



Università degli Studi di Padova

Facoltà di Scienze MM.FF.NN.

Dipartimento di Astronomia

Tesi di Laurea

LNH e Principio Antropico

Relatore : Ch.mo Prof. Giovanni Carraro

Laureando: Mario Abbadessa

ANNO ACCADEMICO 2017-18

***A mio padre e mia madre
per la fiducia che hanno sempre
riposto in me***

Indice

1	Introduzione	3
2	L'era prescientifica	11
2.1	Prologo	12
2.1.1	Ai primordi	16
2.2	La cosmologia nelle civiltà orientali	31
2.3	La cosmologia nelle civiltà precolombiane	37
2.4	La cosmologia nelle civiltà arabe	44
2.5	Il pensiero greco	50
2.6	Conclusioni	58
2.7	Ulteriori letture	59
3	La Rivoluzione Copernicana	67
3.1	L'epoca dei cambiamenti	68
3.2	Copernicanesimo come nuova scienza	76
3.2.1	Il determinismo meccanicista	81
3.3	L'uomo perde il suo trono	85
3.4	Ulteriori letture	88
4	La riscoperta del Principio Antropico	91
4.1	Il criticismo Kantiano	92
4.2	Prime intuizioni del Principio Antropico	98
4.3	Ulteriori letture	100
5	Il Principio Antropico Cosmologico	105
5.1	La cosmologia moderna	106
5.2	I modelli di Friedmann	116

5.3	L'idea di universo evolutivo	120
5.3.1	I conteggi di radiosorgenti lontane	121
5.3.2	La radiazione cosmica di fondo	122
5.3.3	L'abbondanza di elio primordiale	124
5.3.4	Il problema dell'orizzonte	127
5.3.5	Il problema della piattezza	129
5.4	Formulazione del Principio Antropico	132
6	I numeri cosmici	145
6.1	Introduzione	146
6.2	Il vincolo dimensionale	150
6.3	Il ruolo del Principio Antropico	158
7	Conclusioni	169

Capitolo 1

Introduzione

Questa tesi è dedicata ad un discussione del Principio Antropico in contesto cosmologico.

Il principio stesso, con richiamo alla sua traduzione inglese, sarà d'ora in poi indicato dalla sigla *A.P.*; quando se ne vorrà indicare una formulazione particolare tale sigla sarà preceduta da una lettera, come elencato in tabella 1.1.

L'enunciato delle differenti versioni sarà invece data nel capitolo V.

<i>A.P.</i>	Principio Antropico
<i>W.A.P.</i>	Principio Antropico Debole
<i>P.A.P.</i>	Principio Antropico Partecipatorio
<i>S.A.P.</i>	Principio Antropico Forte
<i>F.A.P.</i>	Principio Antropico Finale

Tabella 1.1: Differenti versioni del principio antropico

È utile affrontare subito il significato del termine principio. La radice etimologica suggerisce che si tratta di un'assunzione o idea fonamen-

tale che serve di base per tutta una serie di ragionamenti successivi. Tale presupposto si ritiene fondato su di un gran numero di dati osservati (come nel caso dei principi della dinamica) o comunque su di una intuizione che trae validità dalle conseguenze ben verificate che esso impone, ed è questo il caso del Principio Copernicano in Astronomia. In generale quindi non è detto che un principio sia formulato *a-priori*, può anzi essere desunto *a-posteriori* da osservazioni o constatazioni di vario livello, imponendosi appunto come *summa* di esperienze e come induzione conclusiva di ricerche, magari in campi diversi.

La tesi è strutturata in due parti. La prima, che si sviluppa nel corso dei successivi tre capitoli, consiste in una presentazione storica del pensiero filosofico e scientifico alla base del *Principio Antropico*. Le argomentazioni umanistiche presenti fungono da sfondo e da analisi storica all'intero elaborato, il cui fine è mostrare *un'applicazione scientifica* del Principio Antropico Cosmologico. Tale sviluppo parte dal capitolo V e si conclude con il capitolo VI, che tratta in maniera originale il problema dei Grandi Numeri Cosmici, risolto grazie all'applicazione del *Principio Antropico*.

Nella prima parte, di carattere introduttivo dunque, si tenta di tratteggiare in maniera **estremamente sintetica** lo sviluppo storico del pensiero umano fino ad Immanuel Kant, autore che idealmente si immagina passare il testimone alla cosmologia scientifica. Lo scopo di questa presentazione è ben delimitato: mostrare come il pensiero umano sia stato, su larga scala, dominato da rappresentazioni antropomorfe sino all'avvento della scienza galileiana; come queste rappresentazioni siano state superate a favore della oggettività scientifica, per nulla disposta

a riservare all'osservatore un ruolo privilegiato: rivelando, infine, il recente insorgere di un nuovo capovolgimento di visuale, talora chiamato anche *ragionamento antropico*. I primi quattro capitoli hanno anche un interesse didattico, ed in tale ottica si è ritenuto opportuno arricchirli di uno spazio riservato alle letture consigliate. Esse sono in generale di consultazione più agevole di quelle citate nel testo e riportate nella bibliografia finale, e di carattere non necessariamente specialistico. Alcune di esse sono inoltre seguite da un breve commento che ne illustra il contenuto.

La seconda parte, introdotta dal capitolo V, ma più segnatamente nel capitolo VI, tenta di apportare un contributo originale a sostegno di *A.P.* al fine di conferire ulteriore *valore cognitivo* allo stesso.

Questo piano di lavoro, che parte da una ricostruzione storica e mostra le (alterne) fortune di altri principi, filosofici, metodologici o scientifici che siano, esplicita i limiti logici di *A.P.*, che non si intendono **negare**, ma piuttosto **accomunare** a quelli della logica matematica, della fisica teorica, della cosmologia stessa.

Se il valore scientifico di qualunque proposizione si fonda sulla sua capacità di previsione, *A.P.* si deve ritenere scientificamente fondato sulla sua attitudine a rivelare la stessa esistenza dell'osservatore fonte di inferenze. I dati sperimentali e teorici che lo invocano, non possono a loro volta prescindere dall'esistenza dell'osservatore: *A.P.* è autoreferente.

L'autoreferenza compare quando il soggetto indagante diviene l'oggetto dell'indagine. È in realtà la stessa autoreferenza delle proposizioni matematiche che ha permesso a Gödel di mostrare che un sistema di

assiomi coerente è necessariamente incompleto. In altri termini se non vogliamo rinunciare alla coerenza delle nostre asserzioni dobbiamo accettare l'insolubilità di taluni quesiti. Non molto diversi sono i problemi cui va incontro la neurobiologia moderna; illustri studiosi della materia considerano irraggiungibile la riduzione della coscienza pensante a reazioni chimico-fisiche.

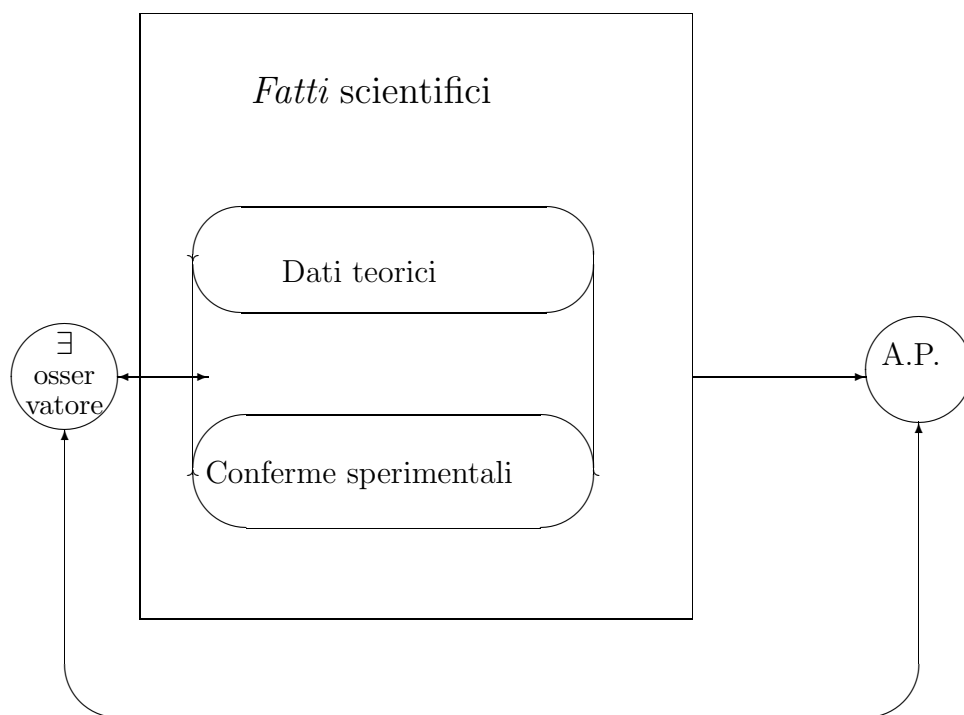


Figura 1.1 : Autoreferenza di A.P.

La figura 1.1 illustra schematicamente l'autoreferenza di *A.P.* L'esistenza dell'osservatore influenza la natura dei *fatti* scientifici, questi sembrano sostenere il principio antropico, il quale scopre il valore che l'esistenza dell'osservatore assume nel quadro complessivo dei *fatti* scientifici.

La fisica teorica è attualmente impegnata nella grande sfida della superunificazione. Ogni unificazione concettuale del pensiero fisico comporta una semplificazione dei parametri necessari a descrivere un sistema. L'elettromagnetismo di Maxwell esclude le cariche magnetiche, il sistema copernicano deferenti e relativi epicicli, la gravitazione di Newton nella sua accezione più popolare accomuna la caduta di una mela al moto dei pianeti. La teoria ultima rincorsa dai fisici conterrebbe in sé le costanti della natura, non più parametri liberi determinabili sperimentalmente. Essa è ancora autoreferente.

Una delle più comuni obiezioni ad *A.P.* è che le rigide condizioni riscontrate nei parametri cosmologici potrebbero essere condizioni necessarie in una teoria superunificata. Evidentemente non si fa altro che mutare i termini del discorso. In stretta osservanza al *Principio Copernicano* nessun uomo di scienza, sino a qualche decennio fa, avrebbe a priori previsto i *fine-tuning* riscontrati nei fenomeni cosmologici. In particolare era prevedibile che le condizioni fisiche della natura fossero compatibili con l'esistenza dell'uomo; tuttavia si era inclini a pensare che essa potesse essere ospitata in un insieme estremamente vasto di universi fisicamente possibili e legittimamente concepibili, di cui il nostro sarebbe un caso particolare. Ora è invece lecito riflet-

tere sulle rigide condizioni che permettono il passaggio dall'inorganico all'organico. Esiste dunque un motivo per cui una teoria superunificata dovrebbe far sue proprio quelle condizioni che permettono l'esistenza umana? Le recenti teorie del Multiverso, prevedono che si siano sviluppati infiniti universi, e di conseguenza infiniti set di valori di costanti e condizioni iniziali; tra questi anche il nostro, che sarebbe dunque osservabile perchè compatibile con l'esistenza dell'uomo. Una simile teoria sembrerebbe aggirare il problema, tuttavia essa non inficia la validità del Principio Antropico Cosmologico, anzi, per vero ne rafforza il valore euristico, nel momento in cui rende più *naturali i fine-tuning* sopracitati e con essa la Teoria stessa del Multiverso; il **Problema della Naturalità in Fisica** sarà accennato nel capitolo V. Potremmo dunque dire che, dal momento che le differenti teorie di Multiverso derivano sostanzialmente dalla necessità di rendere più *naturali i fine-tuning*, esse si pongono di fatto come una mirabile applicazione del Principio Antropico Cosmologico!

Si comprende facilmente che le tematiche coinvolte sono molteplici e di interesse non certo marginale. È per questo motivo che si ritiene *A.P.* non una sterile speculazione filosofica, ma un principio fertile anche per indagini scientifiche. Nel corso della tesi si mostreranno alcuni esempi di applicazioni scientifiche di tale principio, ed un'elaborazione originale, che occupa l'intero capitolo VI, che risolve il problema dei grandi numeri cosmici.

Data l'importanza che in questa tesi rivestono i rapporti numerici viene precisato il significato dei simboli seguenti:

\sim dello stesso ordine di grandezza di

\simeq in rapporto reciproco non maggiore di 2

\approx circa un ordine di grandezza maggiore o minore di

\cong del medesimo ordine di grandezza nella approssimazione (ALN) dei grandi numeri cosmici

Segue una tabella che riporta le costanti fisiche più usate nel corso della tesi, chiarendo fin d'ora che per costante si intende, in via generale, quantità costante al nostro tempo cosmico e per ogni punto dello spazio, non necessariamente invariabile nel tempo.

