultimi 15 anni Vincenzo si è dedicato alla progettazione, realizzazione e caratterizzazione di «dispositivi e macchine» lavorando a livello molecolare, in collaborazione con S. Campagna, F. Pina, F. Vögtle e, soprattutto, J. F. Stoddart.

Assemblando componenti molecolari e applicando i concetti derivati dai dispositivi macroscopici è stato in grado di costruire sistemi supramolecolari che svolgono funzioni specifiche in seguito alla stimolazione attraverso luce o altri input energetici esterni. L'attività di Balzani in chimica è documentata da oltre 500 pubblicazioni e il suo lavoro è stato riconosciuto con molti premi, in particolare la Medaglia d'Oro S. Cannizzaro della Società Chimica Italiana (Fig. 3), il Dottorato Honoris Causa dell'Università di Friburgo (Svizzera), la Cattedra Franqui dell'Università di Lovanio (Belgio), il Premio Europeo Italgas per la Ricerca e l'Innovazione, la Medaglia Porter per la Fotochimica, il Prix Franco-Italico della Società Chimica Francese, la Ziegler-Natta Lecture della Società Chimica Tedesca (Germania) e molte altre famose cattedre.

È stato anche nominato Grande Ufficiale dell'Ordine al Merito della Repubblica Italiana (Fig. 4). Vincenzo Balzani è un insegnante brillante ed entusiasta. È in grado di spiegare i concetti difficili in modo sem-



Fig. 3. Vincenzo Balzani riceve una medaglia dal Presidente della Società Chimica Italiana, il Professor Franco De Angelis, al Congresso Generale della Società, Firenze, settembre 2006.

Fig. 4. Vincenzo Balzani con il presidente della Repubblica Italiana, Carlo Azeglio Ciampi e la moglie del presidente, Franca Pilla, al Quirinale, nel 2001.



plice e ha una particolare abilità nello spiegare i concetti scientifici ad un pubblico privo di formazione scientifica. S'interessa molto delle questioni sociali ed etiche legate alla scienza e le sue applicazioni, e questo sarà uno degli argomenti dell'intervista.

Cominciamo dall'inizio: potresti parlarci un po' della tua infanzia?

Sono nato nel 1936 a Forlimpopoli (il Romano *Forum Popili*), una cittadina a circa 100 km a est di Bologna, nel centro della regione chiamata Romagna. Sono stato il secondo di tre bambini. Mio nonno e mio padre avevano una piccola azienda per la produzione del vino. La nostra casa era molto grande e, durante l'inverno, solo il soggiorno era riscaldato. Mi ricordo che durante le notti più fredde l'acqua del bicchiere sul comodino diventava gelata. È stato un momento difficile, che è diventato ancora più difficile pochi anni dopo a causa della Seconda guerra mondiale. Nel 1944 il fronte della guerra che attraversava l'Italia si è fermato per diversi mesi sulla «Linea Gotica», non lontano dalla nostra città e siamo stati costretti a trascorrere molti giorni e notti, insieme a diverse famiglie del vicinato, in un rifugio costruito sotto il seminterrato della nostra abitazione.

Ti è piaciuto andare a scuola? Quali sono le materie che apprezzavi di più?

Mi piaceva andare a scuola perché mi piaceva stare con altri bambini. Mi piaceva leggere e scrivere, ma ancora di più mi piaceva giocare a calcio e andare in bicicletta su e giù per una collina nelle vicinanze la nostra città. Alla scuola media ho scoperto che risolvere i problemi matematici erano abbastanza

gratificante. Pertanto, come passo successivo, decisi di andare al Liceo Scientifico nella vicina città di Forlì, a circa 8 km da Forlimpopoli. Mio fratello maggiore stava già frequentando la stessa scuola. Per alcuni anni facemmo i pendolari con l'autobus, perdendo molto tempo. Poi mio padre ci ha comprato una motocicletta che ci ha semplificato la vita.

Perché hai deciso di seguire una carriera scientifica?

Al Liceo Scientifico ero molto bravo in fisica e in matematica, e mi piaceva anche la filosofia e la storia. La mia prima aspirazione fu quella di diventare un ingegnere meccanico. In quarta liceo ho iniziato a studiare chimica e sono stato fortunato a trovare un insegnante, il professor Fiorenzo Fiorentini, che è stato in grado di organizzare un laboratorio chimico, un'iniziativa abbastanza insolita in questo periodo. Sono rimasto affascinato dalle reazioni chimiche che si verificano in laboratorio e ancora di più dalla possibilità di spiegare tali cambiamenti con i simboli e le regole stechiometriche. Pertanto, cambiai idea e decisi invece di scegliere chimica al posto d'ingegneria all'università. È stata davvero una buona scelta, perché la chimica non è solo utile e importante, ma credo, anche uno dei rami più belli e creativi della scienza.

Quali erano i tuoi interessi al di fuori della scuola?

Principalmente lo sport. Sono stato fortunato ad avere un buon insegnante di ginnastica fin dall'inizio liceo. A quel tempo c'era anche un tentativo del governo d'incoraggiare gli studenti a praticare l'atletica leggera. C'erano gare all'interno di ogni scuola



Fig. 5. Vincenzo Balzani nel 1953 durante una competizione a tre salti.

e, per i vincitori, a livello provinciale. Mi piaceva molto correre e saltare e così ho partecipato a diverse competizioni. Ero bravo nel salto in lungo e quindi sono entrato nella società di atletica leggera di Forlì. Iniziai a partecipare a concorsi a livello regionale e nazionale. L'allenatore mi chiese di provare con il salto triplo e abbiamo scoperto che ero particolarmente bravo in quella specialità. Era, tuttavia, un duro esercizio e presto sono incominciati i problemi con la schiena. Allora smisi con l'atletica leggera quando avevo circa 18 anni (Fig. 5).

