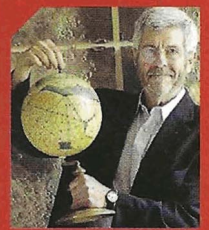


# MULTIVERSI, cammelli e fiocchi di neve



**Giovanni F. Bignami**  
Presidente INAF  
Presidente COSPAR

**C**ento anni fa, il nostro Universo era la nostra Galassia. “Tutto” sembrava fermarsi alle moltissime stelle, vicine e lontane, della nostra Via Lattea, vagamente disposte in un disco grassoccio nel mezzo, con il Sole più o meno vicino al centro. Una forma un po’ strana per un Universo, ma perché no, in fondo.

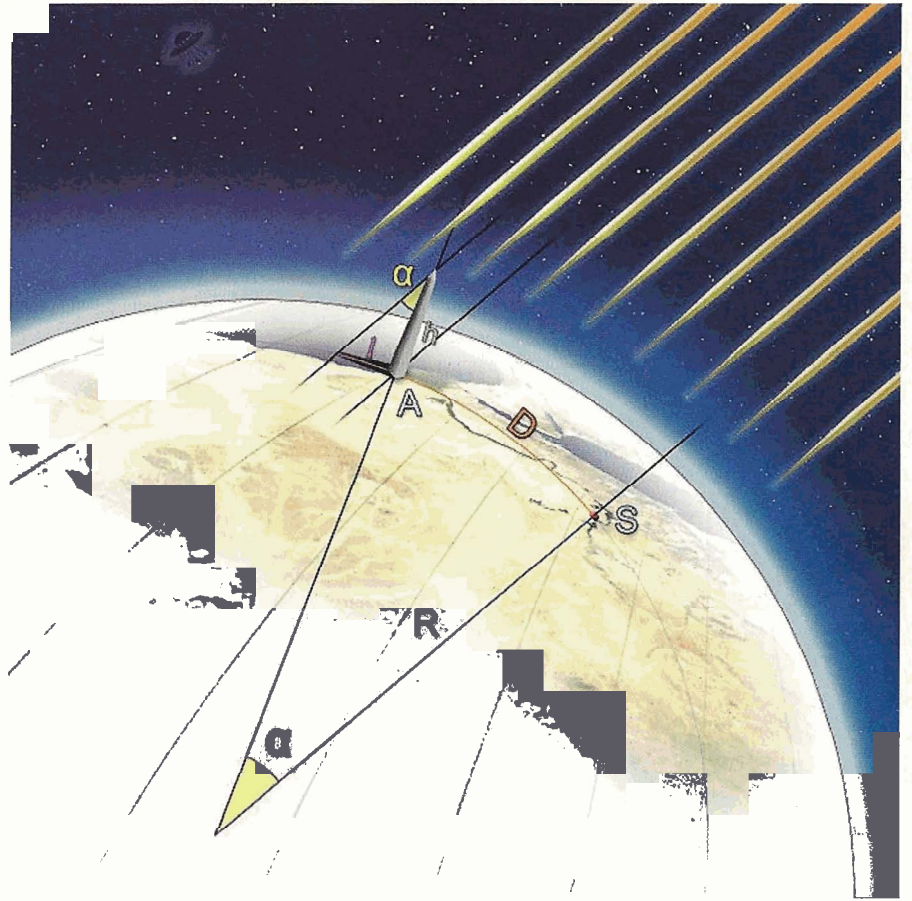
Pochi anni dopo, ma dopo una nuova generazione di telescopi e fisici teorici, di galassie se ne trovarono molte altre. Si capì, per esempio, che certe “nebulose”, osservate con forme strane e affascinanti, non potevano che essere altri insiemi di milioni, anzi miliardi di stelle, necessariamente fuori dalla nostra Galassia, fuori dal nostro “Universo”.

