

È possibile conciliare il Principio Antropico con quello Copernicano?

A. Feoli e S. Rampone

Dipartimento di Scienze Fisiche «E.R. Caianiello», Università di Salerno - 84081 Baronissi (Salerno)

1. Introduzione.

I successi della cosmologia scientifica dopo l'avvento della relatività di Einstein con i modelli di Universo in espansione di Friedmann (1922) hanno gettato una nuova luce sull'evoluzione dell'Universo come le teorie di Darwin avevano portato nel secolo scorso (1859) ad una nuova interpretazione dell'evoluzione biologica delle specie animali e vegetali sul nostro pianeta. Ma conoscere sempre meglio il passato della nostra storia di abitanti dell'Universo non significa conoscere il senso, il fine della nostra esistenza. Se siamo piacevolmente sorpresi di riuscire a comprendere l'evoluzione del cosmo (Einstein commentava che la cosa più incomprensibile dell'Universo è che esso sia comprensibile) d'altra parte, come sostiene Weinberg [1], «Quanto più l'Universo appare comprensibile, tanto più appare senza scopo».

La ricerca di uno scopo, di un finalismo nel processo evolutivo si è tradotta negli ultimi anni in fisica nel Principio Antropico (PA) formulato per la prima volta da Carter nel 1974 [2]. Senza in origine avere nessun intento teleologico Carter propose due versioni del Principio Antropico nel tentativo di contrastare il «dogma», che veniva sempre più estremizzato, del Principio Copernicano. Il Principio Antropico Debole (PAD)

prende in considerazione «il fatto che la nostra collocazione nell'Universo è necessariamente privilegiata nella misura in cui deve essere compatibile con la nostra esistenza come osservatori». Inoltre egli chiamò Principio Antropico Forte (PAF) la frase: «L'Universo (e quindi i parametri fondamentali da cui esso dipende) deve essere tale da ammettere la creazione di osservatori al suo interno in qualche stadio dell'evoluzione». Questa versione del Principio Antropico mirava ad orientare la ricerca e gli impianti teorici in cosmologia: l'evoluzione della vita sul pianeta Terra è un fatto e le leggi dell'Universo non possono contraddire questo fatto.

Dopo Carter molte versioni diverse del Principio Antropico sono state proposte. Infatti mentre il PAD è nulla più che una constatazione, e come tale difficilmente contestabile, varie interpretazioni finalistiche si sono avute del PAF. Il dato sperimentale è che variando di poco il valore di una delle costanti fondamentali della natura (carica elettrica, costante di gravitazione, rapporto fra la massa dell'elettrone e massa del protone, ecc.) oppure i valori di altre quantità caratteristiche del nostro Universo o del nostro sistema solare (velocità di espansione delle galassie, età dell'Universo, luminosità del Sole, distanza Terra-Sole, presenza di atmosfera, strato di ozono,

ecc.) non sarebbe stata possibile l'evoluzione di forme di vita basate sul carbonio come la nostra. Osserva Hawking [3]: «Il fatto degno di nota è che i valori di questi numeri sembrano essere stati esattamente coordinati per rendere possibile lo sviluppo della vita. Per esempio, se la carica dell'elettrone fosse stata solo lievemente diversa le stelle o sarebbero incapaci di bruciare idrogeno ed elio o non potrebbero esplodere». L'esplosione della prima generazione di stelle e la conseguente diffusione nel cosmo degli elementi pesanti (carbonio, ferro, ecc.) è chiaramente essenziale per la successiva nascita della vita.

