

Capitolo 7

L'inizio del ciclo

La formazione della Terra

Ma tutto ciò come iniziò?

Qualcuno potrebbe manifestare il dubbio che il grandioso ciclo che conserva la vita sulla Terra, che trasforma la luce solare in energia chimica, che ci fornisce una tavola imbandita inesauribile e un'atmosfera perennemente ricca di ossigeno, non possa essersi realizzato «per caso». Non dobbiamo forse pensare che solamente una finalità precisa e un ben definito progetto possono rendere conto di un complesso congegno così grande e meraviglioso e così tremendamente complicato?

(Se si trattasse di una finalità precisa, ne conseguirebbe per esempio la possibilità che solamente su questo pianeta, in tutto l'universo, si sia realizzato un tale progetto. Mentre se il ciclo si è gradualmente instaurato attraverso processi esclusivamente naturali, attuanti in un quadro di eventi «casuali», si può giungere a prevedere con qualche certezza se può realizzarsi anche su altri pianeti.)

Nella nostra cultura, è stata a lungo tradizione spiegare tutti gli inizi come risultato di un disegno preciso, della volontà di un divino creatore.

E essenzialmente in questi ultimi due secoli che gli scienziati hanno cercato di ricostruire, con osservazioni e prove sperimentali, le possibili vie attraverso le quali il sistema solare, compresa la Terra e tutto ciò che vi è su di essa, può aver preso origine attraverso eventi naturali, non predeterminati, casuali.

Gli scienziati si occupano dei fenomeni dell'universo, cercando di ricondurli a «leggi naturali». È quasi certo che noi non conosciamo ancora tutte le leggi naturali e che non comprendiamo esattamente quelle che già conosciamo. Nondimeno, sulla base dei dati di cui disponiamo, noi ci muoviamo a tentoni verso una migliore conoscenza.

Ammettiamo, per incominciare, che nell'universo vi sia materia ed energia, e ammettiamo per ipotesi che esse obbediscano alle diverse leggi naturali. Che cosa ne conseguirà?

Se ci limitiamo a considerare il sistema solare, noi ammettiamo che all'inizio vi fosse un'ampia nube turbinante di polvere e di gas. Questa lentamente si ridusse, in conseguenza di una forza di gravitazione, a costituire il Sole, mentre vortici turbolenti alla periferia della nube si condensavano nei diversi pianeti e satelliti. In tal modo si costituì il sistema solare, Terra compresa. Gli scienziati hanno stabilito che questo avvenne cinque o sei miliardi di anni fa, e hanno fondato la loro decisione sui dati ottenuti con i metodi di datazione a mezzo di sostanze radioattive (sostanze la cui radioattività decade molto lentamente secondo valori noti).

Questo ci dice subito qualcosa. E cioè che il nostro pianeta e la vita presente su di esso hanno avuto a disposizio-

ne cinque o sei miliardi di anni per giungere alle forme quali ci appaiono oggi.

Questo è importante. La creazione secondo un progetto si può pensare avvenga in un tempo breve (e la Bibbia ci dice che cielo e terra e tutto ciò che contengono furono creati in soli sei giorni). Se invece qualcosa della complessità del pianeta e della vita su di esso è giunto alla sua attuale forma attraverso l'opera del cieco caso, ci si può ragionevolmente attendere che ciò abbia richiesto un lungo tempo. Ebbene, cinque o sei miliardi di anni sono un lungo periodo, per cui noi siamo incoraggiati a proseguire lo studio nel senso indicato dalla scienza, e cioè secondo l'idea che eventi casuali possano pervenire alla instaurazione dei processi della vita.

La seconda domanda da porre si riferisce alla composizione chimica della Terra allorché si costituì, giacché è dai costituenti chimici della Terra primitiva che la vita ha dovuto prender forma. Noi non possiamo riferirci alla composizione chimica della Terra qual è oggi: infatti oggi sulla Terra non ci sono più processi di «creazione» della vita a partire da sostanza non vivente. La vita si è sviluppata su una Terra molto più giovane e può ben essere che questa Terra molto più giovane fosse differente dal punto di vista chimico, e forse anche in maniera sostanziale rispetto al pianeta che oggi conosciamo.

Nei momenti in cui la Terra si veniva formando non vi era nessuno che eseguisse dei controlli chimici, per cui possiamo procedere solamente per via di ipotesi. Un'ipotesi logica è che la Terra fosse costituita da una materia molto simile a quella dell'universo nel suo complesso.

Gli astronomi hanno sufficienti elementi per dirci che l'universo è costituito quasi interamente di idrogeno ed elio, i due elementi con l'atomo di più semplice struttura. Ciò vale per il Sole, per molti altri astri che sono stati studiati, per il materiale gassoso fra le stelle, e così via. Di fatto gli astronomi hanno potuto stabilire il rapporto quantitativo fra i diversi elementi.

Se immaginiamo omogeneamente mescolata la materia che compone l'universo, e immaginiamo di prenderne un campione che contenga quattro milioni di atomi di idrogeno, il numero di atomi degli altri elementi in questo campione sarà il seguente:

Elio	310000	Silicio	100	Alluminio	10
Ossigeno	2150	Magnesio	91	Calcio	5
Neon	860	Ferro	60	Sodio	4
Azoto	660	Solfo	37	Nichel	3
Carbonio	350	Argon	15	Fosforo	1

Se prendiamo in esame un campione più grande della materia dell'universo, dovremo aggiungere inoltre alcuni degli elementi più rari. Se partissimo da un volume che comprenda quattro milioni di milioni di atomi di idrogeno, vi troveremo un atomo di uranio. Senza dubbio, questa è la composizione dell'universo nella forma attuale più che in quella del passato. Ma l'universo si è conservato in una forma che è sostanzialmente quella attuale, per un tempo molto più lungo di quanto abbia fatto il sistema solare. L'universo può nel complesso avere un'età di circa venticinque miliardi di anni, e cinque o sei miliardi di anni fa non era molto diverso quanto a composi-

zione chimica media: forse un po' più ricco di idrogeno e un po' più povero di tutti gli altri elementi.

Possiamo ammettere allora che i pianeti nel momento in cui si costituirono fossero formati principalmente di idrogeno ed elio, con tracce dei restanti elementi. In effetti sembra appunto che i grandi pianeti periferici (Giove, Saturno, Urano e Nettuno) presentino una simile costituzione.

Ma la Terra no, e neppure gli altri piccoli pianeti situati più all'interno (Marte, Venere, Mercurio). In effetti l'idrogeno è relativamente raro sulla Terra, e l'elio pressoché inesistente. Perché?

In primo luogo i pianeti più interni si trovano più vicini al Sole e perciò si può pensare si siano trovati a una temperatura notevolmente più elevata, rispetto ai pianeti periferici, durante tutto il lento processo di formazione del sistema planetario. Se l'idrogeno e l'elio, che non sono allo stato gassoso solo a temperature estremamente basse, restano legati a un pianeta è solo grazie alle forze gravitazionali: quanto più elevata è la temperatura, tanto più veloci saranno i movimenti degli atomi di idrogeno e di elio, e tanto più difficile sarà che essi siano trattenuti su un pianeta.

