

LA FOTOSINTESI E LA PROFEZIA DI GIACOMO CIAMICIAN

GIACOMO CIAMICIAN, PROFESSORE ALL'UNIVERSITÀ AGLI INIZI DEL NOVECENTO, IMMAGINAVA IL RICORSO ALL'ENERGIA SOLARE PER COMPENSARE L'ESAURIMENTO DELLE FONTI FOSSILI. LA RICERCA SULLA FOTOSINTESI ARTIFICIALE PER PRODURRE E USARE IDROGENO A COSTI ACCETTABILI È UNA DELLE SFIDE DEL FUTURO.

La fotosintesi naturale

La fotosintesi naturale è un processo che avviene nelle piante: la luce del sole assorbita dalle molecole di clorofilla trasforma sostanze a basso contenuto energetico (acqua e anidride carbonica) in sostanze ad alto contenuto energetico (ossigeno e carboidrati):



La fotosintesi naturale, oltre a mantenere la vita sulla Terra, è anche il processo che indirettamente ci ha regalato i giacimenti dei combustibili fossili (carbone, petrolio e gas naturale). Queste sostanze infatti si sono formate nel sottosuolo in seguito alla trasformazione di organismi vegetali e animali, mediante processi chimici molto complessi avvenuti nel corso di centinaia di milioni di anni. La fotosintesi naturale continua ancora oggi a produrre combustibili fossili, ma lo fa a un ritmo molto più lento di quello con cui li consumiamo.

Il processo fotosintetico naturale è estremamente complesso, ma il suo meccanismo è stato in gran parte compreso grazie agli studi compiuti negli ultimi decenni. I primi eventi del processo sono i seguenti:

- 1 - la luce è assorbita dalle foglie mediante un sistema organizzato di molecole di clorofilla, che passano così a uno stato elettronico eccitato
- 2 - l'energia elettronica è convogliata, così come avviene in un'antenna, su un sito specifico detto "centro di reazione"
- 3 - in questo sito l'energia è utilizzata, in tempi estremamente brevi (dell'ordine del picosecondo, 10^{-12} s), per trasferire un elettrone da una molecola a un'altra molecola vicina; si tratta di una reazione di separazione di carica, che porta alla formazione di una molecola ossidata (+) e di una molecola ridotta (-).

A questa reazione fanno seguito altre reazioni di trasferimento elettronico fra molecole contigue che allontanano



sempre più la carica positiva da quella negativa. Una serie di processi molto complessi porta poi ai prodotti finali: dal lato della carica positiva viene coinvolta acqua e prodotto ossigeno; dal lato della carica negativa è coinvolta anidride carbonica dalla quale si ottengono carboidrati e altri composti. Le molecole che costituiscono l'antenna e il centro di reazione non subiscono modifiche permanenti, ma semplicemente assorbono la luce solare e utilizzano la sua energia. Il processo di fotosintesi naturale avviene grazie a una precisa *organizzazione molecolare*, frutto di miliardi di anni di evoluzione: *organizzazione spaziale* (giuste distanze fra le varie molecole coinvolte nel processo), *temporale* (alcune reazioni devono essere molto più veloci di altre e devono avvenire in tempi estremamente brevi) ed *energetica* (ogni stadio del processo può avvenire utilizzando soltanto una parte dell'energia fornita dalla luce solare).

La profezia di Giacomo Ciamician

Agli inizi del secolo scorso, quando il petrolio e il gas naturale non erano ancora entrati nell'uso comune, lo sviluppo industriale e civile era basato essenzialmente sul consumo di enormi quantità di carbone, con gravi problemi di

inquinamento atmosferico.

