

Al lavoro con sole, acqua, elettroni e catalizzatori

# JAMES BARBER RACCONTA



VALENTINA MURELLI

JOH DURHAM/SCIENCE PHOTO LIBRARY



Tra combustibili fossili e nucleare si apre una terza via per provare a risolvere la questione energetica: copiare la fotosintesi, per produrre carburanti sfruttando la più grande fonte di energia che c'è.

## Il Sole.

**M**ischiare acqua e CO<sub>2</sub> (biossido di carbonio), esporre alla luce del Sole e raccogliere il risultato della reazione: zuccheri, cioè biomassa. Lo fanno da alcune centinaia di milioni di anni alghe e piante (e da due miliardi e mezzo di anni alcuni batteri) grazie alla fotosintesi, processo straordinario che permette di trasformare l'energia solare in energia chimica, producendo ossigeno (O<sub>2</sub>) come unico scarto.

Se imparassimo a farlo anche noi, avremmo risolto una volta per tutte la questione energetica mondiale: basti pensare che, grosso modo, ogni ora cade sulla Terra una quantità di energia solare pari a quella consumata nel mondo in un anno. Così, sempre più scienziati e

## BIOGRAFIA (ANOMALA) DI UNO SCIENZIATO

Nel corso della sua carriera James Barber, che al momento è a capo del gruppo di ricerca sulle strutture e i meccanismi della fotosintesi dell'Imperial College di Londra, ha accumulato cariche e posizioni di grande prestigio. Per dieci anni, dal 1989 al 1999, ha diretto il Dipartimento di biochimica dell'Imperial College ed è stato presidente dal 2007 al 2010 dell'International society for Photosynthesis Research ([www.photosynthesisresearch.org](http://www.photosynthesisresearch.org)). Inoltre è membro della Royal Society, l'accademia delle scienze britannica, e della Royal Swedish Academy of Sciences, e ha vinto diversi premi internazionali di ricerca. Eppure, il suo percorso scolastico non è stato certo dei più ortodossi. «Sono da sempre appassionato di scienza, soprattutto di biologia e scienze naturali» ha raccontato a «Linx Magazine». «Da bambino raccoglievo campioni di insetti o di piante e tenevo una sorta di quaderno scientifico, su cui annotavo i nomi di alberi e animali. Mi è sempre piaciuto anche il giardinaggio: credo sia nato lì il mio interesse per la crescita della piante e per la loro nutrizione. La mia famiglia, però, non poteva permettersi di mantenermi agli studi e così a 16 anni ho dovuto lasciare la scuola per cominciare a lavorare.» Tuttavia la passione per lo studio rimane forte e il giovane Barber trova il modo di iscriversi a un corso serale di ingegneria meccanica ed elettrica e di accedere infine all'università. «Ormai l'ingegneria era il mio settore, ma la passione per il mondo naturale mi ha spinto verso ingegneria chimica e alla fine sono riuscito a passare a chimica.» Durante il dottorato in biofisica a Leiden, in Olanda, Barber si imbatte infine, per la prima volta, nello studio delle basi chimico-fisiche della fotosintesi: una passione scientifica che coltiva senza sosta da allora.



CORTESIA GIULIA GIONCHETTA

➔ Il professore James Barber nel BioSolarLab del Politecnico di Torino (sede di Alessandria).

centri di ricerca puntano sul Sole e sulle piante, con l'obiettivo preciso di copiare la fotosintesi e ottenere non biomassa ma idrogeno (un vettore energetico) oppure carburanti da materie prime e fonti energetiche abbondanti, economiche e disponibili.

«Se può farlo una foglia, possiamo farlo anche noi: non è magia, è chimica» dice James Barber, biochimico dell'Imperial College di Londra, grande esperto di fotosintesi naturale e tra i pionieri della ricerca su quella artificiale. Proprio a lui si deve l'espressione *foglia artificiale* per indicare un dispositivo capace di produrre idrogeno a partire da acqua e luce. Il problema (per forza ce ne deve

essere uno, altrimenti lo faremmo già) è che stiamo parlando di una chimica terribilmente complicata: difficile da comprendere e ancor più da riprodurre, benché in forma semplificata. «A questo punto, però, credo proprio che non abbiamo alternative: dobbiamo continuare a provarci.» Barber è partner di un progetto di ricerca sulla fotosintesi artificiale avviato dal Dipartimento di scienze dei materiali e ingegneria chimica del Politecnico di Torino e attivo sia a Torino sia nel nuovo Biosolar Lab, inaugurato un paio di anni fa nella sede di Alessandria del politecnico stesso. Lo abbiamo incontrato proprio ad Alessandria, per fare il punto su uno dei settori di ricerca più affascinanti del momento.



