

## GIACOMO CIAMICIAN E L'ENERGIA SOLARE: DALLE IDEE DI 100 ANNI FA AGLI ATTUALI SVILUPPI

**Margherita Venturi**

*Dipartimento di Chimica "Giacomo Ciamician" dell'Università di Bologna  
via F. Selmi n. 2 – 40126 Bologna*

*e-mail: [margherita.venturi@unibo.it](mailto:margherita.venturi@unibo.it)*

### Sommario

Giacomo Ciamician diede un fondamentale contributo allo sviluppo della fotochimica, tanto che al giorno d'oggi è considerato uno dei fondatori di questa branca della chimica, oltre che un pioniere dell'energia solare e della "green chemistry". È forse più noto all'estero che in Italia e in questo senso il contributo del CONASES è stato importante stimolando la ricerca storica sui grandi scienziati italiani che hanno gettato le basi per lo sviluppo dell'energia solare. Nel caso di Ciamician, un'analisi accurata del suo lavoro ha messo in evidenza che gran parte degli studi in ambito fotochimico vennero effettuati, assieme al suo collaboratore e amico Paul Silber, dal 1900 al 1921.<sup>§</sup> Furono proprio tali studi a far nascere in Ciamician l'idea di poter sfruttare l'energia solare per scopi pratici, come si può intuire rileggendo la sua famosa conferenza tenuta all'VIII International Congress of Applied Chemistry, che ebbe luogo a New York nel Settembre del 1912. In questo discorso, intitolato "*The photochemistry of the future*" e pubblicato in ben 4 lingue, Ciamician affrontò i problemi energetici di quel tempo con un approccio sorprendentemente lungimirante. Suggerì, infatti, di sostituire l'energia, che allora veniva ricavata dal carbone, con quella libera ed inesauribile fornita dal Sole, prevedendo con 100 anni di anticipo le attuali applicazioni tecnologiche dell'energia solare.

### 1. Introduzione

Giacomo Ciamician (Trieste 1857 - Bologna 1922) è passato alla storia della scienza per i suoi studi di fotochimica e le sue profezie sull'utilizzazione dell'energia solare, tanto da essere considerato uno dei padri della fotochimica, un pioniere della conversione dell'energia solare e della "green chemistry" [1]. È forse più noto all'estero che in Italia e in questo senso il contributo del CONASES è stato fondamentale stimolando la ricerca storica sui grandi studiosi italiani che hanno gettato le basi per lo sviluppo dell'energia solare. Nel caso di Ciamician, un tale esame ha messo anche in evidenza che egli fu uno scienziato nel senso più completo del termine [2]. Ciamician aveva idee molto chiare sulla scienza e sul ruolo che questa deve svolgere nella società; sosteneva infatti che la scienza ha il dovere di interrogarsi sul suo significato [3], che la scienza ha una profonda dimensione sociale e che è necessario trovare un giusto equilibrio fra tecnologia e natura, problema oggi esasperato da un troppo pesante intervento dell'uomo sulle risorse del pianeta. Ciamician sosteneva anche, dandone l'esempio, che gli scienziati hanno il dovere morale di partecipare attivamente alla vita pubblica, comprese le istituzioni a livello più alto, con il preciso impegno di ammonire contro i pericoli del nazionalismo estremo e a condannare la guerra, delitto di civiltà. È stato inoltre un docente appassionato e molto stimato dagli studenti, ai quali spiegava che l'insegnamento delle scienze deve formare i giovani, prima ancora di istruirli. Infatti, nelle sue

---

<sup>§</sup> Con il contributo del CONASES sono stati catalogati gli scritti di Ciamician presenti nell'archivio del dipartimento di chimica, che una volta digitalizzati saranno messi in rete nel sito della biblioteca; sono state inoltre restaurate vecchie fotografie, ora raccolte in un apposito album, e nell'atrio del dipartimento è stato ricostruito lo studio di Ciamician con i mobili originali. Tutto ciò ha permesso di valorizzare la figura di questo grande scienziato a cui il dipartimento è intitolato e, soprattutto, di farlo conoscere ai giovani.

lezioni non si limitava a dare spiegazioni teorie e tecniche, ma ne discuteva le possibili implicazioni sociali e gli aspetti etici.

