

Energia solare e fotosintesi: funzionamento, efficienza ed utilizzazioni.

Di Giorgio Forti

Il problema dell'utilizzazione dell'energia solare per soddisfare i crescenti bisogni delle attività industriali e dei trasporti porta a riflettere sul come il Sole dà energia a tutti i viventi che "hanno imparato" ad adoperare questa fonte inesauribile, da quasi tre miliardi di anni, con la fotosintesi. La fotosintesi converte l'energia della luce solare in energia di legami chimici della materia vivente; essa avviene nelle piante verdi e nei cianobatteri (microrganismi acquatici). Piante verdi e cianobatteri utilizzano la regione "visibile" delle radiazioni luminose, cioè quella che i nostri occhi vedono, ed è la maggior parte dell'energia solare che arriva sulla Terra.

La fotosintesi adopera come "materia prima" l'anidride carbonica (CO_2) e l'acqua (H_2O), la sostanza più abbondante sulla superficie della Terra, per farne zuccheri (sostanze fatte di C, H e O) utilizzando la luce del Sole come fonte di energia per compiere questo enorme lavoro di sintesi chimica. L'altro prodotto è l'ossigeno (O_2). Dagli zuccheri vengono sintetizzate tutte le altre sostanze di cui sono fatte le piante, che prelevano tutti gli altri elementi necessari dal terreno o dall'acqua in cui vivono. La fotosintesi trasforma in "materia vivente" circa 200 miliardi di tonnellate di carbonio all'anno, sia sulle terre emerse che nelle acque. Dagli organismi fotosintetici le sostanze organiche vanno a nutrire, attraverso la catena alimentare, tutti gli altri viventi. Considerando la nostra specie, utilizziamo *direttamente* per la nostra alimentazione solo un piccolo numero di specie vegetali, di cui cinque costituiscono circa l'85% di quello che mangiamo: riso, grano, mais, orzo e avena. Un centinaio di altre specie, tra alberi da frutto e ortaggi, hanno importanza diretta per l'alimentazione umana. Siccome mangiamo anche carne e pesce, un numero limitato di specie di foraggiere sono importanti previa trasformazione in carne, latte e derivati. E alghe marine e d'acqua dolce, che alimentano i pesci di cui l'Uomo si nutre. L'industria del legno, con i suoi molteplici usi, rappresenta una utilizzazione della fotosintesi quantitativamente importante.

Le spoglie di piante ed animali cadute a terra e sul fondo degli oceani vengono convertite, da processi microbici e chimici in petrolio, carbone e gas naturali. Oggi vengono utilizzati come combustibili quelli che sono stati prodotti da questi processi in centinaia di milioni di anni: sono una quantità enorme, ma si stanno esaurendo per lo smodato consumo che le attività industriali dell'Uomo ne fanno.

Per capire come funziona la fotosintesi è necessario considerare che la luce consiste in *radiazioni elettromagnetiche*, la cui energia è proporzionale alla loro *frequenza* (il numero di oscillazioni al secondo degli oscillatori elettrici che le generano). D'altra parte, le molecole di cui è fatta la materia sono composte di atomi (anch'essi oscillatori elettrici) legati tra loro dai legami chimici, ed hanno definiti livelli di energia, come quelli delle "particelle di luce", i fotoni o "quanti" di energia. Se una molecola ad un certo livello iniziale di energia ("*stato fondamentale*") è investita da una radiazione di una certa energia, questa quantità di energia può "incorporarsi" nella molecola se corrisponde alla differenza tra due stati energetici di questa. In tal modo, la radiazione scompare come tale e la molecola è "arricchita" di energia, cioè è passata ad un livello superiore di energia, detto "*stato eccitato*".

La fotosintesi utilizza lo stato eccitato delle clorofille per trasformare CO_2 ed H_2O in zuccheri. Il processo comprende varie fasi: prima l'assorbimento della luce da parte delle clorofille, che passano così allo "stato eccitato". Le clorofille sono organizzate in complessi di 250-300 molecole legate insieme a costituire una "antenna". L'energia di eccitazione viene trasferita tra le molecole dell'antenna ed infine arriva ad una particolare molecola di clorofilla detta centro di reazione (CR), che inizia la sequenza delle reazioni chimiche: lo "stato eccitato" trasferisce un elettrone ad una sostanza che fa da "accettore", e lo recupera poi da un'altra che fa da "donatore": è questa la *reazione fotochimica primaria*, in cui l'energia della luce è trasformata in energia di molecole, cioè energia chimica. Dopo una lunga sequenza di reazioni, l'accettore finale è la CO_2 ed il donatore finale è l' H_2O . I prodotti finali sono uno zucchero e l' O_2 . Questo lavoro di sintesi è un lavoro

elettrochimico equivalente a 114 kcalorie/ grammimolecola (= 44g) di CO₂ trasformata in zucchero a spese dell'energia solare.