Nelle parti più periferiche del sistema solare, ove la temperatura è più bassa, le molecole di idrogeno e gli atomi di elio sono sufficientemente lenti da poter essere trattenuti. I pianeti hanno masse considerevoli per l'abbondanza di idrogeno e di elio che vi si trovano condensati. Questo rende più forte il loro campo gravitazionale e rende loro più facile trattenere i gas. In conclusione si costituirono dei grandi pianeti, eccezionalmente ricchi di idrogeno.

Nella parte interna del sistema solare, ove le temperature sono relativamente elevate, le molecole di idrogeno e gli atomi di elio erano troppo leggeri per poter essere trattenuti e i pianeti furono costituiti di altri elementi. Poiché gli altri elementi all'infuori dell'idrogeno e dell'elio rappresentavano solamente una piccola frazione della materia che costituiva la nube primitiva di cui ho parlato, i pianeti interni risultarono di piccole dimensioni per mancanza di materia grezza. Essi possono dare origine solamente a piccoli campi gravitazionali che non li aiutano per nulla nell'operazione di cattura di idrogeno ed elio.

I pianeti interni risultarono costituiti principalmente di elementi capaci di esistere, sia isolatamente che in combinazione con altri elementi, in forma solida a quelle temperature. Le molecole e gli atomi di queste sostanze solide sono tenuti insieme da forze elettromagnetiche il cui valore è di parecchi milioni di milioni di volte superiore a quello delle forze gravitazionali.

Il silicio, per esempio, si combinerà con un po' di ossigeno (solamente con un po' di esso, giacché non vi è silicio a sufficienza per lepre tutto l'ossigeno) formando biossido di silicio. Questo a sua volta si combinerà con magnesio, ferro, alluminio, calcio, sodio, nichel e molti altri degli elementi più rari, per dare origine a silicati. Questi silicati si presentano con i caratteri di rocce. Il ferro si lega più lentamente, rispetto agli altri elementi, per formare silicati, mentre si combina più prontamente con il solfo per dare origine a solfuri. Buona parte di esso si presenta in forma metallica.

Nel corso del processo di formazione del pianeta il ferro metallico (mescolato con il suo omologo più raro, il nichel)

lentamente si portò nella parte centrale, essendo più denso rispetto ai silicati.

In questo modo la Terra possiede oggi un nucleo di nichel e ferro allo stato liquido date le elevate temperature e pressioni presenti. Questo nucleo costituisce circa il 30 per cento della massa di tutto il pianeta. All'esterno di questo vi è un «mantello» costituito di silicati, che avvolge il nucleo come l'albuma circonda il tuorlo.

Alla superficie della Terra (analogamente al guscio nell'uovo) si ha una sottile «crosta», che costituisce solamente un duecentocinquantesimo della massa della Terra e in media presenta uno spessore di soli sedici chilometri. Anche questa crosta è costituita di silicati.

Può essere stato necessario un tempo assai lungo perché la Terra assumesse la forma di un conglomerato, perché i suoi costituenti si differenziassero, e perché essa raggiungesse la sua attuale forma. Sarebbe interessante sapere con esattezza quanto fu lungo questo periodo, poiché è verosimile che la vita non ebbe inizio sino a che lo strato più esterno non raggiungesse la sua forma e consistenza attuali.

Nella crosta si sono ritrovate rocce che risalgono a tre miliardi e mezzo di anni addietro, per quanto dimostrano le sostanze radioattive in esse contenute. Questo ci dice che tali rocce sono rimaste allo stato solido e in quella sede per tutto questo lunghissimo periodo, e che la crosta deve avere perlomeno una tale età. Un periodo di tre miliardi e mezzo o anche di quattro miliardi di anni è già sufficientemente lungo perché la vita possa aver avuto 'origine attraverso processi casuali.

La formazione dell'atmosfera

La Terra però non è costituita nella sua totalità di metallo e roccia. Contiene una grande quantità di acqua allo stato liquido e un'estesa atmosfera gassosa. Come si sono formate?

Il progressivo confluire di materiale solido a costituire la Terra si realizzò entro un'estesa massa gassosa. La Terra in via di costituzione poteva non essere capace di trattenere a sé questi gas con la sua insufficiente forza gravitazionale, ma i gas c'erano.

I gas erano rappresentati in misura preponderante da idrogeno. Vi erano inoltre taluni gas che in condizioni normali non danno origine a composti, ma rimangono allo stato gassoso e in forma elementare; temperatura ordinaria: sono i cosiddetti gas nobili, principalmente elio, neon e argon. A differenza dell'elio e degli elementi omologhi, l'idrogeno è in grado di combinarsi con altri elementi. La sua notevole abbondanza rende estremamente probabile la formazione di questi composti, al punto che non possiamo esser certi della presenza fra i gas di taluni composti dell'idrogeno. Beninteso, i più comuni fra questi sono quelli costituiti dall'idrogeno con i più abbondanti fra i restanti elementi. Se prescindiamo dall'elio e dal neon (che non si combinano, come abbiamo detto), dopo l'idrogeno gli elementi più abbondanti sono l'ossigeno, l'azoto e il carbonio (nell'ordine).

Ciascuno di questi è in grado di combinarsi con l'idrogeno dando composti che, nelle comuni condizioni di temperatura, sono allo stato gassoso.

L'ossigeno si combina con l'idrogeno per dare origine ad acqua (H₂O), che a temperatura ordinaria è liquida ma libera in continuità grandi quantità di vapore acqueo:

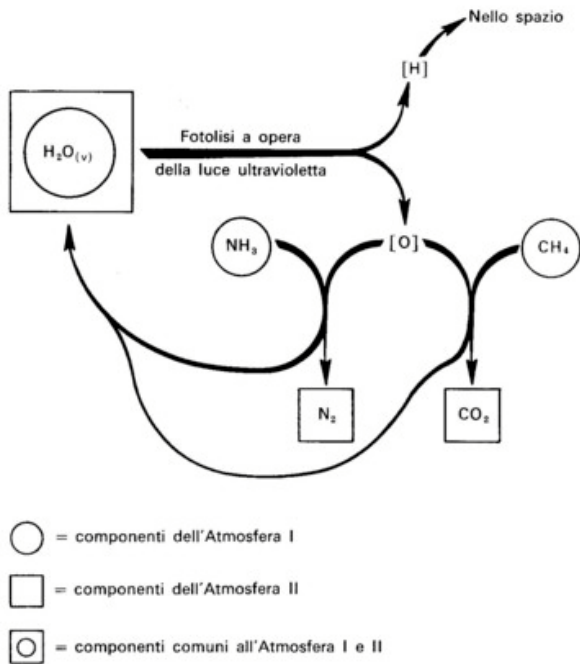


Figura 34
 Dall'Atmosfera I all'Atmosfera II.

questo possiamo indicarlo come H_2O_{vap} *. L'azoto si combina con l'idrogeno per formare ammoniaca. (NH_3), e il carbonio con l'idrogeno forma metano (CH_4). Sia l'ammoniaca che il metano alle temperature riscontrabili sulla Terra sono allo stato gassoso.

