

Questo pregevole studio getta luce su un'era basilare per l'ulteriore sviluppo della vita, in cui cambiamenti ambientali e "invenzioni" della natura si sono susseguiti incessantemente per miliardi di anni. Di fronte ai fatti evidenziati dalla ricerca scientifica, ogni persona può provare stupore o restare indifferente, intuire l'opera creative di Dio o assolutizzare la Natura e l'azione del caso. L'uomo, infatti, non è mai privato dal sapere scientifico della libertà di scegliere il valore e il senso della propria vita: finito od Infinito.

f.m.

N.B: Con questo studio, l'Autrice ha vinto come finalista il concorso Mario Soldati 2014 presso il "Centro Pannunzio di Torino" !!!

DALL'EVOLUZIONE PREBIOTICA ALLA SINTESI DELLE CLOROFILLE:

UN CAMMINO LUNGO MILIARDI DI ANNI

di Rosa Maria Mistretta ¹

1. INIZIO DELL'ERA PRECAMBRIANA

È il primo giorno dell'Era Precambriana, quella che gli scienziati hanno fissato a una data teorica assai remota: circa quattro miliardi di anni fa. Il Sole sorge all'orizzonte terrestre, scandendo i primi secondi di una storia che si evolverà fino ai giorni nostri. Con il Precambriano il pianeta Terra si prepara ad accogliere la vita, realizzando le condizioni per la sua comparsa, stimata circa 3 miliardi e mezzo di anni fa.



Il raffreddamento graduale della massa rotante incandescente, la Prototerra, generata dalla nube cosmica primordiale che diede origine al Sistema Solare, permise il formarsi, intorno al nucleo liquido

¹ Laureata in Scienze Naturali, presso la Facoltà di SMFN di Torino, ha compilato presso l'Istituto di Fisica la Tesi di Laurea "Analisi spettrale e fondamenti fisici delle atmosfere stellari" (Premio Cultura e Società di Torino, 1999 – Premio Maestrale S.Marco, Sestri Levante, 2004), insieme a due argomenti sperimentali: "Analisi biogeometrica frattale inerente alla morfologia del lichene *Rhizocarpon geographicum* s.l." (Workshop nazionale 1993), presso il Dipartimento di Biologia Vegetale e "Il ciclo biogeochimico del Carbonio", presso il Dipartimento di Geochimica.

Svolge attività divulgativa dal 1986: conferenze e laboratori didattici presso Associazioni Culturali, Università, Comuni ed Enti privati, Televisioni e Radio private, Scuole di ogni ordine e grado, Musei.

Ha curato pubblicazioni nel settore scientifico presso Case Editrici e Riviste, anche su Internet.

Con Armando Editore, Roma ha pubblicato nel 2003 per la Didattica dell'Astronomia per Scuole Primarie "Il Sole e la sua Famiglia" (<http://lascuoladelsapere.blogspot.com/2009/06/il-sole-e-la-sua-famiglia-giochiamo.html>); con Carta e Penna Ed. per la Didattica dell'Astronomia per Scuole Primarie "Girandole birbone e mostri neri", 2011 (<http://www.scuola-primaria.net/Rubriche/scienze.html>).

Accanto al tempo che trascorre a chiedersi perché la natura sia così bella, ad ammirare il cosmo fantastico e a trasmettere l'utilità della matematica, Rosa Maria Mistretta s'impegna nella letteratura nella consapevolezza che scrivere è un esercizio per scrutare se stessi, per riflettere sui propri sentimenti e pensieri.

Ha pubblicato:

"Attimi" (narrativa), Ed. G. Miano, Milano-1999, <http://lascuoladelsapere.blogspot.com/2009/03/attimi-racconti-di-rosa-maria-mistretta.html>;

"Sogni" (poesie), Club Letterario Italiano, Latina-2002, <http://lascuoladelsapere.blogspot.com/2009/03/sogni.html>;

"Avevo dimenticato la musica del vento-la mia vita è poesia", Bastogi Editore, Foggia-2004,

<http://lascuoladelsapere.blogspot.com/2009/03/raggiungere-ogni-animo-indurre.html>

"Innamorata del mio angelo", Kimerik Ed. 2009 <http://lascuoladelsapere.blogspot.com/2009/08/innamorata-del-mio-angelo-di-rosa-maria.html> premiati in vari concorsi letterari nazionali ed internazionali.

È collaboratrice di riviste letterarie ed è presente in alcune Antologie come autrice partecipante.

Ha approfondito in particolar modo lo studio delle opere di N. Ginsburg, H. Hesse e degli scrittori irlandesi; la storia, la letteratura e le tradizioni dei popoli Celti e degli Indiani d'America (i popoli naturali).

Per avere una preparazione adeguata al raggiungimento degli obiettivi prefissati, che vogliono conseguire la presentazione di mondi affascinanti ed aprire nuove carriere o anche solo stimolare la curiosità, ha frequentato corsi d'aggiornamento psicopedagogico e didattico, apprendimento e memoria, lettura veloce, giornalismo e lingue straniere ed ha preso parte a congressi d'argomento astronomico, botanico, naturalistico.

<http://lascuoladelsapere.blogspot.com/> <http://pertepergialtri.blogspot.com/>

rovente, di una crosta solida percorsa da spaccature e vulcani, attraverso cui i materiali del nucleo fuoriuscivano ad altissime temperature sulla superficie in solidificazione. La totale assenza di ossigeno, quindi di una barriera protettiva di ozono, stato allotropico dell'ossigeno, in grado di assorbire i raggi U.V. (ultravioletti), permetteva alla luce solare di giungere fin sulla superficie del protopianeta. Insieme a altre forme di energia (fulmini, vulcani, composti radioattivi) la radiazione intensa interagiva con le prime molecole inorganiche (vapore d'acqua, ammoniaca, metano), che in seguito iniziarono a reagire tra loro, originando composti stabili. **Le poche reazioni chimiche primordiali durarono per un intervallo di tempo di circa due miliardi di anni.**

Intanto la Terra continuava nel suo progressivo raffreddamento: tre miliardi di anni fa la crosta terrestre era consolidata ed era in parte ricoperta da un fluido che evaporava in un'atmosfera differente dall'attuale, in totale assenza di ossigeno (atmosfera riducente).

Il Precambriano è durato **dalla formazione della Terra fino a 590 milioni di anni fa** ed è proprio in questo lungo periodo che è comparsa la vita, si è raggiunta l'organizzazione cellulare e pluricellulare, si sono separate le grandi linee dei vegetali e degli animali (agli inizi non c'era differenza) e in ciascuno dei due regni si sono differenziati i grandi piani di organizzazione che condussero all'attuale ecosistema Terra.