Tutto questo avviene nei cloroplasti, i “granuli” verdi delle cellule delle foglie. Senza entrare in dettagli, è importante ricordare che la prima reazione della clorofilla allo stato eccitato avviene in pochi millesimi di miliardesimo di secondo, ed ha una efficienza altissima: da 92-94% a 98-99% dei fotoni che arrivano al CR sono utilizzati per la “reazione fotochimica primaria”.

Tutte le reazioni successive avvengono con perdita di energia, come qualsiasi altra trasformazione di qualsiasi tipo, e sono molto più lente: la trasformazione in zucchero della CO₂ richiede tempi da 20 a 50 millisecondi ed avviene convertendo in energia di legami chimici il 22.4% dell'energia dei fotoni assorbiti. Questo solo in condizioni ottimali, il che raramente si realizza in natura. Il rendimento in “biomassa” è, nelle piante più produttive, di circa il 2% dell'energia luminosa assorbita dalle foglie. La ragione di questo è che la crescita delle piante richiede molte altre funzioni oltre alla fotosintesi, e tutte consumano energia: la funzione più esigente di energia è la sintesi delle proteine, le molecole “effettatrici” di tutte le funzioni biologiche.

Le celle per la conversione fotovoltaica della luce solare direttamente in energia elettrica hanno oggi efficienze del 40-45% (quelle commerciali già in uso di circa 15% circa). Tutte le attività umane consumano oggi circa 2 decimillesimi dell'energia portata sulla Terra dalla luce solare, ed il 13% di quella utilizzata dalla fotosintesi. E' dunque evidente che ricoprendo di celle fotovoltaiche una parte trascurabile della superficie terrestre si possono risolvere tutti i problemi energetici dell'industria e dei trasporti, anche se la luce del sole è intermittente, con l'alternanza di/notte, ed è variabile nelle stagioni. Ci sono infatti vari modi di conservare l'energia elettrica. La tecnologia è oggi nota e può esser migliorata, e le fotocelle sono stabili, di lunga durata.

Le ragioni per cui non si procede velocemente verso il solare sono evidentemente di natura politica, legate alla struttura politico-economica del mondo: basti pensare alle dimensioni astronomiche del fatturato del petrolio greggio e dei suoi derivati.

Fotosintesi, respirazione e crescita

La fotosintesi, oltre a fornire direttamente o indirettamente il cibo a tutti i viventi, produce l'ossigeno indispensabile per utilizzare quel cibo nel processo della *respirazione cellulare*. La respirazione, che avviene in ogni cellula di animali, piante e microrganismi, richiede l'ossigeno: dal punto di vista energetico essa rappresenta l'inverso della fotosintesi. Infatti essa degrada qualsiasi sostanza organica, “bruciandola” con l'ossigeno in modo che si riforma l'acqua, e si libera il carbonio come CO₂ nell'atmosfera. Una frazione dell'energia perduta in questo processo viene conservata in un particolare legame chimico, che viene poi utilizzato per fornire energia a tutte le sintesi delle molecole di cui sono fatti i viventi, ed al loro lavoro muscolare.

Importanza ecologica della fotosintesi.

La fotosintesi rende dunque possibile la vita fornendo cibo e ossigeno, e sottraendo CO₂ dall'atmosfera. Essa mantiene costante il contenuto in CO₂ (0,036%) ed in O₂ (21%) dell'atmosfera della Terra, controbilanciando la respirazione di tutti gli organismi viventi e le fermentazioni, e tutti i processi naturali di combustione che producono CO₂ e consumano O₂.