Per cominciare, la Terra si costituì per il confluire di particelle di silicati e metallo e presentò un campo gravitazionale troppo debole e diffuso per poter trattenere uno qualsiasi di questi gas. Ma l'acqua e l'ammoniaca, e in minor misura il metano e l'idrogeno, poterono legarsi, anche se labilmente, ai silicati e ad altre sostanze in via di costituzione, in modo tale che almeno una parte di essi venne a far parte del conglomerato. L'elio, il neon e l'argo non legandosi non risultarono inclusi. (Piccole quantità di questi gas sono presenti nell'attuale atmosfera, ma si sono costituiti in epoche recenti per decadimento radioattivo di elementi presenti nella crosta terrestre. Essi non risalgono al periodo di formazione del sistema planetario.)

* [Naturalmente dal punto di vista chimico acqua e vapore acqueo sono lo stesso composto: per cui $H_2O_{(v)}$ non è una formula chimica, ma solo una notazione di comodo, ad hoc].

Con l'accrescersi progressivo di questo abbozzo iniziale di Terra, le particelle che si agglomeravano venivano compresse sempre più vicine le une alle altre per azione del via via crescente campo gravitazionale del pianeta. La temperatura del nucleo centrale andò conseguentemente crescendo, fino al punto che i gas surriscaldati vennero espulsi.

Una volta giunti alla superficie terrestre, vi era ancora qualche problema riguardo alla eventualità che potessero essere trattenuti dal pianeta, anche ora che il campo gravitazionale di questo aveva raggiunto il suo massimo. La Luna è così piccola, per esempio, che i gas espulsi dal suo corpo in via di addensamento poterono essere trattiene-
 nti solamente per un tempo breve, e infatti attualmente la Luna non è provvista di qualcosa che si possa definire

atmosfera. (Gli astronomi dubitano, peraltro, che al di sotto della sua superficie vi possa ancora essere acqua allo stato di ghiaccio, o, perlomeno, che notevoli quantità di acqua possano tuttora essere legate alle molecole di silicati.)

Mercurio ha dimensioni superiori a quelle della Luna, ma per la sua maggiore vicinanza al Sole è anche più caldo, e perciò anch'esso non trattiene un'atmosfera apprezzabile. Marte è di dimensioni ancora superiori, ma trovandosi più lontano dal Sole ha temperature inferiori; è provvisto di un'atmosfera in sottile strato. Venere e la Terra, i più grandi dei pianeti della parte interna del sistema solare, e provvisti dei campi gravitazionali più forti, trattennero entrambi un'atmosfera discretamente estesa in altezza (anche se molto più sottile delle immense atmosfere dei pianeti esterni).

La Terra non fu in grado di trattenere l'idrogeno che poté emergere dal suo interno in via di addensamento, ma fu in grado di trattenere gli altri gas.

Se noi ammettiamo che la temperatura della superficie terrestre fosse inferiore a 100 gradi centigradi, la maggior parte dell'acqua doveva trovarsi in forma liquida e raccogliersi a costituire un oceano. In essa dovette disciogliersi una grande quantità di ammoniaca, una minore di metano, e per un certo tempo anche idrogeno. Nell'atmosfera rimasero però masse di vapore acqueo, come pure molta ammoniaca e quasi tutto il metano.

L'atmosfera primitiva della Terra doveva inizialmente essere costituita principalmente di $H_2O_{(v)}$, NH_3 e CH_4 (possiamo darle il nome di Atmosfera I). Era molto simile a quella dei pianeti situati più perifericamente, se prescindiamo dal fatto che i pianeti periferici presentano nella loro atmosfera grandi quantità di elio e di idrogeno.

Questa Atmosfera I cui noi siamo giunti per via deduttiva non è però per nulla simile all'atmosfera terrestre attuale. Sono errate le nostre deduzioni, oppure è avvenuto qualcosa che ha modificato l'atmosfera? E se qualcosa è venuto a modificarla, perché questo stesso fattore non ha modificato l'atmosfera di Giove, per esempio?

Un fattore di cui disponiamo con molta maggiore abbondanza, rispetto a Giove, è la luce solare. Quale deve essere stato l'effetto della luce solare sull'Atmosfera I? In particolare quale deve essere stato l'effetto delle radiazioni ultraviolette della luce solare, ricche di energia?

Le radiazioni ultraviolette, attraversando l'atmosfera, dovettero colpire una molecola d'acqua. La molecola d'acqua dovette assorbire le radiazioni e acquistare energia. La molecola, per conseguenza, prese a vibrare con maggiore energia e i suoi atomi furono scossi sino a distaccarsi. In breve, una molecola d'acqua per azione della luce ultravioletta si decompose in idrogeno e ossigeno. Questo processo prende il nome di «fotolisi».

Allorché l'acqua si scinde in idrogeno e ossigeno, il campo gravitazionale della Terra non è in grado di trattenere l'idrogeno, che diffonde nello spazio. L'ossigeno viene trattenuto e si combina con altri componenti atmosferici. Si combina con metano per dare origine ad anidride carbonica (CO_2) e acqua. Si combina con ammoniaca per dare origine ad azoto (N_2) e acqua. L'effettiva sequenza dei fenomeni dovette essere certamente assai più complessa, ma in conclusione tutta l'ammoniaca e il metano vengono consumati e al loro posto si ritrovano azoto e anidride carbonica.

Si è formata una nuova atmosfera (che chiameremo Atmosfera II), costituita da H_2O_{vap} , N_2 e CO_2 , (vedi fig. 34).

Nel processo di conversione dell'Atmosfera I in Atmosfera II si è avuta necessariamente la fotolisi di una grande quantità di acqua. Alcuni studiosi hanno calcolato che circa la metà dell'acqua di cui la Terra era in origine fornita venne consumata nella conversione. Fortunatamente ne rimase a sufficienza da formare i nostri ancora immensi oceani.

Il passaggio dall'Atmosfera I all'Atmosfera II è avvenuto anche su Marte e su Venere, ove l'atmosfera è composta quasi interamente da anidride carbonica e da un po' di azoto.

Nei pianeti periferici il processo deve essere molto più lento, dal momento che le radiazioni ultraviolette vi giungono in minor misura e, soprattutto, le atmosfere sono molto più estese. A distanza di miliardi di anni non si sono avute modificazioni apprezzabili e le atmosfere dei pianeti periferici sono ancora identiche all'Atmosfera I.

L'attuale atmosfera terrestre, però, non è neppure Atmosfera II. La nostra attuale atmosfera (Atmosfera III) contiene ossigeno in luogo di anidride carbonica. È costituita da H_2O_{vap} , N_2 e O_2 .