Le Ere geologiche:

ERA	PERIODO	Mil. anni	PRINCIPALI EVENTI
Precambriano	PREZOICO	4600	Formazione della crosta terrestre (rocce delle isole di S. Pietro e Paolo)
	ARCHEOZOICO	3600	Primi fossili attribuibili a Batteri (<i>Eobacterium</i>) Stromatoliti; rocce contenenti idrocarburi
	CIANOZOICO	2500	Era dei Cianobatteri. Progressiva formazione atmosfera. O ₂ pari al 0,2%.
	PROTEROZOICO	1600	Era dei primi Eucarioti. Termina con una grande glaciazione.
PALEOZOICO	Cambriano	590	Clima caldo uniforme. Stromatoliti abbondanti. Clorofcee sifonate, abbondanti fossili marini
	Ordoviciano	505	Clima caldo temperato. Ossigeno atmosferico a 2%. Alghe monocell. Primi vertebrati.
	Siluriano	440	Clima temperato. Prime feoficee. Dal Siluriano medio prime piante vascolari. Primi animali terrestri
	Devoniano	410	Formazione di mari interni. Primi fossili di semi. Primi insetti apteri. Compaiono gli anfibi.
	Carbonifero	360	Clima caldo umido. Pangea. Foreste di Calamitati. Pteridosperme. Compaiono gli insetti alati.
	Permiano	285	Clima freddo e arido. Gimnosperme dominano su Pteridofite. Prob. origine Angiosperme.
MESOZOICO	Triassico	250	<i>Sauropodomorpha</i> . Abbondanza di Ginkgofite. Primi mammiferi; dinosauri e rettili volanti.
	Giurassico	215	Formaz. Oceano Atlantico. Dominano le Cicadofite. Massimo sviluppo rettili giganti. Uccelli.
	Cretaceo	145	Sviluppo Angiosperme. Abbondanti teleostei. Sviluppo mammiferi. Estinzione grandi rettili.
CENOZOICO	Paleocene	65	Orogenesi alpina. Flora intorno alla Tetide: Laurifille. Diversificazione dei Mammiferi
	Eocene	58	Clima tropicale in Europa. Riduzione Cicadali. Primo fossile di <i>Compositae</i> e di <i>Gramineae</i> .
	Oligocene	27	Clima sub-tropicale in Europa centro-sett. Diffusione <i>Gramineae</i> . Sviluppo caducifoglie.
	Miocene	24	Prosciugamento del Mediterraneo. Flora di sclerofille. Ingresso flora steppica.
	Pliocene	5	Raffreddamento generalizzato. Riempimento Mediterraneo. Flora di deserti steppa e savana.
NEOZOICO	Pleistocene	2	Successione di glaciazioni. Immigrazione di specie artiche. Nascono Etna e Eolie.
QUATERNARIO	Olocene	0,01	Piccole glaciazioni. Azione dell'uomo sulla vegetazione: diffusione di specie sinantropiche.

2. LA CHIMICA PER LA VITA

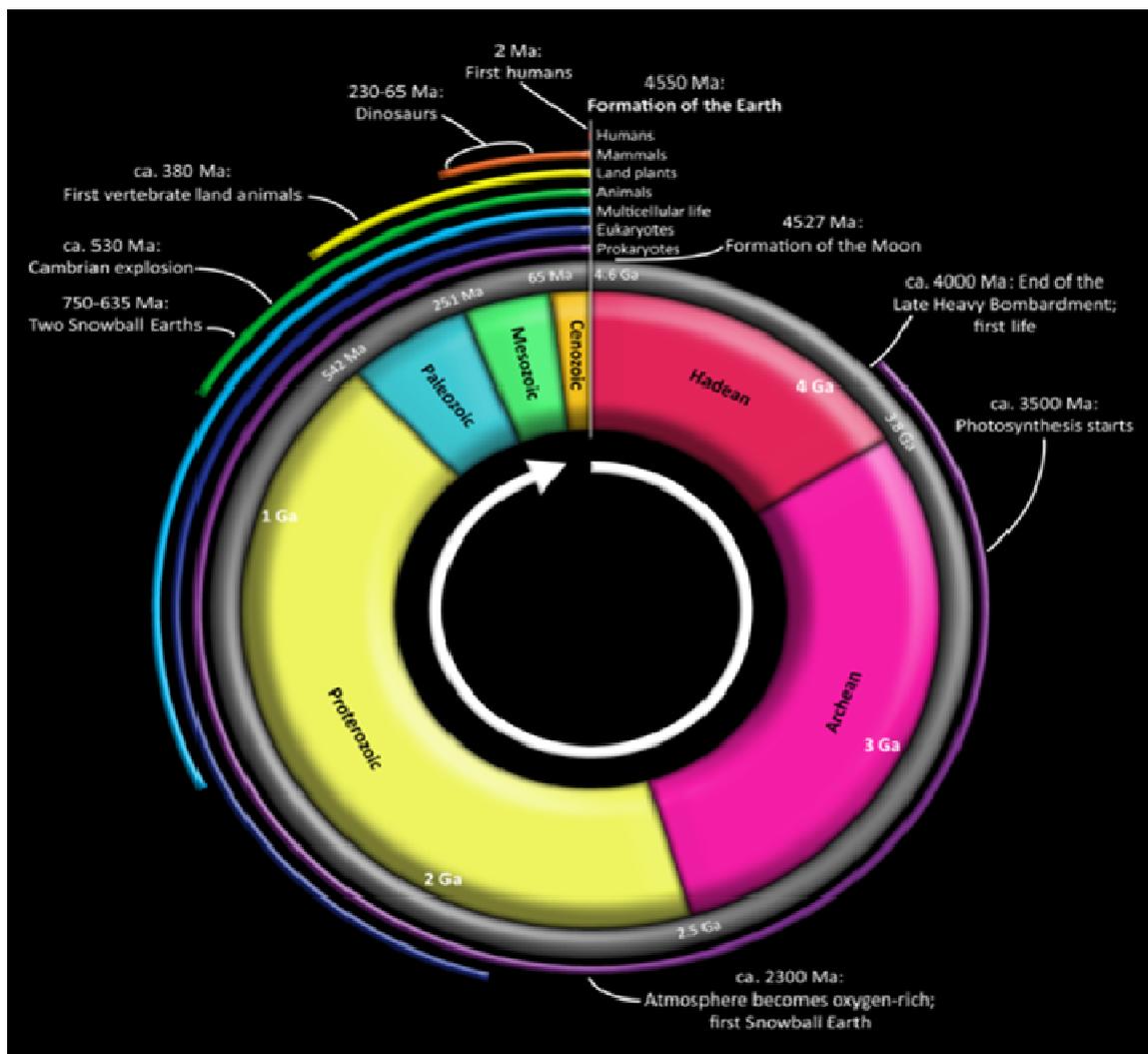
L'evoluzione chimica terrestre è avvenuta in due fasi:

- dalla chimica inorganica all'organica,
- dalla chimica organica alla biologica

Le tappe dell'evoluzione della materia, che attraverso una serie di reazioni è passata dallo stato inorganico a quello organico, hanno utilizzato un intervallo temporale di circa 2 miliardi di anni.

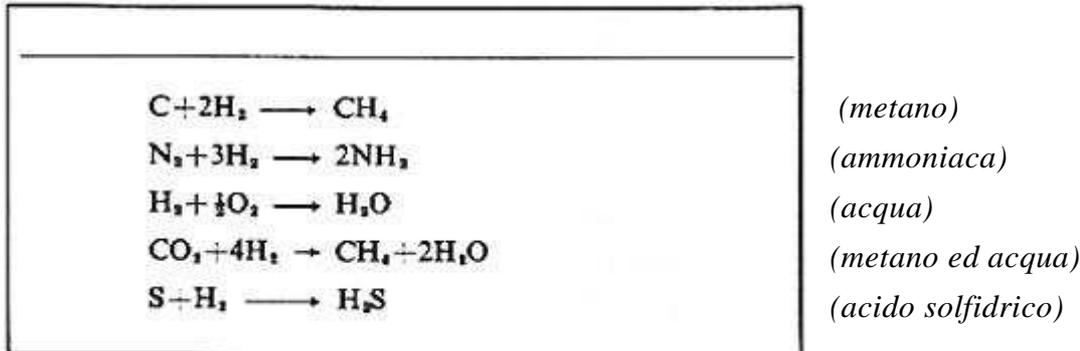
Gli **elementi chimici iniziali** (Carbonio, Idrogeno H, Ossigeno, Azoto N) erano presenti nella nebulosa primordiale che diede origine al Sistema Solare, e erano già combinati tra loro per formare le **prime molecole inorganiche** (metano CH₄, acqua H₂O allo stato di vapore, ammoniaca NH₃), le quali, interagendo, avviarono l'evoluzione chimica sulla Terra in formazione. I raggi U.V. del Sole, non schermati dallo strato di ozono non ancora esistente, scissero la molecola di H₂O sottoforma di vapore in H⁺ e OH⁻ (reazione di **fotolisi**). H⁺ fu disperso nello spazio e OH⁻ si combinò con altri componenti atmosferici: con il metano per ottenere diossido di carbonio e acqua; con l'ammoniaca, solubile, che si scompose liberando idrogeno, che con OH formò vapori d'acqua, e azoto molecolare (inerte).