## Le sfide principali per la fotosintesi artificiale sono due: sviluppare catalizzatori che siano capaci di svolgere una reazione molto complessa e che siano anche sufficientemente economici

### Professor Barber, perché tutto questo interesse per la fotosintesi?

Perché le opzioni energetiche attuali sono sempre più in crisi. Da decenni ci affidiamo quasi completamente ai combustibili fossili (petrolio, carbone, gas naturale), che altro non sono se non la biomassa prodotta nel corso di centinaia di milioni di anni dal processo di fotosintesi. Questi combustibili, però, si stanno poco a poco esaurendo e per di più sono responsabili dell'aumento della concentrazione di biossido di carbonio in atmosfera, con il conseguente effetto del riscaldamento globale. Abbiamo bisogno di alternative e sicuramente il Sole è la fonte energetica più economica e abbondante che ci sia. Ammesso di saperlo usare, come sanno fare le piante: ecco perché negli ultimi anni c'è stato un boom di ricerca nell'ambito della fotosintesi, sia naturale sia artificiale.

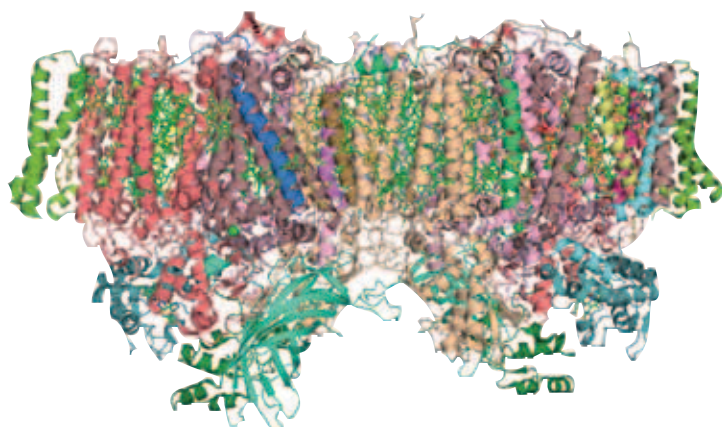
### Laboratorio per lo sviluppo di sistemi per la conversione biochimica dell'energia solare.



CORTESIA GIULIA GIONCHETTA

### Che cosa significa esattamente “copiare la fotosintesi”?

Per capirlo bisogna fare un passo indietro e vedere come funziona, a grandi linee, il processo naturale. Si comincia con l'assorbimento di luce da parte di pigmenti presenti nelle foglie: sicuramente tutti avranno sentito parlare di clorofilla, il pigmento di colore verde tipico delle piante. L'assorbimento di energia luminosa comporta l'eccitazione di un elettrone della clorofilla, che si ritrova dunque in uno stato ad alta energia, che gli permette di “guidare” una reazione di riduzione: la conversione di un composto a basso contenuto energetico, il biossido di carbonio, in un composto ad alto contenuto energetico (un carboidrato come il glucosio o, in generale, biomassa). In altre parole: l'elettrone eccitato della clorofilla trasferisce energia al  $\text{CO}_2$  che, combinandosi con protoni, dà origine a una molecola organica. È chiaro però che prendendo un elettrone eccitato dalla clorofilla, si lascia indietro un “buco positivo” (una *lacuna*), che deve essere colmato da un altro elettrone, il quale deve pur essere preso da qualche altra parte. Ebbene, questa “altra parte” è la molecola dell'acqua. Se vogliamo essere più precisi, diremo che la fotosintesi si compone di due gruppi di reazioni. Il primo gruppo (la fase luminosa) si occupa della scissione dell'acqua in ossigeno molecolare ( $\text{O}_2$ ) e ioni idrogeno ( $\text{H}^+$ ): lo fa sfruttando l'energia del Sole e grazie all'attività di un enzima piuttosto complesso chiamato fotosistema II. Il secondo gruppo di reazioni si occupa invece della riduzione di  $\text{CO}_2$  in un carboidrato, sempre con l'aiuto di catalizzatori specifici. Ebbene, gli scienziati stanno cercando di riprodurre in laboratorio questi due processi.



