

Siamo soli nell'universo?

Paolo Saraceno

Istituto di Astrofisica e Planetologia spaziali di Roma,
Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF)

1. Gli UFO attorno a noi

Nel maggio 2022, per la prima volta in cinquant'anni, il Congresso degli Stati Uniti ha discusso degli UFO (gli oggetti volanti non identificati). L'occasione è stata la consegna del rapporto sugli *Unidentified Aerial Phenomena*, preparato dal Pentagono in risposta ad una richiesta presentata 3 anni prima dal presidente Trump. Il rapporto documentava l'avvistamento di 144 oggetti non identificati sul cielo degli Stati Uniti avvenuto nel periodo 2004-2019: troppi per essere ignorati. Nel corso dell'audizione, Ronald Moultrie, responsabile dell'*intelligence* del Pentagono, e Scott Bray, vicedirettore dell'*intelligence* navale, dichiararono che i dati esaminati non fornivano elementi che permettessero di affermare una natura extraterrestre di quegli oggetti. Affermazione poco rassicurante che lasciava spazio all'ipotesi di nemici esterni che potevano violare i cieli USA senza essere avvistati dai sistemi di difesa. Nonostante queste dichiarazioni, gli avvistamenti di UFO crebbero, (uno anche a Terni) e nel luglio 2022 il Congresso, nel tentativo di eliminare ogni dubbio, ha chiesto alla NASA di esprimere un parere sul rapporto. È stato quindi formato un gruppo di lavoro costituito da fisici dell'atmosfera, planetologi, astrofisici, mai coinvolti in studi sugli UFO che, sotto la guida dell'astrofisico David Spergel, dovranno dare una risposta entro il 2023.

I progressi delle tecnologie spaziali degli ultimi 50 anni hanno fornito argomenti a favore di possibili presenze extraterrestri sulla Terra. Siamo stati sulla Luna, presto ci torneremo, probabilmente sbarcheremo su Marte, estrarremo minerali dagli asteroidi e, nei prossimi secoli, do-

vremmo poter intraprendere viaggi interstellari. Viaggi senza ritorno, ma possibili. Pertanto, se noi possiamo concepire viaggi simili, perché gli abitanti di mondi lontani non dovrebbero averlo fatto ed essere qui a disturbarci con i loro UFO?

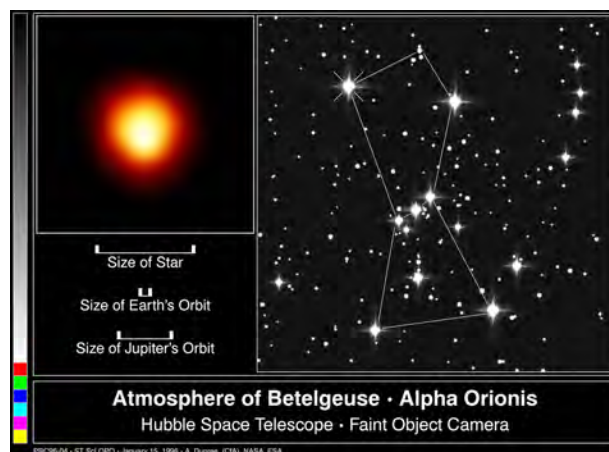


Figura 1: Sinistra: Betelgeuse, una stella gigante rossa nella costellazione di Orione (rappresentata a destra) a 420 anni luce dalla Terra, fotografata da HST. Il diametro della stella è superiore all'orbita di Giove (riportata in figura assieme all'orbita della Terra) è talmente grande che lo si può misurare direttamente da una foto. Betelgeuse ha una massa 10 volte superiore a quella del Sole, concluderà la sua vita esplodendo come supernova e, come vedremo, ha vissuto troppo poco per aver potuto ospitare extraterrestri intelligenti nei suoi pianeti. Il Sole, che ospita una specie come la nostra, quando diverrà una gigante rossa avrà un diametro 5 volte più piccolo, ma sufficiente a distruggere la Terra. (Foto HST, gennaio 1996. ©NASA, ESA & A. Dupree CfA)

Vita intelligente e vita delle stelle

Affermare che servono 5 miliardi di anni per produrre specie intelligenti pone dei limiti sulle masse delle stelle. Il volume in cui esse raggiungono le temperature necessarie alla fusione nucleare è proporzionale a M^4 (dove M è la massa della stella) pertanto la luminosità di una stella e la velocità con cui essa consuma combustibile sono anch'essi proporzionali a M^4 . Poiché il combustibile a disposizione è la massa M della stella, la sua vita è proporzionale $M/M^4 = 1/M^3$. Da cui si ricava che stelle del 25% più massicce del Sole vivono troppo poco perché sui loro pianeti possano esservi extraterrestri intelligenti. (La vita di una stella come il Sole è di 10 miliardi di anni, la vita di una stella del 25% più massiccia è: $10/(1.25)^3 = 5.1$ miliardi di anni). Va poi considerato che nella nostra galassia non esistono nemmeno stelle del 20-25% più piccole del Sole, perché su di esse la materia condensa così lentamente che nei 10 miliardi di vita della galassia non hanno avuto il tempo di nascere come stelle (bruciare idrogeno al centro). Pertanto forme di vita intelligente possono esistere solo attorno a stelle come il Sole, o del 20-25% più o meno massicce, che concludono la loro vita come le nebulose planetarie di Figura 2. Per una discussione più approfondita del tema si vedano le referenze [1, 2].

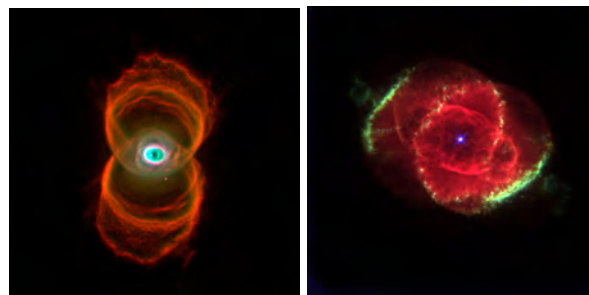


Figura 2: Due nebulose planetarie fotografate da HST che mostrano cosa ci sarà al posto del sistema solare tra circa 5 miliardi di anni. I cerchi sono sfere di materia espulsa nella fase di gigante rossa che scompare dopo 10.000 anni circa. Il puntino luminoso al centro è una nana bianca, quello che resta di una stella come il Sole. Un oggetto delle dimensioni della terra, ma molto più denso. Sinistra: nebulosa MyCn18, detta a clessidra (Foto HST, gennaio1996. ©NASA & R Sahai and J. Trauger (JPL)) Destra: nebulosa NGC 6543, detta a occhio di gatto (Foto HST, gennaio1995 ©NASA, & J. P. Harrington, K.J. & Borkowsky (University of Maryland)).

