

È nel cosmo l'origine della vita?

R. Caimmi

28 dicembre 2009

1 Introduzione

Prima di porsi il problema dell'origine della vita, non si può fare a meno di approfondire un certo numero di questioni che a tale problema sono intimamente connesse, ad esempio quali siano i dati sperimentali in favore di una sintesi di materia organica a partire da composti inorganici, con quali modalità abbia luogo l'interazione tra l'evoluzione della biosfera e l'evoluzione dell'atmosfera, che cosa si possa dire con sicurezza circa la presenza di molecole organiche nello spazio interstellare. Sono questi gli aspetti che ci si propone di prendere in esame, prima di considerare l'eventualità di una possibile origine della vita nel cosmo.

2 Sintesi di materia organica a partire da composti inorganici

Conformemente alle attuali teorie sulla formazione della Terra, avvalorate da un certo numero di osservazioni di carattere astronomico e geologico, le condizioni ambientali sulla Terra primordiale erano così drastiche da risultare incompatibili con la sopravvivenza delle entità (animali o vegetali) attualmente conosciute. Inoltre considerazioni fondate su dati sperimentali di natura biochimica, suggeriscono che la generazione spontanea di organismi viventi dalla materia inorganica abbia avuto luogo probabilmente non più di una volta, e in un ambiente molto ristretto, almeno per quanto riguarda i progenitori degli esseri attualmente sulla faccia della Terra. La presenza di molecole deve essere stata indispensabile per l'origine della vita, come discende dalle seguenti argomentazioni.

- 1) Gli acidi nucleici, DNA e RNA, sono la base universale di ogni forma di vita sulla Terra. Questo fatto suggerisce che, non appena un singolo

organismo trovò il modo di originarsi e di riprodursi, i suoi discendenti ereditarono il pianeta.

- 2) In generale, gli aminoacidi sono molecole a struttura tridimensionale che in natura possono avere una chiralità¹ sia destrorsa (D) che sinistrorsa (S). D'altra parte, gli organismi terrestri fanno uso quasi esclusivamente di aminoacidi con chiralità S. Ne consegue che i primi organismi viventi usarono aminoacidi con chiralità S e che una tale caratteristica si è tramandata di generazione in generazione fino ad oggi. L'utilizzo di soli 20 aminoacidi nei processi vitali, quando se ne conosce un numero molto maggiore in chimica, fornisce un'ulteriore indicazione circa la discendenza dell'intero ecosistema da una singola protocellula, e l'assenza di ulteriori generazioni spontanee di organismi viventi.
- 3) La molecola ATP (adenosina trifosfato) è alla base della circolazione di energia che guida le reazioni biochimiche in tutte le cellule, immagazzinando l'energia prodotta dal bruciamento dei carboidrati mediante reazioni chimiche endotermiche, e restituendola mediante reazioni chimiche esotermiche². Questo fatto costituisce un ulteriore indizio in favore di un'origine unica di tutte le specie viventi sopravvissute fino ad oggi.
- 4) In ogni cellula, le prime fasi di metabolismo dei carboidrati (la conversione del cibo in energia utile per le operazioni della cellula) comportano la fermentazione. Le ultime fasi di metabolismo negli organismi aerobici³ comportano la respirazione con il conseguente utilizzo di ossigeno. Ciò suggerisce che i primi e più semplici organismi non erano in grado di servirsi dell'ossigeno; al contrario, la presenza di questo elemento sarebbe stata per essi nociva. Furono le generazioni successive, caratterizzate da un grado di complessità maggiore, a cominciare a far uso di quelle reazioni di ossidazione che poi avrebbero dato luogo alla

¹In chimica, ogni molecola che ammette un'immagine speculare ad essa non sovrapponibile, si dice **chirale**. Viceversa, ogni molecola che ammette un'immagine speculare ad essa sovrapponibile, si dice **achirale**. Ad esempio, due viti identiche in tutto tranne che per il senso di avvolgimento del filetto sono chirali, mentre due chiodi identici in tutto sono achirali.

²Una reazione chimica si dice **endotermica** o **esotermica** quando comporta assorbimento o emissione di energia, rispettivamente.

³Si definisce **aerobico** ogni organismo, il cui metabolismo è basato sull'utilizzo di ossigeno molecolare (O₂), che funge da accettore finale di elettroni, attraverso il processo della respirazione cellulare.

respirazione, con conseguente guadagno in efficienza di produzione di ATP⁴.

- 5) Il citocromo C, una proteina che dà luogo al trasporto di elettroni nella fotosintesi e nella respirazione, presenta strutture simili ma non identiche in tutti gli organismi aerobici. Ciò suggerisce che possano esserci stati alcuni, ma non troppi, passaggi da organismi anaerobici⁵ ad organismi aerobici.

Sulla base di questi indizi, è possibile costruire una teoria sull'origine chimica della vita sulla Terra a partire dalla materia inorganica, che si articola nei punti seguenti.

- a) Creazione di piccole molecole organiche in un'atmosfera riducente (o non ossidante) per mezzo di fenomeni energetici naturali: scariche elettriche da parte di lampi, penetrazione di luce ultravioletta, e così via.
- b) Dissoluzione di queste piccole molecole organiche negli oceani primitivi per formare un "brodo primordiale" caldo e diluito.
- c) Sintesi di ATP (adenina + ribosio + 3 fosfati = adenina + TP), GTP (guanina + TP), CTP (citosina + TP), UTP (uracile + TP), ed i loro corrispondenti diossidi, dATP, dGTP, dCTP, dTTP, come precursori degli acidi nucleici.
- d) Polimerizzazione per via non biologica degli aminoacidi in proteine e dei fosfati nucleosidi in acidi nucleici (RNA e DNA). La difficoltà principale nella spiegazione di tali processi consiste nella rimozione dell'acqua prodotta dalla combinazione dei monomeri: $H-M_1-O-H + H-M_2-O-H \rightarrow H-M_1-O-H-H-M_2-O-H \rightarrow H-M_1-M_2-O-H + H_2O$.
- e) Formazione spontanea di gocce di molecole organiche, in raggruppamenti oppure in microsfele, con maggiore probabilità di sopravvivenza per quelle protocellule dotate di una primitiva abilità nel formare i polimeri dalla combinazione dei monomeri (polimerizzazione dei monomeri).
- f) Evoluzione di catene metaboliche, passo passo dall'indietro all'avanti, in seguito all'esaurimento delle molecole organiche indispensabili alla crescita generale.