Lo strato liquido di cui era inondata la Terra, una miscela organica composta d'idrocarburi derivati dalla fotolisi del metano ad alte temperature, con l'alternanza di evaporazione e precipitazione, innescò un ciclo chimico che trascinò le sostanze presenti nell'atmosfera (diossido di carbonio,

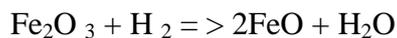


metano, ammoniaca, vapore d'acqua) sulla superficie, che continuarono a interagire e a dare origine a molecole sempre più complesse, e che restituì poi all'atmosfera in altra forma. Il risultato fu l'impoverimento degli elementi primordiali C, N, H con conseguenze in seguito letali alla evoluzione chimica.

Le prime reazioni chimiche:



Il Carbonio e l'Azoto N furono fissati e depositati e l'Idrogeno, il più piccolo e il più leggero di tutti gli atomi, che ad alte temperature si muove molto velocemente, in parte sfuggì alla gravità terrestre disperdendosi nello spazio e in parte ridusse gli ossidi ferrici a ferrosi con conseguente formazione di acqua sottoforma di vapore:



Nell'universo l'Idrogeno dopo l'Elio è l'elemento più abbondante e come combustibile all'interno del Sole è responsabile dell'energia che consente ai processi vitali di iniziare e perdurare. È presente in tutta la materia vivente ed è una parte essenziale di qualunque composto formato da altri elementi chiave della vita: l'acqua è 2/3 d'idrogeno in proporzione atomica.

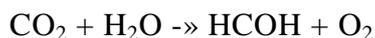
L'abbondanza d'idrogeno libero su un pianeta stabilisce il **potenziale di ossido riduzione (redox)** che è la misura della tendenza di un ambiente a ossidare (a formare la ruggine) o a ridurre e l'abbondanza di atomi d'Idrogeno a carica positiva definisce anche l'equilibrio acido-base o **pH (misura della basicità o acidità)**. Sia il potenziale redox sia il livello di pH **sono due fattori ambientali che determinano se un pianeta è adatto o meno alla vita**.

Il pianeta Venere, il secondo in ordine di distanza dal Sole, ha perso quasi tutto il suo idrogeno, mentre Marte, il quarto pianeta, ha la sua superficie talmente ossidata da essere priva di molecole organiche dalle quali la vita può essere costruita: nessuna speranza di trovare forme di vita, dunque.

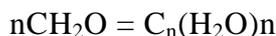
L'atmosfera terrestre a questo punto dell'evoluzione, per fotolisi e per fenomeni ciclici, si trovò a essere ricca di azoto molecolare inerte, di acqua allo stato di vapore e di grandi quantità di anidride carbonica (CO₂). L'intensa radiazione solare permise la fotolisi del vapore acqueo con conseguente formazione della molecola triatomica dell'ossigeno (ozono) che iniziò a formare uno strato nell'atmosfera primordiale che filtrava le radiazioni solari U.V. Ma il vapore d'acqua si esaurì perché le riserve dei composti di C, N, H terminarono e quindi il processo di fotolisi diminuì, preannunciando un possibile arresto del processo chimico. Fu evidente che la fotolisi si manifestò come un processo autoregolato: procedette sino a che l'ossigeno fu consumato del tutto, senza possibilità di riaccumulo.

Il processo evolutivo sembrava giunto ad un arresto definitivo, ma la continua movimentazione geologica del pianeta rifornì gli elementi utili al ciclo geochimico. Le violente eruzioni vulcaniche introdussero molecole di anidride carbonica e acqua sottoforma di vapore, permettendo nuovamente la scissione per fotolisi, con formazione di O₃. In contemporanea la CO₂, gas presente in gran

quantità in questa fase evolutiva dell'atmosfera primordiale, reagendo con H₂O produsse l'aldeide formica (HCOH) o formaldeide e ossigeno molecolare.



L'aldeide formica con tendenza a polimerizzare diede poi idrati di carbonio (o carboidrati):



Fu proprio a questo punto che ebbe **inizio la formazione di composti organici e la prima emissione di ossigeno molecolare**, che pur tuttavia fu fissato interamente dai metalli in formazione e l'atmosfera finì per essere formata soltanto da azoto residuo, dall'idrogeno rimasto e dai gas rari.

Semberebbe giunto un nuovo punto di arresto chimico, ma nuovi e antichi fatti determinanti la comparsa di O₂, permisero il suo lento e progressivo accumulo nell'atmosfera:

- la fuga d'idrogeno
- l'assorbimento di ossigeno atmosferico dissociato, che durò per milioni di anni, da parte di sostanze come il ferro dissolto nei mari: solo quando tutto il ferro non ossidato, o materiali analoghi, fu precipitato, l'ossigeno cominciò ad accumularsi nell'atmosfera e la sua concentrazione cominciò a salire.
- la fotodissociazione del vapore acqueo da parte dei raggi ultravioletti
- l'evoluzione dell'organismo fotosintetico, fase che permise il passaggio dall'evoluzione chimica organica a quella biologica: nel corso dell'evoluzione terrestre il processo d'immissione di ossigeno nell'ambiente per opera di colonie di organismi fotosintetizzanti aerobi ebbe origine circa 3 miliardi di anni fa .

Fu solo quando si sviluppò nella parte superiore dell'atmosfera lo **strato di ozono in grado di assorbire i raggi U.V. e proteggere la Terra**, impedendo così altre sintesi fotochimiche di composti organici, che la **fotosintesi aerobia ebbe inizio**. Tuttavia, per molto tempo, la presenza nell'ambiente di minerali in grado di reagire con l'ossigeno, come il ferro, impedì che esso potesse accumularsi nell'atmosfera. Quando la concentrazione di ossigeno atmosferico raggiunse il "punto di Pasteur", pari a 1/100 dell'attuale concentrazione, fu possibile la vita aerobia, ma **per circa un miliardo di anni la concentrazione di O₂ si mantenne molto bassa** (1-2 % dell'attuale) per l'azione di tamponamento operata dai minerali ferrosi.