Come la maggior parte dei giovani della mia regione, ho amato molto le moto e le auto veloci (ricordo che Ferrari, Maserati, Ducati, e Lamborghini venivano tutte costruite in Emilia-Romagna). Per alcuni anni ho partecipato a raduni regionali con una piccola auto veloce.

Come hai conosciuto Carla, la tua futura moglie?

Al liceo scientifico. In realtà eravamo nella stessa classe sin dall'inizio. Alla fine del primo anno di

scuola, quando avevamo 15 anni, ci siamo innamorati. Ora abbiamo quattro figlie, due figli e nove nipoti.

Sei famoso per il tuo lavoro sulla fotochimica. Come sei arrivato ad interessarti a questo argomento?

È stato per caso. Quando ero studente, durante il secondo anno del corso di Chimica all'Università di Bologna, iniziai a frequentare il laboratorio di ricerca del professor Vittorio Carassiti. In quel periodo, uno dei colleghi di Carassiti stava provando per ottenere gli spettri Raman dei complessi del cianuro con il Molibdeno e il Tungsteno. Tuttavia, non ci riuscì, perché quei complessi subivano una decomposizione quando venivano irradiati con la lampada di eccitazione Raman. Quella foto-decomposizione intrigava Carassiti, che stava lavorando ai processi di sostituzione (termica) del ligando di complessi metallici. Pertanto, decise d'iniziare un'indagine sistematica sulle reazioni fotochimiche dei composti di coordinazione, un campo completamente inesplorato a quel tempo, e mi chiese di fare i primi esperimenti. Dovrei aggiungere che nel nostro dipartimento c'era un'antica tradizione di fotochimica organica, risalente all'inizio del secolo scorso, quando Giacomo Ciamician, uno dei primi pionieri, si esibì in molti esperimenti sul tetto dell'edificio usando il sole come sorgente luminosa (Fig. 6).

Perché Giacomo Ciamician è ancora oggi famoso?

Giacomo Ciamician fu docente di Chimica all'Università di Bologna dal 1889 al 1922. Ispirato dalla ca-

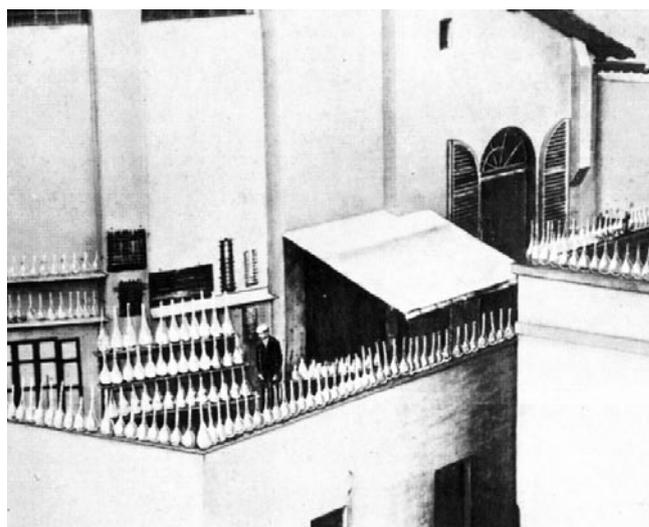


Fig. 6. Il professor Giacomo Ciamician, che osserva i contenitori sotto l'irradiazione solare sul tetto del suo laboratorio all'Università di Bologna, Italia, 1910.



Fig. 7. Il professor Vincenzo Balzani con i due padri della fotochimica inorganica: Vittorio Carassiti (al centro) e Arthur W. Adamson. Foto scattata nel 1992, in occasione di un Simposio internazionale organizzato a Ferrara (Italia) in onore di A. W. Adamson.

pacità delle piante di sfruttare l'energia solare, fu il primo scienziato ad indagare le reazioni fotochimiche in modo sistematico. In una famosa conferenza presentata all'VIII Congresso Internazionale di Chimica Applicata, che ha avuto luogo a New York nel 1912 [1], suggerì di sostituire «l'energia solare fossile» (cioè il carbone) con l'energia che la Terra riceve dal sole ogni giorno. In particolare, ha previsto la produzione di carburanti mediante reazioni fotochimiche artificiali (fotosintesi artificiale), che è ancora uno degli obiettivi più importanti della ricerca attuale nel campo della chimica. La possibilità di ottenere carburanti (in particolare di idrogeno) dall'energia solare risolverebbe davvero due grandi problemi della società attuale: energia e ambiente. La parte finale del discorso di Ciamician è meravigliosa e vale la pena riprenderla quasi interamente:

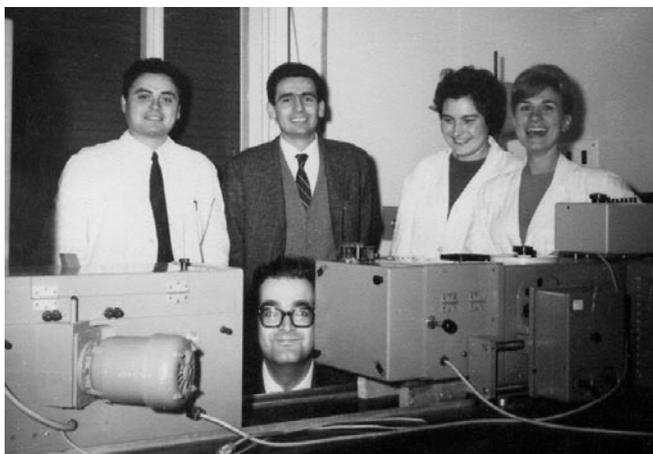


Fig. 8. Vincenzo Balzani e i suoi primi collaboratori, molto entusiasti del nuovo spettrofotometro (1970).

