

Fabio Olmi

✉ fabio.olmi@gmail.com

# Elogio della fotosintesi

*La cattura del CO<sub>2</sub> e la liberazione di O<sub>2</sub> da parte delle piante*

Questo contributo riprende una parte di un precedente testo: F. Olmi, *La sfida del secolo. La transizione ecologica contro il riscaldamento globale*, Aracne, 2022

## 1. Introduzione

Tutti sanno che una pianta cattura diossido di carbonio<sup>1</sup> e libera ossigeno (Figura 1). Ma le piante hanno tutte la stessa capacità di catturare CO<sub>2</sub>? La ricerca ha trovato che ci sono 10 tipi di piante particolarmente capaci di assorbire CO<sub>2</sub> e la figura 2 mostra le prime 10 piante che hanno la più elevata capacità di mitigazione della quantità di diossido di carbonio nell'atmosfera. Si tratta dell'acero riccio, la betulla verrucosa, il cerro, la ginco, il tiglio nostrano, il bagolaro, il tiglio selvatico, l'olmo comune, il frassino comune e l'ontano nero: sono capaci di catturare da 3,8 a 2,6 tonnellate di CO<sub>2</sub> in 20 anni. Vale la pena ricordare che le piante sono in grado anche di abbattere in misura diversa le polveri sottili PM10.<sup>2</sup> La pianta ha, ovviamente, come tutti gli esseri viventi, una sua respirazione in cui assume ossigeno ed elimina CO<sub>2</sub>.<sup>3</sup>

Mentre la fotosintesi per avvenire necessita della luce solare, la respirazione si compie sia di giorno che di notte. Precisando: le piante hanno un *ciclo fotosintetico riduttivo* di sintesi del glucosio e dei derivati polisaccaridi (amido) solo alla luce solare e nel periodo vegetativo e un *ciclo ossidativo di respirazione cellulare* con formazione di CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O continuo. "Il bilancio

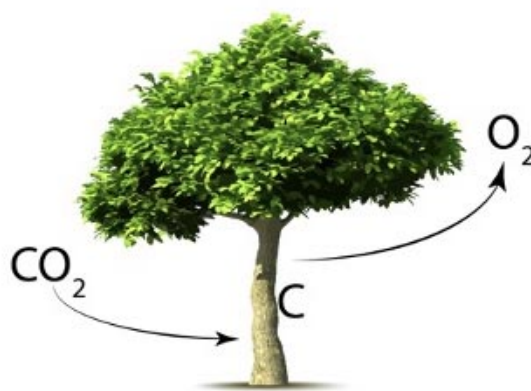


Fig. 1. Le piante assorbono CO<sub>2</sub> ed emettono O<sub>2</sub>

*complessivo dei flussi di ossigeno e diossido di carbonio da e verso l'ambiente esterno è comunque a netto favore della fotosintesi, ovvero la pianta [nell'insieme del suo metabolismo] si comporta come un pozzo (assorbitore) di accumulazione di carbonio e, viceversa una "sorgente" di ossigeno.*"<sup>4</sup> In altre parole, nonostante la respirazione avvenga di continuo la quantità di O<sub>2</sub> che la pianta consuma per questo processo vitale è nettamente più bassa di quella prodotta nella fase diurna dalla fotosintesi.

## 2. Gli scambi gassosi di una pianta: CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>

Singolarmente una pianta di medie dimensioni, che ha raggiunto la propria maturità e che vegeta in un clima temperato in un contesto cittadino, quindi stressante, assorbe mediamente tra i 10 e i 20 chilogrammi di CO<sub>2</sub> l'anno. Se collocata in un bosco, un contesto più naturale, una pianta può assorbire tra i 20 e i 50 chilogrammi di CO<sub>2</sub> l'anno.<sup>5</sup> Quando si fanno riferimenti alla capacità di catturare CO<sub>2</sub> dal-

<sup>1</sup> Va superata l'obsoleta definizione di anidride carbonica per il CO<sub>2</sub>.

<sup>2</sup> <https://ecobnb.it/blog/2019/03/alberi-anti-smog/>

<sup>3</sup> Inoltre, la pianta compie un continuo assorbimento di acqua e sali minerali dal terreno: sono le molecole d'acqua che traspirano dalla foglia che determinano una corrente ascensionale della linfa dello xilema dal momento che queste molecole d'acqua legate tra loro (dai legami ad idrogeno) senza soluzione di continuità dai peli radicali delle radici l'aspirano fino alla foglia (evapotraspirazione).