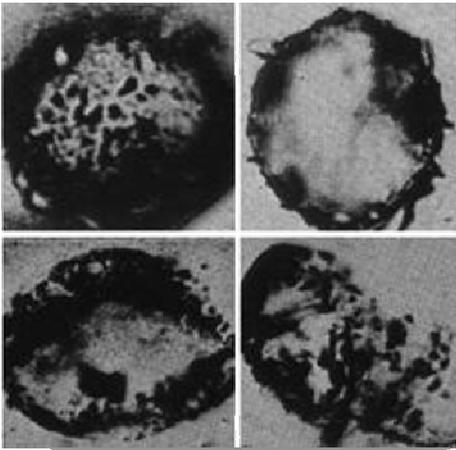
Le fonti energetiche primordiali:

Radiazioni solari (tutte le lunghezze d'onda)	260.000 cal/cm ² anno	
Luce ultravioletta $\lambda < 2.500 \text{ \AA}$	570	»
$\lambda < 2.000 \text{ \AA}$	85	»
$\lambda < 1.500 \text{ \AA}$	3,5	»
Scariche elettriche	4	»
Raggi cosmici	0,0015	»
Radioattività (fino alla profondità di 1,0 km)	2,8	»
Calore dai vulcani	0,13	»
Impatto di meteoriti	0,1	»

3. DALL'ETEROTROFISMO ALL'AUTOTROFISMO (*chi fu il primo a sintetizzare O₂?*)

Fu proprio nel periodo di transizione tra l'atmosfera composta di ammoniaca e di metano e quella costituita da azoto inerte e anidride carbonica, quando la fotolisi dell'acqua permise la formazione di ozono, che la vita ebbe origine. **I primi organismi viventi** (protobionti) erano microscopici, unicellulari, procarioti, simili agli attuali batteri sferoidali (cocchi).

Microfossili di batteri sferoidali:



Probabilmente formavano un sottile strato vivente sul fondo di bassi mari epicontinentali (ambiente di sedimentazione marina poco profondo, situato su vaste aree interne di un continente), dove si nutrivano di sostanza organica continuamente formata per via non biologica e direttamente disponibile nell'ambiente. **I primi organismi furono eterotrofi** e vivevano in condizioni anossiche, per mezzo della fermentazione di sostanze assorbite.

Il processo evolutivo di un organismo eterotrofo fu messo in crisi nel momento in cui il tasso di produzione delle sostanze organiche era superato dal tasso di utilizzazione delle stesse, creando una mancanza di materiale nutritivo. È molto probabile che in questa tappa evolutiva **sia sorta una stirpe di organismi coacervati autotrofi**, capaci di costruire autonomamente sostanze nutritive necessarie alla sopravvivenza, resi premianti, in termini adattativi, dalla competitività nell'approccio alle risorse, ormai prossime all'esaurimento.

Gli organismi procarioti eterotrofi furono quindi sostituiti per esaurimento del materiale organico biogeno da organismi autotrofi, in grado di fotosintetizzare i propri alimenti.

La più plausibile delle forme di autotrofismo è la **fotosintesi anaerobia (in assenza di ossigeno)**, analoga a quella di alcune specie di batteri attuali, dove non è prodotto ossigeno come elemento secondario della reazione ed essa non può avvenire in sua presenza.

Un ulteriore passo fu l'originarsi da questi organismi anaerobi autotrofi fotosintetizzanti di **primi organismi in grado di compiere una fotosintesi aerobia** (i precursori dei moderni Cianobatteri). L'ossigeno liberato in questa nuova fotosintesi fece sì che i fotosintetizzanti anaerobi si sottraessero all'azione tossica del gas, rifugiandosi dove ancora permanevano condizioni di anossia, indispensabili alla loro sopravvivenza. **Gli aerobi rimossero, quindi, gli anaerobi** dal vertice di queste prime comunità, relegandoli in ambiti marginali, scarsamente illuminati, lontani dalla luce necessaria al processo fotosintetico.

Il tipo più primitivo di cellula vivente, la **protocellula**, era di struttura assai semplice, sprovvista di nucleo e organuli. Per giungere a una diversità di strutture all'interno della cellula è stata formulata la **teoria endosimbiontica**, secondo la quale l'attuale funzionalità cellulare è il frutto di apposizioni successive di strutture biologiche, in grado di operare singole funzioni che si sono integrate in unica struttura, ricevendone vantaggio reciproco.

Realizzando associazioni permanenti di vicendevole utilità (**simbiosi**), l'inglobamento di altri microorganismi, quali batteri anaerobi che si trasformano in mitocondri, spirochete in flagelli e alghe azzurre in cloroplasti, diede origine alla cellula fornita di membrana e di organuli. L'iniziale coacervo simbiotico si organizzò, quindi, diventando un organismo coloniale di **cellule procariotiche**.

La **comparsa della respirazione cellulare** che, con la combustione completa delle sostanze nutritive consente una produzione di energie biologiche diciotto volte superiore a quella ottenibile con la semplice fermentazione anaerobia, fu uno degli eventi più importanti nella storia della vita sulla Terra e avvenne circa un miliardo di anni fa.

Paradossalmente, fu proprio quando l'Ossigeno iniziò ad accumularsi nell'atmosfera che accadde il peggior caso d'inquinamento globale di tutti i tempi: per le cellule fotosintetiche anaerobiche, che erano in preponderanza, l'Ossigeno era una sostanza tossica e annunciava una catastrofe fatale alla vita. Anche nella realtà attuale è uno degli elementi più corrosivi e distruttivi. Pochi altri elementi, infatti, eguagliano la sua tendenza a scatenare reazioni chimiche: è sufficiente una scintilla perché un'intera foresta, reagendo con l'Ossigeno, s'incendi.

Fino a tempo fa, inoltre, non c'era modo di proteggere il Ferro dall'Ossigeno, o meglio dalla sua facilità di combinarsi: anche nel Vangelo di Matteo (6,19-21), quando Gesù incita a non accumulare tesori su questa Terra, è ricordato "dove tignola e ruggine consumano".

Tuttavia la natura, organismo autoregolante, sa che, se l'aria è impregnata di sostanze nocive, deve imparare ad adattarsi a vivere di sostanze tossiche. **Gli esseri umani respirano Ossigeno non perché sia intrinsecamente idoneo, ma perché sono stati sviluppati adattamenti per renderlo meno nocivo.** A questo scopo ci sono enzimi che annientano i composti letali che si formano quando l'Ossigeno brucia gli zuccheri nelle cellule: sono composti che includono il perossido d'idrogeno, usato come candeggiante domestico e industriale, e persino il più distruttivo superossido, un radicale libero. Queste sostanze danneggiano le delicate biomolecole delle cellule, DNA compreso e, anche se le cellule hanno meccanismi molecolari che tentano di riparare il danno, il loro inevitabile accumulo è deleterio ed è la causa del processo d'invecchiamento di un organismo.

Ciononostante l'Ossigeno è un elemento molto abbondante: il terzo più abbondante dell'universo e in assoluto (47% del totale) sulla crosta terrestre.

4. TESTIMONIANZE DAL MONDO MINERALE

Indicative al rilevamento di comparsa di Ossigeno sono le imponenti formazioni sedimentarie di minerali, la cui genesi è strettamente legata alla concentrazione di Ossigeno nell'ambiente. Un esempio in tal senso è rappresentato dall'Uraninite (UO_2) che si trova in depositi formati nei letti di alcuni corsi d'acqua precambriani.

Uraninite



In presenza di Ossigeno, il minerale si ossida facilmente, ma non quando la concentrazione è superiore all'1%. I depositi di Uraninite non si rinvennero mai in tempi recenti, poiché, da una certa data, la concentrazione di Ossigeno nell'ambiente è stata tale da impedire la formazione di depositi.



Circa 2 miliardi di anni fa compaiono altre formazioni minerali molto interessanti: si tratta di formazioni ferrose note come *red beds*, ossidi di ferro trivalente (Fe_2O_3), che non compaiono in sequenze più antiche.