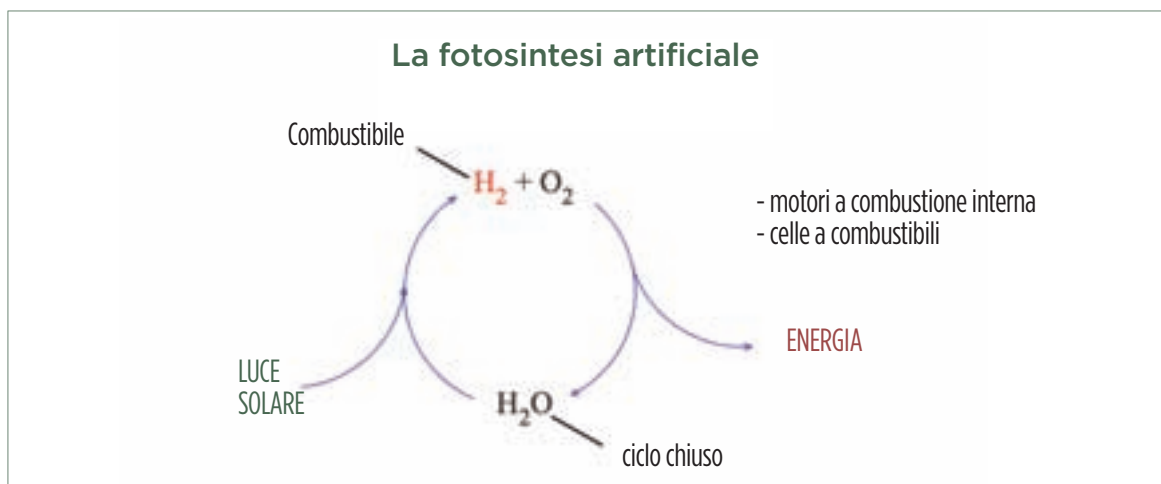
Già allora qualche scienziato si chiedeva perché mai l'uomo, per soddisfare il suo bisogno sempre crescente di energia, dovesse far ricorso alla "sporca energia solare fossile" e non alla energia pulita e abbondante che arriva con continuità dal Sole. Tra questi scienziati ha avuto un ruolo importante Giacomo Ciamician, professore all'università di Bologna dove oggi il dipartimento di Chimica porta il suo nome.

Affascinato dalla capacità con cui le piante sanno usare la luce solare, Ciamician preconizzò il giorno in cui l'uomo avrebbe carpito il loro segreto e l'avrebbe sfruttato per produrre artificialmente combustibili, così che "... se giungerà in un lontano avvenire il momento in cui il carbone fossile sarà esaurito, non per questo la civiltà avrà fine: perché la vita e la civiltà dureranno finché splende il Sole". Se a "carbone fossile" sostituiamo "combustibili fossili", il ragionamento di Ciamician è del tutto attuale.

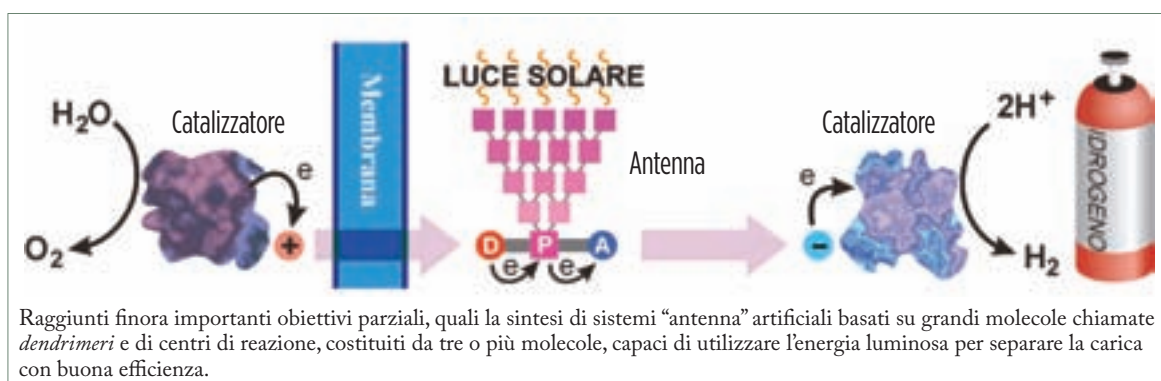
Il segreto della fotosintesi naturale è ormai stato carpito dalla scienza, che però non è ancora riuscita a utilizzarlo per produrre combustibili artificiali mediante la conversione diretta dell'energia solare (fotosintesi artificiale). La realizzazione del sogno di Ciamician è oggi una delle sfide più importanti che l'umanità ha

FIG. 1
 FOTOSINTESI
 ARTIFICIALE

Si parte da acqua, molecola inerte a basso contenuto energetico; "iniettando" in essa energia sotto forma di luce solare si ottiene la separazione in idrogeno (combustibile) e ossigeno (comburente).