Se si dimostra molto improbabile la coincidenza di una serie di numeri che non ostacolano l'evoluzione, si è portati a pensare che quella sequenza di numeri sia stata in qualche modo «preordinata» per il raggiungimento di uno scopo. Una raccolta di argomenti a favore delle tesi finalistiche-antropiche è contenuta nel libro di Barrow e Tipler [4] che riassume in tre punti le implicazioni possibili del PAF:

- A) Esiste un unico possibile Universo «disegnato» con lo scopo di generare e sostenere osservatori.
- B) Gli osservatori sono necessari per l'esistenza dell'Universo quanto l'Universo è necessario per l'esistenza degli osservatori (questa interpretazione data da Wheeler [5] è basata sulla meccanica quantistica ed è chiamata «Participatory Anthropic Principle» (PAP)).
- C) Un insieme di altri differenti universi è necessario per l'esistenza del nostro Universo (questa implicazione basata sull'interpretazione «Many Worlds» della meccanica quantistica prevede che le leggi e le costanti della natura

assumano valori diversi in ciascun universo. Alcuni universi sono calibrati nel modo giusto e noi esistiamo in uno di questi).

In effetti la tesi portata avanti da Barrow e Tipler non è del tutto neutrale. Press [6] avvisa esplicitamente i lettori del libro che gli autori vogliono convincerli di «un fatto stupefacente, c'è un grande disegno nell'Universo che favorisce lo sviluppo della vita intelligente».

A partire dal libro di Barrow e Tipler il dibattito scientifico e filosofico sul Principio Antropico è continuato con alcune posizioni fortemente critiche ed alcuni entusiastici sostenitori. Un'estesa bibliografia aggiornata fino al 1991 è stata redatta da Balashov [7]. Nettamente schierato a favore del Principio Copernicano e contro quello Antropico è Stephen Hawking che stigmatizza anche le tesi finalistiche. Egli scrive [8] che il PAF «si muove in senso contrario al corso dell'intera storia della scienza. [...] la Terra è un pianeta di dimensioni medie che orbita attorno ad una stella media nella periferia esterna di una comune galassia a spirale, la quale non è altro che una del miliardo circa di galassie esistenti nell'Universo osservabile. Eppure il Principio Antropico Forte sosterebbe che quest'intera vasta costruzione esisterebbe in funzione della nostra esistenza. Questa è un'affermazione molto difficile da accettare. Il nostro sistema solare è senza dubbio una condizione indispensabile per la nostra esistenza, e potremmo anche estendere questa nozione all'intera nostra galassia per tener conto della necessità di una generazione anteriore di stelle alle quali si deve la creazione degli elementi pesanti. Pare però che non ci sia alcun bisogno di tutte quelle altre galassie, né del fatto che l'Universo sia così

uniforme e simile in ogni direzione su grande scala.»

Paradossalmente, proprio in risposta a questa obiezione ad un'interpretazione teleologica del PAF può nascere una conciliazione fra Carter e Copernico, completamente diversa da quella tentata in passato da Gott III [9].

In questo articolo discutiamo la formula derivata da Carter [10] che connette il numero n di passi molto improbabili nell'evoluzione dell'Homo Sapiens (sviluppo della respirazione aerobica, formazione delle cellule nervose, evoluzione degli occhi, ecc.) con il tempo di esistenza di una biosfera e con il tempo di evoluzione richiesto per produrre una specie intelligente su un pianeta come la Terra.

Evidenzieremo come sia importante, a differenza di quanto sostenuto da Hawking, l'estensione dell'Universo e l'abbondanza di galassie in esso contenute, nella stima dell'evoluzione di una vita intelligente e del suo tempo medio di sopravvivenza. Dimostreremo come queste quantità dipendano non solo dai passi critici dell'evoluzione, ma anche dal numero disponibile di luoghi dove la vita può svilupparsi. Infine commenteremo brevemente le implicazioni teleologiche dei nostri risultati.

2. La formula di Carter rivisitata.

2.1. *La probabilità di evoluzione della specie umana sulla Terra è peggiore di quanto ci si aspetti.* — Partendo dal Principio Antropico, Carter ha connesso il numero n di passi «improbabili» nell'evoluzione dell'Homo Sapiens alla durata dell'esistenza di una biosfera t_0 e al tempo di evoluzione t_e necessario a produrre una specie intelligente su un pianeta tipo Terra.

La stima di Carter di quanto a lungo una biosfera continuerà ad esistere dopo che si sia evoluta una forma di vita intelligente è $t_0 - t_e = t_0/(n + 1)$.