## 2. Ciamician e la chimica delle piante

Gli interessi di Ciamician per la fotochimica nacquero a seguito dei suoi studi sulle reazioni chimiche che avvengono nelle piante da cui era a dir poco affascinato. I 21 lavori condotti fra il 1908 e il 1922 in collaborazione con Ciro Ravenna, che poi divenne professore di Chimica Agraria all'Università di Pisa, riportano i tanti dettagli che Ciamician riuscì ad ottenere sul chimismo delle piante e mostrano molto chiaramente come questo scienziato avesse capito che le piante sono fabbriche chimiche eccezionali.

In esperienze sistematiche Ciamician inoculava nelle piante, o somministrava attraverso le radici, sostanze organiche allo stato puro o in soluzione, e lo faceva per classi. Inoculava un composto (ad es., la xantina) e poi i suoi derivati metilati (dimetilxantina o teobromina, trimetilxantina o caffeina), quindi osservava l'effetto tossico sulla pianta e altre reazioni ad esso correlate. Operò su centinaia di sostanze scoprendo, ad esempio, che alcuni sostituenti hanno un effetto benefico, mentre altri hanno un effetto dannoso e ottenendo anche risultati veramente stupefacenti per quel tempo [4]: *“Più recentemente, occupandoci della funzione degli alcaloidi nelle piante, ci è stato possibile modificare la produzione della nicotina nel tabacco in guisa d'ottenere un notevole aumento oppure una diminuzione dell'alcaloide in esso contenuto. .... E in una serie di esperimenti diretti a determinare la funzione fisiologica dei glucosidi, noi siamo riusciti a farli produrre a piante che naturalmente non ne contengono. Così, ad esempio, abbiamo potuto, con opportune inoculazioni, costringere il mais a fare la sintesi della salicina.”* Non è difficile riconoscere in questi risultati i primi tentativi di quella che noi oggi chiamiamo biotecnologia, il cui sviluppo è chiaramente profetizzato dallo stesso Ciamician [4]: *“... l'industria moderna è strettamente collegata colla scienza pura: il progresso dell'una determina necessariamente quello dell'altra. ... È lo studio della chimica organica degli organismi che sempre più s'impone ed è su tali argomenti che si concentra l'attuale interesse. Non può mancare che questo indirizzo si ripercuota nella tecnica e possa segnare nuove vie all'industria.”*

Nel corso dei suoi studi sulle piante Ciamician notò anche che [5]: *“... mentre la chimica organica ... si serve ... di temperature elevate, gli acidi minerali e le basi più forti, gli alogeni, i metalli più elettropositivi, certi cloruri metallici anidri e i composti alogenati del fosforo ...”* le piante, invece *“... dalle piccole tracce di acido carbonico che offre loro l'aria, dalle piccole quantità di sali che esse sottraggono al terreno, dall'acqua ovunque presente, e per mezzo della luce riescono a preparare con apparente facilità tante svariate sostanze che noi così a stento riusciamo a riprodurre.”*

In una conferenza tenuta in occasione del I Congresso della Società Italiana per il Progresso delle Scienze, alla presenza delle autorità, ebbe inoltre a dire [6]: *“Ai Ministri della Pubblica Istruzione potrebbero apparire esagerate le nostre affannose richieste di mezzi di studio se le piante con così poco dispendio possono ottenere risultati tanto prodigiosi. Ma noi ... nei laboratori siamo costretti ad impiegare i mezzi chimici più violenti e costosi perché, a differenza delle piante, non siamo in grado di giovare dell'energia solare ...”*. In queste ultime parole, cioè nell'aver capito l'importanza della luce e dell'energia solare, sta in un certo senso la più grande scoperta di Ciamician [7]: *“Il ya un autre agent qui est de la plus grande importance, ... et dont l'influence sur les processus organiques mérite une étude profonde: c'est la lumière”*.

Una volta capito che il segreto delle piante è proprio nella capacità che esse hanno di utilizzare l'energia solare, Ciamician decise di studiare in modo sistematico l'azione chimica della luce in esperimenti di laboratorio.