Il suo ragionamento si basava sul fatto che le stelle, quando finiscono di bruciare l'idrogeno al loro centro si contraggono, aumentano la temperatura e bruciano contemporaneamente elio nel nucleo e idrogeno negli strati esterni, facendo crescere enormemente l'energia prodotta. La stella aumenta il suo diametro, diventa una gigante rossa ed ingloba nella sua atmosfera infuocata i pianeti vicini (Fig. 1); questa sarà la fine della Terra tra 5 miliardi di anni. Pertanto, Fermi osservava che, se attorno a quelle stelle ci fossero stati pianeti abitati da esseri intelligenti, essi avrebbero lasciato il loro mondo prima di morire con esso. Da quei pianeti sarebbero partite centinaia di astronavi (le partenze sarebbero cominciate migliaia di anni prima della fine del pianeta) e qualcuna di esse avrebbe dovuto arrivare sulla Terra e lasciare una traccia nella nostra storia biologica; una traccia di cui non c'è evidenza.

Perché forme di vita intelligente possano svilupparsi attorno alle stelle, esse devono avere il tempo di nascere, cioè iniziare a bruciare idrogeno al centro, come sta facendo il Sole, e poi vivere abbastanza da permettere alla vita di evolvere ed arrivare a specie come la nostra. Nel

2. Il paradosso di Fermi

Negli anni '50 del secolo scorso Enrico Fermi si pose la stessa domanda ed arrivò alla conclusione che, se la vita intelligente fosse stata un fatto comune nell'Universo, gli extraterrestri avrebbero dovuto essere qui. Il fatto che non ci fossero (sempre che il gruppo di lavoro NASA non provi la loro esistenza) era un paradosso che è passato alla storia come il **paradosso di Fermi**. Per intelligente, egli intendeva forme di vita capaci d'intraprendere viaggi interstellari, il livello tecnologico che noi dovremmo presto raggiungere.

sistema solare, dal momento in cui il Sole è nato, ci sono voluti 5 miliardi di anni per arrivare alla nostra specie. Come vedremo, è difficile immaginare che specie intelligenti possano comparire su di un pianeta in tempi molto inferiori mentre è possibile che non compaiano mai od impieghino più tempo. Pertanto solo stelle come il Sole o al massimo del 25% più grandi o più piccole (si veda riquadro) possono ospitare extraterrestri intelligenti, stelle che nella nostra galassia sono numerosissime.

Perché su di un pianeta ci sia una forma di vita simile alla nostra, la sola della cui esistenza siamo certi, nella sua atmosfera deve esserci ossigeno. Un elemento che, pur essendo tra i più abbondanti dell'universo, non esiste allo stato atomico o molecolare lontano dalla Terra, come hanno mostrato i satelliti lanciati per cercarlo e che non lo hanno trovato. La ragione per cui non lo si è trovato è che l'ossigeno ha una forte affinità ad ossidare, a legarsi cioè con gli altri elementi per formare delle molecole per cui, se non c'è un meccanismo che lo produce di continuo, in poco tempo scompare. Sulla terra questo meccanismo è la fotosintesi¹.

Poiché la fotosintesi è una caratteristica dei viventi, misurare ossigeno nell'atmosfera di un pianeta testimonia che su quel pianeta c'è la vita. Una vita forse primordiale, che può però evolvere in qualcosa di complesso. Noi siamo indotti a pensare che sia l'ossigeno a rendere possibile la vita sulla terra, ma è il contrario: è la vita che produce di continuo l'ossigeno che si trova nella nostra atmosfera. Se oggi fermassimo la fotosintesi l'ossigeno scomparirebbe in poco tempo dall'atmosfera (milioni di anni) ma non scomparirebbe la vita che continuerebbe con i batteri anaerobi che non lo usano. Questi, come vedremo, sono stati i primi abitanti della Terra che hanno lasciato una traccia arrivata sino a noi.

A differenza dei tempi di Fermi, oggi sappiamo che è possibile misurare la presenza di ossi-

¹Nella fotosintesi clorofilliana, la luce del Sole è usata per rompere le molecole d'acqua (H_2O) in ossigeno e idrogeno che poi si combinano con l'anidride carbonica (CO_2) dell'aria per produrre glucosio, ($C_6H_{12}O_6$) con cui i batteri allora e piante e plancton oggi, si nutrono e crescono. Poiché il glucosio ha 6 atomi di C, 12 di H e solo 6 di O, nel processo si libera 3 volte più ossigeno di quanto il glucosio ne utilizzi. L'ossigeno in eccesso viene emesso nell'atmosfera.

Misurare l'ossigeno nei pianeti extrasolari

Oggi sappiamo come misurare l'ossigeno nell'atmosfera di un pianeta sino a distanze di qualche decina di anni luce; ESA e NASA avevano programmi di questo tipo che sono stati cancellati perché troppo costosi. Per misurare l'ossigeno su di un pianeta si deve costruire uno strumento capace di separare la luce proveniente dal pianeta da quella della stella attorno a cui esso ruota che è milioni di volte più luminosa. Per farlo si deve costruire un interferometro funzionante nell'infrarosso (dove il rapporto tra luce pianeta e stella è più favorevole) costituito da un cluster di satelliti raffreddati a $-250^\circ C$ che orbitano più di 100 metri l'uno dall'altro controllando le distanze reciproche con una precisione inferiore al decimillesimo di millimetro (Fig. 3). Una missione del genere costa più di 100 miliardi di dollari, troppo per ESA e NASA. Con il procedere dei voli spaziali i costi dovrebbero ridursi (le misure potrebbero essere anche fatte dalla Luna quando vi metteremo basi fisse) e presto potremo sapere se attorno a noi ci sono dei pianeti su di cui potremmo vivere. Per una discussione più approfondita del tema si vedano le referenze [1, 2].