⁴Il guadagno netto di ATP per molecola di glucosio è pari a 2 nella fermentazione e a 36 nella respirazione.

⁵Si definisce **anaerobico** ogni organismo, il cui metabolismo non è basato sull'utilizzo di ossigeno molecolare (O₂).

- g) Selezione naturale in favore di quegli organismi forniti di un apparato genetico (il DNA appropriato) per ricordare le ricette metaboliche necessarie alla sopravvivenza, e in grado di trasmettere un tale apparato ai frammenti figli. La perfezione di una base anche semplice di crescita e di riproduzione avrebbe costituito la creazione di vita sulla Terra nella forma di una cellula procariota⁶ primitiva, che sarebbe stato il punto di partenza dell'evoluzione biologica.

Le considerazioni esposte mostrano come condizione necessaria per l'origine della vita sulla Terra sia stata la presenza di molecole organiche in un'atmosfera riducente, o per lo meno non ossidante. Pertanto risulta evidente l'intima connessione tra evoluzione biologica ed evoluzione atmosferica.

3 Interazione tra evoluzione della biosfera ed evoluzione dell'atmosfera

È stato calcolato che, in assenza di forme di vita, l'atmosfera della Terra sarebbe simile a quella di Venere, composta in prevalenza da anidride carbonica. Un progressivo aumento dell'abbondanza di ossigeno, a partire da epoche primordiali, si spiega facilmente da un punto di vista biologico.

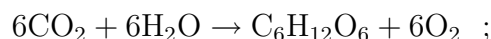
I primi microorganismi, con tutta probabilità, erano simili a quelli più semplici attualmente conosciuti, in grado di ricavare l'energia necessaria al proprio metabolismo da processi di fermentazione. Uno stadio successivo dell'evoluzione è rappresentato da forme di vita che sfruttano l'atmosfera riducente e sintetizzano materiali organici da anidride carbonica e idrogeno. L'attività di questi batteri anaerobici dipende dalla disponibilità degli elementi citati, emessi entrambi nel corso delle eruzioni vulcaniche. È plausibile ritenere che lo stadio successivo sia stato l'innescò di una fotosintesi batterica. A differenza della fotosintesi clorofilliana, un tale processo non produce ossigeno e le forme di vita che lo praticano si collocano a mezza strada fra i batteri anaerobici e i batteri aerobici, la cui esistenza dipende dalla presenza di ossigeno. L'idrogeno consumato dalla fotosintesi batterica, in aggiunta a quello presente nell'alta atmosfera e successivamente disperso nello spazio interplanetario, ha permesso una lenta crescita di ossigeno derivante dalla fotodissociazione del vapor d'acqua. La presenza sempre maggiore di ossigeno nell'atmosfera ha poi portato alla genesi di batteri aerobici e quindi all'innescò della fotosintesi clorofilliana.

⁶Si dicono procariote le cellule prive di un nucleo ben definito e delimitato dalla membrana nucleare, dove gli unici organelli intracellulari presenti sono i ribosomi.

Che le prime forme di vita abbiano proliferato in ambienti acquatici è conseguenza diretta della scarsità di ossigeno nell'atmosfera primordiale, e quindi della mancanza dello strato protettivo di ozono nell'alta atmosfera, che rendeva possibile l'arrivo in superficie di radiazione ultravioletta emessa dal Sole in quantità letale per qualsiasi organismo. Lasciando da parte il problema complesso e non privo di attualità di una scienza antidiluviana il cui ricordo si sarebbe progressivamente perduto nelle leggende e nei miti, non si può fare a meno di notare quanto scritto nel secondo versetto della Genesi:

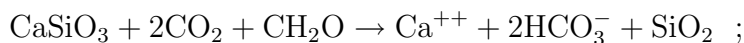
“Ora la terra era informe e deserta e le tenebre ricoprivano l'abisso e lo spirito di Dio aleggiava sulle acque.”

Il processo di fotosintesi può essere rappresentato dalla reazione:



mentre il processo di respirazione può essere rappresentato dalla reazione inversa. Tra le due reazioni non c'è un perfetto equilibrio bensì una leggera prevalenza della prima nei confronti della seconda, dovuta al fatto che una parte (circa il 3%) del materiale organico formato in seguito alla fotosintesi viene sepolto senza essere direttamente ossidato. È stato proprio in virtù di questa differenza, per quanto piccola, che si è assistito al progressivo arricchimento di ossigeno nell'atmosfera (a prescindere dal contributo iniziale dovuto alla dissociazione del vapor d'acqua), e successivamente alla formazione di un'ozonofera impenetrabile ai raggi ultravioletti, tale da consentire la vita anche fuori dall'acqua.

Conformemente all'ipotesi Gaia⁷ l'atmosfera, come pure i mari, la crosta terrestre, e tutte le altre componenti geofisiche del pianeta, si mantengono in condizioni idonee alla presenza della vita proprio grazie al comportamento e all'azione degli organismi viventi, animali e vegetali. Un indizio in favore di tale ipotesi è fornito dalla funzione termostatica, nel corso delle ere geologiche, dell'anidride carbonica atmosferica. Uno dei meccanismi che controllano l'abbondanza di CO₂ è basato sulla degradazione dei silicati (CaSiO₃) in carbonati (HCO₃⁻) secondo la reazione rappresentativa:



dove la velocità di reazione è proporzionale alla pressione di CO₂ al suolo. Una tale pressione è mantenuta a livelli da 10 a 40 volte più alti che in atmosfera dalla presenza di batteri e piante, che trasferiscono CO₂ dall'atmosfera

⁷Nome del Pianeta Vivente, derivato da quello dell'omonima divinità femminile greca, denominata anche Gea.

al sottosuolo, ad un ritmo crescente con la temperatura, con un aumento stimato pari a circa il doppio per ogni incremento di temperatura pari a 10°C . Ne discende che la degradazione dei silicati, e la conseguente diminuzione della concentrazione di CO_2 nell'atmosfera, è tanto più efficiente quanto maggiore è la temperatura in superficie.

