

LA PERCEZIONE DEL FINITO:

UNO STRUMENTO PER RISCRIVERE IL PASSATO E IL FUTURO DELL'UNIVERSO E DELL'UOMO

PARTE 1: FINITO E INFINITO

L'Invenzione del Concetto di Infinito

Il concetto di infinito ha affascinato l'uomo per secoli, e la sua rappresentazione simbolica risale al 1665, quando John Wallis introdusse il simbolo ∞ . Contrariamente alla credenza comune, questo simbolo non è semplicemente un "otto rovesciato", ma trae origine da una legatura della lettera M, il simbolo romano per 1000, scelta per rappresentare una quantità estremamente grande. Alcuni, però, preferiscono interpretarlo come un circuito continuo, privo di inizio e di fine, un'immagine che ben si adatta all'essenza astratta del concetto.

$$M \rightarrow m \rightarrow \infty \rightarrow \infty$$

$$M = \text{CIC} \rightarrow \infty$$

Figura 1. Possibili interpretazioni grafiche dell'origine del simbolo di infinito.

Ma cos'è davvero l'infinito? Non si tratta di un numero nel senso tradizionale, bensì di un'idea, un

concetto ideale e astratto che emerge in molteplici ambiti matematici. Anche se l'infinito non può essere inteso come un numero convenzionale, Abraham Robinson, attraverso l'analisi non standard, ha sviluppato i numeri iperreali per includere un'estensione del concetto numerico che abbraccia l'infinito. Tuttavia, ciò rappresenta un approccio molto specifico e non universale.

Questa riflessione sull'infinito serve a introdurre un tema centrale: il nostro tentativo di confrontarci con l'infinito come con un avversario da affrontare. Dove possibile, cercheremo di liberarcene, e laddove l'infinito si rivelerà inevitabile, ne riconosceremo la forza. Fortunatamente, il discorso non toccherà argomenti come i buchi neri, dove l'infinito assume una dimensione ancora più complessa e sfuggente. Questo lascia spazio a un margine di successo, almeno per ora, nel nostro confronto con l'infinito.

Elementi Finiti e la Costante di Planck

Nella nostra percezione quotidiana, l'infinito e gli infinitesimi non trovano posto. Questi ultimi possono essere pensati come il risultato di $1/\infty$: una quantità infinitamente piccola, in analogia con l'infinito, che è infinitamente grande. Tuttavia, infinitesimi e infinito sono concetti distinti. Se tutto ciò vi risulta confuso, non preoccupatevi: in fondo, stiamo parlando di matematica.

Viviamo in un universo che appare discreto e non continuo. Con l'avvento della meccanica quantistica, questa natura discreta si è rivelata attraverso l'introduzione della costante di Planck (h), una delle pietre miliari nella descrizione del nostro universo. La scoperta della radiazione di corpo nero quantizzata ha portato a definire la lunghezza di Planck e il tempo di Planck, scale fondamentali che rappresentano i limiti oltre i quali lo spaziotempo stesso è quantizzato.

$$l_P = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} = 1.616255 \times 10^{-35} \text{ m}$$

$$t_P = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^5}} = 5.391247 \times 10^{-44} \text{ s}$$

Che cosa esiste tra due punti separati da una lunghezza di Planck ($\sim 10^{-34}$ m)? Assolutamente nulla. Le entità fisiche "saltano" da un punto all'altro, separati da una distanza minima, senza che nulla possa esistere nel mezzo. Lo stesso principio vale per il tempo: tra due istanti separati da un tempo di Planck, il concetto di continuità sfuma, lasciando il posto a una natura intrinsecamente discreta.

Lo Zero assoluto e la Temperatura di Planck

Lo Zero assoluto è un concetto noto a molti: la temperatura in cui la materia raggiunge il proprio minimo entropico e il movimento molecolare si arresta completamente. Tuttavia, questa definizione nasconde una piccola imprecisione. Anche a questa temperatura non è possibile ottenere uno stato di quiete totale, poiché ciò implicherebbe che gli elettroni siano immobili. In tal caso, si potrebbero determinare simultaneamente posizione e quantità di moto degli elettroni, in evidente violazione del principio di indeterminazione di Heisenberg. Questo principio è uno dei pilastri della meccanica quantistica, che lega indissolubilmente le nozioni di movimento e incertezza.