Dove la vegetazione è ricca, la fotochimica può essere lasciata alle piante. [...] Sulle terre aride sbocceranno colonie industriali senza fumo e senza ciminiere; foreste di tubi di vetro e edifici di vetro sorgeranno ovunque; all'interno di questi avranno luogo i processi fotochimici che finora sono stati il segreto custodito delle piante, ma che verrà perfezionato dall'industria umana che saprà come far portare frutti ancora più abbondanti della natura, perché la natura non va di fretta mentre l'umanità sì. E se in un lontano futuro le riserve di carbone si esauriranno completamente, la civiltà non sarà bloccata da questo, perché la vita e la civiltà continueranno finché il sole splenderà! Se la nostra civiltà nera e nervosa, basata sul carbone, sarà seguita da una più quieta civiltà basata sull'utilizzo dell'energia solare, ciò non sarà dannoso per il progresso e per la felicità umana.

Quali sono i tuoi risultati più interessanti nel campo della fotochimica dei composti di coordinazione?

Per diversi anni, prima con il professor Carassiti e poi più avanti con il mio gruppo, ho svolto studi sull'interazione della luce con varie famiglie di composti di coordinazione (Figg. 7-9). Utilizzando lampade visibili e UV con filtri d'interferenza adeguati e attinometri chimici, abbiamo misurato le rese quantiche delle fotoreazioni a diverse lunghezze d'onda d'eccitazione per poter comprendere le relazioni tra la natura della banda irradiata e la fotoreazione osservata. Tra i vari risultati, abbiamo dimostrato che l'abbastanza diversa foto-reattività e fotoluminescenza dei complessi Co(III) e Cr(III) potrebbe essere facilmente spiegata sulla base delle differenti configurazioni elettroniche e proprietà redox dei due ioni metallici. Dopo 10 anni di intensi studi, il pro-



Fig. 9. Il gruppo di Vincenzo Balzani sul tetto del dipartimento «Ciamician» nel 1973. Foto di V.B.

fessor Carassiti ed io abbiamo scritto la monografia *Photochemistry of coordination compounds* [2] che è stata una fonte d'ispirazione per molti giovani fotochimici negli ultimi 35 anni.

E i tuoi studi sulle reazioni di trasferimento elettronico?

Fu la fotochimica a portarmi nel campo dei processi a trasferimento elettronico. All'inizio degli anni '70 è diventato evidente che gli stati eccitati elettronicamente delle molecole sono contemporaneamente migliori ossidanti che riducenti rispetto allo stato fondamentale corrispondente. A quel tempo usavamo ampiamente $[\text{Ru}(\text{bpy})_3]^{2+}$ come un fotosensibilizzatore a trasferimento di energia. Abbiamo deciso di studiare le proprietà redox dello stato eccitato luminescente di questo complesso e abbiamo dimostrato che era certamente in grado di poter giocare il ruolo di un agente riducente [3]. Negli anni successivi abbiamo usato la chimica fotoredox di $[\text{Ru}(\text{bpy})_3]^{2+}$ non solo per convertire la luce in energia chimica (reazioni endoergoniche), ma anche l'energia chimica in luce (processi chemiluminescenti ed elettro-chemiluminescenti). Un brillante spin-off di quegli studi fu la scoperta di una «luciolina artificiale» ottenuta accoppiando le proprietà chemiluminescenti di $[\text{Ru}(\text{bpy})_3]^{2+}$ con la reazione oscillante di Belousov-Zhabotinski [4].

Nel periodo 1980-1988, in collaborazione con il gruppo di A. von Zelewsky (Università di Friburgo, CH), abbiamo studiato il comportamento fotochimico e luminescente di più di un centinaio di complessi $\text{Ru}(\text{II})$ -poli-piridina, dimostrando che è possibile mettere a punto le proprietà dello stato fondamentale ed eccitato attraverso una scelta adeguata dei ligandi [5]; questo documento ha ricevuto finora più di 2000 citazioni in letteratura. Questo lavoro ha aperto la strada ad un ampio uso di complessi metallici di poli-piridina in una varietà di processi di trasferimento di elettroni foto-indotti d'interesse fondamentale e pratico, ad esempio, nella sensibilizzazione con colorante delle celle fotoelettrochimiche. Il mio interesse per le reazioni con trasferimento di elettroni non finì lì. Nel 2001, curai un manuale di cinque volumi sul trasferimento di elettroni in chimica [6] con contributi da decine di esperti nei vari argomenti di questo campo.

Cosa sono le macchine molecolari e come è possibile costruirle?

A metà degli anni '80 ci siamo resi conto che la chimica supramolecolare stava aprendo la strada alla progettazione e alla realizzazione di dispositivi e macchine a livello molecolare. Ho illustrato questo

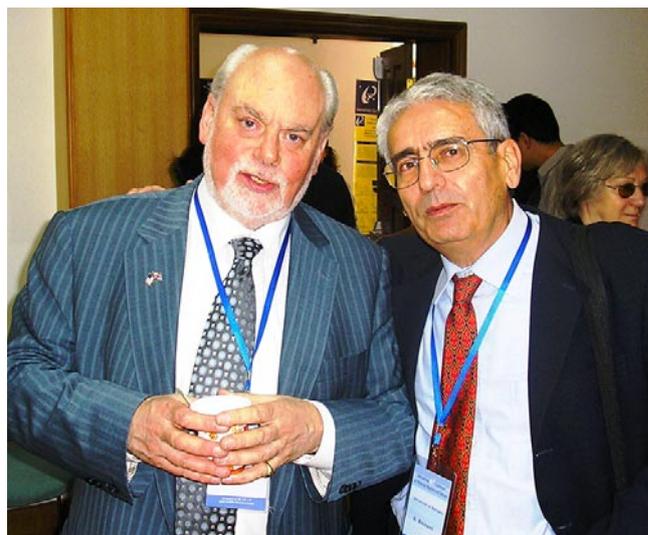


Fig. 10. Vincenzo Balzani con il professor J. Fraser Stoddart alla «International Conference on Molecular Machines and Sensors (ICMMS'07)», Shanghai, maggio 2007, in occasione del 65° compleanno del professor Stoddart.