D'altra parte, un aumento del contenuto atmosferico di CO_2 comporterebbe, per effetto serra, un aumento di temperatura superficiale e quindi un maggior consumo di CO_2 in seguito alla degradazione dei silicati. In questo modo, si smaltirebbe la quantità di CO_2 in eccesso e la temperatura superficiale tornerebbe al valore iniziale. Al contrario, una diminuzione del contenuto atmosferico di CO_2 comporterebbe, per effetto serra, una diminuzione di temperatura superficiale e quindi un minor consumo di CO_2 in seguito alla degradazione dei silicati. In questo modo, si riacquisirebbe la quantità di CO_2 in difetto ad opera di processi tendenti ad arricchire la concentrazione di CO_2 nell'atmosfera, e la temperatura superficiale tornerebbe al valore iniziale. In assenza della biosfera, l'atmosfera della Terra sarebbe evoluta diversamente, con caratteristiche simili a quelle attualmente riscontrate nell'atmosfera di Venere. Secondo l'ipotesi Gaia, in ultima analisi, sono i batteri a stabilizzare la temperatura superficiale della Terra, attraverso il trasferimento di CO_2 dall'atmosfera al sottosuolo.

Quali altri esempi del controllo operato dalla biosfera sull'atmosfera o sull'idrosfera, citiamo il mantenimento dell'abbondanza di ossigeno al 21% (al di sopra del 24% potrebbero innescarsi incendi spontanei), operato da due gas che sulla Terra sono di origine biologica: il metano (CH_4) e l'ossido nitroso (N_2O). Analogamente, il mantenimento dell'abbondanza di ozono è operato sia dai derivati dell'ossido nitroso, sia dall'unico composto clorato prodotto biologicamente, il cloruro di metile (CH_3Cl). Parimenti, sono i composti di origine organica a mantenere entro limiti ristretti l'abbondanza di silicio e il grado di salinità degli oceani.

4 Molecole organiche nello spazio interstellare

Si è visto in precedenza come condizione necessaria per l'origine della vita fosse la presenza di composti organici, il cosiddetto "brodo primordiale"; pertanto riveste una grande importanza stabilire se i composti organici si siano formati soltanto sulla Terra oppure anche, o soltanto, al di fuori del sistema solare. Infatti una sintesi cosmica dei composti organici implicherebbe la presenza della vita nell'universo, dovunque ci siano le condizioni adatte.

Poco dopo la nascita dell'universo, la materia visibile⁸ consisteva quasi totalmente in neutroni, protoni, elettroni, in equilibrio termico con i fotoni della radiazione elettromagnetica, e si espandeva molto più rapidamente di quanto non stia facendo attualmente. A un certo punto dell'espansione, e per un periodo di tempo relativamente breve, si ebbero le condizioni di densità, pressione, e temperatura, favorevoli per la sintesi degli elementi leggeri: il prodotto principale fu l'elio in ragione di circa un quarto (in massa) del totale, e piccole quantità di deuterio, litio, e altri elementi leggeri.

Successivamente, a causa dell'ulteriore diminuzione di temperatura, materia visibile e radiazione elettromagnetica si disaccoppiarono e continuarono ad evolvere separatamente, mentre gli ioni di carica opposta si combinarono per formare gli atomi neutri. Questi processi iniziarono quando l'età dell'universo ammontava a poco più di 300 000 anni, ad una temperatura di circa 3000 K. Poi la materia divenne trasparente alla radiazione, consentendo la "vista" (definita dalla banda di radiazione elettromagnetica direttamente percepibile dall'occhio umano) di regioni tra loro distanti, ma al tempo stesso una simile "vista" fu resa impossibile dall'ulteriore abbassamento della temperatura⁹. Di qui la denominazione di "era oscura" ai successivi circa cento milioni di anni, alla fine dei quali le tenebre (intese come assenza della "vista" nel senso anzidetto) vennero di nuovo rotte dalla luce abbagliante delle prime stelle, al cui interno furono sintetizzati tutti quegli elementi, che la nucleosintesi primordiale non era stata in grado di generare.

La formazione e l'evoluzione delle stelle ha reso possibile l'esistenza, fra gli altri, degli elementi indispensabili per la formazione dei composti organici. Resta da vedere quali molecole si siano effettivamente formate, e in quali ambienti cosmici. Le molecole extraterrestri si possono dividere in stellari, planetarie, meteoriche, cometarie, interstellari, a seconda della loro ubicazione.

Le molecole meteoriche sono quelle osservate nelle meteoriti cadute sulla Terra, in particolare nelle condriti carbonacee, che si ritengono coeve al sistema solare. Che le molecole trovate nelle condriti carbonacee siano effettiva-

⁸Ricordiamo che, conformemente alle attuali teorie cosmologiche, l'universo è costituito da materia visibile in misura di circa il 4%, di cui soltanto la decima parte sotto forma di galassie, da materia oscura (non barionica) in misura di circa il 22%, e infine da energia oscura in misura di circa il 74%.

⁹Con riferimento alle stelle, si va da una temperatura superficiale di circa 70 000 K per il tipo spettrale W caratterizzato dal colore viola, a una temperatura superficiale di circa 3 000 K per il tipo spettrale L caratterizzato dal colore rosso, scendendo fino a circa 1 300 K per il tipo spettrale T caratterizzato dal colore bruno. Tipi spettrali relativi a temperature superficiali al di sopra o al di sotto dei valori citati, sarebbero caratterizzati da colori ultravioletti e infrarossi, rispettivamente, in quanto tali non percepibili dall'occhio umano.

mente di origine extraterrestre, è reso evidente dalle seguenti considerazioni.