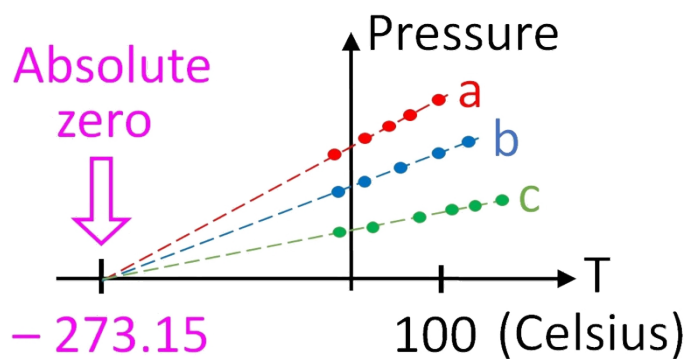


Figura 2. Al variare della temperatura la pressione esercitata da un gas si modifica secondo una proporzionalità diretta. Questo andamento può essere interpolato con una retta la cui pendenza è peculiare del gas preso in considerazione. Il punto di intersezione con l'asse x, tuttavia, è comune a tutti i gas e corrisponde a 0K (-273.15 °C), temperatura a cui la materia manifesta il proprio minimo stato di entropia.

La costante di Planck, già menzionata in precedenza, gioca un ruolo cruciale anche in questo contesto, poiché introduce limiti fondamentali nella fisica. Non solo definisce la scala alla quale lo spaziotempo è quantizzato, ma pone anche un limite superiore alla temperatura possibile nell'universo. Questo limite deriva dalla radiazione di corpo nero, un fenomeno fisico che stabilisce una proporzionalità tra la temperatura di un corpo e l'energia della luce emessa. All'aumentare della temperatura, l'energia della radiazione cresce, mentre la lunghezza d'onda della luce diminuisce.

La temperatura massima possibile corrisponde al punto in cui la lunghezza d'onda della radiazione elettromagnetica emessa raggiunge la scala della lunghezza di Planck ($\sim 10^{-34}$ m). Al di sotto di questa lunghezza, non è possibile andare: si tocca il limite imposto dalla natura stessa. Pertanto, lo Zero assoluto rappresenta il limite inferiore per la temperatura, mentre la temperatura di Planck segna il limite superiore. Entrambi sono vincoli fondamentali che ci aiutano a comprendere l'universo e le leggi che lo governano.

$$T_P = \sqrt{\frac{\hbar c^5}{G k^2}} = 1.41670 \times 10^{32} \text{ K}$$

L'Universo è Infinito?

Non lo sappiamo, ma possiamo affermare con certezza che l'universo visibile è finito: una sfera con un raggio di circa 46 miliardi di anni luce (GLy). Questa è la porzione dell'universo che possiamo osservare, sebbene l'universo abbia solo 14 miliardi di anni (Gyr). Questo apparente paradosso è dovuto all'espansione dell'universo e al fenomeno dell'inflazione cosmica, che ha permesso alla luce emessa da galassie primordiali, circa 13,8 miliardi di anni fa, di raggiungerci solo oggi. Tuttavia, queste galassie hanno continuato ad allontanarsi e ora si trovano a circa 46 GLy da noi. La radiazione cosmica di fondo, spesso definita l'"eco del Big Bang", è la cosa più

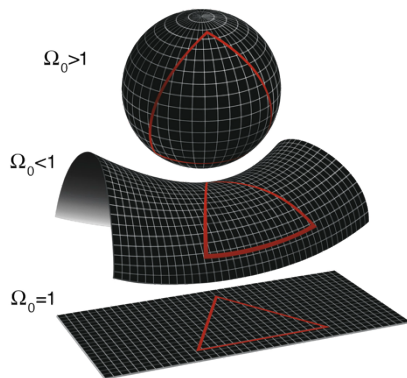


Figura 4. Rappresentazioni qualitative delle possibili geometrie di un piano. Dall'alto verso il basso: curvatura positiva (piano sferico), curvatura piatta (piano), curvatura negativa (piano iperbolico)

lontana che possiamo osservare nello spazio e nel tempo. Oltre questo orizzonte non sappiamo cosa ci sia: semplicemente, è fuori dalla nostra portata.