Gli strati geologici ricchi di ferro, in rosso, si formarono con abbondanza di ossigeno. Gli strati grigi si riferiscono ai periodi anossici (*Barberton, Sud Africa*).

Tuttavia, la prova mineralogica più convincente sembra essere rappresentata da un altro tipo di deposito di ferro: le formazioni a bande, tonnellate di ossidi di ferro, inclusi in una matrice ricca di silice, derivata da attività vulcanica e da azione di agenti atmosferici, depositati in centinaia di milioni di anni, a cominciare da poco prima di due miliardi di anni fa.

La prima prova che la vita risale a un periodo precedente al Cambriano è stata la presenza di microfossili, rilevata nelle sezioni sottili provenienti dalle selci di Gunflint, in Ontario: è uno dei più antichi depositi fossiliferi noti, datato circa 2 miliardi di anni fa e conserva una delle associazioni di microfossili meglio differenziate.

Anche le rocce provenienti dalla formazione di Isua (Groenlandia), datate circa 3,8 miliardi di anni, sono indice della presenza di organismi fotosintetizzanti, mostrando già tracce d'isotopi stabili di Carbonio.

I fossili precambriani sono rari: alcune forme filamentose o sferoidali sono interpretate come batteriche, provengono dalla formazione di Pilbara (Australia Nord occidentale) e dalla formazione di Fig-Tree (Swaziland, Sud Africa) e risalgono a circa 3,5-3,1 miliardi di anni fa.

La fauna di Ediacara (*a destra*), sedimento in Australia meridionale, rappresentata da qualche decina di specie, denuncia una complessità strutturale tale da suggerire un'origine più antica, di cui però non esiste documentazione.



Studi compiuti sui sedimenti che contengono le stromatoliti fossili, costituiti da lamine di selce impilate, hanno evidenziato la presenza di catene carboniose derivate dalla demolizione di sostanze risultanti dall'azione biologica di colonie di organismi precursori dei Cianobatteri fotosintetizzanti.

Ancor oggi tali strutture si formano in alcune zone dell'Australia (SharkBay) (*figura a destra*): sono strutture sedimentarie, appartenenti al gruppo dei calcari non particellari biocostruiti, finemente laminate, dovute all'attività di microrganismi fotosintetici bentonici come procarioti (ad esempio Cianobatteri) e microscopiche alghe eucariotiche.



Le stromatoliti si formano per intrappolamento periodico nella mucillagine prodotta da alghe azzurre e/o batteri, di sedimento particellare molto fine, costituito in prevalenza da fango carbonatico. Dopo che il primo tappeto algale ha fissato le particelle del sedimento sulla sua superficie gelatinosa, fino ad essere completamente coperto, i filamenti algali si sviluppano al di sopra e formano così un altro tappeto. Così facendo si forma una successione di livelli alternati di sostanza organica con altri ricchi di sedimento.

Gli organismi che da soli furono responsabili dell'evoluzione della prima metà della storia della Terra senza che la loro diversità fosse poi diminuita, che ai giorni nostri hanno una grande ampiezza ecologica, che sono ovunque, che vivono talora come parassiti, sono i **batteri**. Si adattano ad ogni spazio e il loro ambito ecologico è superiore a quello di tutti gli altri organismi. E possono, inoltre, utilizzare più prontamente l'energia da un gran numero di fonti chimiche, con differenti tipi di metabolismo. In altre parole, i batteri come organismi più frequenti, non solo possono essere i dominatori, anche in peso, della vita sulla Terra, ma **potrebbero anche rappresentare l'unica forma di vita in tutto l'universo**.

È stato stimato che la biomassa batterica totale, data l'enorme espansione del suo ambito tra le rocce e i fluidi interstiziali, tenendo presente la profondità cui vivono, il volume roccioso di porosità occupate da acqua infiltrata in cui essi possono vivere, può superare tutta quella restante. Mettendo insieme varie stime, è stato calcolato che la massa dei batteri del sottosuolo sia probabilmente equivalente a 2×10^{14} tonnellate, corrispondente a uno strato spesso circa 150 cm esteso su tutta la superficie delle terre emerse, superiore a quella della flora e della fauna esistenti in superficie.

Un esempio attuale di fotosintesi anaerobia:

“Il batterio *Chlorobium tepidum* fu originariamente isolato in una sorgente calda della Nuova Zelanda. È un membro di una famiglia di organismi che dipendono da composti dello zolfo per poter svolgere la fotosintesi; non hanno bisogno di ossigeno e non lo producono come sottoprodotto. Al posto dei cloroplasti, che si osservano nelle piante, questi batteri hanno organelli chiamati clorosomi, che aiutano a generare l'energia attraverso una catena di trasporto di elettroni nella membrana citoplasmatica. Nei clorosomi, la clorofilla e le molecole carotenoidi che catturano la luce sono diverse da quelle usate da altre specie fotosintetiche. "La capacità di svolgere la fotosintesi in assenza di ossigeno, ha spiegato Jonathan A. Eisen, del The Institute for Genomic Research (TIGR) di Rockville, nel Maryland - è particolarmente importante per gli studi evolutivi, perché si crede che l'atmosfera della Terra contenesse in principio una quantità molto piccola di questo gas. Per questo alcuni biologi ritengono che questi batteri siano stati i primi organismi fotosintetici.” (Fonte : Le Scienze, 03/07/2002)

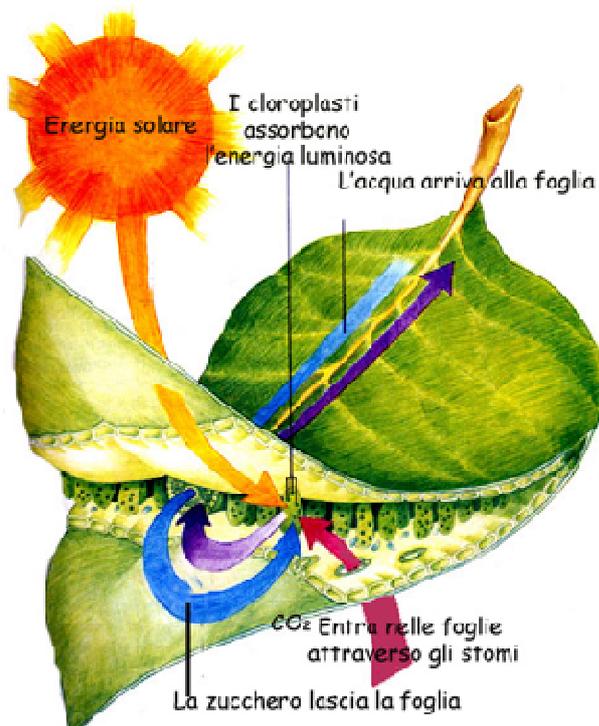
5. ... FINO AI GIORNI NOSTRI

Nell'atmosfera attuale l'Ossigeno è presente per il 21% circa e l'anidride carbonica è solamente lo 0,03 % del volume totale.

In che modo si giunse alla quantità attuale di Ossigeno e perchè si ridusse drasticamente la percentuale di anidride carbonica rispetto all'atmosfera primordiale? Con la primitiva fotolisi dell'acqua si otteneva Ossigeno, ma soltanto quello ad alta energia (ozono), utile per formare lo strato protettivo (ora sito a 24 km di altezza dalla superficie terrestre), ma non sufficiente per giustificare l'innalzamento della percentuale di Ossigeno atmosferico ai valori attuali.