<sup>4</sup> <http://www.idroponica.it/>

<sup>5</sup> <https://blog.ecolstudio.com/emissioni-co2-assorbimento-alberi/>

Top ten	Specie	CO <sub>2</sub> catturata (tonnellate in 20 anni)	Capacità anti inquinanti gassosi	Capacità anti polveri	Capacità totale di mitigazione
1	Acerò riccio ( <i>Acer plantanoides</i> )	3,8	Alta	Media	Ottima
2	Betulla verrucosa ( <i>Betula pendula</i> )	3,1	Alta	Media	Ottima
3	Cerro ( <i>Quercus cerris</i> )	3,1	Alta	Media	Ottima
4	Ginkgo ( <i>Ginkgo biloba</i> )	2,8	Alta	Alta	Ottima
5	Tiglio nostrano ( <i>Tilia platyphyllos</i> )	2,8	Alta	Alta	Ottima
6	Bagolaro ( <i>Celtis australis</i> )	2,8	Alta	Alta	Ottima
7	Tiglio selvatico ( <i>Tilia cordata</i> )	2,8	Alta	Alta	Ottima
8	Olmo comune ( <i>Ulmus minor</i> )	2,8	Alta	Media	Ottima
9	Frassino comune ( <i>Fraxinus excelsior</i> )	2,8	Alta	Media	Ottima
10	Ontano nero ( <i>Alnus glutinosa</i> )	2,6	Alta	Media	Ottima

Fig. 2. Le prime 10 piante che assorbono la maggior quantità di CO<sub>2</sub> (Fonte: elaborazione Coldiretti)

l'atmosfera ci si riferisce a piante che hanno un'età di almeno 20-30 anni.

Uno studio della James Cook University mostra che un moderato eccesso di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera agisce come una sorta di "fertilizzante" per le piante. Lucas Cernusak, uno dei ricercatori del gruppo dell'Università suddetta, evidenzia come gli alberi producano più foglie e legno se sottoposti ad una dose di CO<sub>2</sub> maggiore della norma. Se, però, le emissioni aumentassero a dismisura, le piante potrebbero non essere più in grado di poter sviluppare livelli ottimali di fotosintesi.

*Ovviamente le foreste tropicali svolgono un compito fondamentale per la salute della Terra: sono il serbatoio fondamentale di assorbimento di CO<sub>2</sub> immesso in atmosfera dalle attività umane e danno il più grande rilascio di O<sub>2</sub> nell'atmosfera. Si calcola che queste foreste siano responsabili dell'assorbimento di circa la metà di tutto il CO<sub>2</sub> assorbito ogni anno dalla biosfera. L'Amazzonia, in particolare, si estende per circa sei milioni di chilometri quadrati ed è la superficie forestale più vasta del pianeta. È stato calcolato, ed è molto grave, che la capacità della foresta amazzonica di assorbire diossido di carbonio atmosferico si è ridotta di circa un terzo dagli anni 90 ad oggi per effetto della dissennata deforestazione.*

Purtroppo, il CO<sub>2</sub> continua a salire nella nostra atmosfera e nel decennio 2000-2010 è aumentato di 1,5 parti per milione (ppm) per anno e dal 2010 al 2020 di circa 2,5 ppm l'anno, raggiungendo nel 2021 circa 418 ppm con una conseguenza devastante sull'effetto serra. È chiaro che le combustioni di combustibili fossili dovrebbero cessare, ma quel che succede mostra il contrario. C'è poi da tener conto che la strada della diminuzione di CO<sub>2</sub> va senz'altro percorsa, ma il risultato sarà molto lento perché la persistenza di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera si misura in centinaia di anni.

Pertanto, oltre a perseguire la diminuzione di CO<sub>2</sub> presente nell'atmosfera dovremmo concentrarci anche sull'abbattimento del metano, che è capace di apportare assai più rapidamente del CO<sub>2</sub> una mitigazione dell'effetto serra. Inoltre, è fondamentale piantare una imponente quantità di alberi: "dovremmo piantare mille miliardi di alberi e ci vorrebbero anni" per salvare la Terra,<sup>6</sup> tenendo conto che l'effetto quantitativo della loro cattura del CO<sub>2</sub> si avrebbe dopo venti-trent'anni dalla loro messa a dimora. Se vogliamo ridurre l'impatto del riscaldamento globale, comunque, questa è la strada più sicura.

Studi e ricerche recenti hanno mostrato, poi, che il bambù è una pianta particolarmente adatta alla

<sup>6</sup> Stefano Mancuso, *Mille miliardi di alberi*, la Repubblica, 10 agosto 2021.