### 3. Ciamician e l'azione chimica della luce

Tra il 1900 e il 1921 Ciamician, affiancato dal suo collaboratore e amico Paolo Silber (1851-1932), pubblicò 41 lavori nel campo della fotochimica. Nel corso di questi studi incontrò grossi problemi, soprattutto per quanto riguarda l'interpretazione dei fenomeni. A quei tempi, infatti, si sapeva poco sulla natura della luce e neppure si avevano idee chiare sulla struttura della materia. Basta pensare che i concetti di fotone e di livelli energetici atomici, fondamentali per interpretare le reazioni fotochimiche, sono posteriori a gran parte dell'attività di Ciamician e che per l'interpretazione dei primi spettri di assorbimento delle molecole si dovette arrivare agli anni trenta. È doveroso però dire che Ciamician, attento alle nuove idee sulla natura della luce e sull'interazione luce-materia, tentò, pur senza molto successo, qualche ipotesi interpretativa estendendo alle reazioni fotochimiche la teoria di Planck e Einstein sull'effetto fotoelettrico.

Un altro grosso problema che Ciamician incontrò nel corso di questi studi fu di tipo sperimentale: era infatti necessaria una sorgente di luce. Oggi un qualsiasi laboratorio di fotochimica è dotato di laser, o almeno di lampade a Xenon e/o a mercurio, ma ai tempi di Ciamician queste sorgenti di luce non c'erano e le prime lampade elettriche allora a disposizione emettevano una luce troppo debole e troppo "rossa" per essere efficace. In conclusione, l'unica sorgente disponibile per indurre reazioni fotochimiche a quei tempi era il Sole e, allora, Ciamician trasferì il suo laboratorio nelle terrazze dell'istituto dove lavorava (Fig. 1). Furono anni di attività frenetica ed entusiasmante come si capisce dalle parole di un suo allievo [8]: *“Chi in quel periodo ha visto il Professor Ciamician sul terrazzo del suo laboratorio, fra le sue selve di tubi di vetro chiusi, contenenti le più svariate sostanze e miscele esposte alla luce e lo ha udito parlare dei suoi risultati e dei suoi progetti, può dire quale entusiasmo lo animasse. Ma solo chi vi ha assistito da vicino ha un'idea qual somma di lavoro, quale instancabile pazienza, e quale insuperabile abilità sperimentale, quale meraviglioso fiuto (al proprio e al figurato) fosse necessario per ..... isolare e caratterizzare i vari prodotti di così complesse reazioni.”*

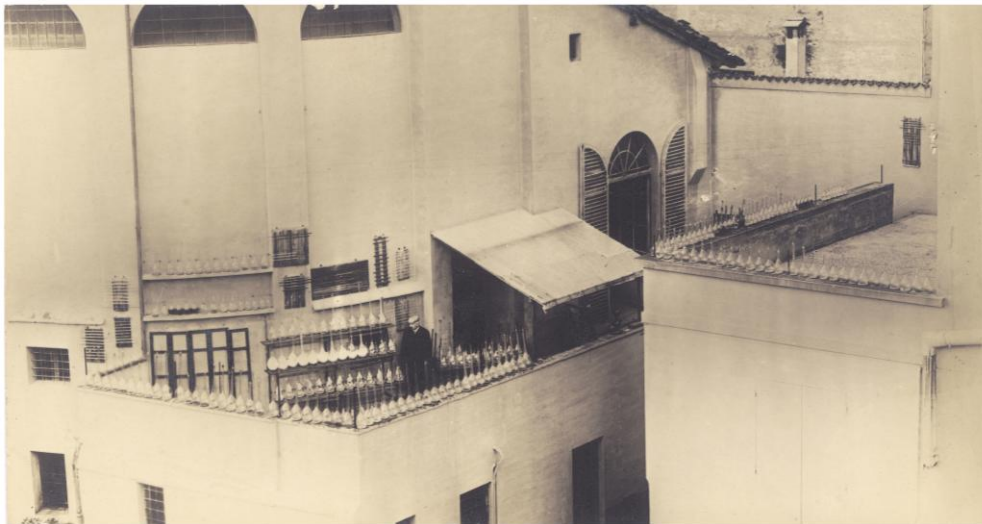


Fig. 1 – Giacomo Ciamician nel suo “laboratorio di fotochimica” sui tetti.