Fu un balzo evolutivo a innescare un processo biologico fondamentale, il cui punto di partenza è la presenza di CO_2 e H_2O e quello di arrivo di O_2 , mediante l'energia della luce solare schermata dall'ozono: è la **fotosintesi clorofilliana delle piante superiori**. A differenza della fotolisi, la fotosintesi non porta all'Idrogeno libero, non esaurisce le riserve di acqua sulla Terra, anzi l'Idrogeno viene riconvertito in acqua, incorpora l'anidride carbonica nei tessuti vegetali, con consumo di CO_2 .

L'organo fotosintetico per eccellenza è la foglia verde.



L'epidermide superiore della foglia ha plastidi fotosintetizzanti, i **cloroplasti**, che sono in gran numero: in media da 30 a 40 per cellula nel parenchima clorofilliano (tessuto a palizzata).

Essi sono avvolti da una doppia membrana e all'interno sono organizzati in un sistema di membrane, che formano un certo numero di sacculi appiattiti e intercomunicanti tra loro (membrane tilacoidali), immersi in una matrice (stroma), in cui si trovano i diversi composti interessati all'organizzazione della CO₂, oltre a enzimi e ad altre sostanze (DNA, ribosomi ecc.).

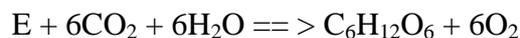
I cloroplasti sono sede di sistemi multienzimatici che presiedono ai seguenti processi fotosintetici:

tici che presiedono ai seguenti processi fotosintetici:

- nella fase luminosa all'assorbimento di Energia solare, alla sua conversione in Energia chimica con variazione del potenziale di ossidoriduzione e alla fosforilazione (trasformazione di ADP in ATP). Avviene nelle membrane tilacoidali;
- nella fase oscura (non dipendente dalla luce) alla riduzione della CO₂ e alla sintesi di glucidi. Avviene nello stroma.

Il processo fotosintetico delle piante verdi si svolge in due fasi: la fase fotochimica e la fase chimica. Nella **fase fotochimica** (fase luminosa), l'energia luminosa è trasformata in energia chimica utilizzabile dalla cellula; durante questa fase si ha la fotolisi dell'acqua, cioè la scomposizione dell'acqua con liberazione di O₂. Nella **fase chimica** (fase oscura) è ridotta e assimilata la CO₂ per produrre carboidrati.

Il processo fotosintetico comprende numerosi passaggi biochimici: l'anidride carbonica interagisce con l'acqua, si trasforma in glucosio con liberazione di CO₂ ed è riassunta con la seguente reazione fortemente endotermica:



(l'Ossigeno liberato proviene dall'acqua.)

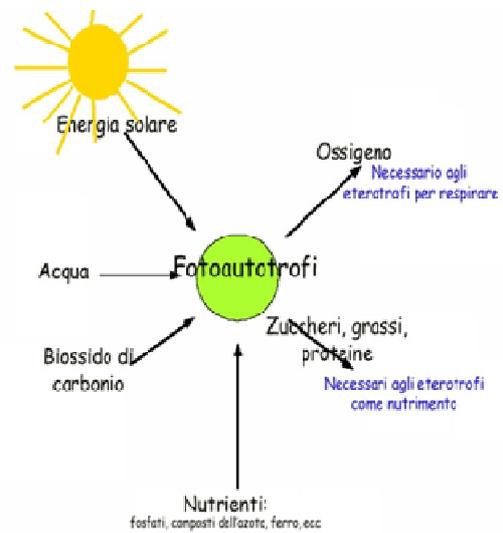
La reazione inversa (cioè se si legge da destra verso sinistra) è **la respirazione**: se il ciclo procede in modo perfetto zuccheri, ossigeno, anidride carbonica e acqua vengono consumati e ricostruiti senza sosta e il ciclo può durare in eterno. **La fotosintesi avviene solo nelle piante verdi**, mentre la **respirazione è presente sia negli animali sia nelle piante**, anche se in queste ultime è meno evidente, perché l'effetto della fotosintesi maschera quello della respirazione: di notte quando non si ha fotosintesi le piante si limitano soltanto ad assorbire ossigeno e a liberare anidride carbonica.

Fu all'inizio del sec XVII che Jan Baptiste Van Helmont (1577-1644), medico, naturalista, alchimista fiammingo aprì la strada alla comprensione dei meccanismi della fotosintesi clorofilliana e alla sua importanza per la nutrizione e per la vita degli organismi animali.

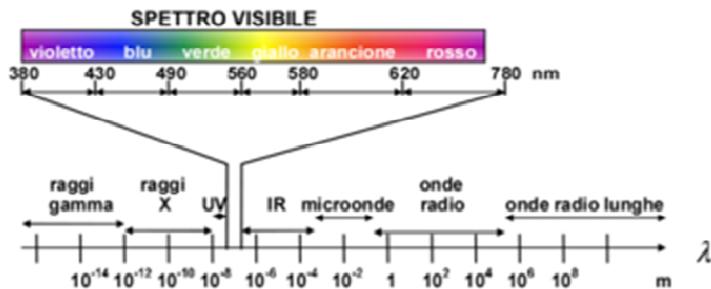
La fotosintesi, infatti, fornisce l'energia necessaria per i processi di accrescimento e per la sintesi dei lipidi, delle proteine, dei polisaccaridi, degli acidi nucleici, che sono alla base della produzione di materiale organico.

Il prodotto finale della fotosintesi è uno zucchero a 6 atomi di Carbonio che a sua volta può dare origine ad altri composti, il più noto dei quali è l'amido, che si accumula di giorno nei cloroplasti in forma di granuli (amido primario) e durante la notte, quando non si ha fotosintesi, è ritrasformato in zucchero che è riconvertito nuovamente in amido (amido secondario o di riserva), distribuito poi a tutta la pianta.

La fotosintesi è la trasformazione dell'energia solare in energia chimica. La quantità di energia che la Terra riceve dal Sole (costante solare) è 1,94 calorie al minuto su 1cm² di superficie terrestre, esposta perpendicolarmente ai raggi solari in situazione teorica (escludendo l'assorbimento di raggi solari per opera di nubi o foschia).



Le piante superiori utilizzano la luce nello spettro del visibile, di lunghezza d'onda compresa tra 380 e 730 nm.



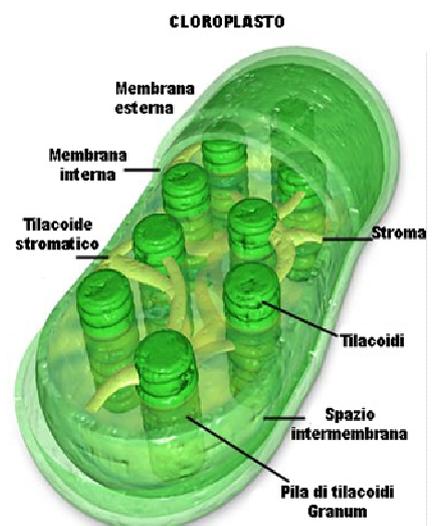
Il cloroplasto

La clorofilla presente nelle membrane tilacoidali dei cloroplasti assorbe in misura notevole la luce rossa e la luce violetta, mentre riflette la maggior parte delle lunghezze d'onda intermedie, per cui all'occhio umano il complesso di colori della luce riflessa è verde.

Detta anche **magnesioporfirina**, è la molecola atta alla fotosintesi, di cui esistono due tipi principali (**clorofilla a e b**).