Figura 3: Schema ottico del cluster di satelliti della missione Darwin dell'ESA che si proponeva di scoprire l'esistenza pianeti extrasolari con atmosfera ricca di ossigeno.

geno atomico o molecolare nell'atmosfera di un pianeta fino a distanze di circa 30 anni luce dalla Terra (si veda riquadro). Nella nostra galassia,

Cosa è la vita

Nell'accezione più semplice, la vita è la capacità di un organismo di riprodursi. In quella più complessa, in cui si riconosce la maggior parte degli scienziati, la vita è un organismo [3]:

- che contiene informazioni,
- capace di riprodursi,
- capace di evolvere.

Si parla di organismo perché la vita è anche organizzazione tra componenti che funzionano assieme; una proprietà globale, non riducibile alle proprietà dei singoli componenti e nemmeno alla somma delle singole proprietà. La morte è la perdita di questa proprietà; i componenti, la materia di cui è fatto un organismo, sono gli stessi che c'erano un istante prima, quando l'organismo era vivo; quello che è scomparso è l'organizzazione che permetteva loro di funzionare.

La vita nasce per il passaggio della materia inanimata, che non ha le proprietà sopra elencate, in materia animata, che invece le ha. Non ci sono alternative a questa affermazione, a meno d'ipotizzare che il primo batterio comparso sulla Terra sia nato per intervento divino, nel qual caso la questione non è di competenza della scienza. Affermare che la vita venga dalla trasformazione di materia inanimata in animata non nega (né dimostra) l'esistenza di un disegno divino. Chi lo cerca, lo può trovare nelle leggi della natura, che rendono possibile questa trasformazione. Per lo scienziato, il problema è capire cosa è successo nei 300 milioni d'anni passati, dal momento in cui la terra era una massa di lava incandescente a quello in cui è comparso il primo batterio in cui era racchiusa una molecola di DNA.

In queste pagine parlando di vita abbiamo ipotizzato qualcosa di simile alla nostra, la sola della cui esistenza abbiamo certezza. Una forma di vita che consuma ossigeno, basata sul carbonio, un atomo che, come discusso nelle referenze [1, 2], nei suoi legami con altri atomi soprattutto ad H, O, N produce un numero elevatissimo di molecole ed è quindi adatto a rappresentare la complessità dei viventi. Oggi si conoscono più di 500 mila molecole organiche (il DNA che, pur essendo diverso per ciascun vivente, è contato come una singola molecola) a cui si aggiungono le numerose molecole sintetiche che si realizzano ogni giorno (medicinali come Aspirina, Veronal, le materie plastiche, i colori all'anilina, gli esplosivi come la nitroglicerina). Nessun altro elemento ha una simile varietà di composti. Quello che più si avvicina è il silicio (omologo al carbonio nel sistema periodico) che forma un'ampia famiglia di composti (i siliconi) che per le ragioni discusse in [1, 2], è poco adatto a codificare i viventi, anche se ipotizzato nei racconti di fantascienza.

entro quella distanza, ci sono 40 stelle simili al Sole che potrebbero ospitare dei pianeti su di cui noi potremmo vivere, (se si riduce la distanza a 15 anni luce i candidati si riducono a 4). Pertanto, se toccasse a noi fuggire dalla Terra, non ci muoveremmo a caso ma andremmo verso una stella attorno cui c'è un pianeta con un'atmosfera ricca di ossigeno.

Gli extraterrestri intelligenti, quelli capaci d'intraprendere viaggi interstellari, dovevano essere anche loro in condizione di fare misure simili, sapevano quindi in che direzione andare e la Terra da 2 miliardi di anni era una delle mete. Pertanto, se attorno alle stelle morenti del passato ci sono state forme di vita intelligente,

da esse devono essere partite centinaia se non migliaia di astronavi e qualcuna di loro avrebbe dovuto essere arrivata qui ed aver cambiato la nostra evoluzione. Ma di presenze aliene nella nostra storia biologica non c'è traccia. A meno, ovviamente, che la NASA certifichi l'esistenza di extraterrestri timidi che vivono di nascosto sulla Terra evitando d'entrare in contatto con noi. Se si scarta questa ipotesi la domanda di Fermi è ancor più vera. Perché gli extraterrestri non sono qui?

Per chi cercasse una risposta ipotizzando che molte stelle potrebbero non avere pianeti, si fa presente che le stelle per nascere hanno bisogno dei pianeti. Le nubi di polvere e gas da cui esse

provengono devono ridurre il loro diametro milioni di volte e per farlo devono perdere momento angolare; all'inizio lo fanno frantumandosi in più parti (per questo la maggior parte delle stelle nasce in ammassi), poi lo immagazzinano nei pianeti. Nel sistema solare, ad esempio, il 98% del momento angolare è contenuto nei 4 pianeti giganti.

E se la vita esistesse attorno a tutte le stelle come il Sole?

Oggi non sappiamo come sia nata la vita sulla terra, ma sappiamo situare con discreta precisione il momento in cui questo è avvenuto. La vita (si veda riquadro "Cosa è la vita") non poteva nascere durante la fase d'accrescimento, quando la terra era una palla di roccia fusa, quindi invivibile. Sappiamo però quando essa si è raffreddata, è nata la crosta terrestre ed è divenuto possibile la sua esistenza. La data è stabilita dai campioni di roccia prelevati dai **mari lunari**: le grandi pianure di roccia fusa dal calore rilasciato dalla materia che cadeva sulla Luna (e sulla Terra) durante la fase di accrescimento. Le misure dei materiali radioattivi contenuti in quei campioni dicono che quei mari si sono solidificati 3.8 miliardi di anni fa; quella data può quindi essere assunta come fine del bombardamento dei meteoriti sulla Luna e quindi sulla Terra. Una data confermata dalle rocce più vecchie che si trovano sul nostro pianeta che hanno un'età simile, (alcune arrivano a 4 miliardi d'anni). Si può quindi affermare che prima di 3.8 miliardi di anni la temperatura della Terra era troppo alta perché la vita potesse esistere.