Come si è costituita questa Atmosfera III? È possibile che essa abbia preso origine spontaneamente per fotolisi? Dopo che la conversione in Atmosfera II fu completa, l'acqua non continuò a scindersi? E l'idrogeno non continuò ad allontanarsi nello spazio e l'ossigeno a permanere? Se così fu, l'ossigeno non dovette avere per molto tempo altri elementi dell'atmosfera con cui combinarsi. Né l'azoto né l'anidride carbonica in condizioni normali si combinano con l'ossigeno. L'ossigeno dovette perciò semplicemente accumularsi libero allo stato molecolare, e la dotazione d'acqua della Terra continuò a diminuire.

Possiamo subito constatare, però, che vi è qualcosa di errato in questo modo di vedere. Certamente, poteva aversi la formazione di ossigeno; ma cosa poté portare alla scomparsa dell'anidride carbonica? Nell'Atmosfera II l'anidride carbonica deve essere stata presente in grandi quantità (su Venere e su Marte, infatti, essa fa la parte del leone, fra i componenti atmosferici). Nella nostra attuale Atmosfera III l'anidride carbonica rappresenta solamente lo 0,03 per cento. Qualsiasi teoria che intenda spiegare la conversione dell'Atmosfera II in Atmosfera III deve rendere ragione non solamente della comparsa dell'ossigeno, ma anche della scomparsa dell'anidride carbonica.

E, ciò che più importa, l'intero concetto della fotolisi ininterrotta dell'acqua deve essere scartato come possibile fattore di tale trasformazione. Non appena l'ossigeno prende ad accumularsi in forma libera a seguito della fotolisi dell'acqua, parte di esso si trasforma in ozono, forma di ossigeno ad alta energia, la cui molecola risulta di tre atomi di ossigeno, O_3 .

L'ozono assorbe in notevole misura le radiazioni ultraviolette, sicché una volta formatosi impedisce il proseguimento della fotolisi. Questo è infatti quanto si verifica anche oggi: circa ventiquattro chilometri al di sopra della superficie terrestre vi è uno strato di ozono. Lassù l'aria è rarefatta e l'ozono è presente solamente in piccole quantità, ma è sufficiente per assorbire le radiazioni ultraviolette. Solo una piccola quantità di esse può raggiungere gli strati più bassi dell'atmosfera dove si trova il vapor acqueo.

La fotolisi è perciò un processo «autoregolato». Procede intantoché l'ossigeno viene consumato con la stessa velocità con cui si forma. Questo avviene sino a che si ha una continua trasformazione dell'Atmosfera I in Atmosfera II. Una volta che il processo sia compiuto e si abbia unicamente Atmosfera II, invece, si ha accumulo di ossigeno, si forma ozono e la fotolisi si arresta. Ma cos'altro, oltre la fotolisi, può dare origine a ossigeno? Per noi, a questo punto, la risposta è ovvia: la fotosintesi.

La fotosintesi dà origine a ossigeno partendo dall'acqua, grazie all'energia dello spettro visibile della luce, che non viene assorbito dallo strato di ozono dell'alta atmosfera e che continua a raggiungere la superficie della Terra. La fotosintesi non è un processo autoregolato, a differenza di quanto avviene per la fotolisi.

Oltre a ciò, poi, la fotosintesi non porta alla liberazione di idrogeno libero, ma alla sua incorporazione nei tessuti vegetali, dai quali esso in ultimo viene riconvertito in acqua. A differenza della fotolisi, la fotosintesi non esaurisce le riserve di acqua della Terra.

Infine, la fotosintesi non solamente porta alla formazione di ossigeno, ma altresì all'incorporazione di anidride carbonica nei tessuti vegetali. Ne viene che non si ha solamente produzione di ossigeno, ma anche consumo di anidride carbonica.

Effettivamente la fotosintesi rende conto in modo corretto della trasformazione dell'Atmosfera II in Atmosfera III (vedi fig. 35), al punto che pare poco logico cercare un'altra spiegazione del fenomeno. Gli studiosi sono abbastanza convinti che l'atmosfera sia giunta alla sua attuale composizione per effetto di questo processo biologico.

Ma questo significa che deve esserci stata vita prima che esistesse la nostra attuale Atmosfera III. La vita deve aver preso origine nel periodo dell'Atmosfera I o dell'Atmosfera II, o forse nel periodo di passaggio tra queste due.

La formazione della vita

Il primo ad avanzare fondatamente l'ipotesi che la vita potesse aver preso origine in un'atmosfera diversa da quella attuale, fu il biochimico inglese J. B. S. Haldane. Verso il 1920 egli sottolineò che se all'origine dell'ossigeno dell'atmosfera stava un processo biologico, questo doveva aver preso forma allorché nell'atmosfera non vi era ossigeno e al suo posto vi era anidride carbonica. In altri termini, egli avanzò l'ipotesi che la vita avesse preso origine nell'Atmosfera II.

Nel 1936 un biochimico russo, Aleksandr Ivanovic Oparin, pubblicò un'opera intitolata L'origine della vita. La tesi era che la primitiva atmosfera terrestre contenesse metano e ammoniaca e che in questa Atmosfera I la vita avesse preso origine.

In un caso come nell'altro, le molecole che fornirono la materia grezza furono molecole di piccole dimensioni: acqua, azoto e anidride carbonica nell'Atmosfera II, acqua, ammoniaca e metano nell'Atmosfera I. In ogni modo il prodotto finale necessario per dare origine alla vita è rappresentato da molecole di enormi dimensioni, quali quelle delle proteine e degli acidi nucleici.

Nei suoi termini elementari, pertanto, la creazione della vita comporta la costituzione di grandi molecole a partire da molecole piccole, e questo richiede un apporto di energia.

Vi sono almeno quattro importanti fonti di energia sulla Terra primitiva: 1) il calore della parte interna della Terra; 2) l'energia elettrica dei fulmini; 3) la fissione radioattiva di taluni isotopi nella crosta terrestre; 4) le radiazioni ultraviolette provenienti dal Sole. Tutt'e quattro queste fonti erano probabilmente più ricche in un lontano passato che non oggi.

Il primo che provò realmente a riprodurre le originarie condizioni mediante un esperimento di laboratorio fu Calvin, lo stesso la cui opera fu così importante nello studio della fissazione dell'anidride carbonica (vedi p. 144). Egli scelse come materie grezze parte dei componenti dell'Atmosfera II: anidride carbonica e vapor acqueo. Come fonte di energia, Calvin scelse particelle ad alta velocità emesse da isotopi radioattivi.

Calvin espose la sua miscela di acqua e anidride carbonica alle radiazioni degli isotopi radioattivi, e dopo un certo tempo controllò la miscela per accertarsi se non vi si fosse formato qualche nuovo composto. Egli scoprì che erano comparse alcune molecole organiche a struttura semplice, molecole un po' più grandi e più complesse rispetto alle originali. Egli trovò, per esempio, molecole di formaldeide (HCHO) e di acido formico (HCOOH).

Era un inizio promettente. Molecole a struttura semplice possono essere trasformate, per azione di un'energia del tipo disponibile sulla Terra alle sue origini, in altre più complesse.