I concetti nuovi e le incredibili intuizioni che il genio di Ciamician seppe elaborare in quegli anni di duro lavoro e di intensi studi si ritrovano nella celebre conferenza, intitolata *“La fotochimica dell'avvenire”*, che tenne durante l'VIII Congresso di Chimica Applicata svoltosi a New York nel 1912. Essa trovò immediata risonanza sulla stampa: il testo in forma sintetica fu subito pubblicato dall'autorevole rivista *Science* [4] e poi, in edizione integrale, in inglese [9], italiano [10], francese [11] e tedesco [12].

È interessante riportare le motivazioni che spinsero Ciamician ad accettare l'invito che gli pervenne dal Presidente stesso della conferenza, Dott. William Henry Nichols, [10]: *“L'essermi occupato assieme al mio amico dottor Paolo Silber da più di un decennio di ricerche intorno alle azioni chimiche della luce, mi parve ragione sufficiente per parlarne davanti ad un consesso di chimici. ... Mi sovvenni allora che Sir William Ramsay ... aveva toccato la questione dell'esaurimento delle miniere di carbone fossile in Inghilterra e mi parve che il trattare dell'utilizzazione dell'energia solare dal punto di vista fotochimico, poteva costituire un argomento di generale interesse. ... La chimica della luce, all'infuori della fotografia, non ha avuto finora quasi nessuna applicazione pratica e però ho cercato di immaginare ... quello che in avvenire la fotochimica potrebbe dare all'industria, tenendo conto anche del modo in cui potrebbero essere utilizzate le piante, per fissare l'energia solare e per la produzione sintetica di sostanze organiche.”* Infatti, quello storico discorso del 1912 è fondamentalmente centrato sul problema energetico, che Ciamician affronta con un approccio di sorprendente attualità e con intuizioni, soprattutto per quanto riguarda le possibili applicazioni, talmente avanzate per quell'epoca da lasciare a dir poco stupefatti.

#### 4. Dalle idee di Ciamician agli attuali sviluppi

Ciamician iniziò il suo discorso osservando che: *“La civiltà moderna è figlia del carbon fossile: questo offre all'umanità civile l'energia solare nella forma più concentrata, accumulata nel tempo di una lunga serie di secoli, l'uomo moderno se n'è servito e se ne serve con crescente avidità e spensierata prodigalità per la conquista del mondo. ... La terra ne possiede ancora enormi giacimenti, ma essi non sono inesauribili. Il problema dell'avvenire comincia ad interessare ... Il deposito è enorme, ma col consumo crescente lo sfruttamento si fa sempre più costoso per le crescenti profondità a cui bisogna arrivare ... L'energia solare fossile è la sola che possa giovare alla vita della civiltà moderna? That is the question.”* I problemi previsti da Ciamician per quanto riguarda il futuro del carbone sono esattamente quelli che noi oggi viviamo: scarsità di combustibili fossili, costi di estrazione sempre più elevati, necessità di trovare sorgenti energetiche alternative [13].

Lo scienziato continuò notando che: *“... l'enorme quantità di energia che la terra riceve dal sole, rispetto a cui quella immagazzinata dalle piante nei periodi geologici è quasi trascurabile, va in gran parte dispersa.”* Un calcolo recente, in perfetto accordo con la stima di Ciamician, ha dimostrato che la quantità di energia solare che arriva sulla Terra è 10.000 volte maggiore di quella attualmente necessaria all'intera popolazione mondiale. Inoltre, oggi abbiamo capito che l'energia solare ha la stessa versatilità dei combustibili fossili che si trovano nel sottosuolo: con tecnologie opportunamente progettate è, infatti, possibile convertire il flusso solare elettromagnetico in calore, combustibili ed elettricità [13].

Ciamician osservò inoltre che: *“Assumendo per i tropici un irraggiamento solare di sole 6 ore, noi avremmo, in un giorno, una quantità di calore pari a quella fornita da 1,35 kg di carbone. ... Il deserto del Sahara ... riceve giornalmente una quantità di energia solare pari a 6 miliardi di tonnellate di carbone ... al suo impiego diretto termico-meccanico per mezzo di specchi si è più volte pensato ...”* Questa possibilità prospettata da Ciamician, oggi si è concretizzata con lo sviluppo dei concentratori solari (Fig. 2) in cui, mediante l'uso di specchi o lenti, sono prodotti fluidi ad alta temperatura (almeno 300°C) per la generazione di energia elettrica o altri usi [14-20].