La data della comparsa della vita sulla Terra è invece stabilita con precisione dall'età delle stromatoliti scoperte negli scogli semisommersi della Baia degli Squali di Warrawoona, in Australia vecchi di 3.5 miliardi di anni (Fig. 4). Le stromatoliti sono rocce sedimentarie che si formano per l'azione di batteri che da vivi trasformano il bicarbonato di calcio, disciolto nell'acqua, in carbonato di calcio un solido che, precipitando, li cattura al suo interno formando rocce costituite da strati di sostanza organica e sedimenti (Fig. 4, a destra). Le stromatoliti sono qualcosa di simile alle isole coralline, che sono costituite anch'esse

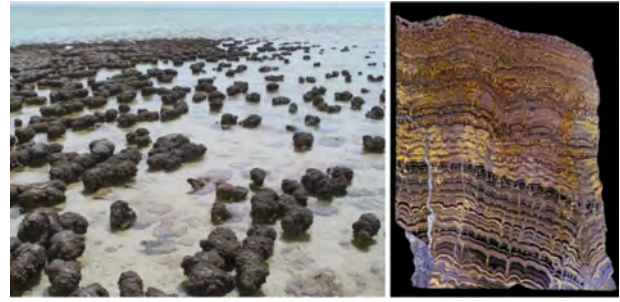


Figura 4: Sinistra: gli stromatoliti scoperti nella Baia degli Squali nell'Australia Nord occidentale la cui età è di 3.5 miliardi di anni. Destra: sezione di stromatoliti in cui si identifica la successione di livelli alternati di sostanza organica e sedimenti. Rocce di questo tipo sono poi state trovate in altri siti dell'Australia, dell'Africa e della Groenlandia (Foto Didier Descouens).

da carbonato di calcio, prodotto in quel caso da polpi lunghi 2 millimetri.

Nessuno mette in dubbio queste date. Quindi in quei 300 milioni di anni si è formata la crosta terrestre, si sono creati gli oceani, e al loro interno è nata la vita. I primi viventi erano dei batteri procarioti anaerobici (che vivono in ambienti privi di ossigeno), le più semplici strutture biologiche che possiamo immaginare (Fig. 5). Essi erano costituiti da una cellula con all'interno una singola molecola di DNA, le più semplici strutture biologiche che possiamo immaginare (Fig. 5) che però avevano tutto quello che serviva per arrivare sino a noi. L'atmosfera era priva d'ossigeno, ed i principali composti erano: vapore d'acqua, anidride carbonica, metano ed ammoniaca, i gas che si possono fare con gli atomi più abbondanti dell'universo (H, C, N, O); un'atmosfera in cui noi non potremmo vivere. Il metabolismo di quei batteri era basato sullo zolfo ed il metano prodotti dai vulcani. I loro discendenti sono i batteri estremofili psicofili che, ancor oggi, si riproducono nei fanghi roventi delle solfatare, (si trovano in quella di Pozzuoli) e nelle profondità della terra e dei mari a temperature che possono superare i 120° C. Vivono in ambienti privi d'ossigeno che per molti di loro è un veleno.

I primi 1.5 miliardi di anni hanno visto l'evoluzione dei batteri procarioti anaerobi, in altri più complessi formati da una cellula eucariota,

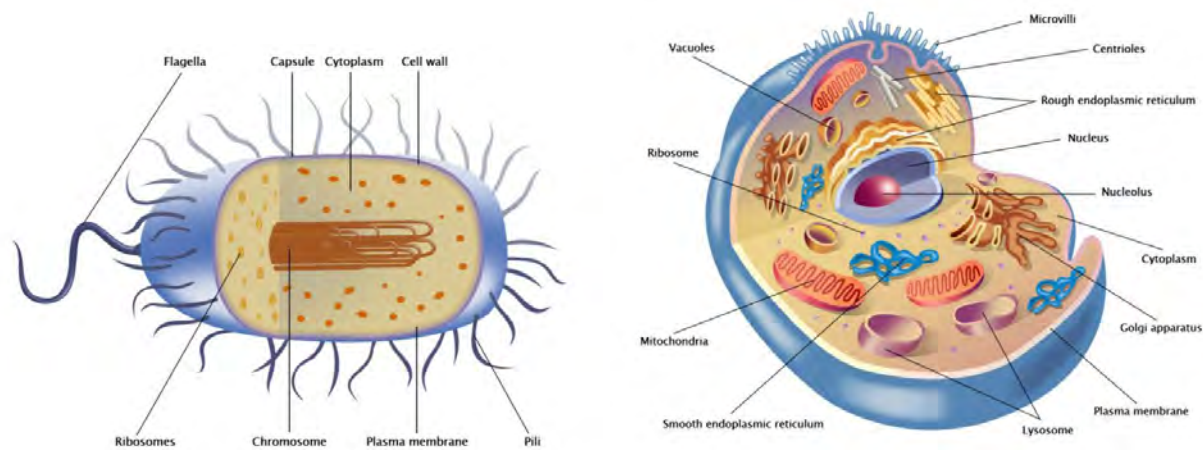


Figura 5: Sinistra: un batterio Prokaryota; dal greco *pro*-prima e *karyon*-nucleo. Sono i più semplici viventi esistenti in natura, i primi comparsi sulla Terra. Organismi monocellulari con cellule senza nucleo con un'unica catena di DNA che riempie gran parte della cellula. Queste cellule si riproducono per scissione binaria (producono un gemello). Le loro dimensioni sono inferiori ai 5 millesimi di millimetro. Molti di questi batteri sono anaerobi, non hanno bisogno di ossigeno per vivere che per molti di loro è un veleno. Destra: un batterio Eukaryota; dal greco *eu*-buono e *káryon*-nucleo. Sono le cellule di cui siamo fatti, hanno strutture molto più complesse, un nucleo ben definito che contiene gran parte del DNA, impacchettato all'interno dei cromosomi, mentre una parte si trova esternamente al nucleo nei mitocondri assieme ad altri organi che svolgono le numerose funzioni che queste cellule svolgono. Molti degli organismi che le possiedono si riproducono per meiosi (riproduzione sessuata) che accelera l'evoluzione. Hanno dimensioni superiori ai 10 millesimi di millimetro, alcune arrivano alle decine di centimetri, come le uova di struzzo. (Figura tratta da <https://wauniversity.it/la-cellula-animale/>)

le cellule di cui noi siamo composti, con un nucleo al centro (Fig. 5). A questi batteri evoluti si deve la scoperta della fotosintesi e la produzione d'ossigeno che ha formato l'atmosfera in cui viviamo. Alla nascita dell'ossigeno si deve la prima estinzione di massa della storia, di cui abbiamo traccia. La maggior parte dei batteri anaerobi per cui l'ossigeno è un veleno, scompare.