argomento per la prima volta al NATO Meeting (Capri, Italia, 1987) [7] e qualche anno dopo nella monografia *Supramolecular photochemistry* scritta con F. Scandola [8]. La nostra idea era che i concetti macroscopici di un dispositivo o una macchina possono essere estesi a livello molecolare. Un dispositivo o macchina molecolare è un assieme di un numero discreto di molecole progettate per realizzare una funzione specifica: ciascun componente molecolare compie un'azione semplice, mentre l'intera struttura supramolecolare svolge una funzione più complessa, che risulta dalla cooperazione delle varie componenti molecolari. Ovviamente le idee non sono sufficienti nella chimica e siamo stati fortunati ad iniziare delle collaborazioni durature e redditizie con alcuni gruppi di chimici che si occupavano di sintesi, in particolare quelli di Fraser Stoddart (a quel tempo a Birmingham, ora UCLA) e Fritz Vögtle (Università di Bonn, Germania).

Dispositivi e macchine molecolari, come quelli del mondo macroscopico, hanno bisogno di energia per operare. Il modo più ovvio per fornire energia ad una macchina molecolare è, a prima vista, attraverso una reazione chimica esoergonica. Lavorare attraverso input di energia chimica, tuttavia, implica un'aggiunta di reagenti freschi («carburante») in qualsiasi fase del ciclo di lavoro, con la concomitante formazione di prodotti di scarto. La nostra formazione fotochimica ci ha suggerito che un'alternativa, e molto più conveniente, fonte di energia per realizzare macchine molecolari funzionanti, è la luce. Seguendo questa idea, negli ul-



Fig. 11. Vincenzo Balzani, Alberto Credi e Margherita Venturi, autori del libro *Molecular devices and machines*, mostrano le edizioni inglese e cinese del libro.

timi 15 anni abbiamo studiato una moltitudine di dispositivi e macchine molecolari artificiali alimentate dalla luce. Un ulteriore vantaggio offerto dalla luce è che, oltre a fornire energia, può anche essere usata per “leggere” lo stato del sistema e quindi per controllare e monitorare le sue attività. Questi e molti altri concetti sono stati discussi in una monografia [9] che è stata tradotta in cinese e giapponese (Fig. 11).

Due esempi particolarmente interessanti di macchine molecolari, studiate in collaborazione con il gruppo del professor Fraser Stoddart, sono illustrati di seguito. Il dispositivo molecolare a due componenti mostrato in Figura 12 si comporta come un ascensore su nanoscala [10]. Questo composto in-

terbloccato, che è di circa 2,5 nm di altezza e ha un diametro di circa 3,5 nm, è costituito da un componente treppiede contenente due diverse tacche – un centro di ammonio e un’unità di 4,4-bipiridinio – a differenti livelli in ciascuna delle sue tre gambe. Questi ultimi sono interbloccati da un host tritopico, che svolge il ruolo di una piattaforma che può fermarsi a due diversi livelli. Le tre gambe del treppiede terminano con dei piedi ingombranti che impediscono alla piattaforma di scappare. Inizialmente, la piattaforma risiede esclusivamente al livello ‘superiore’, ovvero con i tre anelli che circondano i centri di ammonio. Questa preferenza deriva da un forte legame idrogeno $N^+-H \cdot O$ e dalle deboli forze stabilizzanti di accatastamento $\pi-\pi$ tra i nuclei aromatici della piattaforma e le componenti del treppiede.

All’aggiunta di una base forte non nucleofila di fosfaze ad una soluzione di acetonitrile, si verifica la deprotonazione del centro di ammonio e, come conseguenza, la piattaforma passa al livello ‘inferiore’, ovvero con i tre anelli macrociclici che circondano le unità di bipiridinio. Questa conformazione è stabilizzata principalmente dalle interazioni donatore-accettore di elettroni tra le unità aromatiche ricche di elettroni della piattaforma e le unità di bipiridinio carenti di elettroni del componente treppiede. Una successiva aggiunta di acido ripristina i centri di ammonio, e la piattaforma ritorna al livello superiore. Il movimento ‘su e giù’ tipo ascensore corrisponde ad un interruttore quantitativo e può essere ripetuto, può essere monitorato mediante spettroscopia NMR, elettrochimica e spettroscopia di assorbimento e fluorescenza.

È interessante notare che i risultati sperimentali mostrano anche che la piattaforma opera compiendo tre distinti passi associati a ciascuno dei tre processi di deprotonazione-riprotonazione. Quindi, questa macchina molecolare ricorda più un animale con le gambe che un ascensore. Il movimento meccanico

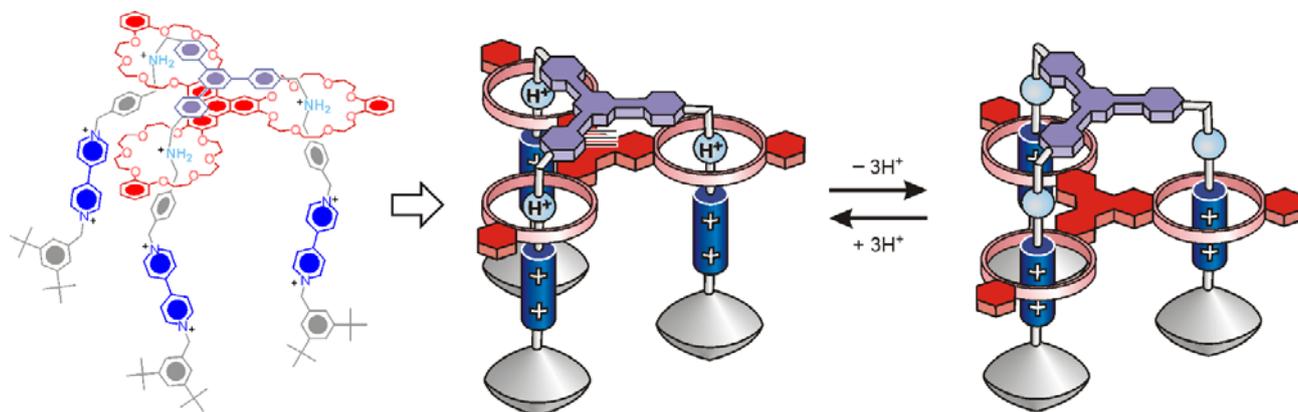


Fig. 12. Un ascensore molecolare.