Nacquero così gli “Universi-isola”: ciascuna Galassia era un’isola, una specie di piccolo Universo a sé stante. L’immagine non era gran che, ma cercava di sottolineare l’allargamento degli orizzonti, anche mentali, della razza umana al migliorare dell’astronomia. Per il caso dell’uomo, di fatto, l’aveva già superata John Donne nel 1624 con lo splendido sermone che comincia:

*No man is an island,  
Entire of itself,  
Every man is a piece of the continent,  
A part of the main...*

Gli Universi-isola, dal canto loro, avevano comunque il pregio di mettere in crisi, con un evidente, intrinseco ossimoro, il significato stesso della parola “Universo”: non più “uno”, ma tanti, tantissimi, chissà quanti.

Ancora pochi anni, con un’altra generazione di telescopi, e ci ri-sembrò di aver capito tutto. Un unico, grande Universo (uno davvero, stavolta) conteneva tutte le galassie, grandi e piccine, più o meno visibili, raggruppate in gerarchie simili a quelle delle legioni romane, e come tali perfet-



Disegno illustrante il ragionamento seguito da Eratostene di Cirene per la stima della circonferenza della Terra.

tamente numerabili e “pesabili”, compresa la materia diffusa tra di esse (come la moltitudine di donne, bambini e bestie che gravitava intorno alle legioni compatte...). Cento miliardi di galassie (una più una meno, tante quante sono le stelle nella nostra Galassia o i neuroni nel nostro cervello, e chissà se è un caso...),  $10^{80}$  protoni ed elettroni, tutti fatti di materia, più fotoni quanto basta ed ecco fatto un Universo completo, “entire of itself” avrebbe detto John Donne, il prete-poeta. Questo unico Universo era nato nel “gran botto” del Big Bang, che 13 miliardi di anni fa ci fece il

regalo di spazio, tempo, energia e materia, all’apparenza costruiti apposta per noi. Siamo arrivati alla fine del ‘900. Breve intervallo di felicità, non dissimile a quello che dovette provare Eratostene quando arrivò a calcolare la circonferenza della Terra. All’epoca, intorno al 250 a.C., mise insieme l’osservazione della luce del Sole sul fondo di un pozzo con quella dell’ombra di un obelisco in due città diverse, il tempo di transito delle carovane di cammelli tra le due stesse città con la velocità media del cammello, più un’ipotesi astratta sulla lontananza del Sole.

Un mix di ipotesi e di osservazioni diversissime, più un bel po' di sale in zucca, per arrivare, incredibilmente, a un errore di solo l'uno per cento (1%!!) sulla lunghezza della circonferenza terrestre. La Terra è rotonda, disse Eratostene, e ha una circonferenza di poco più di 250.000 volte lo stadio dei corridori olimpici. Prima di lui, nessuno sapeva le dimensioni della parte più elementare, ma anche per noi la più importante e la più intima, del nostro Universo. Il primo passo nella comprensione del mondo in cui viviamo, o almeno della sua scala delle distanze, era fatto.

Altri momenti felicità nel dialogo tra l'uomo e il "suo" Universo dovevano venire dopo Eratostene, nei due millenni e più che ci separano da lui e dai suoi cammelli a velocità costante. La misura e la composizione dell'Universo si allarga dalla Terra al Sole e al Sistema solare, poi alle "stelle fisse" intorno a noi, per poi scoprire presto che fisse non sono, ma si muovono di moto misurabile.

Arriviamo a 20 anni fa o giù di lì, e di colpo l'Universo, e il suo contenuto, si rivelano molto diversi da come pensavamo di conoscerli fino a poco prima. Scopriamo che l'Universo si espande in modo non uniforme: ogni tanto cambia marcia, con improvvise accelerazioni. Tutt'altro da ciò che ci aveva insegnato quell'atto di fede che è la teoria del Big Bang.

Logico chiederci, senza risposta finora, da dove venga l'immensa quantità di energia (e perciò massa:  $E=mc^2$ ) necessaria per far accelerare l'espansione di un Universo. Alla fine scopriamo che tutto ciò che vediamo e conosciamo come fatto di materia, dai discendenti dei cammelli di Eratostene a noi stessi e a tutte le galassie in cielo, proprio tutto, è solo un pizzico di sale nella minestra: la materia della quale siamo fatti è solo il 4% dell'Universo. Il resto, cioè la grande maggioranza, resta da scoprire. Duro colpo al nostro innato antropocentrismo, colpo simile a quelli dati da Copernico o da Darwin, e come quelli, non subito ben capito e assorbito né dai cammellieri né dai filosofi contemporanei, del 1500, del 1800 ovvero odierni.