Fig. 3. Piantagione di bambù gigante

cattura di  $\text{CO}_2$  e alla produzione di  $\text{O}_2$  (Figura 3). In un articolo apparso sulla rivista “Nature”, Roel Brienen, dell’Università di Leeds (Regno Unito), ha mostrato che in un ettaro si possono far crescere 30.000 piante ed è stato calcolato che un ettaro di bambù è in grado di catturare 17 tonnellate di  $\text{CO}_2$  ogni anno, ben 40 volte di più di un bosco di piante comuni di un egual superficie.<sup>7</sup>

Il bambù ha una varietà che si sviluppa in tempi molto rapidi: ha una capacità di crescere tra i 13 e i 18 metri in circa cinque anni. L’Italia è ben posizionata in termini di clima soprattutto nelle aree centro settentrionali; la pianta potrebbe trovare ampie zone di sviluppo e contribuire in modo significativo al controllo del  $\text{CO}_2$  e della produzione di ossigeno. In Italia sono in studio tre ettari di bambù piantati presso Ferrara.<sup>8</sup>

E per il rilascio dell’ossigeno da parte delle piante cosa possiamo dire? Non è solo indispensabile quello rilasciato dalle piante che costituiscono foreste e boschi sulla superficie terrestre, ma anche quello delle piante delle zone superficiali marine. Le praterie di Posidonia (Figura 4), ad esempio, pianta acquatica endemica del Mediterraneo, hanno una notevole importanza ecologica, costituendo la comunità climax del mar Mediterraneo ed esercitando una notevole azione anche nella protezione dall’erosione della linea di costa.

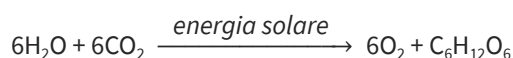
La Posidonia ha caratteristiche simili alle piante terrestri, ha radici, un fusto rizomatoso e foglie nastriformi lunghe fino ad un metro e unite in ciuffi di 6-7. Fiorisce in autunno e in primavera produce frutti galleggianti volgarmente chiamati “olive di mare”.



Fig. 4. Praterie di Posidonia

È un importante produttore di ossigeno: 1 metro quadro di prateria di Posidonia può produrre fino a 20 litri di ossigeno al giorno.

Ma come avviene il meccanismo con cui la pianta cattura  $\text{CO}_2$  e libera ossigeno? Si tratta del cosiddetto *processo di fotosintesi*. Ognuno di noi l’ha incontrato già nella scuola secondaria di primo grado: non c’è un testo di scienze di questa scuola che non riporti in bella vista la reazione schematica della fotosintesi.



E, come fosse autoevidente, si pretende che si “sappia” di che si tratta confondendo il “saper ripetere” quanto memorizzato con la comprensione effettiva delle cose.

### 3. La lunga indagine sul funzionamento di una pianta

Il processo per comprendere il funzionamento di una pianta ha avuto un percorso lungo e molto complesso che inizia già nel 1600. Fu Jan Baptiste Helmont che tentò di dare una prima spiegazione scientifica alla crescita delle piante allestendo un esperimento. Egli piantò un ramo di salice e ne misurò il suo peso: era di 5 libbre; lo mise in un vaso di terra contenente 200 libbre di terra. Continuò a bagnare la pianta con regolarità e dopo 5 anni la pianticella era diventata un alberello che pesava 169 libbre; il terreno aveva perso solo poche onces di peso. Helmont concluse che la pianta era cresciuta a spese dell’acqua e non della terra, o almeno questa aveva avuto una minima influenza. Un tale fatto

<sup>7</sup> <https://www.ansa.it/Ambiente&Energia>.

<sup>8</sup> Emanuele Bompan, *Piantare bambù e vivere meglio*, Green & Blue, giugno 2021.

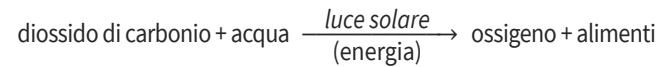
però fece riflettere Helmont: forse i vegetali traevano qualcosa anche dal terreno. Pur conoscendo i gas su cui aveva sperimentato a lungo, lo scienziato fiammingo non aveva pensato che anche l'aria potesse essere fonte di nutrimento per la pianta.

Nel 1774 l'inglese Joseph Priestley, pastore calvinista appassionato di chimica, aveva messo un animale e una pianta a coabitare in un ambiente chiuso e osservò che il "sistema" sopravviveva in quanto la respirazione vegetale era considerato un processo inverso a quella animale. Nel 1779 il medico olandese Jan Ingenhousz interpretò correttamente l'esperimento di Priestley, tenendo conto anche della luce a cui la pianta era esposta: le piante verdi e solo alla luce del Sole emettevano la cosiddetta "aria pura", cioè l'elemento che in seguito sarà individuato come ossigeno.

Verso la fine del 1700 si erano fatti esperimenti sulla combustione delle sostanze e si era notato che una candela accesa in un recipiente chiuso pieno d'aria, dopo un po' di tempo si spegneva e l'aria residua non era più in grado di alimentare una fiamma. A quel tempo i fenomeni della combustione venivano interpretati con la teoria del flogisto, formulata intorno al 1700 dal chimico tedesco Georg Ernest Stahl. Tale teoria sosteneva che i corpi che bruciavano erano ricchi di flogisto ed era la combustione che allontanava dal corpo il flogisto con perdita di peso. Fu successivamente Antoine Laurent Lavoisier (1743 - 1794) che demolì la teoria del flogisto, dimostrando che nella combustione la sostanza che bruciava non perdeva qualche cosa, ma anzi aumentava di peso per effetto della combinazione con un gas presente nell'aria, cioè con l'ossigeno (generatore di acidi). Dopo vari esperimenti Lavoisier giunse alla conclusione che l'aria era essenzialmente costituita da una miscela di due gas: un quinto del volume era costituito da ossigeno, quattro quinti da azoto (privo di vita). *Lavoisier scoprì dunque che l'ossigeno era necessario alle combustioni e ai processi vitali di animali e piante.* In altre parole, Lavoisier pensava che negli organismi viventi dovesse realizzarsi una specie di "combustione blanda" che oggi chiamiamo respirazione: essa "brucia" gli alimenti con l'apporto dell'ossigeno.