Un esperimento cruciale, il progetto BOOMERanG (1998-1999), ha dimostrato che la geometria dello spazio-tempo è piatta, il che potrebbe essere compatibile con un universo infinito. Tuttavia, è utile ricordare il concetto di località. Anche la Terra, a livello locale, ci appare piatta, ma con una prospettiva più ampia possiamo apprezzarne la curvatura. Allo stesso modo, l'universo potrebbe essere localmente piatto ma globalmente chiuso, con una dimensione superiore a 250 GLy. Un'ipotesi alternativa è quella di un universo toroidale, che richiama in modo curioso la teoria dell'universo a forma di ciambella proposta da Homer Simpson e forse rubata da Stephen Hawking.

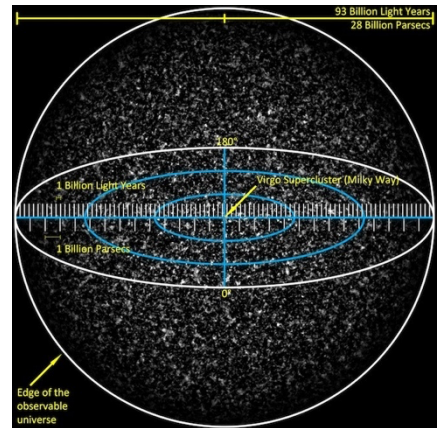


Figura 3. una rappresentazione qualitativa dell'universo osservabile. L'ammasso locale di cui fa parte la Via Lattea è a malapena visibile.

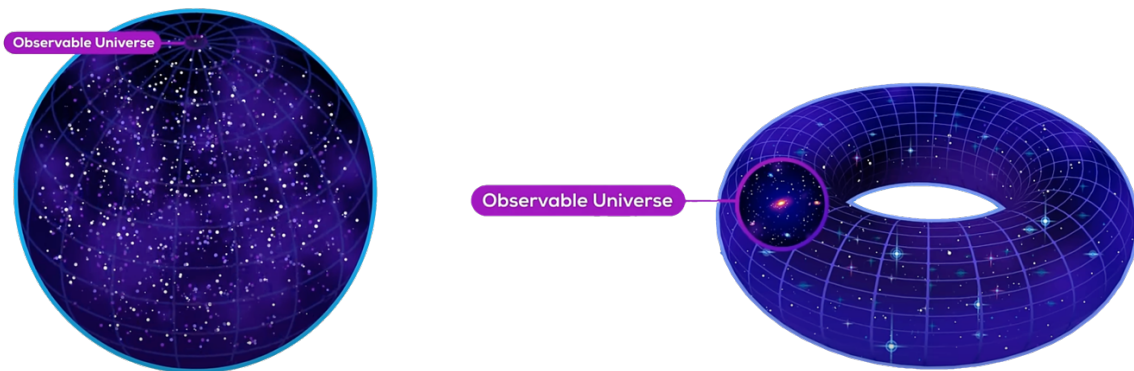


Figura 5. Rappresentazioni artistiche di universi chiusi compatibili con i risultati ottenuti dall'esperimento BOOMERanG: a sinistra un universo sferico con dimensioni molto superiori a quelle dell'universo visibile; a destra un universo toroidale, in grado di accogliere l'universo osservabile localmente piatto come una componente maggiormente evidente.