Ma questo non implica necessariamente che l'Atmosfera II fosse l'ambiente nel quale si era costituita la vita. Calvin non aveva incluso fra le sue materie grezze l'azoto, presente in quell'atmosfera. Forse se anche egli lo avesse aggiunto non sarebbe avvenuto null'altro, giacché l'azoto molecolare è piuttosto inerte e solamente con grandi difficoltà dà origine a composti. Eppure l'azoto è un componente indispensabile delle proteine e degli acidi nucleici, e se non lo si include in forma utilizzabile fra le materie grezze, la vita quale noi la concepiamo non può essersi formata.

L'ammoniaca, composto azotato dell'Atmosfera I, si combina invece facilmente con altre molecole. Essa è una materia grezza azotata assai più conveniente dell'azoto molecolare. D'altro canto il metano, composto contenente carbonio, presente nell'Atmosfera I, è un po' meno attivo dell'anidride carbonica presente nell'Atmosfera II. Fin qui, siamo ancora un po' lontani.

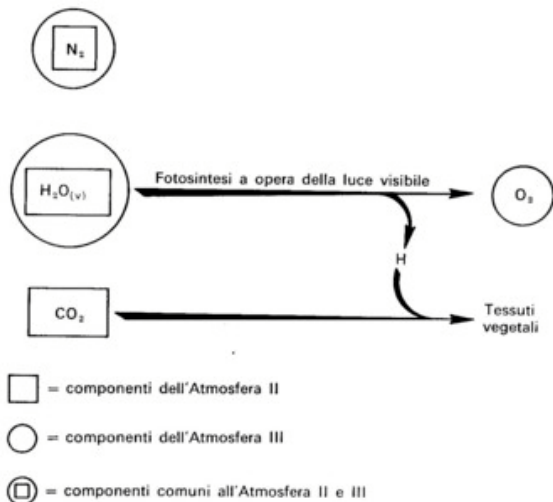


Figura 35
 Dall'Atmosfera II all'Atmosfera III.

Ma vediamo di considerare le differenti fonti di energia. L'energia da radioattività doveva essere più facilmente disponibile là dove erano più concentrati dei minerali radioattivi, e ciò doveva avvenire solo in poche zone relativamente piccole della superficie terrestre. Analogamente il calore all'interno della Terra doveva essere disponibile facilmente in prossimità delle regioni vulcaniche (ma non troppo vicino a queste). Le condizioni ideali dovevano cioè essere sempre limitate a piccole zone della superficie del pianeta. I fulmini potevano giungere quasi dovunque, ma in ciascun punto l'energia della scarica era necessariamente di breve durata e intermittente. Tutt'e tre queste fonti di energia sono pertanto limitate nello spazio o nel tempo.

Per contro la luce ultravioletta del Sole inonda tutta la Terra, e questo in media per periodi di dodici ore per ciascun luogo considerato. L'energia ultravioletta è distribuita sia nello spazio che nel tempo.

La luce ultravioletta appare quindi la più verosimile fonte di energia per la costruzione di grandi molecole in notevoli quantità. Ma stando così le cose, dobbiamo escludere l'Atmosfera II come materia grezza. Come abbiamo visto, in un'Atmosfera II perfettamente costituita negli strati alti si forma uno strato di ozono che blocca la luce ultravioletta e le impedisce di giungere agli strati più bassi e agli oceani, dove si trovano le molecole di acqua indispensabili.

Questo implica che la vita deve aver preso forma mentre l'Atmosfera I esisteva ed era in via di trasformazione in Atmosfera II. Di riflesso questo significa che metano e ammoniaca debbono essere inclusi fra le materie grezze, e che essi potevano, beninteso con l'acqua, essere proprio le materie grezze fondamentali.

Nel 1953 Urey (che due decenni prima aveva per primo scoperto il deuterio, vedi p. 13 S) avvertì la necessità di controllare in laboratorio quest'idea. Egli consigliò a un suo allievo, Stanley Lloyd Miller, di studiare un esperimento in cui a un campione di Atmosfera I venisse fornita energia.

Miller pose in un grosso pallone di vetro una miscela di ammoniaca, metano e idrogeno. In un altro fece bollire dell'acqua. Il vapore che si formava attraversava un tubo di collegamento fra i due palloni e giungeva alla miscela gassosa. Quest'ultima veniva dal vapore sospinta in basso, attraverso un secondo tubo, nell'acqua in ebollizione. Il secondo tubo passava attraverso un bagno di acqua fredda in modo tale che il vapore condensava, gocciolando poi nell'acqua in ebollizione. La miscela gassosa gorgogliava attraverso l'acqua in ebollizione e proseguiva il suo percorso sospinta dal formarsi di sempre nuovo vapore.

Beninteso, Miller si accertò che ogni parte usata fosse sterile; vale a dire che nel sistema non vi fossero cellule viventi capaci di dare origine a composti complessi. Se si fossero formati composti a struttura complessa, questo sarebbe avvenuto in completa assenza di forme di vita.

Sarebbe stato logico utilizzare la luce ultravioletta come fonte di energia, ma questa è facilmente assorbita dal vetro e questo poneva il problema di fornire alla miscela un'energia sufficiente attraverso il vetro. Miller decise pertanto di provare a utilizzare una scarica elettrica che avrebbe rappresentato un'imitazione del tipo di energia disponibile mediante un fulmine. In un punto del sistema egli fece passare attraverso il gas una scarica elettrica ininterrotta.

E immediatamente prese ad accadere qualcosa. L'acqua e i gas all'inizio erano incolori, ma trascorso un giorno l'acqua aveva assunto un colore rosa. Col passare dei giorni, il colore si fece più carico sino a divenire rosso scuro.

Trascorsa una settimana Miller era pronto ad analizzare mediante cromatografia su carta la sua miscela. Come Calvin, anch'egli scoprì nella sua miscela molecole organiche a struttura semplice. Una di queste era l'acido formico, che già Calvin aveva dimostrato presente. Vi erano anche altri composti, analoghi all'acido formico, ma ancor più complessi: tra gli altri, acido acetico (CH_3COOH), acido glicolico (HOCH_2COOH), e l'acido lattico ($\text{CH}_3\text{CHOHCOOH}$), tutti composti strettamente legati ai processi vitali.

La presenza di ammoniaca nella miscela di partenza voleva dire che vi erano atomi di azoto utilizzabili per la costruzione di molecole più complesse, e Miller in effetti trovò anche composti azotati, nella sua miscela finale. Si trattava di acido cianidrico (HCN) e urea (NH_2CONH_2).

Ma il fatto più importante fu che Miller scoprì, fra i suoi prodotti finali, due differenti amminoacidi. (Gli amminoacidi sono gli elementi costitutivi, relativamente piccoli, dalla cui unione risultano le gigantesche molecole proteiche.) Vi sono diciannove differenti amminoacidi che entrano in causa, in numero variabile, nella costituzione delle molecole proteiche, e i due amminoacidi che Miller scoprì erano proprio i due più semplici: la glicina e l'alani-
na.

L'esperimento di Miller era importante per molti aspetti. In primo luogo questi composti si erano formati rapidamente e in misura sorprendentemente grande. Un sesto del metano di partenza si era trasformato in composti organici più complessi, anche se l'esperimento era proceduto solamente per una settimana.