Ma esaminiamo in dettaglio il modello di Carter che si fonda essenzialmente su tre passaggi:

A) Carter individua un insieme di passi critici ed estremamente improbabili nell'evoluzione e stima la probabilità che un singolo passo evolutivo «improbabile» accada ad un tempo t

$$(1) \quad P_i(t) = 1 - \exp\left[-\frac{t}{\alpha_i}\right] \approx \frac{t}{\alpha_i},$$

dove α_i è la scala temporale di accadimento dell' i -esimo passo «improbabile», con il vincolo $\alpha_i \gg t_0$, dove t_0 è la durata dell'esistenza della biosfera.

B) Inoltre ipotizza che gli n passi «improbabili» siano statisticamente indipendenti, così che la probabilità di completamento dell'evoluzione in un tempo t è

$$(2) \quad P(t) = \prod_{i=1}^n \frac{t}{\alpha_i}.$$

C) Da ciò la probabilità condizionata che la specie umana evolva al tempo t , dato che di fatto si è evoluta prima di t_0 , è

$$(3) \quad P'(t) = \left(\frac{t}{t_0}\right)^n.$$

Usando la (3), il valore di aspettazione $\bar{t} \approx t_e$ per l'istante di apparizione della vita intelligente è

$$(4) \quad \bar{t} \equiv \int_0^{t_0} t dp' = t_0 \frac{n}{n+1}.$$

Questo valore implica un vincolo forte sul tempo residuo di vita della biosfera

dal momento in cui l'evoluzione è completa

$$(5) \quad t_0 - \bar{t} = \frac{t_0}{n+1}.$$

Dal dato sperimentale che la nostra evoluzione è stata completata in un intervallo di tempo di circa $t_0/2$, Carter fu costretto a concludere che ci sono al massimo due passi critici anche se egli «era precedentemente incline a pensare che l'appropriato valore di n [...] dovesse probabilmente essere molto grande». In seguito Barrow e Tipler stimarono un valore di n molto più grande e usarono questo argomento per escludere l'esistenza di esseri extraterrestri considerando la Terra come un caso più unico che raro. Di fatto da questa stima si ricava che la maggior parte dei pianeti tipo Terra attorno a stelle di tipo G saranno distrutti molto prima o appena dopo il tempo necessario all'apparizione della vita intelligente.

Perché questo risultato non vale sulla Terra? È banalmente vero che gli esseri umani debbono essersi evoluti prima che la vita cessasse sulla Terra, ma valori *ragionevoli* di n producono *irragionevoli* valori di $t_0 - \bar{t}$, anche assumendo la stima «ottimistica» di Carter (1).

Può la derivazione di Carter essere un argomento non solo contro l'esistenza di intelligenze extraterrestri, ma anche contro la nostra stessa esistenza? O la Terra ha qualche proprietà speciale rispetto al resto dell'Universo?

(1) Noi non pensiamo che gli n passi improbabili nell'evoluzione dell'Homo Sapiens siano statisticamente indipendenti, ma piuttosto che gli eventi siano concatenati, di modo tale che un passo possa avvenire solo dopo il verificarsi di un evento precedente. La nostra opinione è sostenuta da diversi studi sull'evoluzione (vedi, ad esempio, [11]). In tal caso la valutazione di Carter sottostima il tempo di evoluzione.

2.2. *La probabilità di evoluzione della vita intelligente nell'Universo è migliore di quanto ci si aspetti.* — Proprio facendo leva sul Principio di Mediocrità secondo il quale «nessuna teoria può basarsi sull'ipotesi che noi ci troviamo in una situazione particolare (privilegiata) nel tempo e nello spazio» [12] dobbiamo pensare che la Terra non è un luogo speciale. Di conseguenza deve esistere un numero N di pianeti come la Terra. Questo numero è chiaramente legato all'abbondanza di stelle e galassie presenti nell'Universo. La stima di Carter può essere influenzata da N ?