Insomma, non abbiamo ancora una risposta definitiva. L'universo è infinito? Boh! Questa domanda, per ora, va oltre le nostre capacità di indagine.

L'Universo ha una Data di Nascita

Ciò che sappiamo con certezza è che l'universo è finito nel tempo: ha avuto una data di nascita. Tuttavia, non è sempre stato così dal punto di vista concettuale. All'inizio del XX secolo, si pensava che l'universo fosse statico, immutabile ed eterno, limitato alla Via Lattea. Questo paradigma fu sconvolto negli anni '20, quando si scoprì la radiazione cosmica di fondo. Questa scoperta, insieme ai concetti di inflazione e

Big Bang, rivoluzionò il modo di pensare l'universo, causando accesi dibattiti (e forse qualche rissa accademica tra astrofisici, fortunatamente con pochi danni collaterali). La radiazione cosmica di fondo, scoperta successivamente da Penzias e Wilson negli anni '60, è diventata una delle prove principali a favore del modello del Big Bang.

La Vita Come la Vedevano in Passato

In passato, l'origine della vita era spiegata principalmente con due teorie: la generazione spontanea e il preformismo. Sebbene oggi possano sembrare ingenui, queste idee erano ampiamente accettate.

La generazione spontanea sosteneva che la vita potesse emergere direttamente dalla materia non vivente. Ad esempio, si credeva che gli insetti nascessero dalla carne in putrefazione, i topi dal grano e le rane dal fango delle paludi. Già nel XVII secolo, esperimenti semplici iniziarono a confutare questa teoria.

Il preformismo, invece, ipotizzava che ogni organismo fosse già completamente formato in miniatura all'interno di un uovo o di uno spermatozoo, in un sistema simile alle matrioske. Questa teoria rimase in voga fino al XIX secolo, quando le scoperte nella genetica e nello sviluppo embrionale la resero obsoleta.

Van Leeuwenhoek e la Microscopia

Nel 1663, Anton van Leeuwenhoek costruì il primo microscopio e osservò per la prima volta le cellule, coniato il termine "cella", che poi divenne in italiano "cellula". Questa scoperta aprì la strada al modello cellulare e alla microbiologia, portando a una nuova comprensione della vita. L'emergere del concetto di biogenesi – "la vita genera la vita" – ha soppiantato l'idea della generazione spontanea, favorendo un approccio scientifico più rigoroso.

Tuttavia, la scienza è in continua evoluzione, e le sue verità sono soggette a cambiamenti. L'"emivita dell'informazione" varia notevolmente tra le discipline: dalla biologia (5-10 anni) alla fisica teorica (50-100 anni). Questo principio evidenzia come la conoscenza scientifica si sviluppi e si rinnovi continuamente.

Biogenesi: Origine e Caduta

Il principio della biogenesi è supportato da molteplici evidenze sperimentali. Questo implica che, a meno di interventi divini, la vita non può emergere spontaneamente dalla materia inanimata. Sebbene la fede sia un elemento personale, il pensiero scientifico ha spesso trovato punti di contatto con le convinzioni religiose di molti grandi scienziati del passato, come Albert Einstein. La sua celebre frase "Dio non gioca a dadi con l'universo" riflette una visione dell'universo come luogo ordinato e razionale.

Come Einstein molti erano gli scienziati convinti che l'universo fosse statico. Tuttavia fu proprio Einstein con la sua Teoria della Relatività a porre le basi per la teoria del Big Bang, emersa nel 1929 grazie al lavoro di Edwin Hubble. Lo stesso che nel 1923 aveva scoperto in Andromeda non una nebulosa, ma una galassia diversa dalla nostra. Queste due grandi novità furono un vero terremoto, soprattutto per la biogenesi, perché in questo modo veniva a cadere un assunto fondamentale: l'universo non era un sistema statico ed eterno. Al tempo si sapeva già che l'essere umano esisteva da poche centinaia di migliaia di anni, e che in generale la vita sulla terra si era evoluta a partire da microorganismi, ma in un universo statico non ci si poneva il dubbio di dover andare più indietro di così, la vita si poteva perpetrare nel cosmo in un modello di panspermia ricostruendo lungo la linea del tempo all'indietro arbitrariamente. La vita era sempre esistita, salvo che l'universo aveva adesso una data di origine. E questo era un problema perché lo stesso doveva valere per la vita.