L'attuale infelicità degli astronomi, davanti a un Universo tutto cambiato, e diventato sostanzialmente sconosciuto e incom-

preso negli ultimi vent'anni, è complicata da quella trappola filosofica che chiamiamo "principio antropico".

Ci sono vari modi di presentare il principio antropico. Ma quello forse più semplice è di notare che le leggi della fisica che conosciamo, con le costanti ad esse associate e che sappiamo misurare, sembrano generare un Universo a misura d'uomo.

Se, per esempio, la costante gravitazionale (cioè quella che definisce come cade un sasso attratto dalla Terra o come la Luna gira intorno alla Terra, o la Terra intorno al Sole, ecc.) fosse diversa anche di pochissimo, o variasse il suo rapporto con le costanti elettriche o nucleari, noi non esisteremmo.

In un Universo dove la gravità fosse diversa, per esempio, il Sole potrebbe non essersi mai formato, cioè non essersi mai acceso come stella, oppure si sarebbe formato e la sua vita sarebbe stata assai più breve dei suoi attuali cinque miliardi di anni. Ma noi adesso sappiamo che i cinque miliardi di anni di vita tranquilla della nostra stella ci sono voluti tutti per fare un pianeta abitabile, e, per esempio, tenere sulla sua superficie acqua liquida e atmosfera abbastanza a lungo da generare, alla fine, *homo sapiens*.

Il quale, ricordiamolo, è arrivato dopo un processo evolutivo che ha visto per i primi due-tre miliardi di anni solo organismi monocellulari, fino a quando, circa 800 milioni di anni fa, comparve la prima ameba, poi via complicando ed evolvendo fino a qualche milione di anni fa con il primo (o la prima) ominide e alla fine, giusto 143.000 anni fa, la venera africana dalla quale discendiamo tutti noi *sapiens*. Insomma, i cinque miliardi di anni ci sono voluti tutti.

Tra i discendenti della venera africana ci fu Albert Einstein, che espresse il principio antropico in un modo molto poetico: "La cosa più incomprensibile dell'Universo è che sia comprensibile all'uomo". O il suo contemporaneo genio della matematica, Eugene Wigner, che vide il principio antropico non solo nell'astrofisica ma anche nella matematica. Lo scrisse in un suo famoso lavoro con un titolo provocatorio quanto stimolante: "L'irragionevole efficienza della matematica". Wigner pensava che la matematica, con la sua eleganza e i

suo successi nel prevedere il mondo, fosse una specie di "meraviglioso regalo che noi non capiamo né ci meritiamo".

La prima risposta ad Einstein e Wigner non può che essere un po' tautologica: astronomi e matematici (ma anche chimici e biologi, per tacer dei cammellieri) possono esistere solo in quegli universi che siano a loro comprensibili e nei quali le leggi della matematica siano efficienti.

Non è gran che come risposta, a meno di non invocare interventi di un *deus ex machina* che, dal di fuori, fa tutto e fa tutto giusto solo per arrivare a far nascere *sapiens* su questo sperduto pianeta. Poetico, ma più irragionevole della matematica. Ci viene il sospetto che finora, neanche con Einstein o Wigner, noi non si sia riusciti a capire il mondo a scala veramente grande. Potremmo essere ancora come quando, un secolo fa, pensavamo che l'Universo fosse la nostra Galassia.

Prendo a prestito dall'astronomo reale Martin Rees, Baron Rees of Ludlow, una bella immagine: potremmo essere come un singolo animaletto del plankton, il cui universo è ristretto per tutta la vita a un litro di acqua di mare ed è (presumibilmente) ignaro della vastità degli Oceani là fuori, con tutta la loro biosfera (e le loro pericolosissime balene...).