- 1) Gli amino-acidi di entrambe le chiralità sono presenti in quantità confrontabili, a differenza di quanto avviene sulla Terra.
- 2) La frazione di isotopi di un dato elemento per estratti di materia organica meteorici è diversa dal valore riscontrato per estratti di materia organica terrestri.
- 3) Ci sono amino-acidi meteorici che mancano nelle proteine naturali.

Inoltre nelle condriti carbonacee sono stati trovati anche i costituenti principali del DNA e dell'RNA: adenina, guanina, citosina, timina, uracile.

Le molecole cometarie sono quelle osservate sia nella chioma che nella coda delle comete, e si presume costituiscano i prodotti di decomposizione di molecole genitrici più complesse in seguito all'interazione con la radiazione solare e il vento solare.

Le molecole interstellari si trovano quasi esclusivamente nei bracci di spirale della Galassia (a prescindere dalle altre galassie), concentrate in nubi dense e fredde oppure diffuse in un mezzo internuvolare molto più caldo e rarefatto. Oltre alla componente gassosa, è presente anche una componente costituita da grani di polvere, con dimensioni pari a $0,1-1 \mu\text{m}^{10}$, il cui ingrediente principale sembra essere il carbonio, anche se l'alternativa di una predominanza dei silicati non può ancora escludersi del tutto.

La maggior parte delle molecole interstellari è stata scoperta in regioni vicine a stelle con temperatura superficiale superiore a $10\,000 \text{ K}$ (e quindi altamente ionizzate) e ricche di polvere, la cui composizione è risultata essere per circa il 90% di idrogeno, per circa il 10% di elio, per circa lo 0,1% di elementi indispensabili per la formazione di molecole (C, N, O), con una densità media pari a 1-10 atomi per centimetro cubo. Inoltre non si può escludere che molecole organiche sconosciute sulla Terra possano formarsi nello spazio interstellare.

Per quanto riguarda la formazione delle molecole interstellari, le ipotesi più attendibili che sono state formulate sono le seguenti.

- 1) Formazione in seguito a collisioni fra atomi liberi nella fase gassosa.
- 2) Formazione sulla superficie di grani interstellari con successiva evaporazione provocata dal riscaldamento dei grani.
- 3) Formazione nell'atmosfera di stelle fredde con successiva espulsione nello spazio interstellare.

¹⁰Ricordiamo che un micrometro equivale a un milionesimo di metro ($1\mu\text{m} = 10^{-6}\text{m}$).

- 4) Formazione nella nebulosa presolare, cioè durante la fase di contrazione gravitazionale di una protostella (evoluzione di presequenza).

Tali meccanismi non si escludono vicendevolmente ed è probabile che contribuiscano tutti alla formazione delle molecole interstellari, inoltre l'efficienza dei primi due è regolata in maniera determinante dalla distribuzione di densità e di temperatura all'interno della nube dove ha luogo la formazione. La presenza di molecole in regioni molto rarefatte, risulta compromessa dall'azione dei raggi ultravioletti provenienti dalle stelle vicine, che ne provocano la dissociazione. Pertanto le molecole interstellari possono sopravvivere soltanto all'interno di nubi sufficientemente dense.

5 È nel cosmo l'origine della vita?

Si è visto come le molecole extraterrestri siano caratterizzate dalla presenza di alcuni costituenti indispensabili per la formazione degli aminoacidi. La scoperta del formiato di etile (C_2H_5OCHO) e del n-propil cianuro (C_3H_7CN) in quello che resta di una nebulosa protostellare attorno alla stella appena formata, aumenta la probabilità di trovare nello spazio interstellare (se nel frattempo non è già accaduto) biomolecole semplici come gli aminoacidi glicina, alanina, serina, e altri. La qual cosa induce a ritenere che per lo meno gli ingredienti fondamentali per l'origine della vita abbiano potuto formarsi tanto sulla Terra quanto al di fuori di essa.

Ad ogni modo, uno degli aspetti più oscuri rimane la produzione delle prime molecole organiche: se l'atmosfera primitiva della Terra conteneva solo tracce di idrogeno e metano, e in misura trascurabile di ammoniaca, come si sono formati i precursori dei complessi molecolari dai quali si sono sviluppate le prime forme di vita? Se da una parte è stato dimostrato che l'atmosfera primitiva avrebbe potuto produrre fino a trenta miliardi di tonnellate per anno di formaldeide, gran parte della quale riversandosi negli oceani avrebbe contribuito a formare il "brodo primordiale" indispensabile per la vita, d'altra parte una quantità non trascurabile di formaldeide e di aminoacidi di origine meteorica avrebbe potuto pure riversarsi negli oceani, e con lo stesso risultato.

Si è appurato con esperimenti in laboratorio che aminoacidi e carboidrati possono essere generati con alto coefficiente di rendimento in una nebulosa interstellare: infatti riscaldando per parecchi giorni una miscela di idrogeno molecolare (H_2) e monossido di carbonio (CO) in un tubo di quarzo, per mezzo della luce ultravioletta, si ottengono quantità osservabili di complessi organici. Nel caso in cui siano presenti anche superfici metalliche in qualità di catalizzatori, si ottiene immediatamente un elevato numero di molecole

organiche complesse. Nello spazio interstellare come nelle comete e nei meteoriti, i catalizzatori potrebbero essere sotto forma di grani di polvere di varia natura, sempre presenti sia allo stato libero che allo stato conglomerato.

Un ulteriore indizio in favore della presenza di composti organici complessi nello spazio interstellare, discende dal fatto che la concentrazione delle molecole più complesse è confrontabile con la concentrazione delle molecole più semplici, la qual cosa induce a ritenere che entrambe siano derivate dalla frammentazione di composti organici ancora più complessi. In caso contrario, nelle condizioni fisiche tipiche all'interno delle nubi interstellari, la concentrazione delle molecole decrescerebbe rapidamente al crescere della loro complessità.