**Struttura molecolare del fotosistema II caratterizzata dal professore Barber.**



**VALENTINA MURELLI** è giornalista ed editor scientifica freelance. Oltre che con Linx Edizioni, collabora con varie case editrici e testate, tra cui "L'Espresso", "OggiScienza", "Le Scienze", "Mente & Cervello" e "Meridiani".

## If a leaf can do it, we can do it. It's not magic, it's chemistry!

### Può darci qualche dettaglio in più?

Il nodo di tutta la questione è ottenere in laboratorio catalizzatori che permettano di riprodurre i due gruppi di reazione che avvengono nelle foglie. In tutto il mondo, l'attenzione dei ricercatori si concentra in particolare sulla reazione di scissione dell'acqua, che permetterebbe di produrre idrogeno sfruttando soltanto energia luminosa. È proprio a questo processo che in genere si dà il nome di *fotosintesi artificiale*. Il primo passo, naturalmente, è cercare di sapere il più possibile sull'attività e la struttura dei catalizzatori naturali: per quanto mi riguarda, con i miei gruppi di ricerca, a Londra e qui ad Alessandria, mi occupo soprattutto del fotosistema II, un enzima piuttosto complesso, costituito da più di 20 subunità proteiche e da pigmenti fotosintetici. Nel 2004 siamo riusciti a descriverne in dettaglio la struttura molecolare attraverso la tecnica della cristallografia ai raggi X, scoprendo che il suo centro catalitico è costituito da un nucleo di ioni manganese e calcio. Il secondo passo, invece, è tentare di riprodurre in laboratorio un centro catalitico simile. In generale, direi che le sfide principali al momento sono due: sviluppare catalizzatori che siano capaci di svolgere una reazione molto complessa (teniamo conto che le reazioni della fotosintesi sono multielettroniche, coinvolgono molti elettroni alla volta e questo complica le cose) e che siano anche sufficientemente economici. Fuori da un laboratorio non serve a nulla avere dispositivi che funzionano, ma sono troppo costosi, perché non potranno essere utilizzati su scala industriale.

**In effetti già nel 1998 l'americano John Turner era riuscito nell'impresa, sviluppando un dispositivo che produceva ossigeno e idrogeno con un'efficienza altissima, ma anche con costi assolutamente proibitivi. Oggi a che punto siamo?**

Si stanno facendo grandi passi in avanti, lavorando su differenti materiali. A Torino, per esempio, abbiamo sviluppato una "gabbia" di fosfato di alluminio in cui sono inseriti manganese e cobalto. Daniel Nocera del Massachusetts Institute of Technology di Boston, uno dei ricercatori più attivi

### **👉 Piante in laboratorio per "copiare la fotosintesi".**



CORTESIA GIULIA GIONCHETTA



## NUOVE STRATEGIE PER CATTURARE LA LUCE

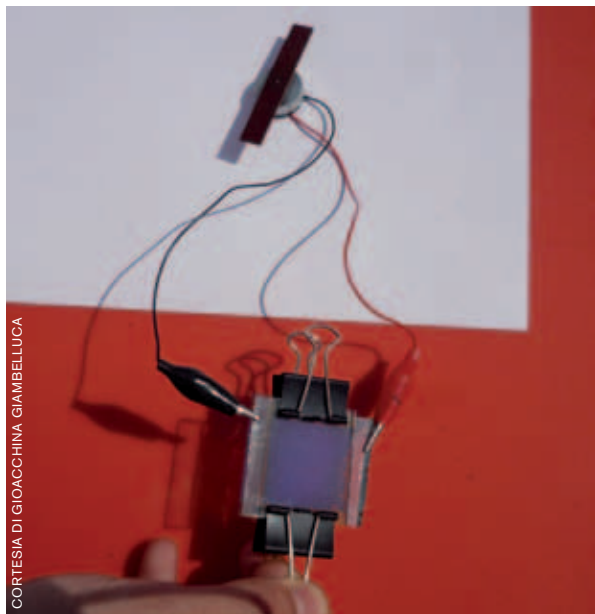
Anche se non siamo ancora in grado di convertire l'energia solare in energia chimica come fanno le foglie, abbiamo già imparato a sfruttare almeno in parte l'energia del Sole. Come?

