

# I Sei Numeri dell'Universo

Stefano Spagocci

GACB



# Copernico Aveva Ragione?

- La rivoluzione copernicana ha detronizzato l'uomo dal posto di “re dell'Universo”. Sappiamo oggi che la Terra è un pianeta medio, attorno a una stella media, alla periferia di una galassia media, in un universo sconfinato.
- A parte le frange più estreme del creazionismo, nessuno più mette in dubbio le conquiste della rivoluzione copernicana. La domanda, quindi, è intenzionalmente provocatoria.



# Copernico Aveva Ragione?

- Copernico aveva assolutamente ragione ma, come vedremo, l'uomo (o meglio la vita o, meglio ancora, la complessità) non è così periferico, nell'Universo, come potrebbe sembrare.
- Ciò, beninteso, in una prospettiva strettamente scientifica e indipendentemente dalla fede (o assenza di fede) di ciascuno.



# Un Uomo a Metà Strada

- Passando ad esempi concreti, possiamo citare il fatto che il corpo umano contiene circa  $10^{28}$  atomi. D'altra parte, la massa del Sole equivale a quella di circa  $10^{28}$  corpi umani.
- D'altro canto, se moltiplichiamo per un miliardo la tipica altezza di un essere umano, otteniamo l'ordine di grandezza del diametro solare. Se la dividiamo per un miliardo, otteniamo la tipica taglia delle molecole biologiche.



# Un Uomo a Metà Strada

- Riguardo alla vastità dell'Universo, possiamo notare che, su scala cosmica, il genere umano è “appena nato” (4 milioni di anni rispetto a 13.8 miliardi di anni).
- D'altra parte, le dimensioni dell'Universo osservabile sono circa pari a un numero di anni luce uguale all'età dell'Universo.



# Un Uomo a Metà Strada

- Dunque se l'Universo non avesse circa dieci miliardi di anni, la vita, e quindi l'uomo, non si sarebbe potuta sviluppare.
- Ma 10 miliardi di anni di vita equivalgono a circa 10 miliardi di anni luce di raggio dell'Universo.
- Dunque le sconfinite dimensioni dell'Universo non sono ostili alla vita, anzi la rendono possibile. Chiariremo comunque il senso di tale affermazione.



# Il Principio Antropico

- Sappiamo oggi che se molte costanti fisiche fossero di poco diverse da quelle attuali (a maggior ragione se fossero diverse le leggi fisiche), la vita (almeno come la concepiamo noi) non sarebbe possibile (principio antropico).
- Qui ci concentreremo su sei numeri che illustrano concretamente la valenza di tale principio (che più che principio è una constatazione).



# Il Numero N

- Il numero N è il rapporto tra l'intensità della forza elettromagnetica e quella della forza gravitazionale (misurato considerando, ad esempio, due protoni a una certa distanza e paragonando le rispettive forze).
- N vale  $10^{36}$ : la forza gravitazionale è la più debole di tutte le forze ed è enormemente più debole di quella elettromagnetica.
- La gravità domina nell'Universo solo perchè le altre forze sono a cortissimo raggio o, nel caso elettromagnetico, sono nulle per cariche nulle (e la carica dei corpi macroscopici è nulla).





# Il Numero N

- Una gravità più debole non darebbe alcun problema. Se invece N avesse 6 zeri in meno su 36 (20% di variazione), cioè valesse “solo”  $10^{30}$ , non si potrebbero sviluppare strutture viventi (non solo l'uomo).
- Infatti, in tali condizioni, una stella evolverebbe in un milionesimo del tempo in cui evolve nel nostro Universo. Il Sole, quindi, morirebbe in diecimila anni, non dando tempo alla vita di svilupparsi.
- Se anche (per assurdo) si sviluppasse vita, le dimensioni permesse (per evitare lo schiacciamento) sarebbero un millesimo di quelle attuali. Non si potrebbero evolvere esseri più grandi di un insetto.



# Il Numero $\epsilon$

- Il numero  $\epsilon$  è la frazione della massa di un insieme di protoni e neutroni che, in conseguenza di reazioni di fusione nucleare, si trasforma in energia.
- Il numero  $\epsilon$  vale 0.007 (nelle reazioni che coinvolgono la forza forte lo 0.7% della massa si trasforma in energia, da confrontarsi col milionesimo nelle reazioni chimiche o col 100% nelle reazioni materia/antimateria).
- Tale numero quantifica l'importanza della forza forte (la forza che tiene assieme i protoni e neutroni nel nucleo atomico e i quark negli adroni, le particelle elementari composte da quark).