Un nuovo indizio in favore della presenza di composti organici complessi nello spazio interstellare, viene dall'estinzione osservata nella Galassia, vale a dire dall'attenuazione della radiazione luminosa emessa dalle stelle, ad opera della polvere presente nel mezzo interstellare. Si trova che la curva di estinzione¹¹ non muta sensibilmente per direzioni differenti: ciò significa che non solo la composizione chimica, ma anche le dimensioni dei grani di polvere, devono essere in prima approssimazione simili su tutto il piano galattico.

Secondo alcuni autori, soltanto il carbonio, l'azoto, e l'ossigeno, sono sufficientemente abbondanti per formare grani (combinandosi fra loro e con l'idrogeno) in quantità tale da spiegare le osservazioni relative alla curva di estinzione. Poiché i solidi inorganici costituiti dai quattro elementi sopra menzionati sublimano troppo facilmente nelle condizioni tipiche del mezzo interstellare, non resta altra alternativa che ritenere i grani di polvere formati da materiale organico. Una conferma in tal senso sembrerebbe provenire dal calcolo teorico degli spettri di sorgenti infrarosse galattiche¹², avendo specificato la composizione della polvere, e dal successivo confronto con i dati delle osservazioni. Ad esempio, l'ipotesi che i grani di polvere siano costituiti da cellulosa secca comporta uno spettro teorico che si accorda in maniera soddisfacente con lo spettro osservato, in relazione alla sorgente infrarossa OH 26.5+0.6.

Partendo dall'assunto (motivato dagli indizi citati) che la polvere in-

¹¹La curva di estinzione esprime l'aumento di magnitudine subito da una stella per ogni kiloparsec percorso dalla luce proveniente dalla sua superficie, in funzione dell'inverso della lunghezza d'onda della luce in questione, solitamente espressa in inverso di micron ($1\mu\text{m} = 10^{-6}\text{m}$), di modo che al valore 2 corrisponde una lunghezza d'onda di $0,5\mu\text{m} = 0,5 \cdot 10^{-6}\text{m} = 5000\text{Å}$, al valore 5 corrisponde una lunghezza d'onda di $0,2\mu\text{m} = 0,2 \cdot 10^{-6}\text{m} = 2000\text{Å}$, e così via.

¹²Ci si riferisce, in particolare, a stelle in fase di formazione o appena formate, ancora avvolte da una densa nube di gas e polvere, la quale ultima causa lo spostamento di frequenza della radiazione stellare, dalla banda visibile alla banda infrarossa.

terstellare sia costituita in prevalenza da materiale organico, si stima che l'abbondanza di tale materiale nella nebulosa protosolare dovesse essere considerevole, pari a circa 3 000 masse terrestri. In seguito alla contrazione della nebulosa e alla successiva formazione del protosole e del disco protoplanetario, i composti organici situati nelle zone più interne vennero distrutti dalla radiazione emessa dal protosole, mentre a distanze sufficientemente elevate (in prossimità delle attuali orbite di Urano e Nettuno) la temperatura si mantenne a circa 100 K, permettendo la condensazione di una notevole quantità di acqua intorno ai grani di polvere e quindi la formazione di innumerevoli corpi ghiacciati contenenti composti organici, i planetesimi, le cui dimensioni erano paragonabili a quelle degli attuali nuclei cometari¹³.

Un movimento del protosistema solare rispetto alla nebulosa genitrice, anche alla modesta velocità di qualche chilometro al secondo, avrebbe arricchito ulteriormente di grani i planetesimi. La coalescenza di un gran numero di essi diede luogo alla formazione di Urano e Nettuno, la cui nascita si colloca posteriormente rispetto a quella dei pianeti più interni, ma una frazione non trascurabile (pari a circa 200 masse terrestri) per effetto delle perturbazioni indotte sulle relative orbite dai protopianeti, venne sbalzata in un gigantesco alone intorno al sistema solare, la cosiddetta nube di Oort. I confini della nube di Oort si spingono fino a circa metà strada tra il Sole e Proxima Centauri, la stella più vicina, per cui in linea di massima non è escluso che possa esservi uno scambio di comete tra due stelle sufficientemente vicine.

Sarebbero state dunque le comete a preservare dalle radiazioni ultraviolette il materiale organico formato nello spazio interstellare, e quindi a seminarlo sui pianeti dando così origine alla vita (ipotesi della panspermia). In effetti, numerosi microrganismi (archea e batteri) esistenti sulla Terra possono vivere in condizioni estreme come acque bollenti o gelide, ambienti fortemente acidi o basici, forti concentrazioni saline, radioattività, dove l'unica condizione necessaria sembra essere la presenza di acqua allo stato liquido. Condizioni di questo tipo potrebbero essersi verificare all'interno dei nuclei cometari, che in tal modo andrebbero annoverati a pieno titolo tra i possibili siti di origine della vita.

La presenza di acqua sarebbe stata possibile grazie al lento liberarsi di energia chimica, come avviene ad esempio nella decomposizione del glucosio all'interno della cellulosa, schematizzato dalla reazione:



oppure ad opera di nuclei radioattivi (ad esempio ¹⁶Al) iniettati nella nebulosa protosolare da una vicina supernova. A causa della scarsa conducibilità

¹³La dimensione media e la massa di un tipico nucleo cometario sono stimate pari a 0,4-40 km e a 10¹³-10¹⁵ kg, rispettivamente.

termica degli strati esterni delle comete, il loro nucleo, una volta disciolto, si conserverebbe tale per un periodo dell'ordine della decina di milioni di anni. Queste sacche d'acqua ricche di composti organici avrebbero potuto costituire altrettanti "brodi primordiali" da cui si sarebbe originata la vita, nella fase anaerobica. Il passaggio alla fase aerobica potrebbe aver avuto luogo subito dopo il trasferimento dall'ambiente cometario all'ambiente planetario, nella fattispecie terrestre.