Cosa mai deve essere accaduto, quindi, sulla Terra alle origini con il suo sconfinato oceano caldo contenente ammoniaca, rimescolato da correnti di metano, ribollente per milioni di anni sono l'azione dei raggi ultravioletti del sole? Quantità incalcolabili di sostanze complesse dovettero certamente prendere origine, e gli oceani dovettero trasformarsi in una specie di «zuppa calda» di queste sostanze.

Il genere di molecole organiche che si era formato nell'esperimento di Miller, dunque, era proprio di quelle presenti nei tessuti viventi. La via presa dalle molecole a struttura semplice, via via che esse si trasformavano in altre più complesse, pareva orientata direttamente verso un processo vitale. Questa rotta verso la vita procedette con sicurezza negli ulteriori, più complessi esperimenti. Mai si formarono in misura significativa molecole che dessero l'impressione di volgere in una direzione insolita, non caratterizzata dalla vita.

Philip Hauge Abelson proseguì presso la Carnegie Institution le ricerche di Miller, studiando una serie di esperimenti analoghi che utilizzavano materiali di partenza rappresentati da differenti gas in varie combinazioni. Risultò che sino a che il punto di partenza era rappresentato da molecole che comprendessero atomi di carbonio, di idrogeno, di ossigeno e di azoto, si aveva la formazione di amminoacidi del tipo normalmente presente nelle proteine.

Le scariche elettriche non furono però l'unica fonte di energia sperimentata. Nel 1959 due studiosi tedeschi, W. Groth e H. von Weysenhoff, progettaronò un esperimento

in cui malgrado tutto potesse essere utilizzata luce ultravioletta, e anche in questo caso si formarono amminoacidi.

È importante procedere oltre andando al di là della formazione di composti a molecola semplice. Una modalità potrebbe essere di iniziare il processo con campioni più grandi di materie grezze e di trattarle con l'energia per tempi più lunghi. Questo produrrebbe quantità via via crescenti di composti sempre più complessi; ma le miscele di questi composti diverrebbero gradualmente più complesse aumentando così le difficoltà nel processo di analisi.

I chimici, invece, incominciarono da stadi più avanzati. I composti formati nei precedenti esperimenti potevano essere utilizzati come nuove materie grezze. Ebbene, uno dei composti ottenuti da Miller era l'acido cianidrico. Nel 1961, all'Università di Houston, il biochimico di origine spagnola J. Oro aggiunse con acido cianidrico la miscela di partenza. Ottenne una miscela più ricca di amminoacidi e anche alcuni composti costituiti da singoli amminoacidi uniti fra loro in brevi catene, mediante legami identici a quelli che li tengono uniti nelle molecole proteiche.

Oro ottenne altresì la formazione di purine, composti che presentano un doppio anello di atomi di carbonio e di azoto, e che si ritrovano nelle varie molecole di acidi nucleici. Egli ottenne una particolare purina, la «adenina», che entra non solamente nella costituzione degli acidi nucleici, ma anche di altri importanti composti legati ai processi vitali.

Nel 1962 Oro utilizzò fra le materie di partenza la formaldeide, e riuscì a produrre due zuccheri a cinque atomi di carbonio, il ribosio e il desossiribosio, entrambi costituenti essenziali degli acidi nucleici.

Nel 1963, il biochimico di origine cingalese Cyril Ponnamperna in collaborazione con Ruth Mariner e Carl Sagan (presso il Centro di Ricerche Ames in California) utilizzò adenina e ribosio come materie grezze e li espose alla luce ultravioletta. Questi due composti si legarono allo stesso modo in cui si legano nelle molecole degli acidi nucleici, formando «adenosina».

Se nella miscela di partenza si includono anche fosfati, questi si legano all'adenosina per dare origine ad «acido adenilico», uno dei nucleotidi che costituiscono i pilastri degli acidi nucleici. Nel 1965 Ponnamperna fu infatti in grado di annunciare di avere ottenuto la sintesi di un doppio nucleotide, composto in cui due nucleotidi sono legati esattamente allo stesso modo in cui si legano per dare origine alle molecole di acido nucleico.

Era inoltre possibile legare all'adenosina tre radicali fosfato ottenendo ATP, partendo da una miscela semplice senza l'intervento di processi vitali.

In breve, le materie prime costituenti l'Atmosfera I, sottoposte all'azione di quasi tutte le immaginabili fonti di energia (e in particolare a luce ultravioletta), in breve tempo si legavano dando molecole via via più complesse orientate verso la sintesi di proteine e acidi nucleici.

I ricercatori non sono ancora riusciti a ottenere in laboratorio proteine naturali e acidi nucleici in totale assenza di una forma di vita, ma la direzione è inequivocabile. Da ultimo, dovettero formarsi, sulla Terra primordiale, molecole sufficientemente complesse da essere provviste di proprietà vitali.

Così, dovettero certamente svilupparsi alla fine gli acidi nucleici, molecole di estrema complessità, capaci di determinare la produzione di molecole perfettamente uguali a sé, a partire da materie grezze presenti nell'ambiente. Tali molecole di acidi nucleici si conservano e si moltiplicano: e questo è il meno che ci si possa attendere da qualcosa di vivente. Esse dovettero rappresentare la prima e più elementare espressione di ciò che noi potremmo chiamare «vita».

Quando può essere accaduto tutto ciò? Calvin ha isolato idrocarburi a molecola complessa (si tratta di composti formati da soli atomi di carbonio e idrogeno) da rocce che risalgono a tre miliardi di anni fa. Essi sono verosimilmente i residui di sostanze viventi estremamente elementari, che esistevano al momento in cui quelle rocce si costituirono.

Partendo dal presupposto che la crosta terrestre non può risalire a molto prima di tre miliardi e mezzo di anni, questo indica che la «evoluzione chimica», che ha preceduto l'effettiva formazione della vita, poté procedere per meno di un mezzo miliardo di anni. Questo non è poi molto sorprendente, se pensiamo che gli esperimenti chimici in miniatura hanno dato un tal numero di prodotti pur in tempi brevi di giorni e settimane.

In realtà l'insieme di reazioni chimiche «cieche» non è poi così cieco. Partendo da determinati composti grezzi e fornendo energia, alla luce delle leggi chimiche e fisiche che noi conosciamo risulta che le trasformazioni che si hanno sono proprio quelle più probabili, e si dimostrano inevitabilmente orientate verso l'origine di un processo vitale. La vita è pertanto il risultato di trasformazioni altamente probabili che è pressoché impossibile non si realizzino una volta che si abbiano delle precise condizioni. Vista in questa prospettiva la vita non è affatto un «miracolo».

La formazione delle cellule

Non abbiamo modo di dire quale composto abbia presentato per primo la proprietà di produrre composti identici a sé. Attualmente i composti noti capaci di ciò sono gli acidi nucleici. Pare logico ammettere che la prima molecola capace di duplicarsi sia stata quella di un acido nucleico a struttura semplice.

Vi è peraltro un'eccezione, una particella virus-simile che è agente causale della «scrapie», una malattia delle pecore.