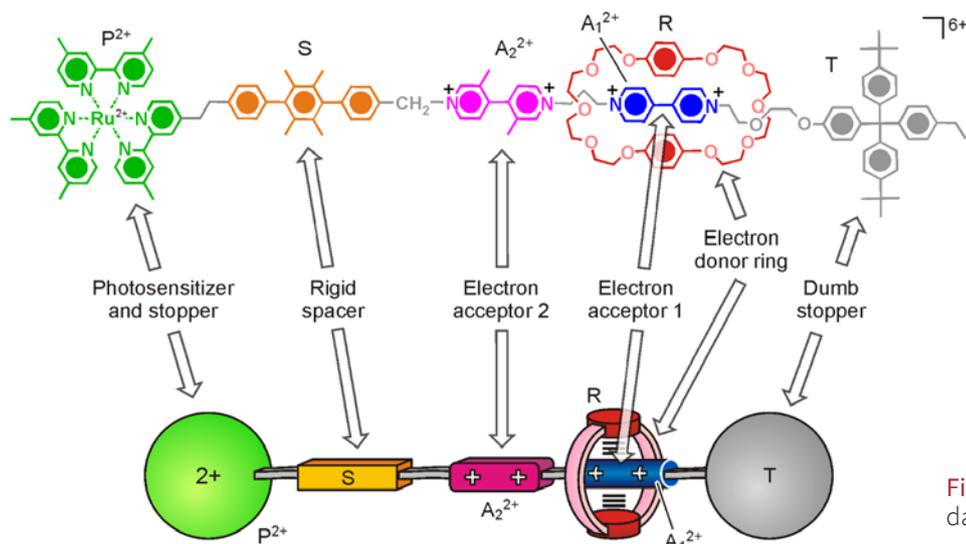


Fig. 13. Un nano-motore alimentato da luce visibile.

controllato acido-base è associato a notevoli modifiche strutturali, come l'apertura e la chiusura di una grande cavità e il controllo delle posizioni e proprietà delle gambe di bipyridinio. Questo comportamento può, in linea di principio, essere utilizzato per controllare l'assorbimento e il rilascio di una molecola ospite, un'applicazione d'interesse per lo sviluppo di sistemi di somministrazione di farmaci.

Il rotaxano mostrato in Figura 13 è stato appositamente progettato per ottenere il movimento tipo 'navetta' dell'anello nella soluzione lungo un binario foto-indotto [11]. Questo composto ha una struttura modulare; il suo componente ad anello R è un bis-*p*-fenilene-34-corona-10 π -elettrone-donatore, mentre la sua componente a manubrio è composta da diverse unità collegate covalentemente. Sono un complesso di Ru(II) poli-piridina (P^{2+}), un tipo *p*-terfenile distanziale rigido (S), delle stazioni 4,4'-bipyridinio (A_1^{2+}) e delle stazioni 3,3'-dimetil-4,4'-bipyridinio (A_2^{2+}) accettori di elettroni π , e un gruppo di tetraarilmetano come tappo terminale (T). L'unità basata sul Ru svolge il duplice ruolo di centrale energetica alimentata dalla luce che di tappo, mentre l'interruttore meccanico consiste nelle due stazioni che accettano l'elettrone e dal macrociclo elettrone-donatore.

Nell'isomero traslazionale stabile del rotaxano il componente R circonda l'unità A_1^{2+} , in accordo con il fatto che questa stazione è un accettore di elettroni migliore dell'altra. L'eccitazione attraverso la luce dell'unità fotoattiva P^{2+} è seguita dal trasferimento di un elettrone dallo stato eccitato alla stazione A_1^{2+} , che viene 'disattivata'. Come conseguenza, l'anello si sposta di 1,3 nm dalla stazione ridotta A_1^+ a A_2^{2+} . Successivamente, un processo di trasferimento di elettroni inverso

dalla stazione ridotta 'libera' A_1^+ all'unità ossidata P^{3+} ripristina il potere di accettore di elettroni della stazione A_1^{2+} . Come conseguenza, avviene il movimento di ritorno dell'anello da A_2^{2+} a A_1^{2+} . In conclusione, l'assorbimento della luce visibile da parte del complesso-Ru P^{2+} provoca un movimento dell'anello in avanti e indietro senza generare alcun prodotto di scarto.

Questi risultati incredibili sfidano l'immaginazione: puoi suggerire un loro uso didattico?

Credo che questo tipo di chimica possa aiutare i giovani studenti a capire che la chimica non è un insieme di formule ostili, difficili da scrivere e reazioni difficili da bilanciare, e che esiste un mondo inesplorato ed eccitante che può essere scoperto a livello molecolare, nanometrico.

Perché la nanotecnologia?

Perché la progettazione bottom-up, la costruzione e il funzionamento di dispositivi e macchine su scala molecolare è in realtà una questione di nanoscienza e nanotecnologia [12]. I chimici sono in grado di manipolare le molecole (cioè le entità materiali più piccole con forme e proprietà distinte) e sono quindi in una posizione ideale per sviluppare strategie bottom-up per la costruzione di dispositivi e macchine nanoscopici.

Qual è la tua opinione su questi nuovi sviluppi?

Dove si sta dirigendo il settore?