Se le comete ospitano microrganismi, allora quando passano in prossimità del Sole e sublimano, ne liberano una frazione. Di questi ultimi, la quasi totalità è votata alla distruzione ad opera della radiazione ultravioletta, ma una minima frazione è destinata ad entrare e permanere nell'atmosfera dei pianeti, o addirittura essere sospinta dal vento solare, sotto forma di spore, nello spazio interstellare, fino ad incontrare una nuova nube protostellare, conservarsi nei nuclei cometari, dando origine a un nuovo ciclo che potrebbe ripetersi fintanto che ci sarà formazione stellare nella Galassia. L'inizio di un tale processo potrebbe risalire addirittura alla seconda generazione di stelle formatesi nell'universo poco dopo la fine dell'era oscura, dal gas interstellare contenente gli elementi indispensabili per la sintesi della materia organica, prodotti all'interno delle stelle di prima generazione¹⁴, e restituiti in seguito alla morte delle stelle genitrici ad opera di esplosioni di supernova¹⁵.

Si è calcolato che in cento miliardi di cicli (pari al numero di stelle formate nella Galassia) si potrebbe produrre una quantità di microrganismi da dieci a cento milioni di masse solari¹⁶, che corrisponde alla massa di polvere presente nei bracci a spirale della Galassia. Di qui la conclusione che i grani di polvere interstellare non siano altro che spore, ossia cellule biologiche in parte vive e in grado di riprendere le funzioni vitali in un ambiente adatto, e in parte degradate per effetto delle avverse condizioni locali.

Un'origine biologica dei grani di polvere interstellare interpreterebbe molto bene l'uniformità (riscontrata sperimentalmente) delle loro proprietà a prescindere dalla loro ubicazione nella Galassia, come conseguenza dell'esigenza da parte di una cellula biologica di avere dimensioni non al di sotto di un certo limite in modo da strutturarsi con quel minimo grado di complessità per superare le difficoltà ambientali, e non al di sopra di un certo limite in modo da poter mantenere (in base alla velocità dei processi di diffusione) un coordinamento efficace tra le varie funzioni cellulari. Si è trovato che i batteri terrestri in grado di formare spore hanno dimensioni comprese tra 0,2 e 1,8

¹⁴In quanto tali, costituite da solo idrogeno e gli altri elementi leggeri sintetizzati nel corso dei primi tre minuti di vita dell'universo.

¹⁵In questo senso, si può asserire senza ombra di dubbio che siamo i figli delle stelle. Più in generale, tutto ciò che vive è progenie delle stelle

¹⁶Ricordiamo che la massa del Sole in kilogrammi è data da $1m_{\odot} = 1,9891 \cdot 10^{30}\text{kg}$.

micrometri, con una prevalenza nell'intervallo tra 0,5 e 0,8 micrometri. Una mescolanza di spore di batteri terrestri, frammenti di cellule, e sferette di grafite (prodotta in seguito a degradazione organica, analogamente a quanto avviene in seguito alla combustione di una fibra di lana) sarebbe in grado, secondo alcuni autori, di riprodurre molto bene la curva media di estinzione osservata nella Galassia.

Volendo portare le ipotesi fatte alle estreme conseguenze, basterebbe considerare che ogni anno cadono sulla Terra circa ventimila tonnellate di particelle di probabile origine cometaria, con dimensioni comprese tra un centesimo e dieci micron. Se su un milione di queste particelle una fosse un virus, ne pioverebbero ogni anno più di dieci milioni per metro quadrato. Particelle di tali dimensioni scendono molto lentamente nell'atmosfera e, una volta raggiunta la stratosfera, vengono trascinate e disperse dagli stessi movimenti di masse d'aria responsabili del tempo meteorologico. Ne discende che il loro arrivo sulla superficie terrestre avviene in maniera largamente casuale e imprevedibile.

L'irregolare distribuzione dei focolai di diffusione di certe epidemie influenzali, porterebbe a ritenere che i virus responsabili provengano dalle comete. Esempi storici potrebbero essere costituiti dalla peste di Atene nel 429 a.C. i cui sintomi, descritti accuratamente da Tucidide, sembrano non avere riscontro in alcuna malattia moderna; e dal vaiolo, che pare abbia fatto la sua comparsa appena nel VII secolo, epoca a cui risale anche il nome della malattia. Se così fosse, poggerrebbero su una base ben fondata tutte le credenze popolari che vogliono associare sventura e calamità alla comparsa di una cometa.

6 Conclusione

Per quanto siano stati fatti progressi promettenti sul problema dell'origine della vita, la soluzione rimane ancora avvolta nel mistero, sia che l'inizio dei processi vitali abbia avuto luogo sulla Terra, sia all'interno dei nuclei cometari, nella nebulosa presolare, o nel mezzo interstellare.

Tutti i processi chimici e biologici si fondano sulle leggi dell'elettrodinamica quantistica, caratterizzate dalla validità del principio di indeterminazione. In tali condizioni, ci si chiede se l'origine della vita non sia da ricercarsi proprio nell'ambito di una tale indeterminazione. Ma il problema presenta un aspetto ancora più profondo.

In natura, sembrerebbe non esserci alcuna ragione per distinguere la materia dall'antimateria, la quale ultima si trova allo stato libero accanto alla materia ordinaria, ad esempio, nei raggi cosmici. In effetti, le attuali teorie cos-

mologiche contemplano la presenza di quantità uguali di materia e di antimateria durante i primissimi istanti della storia dell'universo. Eppure al giorno d'oggi è la materia a dominare, ed è un bene che sia così, perché altrimenti l'indistinguibilità della materia dall'antimateria, unita all'annichilazione conseguente al loro contatto, comporterebbe un'emissione di energia tale da pregiudicare l'insorgenza e la perpetuazione dei processi vitali. Una spiegazione dell'asimmetria osservata tra materia e antimateria (vale a dire la loro differente abbondanza cosmica) sembra potersi intravedere nella recente teoria della supergravità o del campo unificato.