[La scrapie, nota anche in Italia con il termine francese *tremblante du mouton*, è una forma di mielite anteriore degli ovini, rara in Francia e in Germania e relativamente diffusa in Inghilterra, Australia e Nuova Zelanda, che si manifesta dopo un lungo periodo di incubazione con prurito diffuso e sintomi neurologici, portando alla morte dell'animale per paraplegia.]

Questa particella si moltiplica diffondendosi così da un animale all'altro, e da una singola particella prendono origine milioni e milioni di altre particelle. Eppure nel virus della scrapie non è stato individuato acido nucleico.

Può allora essere che, nei primi momenti del sorgere della vita, si sia sviluppato più di un tipo di molecola capace di moltiplicarsi? Forse si formarono molecole proteiche capaci di riprodursi; o forse molecole di zuccheri complessi con identiche capacità. Può esservi stato, casualmente, un

gruppo costituito da tipi diversi di molecole capaci di moltiplicarsi utilizzando le materie grezze disponibili nell'oceano. Fra queste, quelle dotate di maggior efficienza e velocità fecero la parte del leone e, col tempo, emersero sulle altre.

E' facile ammettere per ipotesi che le molecole di acidi nucleici, essendo le più efficienti fra quelle capaci di moltiplicarsi, prevalsero; ma l'efficienza è l'unico fattore che entri in gioco?

La nuda molecola capace di replicarsi lavora in talune condizioni di svantaggio. Gli elementi costruttivi che essa deve utilizzare, e le molecole ad alta energia che deve scindere per ricavarne l'energia necessaria, sono distribuiti diffusamente nell'oceano e debbono essere riuniti in un preciso momento. Un processo di moltiplicazione in queste condizioni sarà certamente lento, anche nella migliore delle ipotesi.

Ma cosa accadrebbe se la dotazione di elementi costruttivi, di composti ad alta energia, di tutti i tipi di diverse sostanze utilizzabili, venisse riunita in una sola riserva chiusa entro una specie di membrana, e così separata dal circostante ambiente dell'oceano? Le molecole capaci di moltiplicarsi con un'efficienza assai ridotta potrebbero allora competere ad armi pari con quelle dotate di maggiore efficienza costrette, per così dire, a pascolare nell'oceano.

Le scorte di materiali attivi per i processi vitali, delimitate da una membrana, sono appunto le cellule. Come possono essersi costituite tali cellule?

Haldane, che diede inizio all'offensiva della biologia moderna nei confronti del problema dell'origine della vita, prese in esame il problema della formazione della cellula. Egli mise in rilievo che quando si aggiunge dell'olio all'acqua si forma una sottile pellicola di olio che dà origine talora a bolle nelle quali rimangono incluse piccole goccioline d'acqua.

Una cellula, in certo qual modo, è una bolla d'acqua contenente in sospensione o in soluzione proteine e altre sostanze, circondata da una pellicola a struttura complessa, in parte costituita da sostanze lipidiche.

È possibile che le complesse cellule che oggi conosciamo siano il punto di arrivo di un processo evolutivo durato miliardi di anni e iniziato con una «bolla di sapone» nell'oceano?

Sidney W. Fox, all'Università di Miami, affrontò sperimentalmente il problema dell'origine della cellula. Egli pensò che in origine la Terra dovesse essere abbastanza calda perché la sola energia termica potesse dare origine a composti complessi partendo da altri a struttura semplice.

Per controllare questa ipotesi, Fox nel 1958 riscaldò una miscela di amminoacidi, e scoprì che questi davano origine a lunghe catene simili a quelle delle molecole proteiche. Fox le denominò «proteinoidei» («sostanze similproteiche»), constatando che la somiglianza era appunto molto notevole. I succhi gastrici, che digeriscono le comuni proteine, digerivano anche i proteinoidei. I batteri, che si nutrono e crescono utilizzando le comuni proteine, si nutrivano e crescevano altresì utilizzando proteinoidei.

La cosa più sensazionale fra tutte fu che, allorché Fox disciolse i proteinoidei in acqua calda e raffreddò la soluzione, scoprì che questi si riunivano in piccole sferette delle dimensioni approssimative di piccoli batteri. Fox le denominò «microsfere».

Queste microsfele non sono entità dotate di vita sulla base dei comuni criteri di valutazione, ma si comportano come delle cellule, almeno sotto certi aspetti. Sono provviste, per esempio, di una sorta di membrana. Aggiungendo alla soluzione talune sostanze chimiche, Fox (u in grado di provocare il rigonfiamento o il raggrinzarsi delle microsfele, proprio come avviene con le cellule. Queste microsfele sono capaci di emettere delle gemme, che talora sembrano aumentare di grandezza e quindi rompersi. Le microsfele sono capaci di separarsi, di dividersi a metà, o di riunirsi in catene.

Forse, quindi, i processi di sviluppo seguirono due vie: una che portò alla formazione di acidi nucleici, capaci di duplicarsi con notevole efficacia, e una seconda che portò alla formazione di cellule proteiche, meno efficienti per quanto concerne la moltiplicazione ma che immagazzinavano grandi quantità di materiali indispensabili.

E possibile che si sia giunti a un momento critico in cui le due vie casualmente confluirono in una via comune? Anche la più primitiva fra le cellule poteva essere capace di inglobare molecole di minori dimensioni con cui accidentalmente veniva a urtare. Deve essere stata la forma più primordiale di «alimentazione». Le molecole inglobate possono essere state capaci di scindersi liberando energia e di entrare a far parte delle strutture della cellula. Nel caso che non fossero adatte a questi due scopi, potevano infine essere espulse.

Poniamo per ipotesi che alcune cellule proteiche abbiano «mangiato» acidi nucleici, e che dopo milioni e milioni di eventi di questo tipo una molecola di acido nucleico «mangiato» si sia adattata per caso così bene alla struttura della cellula, da continuare a far parte integrante di questa.

Una tale «cellula ad acido nucleico» doveva riunire le caratteristiche di elevata efficienza moltiplicativa dell'acido nucleico alla caratteristica propria della cellula di avere una dotazione di elementi necessari alla vita. Il complesso che ne risultò dovette essere assai più efficiente sia della molecola libera di acido nucleico che della semplice cellula.

Da questa cellula ad acido nucleico, che possiamo ben credere si sia a un certo momento formata, sono derivate tutte le cellule che esistono attualmente. Forse poi, a un certo momento dello sviluppo, alcune cellule acquistarono la capacità di vivere come parassiti all'interno di altre cellule, e così facendo persero gradatamente quel materiale necessario a una vita indipendente. I virus che noi conosciamo oggi possono essere considerati dei discendenti «nudi» di quella prima cellula ad acido nucleico. In una forma del tutto primitiva essi sono costituiti quasi interamente di acido nucleico. In taluni casi tutto quel che rimane, a indicare che il virus è forse stato un tempo una cellula, sono uno strato proteico e una o due molecole di enzimi.