Nel successivo miliardo di anni, i batteri scoprono il vantaggio dell'unirsi in colonie, in cui ciascun batterio si specializza in una particolare funzione, un passo verso gli organismi multicellulari. Un esempio, sopravvissuto sino ai nostri giorni, sono i sono Volvox (Fig. 6).

A 2.8 miliardi di anni, dalla nascita dei batteri di Fig. 4 nascono le spugne, organismi pluricellulari che non hanno ancora le simmetrie destra e sinistra degli organismi evoluti e neanche le differenze alto e basso (bocca e ano) ma sono capaci di riproduzione sessuata. A circa 3 miliardi di anni dalla nascita della vita, 541 milioni di anni fa, all'inizio del Cambriano, negli oceani avviene un fatto unico nella nostra storia biologica, che non si è mai ripetuto, ed è ancor oggi spiegato con difficoltà: l'esplosione di vita, che in poco

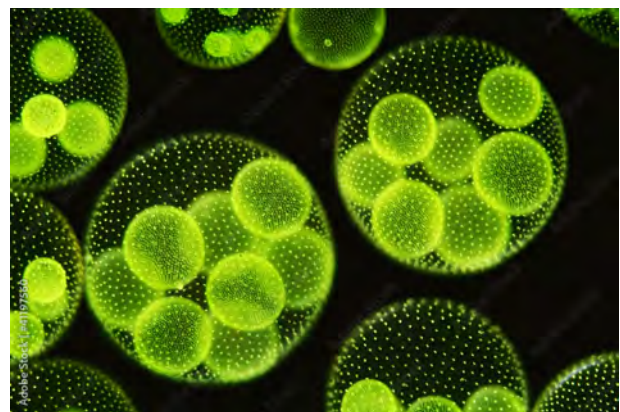


Figura 6: Volvox: colonie di cellule simili tra loro, che raggiungono le dimensioni di alcuni millimetri sino ad essere visibili ad occhio nudo. Le cellule si differenziano nei ruoli: alcune dirigono il gruppo verso sorgenti di luce e cibo, altre si occupano del movimento, della riproduzione che in alcuni casi è sessuata. Sono gli antecedenti degli organismi pluricellulari. Per passare dai batteri di Fig. 5 ai Volvox ci sono voluti 2 miliardi di anni.

tempo produce le phyla di tutte le specie che oggi esistono sulla Terra (più di quelle esistenti oggi, perché nel tempo alcune sono scomparse).

La Panspermia

Questa teoria ipotizza che i semi della vita siano ovunque in un Universo, che non solo ha la capacità di farla nascere ma anche di determinarne l'evoluzione. Una teoria che ha avuto nel filosofo Anassagora il primo sostenitore, è stata poi riproposta nel 1800 da lord Kelvin (secondo cui la materia morta non può rianimarsi senza quella viva) e nel secolo scorso da scienziati d'alto livello come il chimico premio Nobel svedese Svante Arrhenius e da Francis Crick, Nobel per la scoperta della struttura DNA secondo cui il DNA era troppo complesso per venire da un'evoluzione naturale (casuale [5]). La panspermia è stata difesa con grande energia sino agli inizi di questo secolo da Fred Hoyle [6] e Chandra Wickramasinghe secondo cui solo un'inseminazione dall'esterno poteva spiegare i tempi brevi con cui la vita era nata, l'isomorfismo (Fig. 7), l'esplosione di vita del cambriano avvenuta 541 milioni di anni fa, e i numerosi anelli mancanti nei fossili che testimoniano una evoluzione avvenuta per salti. Fatti facili da spiegare se si ipotizza un'inseminazione dall'esterno. La teoria ha perso vigore alla fine del secolo scorso quando al di là di ogni dubbio si è provata l'esistenza del Big Bang. La Panspermia non spiega, infatti, come nasce la vita, si limita a spostare il problema ad un altro punto dell'Universo, per cui, se non si capisce come sia nata la vita su una Terra vecchia di 4 miliardi di anni, ancor meno si capisce come, in un tempo 3 volte maggiore, essa possa essere nata in un altro punto dell'Universo ed arrivata qui. L'ipotesi sopravvive solo ipotizzando un Universo che esiste da un tempo quasi infinito e non con uno di soli 13.7 miliardi di anni. Un fatto curioso è che la prima prova dell'esistenza del Big Bang è stata data da Fred Hoyle che, nel tentativo di vanificare la teoria, ha dimostrato che solo il Big Bang poteva produrre l'abbondanza d'elio che si osserva nell'Universo.



Figura 7: L'Isomorfismo si ha in natura quando specie diverse presentano strutture corporee identiche. Nel caso in figura (a sinistra un camaleonte, a destra una mantide) in specie appartenenti a regni diversi (animale e vegetale). La panspermia spiega le identiche strutture corporali sostenendo che la mutazione è stata indotta dall'esterno su due specie che si trovavano nello stesso luogo.