Nei recenti decenni, la produzione della CO₂ è molto aumentata a causa delle attività umane, che la producono bruciando i combustibili fossili (petrolio, carbone e gas naturali) accumulati in centinaia di milioni di anni, e la fotosintesi non è in grado di controbilanciare questa nuova fonte di CO₂, tanto più che la superficie terrestre ricoperta da piante verdi è diminuita di molto, sempre a causa delle attività umane. Questo ha fatto sì che la CO₂ sia aumentata nell'atmosfera negli ultimi decenni: da 0,030% nel 1900 all'attuale 0,036% (nel 2005), e questo incremento continua. Siccome la CO₂ assorbe la radiazione infrarossa (calore) emessa o riflessa dalla Terra verso lo spazio esterno, il suo aumento provoca l'aumento della temperatura nella nostra atmosfera (effetto serra). L'aumento della CO₂ nell'atmosfera è uno dei fattori, non certo l'unico, che impedisce di irradiare il calore dalla Terra nello spazio interstellare: una conseguenza è l'aumento della temperatura del nostro pianeta. Il processo è autocatalitico: provoca la fusione dei ghiacci polari, quindi la

scomparsa delle superfici bianche che riflettono la luce del Sole, sostituite dall'acqua degli oceani, che riflette molto meno. Le conseguenze per il clima della Terra sono, come noto, molto gravi.

Fotosintesi, crescita delle piante e loro utilizzazione.

Recentemente, nella affannata ricerca di fonti alternative di energia alcuni hanno avuto l'idea di utilizzare direttamente i prodotti della fotosintesi (piante o parti di esse, convertite per fermentazione in etanolo) per far funzionare i motori, con l'intenzione di risparmiare combustibili fossili ed eliminare così l'aumento della CO₂ nell'atmosfera. Un breve calcolo che ogni coltivatore sa fare dice quanto assurdo sia tale progetto: se un ettaro di mais produce 100qli di semi (la media italiana degli ultimi anni; negli USA è parecchio inferiore), dai semi si ricavano, dopo averli trasportati e macinati ed aggiungendo acqua e lievito, 63,87 hl di etanolo/ha. Per utilizzarlo come "biocarburante" occorre poi distillarlo (e quindi consumare energia), perché il lievito lo produce al massimo intorno al 15% in acqua. I 28 milioni circa di automobili che circolano in Italia, se consumano 1000 litri di carburante all'anno ciascuna, consumano in totale 28 miliardi di litri all'anno. Quindi occorrono 43820 chilometri quadrati coltivati a mais, che producano 100qli/ettaro, per fare andare le sole automobili; senza contare i camion, che sono oltre tre milioni e probabilmente consumano altrettanto. L'Italia è solo 310000 km², comprese le montagne, i laghi e fiumi, città, paesi e strade: quindi il 27% della superficie totale dovrebbe essere coltivata solo per far andare le automobili ed i camion! Il resto della pianta di mais, radici fusto e foglie, è di peso circa uguale a quello dei semi, ma convertirlo in etanolo costerebbe assai caro, perchè richiederebbe, oltre al trasporto, l'aggiunta di tutta una serie di enzimi e trattamenti. La barbabietola da zucchero, anche con raccolto ottimo di 500qli/ha ed il 12% di zucchero, rende di meno (49,83 hl/ha di etanolo), come si può verificare rifacendo il calcolo. La canna da zucchero rende un po' di più. Il progetto è dunque assurdo. Di fatto, i biocarburanti sono prodotti, detassati e sovvenzionati, in pochi paesi che adoperano mano d'opera in condizioni di semischiavitù in America Latina, Africa ed Asia. L'introduzione di questo tipo di "agricoltura" ha già provocato il raddoppio del prezzo del mais nel Messico, dove esso costituisce la base dell'alimentazione della grande maggioranza degli abitanti.

La fotosintesi è nata e si è evoluta come processo biologico, in armonia con la vita degli organismi viventi e con la sua scala dei tempi, ed è essenziale per mantenere l'equilibrio ecologico del pianeta; *ma è inadatta a soddisfare le esigenze di energia delle attività industriali dell'Uomo*, che hanno ben diverse scale dei tempi: un bambino ci mette vent'anni a diventare adulto, mentre un'automobile è costruita in minuti, una colata d'acciaio di molte tonnellate avviene in minuti, e questi due processi industriali consumano molte volte più energia che la crescita del bambino o di qualsiasi altro organismo vivente. L'utilizzazione dell'energia solare con il sistema fotovoltaico sembra invece il metodo definitivo per risolvere i problemi energetici di industria e trasporti.