Tabella 1.2: Costanti fisiche di utilità per questa tesi

Grandezza fisica	Simbolo	Valore in CGS
Velocità della luce nel vuoto	c	$29\,979\,245\,800\text{ cm s}^{-1}$
Costante di gravitazione universale	G	$6,672\,59(85) \times 10^{-8}\text{ g}^{-1}\text{cm}^3\text{s}^{-2}$
Costante di Planck	h	$6,626\,068\,76(52) \times 10^{-27}\text{ ergs}$
Carica dell'elettrone	e	$4.80 \times 10^{-10}\text{ e.s.u.}$
Massa a riposo dell'elettrone	m_e	$9,109\,381\,88(72) \times 10^{-28}\text{ g}$
Massa a riposo del protone	m_p	$1,672\,621\,58(13) \times 10^{-24}\text{ g}$
Massa a riposo del neutrone	m_n	$1,674\,927\,16(13) \times 10^{-24}\text{ g}$
Costante di struttura fine	α	$7,297\,352\,533(27) \times 10^{-3}$
Raggio di Bohr	a_0	$5,291\,772\,083(19) \times 10^{-9}\text{ cm}$
Costante di Hubble	H_0	$2,3 \times 10^{-18}\text{ s}^{-1}$
Densità critica	ρ_0	$\sim 10^{-29}\text{ g cm}^{-3}$
Temperatura del CMB	T_{CMB}	$2.73\text{ }^\circ\text{K}$
Massa di Planck	M_{Pl}	$2.18] \times 10^{-5}\text{ g}$
Tempo di Planck	t_{Pl}	$5.39 \times 10^{-44}\text{ s}$
Lunghezza di Planck	L_{Pl}	$1.62 \times 10^{-33}\text{ cm}$

Capitolo 2

L'era prescientifica

*'Io compresi che quelle scienze,
tanto interessanti ed attraenti,
meno si applicano al dilemma della vita,
più sono esatte e chiare;
più vi si riferiscono,
tanto meno sono esatte e chiare'*

Lev Nikolaevič Tolstoy

2.1 Prologo

Le prime concezioni cosmologiche dell'uomo erano probabilmente di natura mistica ed antropomorfa. Il cosmo identificava lo spazio motorio e visivo degli ominidi, ben più circoscritto di quello attuale; la stessa volta celeste ancora per gran parte dei filosofi greci era qualcosa di somigliante ad una sfera cava tempestata di forellini o segni luminosi.[Khun, 1957]

Qualsivoglia fosse l'immagine che il cielo evocava ad occhi pilotati da un simbolismo limitato, non bisognerebbe mai dimenticare che, guardando nel passato, **in ogni epoca l'uomo ha costruito cosmologie ispirate dall'estrapolazione di nozioni già acquisite.**

Campi più disparati come l'agricoltura o la politica contribuivano a creare il *corpus* di nozioni e di rappresentazioni del mondo delle genti antiche. Era pertanto pressoché inevitabile attribuire virtù antropomorfe all'intero cosmo. Sarebbe interessante studiare quale ruolo rivesta la struttura associativa del nostro pensiero in simili generalizzazioni, interrogandosi sulle reali possibilità di superare questo limite. La figura 2.1 è un esempio di comuni oggetti della nostra esperienza eretti a rappresentazione dell'intero universo.

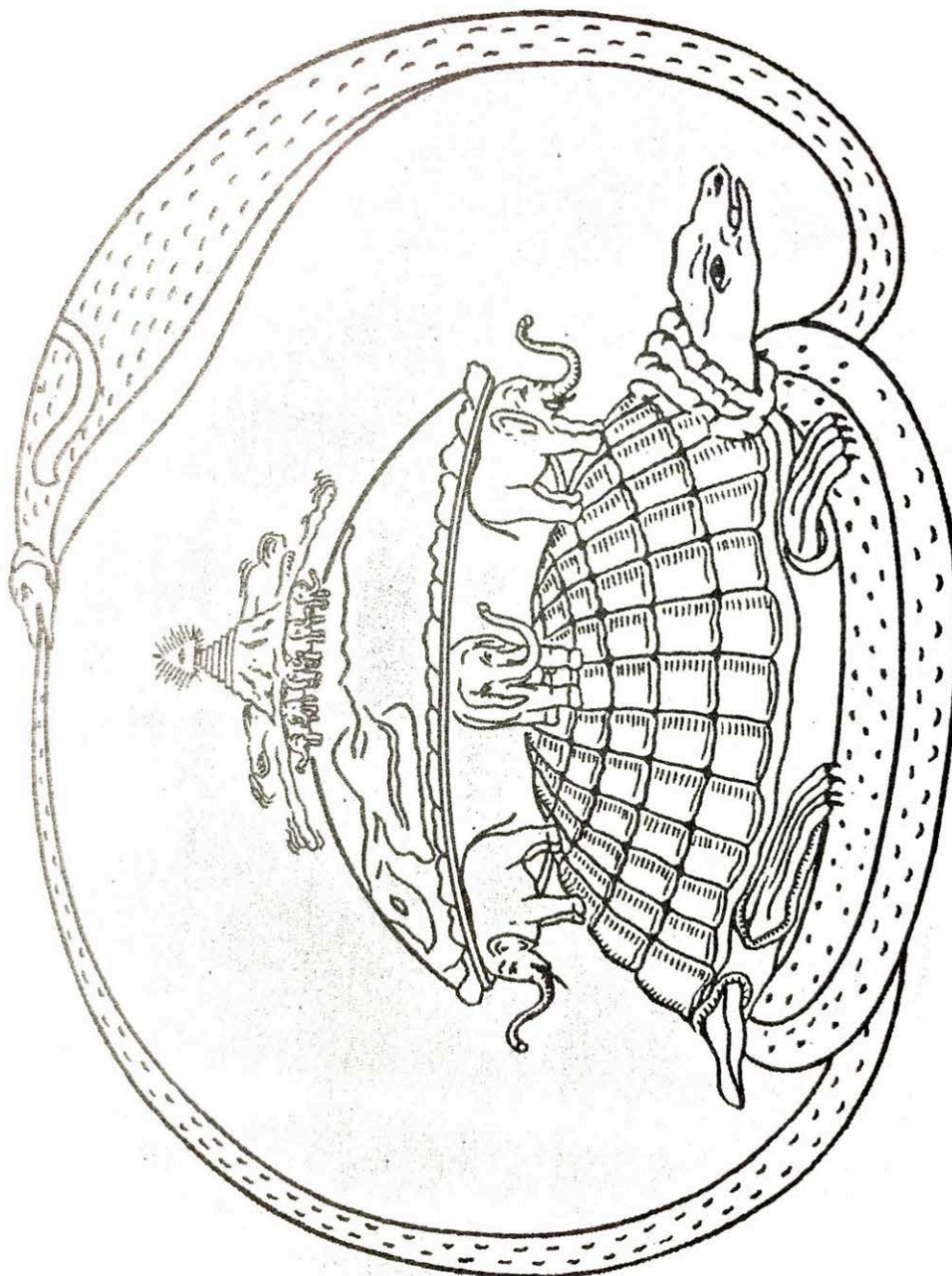


Figura 2.1 : Concezione dell'universo secondo gli Indù. Lo spazio si chiude attorno al triangolo, simbolo della creazione.

Così i pensatori cinesi, caldei, babilonesi, così i greci. Dopo la rivoluzione scientifica, nel Settecento, questa lista si è, potremmo metaforicamente dire, allargata ai fisici deterministi, nel momento in cui questi si erano dogmaticamente convinti di poter descrivere il mondo in termini di soli urti tra particelle. Questa certezza trova la sintesi più significativa nella conclusione di Laplace: necessità non più prerogativa di Dio, ma della Meccanica Newtoniana. Invece di affrancarsi dalla logica sopra spiegata, anche i *meccanicisti* usavano di fatto, *mutatis mutandis*, i loro parametri di pensiero specifici per adattarli a spiegazioni più generali. Essi dunque, più che emanciparsi del tutto dall'*antropocentrismo*, senza rendersene conto, insistevano in realtà in parametri di pensiero assimilabili a quelli utilizzati dai loro antichi predecessori, che provavano a spiegare fenomeni differenti tra loro, generalizzandone le conclusioni. Di fatto accorpate aspetti diversi del funzionamento della realtà, sotto una *legge* comune, costituisce alla fine una delle più grandi ambizioni della scienza.

Un basilare principio di *realismo storico* ci vieta di pensare che lo stadio attuale delle nostre conoscenze sfugga *a priori* alla medesima sorte: l'obsolescenza. In tale ottica un breve studio storico delle idee sul cosmo diviene fonte di interessanti considerazioni.

Argomentazioni simili sembrerebbero sminuire il valore di qualunque formulazione di *A.P.*, se non addirittura in contrasto con esso. Invero questa *impasse di fondo* riguarda l'intera metodologia scientifica ed i limiti intrinseci della logica matematica costruita dall'uomo, non il solo *Principio Antropico*. È opportuno premettere che non si intende astrarre da obiezioni di tale specie, e tantomeno confutarle. Si punterà invece

a mostrare come gran parte degli assunti fondati su un principio che, per astrazione, chiameremo *Copernicano* debbano essere rivisti. Si chiarisce fin d'ora che il termine *Principio Copernicano*, lungi dal voler indicare esclusivamente il paradigma astronomico che vede il Sole quale centro di rotazione del nostro sistema planetario, e non la Terra, si riferisce piuttosto ad una corrente di pensiero ben più ampia. Una corrente di pensiero che tenderebbe a scartare, come antiscientifica, qualunque considerazione che preveda un ruolo, o ancor di più un significato, per la presenza di vita intelligente nel Cosmo. Questi argomenti trovano la loro naturale collocazione nel terzo capitolo.

La prima parte dell'elaborato diviene così anche una riflessione se sia davvero obiettivo considerare gli aspetti filosofici della speculazione come tabù assoluti per la scienza, anche in considerazione delle tematiche della cosmologia attuale. Non si può astrarre *a priori* da considerazioni filosofiche quando ci si interroga sull'origine del Cosmo. Uno dei principi fondamentali della Cosmologia (e per vero di tutta la Fisica) è il postulato dell'illimitata validità temporale e spaziale delle leggi fisiche note. Le indagini sull'origine o mutabilità temporale di leggi fisiche possono considerarsi metafisiche (nell'accezione etimologica del termine, e non chiaramente nella sua accezione più comune). La stessa metafisica infatti, in senso letterale sarebbe il dominio oltre la fisica, come meta-matematiche sono le proposizioni che trattano le proposizioni matematiche stesse.

2.1.1 Ai primordi

Si possono identificare i primordi del pensiero cosmologico in quattro ceppi fondamentali. Quello orientale, precolombiano, arabo e greco. Tale distinzione è incoraggiata, più che da reali motivazioni storiche, da una comodità di classificazione, necessariamente a bassa risoluzione, e dalla nostra prospettiva di osservatori occidentali. L'idea che l'umanità sia un fenomeno di rilievo nel cosmo, o persino che il mondo materiale sia stato concepito per l'uomo, è comune a molte tradizioni culturali, e può essere considerata universale.

Per spiegare i fenomeni naturali l'uomo fece subito ricorso alla fantasia. A contrapporre quest'ultima a ragione ed osservazione si rischia seriamente un'analisi affrettata e superficiale. Invero gran parte dei testi di storia della Scienza, tendono ad esaltare il binomio *Rivoluzione Copernicana - abbandono del mito*, quale principale successo della Scienza Galileiana. Bisognerebbe prima chiarire con rigore il significato di ragione ed osservazione; evidenziare dunque cosa difetti all'elaborazione immaginativa dei nostri lontani antenati per appartenere di diritto al raziocinio scientifico. Spieghiamoci con un esempio: una leggenda ricorrente nei popoli primitivi narra che una civiltà di giganti ha preceduto l'umanità. Prima di giudicarla una fantasia mitologica, è conveniente chiedersi: è possibile che tali popolazioni abbiano tramandato, per generazioni, il rinvenimento di fossili di gigantesche bestie preistoriche? Eventi simili non dovevano essere improbabili nell'antichità, e certo queste esperienze poterono essere comuni a molti popoli.

Un'ipotesi simile è stata formulata per spiegare il mito del ciclope, ricorrente nelle Isole Eolie. Si è infatti appurato che già nell'antichità erano stati rinvenuti resti di *elephas antiquus*, noto anche come "elefante dei boschi", il cui teschio, come si può immaginare, oltre ad essere enorme, è dotato di una cavità centrale che doveva ovviamente ospitare la proboscide. Quella che era prima una leggenda priva di interesse, potrebbe ripresentarsi sotto la luce di una vera e propria osservazione proto-scientifica. Allo stesso modo, il sospetto scientifico che nell'evoluzione dell'umanità abbia in passato trovato posto un'età della pietra, nacque in Danimarca, quando, in merito al mistero dei ritrovamenti archeologici dei "martelli di Donar" (dal nome del Dio del tuono vichingo, oggi a noi più comunemente noto come Thor¹), all'ipotesi del lancio divino subentrò la teoria della manifattura umana di asce di pietra.[Propilei I, 1961]

Cotterell osserva in merito ad argomenti analoghi che:

‘...l’incapacità di individuare la psicologia quale ambito autonomo di studio contribuisce a spiegare la conseguente svalutazione del mito e della leggenda...’

Ed auspica che oggi si possa:

‘...finalmente apprezzare le informazioni offerte dallo studio della mente umana, compresi gli indizi, reperibili negli archetipi junghiani, che ci aiutano a comprendere la nostra stessa natura.’