A cento milioni di anni da quell'evento unico ed eccezionale [1, 2], inizia la colonizzazione delle terre emerse. Le piante sono le prime a lasciare gli oceani 440 milioni di anni fa (la data è stabilita dai pollini sopravvissuti sino alla nostra epoca); seguite dopo 40 milioni di anni dagli insetti e dopo 20 milioni di anni dagli anfibi (date stabilite dai fossili). I rettili compaiono 300 milioni di anni fa, con loro gli animali si allontanano dagli oceani perché non devono più deporre le

uova in acqua. I dinosauri compaiono 200 milioni di anni or sono, quando la frammentazione della Pangea negli attuali continenti era già iniziata, e scompaiono 54 milioni di anni fa, con la quinta ed ultima estinzione di massa, causata dall'impatto di un meteorite. La loro scomparsa permette ai mammiferi (la cui evoluzione era bloccata alle dimensioni di un topo dalla predazione dei dinosauri) di crescere e diversificarsi negli ordini che oggi li caratterizzano ed arrivare

a dominare il mondo con la nostra specie che è quasi intelligente.

L'evoluzione che ha trasformato i batteri procaroti negli attuali abitanti del pianeta, ha richiesto grandi cambiamenti, che non si ritiene possano essere avvenuti in meno di 5 miliardi di anni. È invece possibile che serva più tempo o che non si arrivi mai a specie intelligenti. Se, ad esempio, 54 milioni di anni fa, non fosse caduto il meteorite che ha provocato l'estinzione dei dinosauri, i mammiferi non si sarebbero sviluppati e i dinosauri, che in 150 milioni di anni non avevano prodotto specie intelligenti, difficilmente l'avrebbero fatto nei successivi 54 milioni di anni. Si può addirittura affermare che se noi esistiamo questo è avvenuto per effetto di un evento casuale, un fatto che porta a molte riflessioni [3].

A differenza dell'evoluzione, che ha richiesto 3.5 miliardi di anni per arrivare sino a noi, il processo che ha portato alla nascita della vita sulla Terra è stato invece velocissimo, di fatto la vita è nata appena possibile, quando la crosta terrestre era abbastanza fredda da permetterlo. Questo fa ipotizzare che i fenomeni che l'hanno resa possibile, anche se sconosciuti, siano altamente probabili [3]. Una tesi sostenuta da molti ricercatori, tra questi il Nobel Christian De Duvé che sottolinea un aspetto importante del processo che ha portato la materia inanimata a divenire animata. Egli scrive [4]:

"La vita è un processo chimico perché l'informazione biologica, codificata nelle molecole, si decodifica, si replica e si esprime attraverso processi chimici. . . Migliaia di reazioni chimiche si occupano della manutenzione, della crescita e della riparazione delle cellule, controllano tutte le attività biologiche e, prima fra tutte, trasformano in energia il nutrimento che prendiamo dall'ambiente. La vita è chimica, una parola che deve essere presa nel suo senso più ampio includendo la chimica minerale, quella organica, la biochimica, l'elettrochimica, la chimica fisica e la termodinamica".

De Duvé prosegue dicendo che, se tutti i processi biologici sono processi chimici, la sola ipotesi che si può fare, sul processo che ha generato la

vita sulla Terra, è che sia anch'esso un processo chimico e come tale deterministico.

In altri termini, De Duvé osserva che il processo che sulla Terra ha trasformato la materia inanimata in animata è stato un processo chimico-fisico, anche perché questi sono i soli processi che trasformano la materia sul nostro pianeta. Pertanto, se non si possono ipotizzare altri processi per l'origine della vita, a parte la Panspermia che non funziona (si veda riquadro), si deve concludere che per l'ineludibilità delle leggi della chimica e della fisica, (date certe condizioni, un fenomeno chimico fisico deve necessariamente verificarsi) la vita deve essere nata in ogni punto dell'Universo in cui si sono verificate le condizioni che c'erano sulla Terra quando essa è apparsa. Questa è la ragione per cui tanti *rover* punzecchiano la superficie di Marte alla ricerca di batteri. Quel pianeta ha avuto un'atmosfera e dei mari con acqua liquida pertanto, se De Duvé ha ragione, la vita deve essere nata anche lì. Poi, quando il pianeta ha perso i suoi oceani e gran parte dell'atmosfera, i batteri potrebbero essersi rifugiati nel sottosuolo (dove la temperatura è sufficientemente alta da permettere all'acqua di restare liquida).

Queste considerazioni portano ad affermare che la vita è un fatto comune attorno a noi, perché il 90% delle stelle è simile al Sole e tutte le stelle simili al Sole hanno pianeti. Quello che non sappiamo è se ci sono pianeti ad una distanza dalla stella, da permettere l'esistenza d'acqua liquida sulla loro superficie, una condizione necessaria per la vita che conosciamo. Si può però ipotizzare che, in un sistema planetario, i pianeti si disporranno come nel sistema solare, a varie distanze dalla stella, per cui è alta la probabilità che uno sia alla distanza giusta per avere acqua liquida sulla sua superficie. Pertanto, se De Duvé ha ragione, la vita è ovunque attorno noi. Se questo è vero perché gli extraterrestri non sono qui?

Perché gli extraterrestri non sono qui?

Se De Duvé ha ragione, allora nelle centinaia di stelle simili al Sole che sono morte attorno a noi negli ultimi 2 miliardi di anni doveva esserci la

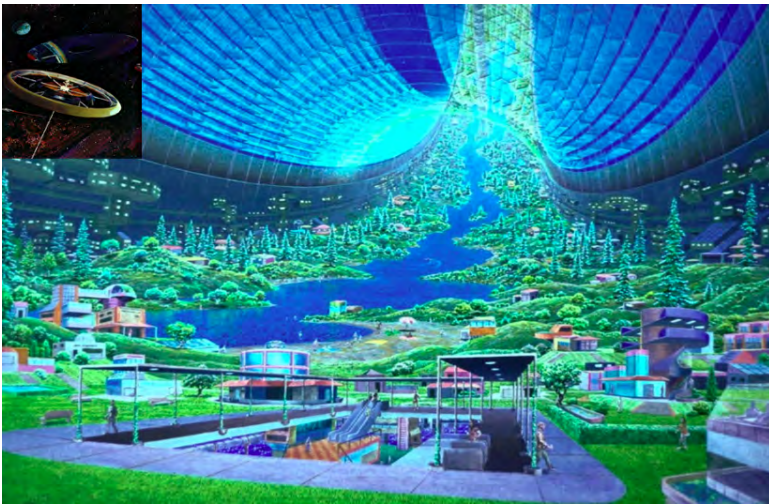


Figura 8: Visione artistica di come potrebbe essere l'interno dell'immensa astronave con cui alcuni ardimentosi potrebbero tentare un viaggio verso le stelle, un viaggio che durerà secoli, se non millenni. La forma è quella di una grande ciambella (in alto a sinistra) che ruota mantenendo al suo interno una gravità artificiale simile a quella della Terra.

vita. Perché gli extraterrestri non sono qui? Le risposte alla domanda di Fermi sono tre.