Il 1953: un Anno Cruciale

Il 1953 è stato un anno rivoluzionario per lo studio dell'origine della vita, grazie alla pubblicazione di due scoperte fondamentali.

1. **La struttura del DNA:** Rosalind Franklin, lavorando al King's College, riuscì a isolare cristalli di DNA e a definirne la struttura. Questi dati furono fondamentali per Watson, Crick e Wilkins, che nel 1953 pubblicarono il celebre articolo sulla doppia elica del DNA. Questo lavoro aprì la strada alla biologia molecolare, introducendo il dogma centrale: DNA → RNA → proteina. Grazie a questa scoperta, si comprese finalmente come l'informazione genetica venga trasmessa e come si manifestino i fenotipi.
2. **L'esperimento di Miller e Urey:** Harold Urey e Stanley Miller simularono le condizioni della Terra primordiale in un sistema chiuso, combinando metano, ammoniaca, idrogeno e acqua con scariche elettriche. I risultati furono straordinari: riuscirono a sintetizzare molecole organiche, tra cui aminoacidi proteinogenici come glicina e alanina. Questo esperimento rappresentò l'alba dell'abiogenesi, dimostrando la sintesi inorganica di composti biologici.

Questi progressi furono il culmine di idee e ricerche precedenti, come l'ipotesi del brodo primordiale proposta da Darwin nel 1870. Tuttavia, il 1953 segnò una svolta epocale, catalizzando l'interesse per lo studio dell'origine della vita e aprendo nuove frontiere scientifiche.

PARTE 2: RITORNO AL PASSATO

Ora cerchiamo di approfondire la questione dell'abiogenesi da un punto di vista matematico. Voglio presentarvi una teoria proposta in vari momenti e recentemente rilanciata da Alexei Sharov e Richard Gordon nella loro pubblicazione del 2013, "Life Before Earth".

“Life Before Earth”

In questo articolo, i due scienziati affrontano una domanda cruciale per i sostenitori della panspermia: *“Se la vita non ha avuto origine sulla Terra, dove e quando ha avuto inizio?”* La loro risposta si basa sull'analisi dell'evoluzione della complessità genetica attraverso un modello matematico. Per comprenderlo, sono necessarie alcune basi di matematica, biologia molecolare e bioinformatica.

Funzione esponenziale

Una funzione esponenziale è una funzione del tipo $f(x) = a^x$, dove il valore della funzione $f(x)$ cresce esponenzialmente al crescere di x , con a come base. La base più comune in matematica è il numero di Nepero (e), ma in fisica e chimica sono frequenti esponenziali in base 10. Ad esempio, la scala Richter (per l'intensità dei terremoti) e il pH (per misurare l'acidità) si basano su scale logaritmiche. L'operazione inversa è, appunto, il logaritmo, che ci permette di calcolare l'esponente necessario per ottenere un determinato valore.

Struttura del DNA e nucleotidi

Il DNA è una molecola complessa descrivibile come una doppia elica, simile a una scala a pioli attorcigliata. È un polimero formato da due filamenti antiparalleli di deossiribonucleotidi, composti da tre elementi:

1. Uno zucchero (desossiribosio);
2. Una base azotata (adenina, timina, guanina o citosina);
3. Un gruppo fosfato.

I monomeri si uniscono formando una catena zucchero-fosfato, con le basi azotate sporgenti. Le basi si appaiano secondo complementarità: adenina con timina (A-T) e citosina con guanina (C-G), tramite legami a idrogeno, unendo così i due filamenti nella doppia elica. L'RNA, invece, è un polimero a singolo filamento il cui zucchero è ribosio e in cui l'uracile (U) sostituisce la timina.