Il bandolo per uscire da un *cul-de-sac* tanto astronomico quanto religioso-filosofico-matematico, e per superare ancora una volta l'infelicità di un Universo tornato oggi inspiegabile, ce lo offre la fisica teorica, con la moderna teoria delle stringhe. (L'espressione in sé, ricordiamolo, è un clamoroso ed improprio anglicismo: "stringhe", in italiano, sono solo quelle delle scarpe, mentre l'originale "*strings*" si traduce con "cordetta" o "spago". Sarebbe stato meglio chiamarla la teoria degli spaghetti...).

I teorici delle stringhe, presumibilmente più intelligenti degli animaletti del plankton, pensano di vedere al di là di un litro e ci fanno riflettere sulla possibilità che esista una immensa varietà di "stati del vuoto" che, anzi, sono richiesti per rendere la teoria stessa autoconsistente. Se fosse vero, sarebbe allora immediato immaginare una immensa varietà di Universi, ciascuno naturalmente con la sua fisica più o meno diversa dagli altri.

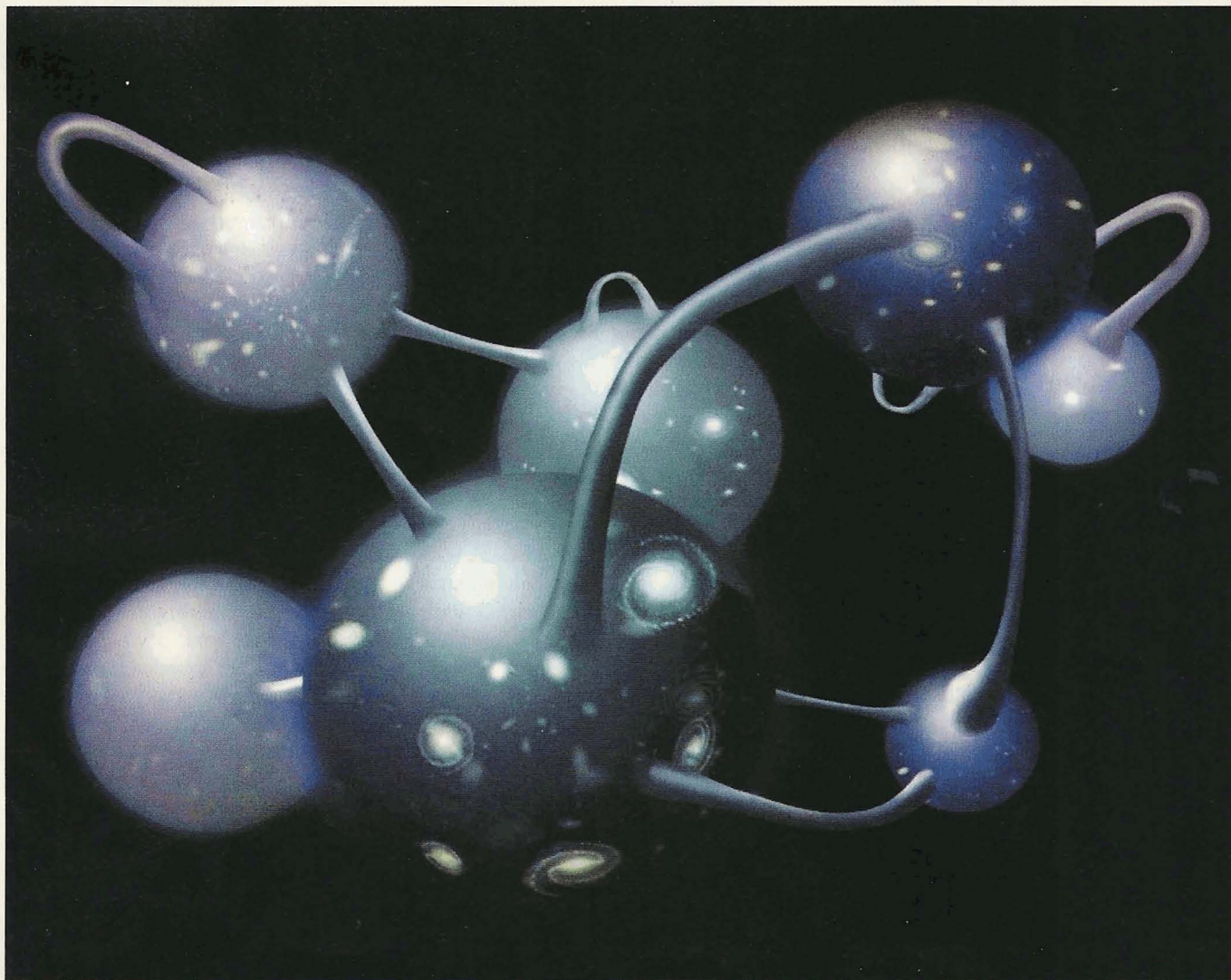
C'è chi ha contato questi possibili Universi singoli (come il nostro) che andrebbero a fare un unico (o no?) grande Multiverso. Sono  $10^{500}$ , un numero che sembra difficile da capire, ma in realtà non più di quanto, per noi, siano incomprensibili i  $10^{11}$  neuroni nel cervello o le  $10^{23}$  molecole in un dito d'acqua nel fondo di un bicchiere o, ancora, i  $10^{80}$  protoni del nostro Universo "accessibile" (che adesso ci sembra già piccolo...) e via contando.