[Cotterell, 1989]

¹chiarimento tra parentesi aggiunto dallo scrivente

È fuorviante dunque considerare il mito ostacolo alla ricerca del vero; anche se esso non può eguagliare la lucidità e l'universalità dell'affermazione teorica, ha comunque svolto nel passato una funzione positiva e antesignana della stessa ricerca scientifica. Esso ha educato l'uomo a valorizzare le connessioni reciproche, non arrestandosi alla molteplicità disorganica, a cercare i principi dei fatti naturali, più che una pura classificazione sistematica. È per questo motivo che l'elaborazione mitologica è così vicina alle riflessioni del fanciullo, che un giorno lasceranno il posto ai pensieri dell'adulto, o magari dello scienziato. [Gratton, 1987]

Anche la scienza, in fondo, è guidata da immagini mentali, eredità del pensiero mitico e complementari a quelle artistiche o religiose. Il rapporto tra mito ed investigazione della natura è ormai rivalutato dalla quasi totalità delle scuole epistemologiche, per non parlare dell'interesse che ha destato in diversi indirizzi psicologici. Paolo Bisogno², ha identificato il mito con la primordiale organizzazione del tutto in una conoscenza significativa:

“Nel mito si nascondono le origini e nel mito si trova, con i resti del passato, la memoria del futuro” [Bisogno, 1991]

È evidente che non conosciamo i dettagli delle cosmologie delle popolazioni preistoriche, ai fini di questo studio è sufficiente stabilire che:

“... il pensiero dei primitivi, come quello dei fanciulli, era tutto dominato dall'animismo, che è l'origine del mito,

²Altri autori hanno trattato l'argomento. Roger Penrose e John Barrow hanno scritto rispettivamente: *The Emperor's new mind* e *Theories of Everything*.

mediante il quale essi cercavano di interpretare *razionalmente* la natura, proiettando nelle cose animate ed inanimate la loro coscienza di esistere. Il primitivo - a differenza dell'uomo moderno - non riesce a concepire una diversità tra sé stesso e le cose, nelle quali trasferisce le proprie esperienze e la propria personalità e alle quali attribuisce perciò sentimenti e volontà." [Gratton, 1987]

I più antichi strumenti associati a resti fossili, risalenti a due milioni di anni orsono, sono stati rinvenuti in Africa centro-orientale: nella Omo Valley, in Etiopia, a Koobi Fora, nel Kenya, e nella gola di Olduvai in Tanzania: da essa prende il nome l'insieme tipico di manufatti della "Industria Olduwana". Non a caso i proprietari di questi manufatti sono stati battezzati *Homo Habilis*, la prima specie dalle caratteristiche sicuramente umane. Questi ritrovamenti testimoniano infatti che i loro creatori disponevano di facoltà intellettive umane. Un grande antropologo scrive in proposito:

'...Per costruire uno strumento litico di forma e dimensioni particolari, è necessario essere in grado di intuire quell'oggetto nella materia prima che si sceglie per la scheggiatura. Sono convinto che la presenza di strumenti litici fabbricati in modo predeterminato e regolare già due milioni di anni fa ci induce a ritenere che la soglia della intelligenza umana era stata già raggiunta.' [Leakey, 1981]

L'*Homo Habilis* è forse l'ultimo anello di una catena che termina con l'*Homo Sapiens Sapiens* e che era partita all'inizio nel terziario, in un

periodo imprecisato fra i quattro ed i quattordici milioni di anni fa, quando comparvero in Africa i primi ominidi: le *australopithecine*.

Può essere utile, a questo punto, illustrare brevemente la storia geopaleontologica del nostro pianeta. Attualmente si ammette che la crosta terrestre si sia solidificata approssimativamente 4,6 miliardi di anni fa. I geologi dividono in cinque *ere* questo intervallo.

1. Era Archeozoica (o Precambriano); delle rocce ignee, formate da materia liquefatta
2. Era Paleozoica (o Primaria); nella quale probabilmente apparvero le prime forme di vita
3. Era Mesozoica (o Secondaria)
4. Era Cenozoica (o Terziaria)
5. Era Neozoica (o Quaternaria)

Ogni era è poi divisa in differenti periodi. Nei depositi terziari formati alcuni milioni di anni fa, sono stati rinvenuti i primi esemplari del genere di *Australopithecus* più diretto progenitore dell'uomo, quelli di *Australopithecus afarensis*. Il primo di tali esemplari, essendo di sesso femminile, fu affettuosamente chiamato "Lucy", datato circa 3,2 milioni di anni, fu scoperto in Etiopia, nel deserto di Afar. Ad esso seguirono l'*Australopithecus robustus* e l'*Australopithecus gracilis*, che continuarono a popolare l'Africa contemporaneamente all'*Homo habilis*, sino a circa un milione di anni fa.

Gli studi sulla struttura ed usure dentarie dei nostri antenati ci permettono di conoscere il loro regime alimentare. Ad esempio gli australopitechi erano quasi esclusivamente vegetariani, a differenza dell'*Homo habilis* che era onnivoro. Molti ritengono che questa sia la causa dell'estinzione dei primi a favore dei secondi. In particolare si è notato l'anomalo sviluppo in quel periodo dei babbuini. Questi occupavano la stessa nicchia ecologica degli australopitechi con cui probabilmente entrarono in competizione alimentare.

Come evidenziano le figure 2.2 e 2.3 l'evoluzione biologica della nostra specie avviene e si conclude nel Quaternario, la quinta ed ultima era geologica. Esso viene suddiviso in Pleistocene, a sua volta distinto in Inferiore, Medio, e Superiore, ed Olocene; quest'ultimo comincia con la stabilizzazione del clima dopo l'ultima glaciazione e comprende anche la nostra epoca. Nel Pleistocene si succedettero in Europa cinque glaciazioni: Danau, Günz, Mindel, Riss e Würm. A questo periodo risalgono i primi reperti di pietre scheggiate, infatti l'evoluzione biologica che nei primati ha portato dalle scimmie al genere uomo (ominazione) si conclude proprio alle soglie dell'Olocene. Dall'*Homo Habilis* comparso alle fine del Terziario durante il Pliocene Superiore, si passa (non senza discontinuità dovute alla difficoltà e frammentarietà dei ritrovamenti) all'*Homo Erectus* più o meno 1.700.000 anni fa, a Pleistocene Inferiore avanzato, e dunque all'*Homo Sapiens* a partire da circa centomila anni fa. L'età paleolitica che ha approssimativamente stesso inizio e stessa fine dell'ultima glaciazione, quella di Würm, vide il fiorire di civiltà come quella dell'uomo di Neanderthal e la civiltà Mousteriana. In particolare l'uomo di Neanderthal si può considerare il risultato di una

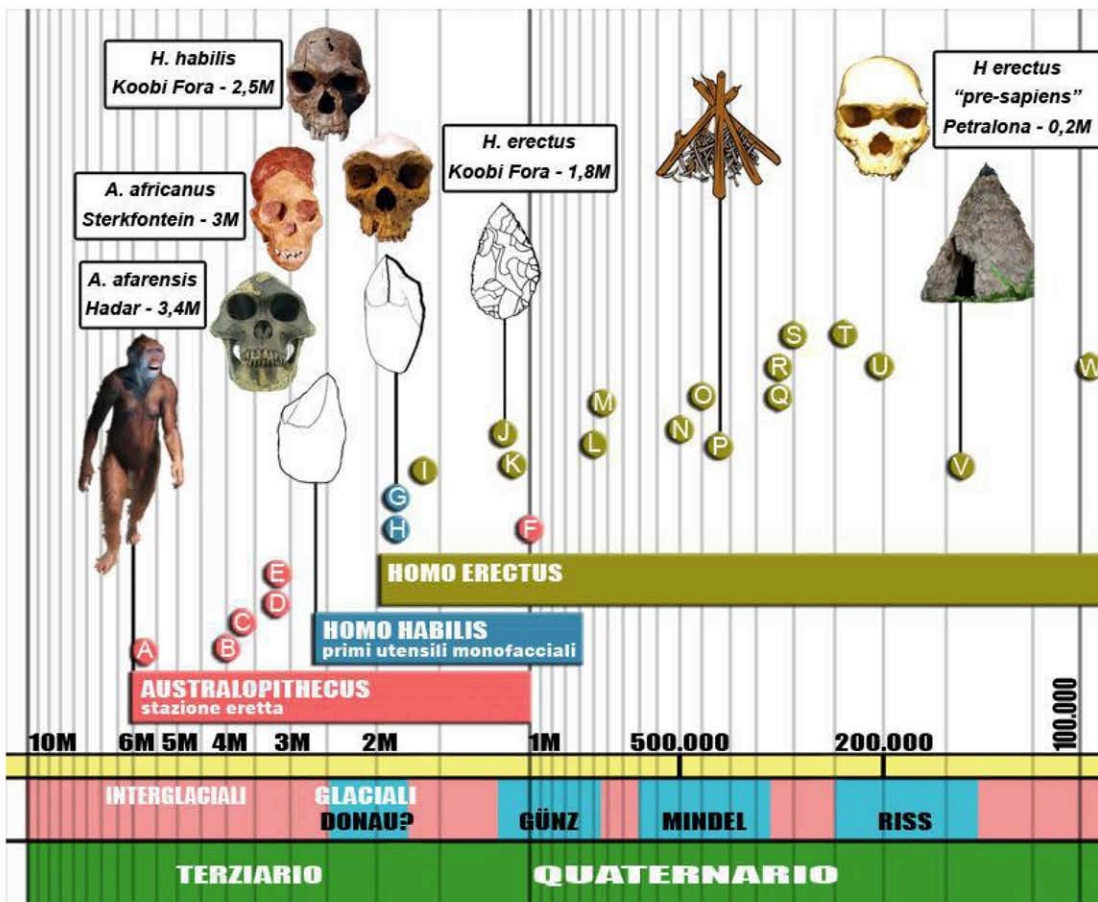


Figura 2.2 : Cronologia del Terziario e Quaternario

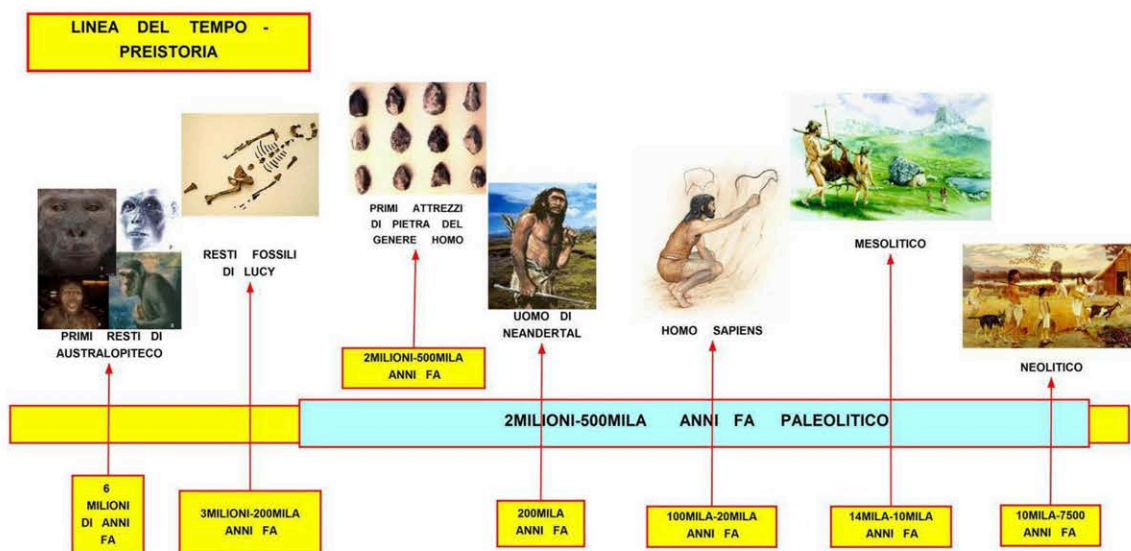


Figura 2.3 : Principali tappe dell'evoluzione biologica e culturale dell'uomo preistorico

fusione culturale di vari gruppi umani dell'età della pietra, avvenuta approssimativamente attorno al Würmiano II ed al Würmiano III, due stadi della glaciazione di Würm, terminati circa dodicimila anni fa. L'*Homo Sapiens Neanderthalensis* è considerato un ramo parallelo e poi estinto (ma minime tracce di Neanderthal si trovano tuttora nel nostro DNA) della medesima linea evolutiva che porta all'*Homo Sapiens Sapiens*, suo contemporaneo che evidentemente è prevalso nella competizione all'adattamento all'ambiente. Questo è l'uomo nella sua forma attuale, comparso in Europa nel Paleolitico superiore, alla fine del Pleistocene, prima del Würm III, come già detto più o meno in contemporanea con il Neanderthal, con il quale ha comunque certamente avuto scambi e convivenza di qualche tipo . Originario dell'Africa orientale, a seguito di una carestia globale che lo portò quasi all'estinzione, partendo probabilmente da pochissimi individui rimasti (qualcuno azzarda addirittura l'ipotesi che fosse rimasta una sola tribù di qualche decina di individui), migrò in Medio-Oriente, Asia ed Europa. Poi, tra i quarantamila ed i trentacinquemila anni fa, esso raggiungerà anche America ed Australia, sfruttando i corridoi di terre emerse in seguito all'abbassamento del livello del mare durante l'ultima glaciazione.

Svariati ritrovamenti archeologici, come quello dei teschi di Lehringen, fanno pensare che le pratiche divinatorie fossero diffuse già duecentomila anni fa. Il ritrovamento di un gran numero di teschi staccati dal busto e di resti di animali fa pensare a sacrifici offerti ad un essere soprannaturale, che doveva presumibilmente albergare nello stesso oltretomba ove i defunti trapassavano, per poi comparire in sogno ai vivi.[Propilei I, 1961] Inoltre già con l'*Homo Sapiens Neanderthalensis*

si hanno forme embrionali di culto dei morti; in Iraq, ad esempio, nella grotta di Shanidar si è ritrovata la sepoltura di un cadavere deposto in un letto di fiori, come hanno dimostrato le analisi polliniche. Per quanto riguarda il linguaggio, poi, sappiamo con relativa certezza che almeno l'*Homo Sapiens* era in grado di parlare, come si può dedurre dalle sue manifestazioni artistiche e dalle sue caratteristiche anatomiche, come l'osso ioide identico a quello dell'uomo attuale.