# Il Numero $\epsilon$

- Se  $\epsilon$  valesse 0.006 o meno, la forza forte sarebbe “meno forte” del 20% circa. Eppure non sarebbe possibile alcuna struttura più complessa di nane brune, sfere di idrogeno che si “spegnerebbero” rapidamente (dunque nemmeno la vita e l'uomo).
- Infatti una stella si può “accendere” solo se, preliminarmente, un protone può legarsi ad un neutrone a dare deuterio (due atomi di deuterio danno poi un atomo di elio e così via) ma la forza forte non lo sarebbe a sufficienza per permetterne la formazione.



# Il Numero $\epsilon$

- Se  $\epsilon$  valesse 0.008 o più, la forza forte sarebbe “più forte” del 20% circa. Eppure non sarebbe possibile alcuna vita, per l'assenza di acqua.
- Infatti la forza forte sarebbe così “forte” da far sì che tutti i protoni si leghino a coppie.
- Se anche stelle basate su elio ed elementi più pesanti dessero tempo alla vita di svilupparsi, non sarebbe possibile la formazione d'acqua, essenziale per l'emergere della vita (anche nelle forme più elementari).



# Il Numero $\Omega$

- Il numero  $\Omega$  rappresenta il rapporto tra la densità media (materia/energia) dell'Universo e la cosiddetta densità critica (circa 6 atomi di idrogeno per metro cubo).
- In un Universo senza energia oscura,  $\Omega > 1$  (densità maggiore della critica) implica un universo destinato a ricollassare e con geometria sferica,  $\Omega < 1$  (densità minore della critica) implica un universo destinato ad espandersi per sempre e con geometria iperbolica (a sella).
- Dalla dimensione media delle “macchie” di temperatura nel fondo cosmico a microonde (vd. sotto) si è dedotto  $\Omega = 1$ . L'Universo ha quindi geometria piatta (euclidea).



# Il Numero $\Omega$

- Il numero  $\Omega$  è il parametro più critico per l'esistenza di qualsivoglia struttura complessa (quindi anche della vita e dell'uomo).
- Se infatti, un secondo dopo il Big Bang,  $\Omega$  avesse avuto un valore differente da 1 (in meno o in più) alla diciottesima cifra dopo la virgola (!), l'Universo si sarebbe diluito (o sarebbe ricollassato nel Big Crunch) in un tempo praticamente nullo (su scala cosmica).
- La teoria dell'inflazione, che postula una rapidissima espansione dell'Universo  $10^{-36}$  secondi dopo il Big Bang, porta automaticamente ad  $\Omega=1$  (uguale a uno entro la precisione di cui sopra) alla fine dell'inflazione.



# Il Numero $\lambda$

- Sappiamo che l'Universo non solo è destinato ad espandersi per sempre ma che lo farà accelerando l'espansione.
- Tale processo è descritto dalla cosiddetta costante cosmologica  $\lambda$ , una sorta di antigravità che fu a suo tempo introdotta da Einstein per giustificare la sua preferenza filosofica per un universo statico. L'antigravità avrebbe infatti compensato l'attrazione gravitazionale, destinata a far collassare un universo che fosse anche partito in condizioni di assenza di espansione della nube primordiale.
- Dopo le scoperte di Hubble, Einstein ritirò la sua proposta teorica ma oggi sappiamo che la costante cosmologica esiste ed ha una fondamentale importanza.



# Il Numero $\lambda$

- Sappiamo che ogni particella elementare ha un campo associato ed ogni campo, anche in assenza di particelle, ha una sua energia che agisce come una costante cosmologica.
- La costante cosmologica quantifica l'effetto dell'energia antigravitazionale, quindi l'energia oscura.
- Il valore di  $\lambda$  si esprime convenientemente mediante quello di  $\Omega_\lambda$ , la parte della densità di materia/energia dell'Universo (in rapporto a quella critica) che compete alla costante cosmologica/energia oscura. In questo senso,  $\lambda$  vale circa 0.7.





# Il Numero $\lambda$

- Secondo la fisica delle particelle elementari, il valore più probabile di  $\lambda$  dovrebbe essere  $10^{120}$  volte (!) più grande di quanto si osserva (accenneremo poi ad una possibile spiegazione).
- Un valore di  $\lambda$  inferiore a 0.7 non darebbe alcun problema. Se invece  $\lambda$  fosse “solo”  $10^{116}$  volte più piccolo del valore predetto dalla fisica delle particelle (una variazione del 20% circa, in termini del numero di zeri), l'Universo avrebbe cominciato ad accelerare prima della formazione delle strutture complesse e dunque la vita (e l'uomo) non si sarebbe potuta sviluppare.