È molto semplice, utilizzando una distribuzione binomiale, calcolare la probabilità che un numero K di civiltà possa svilupparsi su questi N pianeti, partendo dalle ipotesi del modello di Carter. Per semplicità consideriamo $\alpha_i \approx \alpha_j, \forall i, j$:

$$(6) \quad P(K \text{ civiltà}) = \binom{N}{K} \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{nK} \cdot \left[1 - \left(\frac{t}{\alpha}\right)^n\right]^{N-K}.$$

In questo caso la probabilità di sviluppo di almeno una civiltà in tutto l'Universo è

$$(7) \quad P(t) = 1 - \left[1 - \left(\frac{t}{\alpha}\right)^n\right]^N.$$

Questo prova che il numero n di passi molto improbabili può essere, ed infatti è, bilanciato dall'abbondanza (N) di tentativi. In fig. 1 si può vedere un grafico di $P(t)$ in funzione di N una volta fissati t, α e n .

Questo risultato vale anche quando sostituiamo l'espressione generale

$$(8) \quad P(t) = 1 - \left[1 - \prod_{i=1}^n \left(1 - \exp\left[\frac{-t}{\alpha_i}\right]\right)\right]^N$$

alla precedente.

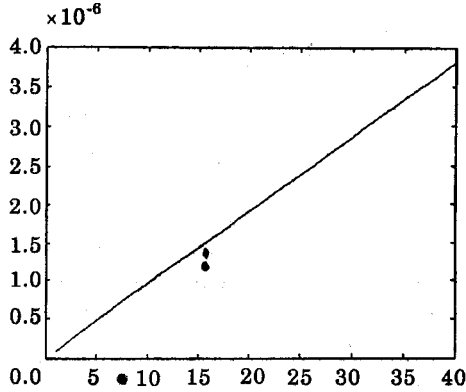


Fig. 1. - La probabilità di evoluzione $P(t)$ di una specie intelligente in funzione del numero N di pianeti come la Terra nell' Universo.

2.3. *Quanto tempo una biosfera rimane abitabile dopo l'evoluzione della vita intelligente?* — Ora modifichiamo il terzo passo di Carter (3), basato sul fatto che una specie intelligente sia nata sulla Terra prima di t_0 , condizionando la probabilità (7) all'evidenza che almeno una civiltà si è sviluppata in tutto l'Universo.

Applicando la formula di Bayes abbiamo

$$(9) \quad P'(t) = \frac{1 - [1 - (t/\alpha)^n]^N}{1 - [1 - (t_0/\alpha)^n]^N}$$

Poi calcoliamo il tempo aspettato di comparsa di almeno una civiltà nell'Universo osservabile, condizionato dal fatto che questo evento si è verificato su almeno un pianeta prima di t_0 . Ponendo

$$\gamma_N = \frac{1}{1 - [1 - (t_0/\alpha)^n]^N}$$

abbiamo

$$(10) \quad \bar{t} = \gamma_N \int_0^{t_0} \frac{d}{dt} \left[1 - \left(1 - \frac{t^n}{\alpha^n} \right)^N \right] t dt,$$

$$(11) \quad \bar{t} = \gamma_N Nn \int_0^{t_0} \frac{t^n}{\alpha^n} \left(1 - \frac{t^n}{\alpha^n} \right)^{N-1} dt.$$

Dalla formula di Newton

$$(12) \quad \left(1 - \frac{t^n}{\alpha^n} \right)^{N-1} = \sum_{k=0}^{N-1} \binom{N-1}{k} \cdot \left(\frac{t}{\alpha} \right)^{nk} (-1)^k$$

abbiamo

$$(13) \quad \bar{t} = \gamma_N Nn \int_0^{t_0} \sum_{k=0}^{N-1} \binom{N-1}{k} \cdot \left(\frac{t}{\alpha} \right)^n \left(\frac{t}{\alpha} \right)^{nk} (-1)^k dt,$$

$$(14) \quad \bar{t} = t_0 \gamma_N Nn \sum_{k=0}^{N-1} \binom{N-1}{k} \cdot \frac{(-1)^k}{n(k+1) + 1} \left(\frac{t_0}{\alpha} \right)^{n(k+1)}$$

e, quando $N = 1$, ritroviamo il risultato di Carter (4).