All'età paleolitica succede quella neolitica. Gli uomini neolitici invasero l'Europa occidentale presumibilmente dall'Est, portando il vento delle prime civiltà mesopotamiche ed egizie. All'età neolitica succede l'età dei metalli, già nel VI millennio in Medio e Vicino Oriente si costruiscono forni in grado di superare i 1000 gradi centigradi, sufficienti a fondere i metalli. Si ottiene prima il rame, quindi il bronzo ed infine il ferro. Nel corso dell'età dei metalli si estende il fenomeno del "megalitismo", letteralmente "grandi pietre" ad opera di comunità che potevano già vantare una considerevole coesione sociale; l'architettura megalitica, contrapponendosi alle deboli costruzioni in legno del tempo, indica il possesso del territorio e la necessità di stabilità spaziale e temporale. Alcune testimonianze architettoniche che queste comunità hanno lasciato in Europa, come il celebre Stonehenge nel Wiltshire, o più alla nostra portata il Dolmen di Bisceglie (vedi figura 2.4), testimoniano accurate conoscenze astronomiche. In queste civiltà la coscienza della morte, e dunque la coscienza della vita, si fa tanto forte che le tombe cominciano ad essere arricchite da oggetti utili nell'aldilà. Potrebbe essere identificata con questo sentimento la prima apparizione della coscienza umana, al di là del grado di perfezionamento degli



Figura 2.4 : Il dolmen di Bisceglie, testimonianza di arte neolitica e di primi interessi in misurazioni astronomiche

utensili o delle rappresentazioni pittoriche tramandateci. Coscienza non disgiunta, naturalmente, da forme di linguaggio già abbastanza complesse. Il linguaggio è indispensabile alla formazione del pensiero astratto, vale a dire a forme di memoria non esclusivamente tattilo-motorie.[Piaget, 1967]

Contestualmente alle prime forme di pensiero che possiamo definire umano, si sviluppano le prime forme di culto. In effetti il tema più forte sviluppato dalle credenze religiose antiche è quello della morte. La morte terrorizzava l'uomo primitivo, togliendo alla vita il suo senso positivo. Una prima soluzione al problema della morte fu data dalla credenza in un ripetersi di cicli vitali, così come in natura, e nel mondo animale, la metempsicosi appariva connaturata alla vita. In tutta l'Europa neolitica, a giudicare dai miti sopravvissuti, le credenze religiose erano molto omogenee e tutte basate sul culto di una dea Madre dai molti appellativi, venerata anche in Siria e in Libia. È facile riconoscere in questo mito l'apologia della procreazione. Il fatto assume rilevanza maggiore se si considera che quest'ultima era considerata capacità esclusivamente femminile, poiché la fecondazione si addebitava a fenomeni casuali come colpi di vento od ingestione accidentale di insetti.

L'antica Europa, non a caso, era priva di divinità maschili. Il concetto della paternità fu infatti introdotto molto tardi nel pensiero religioso della grecia pre-ellenica, sin quando non venne ufficialmente stabilito il rapporto tra coito e gravidanza. In particolare in Tessaglia e nella Grecia centrale si diffuse la trinità maschile ariana *Indra, Mitra e Varuna* importata dalle invasioni eolica e ionica. Si tratta di divinità di importazione vedica, la prima civiltà protostorica della penisola india-

na. Questa svolta fondamentale modifica la struttura sociale dei popoli del secondo millennio prima di Cristo. Probabilmente proprio da essa prende avvio la svalutazione della donna nella civiltà occidentale.

Questo esempio costituisce già un interessante spunto sulla correlazione tra mito e deduzione scientifica. In questo caso il mito contiene delle osservazioni naturalistiche, che sono evidentemente *falsificabili*, e che dunque cedono il passo ad un più razionale osservazione del rapporto di *causa-effetto*, che è alla base del metodo sperimentale della scienza moderna. Non è tuttavia affatto irrilevante notare che: l'osservazione naturalistica prima, la più coerente deduzione scientifica poi, hanno influenzato una credenza religiosa, al punto da modificare di fatto il *pantheon* di intere aree sociali dell'antichità. Non è poi difficile immaginare, rimanendo all'esempio del ruolo femminile, quanto questa *osservazione proto-scientifica (il rapporto coito-gravidanza)* abbia influenzato l'intero corso della storia e della società umana. Oggi si tende a separare il pensiero scientifico, da quello filosofico, religioso o sociologico per evitare conflittualità di qualsivoglia genere. Tale approccio, se funzionale a mantenere la più assoluta obiettività, integrità ed autonomia del primo, è assolutamente da encomiare e sostenere; non così, tuttavia, se esso diviene un principio assoluto di *non interazione*, di separazione assoluta delle diverse visioni, di *incommensurabilità* delle diverse categorie di pensiero. In tal caso questa tendenza rischia di scadere nel ripudio della natura umana, che tuttavia è inevitabilmente integrata con gli oggetti del conoscere, obnubilando una parte fondamentale ed essenziale della conoscenza.

Torniamo ora alla nostra brevissima sintesi del pensiero umano,

limitata naturalmente a quanto di interesse per questa tesi, ossia a mostrare l'inevitabile interazione tra osservatore ed osservabile, tra pensatore ed oggetto del pensiero, tra uomo e scienziato, tra scienziato e Cosmo. Ben presto le credenze furono particolareggiate o differenziate a seconda della classe sociale dei credenti. Così i faraoni e gli uomini più meritevoli cominciarono ad assumere da soli il privilegio dell'immortalità; tutta la mitologia greca è infarcita di eroi semidivini. Si radicò pertanto nei vari popoli il culto dei morti e degli avi, nonché quello dei fondatori delle singole famiglie patriarcali; tuttavia, parallelamente a questo sviluppo religioso, che si potrebbe quasi definire 'sociale', cominciava a rivelarsi l'esigenza mistica del culto di un unico Dio al di là di ogni razza, nazionalità, ceto sociale. Culto che trovò la sua più profonda realizzazione nella religione ebraica.

Secondo la cosmogonia ebraica Dio è creatore di tutte le cose, il mondo ha in realtà un sua profonda, e spesso imperscrutabile, moralità. Il Dio, pensato dall'uomo a sua immagine e somiglianza, viene offeso dal peccato nella sua santità e giustizia. Questo concetto del peccato come offesa della perfetta giustizia, è forse quanto di più importante dobbiamo alle prime religioni. La concezione di una divinità suprema dotata di onnipotenza non è comunque privilegio esclusivo della religione ebraica; già alcune tribù africane come gli zulù del Sudafrica avevano elaborato simili culti, per quanto in forma più rozza, e soprattutto senza sviluppare una teologia scritta ed incentrata su fondamenti morali. Ma soprattutto eccezionale ed unica rimane, in questo senso, l'anticipazione portata da Zaratustra.

All'età dei metalli seguirono, in rapida successione, la civiltà del bronzo e del ferro e con esse l'alba della Storia. Le prime grandi civiltà storiche sorgono nelle fertili vallate enclave di importanti corsi d'acqua: quelle del Tigri e dell'Eufrate, dell'Indo, del Nilo ed, in Cina, tra il Fiume Giallo e il Fiume Azzurro.

2.2 La cosmologia nelle civiltà orientali

Nel pensiero orientale spiccano in grande evidenza la filosofia cinese ed indù. La cultura cinese non ha mai concepito l'idea di una divinità suprema [Barrow & Tipler, 1986], ciò nonostante il nostro pianeta era ritenuto funzionale all'uomo, secondo un principio di *eutaxiology*³, parola inglese, di evidente radice greca, che in questo contesto si può tradurre: 'concezione di un universo ben ordinato, non caotico; atto a recepire la vita, ma non come fine necessario', come invece in una visione teleologica.

L'immagine del cosmo risultava in accordo con la concezione della vita sociale. In realtà i popoli dell'estremo oriente hanno avuto, in passato, scarsa dimestichezza con le matematiche. Queste ultime, che abbiamo in gran parte ereditato dagli arabi e dai greci, sono validissime per descrivere in termini quantitativi il mondo, quanto gli asiatici non concepivano; il loro *modus philosophandi* essendo sbilanciato sul lato intuitivo, piuttosto che su quello razionale. Il dualismo tra materia e spirito, a noi tanto caro, era loro sconosciuto. La stessa teologia occidentale si può considerare analitica e quasi scientifica, a confronto con la metafisica indiana. Il cosmo, per l'uomo orientale, rappresentava l'unità di cui noi siamo una parte: scomporre la fenomenologia universale in sottosistemi indipendenti, ognuno coerente alle sue leggi, era fonte di errore, perché oscurava ineluttabilmente l'universalità dell'essere. Ad esempio la stessa vita e la stessa coscienza umana erano considerate

³Terminologia introdotta da Hicks nel 1883, vedi [Barrow & Tipler, 1986] pag.29.

tutt'uno con la coscienza universale; di qui le credenze nella metempsi-cosi, nella reincarnazione, ad esempio, di uomo in un animale, credenza assurda per un occidentale, molto più abituato a considerare la propria individualità un tutt'unico, anche al livello spirituale.

L'analisi riduzionistica, lungi dall'avvicinare alla verità, era men-zogna, comoda unicamente per economia di pensiero e spesso indispen-sabile alla vita quotidiana; ad essa era precluso il ruolo di elaborare cosmologie, essendo queste ultime necessariamente teorie del tutto. Gli sforzi speculativi delle civiltà orientali erano pertanto rivolti alla ricerca dell'unità, della fusione, tramite un processo individuale, consistente per lo più in meditazione, rinunce, abluzioni in fiumi sacri. In casi più raffinati, come nel buddhismo e nello zen, nel vero e proprio tentativo di annullare la parte razionale del pensiero, per mezzo di esperienze fisiche, o più spesso verbali, in apparenza del tutto irrazionali, come la proposta di *kōan*⁴ insolubili.

Il risultato di queste ricerche è uno stato di vuoto, vera essenza dell'essere universale, perché liberazione dalla propria esistenza indi-viduale. Tale stato, incomunicabile per definizione, è definito illumi-nazione, l'eletto che vi si immerge è un *Buddha*, un illuminato. La radice del pensiero orientale, qualunque sia la religione, credenza o filosofia, è fondata su idee non dissimili. Il buddhismo e lo zen, si distinguono per capacità realizzativa, poiché tutti gli sforzi degli adepti sono finalizzati al raggiungimento della santità. L'induismo merita invece un posto par-ticolare per le sue straordinarie intuizioni metafisiche, con la sua fede

⁴Molti di questi sono raccolti nel divertente libretto: *101 storie zen*, nella edizione del 1973 curata da Senzaki e Reps per la casa editrice Adelphi di Milano.

in una possente ed amorosa divinità, e la sua dottrina della dedizione a Dio e dell'amore per Dio.

Tutta la scienza occidentale, al contrario, si fonda sull'esigenza di ricavare nozioni comunicabili, in realtà la conoscenza unicamente individuale è da essa aborrita. Non si può non avvertire il profondo contrasto tra le due concezioni, pressoché antitetiche. Solo recentemente, e spesso come moda temporanea, si è diffuso in occidente l'interesse per questo modo di pensare. Mirabile è la vigorosa dialettica che si incrocia nelle due concezioni. Quella occidentale, tutta volta alla conoscenza e coscienza individuale, ma indirizzata alla comunicazione collettiva di tali conquiste interiori; quella orientale, ripudiando prima l'individuo come concetto separato dal cosmo, ma affascinata poi solo dalla rivelazione individuale!

Bisogna tuttavia operare una netta differenziazione tra i due filoni principali della civiltà orientale: infatti la cultura cinese autoctona contrastava palesemente con la concezione mistica indiana. Attorno al quarto secolo dopo Cristo avvenne una radicale mutazione della civiltà cinese a causa della diffusione del buddhismo. Molti erano gli aspetti innovativi: mentre la filosofia cinese riguardava soprattutto i problemi della vita, il buddhismo considerava quest'ultima un ciclo doloroso ed interminabile, dal quale l'uomo doveva uscire, arrestando la metempsicosi con un atto di santità: divenire partecipi del nulla cosmico, o meglio forse, con un *illuminante* (e perfino attuale in astrofisica) ossimoro: *riempirsi del vuoto cosmico*.

I cinesi avevano sempre ritenuto che l'uomo fosse infinitamente superiore agli animali e che la vita animale non avesse valore, il buddhismo

insegnava invece che tutte le creature viventi avevano uguale valore e che distruggere un animale era colpa non meno grave che distruggere una vita umana. Infine l'etica confuciana si basava sulla lealtà verso lo stato e la devozione filiale, quando i buddhisti predicavano il monacismo, una vita improduttiva per la società.

Il buddhismo era stato portato in Cina nel III e IV secolo da missionari, cinesi e stranieri, oralmente ed attraverso testi scritti. Per capire come culture così diverse cominciarono a coesistere si deve ponderare una attenuante: le versioni cinesi delle scritture buddhiste conservavano sempre l'impronta nel modo di pensare dei cinesi; per esempio taluni concetti e termini originali che turbavano la mentalità cinese furono modificati o soppressi dai traduttori. Per esempio non venivano tradotti i brani ove si parlava di baci e di amplessi di un Bodhisattva.⁵ Nei rapporti coniugali il concetto del mantenere la moglie si trasformava in quello del comando del marito. Il termine sanscrito *shīlā*, la moralità condensata nei cinque precetti fondamentali, veniva tradotto in *hsiao-hsün* ossia devozione e obbedienza filiale.[Propilei II, 1962]

Entrambe le correnti del buddhismo indiano, ossia quelle principali e conosciute oggi come *Hīnayāna* e *Mahāyāna* (rispettivamente piccolo e grande veicolo) trovarono numerosi seguaci. L'*Hīnayāna* è una religione austera e rigorosa, che impone all'uomo severe esigenze e offre ai suoi fedeli un progresso graduale ma lento, che dura per molte vite, fino al *nirvāna*, letteralmente "estinzione", liberazione da ogni passione e dalla catena delle esistenze e delle trasmigrazioni. Il *Mahāyāna* è più tolle-

⁵Si tratta di una specie di santi i quali, pur avendo raggiunto l'illuminazione che li rende idonei a raggiungere lo stato di Buddha, volontariamente rimandano la loro entrata nel *nirvāna*, per aiutare gli altri uomini di questo mondo a salvarsi

rante e comprensivo nelle sue dottrine, e rivolge un più largo appello ad ogni genere di uomini: permette la coesistenza di idee diverse e tollera persino le fedi non buddhiste. Per raggiungere il *nirvāna* (che dunque venne ad assumere un significato più vicino a paradiso o salvezza) il fedele può rivolgersi per aiuto a tutto un olimpo di Buddha e di Bodhisattva.