Un passo importante sulla strada della comprensione del meccanismo della nutrizione delle piante fu compiuto da Nicolas Theodore de Saussure (1767 - 1845) nel 1804. Egli si pose l'obiettivo di verificare attraverso l'esperimento quale fosse il ruolo del CO<sub>2</sub> nel processo, misurando la quantità di diossido di carbonio assunta dalla pianta e confrontandola con l'aumento di peso dei suoi tessuti, lasciando la pianta esposta alla luce solare. Con questo esperimento *Saussure provò che le foglie verdi della pianta*

*alla luce del Sole decompongono il CO<sub>2</sub> ed emettono ossigeno:* per la prima volta venivano distinti i due processi della assimilazione e della respirazione. Il processo poteva essere così schematizzato:



Dopo gli esperimenti sull'aria di Lavoisier e quelli sulle piante di Saussure si era giunti ad una prima formulazione sommaria, ma sostanzialmente corretta, di quella che più tardi verrà chiamata fotosintesi: utilizzando la luce come sorgente di energia, le piante verdi trasformano composti inorganici (CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O) in composti organici dei loro tessuti (alimenti). Per questa capacità le piante vengono chiamate *organismi autotrofi* (dal greco autòs = se stesso, trophè = nutrimento), cioè capaci di produrre da sé il proprio nutrimento.

Agli inizi dell'Ottocento fu, però, commesso un errore: quello di considerare la fotosintesi come l'inverso della respirazione: si pensava che, come nella respirazione l'ossigeno si trasformava in diossido di carbonio, così nella fotosintesi il diossido di carbonio si ritrasformava in ossigeno. Per molti anni si è ritenuto che nella fotosintesi si scindesse la molecola di diossido di carbonio (CO<sub>2</sub>) liberando il gas ossigeno (O<sub>2</sub>) e lasciando il carbonio libero di combinarsi con l'acqua per formare glucosio (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>). Il glucosio verrebbe utilizzato, poi, come fonte per produrre proteine e grassi necessari alla pianta per crescere. Fu la scoperta che gli atomi di un elemento erano costituiti da vari tipi, i cosiddetti *isotopi*, che permise di risolvere il problema. Fu necessario "marcare" in qualche modo gli atomi di ossigeno che si liberavano nella fotosintesi per capire se provenissero dall'acqua o dal diossido di carbonio. Gli isotopi di una specie atomica hanno lo stesso numero di protoni ed elettroni ma nel nucleo presentano un numero diverso di neutroni per cui hanno una *massa diversa*. L'ossigeno, in particolare, ha la varietà più comune di atomi che pesa 16 u presentando nel nucleo otto protoni e otto neutroni. Una piccola percentuale di ossigeno, però, pesa 18 u ed ha nel nucleo otto protoni e dieci neutroni e una percentuale ancora più piccola di atomi ha peso 17 u (ha, cioè, otto protoni e nove neutroni).

La ricerca fu in grado di produrre acqua con un'alta percentuale di ossigeno 18 e con questa si annaffiò una pianta verificando che l'ossigeno "pesante" si trovava poi nell'ossigeno liberato dalla pianta con la fotosintesi: *quest'ossigeno derivava dunque dall'acqua.* Dove era andato a finire l'idrogeno che si era staccato da quella molecola?

Il problema non era facile da risolvere, ma la scoperta che esistevano isotopi radioattivi offrì lo strumento

per risolverlo. La scoperta della radioattività, a cui contribuirono vari scienziati (Henri-Antoine Becquerel, i coniugi Curie e il fisico Ernest Rutherford), è un fenomeno naturale di certi tipi di atomi; può, però, essere indotta anche artificialmente (ciò fu fatto nel 1934 da Frederic e Irene Joliot-Curie, premi Nobel per la fisica nel 1935).

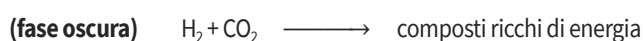
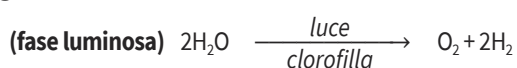
Per quanto riguarda l'idrogeno, si riuscì a separare alcuni atomi di massa 3 (contenenti nel nucleo un protone e due neutroni), il cosiddetto trizio, che è radioattivo; questo consentiva di seguirne il movimento e di localizzarlo con un contatore Geiger.