Fig. 2 – Concentratori solari in Andalusia (Spagna).

Ciamician notò ancora che: *“Il raccolto, seccato dal sole, potrebbe essere convertito interamente, nella maniera più economica, in combustibile gassoso. Il gas così ottenuto potrebbe essere immediatamente bruciato nei motori.”* Oggi parte delle ricerche sulla conversione dell’energia solare sono proprio focalizzate sulla possibilità di trasformare questa energia in combustibili attraverso la produzione di colture agricole: ad esempio, la produzione attuale di bio-etanolo usa risorse agricole convenzionali come canna da zucchero, mais, grano e barbabietola da zucchero [21-24].

Con grande lungimiranza Ciamician aggiunse che: *“Si potrebbero costruire batterie fotoelettriche basate su processi fotochimici ... L’azione della luce favorisce processi di reciproca ossidazione e riduzione ...”* In perfetto accordo con questa previsione l’energia solare viene oggi convertita direttamente in energia elettrica non soltanto allo stato solido nei pannelli fotovoltaici (Fig. 3), ma anche in celle fotoelettrochimiche (celle di Grätzel, Fig. 4) basate sulla sensibilizzazione di semiconduttori ( $\text{TiO}_2$ ) da parte di coloranti in soluzione [25-27].



Fig. 3 – Kaohsiung World Stadium di Taiwan: il primo stadio al mondo ad essere alimentato con pannelli fotovoltaici.

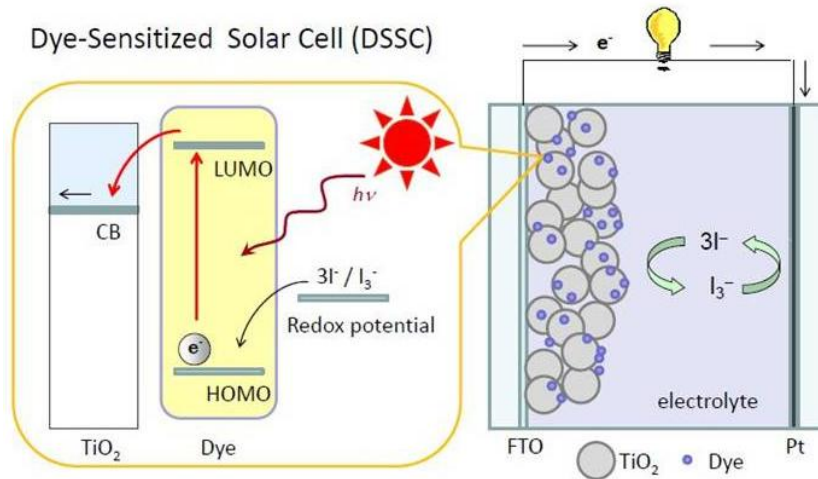


Fig. 4 – Rappresentazione schematica di una cella solare “dye-sensitized”, nota come cella di Grätzel.

Il grande scienziato profetizzò anche che: *“Usando catalizzatori opportuni si potrebbe trasformare acqua e anidride carbonica in ossigeno e metano, o permettere altri processi endoergonici.”* Attualmente gli scienziati stanno cercando di imitare il processo naturale fotosintetico con lo scopo di produrre un combustibile mediante reazioni di trasferimento elettronico indotto dalla luce (Fig. 5) [28-31].