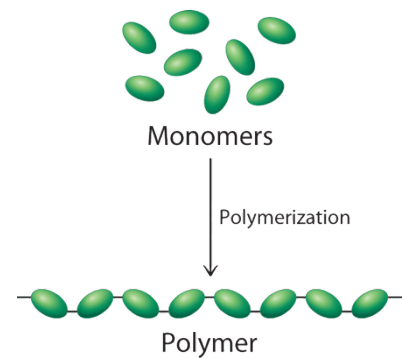


Figura 6. Un polimero è una molecola lineare (o ramificata) costituita dalla ripetizione plurima di una stessa unità funzionale (monomero).

I numeri del DNA

Le dimensioni del DNA si misurano in coppie di basi (bp). Nel genoma umano, il DNA contiene circa 3,2 miliardi di bp (3,2 Gbp). Il DNA è organizzato in geni, unità funzionali che codificano proteine attraverso la trascrizione in RNA messaggero (mRNA) e la successiva traduzione nei ribosomi. Solo il 2% del DNA umano è codificante, mentre il restante 98%, un tempo definito junk DNA, ha importanti ruoli regolatori e di ridondanza.

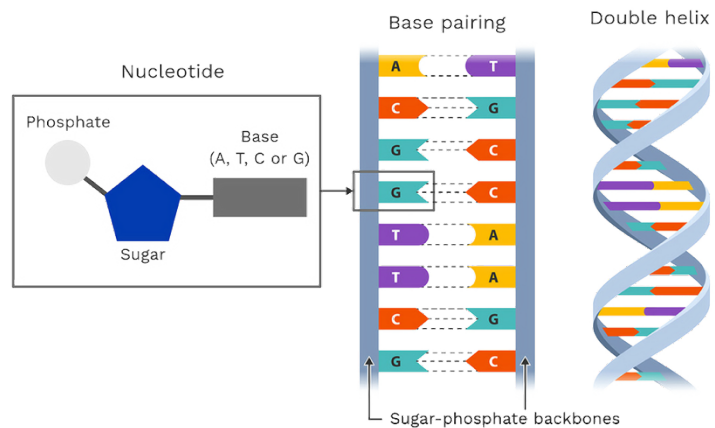


Figura 7. La struttura del DNA nei suoi vari componenti. A sinistra un nucleotide, al centro la formazione delle due catene fosfodiesteriche, a destra la struttura tridimensionale del DNA.

Allineamenti e alberi filogenetici

Confrontando geni di diverse specie, è possibile analizzarne le somiglianze e differenze tramite metodi bioinformatici di allineamento. Questi dati permettono di costruire alberi filogenetici che rappresentano la relazione evolutiva tra specie, identificando il **Last Universal Common Ancestor** (LUCA), l'antenato comune universale.

Complessità genetica e modello di Sharov e Gordon

Sharov e Gordon hanno esaminato l'evoluzione della complessità genetica usando un modello matematico che mostra come questa raddoppi circa ogni 376 milioni di anni, simile a quanto descritto dalla legge di Moore in informatica. Estrapolando questo modello, hanno stimato l'origine della vita tra 7 e 12 miliardi di anni fa, con una media di 9,7 miliardi di anni fa.