Il *Mahāyāna* apprezza anche la possibilità di accedere alla suprema intuizione mediante un'illuminazione improvvisa invece che attraverso un lento processo graduale. L'indirizzo che finì per imporsi in Cina fu il *Mahāyāna*. Nel corso dei secoli esso si diffuse anche in Corea, in Giappone e in Vietman, mentre il buddhismo *hīnayāna*, si è mantenuto fino ai nostri giorni a Ceylon, oltre che in Birmania, Thailandia e Cambogia.

L'afflusso di idee e di dottrine indiane esercitò un'azione profonda sul pensiero cinese. Fu una novità storica che essi incontrassero elementi di una civiltà straniera che riconoscevano eguale e, sotto molti aspetti superiore alla propria; esperienza che si sarebbe poi ripetuta solo all'incontro con la civiltà europea.

Per finire, una notevole particolarità di rilievo cosmologico del pensiero indiano è la vasta portata temporale. Il mondo induista ad esempio è suddiviso in età che si susseguono in un flusso temporale infinito. Un *Kalpa*, cioè un giorno ed una notte del dio creatore Brahma, dura oltre otto miliardi di anni, una scala temporale prossima a quella oggi comunemente accettata. È comunque stupefacente il confronto con i pochi millenni che esauriscono la cronologia newtoniana (vedi paragrafo 3.2). Alla fine di cento anni di notti e giorni di Brahma l'universo si dissolverà, per poi ricomporsi in una nuova creazione. [Cotterell, 1989]

L'immaginazione degli asceti induisti ha intravisto possibilità che per secoli sono sfuggite alla scienza occidentale.

2.3 La cosmologia nelle civiltà precolombiane

Il pensiero delle civiltà precolombiane non ci è stato tramandato integralmente. Non bisogna dimenticare che queste civiltà si sono estinte in maniera traumatica; oltretutto la politica coloniale delle potenze europee era ben interessata a tramandarcene un'immagine essenzialmente primitiva e barbara, per giustificarne lo sterminio.

Il continente americano era abitato da diverse popolazioni indigene quasi tutte originarie dell'Asia. Nel centro del paese si identificano quelle che si stabilirono nella zona del Messico: Olmechi, Toltechi, Guatemaltechi, Maya ed Aztechi, la cui civiltà era ancora fiorente all'arrivo di Cortès. È doveroso sottolineare comunque che il territorio degli attuali Messico e Guatemala, ed in particolare la penisola dello Yucatan, ospitarono decine di civiltà, le quali, come è facile immaginare si sovrapposero e si succedettero in un processo non sempre lineare. È pertanto impensabile riprodurre una classificazione dettagliata delle culture mesoamericane con uno stringato elenco di nomi.

Nell'America del Sud emerge invece la storia degli Incas, che dominarono sino all'attacco di Pizarro.

Fino al primo insediamento europeo nel secolo *XVII*, anche il nord del continente americano era abitato da popolazioni provenienti dal mondo asiatico. I primi abitanti erano arrivati dalla Siberia attraverso un istmo temporaneo durante la fase finale della glaciazione. Alcuni dei primi coloni europei apprezzarono i miti e le leggende autoctone,

soprattutto quelle della tribù haida, snohomish e quinault. La storia della creazione tramandata dagli haida è un esempio tipico di questi miti: all'inizio del tempo Sha-lana governava il regno situato tra le nubi, sotto di esso si estendeva un vasto mare deserto. Quando il principale servo di Sha-lana, il Corvo, venne scacciato, il suo terrore fu tale che sbattè le ali agitando l'oceano primigenio, facendovi emergere delle rocce. Il Corvo creò poi gli uomini dalla conchiglia e introdusse il sole e il fuoco rubandolo dal cielo.[Cotterell, 1989]

Gli Aztechi furono certamente un popolo che si distinse per le conoscenze astronomiche congiunte con una originale miscela di acute intuizioni e di ingenuità. Quando tuonava, gli dèi della pioggia spezzavano le loro urne piene d'acqua, i cui cocci cadendo sulla terra generavano i fulmini, nelle macchie della luna scorgevano sagome di animali. Nel contempo però i sacerdoti medici praticavano la steccatura di fratture ossee, massaggi, diete curative, ed addirittura un certo numero di pratiche chirurgiche. La organizzazione statale raggiungeva un considerevole grado di tecnicismo, tanto da permettere che il re venisse eletto dai prefetti dei quartieri cittadini, oltre che dai sovrani dei paesi alleati. Ben presto tuttavia il re cominciò ad assumere le prerogative di un monarca assoluto, riservando il titolo alla discendenza diretta. Il governo monarchico si arrestò con la morte, nelle prigioni dei *conquistadores*, di Montecuhzoma II, che gli spagnoli chiamavano Montezuma II. Nell'osservazione degli astri le popolazioni indigene, domate da Cortès nel 1519, avevano raggiunto calcoli di una precisione sorprendente; anche la complessità del loro calendario è indice di una civiltà piuttosto evoluta. Ciò nondimeno essa rimaneva barbara nelle usanze

2.3. LA COSMOLOGIA NELLE CIVILTÀ PRECOLOMBIANE 39

sociali e religiose e prevedeva sacrifici umani; ad esempio i *conquistadores* trovarono un'impalcatura decorata con oltre centomila teschi. Si immolavano di preferenza prigionieri di guerra. Quando poi i conflitti scarseggiavano si organizzavano allo scopo delle sorte di tornei tra i tre stati della lega che costituiva l'impero azteca; i gareggianti catturati erano destinati al sacrificio.[Propilei VI, 1964]

Gli Aztechi credevano che la loro epoca fosse stata preceduta da quattro ere, ognuna delle quali si era conclusa con la distruzione della popolazione, e si attendevano che l'era azteca terminasse con il ritorno del Dio Quetzalcoatl, il serpente piumato, ed un tremendo terremoto. All'inizio della prima era Quetzalcoatl aveva creato gli uomini dalle ossa dei morti che aveva tratto dall'oltretomba ed irrorato con il suo sangue. Dopo aver insegnato loro i segreti dell'artigianato e dell'agricoltura, aveva ceduto al richiamo della morte e, su di una zattera, si era avviato verso una terra incantata.[Cotterell, 1989] In realtà questa leggenda va riferita probabilmente alla storia del quinto re-sovrano tolteca Ceacatl topiltzin, passato alla storia con lo stesso nome riservato al Dio Quetzalcoatl.[Propilei VI, 1964]

L'elemento architettonico più significativo dell'arte mesoamericana rimangono gli edifici a piramide. Questa figura geometrica ricorreva anche nella visione del mondo azteca. Il nostro pianeta era immaginato come il punto di contatto dei vertici di due enormi piramidi contrapposte; l'idea di un equilibrio instabile del cosmo ricorre nella dottrina cosmogonica delle "creazioni incompiute" sopraccennata. Ogni era cosmica terminava con una catastrofe naturale: diluvi, eruzioni vulcaniche e simili. Non si tratta dunque di una propensione al mito dell'"Eterno

Ritorno”, quanto piuttosto della consapevolezza, probabilmente indirizzata da una memoria storica-collettiva, del grande mistero del tempo.

La civiltà peruviana era decisamente più rozza di quella messicana sul piano delle conoscenze, in particolare astronomiche. Si tende ad imputare tale carenza alla organizzazione sociale di tali popoli. Il loro clero era formato quasi esclusivamente da Incas, un ordine di nobili privilegiati, che non avevano alcun bisogno, nemmeno con una istruzione superiore, di aumentare quell'isolamento che già li separava dalla realtà quotidiana. Gli Aztechi, con poca vera scienza, costruirono un elaborato sistema astrologico, che procurava agli adepti la reputazione di godere di un rapporto privilegiato con le divinità. Gli Incas al contrario erano divini per nascita, non abbisognavano di conoscenze esoteriche per procacciarsi privilegi sociali. La loro ignoranza degli elementari principi dell'astronomia risulta evidente dal fatto che consideravano le eclissi di luna delle misteriose infermità del nostro satellite. Allora essi innalzavano i loro canti propiziatori e i loro lamenti pietosi per destarla dal suo letargo.

La divinità creatrice degli Incas era Viracocha, Dio del sole e della tempesta. Si diceva che Viracocha fosse emerso dal lago Titicaca e avesse creato il sole, la luna e le stelle. Il suo nome significa probabilmente “il lago della creazione”. Egli creò una prima specie di giganti animando delle statue, ma presto il loro comportamento lo deluse. Distrutta questa prima civiltà con un diluvio, creò uomini nuovi e migliori. Questa volta volle assicurarsi che evolvessero come desiderava. Assunte le spoglie di un mendicante scese in mezzo a loro per insegnare i rudimenti della civiltà e compì diversi miracoli.[Cotterell, 1989]

2.3. LA COSMOLOGIA NELLE CIVILTÀ PRECOLOMBIANE 41

Una tradizione parallela narra che il Sole, nel periodo in cui le razze umane vivevano nella barbarie più deplorabile, mosso a compassione dalla loro condizione animalesca, inviò tra gli indigeni due suoi figli: Manco Capac e Mama Oello Huaco, per riunirli in una comunità e predicare l'arte del vivere civile. La coppia celeste viaggiò sino al lago Titicaca. Qui Manco Capac insegnò agli uomini l'arte dell'agricoltura e Mama Oello Huaco svelò i segreti del tessere e del filare alle donne. In questa maniera si affermò in breve la civiltà della città di Cuzco, destinata a dominare l'intera regione e a porre le fondamenta dell'impero Incas.[Prescott, 1970] Una versione più storica di queste leggende, tramandata dalla tradizione di corte, insegna invece che il fondatore della dinastia regnante, Manco Capac, attorno al *XIII* secolo dopo Cristo, era riuscito a consolidare una posizione di supremazia nei confronti delle popolazioni vicine a seguito di continui scontri. Ma l'impero degli Incas si solidificò solo con l'avvento di Viracocha, che riuscì a portare i confini del suo regno sino al lago Titicaca.

Anche la loro raffigurazione dell'oltretomba merita attenzione; essi ammettevano l'esistenza di un'anima eterna e della risurrezione del corpo. Quest'ultimo era collocato in residenze diversificate per buoni e malvagi: lidi di pace e benessere per i primi, il centro della terra per gli ultimi, dove questi erano condannati ad espiare i loro crimini con duro lavoro. Questa credenza nella risurrezione del corpo li spingeva a conservarlo, esponendolo al freddo secco ed all'aria rarefatta di altissime montagne.[Prescott, 1970]

Per quanto tutte le loro credenze potessero essere deformate da una puerile superstizione, è un fatto degno di nota che molte, se non

la maggior parte delle rozze tribù che abitavano il continente americano, fossero giunte al concetto di un unico Grande Spirito, creatore dell'universo. Le civiltà più progredite adottarono legislazioni più liberali e istituirono un ordine separato per il culto religioso, in genere accompagnato da splendidi cerimoniali. L'organizzazione del culto non aveva, probabilmente, molto da invidiare a quello della cultura occidentale. Questo fu il caso, in particolare delle popolazioni che abitavano il tavoliere del Nord America e dei nativi di del Perù, di Bogotà, di Quito, e delle regioni montane. Soprattutto nel caso dei peruviani, che come abbiamo visto vantavano origini divine per il loro impero, le leggi si basavano tutte su un decreto divino. Le loro massime di comportamento e le guerre contro gli stranieri erano tutte dirette a salvaguardare e propagare la loro fede. La religione era dunque la base della loro politica: il governo degli Incas fu a buon diritto una teocrazia. Durante un festa sacrificale in onore del Sole il Re offriva al popolo un lauto banchetto i cui ingredienti di base erano un delicato pane ed un liquore locale. Gli Spagnoli, che per primi giunsero al paese, videro nella distribuzione del pane e del vino un'impressionante analogia con la comunione cristiana. Notarono anche la coincidenza delle pratiche della confessione e della penitenza.[Prescott, 1970]

Gli Incas non avevano mai avuto contatti con il mondo occidentale prima di Pizarro, eppure la somiglianza, nella storia e nei significati, di molti dei loro comportamenti religiosi e della loro creazione con quella biblica è evidente. Questo conferma che nello sforzo di rispondere ai drammatici interrogativi sulla sua origine e sul significato dell'esistenza, l'uomo ha trovato in buona parte risposte comuni, che vanno considera-

te connaturate alla vita cosciente. In estrema sintesi:

1. La creazione operata da un essere o ente supremo, che trascende la comprensione puramente razionale.
2. Il ruolo essenziale assegnato all'uomo nel cosmo.
3. Il dovere morale come strumento per vivere il fine dell'esistenza umana.