Naturalmente attraverso le celle solari fotovoltaiche, dispositivi che permettono di convertire l'energia luminosa in energia elettrica. Fondamentale, in questo caso, è la disponibilità di materiali in grado di assorbire in modo efficiente la luce solare e di trasferire le cariche elettriche che si generano durante il processo. Le prestazioni migliori in questo senso sono state ottenute finora attraverso film in silicio, che hanno però un notevole limite: un costo elevatissimo. Per questo, si stanno cercando in tutto il mondo soluzioni alternative. Un esempio di un certo successo è rappresentato dalle celle solari Dsc (dye-sensitized cells) del chimico tedesco Michal Grätzel, premiate nel 2010 con il Millennium Technology Prize, una sorta di Nobel per la tecnologia. Al posto del silicio, queste celle utilizzano un pigmento naturale (come la clorofilla oppure coloranti che si possono estrarre dai frutti di bosco) che, eccitato dalla luce, rilascia cariche elettriche raccolte da una superficie in biossido di titanio.

Altri ricercatori, in centri di ricerca pubblici ma anche in compagnie private, stanno lavorando su celle polimeriche organiche oppure sull'utilizzo dei cosiddetti concentratori solari: molecole organiche fluorescenti, come le porfirine, che possono concentrare la luce rendendo l'assorbimento energetico da parte del tradizionale silicio ancora più efficiente.

Il fermento è tale da coinvolgere nella ricerca i più diversi settori della chimica e della fisica, compresa la fisica quantistica. Nel 2007, infatti, il chimico Graham Fleming dell'Università di Berkeley, in California, ha scoperto in alcuni batteri fotosintetici che l'assorbimento delle particelle di energia luminosa, i fotoni, non avviene secondo le leggi classiche della fisica, ma in base a un fenomeno chiamato *coerenza quantistica*. In pratica,

il processo è reso più efficiente dal fatto che ogni singolo fotone in arrivo non viene assorbito da un solo pigmento, ma contemporaneamente da tutti i pigmenti dei centri fotosintetici. Diversi gruppi di ricerca sono al lavoro per cercare di capire quali parametri regolano un sistema coerente di questo tipo; il tutto con l'obiettivo di arrivare a costruire un sistema artificiale che abbia le stesse caratteristiche.



CORTESIA DI GIOACCHINA GIAMBELLUCA

⬆ Cella solare fotovoltaica di Grätzel.

del settore, ha appena pubblicato su "Science" un articolo in cui descrive un dispositivo che sembra piuttosto efficiente e relativamente economico. È in pratica una cella solare in silicio (un semiconduttore), abbinata a un catalizzatore a base di cobalto e sali di boro: basta immergerla in una vaschetta d'acqua, esporla alla luce del Sole e presto si osserva un flusso di bollicine: ossigeno su un lato della cella, idrogeno sull'altro.

### Che cosa ci può dire invece del secondo gruppo di reazioni della fotosintesi, quello in cui si combinano CO<sub>2</sub> e idrogeno per dare carboidrati?

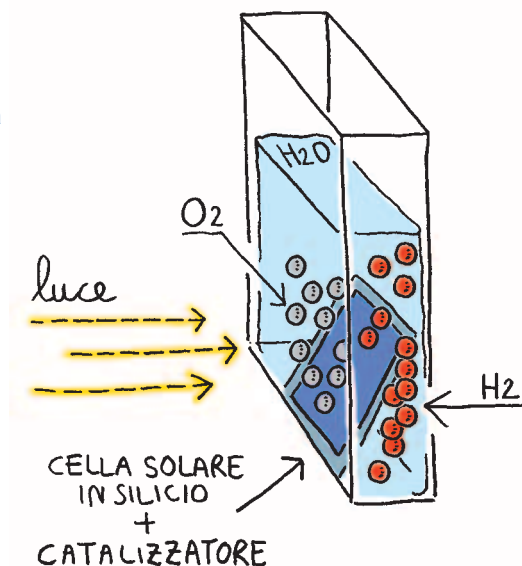
Al momento è un settore meno vivace del precedente, anche se non mancano laboratori che ci lavorano. Del resto anche in questo caso l'interesse è enorme: reazioni di questo tipo ci permetterebbero infatti di produrre direttamente carburanti, visto che potremmo "dirottare" la reazione

in modo da ottenere metano o metanolo al posto di zuccheri. Per di più, lo faremmo consumando CO<sub>2</sub>, proprio quella molecola che vorremmo allontanare dall'atmosfera.