Così il tempo in cui una biosfera continuerà ad esistere nel futuro è

$$(15) \quad t_0 - \bar{t} = t_0 \left(1 - \gamma_N Nn \sum_{k=0}^{N-1} \binom{N-1}{k} \cdot \frac{(-1)^k}{n(k+1) + 1} \left(\frac{t_0}{\alpha} \right)^{n(k+1)} \right).$$

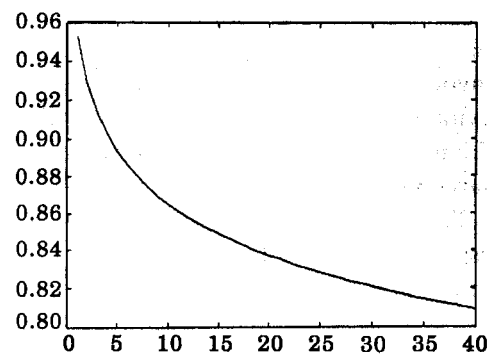


Fig. 2. - Il tempo atteso di comparsa della vita intelligente t in funzione del numero N di pianeti come la Terra nell' Universo (nel grafico i valori sono normalizzati da t_0).

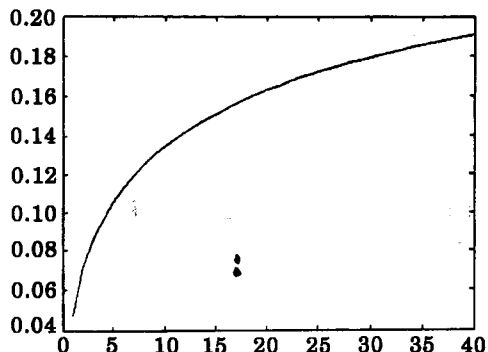


Fig. 3. - Il tempo medio di vita di una specie intelligente $t_0 - \bar{t}$ in funzione di N (nel grafico i valori sono normalizzati da t_0).

Possiamo vedere, in fig. 2, \bar{t} come funzione di N , e, in fig. 3, il corrispondente comportamento di $t_0 - \bar{t}$ in termini di N (nel grafico i valori sono normalizzati da t_0). È facile verificare che il tempo di vita aspettato di una civiltà cresce con il numero di pianeti tipo Terra nell'Universo ⁽²⁾.

3. Principio Antropico Universale.

Alla luce delle equazioni (7), (9), (15), possiamo rispondere all'obiezione di Hawking con la nostra dimostrazione che l'abbondanza della creazione è necessaria per l'evoluzione della vita. Addirittura si evidenzia che i vincoli sulle condizioni iniziali e sulle costanti universali invocati dal PAF non sono sufficienti ad evitare contraddizioni con l'esistenza dell'uomo. Essi sono una condizione necessaria ma non sufficiente per la nascita della vita. Il PAF deve quindi includere esplicitamente nella sua formulazione l'esistenza di un grande numero N di pia-

⁽²⁾ Per semplificare il calcolo, un'utile approssimazione di (14) è data da

$$\bar{t} \approx t_0 \frac{n}{n+1} \gamma_N N \left(\frac{t_0}{a}\right)^n \left[1 - \left(\frac{t_0}{a}\right)^n\right]^{N-1}$$

neti come la Terra, tale da bilanciare il numero di passi improbabili n necessari per l'evoluzione.

L'attuale versione del PAF si rivela dunque paradossalmente ancora troppo debole. Una formulazione più completa è «*L'Universo (e quindi i parametri fondamentali da cui esso dipende, e il numero di luoghi dove l'evoluzione può accadere) deve essere tale da ammettere la creazione di osservatori al suo interno in qualche stadio dell'evoluzione e assicurare loro un tempo di vita non banale*». Poiché essa si basa sull'ipotesi dell'esistenza di N pianeti come la Terra (quindi su una conseguenza estrema del Principio di Mediocrità) per i quali il principio è comunque valido, la chiameremo Principio Antropico Universale. Da questo punto di vista si può conciliare Copernico (e coloro che hanno estremizzato le sue tesi [13]) con le teorie antropiche.