È suggestionante pensare che l'odierna interpretazione scientifica, e si noti bene, si parla di interpretazione scientifica del mondo, non dei risultati tecnici conseguiti, sia una potente e mirata raffinazione del simbolismo mitologico antico, più che una reale conquista appartenente di diritto al solo uomo moderno. Una citazione di Popper avvalorata tale opinione:

‘Nella scienza cerchiamo sempre di *spiegare il noto con l'ignoto*, l'osservato (e l'osservabile) con ciò che non si osserva (e che, forse, non può essere osservato) . . . , nello spiegare il mondo visibile mediante un presupposto mondo invisibile [la scienza può addirittura avvalersi di] un **mito** relativo a [tali] *invisibili*, come gli atomi o le forze gravitazionali, che spiegano il visibile’ [Popper, 1972]

In rapporto ai tre punti prima evidenziati: l'oggetto di questa tesi è confrontarsi con il secondo punto: si mostrerà che, in riferimento alla struttura del cosmo che abita, l'esistenza dell'uomo riveste un ruolo ed assume un significato, anche in termini scientifici.

2.4 La cosmologia nelle civiltà arabe

I contributi delle popolazioni nord-africane e mediorientali alla comprensione del nostro mondo, non hanno inizio con la rivelazione Maomettana, e possono anzi vantare origini antichissime, addirittura proto-storiche. La cosmologia mitologica babilonese, ad esempio, si può considerare un compendio delle idee che, che ancor più anticamente, prevalevano attorno ai due antichi santuari di Eridu e Nippur. Secondo la scuola di Eridu l'origine di tutte le cose era l'acqua, l'intero mondo abitato si estendeva su una montagna emergente dall'oceano Khubur, al di là del quale il Dio-Sole pascolava il suo bestiame.[Dreyer, 1953] La nostra conoscenza della cosmologia di Nippur è precaria; è noto tuttavia che Enlil, signore del vento e Dio della città, era considerato suo proprietario e fondatore. Enlil eseguiva le decisioni del consesso degli dèi, massima autorità nell'universo mesopotamico.[Cotterell, 1989]

La genesi della religione mesopotamica risiede nel culto dei fenomeni naturali. Sembra che in un primo tempo i sumeri avessero attribuito ad alcune di tali forze un aspetto animale, in seguito rappresentarono gli dèi sotto forma umana. Il complesso rapporto tra uomini e dèi è spiegato nel poema epico babilonese *Enuma Elish*; per esso gli uomini furono creati dagli dèi per alleviarli dal loro lavoro. In questo scritto trova posto, ancora una volta, una narrazione alternativa del diluvio universale: Enlil non sopportava più il frastuono della città in cui era situato il suo tempio. Dopo aver invano fatto ricorso alla pestilenza, alla siccità ed alla sterilità della terra per zittire il popolo, scatenò sulla

terra un disastroso diluvio cui scamparono soltanto la famiglia e gli animali del saggio Atrahasis.[Cotterell, 1989]

Un altro concetto centrale della mitologia mesopotamica è lo scontro titanico tra le forze del bene e del male. A differenza della isolata valle del Nilo, la pianura tra il Tigri e l'Eufrate conobbe tempestose vicende storiche e improvvisi sovvertimenti. Conflitti interni, invasioni straniere o la periodica irruenza dei grandi fiumi favorirono una concezione mitologica il cui significato consiste nella lotta cosmica, più che nell'ordinamento divino dell'universo. Il vicino altopiano iranico dominato da vallate pianeggianti e montagne dai versanti scoscesi, inverni rigidissimi ed estati roventi, ha dato origine ad un credo tutto fondato su questa contrapposizione: lo Zoroastrismo, il primo, antichissimo e straordinario ispiratore di tutti gli altri monoteismi.[Cotterell, 1989]

La mitologia mesopotamica offre importanti deduzioni alla storia delle religioni; in essa è oltremodo evidente la trasformazione dello stesso concetto di divinità, che passa dalla rozza immagine di creature antropomorfe con appetiti bestiali, a dèi sempre più moralizzatori e garanti dell'ordine cosmico.

L'idea di un Dio unico, in era prescientifica è considerata essenziale per individuare nel Cosmo leggi e ordine universali. Solo una cultura tuttavia, è riuscita a sfiorare una visione monoteistica prima del succitato Zoroastrismo, quella Egizia. Il faraone Akhenaton, infatti, anche se per un breve e isolato periodo, riuscì ad imporre, per quanto non in via del tutto esclusiva, un unico Dio: il Dio Sole Aton. Tra gli egiziani, per vero, prevalsero inizialmente nozioni primitive. La storia della cultura Egizia, tra le più longeve della storia, è tuttavia millenaria, ed ha

pertanto conosciuto inevitabili evoluzioni. Per quanto ci interessa, riferendoci a concezioni cosmologiche antiche, gli antichi egizi immaginarono l'universo una grande scatola approssimativamente rettangolare, il cui fondo era la terra, con l'Egitto al centro. Significativamente la massima estensione della scatola era nella direzione nord - sud, la stessa nella quale trovava massima estensione il loro paese.

Gli egiziani credevano che un tempo non fossero esistiti la terra ed il cielo, ma solo un oceano primordiale, il Nû da cui avevano avuto origine tutte le cose; difficilmente questa idea poteva vantare origini egiziane. L'immensità del deserto, agli occhi delle popolazioni egizie doveva assumere certo una rilevanza concettuale ben maggiore che ai nostri. Era facile per loro convincersi che l'universo fosse pervaso dalla sabbia più che dall'acqua. La loro cosmologia deve dunque riferirsi, più probabilmente, agli immigranti asiatici guidati dal Nilo verso fertili lidi. È comunque da sottolineare che l'interesse per la natura primordiale dell'acqua è comune a molte culture (vedi paragrafo 2.5).

Il pensiero delle civiltà arabe è dominato dalla cultura islamica, la sua completa espressione si ritrova nella lettura sacra del Corano⁶. Asse portante del Corano è il concetto dell'unicità ed onnipotenza di Dio, un monoteismo quindi saldo ed inattaccabile su cui si fonda l'intero edificio dell'Islam. È questo ciò che in fondo il profeta Maometto (*Mohammad dei Qurays ~580-632*) ha portato di veramente nuovo al suo popolo, elevando la mitologia tribale delle popolazioni, spesso nomadi, dell'Africa Settentrionale, a livello di una religione superiore. Conferendo al nuovo credo un valore universale, riunendo il mistero metafisico

⁶si è consultata l'edizione: *Genova, I Dioscuri, 1989*

di innumerevoli numi, o folletti maligni, in un grande principio di un Dio creatore ed onnipotente.

Il credente deve vivere la sua vita in comunione con Dio, nell'attesa del momento escatologico del Giorno del Giudizio. Ogni parola del Corano deve essere meditata e messa in pratica, trattandosi della prima ed infallibile rivelazione. I veri saggi devono conoscerne ogni verso a memoria. Visto come norma di comportamento e come guida per i credenti il Corano ha senso letterale, non lasciando così spazio ad interpretazioni adattabili ai costumi, ed alla realtà politica e sociale del momento. Tale carattere assolutista, ma soprattutto la convinzione che la mente di Dio si esprima in un linguaggio umanamente comprensibile, e per di più nella lingua araba eletta, fanno dell'Islam, a nostro avviso, la religione più dogmatica della storia dell'umanità. Ad una analisi esteriore questo potrebbe essere, agli occhi di un occidentale, una grave debolezza. In realtà, ciò che rende l'Islam estremamente interessante è la consapevolezza di non essere l'unica risposta spirituale al problema dell'esistenza, argomento che non tutte le religioni sembrano apprezzare.

La risposta che il Corano vi dà è degna del più grande interesse: esso parla di una continua rivelazione, che Dio per mezzo dei suoi inviati concede agli uomini, da Adamo sino a Maometto, attraverso Noè, Abramo, Mosè, Davide, Salomone e Gesù; sono questi i profeti maggiori, portatori di un **Libro**, il messaggio divino all'umanità.

Maometto è il Messia dell'Islamismo e come tale l'ultimo annunciatore del **Libro** sino al Giudizio Universale. Dunque la nostra epoca ed i secoli futuri vedranno la coesistenza di molteplici rivelazioni del passato:

Induismo, Buddhismo, Cristianesimo ed Islam. È proprio il Corano ad annunciare questa realtà, attribuendola peraltro ad un supremo disegno:

‘Se Dio avesse voluto, avrebbe fatto di voi una sola comunità.

Ma ciò non è stato ... Concorrerete perciò nel compiere le Buone Opere ed Egli, nel giorno del Giudizio, vi renderà noto quanto ha diviso’

Sura II, versetto 179

Tralasciamo volontariamente, in questa brevissima sintesi, gli sviluppi dell'ebraismo e del cristianesimo, a noi usualmente già familiari, e la concludiamo piuttosto tornando ad aspetti più scientifici. È interessante osservare che, per quanto dogmatica sia la fede musulmana, il mondo islamico è in buona parte immune al contrasto fede - scienza così diffuso nell'Europa medioevale. Non si ha notizia di arabi perseguitati per la convinzione che la terra fosse sferica ed abitata su ogni faccia. È probabile che questa tolleranza fosse incoraggiata dai molteplici scambi culturali e bellici, frequentissimi per il mondo islamico in era medioevale. Di certo comunque l'idea che la terra fosse una sfera di dimensioni irrilevanti rispetto alla immensità del cosmo era comunemente accettata nel mondo arabo già nel primo millennio dopo Cristo. Uno dei primi lavori scientifici intrapresi dagli astronomi arabi fu proprio la misura delle esatte dimensioni del nostro pianeta. Su commissione del califfo Al Mamun, mecenate delle scienze, e secondo il pro-

getto proposto dall'astronomo Ibn Jûnis, fu misurata la lunghezza di un grado di meridiano, da due osservatori tra Wamia e Tadmor, nella pianura di Palmyra, e da altri due in località ignote. La media delle due misu-re fornì le lunghezze approssimative di 37000 *km* per la circonferenza della terra, e di 6000 *km* per il raggio.[Dreyer, 1953] Allo stesso grande astronomo Ibn Jûnis, si deve probabilmente la scoperta originale della legge dell'isocronismo delle oscillazioni del pendolo. Quella di Galilei, posteriore di circa seicento anni, si può dunque considerare una riscoperta. Non si può non concludere questo paragrafo citando Averroè, (Cordova, 1126 - Marrakech, 1198), che anticipò i concetti di forza, inerzia, lavoro e attrito.

2.5 Il pensiero greco

Lo studio dell'astronomia è comune a molti popoli antichi, ma la cosmologia, distinta dalla cosmogonia mitologica, è stata formulata per la prima volta dai pensatori greci, a partire dal VII secolo avanti Cristo. Il pensiero greco è, ad occhi occidentali, certamente il più complesso ed analitico della antichità; non per niente la sua influenza filosofica è ben viva tuttora. La teologia cattolica è stata *razionalizzata* secondo le categorie del pensiero greco, in particolare quello aristotelico, per opera soprattutto di Tommaso d'Aquino (Roccasecca, 1225 - Fossanova, 1274).

Noi identifichiamo, evocando immagini omeriche, la storia preromana con quella greca. È questa che affrontiamo nei nostri primi studi, non la storia cinese o quella delle popolazioni italiche: la cultura moderna ha evidentemente radici greche.

È utile delineare le caratteristiche salienti della filosofia greca, evidenziandone i caratteri precursori della scienza galileiana e quanto di maggiore interesse per l'argomento trattato in questa tesi.

Anche tra i primi greci era diffusa l'idea che la più importante di tutte le cose fosse l'acqua, lo stesso Omero presenta *Okeanos* come origine del mondo. Questa idea era suffragata dalla loro avanzata conoscenza geografica. La sua importanza sta nella connessione tra primitive credenze popolari ed i primi passi dello studio filosofico. I primi investigatori greci, in particolare gli Jonii, cominciarono a speculare su

argomenti astratti quando ancora le città ellene oltre mare erano esclusivamente impegnate in commerci e attività tese esclusivamente al benessere materiale. Essi furono stimolati dalle osservazioni sul mondo naturale provenienti dai vicini stati egizi e babilonesi. La tradizione tramanda Talete Milesio come il primo di tali investigatori. Nel vano tentativo di impadronirsi dell'enigma della potenza regolatrice dell'universo e dell'armonia dei fenomeni, anch'egli designò l'acqua come elemento primitivo. Questo concetto più che per verosimiglianza, va apprezzato come tentativo di ricondurre ad una causa unica i multiformi eventi naturali. Questo spirito, che è il filo conduttore della filosofia naturale greca, è il preludio della attuale analisi fisica ed il suo sviluppo fu probabilmente incoraggiato dalla divinazione antropomorfa tipica dei greci. Il loro politeismo assegnava agli dèi forme e desideri, nonché relative debolezze, tipicamente umane. Rimane famoso, in proposito, il giudizio polemico di Senofane di Colofone: se buoi e cavalli avessero saputo disegnare o parlare avrebbero rappresentato gli dèi a propria somiglianza. Taluni studiosi, autorevole in proposito l'opinione di Goethe, arrivano a dedurre che le divinità dell'antica Grecia, incarnavano i *penati*, gli avi, spesso fondatori di stirpi gloriose. E come non pensare ad i vari semidèi, Ercole ed Achille su tutti, della letteratura greca? Questa umanizzazione allontanava, se non altro psicologicamente, la responsabilità della creazione dagli dèi, visti dai greci più come *superumani*, che non come entità trascendenti ed immateriali da cui tutto trae origine. È da notare dunque come una tendenza antropomorfa abbia, talvolta, anche coadiuvato la spiegazione fisica del mondo, al contrario di quanto ritenuto comunemente. Inoltre si può osservare che non solo le

scienze pure hanno tratto vantaggi da credenze non scientifiche. Ad esempio quelle concezioni religiose che vedevano all'origine un passaggio, o un rapporto tra uomini e dèi, hanno sviluppato ampiamente la storiografia religiosa, ed assieme ad essa hanno dato l'avvio alla moderna storiografia. Nel campo legislativo, invece, il basilare contributo delle credenze religiose è stato l'instaurarsi di leggi dal valore universale.