La prima cellula può ben aver preso forma su una terra avvolta dall'Atmosfera I in via di lenta trasformazione in Atmosfera II. In queste condizioni non doveva esservi ossigeno libero a disposizione, e l'energia doveva essere ricavata da reazioni che non richiedevano questo elemento: reazioni del tipo della glicolisi anaerobia, per esempio.

I composti complessi la cui scissione fornisce energia dovettero formarsi d'altra parte per azione della luce ultravioletta. La vita non poté quindi estendersi al di là del limite sino al quale poteva essere alimentata dalla luce ultravioletta.

Una volta completata la formazione dell'Atmosfera II, vi fu forse il pericolo che la vita si estinguesse. Con la costituzione dell'Atmosfera II prese a formarsi il manto di ozono (vedi p. 162), e il rifornimento di luce ultravioletta alla superficie dell'oceano dovette venire a mancare. Dovette sopravvenire nel pianeta una «carestia» che gradatamente aumentava.

C'era un'alternativa. Le porfirine (vedi p. 43) sono composti stabili e dovettero prendere origine da composti a struttura più semplice presenti nel primitivo oceano. Nel 1966, G. W. Hodson e B. L. Baker, a Edmonton nello Stato di Alberta in Canada, partendo da pirrolo e formaldeide (entrambi sintetizzabili da composti ancor più semplici) riuscirono a ottenere la formazione di anelli porfirinici semplicemente riscaldando moderatamente per tre ore la miscela. Se questo avveniva in presenza di taluni composti contenenti metalli, gli anelli porfirinici formati si presentavano al centro atomi metallici.

Si formarono taluni complessi porfirina-magnesio capaci di utilizzare l'energia della luce visibile per la costruzione di composti a molecola complessa a partire da altri a struttura più semplice: una forma primordiale di fotosintesi. Queste porfirine contenenti magnesio, costantemente inglobate da cellule, debbono, in un caso almeno, essere state incorporate nelle strutture cellulari.

Nonostante la scarsa efficienza dei processi utilizzando lo spettro visibile della luce, questa possibilità deve aver dato alle prime cellule contenenti complessi porfirina-magnesio un eccezionale vantaggio nei confronti delle altre cellule, in un periodo nel quale veniva lentamente interrotto il flusso di luce ultravioletta.

In conclusione, tutte le nostre cellule capaci di fotosintesi possono essere derivate da un unico capostipite, che deve essere stato analogo a quello che noi oggi chiamiamo cloroplasto.

Eredi di quel primo cloroplasto esistono ancora oggi. Vi sono duemila specie di un gruppo di organismi unicellulari capaci di fotosintesi, che prendono il nome di «alghe azzurre» (non sono tutte di questo colore: lo erano le prime che furono studiate). Si tratta di cellule assai semplici, a struttura più simile a quella di un batterio, se si esclude il fatto che contengono clorofilla mentre i batteri ne sono privi. Queste alghe azzurre possono essere considerate come un unico cloroplasto piuttosto grosso, e possono essere i discendenti più semplici del cloroplasto primitivo.

Altri discendenti possono avere perso la clorofilla ed essere passati al parassitismo o al saprofitismo (alimentazione mediante i prodotti di decomposizione di tessuti morti); questo è il caso degli attuali batteri.

Con il moltiplicarsi dei cloroplasti, nei mari primitivi deve aver preso ad accumularsi l'ossigeno molecolare da essi prodotto. Talune porfirine contenenti ferro sono in grado, utilizzando ossigeno, di regolare reazioni che liberano una quantità di energia superiore a quella liberata dalla glicolisi anaerobia. Queste porfirine, inglobate da talune cellule, debbono almeno in un caso aver trasformato una cellula comune in una capace di utilizzare l'ossigeno.

Possiamo considerare una tale cellula come il primo mitocondrio.

I cloroplasti e i mitocondri che noi ritroviamo oggi entro le cellule possono essere essi stessi residui di primitive cellule, più piccole e primordiali di quelle che noi oggi conosciamo. Sia i cloroplasti che i mitocondri contengono un particolare acido nucleico (di tipo analogo a quelli presenti nei batteri), e a quanto pare sono capaci di moltiplicarsi mediante meccanismi differenti dai comuni schemi riproduttivi propri della cellula.

Può essere poi che, fra i cloroplasti e mitocondri primitivi formati nei mari che lentamente si arricchivano di ossigeno, vi fossero anche grandi cellule anaerobiche. Se pensiamo che queste abbiano inglobato le precedenti, ne risulterà la cellula in senso stretto, quale la conosciamo oggi.

Una rappresentazione schematica del processo di formazione della vita, quale si è descritto in questo capitolo, è quella della figura 36.

E se un tale schema, strettamente connesso com'è a processi casuali, è valido, non potrebbe realizzarsi su pianeti diversi dalla Terra? Si direbbe che su ogni pianeta con caratteristiche e composizione chimica sufficientemente simili alla Terra debba, per forza, formarsi la vita. Sulla base di alcuni calcoli (per esempio quelli di Stephen H. Dole, del Rand Institute) nella sola nostra galassia possono esservi qualcosa come 640000000 di pianeti simili alla Terra.

Quale sia l'esatta forma che tale vita può assumere, non possiamo dirlo, ma l'idea che essa possa veramente esistere è emozionante. Le difficoltà di esplorazione del sistema solare sono enormi, ma i risultati in termini di conoscenza sono parimenti enormi.

Forse un giorno - un giorno assai lontano, può darsi anche - degli uomini andranno a vedere.

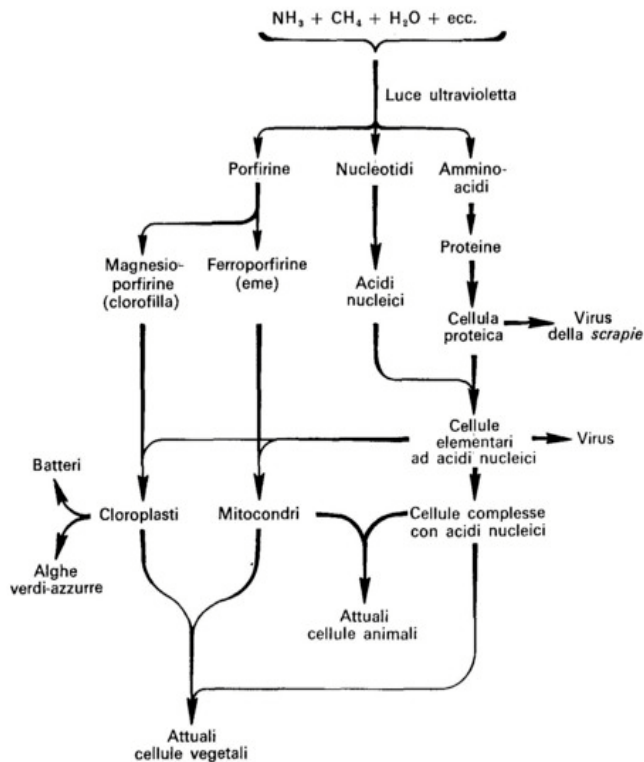


Figura 36
L'origine della vita.