In ciascuno di questi Universi (ancora l'osimoro del nome al plurale...), almeno alcune di quelle che noi chiamiamo le "leggi della Natura", e che oggi ci sembrano universali, appunto come la gravità, potrebbero invece essere solo delle leggi locali, e cambiare da uno all'altro.

Sarebbe la soluzione di tutto. In un colpo solo avremmo sistemato il principio antropico (noi viviamo qui perché è l'unico Universo nel quale possiamo esistere, in tutti gli altri non saremmo mai comparsi) e, *en passant*, dato un altro grosso colpo, forse definitivo, al nostro innato e persistente antropocentrismo. Ma non è tutto. Grazie sempre alla teoria delle stringhe, saremmo portati a dire che le leggi "locali" siano in realtà variazioni su di un tema più generale, che sta sopra (o sotto) a tutto. Proponiamo quindi che esistano poche leggi semplici e veramente fondamentali, comuni a tutto e a tutti, che però ammettano senza difficoltà variazioni locali, tipo quelle simpatiche leggi grazie alle quali noi vediamo un fiore o ascoltiamo una sinfonia.

E qui entra la bellissima immagine di Paul Davies sui fiocchi di neve. Senza dubbio una delle meraviglie della Natura, e delle sue capacità in fisica e in matematica, i fiocchi di neve sono tutti così diversi e pur tutti così uguali. Nel senso che hanno tutti (e non potrebbero non avere) la perfetta simmetria esagonale che è la diretta conseguenza delle proprietà fisiche e chimiche della molecola dell'acqua. Ma poi ciascun fiocco ha una immensa, apparentemente infinita, varietà di forme dettagliate, che sono il risultato delle particolari condizioni microclimatiche nelle quali "l'individuo" si è formato. Gli ziloni di Universi come fiocchi di neve.

Con questo esempio è facile capire che le leggi che oggi, qui, ci sembrano "fonda-



Immagine, ovviamente di fantasia, degli Universi secondo la teoria del multiverso.

mentali” in realtà potrebbero non esserlo affatto. Nel senso che potrebbero non avere un valore più generale, per esempio, di quello che noi attribuiamo ai particolari valori numerici dell’orbita della Terra intorno al Sole. Cioè qualcosa che ha un suo valore come caso particolare (la forma di un individuale fiocco di neve) ma non ha valore generale (ogni orbita planetaria è diversa, anche se tutte obbediscono alla legge di Keplero).