# Il Numero Q

- Il numero Q rappresenta il rapporto tra l'energia di legame gravitazionale e l'energia di massa di una galassia/ammasso di galassie/superammasso di galassie.
- Il valore di Q è di circa  $10^{-5}$  (un centomillesimo) e si dimostra che tale parametro rappresenta anche l'entità delle variazioni di temperatura (rispetto alla media) del fondo cosmico a microonde (la radiazione di fondo residuo di un'epoca corrispondente a circa 380000 anni dopo il Big Bang, quando la radiazione si disaccoppiò dalla materia) e l'entità delle corrispondenti fluttuazioni di densità del gas primordiale.



# Il Numero Q

- Se Q avesse avuto un valore di  $10^{-6}$  o meno (una variazione del 20% circa, in termini del numero di zeri), le fluttuazioni quantistiche non sarebbero state tali da creare sufficienti concentrazioni di materia. Non sarebbero dunque state possibili strutture complesse (nè dunque la vita e la comparsa dell'uomo).
- Se Q avesse avuto un valore di  $10^{-4}$  o più (una variazione del 20% circa, in termini del numero di zeri), le fluttuazioni quantistiche sarebbero state tali da creare una concentrazione troppo elevata di materia. L'Universo sarebbe stato composto da soli buchi neri di massa pari a quella di un ammasso di galassie (!) e dunque sterile.



# Il Numero D

- Il parametro D rappresenta il numero di dimensioni (spaziali e macroscopiche) dell'Universo e, ovviamente, vale 3.
- Se D valesse 2 (peggio ancora se valesse 1), sarebbe ben difficile pensare all'evoluzione di forme di vita superiore. Ad esempio, un animale che avesse un apparato digerente sarebbe diviso in due metà, salvo l'evoluzione di una cerniera biologica da aprirsi solo per ingerire o espellere (!).
- Se D valesse 4 o più, non esisterebbero orbite stabili per i pianeti (che, alla minima perturbazione, cadrebbero sul Sole o fuggirebbero dal Sistema Solare) e non ci sarebbero le condizioni per lo sviluppo della vita (men che meno del genere umano).



# Una Spiegazione Antropica

- Secondo la teoria delle stringhe, l'Universo ha in realtà nove dimensioni spaziali (e una temporale) ma sei sono “compattificate”.
- Se si potesse ingrandire un punto ad un livello appropriato, ci si accorgerebbe che tale punto è in realtà un minuscolo solido sei-dimensionale (varietà di Calabi-Yau), ammesso che la teoria delle stringhe descriva effettivamente l'Universo.
- Si è calcolato che ci sono circa  $10^{500}$  (!) possibili configurazioni per tali varietà sei-dimensionali. Ogni configurazione potrebbe dare origine ad un universo con diversi valori per i sei numeri citati (e per le altre costanti di natura) e/o a diverse leggi fisiche!



# Una Spiegazione Antropica

- Secondo molte versioni della teoria dell'inflazione, l'inflazione stessa dura all'infinito e, in particolare, ogni universo genererà per inflazione un universo figlio e così via a cascata (Multiverso).
- In analogia all'evoluzione darwiniana, la maggior parte degli universi non sarà adatta alla vita (a maggior ragione quella intelligente) e, in genere, si diluiranno nel nulla o si ricontrarranno in tempi dell'ordine del tempo di Planck ( $10^{-44}$  s!)
- In alcuni universi la vita sarà possibile e saranno quelli in cui esseri come noi si chiedono il perchè!



# Conclusioni

- Il principio antropico (come la teoria delle stringhe o l'inflazione) non sembra avere prospettive di una prova sperimentale diretta.
- Se però l'inflazione e/o la teoria delle stringhe dovessero trovare conferma (almeno indiretta), tale principio dovrebbe essere accettato quale logica conseguenza delle prime due teorie, applicate al Multiverso.



# Conclusioni

- Il principio antropico (non la sua spiegazione) è più una constatazione che un principio.
- Che la spiegazione di tale principio sia probabilistica (il tipo di varietà di Calabi-Yau, quindi di leggi fisiche e/o costanti, essendo determinato casualmente, secondo la meccanica quantistica) deriva da semplici considerazioni.
- Ad esempio, il valore di  $\lambda$  è 0.7, vicino a zero ma non troppo. Se qualcuno o qualcosa avesse deciso che  $\lambda$  debba essere piccola (per permettere la formazione di strutture complesse),  $\lambda$  sarebbe stato presumibilmente “scelto” esattamente pari a zero.





# Conclusioni

- Non si deve comunque fraintendere il principio antropico, pensando che esso implichi che le costanti fisiche siano state “scelte” o determinate al fine di far emergere l'uomo come “re dell'Universo”.
- Il principio antropico non afferma nulla di tutto questo. Sostiene “solo” che esiste un profondo legame tra leggi e costanti fisiche ed emergenza della complessità (anche non vivente) e, come conseguenza, della vita e dell'uomo (ed eventuali esseri extraterrestri).