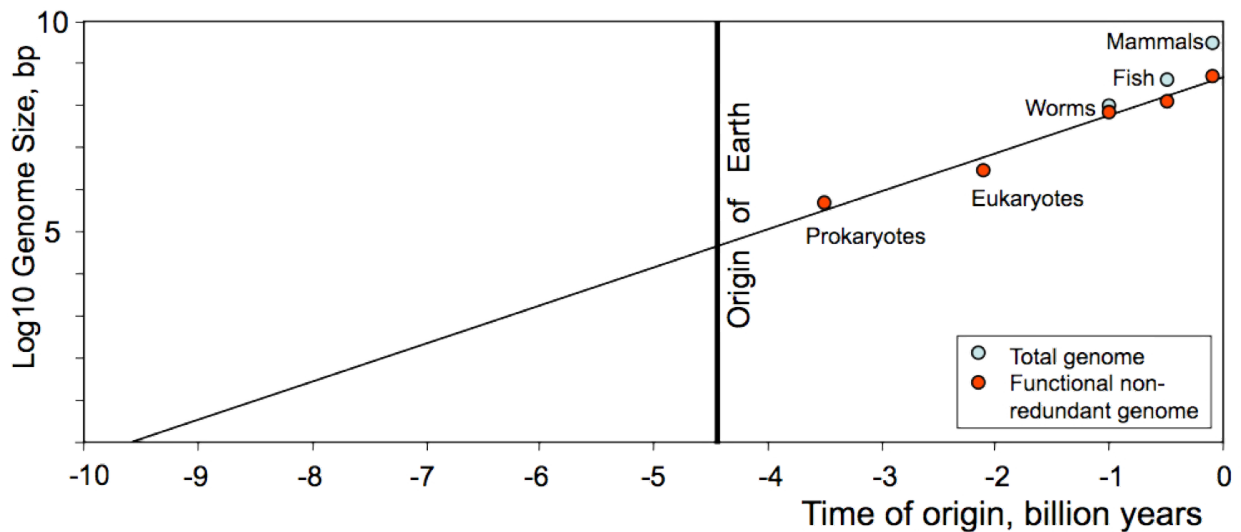


Figura 8. Su questo grafico semilogaritmico, la complessità degli organismi, misurata come la lunghezza del DNA funzionale non ridondante per genoma (contato come coppie di basi), aumenta linearmente nel tempo. L'asse x riporta il tempo in senso inverso in miliardi di anni a partire dal presente (tempo 0).

Crescita Esponenziale e Complessità Genetica

Per quanto ne sappiamo, la complessità genetica evolve con una crescita esponenziale, che trova una spiegazione funzionale nel fatto che genomi più grandi tendono a evolversi più rapidamente. Un pool genetico più ampio offre:

- Maggior stabilità, fornendo un riferimento per l'emergere di nuovi geni.
- Un effetto di feedback positivo, simile a quanto osservato in altri ambiti, come il progresso tecnologico o scientifico.

Questo principio è stato proposto anche da Einstein come uno strumento di analisi del sapere. Più cose scopriamo, più allarghiamo il "cono di luce" sullo sfondo dell'ignoranza, aumentando così il diametro del cerchio che stiamo illuminando, ma anche il perimetro delle nuove domande da indagare.

Un modello di crescita iperesponenziale consente di adattare meglio i dati disponibili, ma soffre anche di un grave limite: sposterebbe l'origine della vita ancora più indietro nel tempo, fino a sfiorare o superare l'età dell'universo.

L'Origine della Vita e il Modello Evolutivo

Secondo Sharov e Gordon, quindi, l'origine della vita sarebbe collocata tra 7 e 12 miliardi di anni fa, con una stima di 9.7 ± 2.5 miliardi di anni fa.

Questa ipotesi solleva interrogativi affascinanti, non solo sull'origine della vita, ma anche sulle condizioni iniziali dell'universo e su come la complessità genetica possa essersi sviluppata molto prima dell'apparizione della Terra.

Dove potrebbe essere iniziata la vita?

Se la vita non ha avuto origine sulla Terra, potrebbe essere emersa nell'universo giovane, in bolle di solvente liquido create dopo il raffreddamento iniziale. All'interno di tali bolle, grazie anche al supporto di scaffold fornito da minerali in sospensione, potrebbero aver avuto origine i primi sistemi proto-vitali.

Questo modello apre scenari affascinanti e ulteriori interrogativi su come, dove e quando la vita abbia avuto origine, stimolando la nostra curiosità verso l'universo e il nostro posto in esso.

PARTE 3: PROSPETTIVA

Il Paradosso di Fermi

Il Paradosso di Fermi è un tema centrale nella discussione astrofisica. Tradizionalmente, si ritiene che la domanda derivi da una conversazione del fisico italiano Enrico Fermi durante gli incontri del Progetto Manhattan:

"Se l'universo è così vasto e popolato, dove sono tutti?"