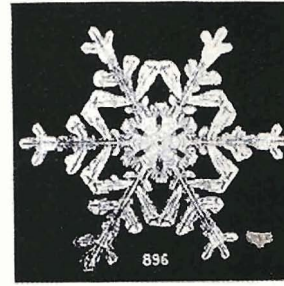
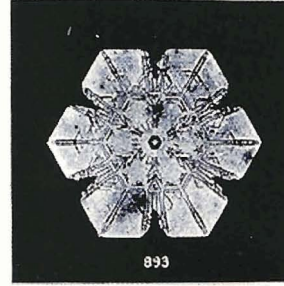
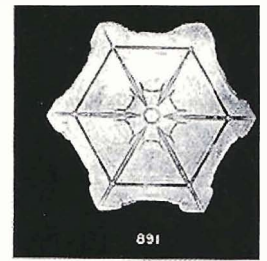
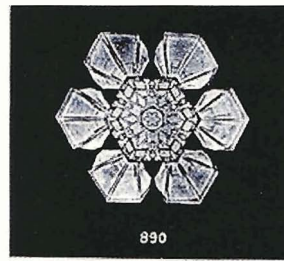
Proviamo, per concludere, ad immaginare un esempio di legge “veramente fondamentale”: cerchiamo l’equivalente della fisica che genera il comune cuore esagonale di tutti i fiocchi di neve. Proviamo a farlo andando nell’infinitamente piccolo, cercando la struttura più profonda della materia, legata alle particelle cosiddette elementari.

Già ci sembrava, finora, di essere stati molto bravi. Siamo arrivati a descrivere tutto il mondo osservabile col *modello standard*, fatto di dodici particelle, sei leptoni e sei bosoni, con un totale di quattro possibili valori (positivi e negativi) per la carica elettrica associata: 0,  $+1/3$ ,  $+2/3$ , 1 (con ogni valore ripetuto esattamente tre volte), anche se, però, con valori di massa apparentemente casuali, senza logica, spalmati su dieci ordini di grandezza.

Sembra comunque un miracolo di semplicità ed eleganza, e forse lo è, questo risultato della fisica moderna. Su di esso ci basiamo, con successo, per descrivere tutto ciò che noi umani possiamo “vedere”, nel senso lato del termine. Un bel progresso della scienza del sempre più piccolo, da Democrito in avanti, cioè dagli atomi ai nuclei, ai protoni, ai *quark*.

Proviamo un altro passo avanti, almeno concettuale, puramente estetico, senza alcuna pretesa di descrivere “la” realtà, né “una” specifica realtà, neanche, tantomeno, quella del nostro particolare Universo. Immaginiamo qualcosa di ancora più piccolo, un mattoncino ancora più fondamentale.

Anche perché non è possibile dimostrare che una qualunque particella non sia in realtà formata da altre. E poi, diciamoce, il nostro pur bellissimo modello standard non risponde a un sacco di domande, tipo: perché i *quarks* hanno tutti una carica che è una frazione esatta di quella



Diverse forme dei cristalli di neve. Tutti esagonali ma tutti diversi fra loro.

dell’elettrone? Perché i leptoni hanno sempre cariche intere e i *quarks* invece frazionarie? E così via...

E allora proviamo a immaginare che la Natura (o il Multiverso) sia fatta da solo tre mattoni fondamentali (per ora giustamente innominati) due con la carica pari a  $\pm 1/3$  di quella dell’elettrone e uno del tutto senza carica. Combinando insieme in tutti i modi possibili i tre nuovi “così” si potrebbe ricostruire la tabella dei dodici oggetti (quark + leptoni) del modello standard. Provare per credere.

Resterebbero da spiegare i valori strampalati delle masse (e molto altro, temo),

ma, arditamente, potremmo dire che si tratta di peculiarità di secondo livello, dei particolari valori che le combinazioni di cose veramente fondamentali, *multiversali*, sono libere di assumere in ogni particolare Universo. Appunto come le forme particolari, bellissime, intorno all’esagono centrale dei fiocchi di neve.

Bisogna pensare in grande, il cielo sembra suggerire. Il bello è che, di solito, ciò significa pensare il più semplice possibile. Forse ne abbiamo bisogno, per raggiungere un altro pianerottolo di felicità, assolutamente temporanea temiamo, nella nostra descrizione del mondo. ■