### Secondo lei riusciremo davvero a copiare la foglia e ad ottenere energia in questo modo?

Non è facile rispondere a questa domanda. Però mi vengono spontanee due considerazioni: la prima è che si stanno ottenendo risultati molto significativi, come quello di Nocera. La seconda è che spesso accadono cose ritenute impensabili fino a poco tempo prima. Solo 15 o 20 anni fa chi avrebbe potuto immaginare gli avanzamenti impressionanti che ci sono stati nel campo della microelettronica o del Web? Chi avrebbe potuto immaginare che oggi avremmo avuto gli smartphone e le televisioni a schermo piatto? Il fatto che

⬆ La cella solare di Daniel Nocera del MIT di Boston.





**Il fatto che oggi un obiettivo ci sembri molto difficile, se non impossibile, da raggiungere non significa che lo sia davvero: spesso accadono cose ritenute impensabili fino a poco tempo prima**

## UN VIRUS PER LA FOTOSINTESI

Se la fotosintesi è un processo così efficiente – al punto da aver reso possibile la vita sulla Terra come la conosciamo oggi – il merito è anche della grande precisione con cui avvengono le reazioni, a sua volta resa possibile da un'ordinatissima disposizione spaziale delle molecole che vi prendono parte, tale da ottimizzare il percorso di elettroni e protoni. Proprio questa particolare disposizione spaziale, però, è una delle caratteristiche più difficili da ottenere nell'ambito di dispositivi di fotosintesi artificiale.

Alcuni mesi fa, l'équipe di Angela Belcher del Massachusetts Institute of Technology di Boston ha proposto un sistema decisamente originale per provare a risolvere il problema: un sistema addirittura basato su virus e in particolare su batteriofagi, virus parassiti di batteri. I virus in questione sono stati ingegnerizzati in modo da assemblare e accogliere sulla propria superficie sia molecole di pigmenti in grado di catturare la luce solare sia un ossido metallico (ossido di iridio) che funziona come catalizzatore per la reazione di scissione dell'acqua. In questo modo, pigmenti e catalizzatori si trovano alla giusta distanza gli uni dagli altri e la reazione di scissione dell'acqua mediata dall'energia solare avviene in modo piuttosto efficiente. Il sistema è ancora da ottimizzare (a partire dal fatto che va trovata un'alternativa economica al costosissimo ossido di iridio), ma promette bene.

oggi un obiettivo ci sembri molto difficile, se non impossibile, da raggiungere non significa che lo sia davvero. Quarant'anni fa, quando ho cominciato a studiare la fotosintesi durante il mio dottorato in biofisica all'Università di Leiden, si sapeva poco o nulla degli aspetti fisico-chimici del processo naturale: come facevamo a pensare anche solo all'ipotesi di una foglia artificiale? Oggi, invece, grazie a tutti i risultati ottenuti, siamo nelle condizioni di provare a sviluppare nuove tecnologie basate su quei meccanismi.

### Ovviamente è anche una questione di investimenti...

Certo! Ma anche in questo senso qualcosa si sta muovendo, specialmente negli Stati Uniti. Il Doe, il Dipartimento dell'energia americano, ha di recente voluto e finanziato (con 122 milioni di dollari per cinque anni) un centro tutto dedicato alla fotosintesi artificiale: il Joint Center for Artificial Photosynthesis, con sede in California. Nato dallo sforzo congiunto del California Institute of Technology e del Lawrence Livermore National Laboratory di Berkeley, riunisce al momento oltre 200 tra scienziati e ingegneri di università e centri di ricerca dello stato. E mi piace ricordare che a capo del Doe c'è il fisico (anzi, premio Nobel per la fisica) Steven Chu, che non ha mai nascosto simpatie per il nucleare. In Europa siamo un po' più indietro, ma esperienze come quella di Torino ci fanno capire che lentamente si sta provando a cambiare anche qui. La sfida è eccitante anche



CORTESIA: SADATO GRI

**È possibile sviluppare una foglia "artificiale"?**

dal punto di vista dell'impresa scientifica. Per arrivare alla foglia artificiale non basterà il lavoro di pochi, ci vorrà un immenso sforzo di collaborazione di competenze differenti: chimici, ingegneri, fisici e biologi. ➔



### PER APPROFONDIRE

- D.L. Chandler, "Artificial leaf" makes fuel from sunlight, MIT press release, 30 september 2011. <http://web.mit.edu/newsoffice/2011/artificial-leaf-0930.html>
- P. Scudo, *Le sfide del solare*, in "Linx Magazine", 2011, vol. 8, pp. 24-29.



**MULTIMEDIA**  
<http://linxedizioni.it>