La prima è che la vita, anche se nasce subito, non arriva facilmente a forme intelligenti. La Terra è stata dominata per 150 milioni di anni dai dinosauri senza che essi diventassero intelligenti. Mentre i mammiferi, che si sono sviluppati quando i dinosauri si sono estinti, sono diventati intelligenti in 50 milioni di anni. Se i dinosauri non si fossero estinti, per un evento casuale come la caduta di un meteorite, la vita intelligente, probabilmente, non esisterebbe sul nostro pianeta perché l'evoluzione culturale che caratterizza la nostra specie è stata resa possibile da strutture corporee che noi abbiamo ed i dinosauri non avevano, come l'apparato vocale che ha permesso lo sviluppo di linguaggi complessi o gli arti prensili che hanno permesso di costruire degli utensili. Se al posto delle mani noi avessimo avuto degli zoccoli il nostro destino non sarebbe stato diverso da quello delle mucche.

La seconda ipotesi è legata alla possibilità di sopravvivere a viaggi che durano secoli con astronavi enormi (Fig. 8), capaci di trasportare un gran numero di persone (migliaia?) quelle che servono a garantire le diversità genetiche dei discendenti. Le astronavi devono essere una replica del pianeta di provenienza, con tutte le specie vegetali e animali (sane ed in gran numero) che ci sono sul pianeta per assicurare la biodiversità necessaria alla sopravvivenza di quel microcosmo, dove la gente nasce e muore per secoli senza mai scendere su di un pianeta.

Astronavi così grandi devono essere costruite nello spazio (come lo è stata la Stazione Spaziale Internazionale) e non possono entrare nell'atmosfera di un pianeta senza distruggersi. Dovranno, inoltre, essere in continua rotazione per avere una gravità artificiale simile a quella terrestre, perché il sistema osseo e muscolare dei suoi abitanti non si atrofizzi e li renda incapaci di sopravvivere alla gravità di un pianeta quando, un giorno, dovessero arrivarci. L'energia dovrà essere fornita da una o più centrali nucleari, le sole che possono immagazzinare il combustibile necessario ad un viaggio così lungo.

Un simile microcosmo corre molti rischi: l'astronave potrebbe essere colpita da meteoriti (scontri devastanti vista l'elevata velocità con cui viaggia); i suoi abitanti potrebbero soffrire per le radiazioni che, fuori dal campo magnetico terrestre, arrivano a 500 - 700 mSy/anno (il massimo accettato per i lavoratori di un impianto nucleare è 20 mSy/anno); l'ambiente chiuso e le piccole dimensioni (rispetto a quelle di un pianeta) rende facile la diffusione di malattie. Saranno anche pericolosi i guasti che dovessero avvenire nei sistemi di depurazione delle acque e dell'aria, di regolazione del clima e di produzione dell'energia. Chiunque ha avuto un acquario sa bene quanto sia difficile mantenere, in un ambiente piccolo, le condizioni che la natura garantisce senza problemi in un ambiente esterno, più grande. Ognuno di questi fenomeni può distruggere quel mondo quindi milioni di astronavi potrebbero essere partite e nessuna essere riuscita a mantenere in vita l'equipaggio per un tempo così lungo.

La terza ipotesi nasce dalla constatazione che

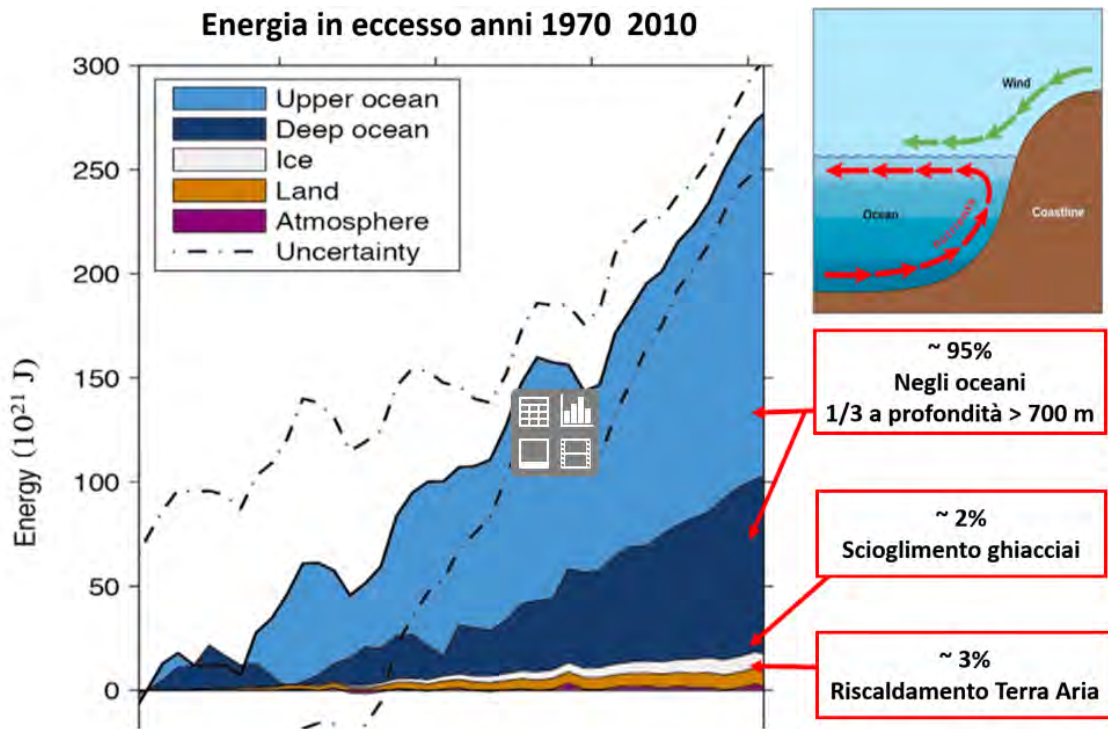


Figura 9: Distribuzione dell'energia prodotta in eccesso nel periodo 1970-2010. Il calore in eccesso prodotto in quei 42 anni è stato assorbito per il 95% dagli oceani, dove risiede la capacità termica superficiale della Terra; di questo 1/3 è stato trasferito a profondità superiori ai 700 m per l'interazione di venti e correnti con le coste (in alto a destra). Del 5% restante, il 2% circa è stato utilizzato per sciogliere i ghiacciai e sta causando il sollevamento degli oceani; il 3% circa per riscaldamento del suolo e dell'atmosfera [7].