Analogamente, si osserva (ad esempio nei meteoriti) la presenza di aminoacidi sia con chiralità S che con chiralità D, mentre nella biosfera esistono quasi esclusivamente aminoacidi con chiralità S, ed è un bene che sia così, in quanto la coesistenza di organismi con proteine di ambedue le chiralità comprometterebbe la sopravvivenza (organismi con proteine di una data chiralità non possono digerire organismi con proteine di chiralità opposta, o esserne digeriti). L'interpretazione di questo fatto porta alle seguenti alternative.

- 1) La vita si è originata sulla Terra (per sintesi dal materiale inorganico) una sola volta nel tempo e in un solo luogo nello spazio (in caso contrario, sarebbero presenti sulla Terra proteine con chiralità opposte in quantità tra loro confrontabili).
- 2) La vita si è originata al di fuori della Terra più volte e in più luoghi (in accordo con la presenza di aminoacidi con chiralità opposte nei meteoriti), ma è piovuta sulla Terra una volta sola (in base all'assenza di aminoacidi con chiralità D in quantità apprezzabile anche sulla Terra).
- 3) A prescindere da dove si sia originata la vita, esiste una legge ancora sconosciuta in base alla quale la sintesi della materia organica a partire da composti inorganici può dar luogo soltanto a creature viventi con proteine per la quasi totalità con chiralità S; vale a dire, un organismo capace di conservarsi e di replicarsi deve essere necessariamente costituito da proteine per la quasi totalità con chiralità S.

Quest'ultima alternativa sembra essere la meno restrittiva, e la più feconda di conseguenze, tra quelle presentate, in quanto trova la sua controparte a livello inorganico nella preponderanza di materia sull'antimateria riscontrata nell'universo. E per quanto se ne sa, niente vieta di pensare che le soluzioni di problemi così diversi possano essere tra loro simili per lo meno in qualche aspetto.

D'altra parte, il mistero legato all'origine della vita forse non potrà mai essere sciolto nella sua interezza. Cedendo la parola al Sommo Poeta:

“Che fai tu, luna, in ciel? Dimmi, che fai,
Silenziosa luna?
Sorgi la sera, e vai,
Contemplando i deserti; indi ti posi.
Ancor non sei tu paga
Di riandare i sempiterni calli?
Ancor non prendi a schivo, ancor sei vaga
Di mirar queste valli?
Somiglia alla tua vita
La vita del pastore.
Sorge in sul primo albore
Move la greggia oltre pel campo, e vede
Greggi, fontane ed erbe;
Poi stanco si riposa in su la sera:
Altro mai non ispera.
Dimmi, o luna: a che vale
Al pastor la sua vita,
La vostra vita a voi? Dimmi: ove tende
Questo vagar mio breve,
Il tuo corso immortale?”

(G. Leopardi, Canto notturno di un pastore errante per l'Asia,
vv. 1-20)

7 Bibliografia

Ashwini Kumar Lal, *Origin of Life*, Astrophysics and Space Science, 2008,
vol. 317, p. 267 (reperibile anche sul sito <http://arxiv.org/abs/0907.3552>).

Avetisov, V.A., Goldanskii, V.I., Kuz'min, V.V., *Handedness, Origin of Life
and Evolution*, Physics Today, 1991, vol. 44, n. 7, p. 33.

Batalli Cosmovici, C., *Le molecole nello spazio extraterrestre*, in *La riscoperta
del cielo*, 1976, ed. A. Mondadori.

Bellini, E., *Come si accese la vita?*, Le Stelle, 2009, n. 69, p. 44.

Blitz, L., *Giant Molecular-Clouds Complexes in the Galaxy*, Scientific Amer-
ican, 1982, vol. 246, n. 4, p. 72.

Impey, C., *The New Habitable Zones*, Sky & Telescope, 2009, vol. 118, n. 4, p. 20 (trad. it. *Le nuove zone abitabili*, Le Stelle, 2009, n. 79, p. 44).

Mezzetti, M., *Le comete e la vita*, L'Astronomia, 1983, n. 27.

Shu, F.H., *An introduction to Astronomy*, capp. 18-20, in *The Physical Universe*, 1982, ed. University Science Books.

Visconti, G., *Origine ed evoluzione dell'atmosfera terrestre*, L'Astronomia, 1983, n. 27.

Watson, A., *Gaia*, New Scientist, 1991, n. 48, p. 44.

Su questa bibliografia si basa l'articolo: molti dettagli sono stati curati utilizzando il motore di ricerca "Google".

Appendice: la Parabola della Vita ¹⁷

Mio padre era solito parlarmi della vita umana, fin da quando ero bambino, sottolineandone la ciclicità. Diceva che comincia nel ventre materno, poi si viene al mondo, ma deboli e indifesi, e si deve essere accuditi, quindi crescendo si impara a camminare, e le forze aumentano fino a raggiungere il massimo durante la giovinezza; di qui in poi le forze prendono a diminuire progressivamente, finché non si riesce più a camminare, ritrovandosi poi deboli e indifesi, con la necessità di essere accuditi, e infine si fa ritorno nel ventre materno, in questo caso della Terra. Così il concetto di Parabola della Vita, appreso nel corso degli studi liceali, ha trovato un terreno fertile ed è sempre rimasto ben radicato nella mente e nell'anima. In ricordo di mio padre, e a proposito della precedente narrazione, ho inteso dare una rappresentazione di quanto sento al riguardo.

Il fascino della parabola, e della clessidra¹⁸, risiede nel fatto di conglo-

¹⁷Parte integrante di un intervento tenuto al convegno "Attualità del pensiero di Nicola Dallaporta Xidias", presso il Dipartimento di Astronomia dell'Università di Padova, in data 30/10/09. Riprodotto per gentile concessione degli organizzatori del convegno.