4. Discussione.

Nei nostri risultati non c'è nessuna stringente evidenza di un «disegno» nell'Universo. Si può quindi pensare che la vita intelligente sia nata per caso, grazie all'enorme numero di galassie.

D'altra parte un'interpretazione finalistica non è affatto esclusa. Infatti vogliamo sottolineare che ci sono diversi tipi di finalismo.

In meccanica classica uno può colpire un bersaglio con una freccia usando opportune condizioni iniziali: la strategia finalista è la scelta della velocità e della posizione iniziale (*finalismo classico*).

In meccanica quantistica, se consideriamo una barriera di potenziale V e il nostro scopo è rivelare almeno una particella con energia $E < V$ dall'altra parte, dobbiamo usare un'altra strategia. Non possiamo calibrare a piacere le condizioni

iniziali, cosicché il comportamento vincente è quello di sparare molte particelle attraverso la barriera. Quando il gioco è governato da leggi probabilistiche, aumentare il numero di tentativi è la migliore strategia da seguire: questo è un esempio di *finalismo quantistico*.

Nel caso cosmologico le equazioni (7), (9), (15) suggeriscono che entrambe le strategie debbano essere utilizzate. Il «fine tuning» delle condizioni iniziali e delle costanti universali non basta a garantire il completamento dell'evoluzione o un tempo medio di vita sufficiente per lo sviluppo di una civiltà. Se la creazione ha uno scopo e questo è la nascita (ad un certo punto dell'evoluzione) dell' Homo Sapiens e la sua conservazione in vita per un adeguato lasso di tempo, allora l'estensione e l'abbondanza dell'Universo completano la giusta strategia finalistica.

* * *

Siamo grati a L. Cifarelli per l'attenzione dedicata al nostro articolo e alla piccola Ludovica, che ci dà un'ulteriore

prova dell'esistenza della vita in questo Universo.

Bibliografia.

- [1] WEINBERG S., *I primi tre minuti* (Mondadori, Milano) 1980, p. 59.
- [2] CARTER B., in *IAU Symposium, 63: Confrontation of Cosmological theories with observational data*, edited by M. Longair (Reidel, Dordrecht) 1974, p. 291.
- [3] HAWKING S. W., *Dal Big Bang ai Buchi Neri* (Rizzoli, Milano) 1988, p. 147.
- [4] BARROW J. D. and TIPLER F. J., *The Anthropic Cosmological Principle* (Clarendon, Oxford) 1986, p. 15-23.
- [5] WHEELER J. A., in *Foundational Problems in the Special Sciences*, edited by R. E. Butts e J. Hintikka (Reidel, Dordrecht) 1977, p. 3.
- [6] PRESS W. H., *Nature*, **320** (1986) 315-316.
- [7] BALASHOV Y. V., *Am. J. Phys.*, **59** (1991) 1069.
- [8] HAWKING S. W., *Dal Big Bang ai Buchi Neri* (Rizzoli, Milano) 1988, p. 148, 149.
- [9] GOTT III, *Nature*, **363** (1993) 315.
- [10] CARTER B., *Philos. Trans. R. Soc. A*, **310** (1983) 347.
- [11] ASIMOV I., *A Short History of Biology* (The Natural History Press, New York, N.Y.) 1964; IWASA Y. and LEVIN S. A., *J. Theor. Biol.*, **172** (1995) 32.
- [12] A sostegno della tesi contraria cfr., per esempio, FRACASTORO M. G., in *Astronomia senza frontiere*, N. 5 (Fabbri Editori, Milano) 1991, p. 20.
- [13] Cfr., per esempio, BONDI H., *Cosmology* (Cambridge University Press, Cambridge) 1961; SAGAN and NEWMAN W. I., *Q. J. R. Astron. Soc.*, **24** (1983) 113.