 FIG. 2
 ENERGIA
 DALL'IDROGENO

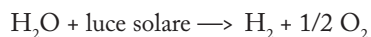
I primi risultati delle ricerche per arrivare al ciclo chiuso e "virtuoso".



di fronte per cercare di uscire dalla crisi energetica e climatica.

La fotosintesi artificiale

La ricerca sulla fotosintesi artificiale mira alla produzione di combustibili mediante l'uso della luce solare partendo da sostanze molto diffuse come l'acqua o l'anidride carbonica. L'acqua deve essere scissa con un processo fotochimico in idrogeno e ossigeno, secondo questo schema:



L'anidride carbonica deve invece essere ridotta a metanolo, con la concomitante generazione di ossigeno. Ma poiché quest'ultimo processo è molto complicato già sulla carta, tutta l'attenzione dei ricercatori è concentrata sulla scissione dell'acqua in idrogeno e ossigeno. Questo risultato permetterebbe di mettere in atto un ciclo chiuso per la produzione di energia, senza produzione di sostanze dannose.

Si parte, infatti, da acqua, una molecola inerte a basso contenuto energetico (e proprio perciò abbondantissima sulla Terra), e "iniettando" in essa energia sotto forma di luce solare si ottiene

la separazione dei due componenti, idrogeno (combustibile) e ossigeno (comburente), come schematizzato nella *figura 1*. Quando questi due componenti vengono ricombinati in un processo di combustione o in una cella a combustibile producono energia termica o elettrica formando, come unico prodotto, acqua. Perché la scissione fotochimica dell'acqua avvenga è però necessario l'intervento di sostanze capaci di assorbire la luce solare e di catalizzare alcune delle reazioni coinvolte, ruoli che nella fotosintesi naturale sono svolti dalla clorofilla e da alcuni enzimi.

Le ricerche sulla fotosintesi artificiale hanno permesso di raggiungere finora importanti obiettivi parziali, quali la sintesi di sistemi "antenna" artificiali basati su grandi molecole chiamate *dendrimeri* e di centri di reazione costituiti da tre o più molecole fra loro collegate, capaci di utilizzare l'energia luminosa per separare la carica con buona efficienza (*figura 2*). Il problema più difficile, sul quale si concentrano oggi gli studi, è quello di trovare catalizzatori multielettronici capaci di accoppiare l'atto fotochimico primario – nel quale il fotone assorbito provoca la separazione di carica – alla generazione di idrogeno e ossigeno dall'acqua, processi che richiedono il trasferimento di due

e, rispettivamente, quattro cariche elettriche.

I catalizzatori migliori, sebbene non ancora soddisfacenti, sono platino colloidale, per l'evoluzione di idrogeno, e ossido di rutenio colloidale per l'evoluzione di ossigeno. Si tratta di metalli rari e molto costosi, ma recentissime ricerche sembrano aver dimostrato che si possano usare anche metalli meno costosi come cobalto e ioni fosfato.

Se si riuscirà a ottenere la scissione fotochimica dell'acqua a costi contenuti, l'economia basata sull'idrogeno, della quale tanto già si parla, spesso a sproposito, potrà compiere un decisivo passo in avanti.

Vincenzo Balzani

Dipartimento di Chimica "G. Ciamician",
 Facoltà di Scienze matematiche, fisiche e naturali,
 Università di Bologna

NOTE

Per saperne di più:
 N. Armaroli, V. Balzani, *Energy for a Sustainable World. From the Oil Age to a Sun-Powered Future*, Wiley-VCH, 2011.