In modo analogo fu ottenuto il carbonio radioattivo 14, più pesante del normale carbonio 12, che contiene nel suo nucleo 8 neutroni, anziché 6 come quello più comune.

Impiegando questo tipo di carbonio,  $^{14}\text{C}$ , il biochimico Melvin Calvin riuscì a seguire le singole tappe del processo fotosintetico.<sup>9</sup> Egli scoprì che nella fotosintesi si possono distinguere due fasi.

Una prima fase detta *luminosa*, perché può avvenire solo alla luce solare, in cui le molecole di  $\text{H}_2\text{O}$  vengono scisse in  $\text{O}_2$  e  $\text{H}_2$ , in presenza del catalizzatore clorofilla e per azione di due molecole, il cosiddetto NADP e l'ATP,<sup>10</sup> che rendono possibile il passaggio degli elettroni da una specie chimica ad un'altra.

Alla fase luminosa segue quella cosiddetta *oscura*, perché questo processo avviene anche in assenza di luce, in cui il carbonio della molecola di  $\text{CO}_2$  può legare a sé atomi di idrogeno per trasferimento di elettroni, formando composti organici ricchi di energia ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ). Prescindendo dai complessi passaggi con scambio di elettroni,<sup>11</sup> il processo di fotosintesi può essere oggi schematizzato nel modo seguente:



L'ossigeno, dunque, proviene dall'acqua e non dal diossido di carbonio come si supponeva in passato.

Oltre all'immensa quantità di ossigeno che la fotosintesi immette come "sottoprodotto" del processo nella nostra atmosfera, gli scienziati hanno stimato

che ogni anno essa produca qualcosa come 150 miliardi di tonnellate di glucidi.

Se facciamo un confronto con la "produzione" di ferro, che rappresenta il materiale prodotto dall'uomo in maggior quantità ogni anno e che si aggira sui 400-500 milioni di tonnellate, si comprende molto bene perché si può dire che *la fotosintesi rappresenta la più importante reazione che avviene sul pianeta*. Possiamo, quindi, affermare che "l'atmosfera attuale è figlia della fotosintesi" ed è stato il W.W.F. a lanciare il messaggio: "salva le piante per salvare te stesso."

#### 4. Dove avviene la fotosintesi clorofilliana

Nella cellula vegetale ci sono le strutture e gli organuli presenti in tutte le cellule, ma in più sono presenti degli specifici organuli in cui si compie il processo della fotosintesi clorofilliana, i *cloroplasti*. Questi organuli sono presenti nelle cellule vegetali di foglie e fusti verdi e nelle alghe eucariote. La struttura di una foglia con cloroplasti ben visibili all'interno delle cellule è mostrata in figura 5 e i cloroplasti sono visibili al microscopio ottico come corpuscoli di colore verde, dovuto alla presenza della clorofilla.

*I cloroplasti catturano l'energia luminosa e la trasformano in energia chimica mediante l'azione della clorofilla*. Nella Scheda 1 viene rappresentata la