¹⁸Note tecniche relative al piano di figura. Equazione della parabola: $5y = -4x^2 + 20x$. Equazione dell'asse della parabola: $x = 5/2$. Coordinate del vertice della parabola: $V \equiv (5/2, 5)$. Coordinate delle intersezioni della parabola con l'asse delle ascisse: $A \equiv (0, 0)$; $B \equiv (5, 0)$. Equazione delle pareti della clessidra: $y = a + \text{tg}(\pm x \mp b)$; $a = 1, 557408$; $b = 5/2$. Coordinate del centro e dei quattro estremi della clessidra: $C \equiv (5/2, a)$; $E_1 \equiv (3/2, 0)$; $E_2 \equiv (7/2, 0)$; $E_3 \equiv (3/2, 2a)$; $E_4 \equiv (7/2, 2a)$. Equazione dell'asse della clessidra: $x = 5/2$. Equazione del livello della sabbia nell'emiclessidra superiore: $y = 5/2$. Equazione del

bare i due aspetti, apparentemente antitetici, del tempo: l'acqua che passa sotto i ponti per non fare più ritorno, e l'onda del mare che si rifrange sulla riva sempre uguale a se stessa¹⁹. Le denominazioni dei diversi tratti sono state fatte in latino, lingua che ritengo tutt'altro che morta, e che continua ad esercitare su di me un fascino ineguagliabile. Al riguardo, la mia scarsa conoscenza in materia mi ha costretto a coniare ad hoc un termine che non sono riuscito a trovare definito, "fetitia", a rappresentare l'età compresa tra il concepimento e il compimento del parto. In relazione ai rimanenti termini, va osservato che nella lingua latina la fanciullezza (pueritia) va dalla nascita fino al compimento del sedicesimo anno; l'adolescenza (adulescentia) va dall'inizio del diciassettesimo anno fino al compimento del ventinovesimo anno; la giovinezza (iuventus) va dall'inizio del trentesimo anno fino al compimento del quarantaquattresimo anno. Per quanto riguarda l'età successiva, ho preferito sottolineare la ciclicità ripetendo la denominazione, accompagnata dall'aggettivo "ultima", in contrapposizione a "prima". Infine, mi è sembrato opportuno rappresentare anche il mondo minerale (metalla), donde siamo venuti e dove ritorneremo, conformemente al noto adagio²⁰:

“Memento, homo, quod pulvis es et in pulverem reverteris”

e il mondo celeste (caelestia), simbolo di quella perfezione interiore irraggiungibile, nella sua totalità, nel corso dell'esistenza terrena.

Ho inteso caratterizzare la Parabola della Vita con l'avanzare inarrestabile dell'età (aetas), in guisa dell'acqua che passa sotto i ponti per non fare più ritorno, e il vigore fisico (vigor), in guisa dell'onda del mare che si rifrange sulla riva sempre uguale a se stessa. Mi piace concludere con questo quadro: le vite simili a tante onde che si rifrangono sulla riva, dove il punto di massimo avanzamento dell'acqua corrisponde allo stato di maggior vigore fisico: riva interminata che delimita un oceano pure interminato...

livello della sabbia nell'emiclessidra inferiore: $y = (h/\sqrt{\pi}) \exp\{-[h(x-5/2)]^2\}$; $h = \sqrt{\pi}/2$; che definisce una distribuzione degli errori gaussiana.

¹⁹Più in dettaglio, procedendo lungo la parabola, si ritorna sulla via percorsa in relazione alla componente verticale del moto, mentre si avanza indefinitamente lungo la stessa direzione in relazione alla componente orizzontale del moto. Analogamente, la clessidra ritorna sempre su se stessa una volta rovesciata, ma lo scorrimento della sabbia procede sempre dall'alto verso il basso.

²⁰Frase riportata nel Libro della Genesi (Gen 3, 19).

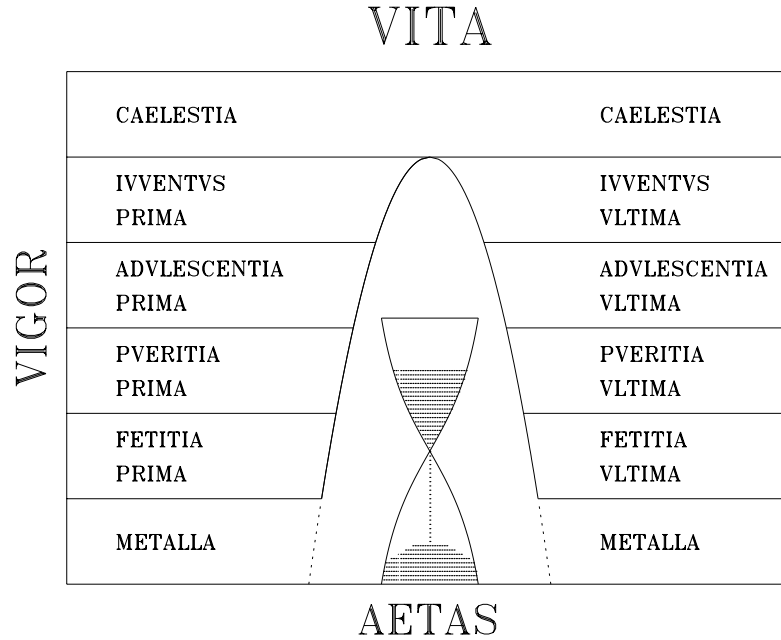


Figure 1: Rappresentazione grafica della Parabola della Vita. All'avanzare inarrestabile dell'età (aetas) si contrappone l'ascesa e quindi il declino del vigore fisico (vigor). La clessidra congloba l'irreversibilità e la ciclicità del tempo: la sabbia fluisce sempre dall'alto verso il basso, ma il contenitore torna su se stesso ad ogni capovolgimento. Legenda: metalla - mondo minerale; fetitia (coniato ad hoc) - dal concepimento al compimento del parto; pueritia - dalla nascita al compimento del sedicesimo anno; adulescentia - dall'inizio del diciassettesimo anno al compimento del ventinovesimo anno; iuventus - dall'inizio del trentesimo anno al compimento del quarantaquattresimo anno; caelestia - mondo celeste. Per evidenziare la ciclicità si è associato, ad ogni denominazione di età, l'aggettivo "prima" e "ultima".