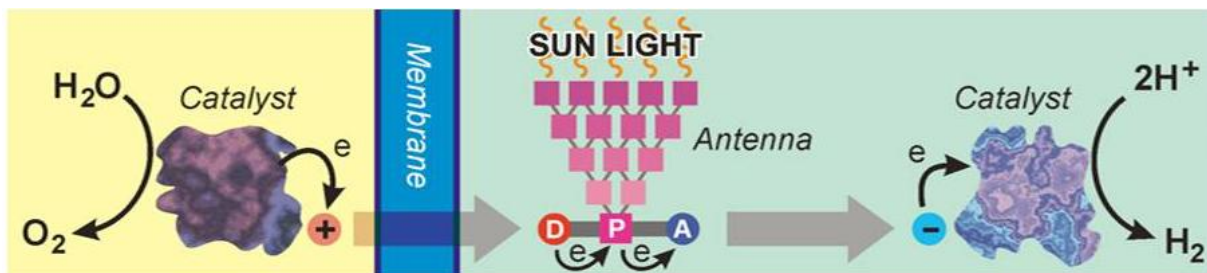


Fig. 5 – Schema della fotosintesi artificiale per la scissione dell’acqua in idrogeno e ossigeno

Questa è una delle sfide più importanti che la scienza ha oggi di fronte per uscire dalla crisi energetica ed ecologica che sta mettendo a dura prova la capacità dell’uomo di vivere in pace sulla Terra e, anche, per costruire un mondo più giusto come profetizzato da Ciamician nell’ultima parte della sua conferenza del 1912: *“Là dove la vegetazione è ubertosa e la fotochimica può essere abbandonata alle piante, si potrà con colture razionali, come ho già accennato, giovare delle radiazioni solari per promuovere la produzione industriale. Nelle regioni desertiche, invece, dove le condizioni del clima e del suolo vietano ogni coltura, sarà la fotochimica artificiale che le metterà in valore. Sull’arido suolo sorgeranno colonie industriali senza fuliggine e senza camini: selve di tubi di vetro e serre di ogni dimensione – camere di vetro – s’innalzeranno al sole ed in questi apparecchi trasparenti si compiranno quei processi fotochimici di cui fino allora le sole piante avevano il segreto ed il privilegio, ma che l’industria umana avrà saputo carpire: essa saprà farli ben altrimenti fruttare, perché la natura non ha fretta mentre l’umanità è frettolosa. E se giungerà in un lontano avvenire il momento in cui il carbone fossile sarà completamente esaurito, non per questo la civiltà avrà fine: ché la vita e la civiltà dureranno finché splende il sole!”*

## 5. Conclusioni

Il problema dell'energia riguarda l'uomo, la Terra ed il loro comune destino. Per risolverlo, l'unica strada possibile è quella di mettere in atto una riforma strutturale che porti con gradualità dall'uso dei combustibili fossili a quello dell'energia solare. Sicuramente non sarà un processo semplice e veloce, perché siamo abituati ad usare energia in forma concentrata ed in grandi quantità, mentre dovremo abituarci ad usare meno energia ed in forme meno concentrate. Questo, però, non significa che vivremo in condizioni peggiori di quelle attuali perché l'energia solare è inesauribile e non inquinante, non richiede tecnologie complesse, è diluita per cui non crea effetti traumatici a danno del nostro pianeta ed, inoltre, ha un valore aggiunto enorme rispetto ai combustibili fossili e all'energia nucleare: è distribuita in modo abbastanza uniforme su tutta la Terra (fra Roma e Londra c'è soltanto un fattore di 1,6), con un'abbondanza relativamente maggiore sulle nazioni meno sviluppate, e, quindi, è un'energia democratica che favorisce la pace.