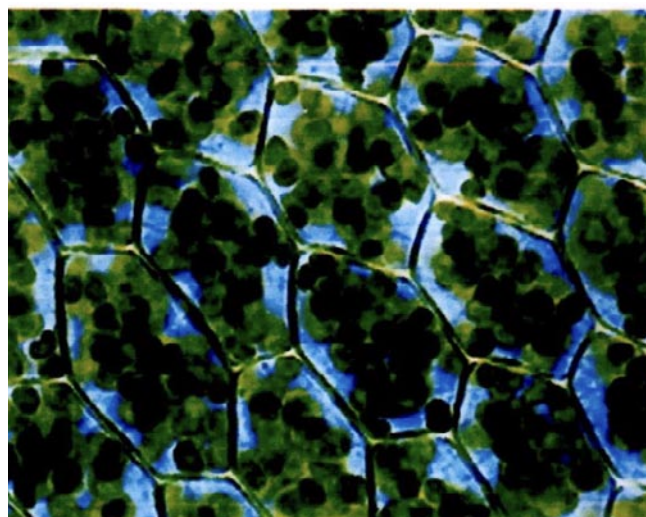
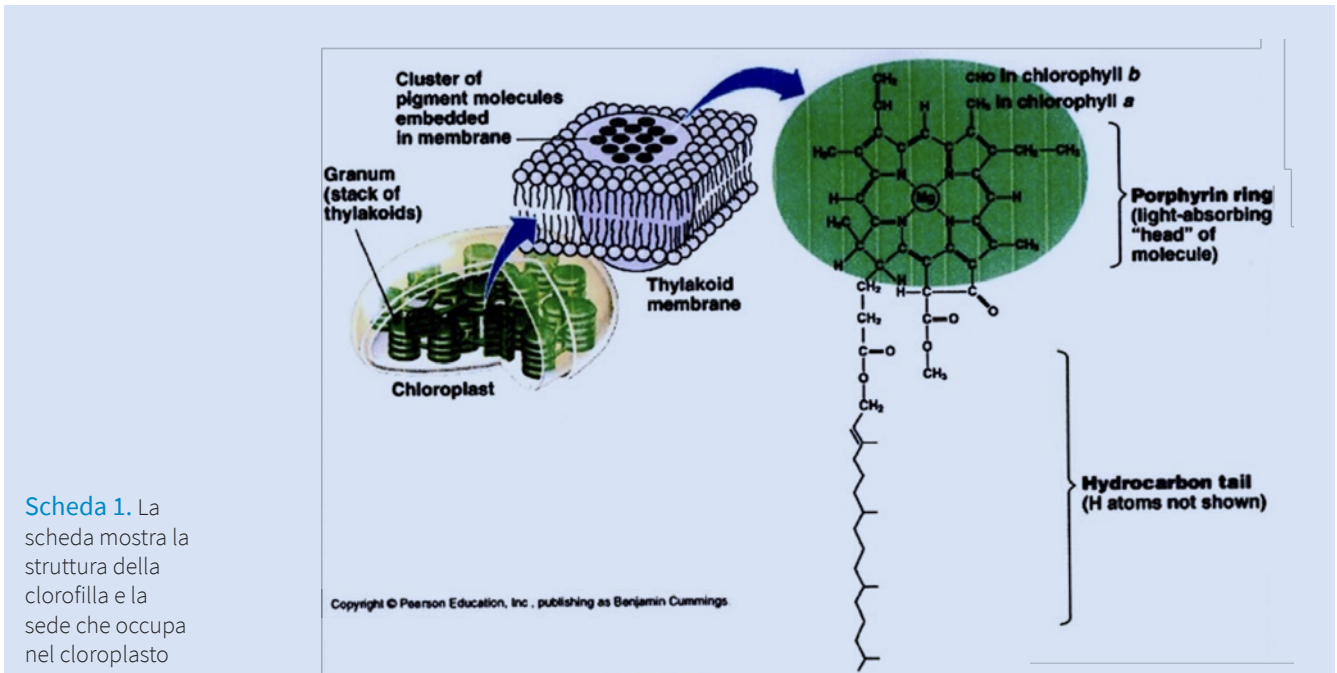


Fig. 5. Immagine di foglie al microscopio ottico con i "granuli" cloroplasti

<sup>9</sup> Melvin Calvin (1911 - 1997) ebbe il premio Nobel per la chimica nel 1961 per il processo di fotosintesi da lui chiarito in due stadi, ma si macchiò della colpa di aver anche messo a punto il micidiale napalm (1942) con il team di scienziati guidati da Louis Fieser. Si tratta di una miscela incendiaria di composti largamente usata alla fine della Seconda Guerra Mondiale nel bombardamento di Tokyo e poi largamente impiegata in Vietnam.

<sup>10</sup> NADP, nicotinamideadeninucleotidofosfato; ATP, adenosintrifosfato.

<sup>11</sup> Per un livello più dettagliato di analisi del processo di fotosintesi consultare la parola fotosintesi su un testo recente di Biologia per la Scuola Secondaria di secondo grado.



Scheda 1. La scheda mostra la struttura della clorofilla e la sede che occupa nel cloroplasto

struttura della clorofilla di due tipi, a e b. La più diffusa tra le piante terrestri è la clorofilla a. Come si vede, la molecola della clorofilla ha una struttura ad anello (anello porfirinico), al centro del quale c'è un atomo di magnesio che ha la funzione di mantenere la struttura rigida per evitare che l'energia solare si disperda sotto forma di calore prima che possa essere utilizzata per il processo fotosintetico. Dall'anello poi parte una lunga catena idrorepellente che serve per ancorare la molecola di clorofilla alle membrane tilacoidi presenti nel cloroplasto.

La figura 6 mostra la sezione schematica di un cloroplasto. Come si osserva all'interno della doppia membrana lo stroma contiene delle strutture allungate o granulari che sono chiamate tilacoidi.<sup>12</sup>

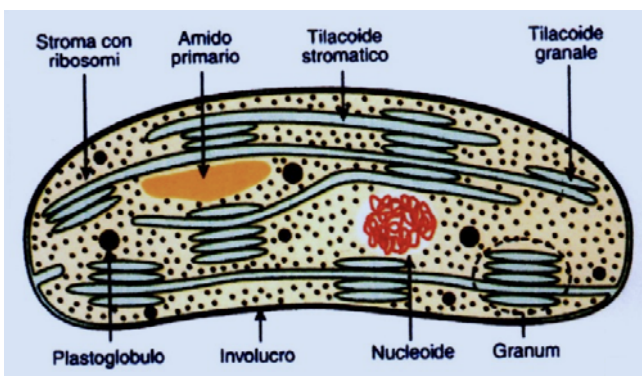


Fig. 6. Struttura di un cloroplasto

Teniamo presente che partecipano alla fotosintesi numerosi pigmenti che assorbono la radiazione solare a lunghezze d'onda diverse, utilizzando gran parte delle radiazioni dello spettro solare.