Queste sono domande importanti. Sono ancora coinvolto nella ricerca sulle nanoscienze e mi piace molto fare questo lavoro. Negli ultimi anni, tuttavia, ho iniziato a chiedermi dove sta andando questa scienza. La mia sensazione personale è che scienza

e tecnologia da sole non ci porteranno dove dobbiamo essere tra qualche decennio. Questo è il motivo per cui, nella seconda edizione del nostro libro su *Molecular Devices and Machines*, Alberto Credi, Io e Margherita Venturi abbiamo incluso un capitolo intitolato “Science and society”. Dal punto di vista scientifico, la mia speranza è che la nanoscienza e la nanotecnologia, nelle mani dei chimici, troverà mezzi più efficienti per convertire la luce solare in forme utili di energia.

Sei conosciuto per il tuo interessamento per le questioni etiche e per il coinvolgimento nei movimenti di pace. Esistono delle relazioni tra valori etici e l'efficacia dell'insegnamento?

L'insegnamento è una grande responsabilità. Certamente, gli studenti e la società si aspettano che un professore di scienze insegni la sua materia al miglior livello possibile. Ma credo che non sia abbastanza. Abbiamo bisogno d'insegnare agli studenti non solo cosa sia la scienza e come usarla ma anche come distinguere ciò che vale la pena fare con la scienza. Abbiamo bisogno che gli insegnanti dicano agli studenti che scienza e tecnologia devono essere usati per la pace, non per la guerra; per alleviare la povertà, non per mantenere i privilegi; per ridurre, non per aumentare il divario tra paesi sviluppati e sottosviluppati; per proteggere, non per distruggere il nostro pianeta che, al di là di qualsiasi sviluppo prevedibile della scienza, rimarrà l'unico posto dove l'umanità può vivere.

So per esperienza che agli studenti piace molto avere insegnanti motivati da valori etici. Come Giacomo Ciamician ha detto circa 100 anni fa, il primo dovere di un insegnante dovrebbe essere quello di «formare», non quello di «informare» gli studenti. I giovani hanno bisogno di modelli per modellare la loro vita e i loro atteggiamenti.

Qual è oggi il ruolo degli scienziati nel nostro mondo?

Alcuni scienziati s'interessano solo della propria ricerca. A loro non importa la situazione del mondo; al massimo, sono marginalmente interessati ai piccoli problemi della loro comunità locale. Credono che la scienza dovrebbe essere assolutamente libera di crescere perché «la conoscenza ha un valore intrinseco». Pertanto, lottano per avere più fondi per le loro ricerche e non si fanno problemi a ricevere denaro da compagnie farmaceutiche che imbrogliano i consumatori, dalle imprese multinazionali che compiono operazioni di sciaccallaggio verso i paesi sottosviluppati e addirittura le istituzioni militari.

Non sono assolutamente d'accordo con questo modo di pensare. Non siamo più ai quei tempi in cui la scienza poteva essere fatta solo per divertimento e gli scienziati potevano vivere in una torre d'avorio. È inaccettabile il creare solo perché possiamo. La storia dimostra che la creatività ha molto spesso un lato diabolico oscuro: inquinamento, bombe atomiche, armi biologiche... Ma c'è un altro aspetto, non meno importante, che di solito viene tralasciato dalla maggior parte di noi, scienziati della parte ricca del globo: nella situazione attuale, la ricerca scientifica di solito avvantaggia solo i ricchi e quindi aumenta il divario tra i ricchi e i poveri.

Gli scienziati responsabili, nel creare le nuove scienze e tecnologie con la massima cura morale, dovrebbero anche svolgere il ruolo di cittadini autorevoli, informati e preoccupati del pianeta Terra. Abbiamo bisogno di scienziati capaci di produrre scienza di prima classe, ma anche impegnati nell'aiutare a cambiare ciò che è sbagliato nell'organizzazione sociale e politica delle nostre nazioni e del mondo intero.

Insieme ai tuoi colleghi, t'impegni a mostrare l'importanza della chimica ai bambini e ai cittadini. Perché?

Perché la chimica permea ovunque la vita di tutti i giorni e allora una minima conoscenza della chimica è essenziale per i cittadini. Nelle nostre conferenze pubbliche cerchiamo di combattere la chemofobia e spiegare che la chimica è una scienza meravigliosa che non dovrebbe essere associata con i risultati (ad esempio, l'inquinamento) del suo cattivo utilizzo. Mostriamo anche che “chimica” non è l'opposto di “naturale”, come alcuni annunci pubblicitari ingannevoli suggerirebbero, perché *tutto ha una natura chimica*. Il mondo intero, inclusi noi stessi, è un libro scritto usando atomi e molecole, cioè nel linguaggio chimico.

Quali sono i tuoi suggerimenti per ispirare gli studenti, per portarli a dare il massimo?

Il primo suggerimento è: scegli di lavorare nel campo che ti aggrada di più. Se non ti piace quello che stai facendo, non c'è speranza di ottenere risultati utili e interessanti. Credo che l'atteggiamento di uno scienziato verso la sua ricerca dovrebbe essere quello di un amante. Uno scienziato deve pianificare gli esperimenti e guardare ai risultati ottenuti con cura e amore. Solo così si può avere successo. Come diceva Szent-Gyorgyi: «Le scoperte consistono nel vedere cose che tutti hanno visto e pensare a quello che nessuno ha pensato». Se ami quello che stai facendo, non dirai mai che stai lavo-

rando duro e sarai in grado di pensare a ciò che nessuno ha pensato.

In molti paesi, ai giovani non piace studiare le scienze. È possibile insegnare Chimica in modo accattivante?