La clorofilla *a* assorbe principalmente radiazioni di lunghezza d'onda compresa tra 430 e 680 millimicron, la clorofilla *b* quelle comprese tra 480 e 650 millimicron.

Si è osservato sperimentalmente che anche porzioni isolate di cloroplasti sono in grado di compiere la fotosintesi, purché abbiano almeno 200-400 molecole di clorofilla.



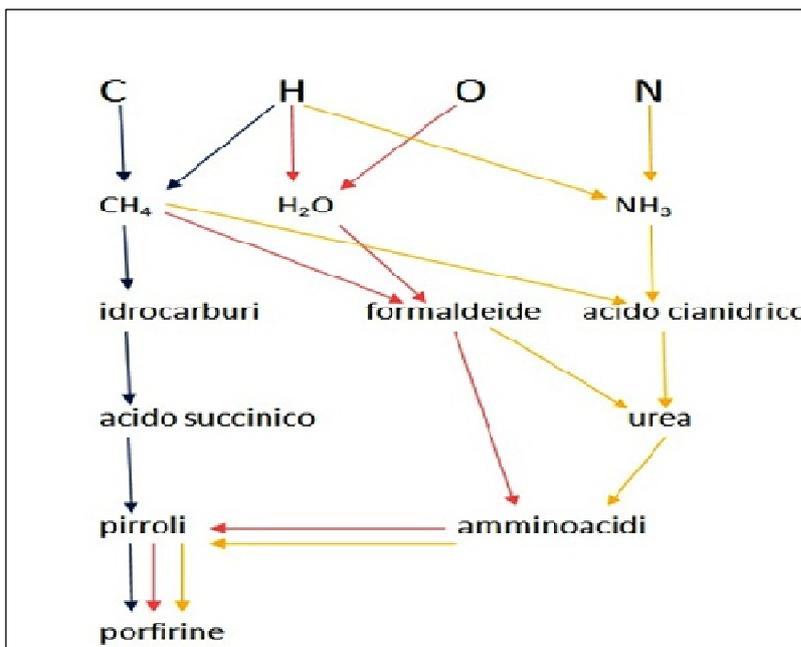
Strutturalmente, la **clorofilla è una porfirina**, cioè è la somma di 4 anelli pirrolici $C_{20}H_{14}N_4$ (un anello pirrolico è C_4H_5N).



Clorofille a e b

La clorofilla *a* ha 137 atomi $C_{55}H_{72}N_4O_5Mg$, mentre la clorofilla *b* ha 136 atomi $C_{55}H_{70}N_4O_6Mg$ e differiscono tra loro per la catena laterale: (nella *a* - CH_3), (nella *b* - CHO)
Al centro dell'anello porfirinico (testa della clorofilla) c'è un atomo di Magnesio.

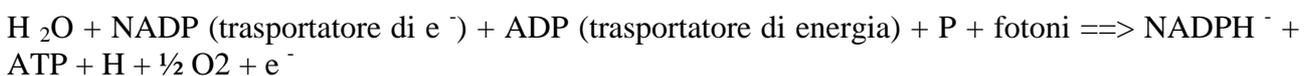
L'evoluzione delle porfirine dai componenti primordiali (Rosa M. Mistretta)



La clorofilla attivata dalla luce (fotoni) catalizza una reazione fotochimica con movimenti di elettroni. L'energia luminosa, assorbita dai pigmenti specifici (trasportatori di elettroni), produce un leggero mutamento nella distribuzione degli elettroni, determinando in essi uno stato eccitato, che consiste nella perdita, da parte del pigmento clorofilliano, di alcuni e^- che vengono catturati da determinati recettori molecolari.

La luce provoca la scissione dell'acqua nei suoi componenti (reazione di fotolisi con liberazione di ossigeno) e la ionizzazione dell'H in H^+ con emissione di elet-

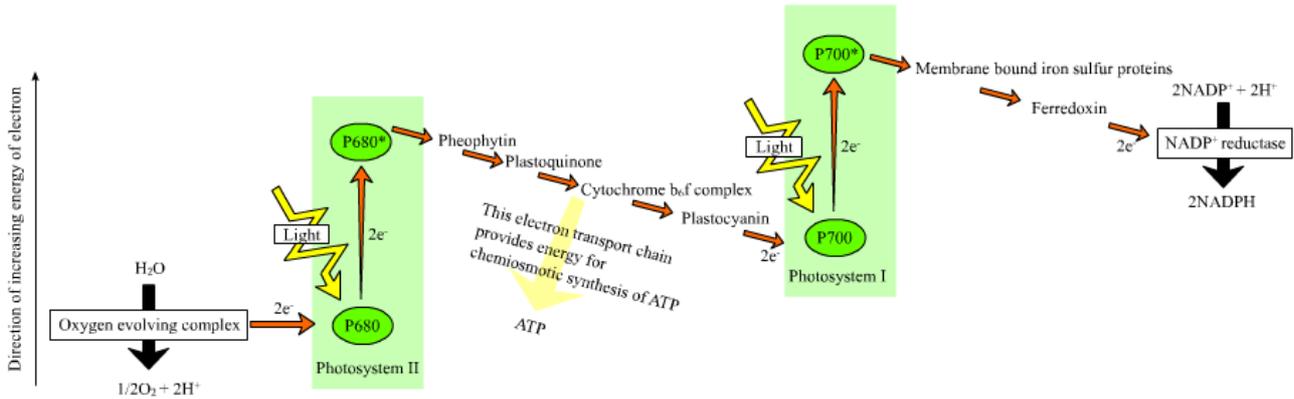
troni e^- i quali trasformano l'accettore di elettroni NADP in $NADPH^+$:



L'energia liberata provoca inoltre sintesi di ATP, cioè l'aggiunta di un P all'ADP, che prende il nome di fosforilazione. Il potenziale riduttivo del NADPH e l'energia immagazzinata dell'ATP attivano poi la riduzione della CO₂ nella fase chimica fotosintetica.

Una particolare molecola di clorofilla è detta centro di reazione.

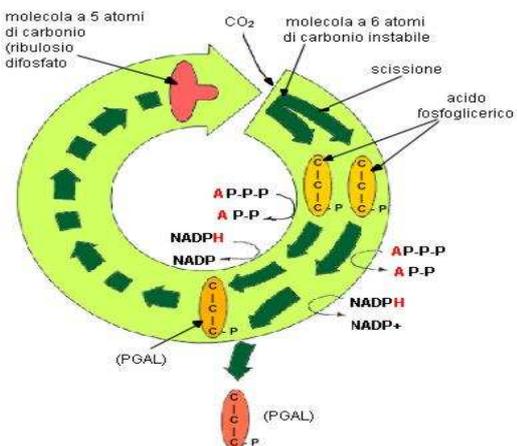
L'insieme dei pigmenti e del centro di reazione, unitamente a proteine particolari, costituisce il fotosistema.



Ci sono due fotosistemi, il fotosistema I (PS I) e il fotosistema II (PS II), funzionalmente collegati in serie l'uno rispetto all'altro. I fotosistemi I e II contengono sia clorofilla *a* sia *b*, ma in proporzioni diverse. I fotosistemi sono complessi di 250-400 molecole di clorofilla, che assorbono fotoni, convogliandoli al fotosistema I (P₇₀₀) e al fotosistema II (P₆₈₀), che presentano un massimo di assorbimento delle lunghezze d'onda rispettivamente a 700 nm e 680 nm. La molecola del centro di reazione del PS I, dopo aver ricevuto l'energia luminosa, cede un elettrone al primo di una serie di trasportatori di elettroni, e porta alla riduzione di NADP in NADPH. Rimane un deficit di elettroni trasferiti al NADP che è colmato mediante trasferimento di altri elettroni dal centro di reazione P₆₈₀, dove avviene la reazione di fotolisi di molecole di acqua, con la produzione di elettroni, che riportano allo stato neutro P₆₈₀.