quando una specie diventa intelligente acquista anche grandi capacità distruttive. Può auto-estinguersi con guerre nucleari e batteriologiche; può avvelenare l'atmosfera del pianeta, oppure causare cambiamenti climatici catastrofici; tutti fenomeni che possono distruggere una popolazione o farla regredire ad un livello tecnologico insufficiente ad affrontare un viaggio interstellare.

Tutte queste cose stanno avvenendo sulla Terra. Non c'è mai stato sul nostro pianeta un così elevato numero di nazioni che possiedono armi nucleari e batteriologiche; alcune di queste con governi instabili, ed infiltrazioni Jihadiste nelle forze armate (Pakistan) che potrebbero far finire quelle armi nelle mani di terroristi. Quanto al rischio climatico, esso non è mai stato così elevato. Le emissioni di gas serra sono 100 volte superiori a quelle naturali e rendono l'uomo l'irresponsabile controllore del clima. Per di più l'uomo è così stupido da non capire che i cambiamenti climatici che sta causando sono irreversibili e che se, domani, spaventato, volesse rimediare agli errori commessi non potrà farlo perché gran parte del calore prodotto è immagazzinato negli

oceani che non sappiamo come raffreddare (Fig. 9).

Secondo l'ultimo rapporto dell'IPCC (del 2022 reperibile in rete) se volessimo raffreddare gli oceani e riportare il ghiaccio ai poli e tornare alla situazione preindustriale servirebbero 1000 anni dal momento in cui riusciremo ad azzerare le emissioni. In altre parole tutto quello che stiamo perdendo lo è per tempi talmente lunghi rispetto alla durata della nostra vita che potremmo dire per sempre.

La risposta al paradosso di Fermi potrebbe quindi essere che le specie quando diventano intelligenti, commettono errori così stupidi da estinguersi o da dover restare per sempre sul pianeta in cui si trovano. Una considerazione che dovrebbe farci riflettere su quello che stiamo facendo. Dovrebbe far riflettere chi nega il riscaldamento globale, ma, soprattutto, quei movimenti ambientalisti che suggeriscono soluzioni sbagliate o insufficienti. Dobbiamo capire che se non eliminiamo i combustibili fossili in tempi brevissimi per il nostro pianeta non c'è futuro e che le rinnovabili da sole non possono risolvere il problema. Un fatto capito da una giovane don-

na come Greta Thunberg che ci ha avvertito, se vogliamo salvare il pianeta dobbiamo adottare al più presto ogni forma d'energia che non usi combustibili fossili, incluso il nucleare. Ciononostante, molti paesi continuano a basare una parte consistente della loro produzione elettrica sul carbone che, oltre a contribuire all'effetto serra, è il più letale dei combustibili e la maggior parte degli altri paesi basano la produzione elettrica sul metano, che ha un effetto serra 30 volte maggiore della CO₂. C'è solo da sperare che i terrestri non scoprano troppo tardi, quale delle risposte al paradosso di Fermi si applica al loro caso.



- [1] P. Saraceno: *Il caso Terra: l'origine del nostro pianeta e la ricerca della vita nell'Universo*, Mursia, Milano (2007).
- [2] P. Saraceno: *Beyond the stars*, World Scientific, Singapore (2013).
- [3] P. L. Luisi: *Sull'origine della vita e della biodiversità*, Mondadori, Milano (2013).
- [4] C. De Duve: *Astronomical and biochemical origins and the search for life in the Universe* Eds. C.B. Cosmovici, S. Bouyer and D. Werthimer. Editrice Compositori, Bologna (1997)
- [5] F. Crick: *Life its origin and nature*, Simon & Shuster, New York (1981).
- [6] F. Hoyle: *The intelligent Universe*, Michael Joseph Ltd., London (1983).
- [7] IPCC *Climate Change 2014 Synthesis Report pag. 42* reperibile nel web. (https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf)



Paolo Saraceno: laureato in fisica alla Sapienza di Roma nel 1968, dirigente di ricerca dell'Istituto Nazionale di Astronomia ed Astrofisica, fisico sperimentale ha partecipato negli anni '70 alla realizzazione dei primi strumenti per astronomia infrarossa costruiti in Italia. Si è occupato di osservazioni astronomiche da terra e da satellite. Negli anni '80 e '90 ha coordinato lo sforzo italiano per la realizzazione del satellite ISO (Infrared Space Observer) dell'ESA, lanciato nel 1995 e del satellite per astronomia infrarossa e sub millimetrica Herschel lanciato nel 2009. La sua attività scientifica ha riguardato soprattutto

lo studio dei processi con cui nascono le stelle e i pianeti, ha contribuito a pubblicare più di 200 lavori su riviste internazionali. Negli ultimi anni si è occupato di questioni energetiche ed ambientali e ha studiato i meccanismi che hanno reso possibile l'esistenza della vita sulla terra e quelli che possono distruggerla; ha pubblicato i libri "Il caso Terra" Mursia 2007; "Beyond the Stars" World Scientific 20123. È stato membro del consiglio scientifico del "Festival dell'Energia", della Associazione Tuscolana di Astronomia e del CdA di Galileo 2001 per la dignità e libertà della scienza. Dal dicembre 2011 al 2020 è stato membro della commissione di valutazione d'impatto ambientale del Ministero dell'Ambiente.