La Chimica è il mondo che ci circonda, che è indubbiamente molto complesso, ma anche affascinante, intrigante e, in una certa misura, comprensibile. Lo studio della Chimica è attraente se uno parte dalle osservazioni di ciò che accade nel mondo reale; per esempio, com'è possibile che se abbiamo una rosa nella nostra mano, percepiamo il suo odore; o perché il vino può trasformarsi in aceto. La chimica è interessante quando sveliamo il mondo sorprendente di molecole, questi oggetti in scala nanometrica che, a causa della loro dimensione, forma, struttura e proprietà specifiche sono in grado d'ignorarsi o riconoscersi l'un l'altra, auto-assemblarsi, reagire, assorbire o emettere fotoni, accettare o donare elettroni.

Per poter dare alla gente un'idea di cosa sia la chimica, troviamo anche utile mostrare la somiglianza tra chimica e linguaggio: gli atomi sono le lettere della materia, le molecole sono le parole, i sistemi supramolecolari sono le frasi e così via, con l'uomo e la biblioteca al vertice della rispettiva scala di complessità.

Siamo vicini a una crisi energetica, e lo sviluppo sta per raggiungere un limite. Gli scienziati cosa suggeriscono?

Quello dell'energia è il numero uno ma, in nessun modo, l'unico problema per l'umanità. Cibo, acqua, salute, ambiente, educazione, popolazione, guerra, democrazia sono altre questioni importanti. Infatti, il nostro è un mondo molto fragile. I politici si dovrebbero rendere conto che la Terra è un'astronave con risorse limitate che trasporta 6,5 miliardi di persone. Escludendo la luce proveniente dal Sole, la Terra è un sistema chiuso. Questa semplice considerazione ci dice che nel lungo termine potremo contare solo sull'energia solare [13]. Apparentemente, né i politici né i loro consulenti economici sono a conoscenza di questa inevitabile conclusione. Né sono a conoscenza del principio per cui una crescita economica illimitata su un pianeta finito non è possibile.

Nei paesi ricchi viviamo in società in cui i concetti di «abbastanza» e «troppo» sono stati rimossi, mentre non ci preoccupiamo dei paesi sottosviluppati. Imparare a dire abbastanza, tuttavia, è una condizione necessaria per un mondo sostenibile. Stabilire l'equità non è solo un dovere morale, ma anche un

bisogno fondamentale per creare un mondo pacifico. Gli scienziati dovrebbero spiegare chiaramente questi concetti a tutti i cittadini e in particolare agli economisti e ai responsabili politici.

I problemi di sostenibilità ed equità, infatti, mettono l'umanità davanti a un bivio: se prendiamo la via dell'etica, sulla base della conservazione delle risorse, riduzione degli sprechi, relazioni umane e solidarietà globale, possiamo costruire un mondo piacevole e pacifico; l'altro, quello del consumo, del beneficio personale e dell'egoismo porterà a rapine, invasioni, rivoluzioni, migrazioni di massa, e guerre, e finirà con la distruzione del pianeta.

La seconda ipotesi può essere considerata pessimistica. Ma ciò nasce dalla consapevolezza della gravità della situazione. Un vecchio proverbio dice che l'unica differenza tra un ottimista e un pessimista è che quest'ultimo è meglio informato. Un miope ottimismo basato sull'inconsapevolezza non permetterà al genere umano di muoversi verso un vero progresso. Per vivere nel terzo millennio, abbiamo bisogno di un nuovo modo di pensare e nuovi modi di relazionarci ai problemi del mondo. Vi è una grande necessità di diffondere informazioni sulla condizione del nostro mondo. Solo la conoscenza può aiutarci a prendere la decisione giusta al fine di raggiungere la sostenibilità e porre rimedio alle disparità, in modo da rendere meno fragile la nostra nave spaziale Terra durante il suo viaggio attraverso questo nuovo secolo.

Tornando all'energia, credo che l'energia a fissione nucleare non sia la risposta giusta per combattere le iniquità e creare un mondo più pacifico. Dovremmo ridurre il consumo di energia e fare affidamento sulle energie rinnovabili che sono distribuite in tutto il mondo. Per quanto riguarda l'energia solare, dovremmo intensificare i nostri sforzi, non solo per aumentare l'efficienza di conversione in calore ed elettricità, ma anche verso il raggiungimento della scissione fotochimica dell'acqua, un processo proposto dal mio gruppo molti anni fa [14]. Un efficiente generazione di idrogeno dall'acqua attraverso l'energia solare risolverebbe la crisi energetica e diversi problemi ambientali. Trovare il modo per risolvere la crisi energetica è davvero la «grande sfida» della chimica.

La libertà di ricerca è questione di dibattito. Cosa pensi dell'utilizzo di embrioni umani per la ricerca?

La maggior parte degli scienziati afferma che non dovrebbero esserci restrizioni sulla ricerca. In linea di principio, sono d'accordo, ma vorrei fare due osservazioni. Innanzitutto, la ricerca oggi è molto co-

stosa, quindi bisogna stabilire delle priorità. Questa è una limitazione intrinseca alla libertà di ricerca. Ad esempio, dovremmo dare priorità alla ricerca sulle cellule staminali, che può essere utile per curare l'Alzheimer malattia dei ricchi nei Paesi occidentali o alla ricerca sulla malaria, l'HIV e altre malattie che colpiscono i poveri nei Paesi sottosviluppati?

Secondo, e più importante, per poter *conoscere*, l'uomo deve *agire*. Ogni azione umana è in realtà ispirata da obiettivi e valori, e obiettivi e valori non sono mai «neutrali». Agire significa usare metodi e causare effetti, sia materiali che culturali. Pertanto, credo che la libertà di ricerca non possa essere un valore assoluto in una società civile. L'etica viene prima. Sugli embrioni, credo che non dovrebbero essere prodotti e utilizzati per la ricerca scientifica.

Qualcosa sul tuo gruppo di ricerca e le tue numerose collaborazioni?