Anche considerando parametri estremamente restrittivi nell'Equazione di Drake, si stima che esistano numerose specie intelligenti nell'universo, molte delle quali tecnologicamente più avanzate rispetto alla nostra. Tuttavia, non abbiamo ancora avuto alcuna prova concreta della loro esistenza.

Le ipotesi per spiegare questa assenza di contatto sono molteplici:

- Le distanze cosmiche: le enormi distanze spaziali e temporali potrebbero impedire qualsiasi interazione.
- La sincronizzazione temporale: due civiltà devono coesistere nello stesso arco temporale per entrare in contatto, ma intere civiltà potrebbero nascere e scomparire su scale temporali insignificanti rispetto a quelle cosmiche.

Se civiltà avanzate esistessero, come sarebbero? È una domanda che conduce a modelli teorici come la scala di Kardashev.

Scala di Kardashev

La scala di Kardashev classifica le civiltà in base alla quantità di energia a loro disposizione. Ideata dall'astrofisico sovietico Nikolaj Kardashev, la scala si suddivide in livelli esponenziali:

1. **Tipo I:** una civiltà in grado di sfruttare tutta l'energia disponibile sul proprio pianeta ($\sim 10^{16}$ W).
 - La Terra è attualmente a circa 0,7 sulla scala.
2. **Tipo II:** una civiltà capace di sfruttare tutta l'energia della propria stella ($\sim 10^{26}$ W).
 - Tecnologie ipotetiche: **Sfere di Dyson**, motori stellari (es. Skadov o Caplan).
3. **Tipo III:** una civiltà che controlla l'energia di un'intera galassia ($\sim 10^{36}$ W).
 - Questo livello è quasi divino, al di là della nostra comprensione.

Esempi nella fantascienza:

- **Tipo I:** opere di Arthur C. Clarke come *Le fontane del paradiso*.
- **Tipo II:** il mondo di *Dune* o la Federazione di Star Trek.
- **Tipo III:** la civiltà di *Star Wars* o il ciclo della Fondazione di Isaac Asimov (anche se non completamente).

Sono stati ipotizzati livelli superiori:

- **Tipo IV:** controllo di ammassi e superammassi di galassie ($\sim 10^{56}$ W).
- **Tipo V o Omega:** controllo dell'energia dell'intero universo ($\sim 10^{56}$ W).

Il Grande Filtro

La teoria del Grande Filtro, proposta dall'economista Robin Hanson nel 1998, suggerisce che ogni civiltà incontri un ostacolo insuperabile durante la propria evoluzione. Questo filtro potrebbe spiegare il silenzio cosmico osservato nel Paradosso di Fermi.

Ipotesi del Grande Filtro:

1. **Filtro nel futuro:** ostacoli tecnologici o ambientali potrebbero portare all'estinzione.
 - Esempio: una tecnologia distruttiva (simile alla paura del Progetto Manhattan di incendiare l'atmosfera terrestre).
2. **Filtro nel passato:** l'umanità potrebbe essere un'eccezione, una delle pochissime (o l'unica) civiltà ad aver superato il filtro.
 - Rarità della vita: L'intelligenza tecnologica potrebbe essere incredibilmente rara.
 - Contingenze biologiche: La vita terrestre è favorita da circostanze uniche (es. la presenza di acqua liquida e la giusta composizione atmosferica da permettere combustione controllata).

Un'altra possibilità è che il filtro non sia insormontabile:

- **Siamo tra i primi:** l'universo è ancora giovane, e altre civiltà stanno emergendo ora.
- **Non siamo soli:** potrebbero esistere altre civiltà intelligenti, ma sono troppo distanti per essere rilevate o notate.

Il Grande Filtro non dà certezze, ma ci offre una nuova prospettiva sulla nostra esistenza e il nostro posto nel cosmo.