La figura 7 mostra i picchi di assorbimento dei diversi pigmenti, in particolare quelli della clorofilla a e b.<sup>13</sup>

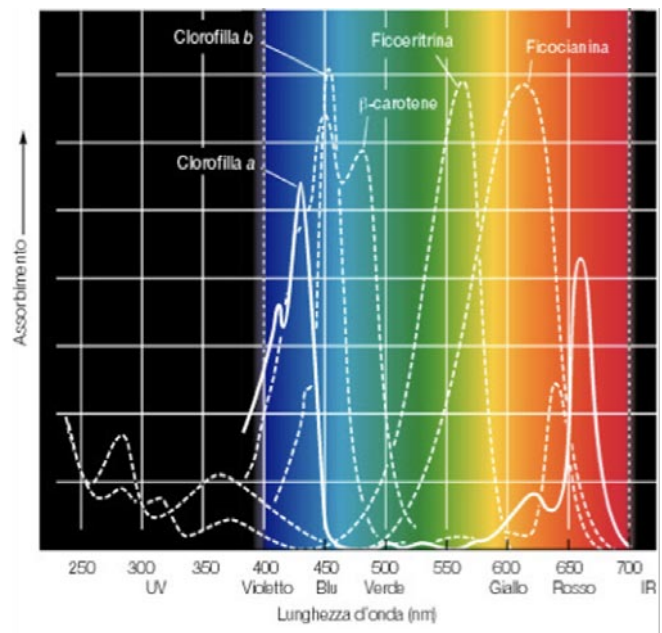


Fig. 7. Spettri di assorbimento dei diversi pigmenti fotosintetici

<sup>12</sup> <http://www.scienze.uniroma2.it/wp-content/uploads/2012/06/plastidi.pdf>

<sup>13</sup> <https://passscienzeunitn2014.files.wordpress.com/2014/03/presentazione-i-plastidi.pdf>

*In conclusione, durante il processo di fotosintesi viene liberato ossigeno tramite la fotolisi (scissione mediante la radiazione luminosa) di molecole d'acqua e ciò consente di rifornire di ossigeno l'atmosfera terrestre.*

A questo punto, dopo aver sottolineato l'estrema importanza del processo della fotosintesi, è forse opportuno che ci poniamo una domanda: ma sono state le piante a immettere per prime nell'atmosfera terrestre l'ossigeno, oppure questo era già presente in essa provenendo da altre fonti?

### 5. L'ossigeno sul pianeta prima della fotosintesi delle piante

Una serie di ricerche su carotaggi effettuati in diversi punti del pianeta ha messo in evidenza un processo che viene chiamato "Grande Evento Ossidativo". In che cosa consiste? Le analisi condotte su un gruppo di ciano batteri (alghe azzurre) non fotosintetici, i Sericytochromatia, indicano che la capacità di produrre ossigeno con la fotosintesi fu acquisita probabilmente da questi cianobatteri con un trasferimento all'interno della loro cellula di materiale genico "orizzontale" (inglobato per fagocitosi) proveniente da altre cellule,<sup>14</sup> rendendo così possibile ai "nuovi" cianobatteri di effettuare la fotosintesi.

Tale evento, che alcuni carotaggi eseguiti in diverse regioni del pianeta (Siberia occidentale e Gabon) hanno rivelato che si produsse sull'intero pianeta, fu caratterizzato da un processo di ossidazione relativamente rapido, circa 2,4 miliardi di anni fa, che portò al formarsi, come sottoprodotto della fotosintesi, dell'ossigeno molecolare libero (O<sub>2</sub>).

Questo primo ossigeno liberato cominciò, però, a reagire con gli elementi ossidabili presenti nelle acque del mare, formando prodotti ossidati e determinando la precipitazione di prodotti insolubili che andarono a depositarsi sui fondali marini. Anche sulle terre emerse l'ossigeno liberato cominciò a reagire con le rocce che contenevano elementi ossidabili, ad esempio il ferro, e *solo al termine dei vari processi di ossidazione l'ossigeno cominciò ad accumularsi lentamente nell'atmosfera terrestre*. Le rocce portarono alla formazione di depositi contenenti, ad esempio, ferro con for-

mazione dei cosiddetti "orizzonti a bande di ferro".