Ho avuto, e ancora ho, l'inestimabile privilegio di lavorare in un gruppo composto da colleghi altamente motivati, affidabili, amichevoli e collaboratori. Gran parte del merito per i miei successi va a loro. Certo a volte ci sono problemi e difficoltà, ma riusciamo a superarli con discussioni franche. Abbiamo incontri di gruppo ogni settimana, e anche una lunga tradizione di allegri picnic. Quello che si svolge a maggio nella mia casa di campagna raccoglie tra le 50 e le 60 persone, compresi i figli dei colleghi e studenti. Il mio unico rimpianto è che negli ultimi 5 anni io non ho potuto permettermi di partecipare alla partita di calcio che regolarmente si svolge in tale occasione (Fig. 14).

Di significativa importanza, ovviamente, sono state anche anno dopo anno, le collaborazioni con scienziati eccezionali di tutto il mondo: Franco Scandola,



Fig. 14. Vincenzo Balzani che gioca a calcio con i componenti del suo gruppo nel 1995.



Fig. 15. Il professor Vincenzo Balzani con il professor Jean-Marie Lehn nel 2006.

Alex von Zelewsky, Jean-Marie Lehn, Sebastiano Campagna, Jean-Pierre Sauvage, Fernando Pina, Fritz Vögtle, Fraser Stoddart e molti altri. Tali collaborazioni ci hanno permesso di raggiungere risultati che sarebbe stato altrimenti impossibile raggiungere e, non meno importante, hanno creato una rete di amicizie che hanno reso il nostro lavoro molto più piacevole e tranquillo.

Collabori con molti scienziati eccezionali. Che cosa potresti dire su Jean-Marie Lehn?

Secondo me Jean-Marie è il miglior scienziato vivente nel campo della Chimica. Ha molte nuove fantastiche idee. Ammiro il fatto che abbia continuato a lavorare in chimica anche dopo aver vinto il Premio Nobel. In molti casi, uno scienziato, non appena riceve il premio Nobel, crede di essere come Dio e inizia a parlare sentenziosamente su tutto. Non si dovrebbe mai dimenticare cosa Niccolò Macchiavelli ha dichiarato: "Ci sono persone che credono di sapere tutto, ma questo è tutto ciò che sanno" (Figg. 15 e 16).

C'è una domanda che ti avrebbe fatto piacere rispondere?

Sì. La domanda sarebbe: quale ruolo tua moglie, Carla, ha giocato nella tua carriera? E la risposta è: Carla è stata una costante fonte di sostegno e incoraggiamento da quando ci siamo incontrati al liceo e avevamo 15 anni. Ha interrotto la sua carriera come ricercatrice nel campo della mineralogia per dedicarsi alla nostra famiglia in crescita. Ora abbiamo sei figli e nove nipoti. Come ogni altra famiglia, abbiamo attraversato periodi difficili, ma siamo persone fortunate per via della forza del nostro matrimonio.



Fig. 16. Vincenzo Balzani mentre presenta la conferenza di apertura al 17° ISPPCC, Dublino, giugno 2007.

Bibliografia

- [1] G. Ciamician, The photochemistry of the future, *Science*, 1912, **36**, 926, 385-394.
- [2] V. Balzani, V. Carassiti, *Photochemistry of coordination compounds*, Academic Press, London 1970.
- [3] G. S. Laurence, V. Balzani, Reduction by the triplet charge-transfer state of tris(bipyridyl)ruthenium(II). Photochemical reaction between tris(bipyridyl) ruthenium(II) and thallium(III), *Inorg. Chem.*, 1974, **13**, 12, 2976–2982.
- [4] F. Bolletta, V. Balzani, Oscillating chemiluminescence from the reduction of bromate by malonic acid catalyzed by tris(2,2'-bipyridine)ruthenium(II), *J. Am. Chem. Soc.*, 1982, **104**, 15, 4250-4251.
- [5] A. Juris, V. Balzani, F. Barigelletti, S. Campagna, P. Belser, A. von Zelewsky, Ru(II) Polypyridine Complexes: Photophysics, Photochemistry, Electrochemistry, and Chemiluminescence, *Coord. Chem. Rev.*, 1988, **84**, 85-277.
- [6] V. Balzani (Ed.), *Electron Transfer in Chemistry*, vol. 1-5, Wiley-VCH, Weinheim, 2001.
- [7] V. Balzani, L. Moggi, F. Scandola, in: V. Balzani (Ed.), *Supramolecular photochemistry*, Reidel, Dordrecht 1987, p. 1.
- [8] V. Balzani, F. Scandola, *Supramolecular photochemistry*, Horwood, Chichester 1991.
- [9] V. Balzani, A. Credi, M. Venturi, *Molecular devices and machines. A Journey into the nanoworld*, Wiley-VCH, Weinheim 2003. A new, revised and updated edition of the book will appear in winter 2008.
- [10] J.D. Badjic, V. Balzani, A. Credi, S. Silvi, J.F. Stoddart, A molecular elevator, *Science*, 2004, **303**, 5665, 1845-1849.
- [11] V. Balzani, M. Clemente-León, A. Credi, B. Ferrer, M. Venturi, A. H. Flood, J. F. Stoddart, Autonomous artificial nanomotor powered by sunlight, *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 2006, **103**, 5, 1178-1183.
- [12] V. Balzani, Nanoscience and nanotechnology: a personal view of a chemist, *Small*, 2005, **1**, 3, 278-283.
- [13] N. Armaroli, V. Balzani, The Future of Energy Supply: Challenges and Opportunities, *Angew. Chem. Int.*, 2007, **46**, 1-2, 52-66.
- [14] V. Balzani, L. Moggi, M. F. Manfrin, F. Bolletta, M. Gleria, Solar Energy Conversion by Water Photodissociation: Transition metal complexes can provide low-energy cyclic systems for catalytic photodissociation of water, *Science*, 1975, **189**, 4206, 852-856.
-
 Traduzione autorizzata dal *Coordination Chemistry Reviews*, volume 252, issues 23-24, December 2008, pages 2446-2455. Ringrazio il Professor Philip Gale (Editore, University of Sydney) per l'autorizzazione.