Un grande ostacolo si è prospettato allo sviluppo tecnologico nell'antichità, la fede degli stessi greci nella natura puramente contemplativa della conoscenza. Non vi è anche in questa presunzione una eccessiva estraneazione dalla nostra natura umana? L'esperienza ha confermato che lo sviluppo della comprensione fenomenica, ossia l'accordo del pensiero con il reale, procede, su larga scala, di pari passo allo sviluppo tecnologico e sociale dell'umanità. La nostra stessa forma fisica rispecchia le regole fisiche nel mondo in cui viviamo. In proposito la biologia moderna sembra aver stabilito che le nostre categorie di pensiero, tra cui quelle fondamentali di spazio e di tempo, sarebbero geneticamente costruite *a priori*, è in corso in effetti una autentica rivalutazione del pensiero kantiano. Le categorie a priori del grande filosofo di *Koningsberg* sembrerebbero impresse nella nostra stessa struttura genetica, e potrebbero in tal guisa trovare un'origine fisica piuttosto che metafisica (vedi paragrafo 4.1).

L'introduzione ed elaborazione del concetto di *kosmos*, dal termine greco “κόσμος”, comincia con Pitagora di Samo, al quale, non a caso è generalmente attribuito il primo uso del termine *filosofia*, dal greco: *amore per la sapienza*. Da Platone sino ad Aristotele le concezioni

cosmologiche si affinano e prendono svariate direzioni. Tra le tante, quella presa da Aristarco di Samo nel *III* secolo a.C., anticipò di quasi due millenni la teoria copernicana. A questo proposito è irrinunciabile citare alcuni punti cardinali dell'astronomia greca. Rimanendo confinati alle cosmologie che si sono succedute nella generale approvazione della filosofia ufficiale, la prima cosmologia greca fu quella dell'universo a due sfere. Si intendeva così esprimere la dicotomia tra una sfera della terra ed una sfera dei cieli, plasmata nella forma più perfetta, che manteneva la volta celeste equidistante dalla terra. In proposito, nel *Timeo*, Platone insegna:

‘E tale fu il criterio del Creatore . . . tornò l’universo come una sfera, in forma circolare ugualmente distante, in ogni parte dal centro alle estremità, che è tra tutte le figure la più perfetta e simile a sé stessa . . . imprimendo al mondo una rotazione uniforme.’

L'universo a due sfere tuttavia, non era sufficiente a spiegare il moto dei pianeti, tra i quali era anche l'astro più importante: il sole. La successiva visione del cosmo fu per così dire *‘a molte sfere’*: si conferì ad ogni pianeta una sfera di appartenenza che ruotava, ancora uniformemente, strisciando sulla sfera delle stelle fisse, ma attorno ad assi differenti. È bene sottolineare che a quest'ultima visione cosmologica aderì anche Aristotele, che infatti visse nel medesimo periodo, il *IV* secolo a.C.

La teoria delle sfere omocentriche non spiegava ancora il moto retrogrado dei pianeti, ed una osservazione più dettagliata dei moti planetari ne confermò l'approssimazione. A partire dal *III* secolo a.C., per opera

di Apollonio ed Ipparco, cominciò a svilupparsi una nuova astronomia, poi detta tolemaica, in onore di Tolomeo (\sim 100-178 d.C.) che le dette la sua veste definitiva. Essa prescriveva che i pianeti fossero posti su piccole orbite circolari: gli epicicli, il cui centro ruotava lungo un'orbita più grande, il deferente, ancora una volta con centro coincidente con la terra.

Nel corso dei secoli il complesso moto dei pianeti, e soprattutto il fatto che essi non ruotano con moto circolare, bensì ellittico, fu giustificato con l'introduzione di un sempre maggior numero di epicicli; sino a trasformare il modello geocentrico in un meccanismo ampolloso, macchinoso ed infine obsoleto. In realtà non esistono motivi scientifici immediati per invalidare il modello tolemaico (limitatamente alla descrizione dei moti celesti, e non certo nella sua simbiosi con la cosmologia scolastica), visto che è matematicamente possibile riprodurre il moto dei pianeti con la tecnica degli epicicli, con errore asintoticamente nullo col crescere del loro numero. Si tratterebbe in pratica di scomporre il complesso moto apparente dei pianeti, in una combinazione di moti circolari, usando la trasformata di Fourier. I motivi che hanno poi portato alla demolizione del sistema tolemaico non sono esclusivamente scientifici, ma anche di ordine filosofico ed epistemologico. Quello che infatti verrà messo in discussione da Galilei è l'intero edificio della fisica aristotelica.

In definitiva si può dire che l'universo a due sfere era stato adottato non soltanto per risolvere i problemi dei pianeti, ma anche per adattarsi ai problemi terrestri, in particolare a quelli di ordine spirituale, come il rapporto tra l'uomo e le sue divinità. La religione incide sulle

fondamenta sociali e culturali di un popolo, queste ultime influenzano ineluttabilmente le categorie di pensiero, sulle quali, a detta di buona parte della moderna epistemologia, si fondano gli strumenti dell'analisi scientifica. È evidente che non si può prescindere a priori dalle radici arcaiche di un certo inconscio collettivo quando si cerca di descrivere il mondo in cui viviamo. Gli scettici pensino alla influenza che la teoria della relatività ha ereditato dalle convinzioni *teleologiche* di Albert Einstein. [Bertazzi & Caimmi, 1988]

Secondo le sue stesse parole:

‘Il complesso della scienza non è niente di più di un raffinamento del pensiero comune di tutti i giorni. È per questa ragione che il pensiero critico della fisica non può essere ristretto all'esame dei concetti del suo campo specifico. Non si può procedere senza considerare criticamente un problema molto più difficile, il problema di analizzare la natura del pensiero comune’. [Einstein, 1965]

Il fine di questa breve introduzione al pensiero cosmologico greco era evidenziare l'autentico dominio delle rappresentazioni antropomorfe nell'intera mitologia greca. Si è inoltre tentato di dimostrare che tale antropomorfismo ha avuto un ruolo rilevante nella nascita della filosofia naturale greca. Non si può escludere inoltre che, se non fosse stata frenata dall'intolleranza nei confronti del lavoro sperimentale e dalla fede cieca nel potere dell'astrazione e dell'argomentazione teorica, il pensiero greco avrebbe potuto raggiungere la maturità della scienza rinascimentale già in epoca romana. Gli antichi greci ignoravano evi-

dentemente che anche teoria ed astrazione generavano, in definitiva, dai sensi, dall'esperienza e dalla sperimentazione, anche della vita comune. È una grande presunzione credere che la mera deduzione logica sia sufficiente ad elaborare un quadro unitario del cosmo. Per una persona dotata di mentalità scientifica dovrebbe apparire addirittura assurdo il tentativo di avvicinare i segreti del cosmo prescindendo da una 'sperimentazione guidata', ossia da quella 'interrogazione della natura' tanto auspicata da Galileo Galilei.

Nonostante questo limite esiziale, le differenze tra la filosofia greca, e quella di altri popoli precedenti o anche loro contemporanei, rimangono abissali. Esse ci sembrano descritte in maniera impareggiabile dalla sintesi che segue, riportata da Thomas Khun:

“Nel VI secolo a.C., Anassimandro di Mileto insegnava:

Le stelle sono porzioni d'aria compresse, a forma di ruote [che girano] riempite di fuoco, ed emettono fiamme in qualche punto da piccole aperture. . .

Il Sole è un disco ventotto volte più grande della Terra; è come la ruota di un cocchio, il cui cerchio sia cavo e pieno di fuoco, e fa sprigionare il fuoco da un certo punto di questo attraverso un'apertura simile ad un soffiutto. . .

Le eclissi di Sole avvengono allorquando si chiude l'orifizio per cui il fuoco si sfoga. . .

La Luna è un disco diciannove volte più grande

della Terra; è come la ruota di un cocchio, il cui cerchio sia vuoto e pieno di fuoco, similmente al disco del Sole, ed è piazzato obliquamente, com'è anche quello del Sole; ha un'apertura simile al becco di un soffietto; le sue eclissi dipendono dalle rotazioni della ruota.

Sul piano astronomico queste concezioni sono molto più avanzate di quelle degli egizi. Gli dèi sono scomparsi, per far posto a meccanismi ben noti sulla Terra. Vengono discusse la dimensione e la posizione delle stelle e dei pianeti. Sebbene le risposte che sono date appaiano estremamente rudimentali, i problemi dovevano essere sollevati perchè potessero avere soluzioni mature e meditate. Nel frammento citato, i circoli quotidiani delle stelle e del Sole sono trattati con un certo successo, considerando il comportamento dei corpi celesti come quello di orifizi sul bordo di cerchi di ruote che girano. Il meccanismo delle eclissi e dello spostamento annuale del Sole . . . , sono spiegati meno felicemente, ma sono finalmente impostati come problemi.” [Khun, 1957]

2.6 Conclusioni

Nella esposizione delle cosmologie prescientifiche sono stati privilegiati gli aspetti a nostro avviso più significativi ai fini di questa tesi: in particolare il ruolo assegnato all'esistenza umana nelle indagini che hanno preceduto l'epoca moderna. Invero, per noi occidentali, tale epoca è stata preceduta da un lungo periodo di transizione, dominato altresì anch'esso da un'assoluta ed univoca correlazione tra l'esistenza dell'universo e della coscienza umana. Come più volte formulato in precedenza: l'uomo ha alternato, nel corso della storia, due grandi ordini di pensiero. Ad un lungo periodo di esaltazione dell'importanza dell'umano nel cosmo, della finalità di quest'ultimo, e del ruolo, per lo meno temporaneo, svolto dall'umanità nel contesto del finalismo cosmico, è subentrata una nozione di fredda accessorietà. In epoca scientifica, ed ancora fino ad oggi, è invalsa la tendenza a non preoccuparsi di un possibile fine cosmico, che tanto poco avrebbe a che fare con la nostra vita, e probabilmente non prevede alcun ruolo dell'uomo. Come se un problema così definitivo potesse non interessarci, e come se la stessa esistenza di un essere che si interroga sulle possibili finalità del tutto, e la stessa formulazione di un simile problema, non costituissero di per sé, origine stessa della finalità e diritto dell'uomo a considerarsi protagonista nel cosmo.

2.7 Ulteriori letture

Bibliografia

[1] **AA.VV.**

a cura di R.Olby, G.Cantor, J.Christie & M.Hodge

Companion to the History of Modern Science

London, Routledge, 1990

[2] **AA.VV.**

a cura di Senzaki N. & P. Reys

101 storie zen

Milano, Adelphi, 1973

[3] **Bertazzi Gianfranco e Roberto Caimmi**

Cosmo Spazio Tempo

Brescia, Editrice Sardini, 1988

[4] **Böhm Conrad A.**

Le chiavi del cosmo

Padova, Muzzio & C. editore, 1989

[5] **Bouquet Alan**

Breve storia delle religioni
Milano, Mondadori, 1972 (I ed.1941)

[6] **Dampier William Cecil**

A History of Science
traduzione italiana in:
Storia della scienza
Torino, Einaudi, 1953

[7] **Faggiotto Agostino**

Religione e filosofia
Padova, Università di Padova, 1951

[8] **Feuerbach Ludwig**

La morte e l'immortalità
si è consultata l'edizione:
Genova, I Dioscuri, 1990

[9] **Graves Robert**

Greek Myths
traduzione italiana in:
I miti greci
Milano, Longanesi & C., 1955

[10] **Hoover Thomas**

Zen culture
traduzione italiana in:
La cultura Zen
Milano, Oscar Mondadori, 1981

[11] **Kuhn T.S.**

The Structure of Scientific Revolution
Chicago, The University of Chicago Press, 1970 (II ed.)
traduzione italiana in:
La struttura delle rivoluzioni scientifiche
Torino, Einaudi, 1969

[12] **Kuhn T.S.**

The Essential Tension
Chicago, The University of Chicago Press, 1977
traduzione italiana in:
La tensione essenziale
Torino, Einaudi, 1985

[13] **Loria Gino**

Le scienze esatte nell'antica grecia
Milano, Hoepli, 1914

[14] **Migliavacca Roberto**

Storia dell'Astronomia
Milano, Mursia, 1976

[15] **Nietzsche Friedrich**

La gaia scienza
Milano, Adelphi, 1967

[16] **Repellini Ferruccio Franco**

Cosmologie greche
Torino, Loescher, 1980

[17] **Schuon Frithjof**

Dell'unità trascendente delle religioni
Bari, Laterza, 1949

Commenti

[6] Tratta in 800 pagine la storia di ogni branca scientifica dalla preistoria ad Einstein. Si arricchisce inoltre di cenni filosofici ed epistemologici. Il progetto ambizioso rende inevitabile una tendenza *riassuntiva*. Si è trovata particolarmente utile la lettura dei paragrafi dedicati alla evoluzione della specie ed alle civiltà preistoriche.

[13] Un manualetto completo di un migliaio di pagine, utile per consultazione. Viene molto approfondita la parte geometrica.

[16] Un libro esauriente sull'argomento. La nota bibliografica alla fine dell'introduzione è particolarmente accurata e stimolante per approfondimenti specialistici.