Contemporaneamente, nello stroma, l'energia chimica resa disponibile nell'ATP e nel NADPH è utilizzata per costruire molecole organiche in un ciclo che prende il nome di Ciclo di Calvin-Benson, una via metabolica presente in tutte le piante il cui scopo è quello di utilizzare l'energia prodotta nella fase luminosa, in termini di molecole di NADPH e di ATP, per formare biomassa usando come molecola donatrice di carbonio la CO₂ presente nell'atmosfera.

L'accettore della CO₂ è uno zucchero a 5 atomi di carbonio. Si forma, poi, un composto a 6 atomi di Carbonio, che si scinde dando due molecole di acido fosfoglicerico a 3 atomi di C. Ciascuna di esse cattura un idrogeno da NADPH e un gruppo fosfato dall'ATP formando la fosfogliceraldeide (PGAL), che è il punto di partenza per la formazione del saccarosio e dell'amido. Parte di questo rimane in eccesso rispetto al ciclo e costituirà il primo prodotto di organizzazione della CO₂, che può essere trasformato in altri zuccheri senza spesa energetica.



Ciclo di Calvin

È importante rendersi conto che l'organizzazione del processo fotosintetico è molto simile a un macchinario molecolare molto efficiente.

Il potere fotosintetico, almeno per le piante superiori, dipende in gran parte dall'entità del processo di fotorespirazione, che consiste nella cessione all'ambiente di una quantità di anidride carbonica attraverso un meccanismo ossidativo dipendente dalla luce. La fotorespirazione non va confusa però con la respirazione notturna, che anche nelle piante verdi avviene con meccanismi simili a quelli rilevabili nelle cellule animali e nei microrganismi. A differenza della respirazione notturna, la fotorespirazione comporta la perdita di una parte di CO₂ assimilata nel corso della fotosintesi e può essere pertanto considerata un fenomeno di dissipazione di materiale biochimico potenzialmente utile per l'economia delle cellule. In genere l'efficienza della fotosintesi in cloroplasti è inversamente proporzionale all'entità della fotorespirazione: l'inibizione di quest'ultima comporta una significativa attivazione del processo fotosintetico. Se la fotorespirazione è inibita, si manifesta un indicativo incremento della fotosintesi.

6. PERCHÉ L'OSSIGENO ATMOSFERICO SI MANTIENE A UN LIVELLO STABILE?

Circa 500 milioni di anni fa l'Ossigeno atmosferico ha raggiunto valori attuali ed è rimasto costante, anche se è stato calcolato che ogni 5000-6000 anni tutto l'ossigeno molecolare viene riciclato dagli organismi viventi.

La costanza chimica è dovuta non all'inattività dell'ecosistema terrestre, ma a un mutamento perpetuo, alla continua tendenza dell'ambiente stesso dal disequilibrio all'equilibrio. Un immenso ingranaggio in movimento crea sul nostro pianeta un ambiente più o meno costante, grazie ad una continua ciclicità. Un equilibrio stabile tra i produttori e i consumatori della biosfera è il modo di mantenere la percentuale di ossigeno nell'atmosfera a un livello perfetto per gli organismi aerobici .

Se nell'aria ci fosse meno del 17% di ossigeno, moriremmo asfissati, se ce ne fosse più del 25%, tutta la materia organica brucerebbe alla minima scintilla e gli incendi sarebbero incontrollabili. Si pensa che in passato una concentrazione del 35% di ossigeno abbia distrutto in incendi globali la maggior parte della vita sulla Terra. Inoltre, la percentuale odierna di Ossigeno atmosferico è alta abbastanza da supportare la formazione di uno **strato di ozono** nella stratosfera, che protegge la vita dai nocivi raggi ultravioletti dal Sole.

Da quando l'aria divenne ricca di ossigeno nel passato della Terra, il fatto che i livelli di ossigeno abbiano fluttuato, ma non di molto, avvalga l'ipotesi che i sistemi biologici e geologici terrestri contribuiscano a plasmare l'ambiente e l'atmosfera in modo da renderli adatti alla vita, sapendo che è importante considerare la risposta dell'evoluzione allo stimolo ambientale.

I cicli biogeochimici sono in continuo movimento e la chimica sulla Terra non è in equilibrio ma tende a raggiungere l'equilibrio con l'implicazione di processi dinamici e quindi in evoluzione: un equilibrio statico indurrebbe all'interruzione della vita e l'ambiente sarebbe molto diverso dall'ambiente attuale. Quando un processo chimico raggiunge l'equilibrio, non vi sono più cambiamenti e si raggiunge la staticità. Su Marte e Venere ad esempio, per l'assenza di ossigeno (i loro cicli contengono solo una quantità di ossigeno inferiore all'1%) e per la vicinanza all'equilibrio della miscela di gas atmosferici, non c'è alcuna vita da scoprire.

La vita è possibile solo in un universo lontano dall'equilibrio: l'equilibrio è là dove la freccia del tempo non si manifesta. La vita è figlia della freccia del tempo.

Bibliografia

- Longo, 'Biologia vegetale', UTET
- Le scienze, 03/07/2002 : 'Le origini della fotosintesi'
- 'L'origine della vita' di Cyril Ponnampereuma
- Bohr, 'I quanti e la vita', ed. Bollati Boringhieri
- E. Padoa, 'Storia della vita sulla Terra', ed. Feltrinelli
- I. Asimov 'Il miracolo delle foglie', ed. Bollati Boringhieri
- J. Lovelock , 'Gaia', ed. Bollati Boringhieri
- Philip Ball, 'Elementi', ed. Codice
- S. J Gould, 'Gli alberi non crescono fino in cielo', ed. Mondadori
- M. Gell-Mann 'Il quark e il giaguaro', ed. Bollati Boringhieri
- I. Prigogine ' La fine delle certezze', ed. Bollati Boringhieri

Fonti delle immagini riportate alle seguenti pagine:

Pag. 1 <http://bruceleeeowe.wordpress.com/tag/astrobiology/>

Pag. 2 <http://www.sma.unibo.it/erbario/c41.html>

Pag. 3 Evoluzione Materia: Wikipedia

Pag. 6 <http://www.bo.astro.it/universo/webuniverso/bonfitto/bonfitto2.html>

Pag. 7 <http://it.wikipedia.org/wiki/Uraninite>, in alto

Wikipedia, in basso

Pag. 8 fauna di Ediacara http://eonsepochsetc.com/PreCambrian/precamb_home.html

Stromatoliti di Sharkbay in Australia, Wikipedia

Pag.10 <http://omodeo.anisn.it/omodeo/images/foglia.jpg>

Pag.11 <http://omodeo.anisn.it/omodeo/fotosintesi.htm>), in alto

Wikiversità, al centro

http://www.biologia.unige.it/corsi/Fisiologia_vegetale/fotosintesi/i_cloroplasti.htm, in basso

Pag.12 Clorofille a e b http://www.iprase.tn.it/natura/atlante/FOGLIA/Foglia_8.htm

Pag.13 In alto: Wikipedia

Ciclo di Calvin http://www.iprase.tn.it/natura/atlante/FOGLIA/foglia_14.htm