Durante qualche centinaio di milioni di anni l'accumulo crebbe e la concentrazione di O<sub>2</sub> determinò la scomparsa degli organismi anaerobici che popolavano le acque del nostro pianeta, provocando la prima grande estinzione di massa della storia della Terra: per gli organismi anaerobi l'ossigeno costituiva un veleno. Contemporaneamente avvenne anche il progressivo sviluppo di organismi più complessi in grado di vivere in presenza di ossigeno (organismi aerobi), organismi eucarioti (con cellule a nucleo evidente), di svolgere la fotosintesi clorofilliana e di sviluppare la catena dell'evoluzione dei viventi che ha portato alle attuali forme di vita.

La cronologia più largamente accettata per il Grande Evento Ossidativo suggerisce, dunque, che *l'ossigeno libero, come già accennato, fu prodotto prima di quello delle piante da organismi procarioti (privi di nucleo), che avevano modificato il proprio assetto cellulare per inclusione di frammenti di materiale genetico presenti nel loro ambiente, e solo successivamente da quelli eucarioti in grado di svolgere la fotosintesi*. È bene ricordare che i livelli di ossigeno che caratterizzarono il Precambriano furono, comunque, assai inferiori a quelli prodotti oggi dalla fotosintesi dell'attuale vegetazione di piante.

*Recenti ricerche spostano ancora più indietro nel tempo la comparsa dell'ossigeno sulla Terra.*<sup>15</sup> Alcuni ricercatori dell'Università di Copenhagen e dell'Università della British Columbia hanno esaminato la composizione chimica di terreni risalenti a circa tre miliardi di anni fa in Sud Africa, trovando prove dell'esistenza di basse concentrazioni di ossigeno. *L'O<sub>2</sub>, cioè, sarebbe comparso sulla Terra 700 milioni di anni prima rispetto alle stime precedenti*, che ne indicavano la comparsa solo circa 2,3-2,4 miliardi di anni fa. Sean Crowe della British Columbia, coautore dello studio, sostiene: "Questo studio suggerisce ora che il processo [di ossigenazione dell'atmosfera] è iniziato molto presto nella storia della Terra e la produzione di ossigeno tramite la fotosintesi e la vita aerobica sono più antiche di quanto si pensava precedentemente".

<sup>14</sup> Il trasferimento genico "orizzontale" (per inclusione), che è ben noto tra i batteri e diffuso anche in alcune specie vegetali, si svolge con meccanismi diversi da quelli seguiti nella replicazione cellulare.

<sup>15</sup> <https://aliveuniverse.today/flash-news/terra-ambiente/568-risale-a-3-miliardi-di-anni-la-comparsa-dell-ossigeno-sulla-terra>

## 6. Conclusione

Abbiamo visto come la fotosintesi compiuta dalle piante verdi, da una parte, sottragga all'atmosfera il CO<sub>2</sub>, e, dall'altra, l'arricchisce di ossigeno. Il compito che abbiamo sarebbe quello di mitigare l'eccessiva concentrazione del diossido di carbonio antropico nell'atmosfera e quello di non impoverire la concentrazione di ossigeno.

Come già abbiamo detto all'inizio di questo contributo, per mitigare la concentrazione di CO<sub>2</sub> sarebbe necessario eliminare le combustioni dei combustibili fossili ma, poiché questo sarà un processo lento per una serie di motivi su cui qui sorvoliamo, sarebbe necessario piantare miliardi di nuove piante per aumentare la sottrazione di CO<sub>2</sub> dall'atmosfera. Anche questo processo, però, darebbe i suoi effetti massivi solo dopo almeno 20-30 anni. Sarebbe, inoltre, necessario cessare le massicce deforestazioni e cercare di prevenire i numerosi incendi, che si diffondono anche per elevata temperatura raggiunta dal pianeta.

Allora cosa fare? Scartando il ricorso alla cattura e al confinamento sotto terra del CO<sub>2</sub>, che costituisce

una soluzione fallimentare del problema, o il tentativo inaccettabile di ricorrere anche al "nucleare verde", come qualcuno sta vaneggiando (perché, pur non producendo CO<sub>2</sub>, presenta altrettanti gravi problemi), tra l'altro ancora a livello sperimentale, non resta che ricorrere all'azzeramento della produzione di CO<sub>2</sub>, *eliminando il più rapidamente possibile le combustioni dei combustibili fossili, facendo ricorso ad un massiccio sviluppo delle fonti energetiche rinnovabili, alla produzione di "idrogeno verde", là dove sono necessarie le combustioni, e sviluppando la riforestazione.*

Per comprendere l'esigenza di velocizzare il più possibile questi processi sarebbe bene ricordare che la permanenza dei gas climalteranti nell'atmosfera è tale che, anche se avessimo già decarbonizzato tutti i processi e cessassimo immediatamente di usare i combustibili fossili, passerebbero ancora moltissimi anni prima di vedere diminuire questi gas sensibilmente e giungere ad una effettiva diminuzione dell'effetto serra.<sup>16</sup> ■

<sup>16</sup> <https://ilblogdellasci.wordpress.com/2021/12/27/il-cambiamento-climatico-implicito/>