## Bibliografia

- [1] Albini A., Fagnoni N. Green chemistry and photochemistry were born at the same time, *Green Chemistry*, **2004**, 6, 1.
- [2] *Giacomo Ciamician: Chimica, filosofia, energia* (a cura di Ciardi, M., Linguetti, S.), Bionomia University Press, Bologna, **2007**.
- [3] Ciamician, G. *I problemi chimici del nuovo secolo*, discorso letto il 7 novembre 1903 per la solenne inaugurazione degli studi della Reale Università di Bologna, Zanichelli, Bologna, **1905**, 7.
- [4] Ciamician G. The photochemistry of the future, *Science*, **1912**, 36, 385.
- [5] Ciamician G. Problemi di chimica organica, *Scientia*, **1907**, 1, 44.
- [6] Ciamician G. La chimica organica negli organismi, *Atti della Società Italiana per il Progresso delle Scienze*, **1908**, 21.
- [7] Ciamician, G. *Rendiconti Regia Accademia Nazionale Lincei*, **1886**, 21, 22.
- [8] Bruni G. In memoria di Giacomo Ciamician. Orazione commemorativa pronunciata nella cerimonia solenne del 2 aprile 1922 – Aula Magna dell'Archiginnasio di Bologna, *Annuario dell'Università di Bologna*, **1921-22**, 3.
- [9] Ciamician G. The photochemistry of the future, *Transactions and Organization of Eight International Congress of Applied Chemistry*, Washington and New York, September 4 to 13, **1912**, vol. XXVIII, 151.
- [10] Ciamician G. La fotochimica dell'avvenire, *Scientia – Attualità scientifiche*, ed. Zanichelli, Bologna, **1912**, n° 19, 1.
- [11] Ciamician G. La photochimie de l'avenir, *Scientia*, ed. Zanichelli, Bologna, **1912**, vol. XII, n° XXVI-6, 154.
- [12] Ciamician G. *Die Photochemie der Zukunft*, Verlag von Ferdinand Enke, Stuttgart, **1913**, vol. XIX.
- [13] Armaroli N., Balzani V. *Energy for a Sustainable World: From the Oil Age to a Sun-Powered Future*, Wiley-VCH, Weinheim, **2011**.
- [14] Pacheco J. E. Demonstration of solar-generated electricity on demand: the Solar Two project, *Journal of Solar Energy Engineering, Transactions of ASME*, **2001**, 123, 5.

- [15] Schlaich J., Bergemann R., Schiel W., et al. Design of commercial solar updraft tower systems – utilization of solar induced convective flows for power generation, *Journal of Solar Energy Engineering, Transactions of ASME*, **2005**, 127, 117.
- [16] Stanford University Global Climate and Energy Project. An assessment of solar energy conversion technologies and research Opportunities, **2006**, gcep.stanford.edu.
- [17] Solar Millennium - The Parabolic Trough Power Plants Andasol 1 to 3, Erlangen, Germany, **2008**; www.solarmillennium.de.
- [18] Pitz-Paal R. How the sun gets into the power plant, in *Renewable Energy. Sustainable Energy Concepts for the Future*, (eds. Wengenmayr, R., Bührke, T.), Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, **2008**, 26.
- [19] Patel S. Interest in solar tower technology rising, *Power News*, 1 May **2009**; [www.powermag.com](http://www.powermag.com).
- [20] Fthenakis V., Kim H. C. Land use and electricity generation: a life-cycle analysis, *Renewable Sustainable Energy Reviews*, **2009**, 13, 1465.
- [21] Ritter S. K. Biofuel bonanza, *Chemistry Engineering News*, **2007**, 85(26), 15.
- [22] Fargione J., Hill J., Tilman D., et al. Land clearing and the biofuel carbon debt, *Science*, **2008**, 319, 1235.
- [23] Charles D. Corn-based ethanol flunks key tests, *Science*, **2009**, 324, 587.
- [24] Service R. F. ExxonMobil fuels Venter's effort to run vehicles on algae-based oil, *Science*, **2009**, 325, 379.
- [25] O' Regan B., Grätzel M. A low-cost, high-efficiency solar-cell based on dye-sensitized colloidal TiO<sub>2</sub> films, *Nature*, **1991**, 353, 737.
- [26] Balzani V., Credi A., Venturi M. Photochemical conversion of solar energy, *ChemSusChem*, **2008**, 1, 26.
- [27] Rand, D. A. J., et al. *Hydrogen Energy: Challenges and Prospects*, ed. RSC Publishing, Cambridge, **2008**.
- [28] Grätzel M. Recent advances in sensitized mesoscopic solar cells, *Accounts of Chemical Research*, **2009**, 42, 1788.
- [29] Hardin B. E., Hoke E. T., Armstrong P. B., et al. Increased light harvesting in dye-sensitized solar cells with energy relay dyes, *Nature Photonics*, **2009**, 3, 406.
- [30] Listorti A., Durrant J., Barber J. Artificial photosynthesis: solar to fuel, *Nature Materials*, **2009**, 8, 929.
- [31] Nocera, D. G. The artificial leaf, *Accounts of Chemical Research*, **2012**, 45, 767.