Capitolo 3

La Rivoluzione Copernicana

‘La storia della rivoluzione copernicana non è semplicemente una storia di astronomi e di cieli’

Thomas S. Kuhn

3.1 L'epoca dei cambiamenti

Come premessa a questo capitolo e come già anticipato, è opportuno specificare che con il termine *Rivoluzione Copernicana* non si vuole indicare il solo processo che portò Copernico prima, Keplero, Galilei ed infine nella sua sintesi suprema Newton a mutare l'intera visione cosmica dell'umanità. Più in generale, questo termine designerà d'ora in poi la nascita di quella corrente di pensiero, in aperto contrasto con il Principio Antropico, che considera la vita, ed a maggior ragione la vita umana quale sottoinsieme della prima, irrilevante ai fini della struttura e dell'organizzazione dell'Universo. Contestualmente a questa intenzione, è naturalmente sottinteso nel termine il riferimento al profondo rivolgimento che interessò tutto il pensiero erudito del mondo occidentale al termine del secolo *XVI*.

I primi moti di rinnovamento filosofico si erano avvertiti in Italia già attorno al *XV* secolo. In quel periodo storico, che non a caso ha preso il nome di Rinascimento, le arti e la cultura vissero una stagione memorabile. Tra le cause che maggiormente determinarono la meravigliosa fioritura di ricerche scientifiche si possono isolare quelle più determinanti:

1. La crescente urbanizzazione, con il fiorire dei commerci, in particolare quelli marittimi.
2. Il sorgere, decisamente correlato al punto precedente, di nuove tecniche di lavoro.

3. La riscoperta di molte opere dei grandi maestri greci, che erano rimaste sconosciute durante il medioevo.
4. La scoperta di nuove terre, certune chiamate non a caso, *nuovi mondi*, che permisero l'accesso a nuove immense risorse naturali e culturali.

Di certo nel Quattrocento in Europa si cominciò a credere nella possibilità di rinnovare la cultura medioevale, che aveva interamente sottomesso la cosmologia alla tradizione scolastica. La maniera meno rischiosa di farlo era proprio ricorrere alla tradizione dei grandi maestri greci. Alla ricerca di altri modelli culturali, gli umanisti rigettarono l'eredità medioevale, preferendo piuttosto quella classica, identificandosi con i suoi valori. Molte furono le scoperte, anche geografiche, che aprirono vasti orizzonti di nuovi mondi da esplorare. Molti di essi, con tutta la loro testimonianza di cultura e di organizzazione sociale, apparivano radicalmente differenti dal mondo feudale che aveva irretito l'Europa medioevale, e lo scambio culturale permise in molti casi di importare, oltre che merci di ogni tipo, innovazioni tecnologiche e scoperte scientifiche. Molti furono i nuovi uomini che elaborarono un pensiero originale, e spesso alternativo agli insegnamenti della scolastica. Nella speranza di non far torto a nessuno vogliamo citare alcuni personaggi che ci sono sembrati più rappresentativi dello spirito del periodo, in parziale indipendenza dal valore delle loro opere. Spiccano così nomi come quello di Leonardo da Vinci, di William Gilbert, che studiò a fondo i fenomeni elettromagnetici, Nicolò Tartaglia (1500-1557), che risolse l'equazione algebrica di terzo grado. È curioso men-

zionare che in un libro di memorie di Richard Feynman questa scoperta è ricordata come il più grande successo scientifico dell'umanità: per la prima volta dopo gli antichi greci, era stato veramente arricchito il patrimonio culturale del mondo occidentale. Si provava così che non tutto era stato detto dalla civiltà classica, e che molto ancora restava da dire. Vale la pena menzionare anche Simone Stevin, con i suoi studi di statica ed idrodinamica, e nella filosofia Niccolò Cusano (1401-1464), che per primo negò la separazione tra mondo terrestre e celeste, da lui immaginato senza centro e senza confini [Masani, 1980], Giordano Bruno (1548-1600), Tommaso Campanella (1568-1639) e Francesco Bacone (1561-1626), che con coraggio si addentrarono in nuove strade filosofiche. Gigantesco fu in tal senso il contributo di Renato Descartes. Sempre al periodo tra il XV ed il XVIII secolo appartengono i nomi prestigiosi di Pascal, Huygens, Fermat, Gassendi, dei Bernoulli, di Eulero, Boyle, Hobbes, Spinoza, Locke, Leibniz, Cavalieri e Torricelli, oltre naturalmente a quelli per noi più interessanti: Nicolò Copernico (Thorn, 1473 - Frauenburg, 1543), Giovanni Keplero (Weil, Württemberg, 1571 - Ratisbona, 1630), Galileo Galilei (Pisa, 1564 - Firenze, 1642) e Isaac Newton (Woolsthorpe, 1642 - Kensington, 1727).

Più che sull'opera e la figura di Copernico, che propose la teoria matematica dell'universo eliocentrico, è utile soffermarsi sulla figura di Galilei. Questi, infatti, oltre a sostenere vivacemente la teoria Copernicana, è a buon diritto l'autentico fondatore del metodo sperimentale.

Il primo approccio alla matematica di Galileo Galilei fu piuttosto fortuito, visto che il padre lo aveva indirizzato agli studi di medicina.

Il ventenne pisano si avvicinò a questa disciplina per merito dell'amico di famiglia Ostilio Ricci. Quest'ultimo si distingueva per l'alta considerazione in cui teneva il valore pratico degli studi matematici. Questa tendenza fu ereditata dal suo celebre allievo, che, infatti, non darà contributi alla matematica pura paragonabili a quelli portati ad altri campi della scienza. Tra i tanti vale ricordare la sua passione per la strumentazione meccanica, che gli fruttò l'invenzione di un compasso geometrico-militare, oltre a tutta una serie di strumentazioni astronomiche. Anche le sue più geniali considerazioni sugli infinitesimi furono dettate da interessi di carattere più fisico che matematico.

La cultura di Galilei fu dunque arricchita da intensi studi di fisica, che lo portarono a contatto con la cosmologia scolastica, dalla quale fu in principio attratto. Ciò nondimeno la sua attitudine per la sperimentazione e la sua profonda ammirazione per le opere di Archimede, non tardarono a farlo riflettere sulla necessità di riformare gran parte delle astrazioni pure della 'fisica' medioevale. Potremmo dire che i primi studi matematici di Galilei, così improntati alla praticità ed alla concretezza furono fatali alla scolastica medioevale.

Non intendendo esporre qui l'opera di Galilei, ne sottolineeremo lo sviluppo più importante: **la matematizzazione della fisica**. Si tratta in realtà di uno sviluppo affatto nuovo. Il già citato Archimede aveva in tempi antichi fornito meravigliosi esempi di applicazione fisica della matematica; tuttavia i suoi lavori ci sono in parte noti solo per leggenda, come il celebre caso degli specchi incendiari, proprio per una sua certa ripugnanza a considerare le opere fisico-tecniche degne dei più grandi ingegni. Questa ripugnanza al lavoro manuale, o comunque

alla constatazione empirica, era assolutamente consolidata prima della *Rivoluzione Copernicana*; quel fondamentale processo di analisi che Galilei definirà *interrogazione della natura*, risultava inconcepibile alla cultura ufficiale. Inoltre Galilei non era interessato ad una matematizzazione alla maniera Pitagorica, aspirante alla scoperta dell'essenza numerica dei fenomeni naturali; quanto piuttosto ad ottenere dall'analisi empirica deduzioni rigorose, che descrivessero gli eventi riproducibili del mondo naturale.

La vita giovanile di Galilei è ricca di episodi sintomatici del suo carattere ribelle e polemico, da cui certo in futuro non trarrà beneficio per la sua causa. La sua firma comparirà perfino in scritti satirico-polemici sulle rigidità delle convenzioni accademiche del mondo pisano. Certi suoi atteggiamenti non furono affatto condivisi dai suoi colleghi laici. Il progetto galileiano di rendere la scienza di pubblico dominio e interazione costruttiva con altri lati della cultura umana, fu giudicato inutile ed imprudente dallo stesso Keplero. Il grande astronomo tedesco preferiva una diffusione del copernicanesimo ristretta al mondo scientifico, evitando deliberatamente di coinvolgere nel dibattito i non specialisti. [Geymonat, 1957]

Non si può negare che l'opera astronomica di Galilei abbia avuto più l'effetto di una divulgazione dei meriti del modello eliocentrico, che non un reale contributo all'affermazione teorica dello stesso. Infatti, già le opere di Keplero, avevano convinto buona parte degli astronomi professionisti della bontà del sistema copernicano-kepleriano, e presu-mibilmente, anche senza le dimostrazioni visive che il telescopio di Galilei forniva, nel giro di pochi decenni la comunità scientifica

avrebbe completamente assimilato il concetto di un sistema solare in rotazione attorno al sole. Galilei va considerato rivoluzionario più ancora che per convinzioni scientifiche, per la testarda ricerca del mutamento del concetto stesso di indagine scientifica. La sua più grande vittoria sta nel fatto che esso rimane tuttora, in larga misura, quello da lui elaborato.

Nel secolo *XVI* la chiesa aveva dovuto soffrire la proclamazione protestante del libero esame nella interpretazione delle Scritture. Ben presto preoccupazione, diffidenza ed all'estremo atteggiamenti persecutori divennero la risposta stereotipata di fronte a qualsiasi novità. Ed infatti nei riguardi di Galileo si indagò se tenesse relazioni con protestanti o altri personaggi sospetti.[Soccorsi, 1963]

La filosofia naturale di Galileo fu ben presto confutata con molteplici argomentazioni. Esse sono di questo ordine di pensiero: la terra occupa il centro dell'universo; infatti essa è visibilmente il corpo più pesante del creato, gli altri essendo di natura eterea; poiché inoltre l'esperienza ci insegna che i corpi tendono in misura del loro peso a raggiungere quote minori, possiamo dedurre che la terra è il centro dell'universo. La confutazione galileiana di questo pseudo-argomento assume una veste di questo tipo:

1. critica dei concetti di *inferiore e superiore*, cui Egli conferisce significato eminentemente relativo.
2. denuncia della confusione tra centro dell'universo e centro della terra.
3. denuncia del carattere dogmatico dell'ammissione che la terra sia

un corpo più pesante del sole; assunta per intero dall'aristotelismo.

La confutazione delle prove meccaniche addotta dal fisico pisano rappresenta di per sé un esempio di creazione scientifica. Gli aristotelici affermavano che la caduta perpendicolare dei gravi dovesse necessariamente affermare l'immobilità del nostro pianeta. Infatti si argomentava che un sasso lasciato cadere dall'albero di una nave, raggiungerà in buona approssimazione il piede dell'albero quando la velocità dello scafo sia piccola in paragone a quella di caduta, ma quando la prima aumentasse, si osserverebbe di fatto una retrogradazione del punto di caduta. Il *navilio* infatti scorrendo sulle onde sopravanzerebbe il grave in misura proporzionale alla sua velocità. Un simile effetto si dovrebbe osservare anche per la caduta di gravi terrestri. Galileo oppone a simili argomentazioni quello che oggi chiamiamo il:

Principio di Relatività Galileiano

Esperienze meccaniche compiute all'interno di un sistema,
non sono sufficienti a stabilire se esso sia in quiete o in
stato di moto rettilineo uniforme.

Al di là dell'interesse fisico di questo assunto, assolutamente evidente in tutta la sua portata storica, è grandemente innovativa la risposta di Galileo: l'esperienza suggerita dai suoi avversari è falsa; costoro non si erano minimamente preoccupati di verificare i loro asseriti, per questo, e non tanto per l'errore fisico, non meritavano che derisione o sdegno per falsità.

In realtà nel Dialogo Sopra i Due Massimi Sistemi Galilei aveva trovato, ed esposto con encomiabile spirito scientifico, una controprova, ancora più convincente per il suo carattere paradossale. Egli intuì che un grave nella sua caduta doveva sopravanzare il piede della verticale. Si tratta, in pratica, dell'effetto oggi noto come deviazione di Coriolis. Purtroppo l'astronomo pisano non ne misurò sperimentalmente l'effetto, ed inoltre non apprezzò abbastanza la portata del fenomeno, che avrebbe potuto essere risolutivo per la contesa circa la rotazione della terra attorno al suo asse.

È utile accennare ora agli indirizzi interpretativi della metodologia scientifica di Galilei. Si tende a delineare sull'argomento un duplice indirizzo. Da un lato ci sono i cultori di un'interpretazione *tecnico-sperimentale* della metodologia in questione; dall'altro i cultori di un'interpretazione più platonica, ove il cosmo è il *gran libro della natura che è scritto in linguaggio geometrico*. La tendenza *platonica* dell'epistemologia galileiana è evidenziata da Alexandre Koyré. Ludovico Geymonat sembra più incline a considerare determinante l'innovazione tecnico-pratica del fondatore della scienza moderna. [Geymonat, 1957] Non è facile individuare quale delle due scuole di pensiero interpreti meglio la visione cosmica di Galilei, di certo **Egli pensava che Dio si rivela nell'azione della natura, meglio ancora che nelle parole della Bibbia.** [Seeger, 1966] In questo senso la sua opera, oltre che costituire a ragione il fondamento della fisica moderna, pone le basi anche delle successive considerazioni antropiche, nella misura in cui intuisce nell'**ordinamento fisico** del Cosmo la sua stessa *rivelazione*.

3.2 Copernicanesimo come nuova scienza

Nel 1642 nasceva Isaac Newton, nello stesso anno era scomparso Galileo Galilei, quasi a testimoniare un simbolico passaggio del testimone tra i due uomini che più hanno favorito la nascita della scienza moderna. Come già ricordato, non mancarono in quel periodo altri personaggi che contribuirono all'instaurarsi del pensiero scientifico così come noi lo abbiamo ereditato. Abbiamo preferito soffermarci, in questa sintetica rincorsa al principio antropico dalle soglie della storia ai giorni nostri, sulla figura di Galilei e di Newton. Fu l'opera di questi personaggi, contrariamente alle loro intenzioni, che più vinse la resistenza dell'uomo a ritenersi privilegiato nel grande disegno cosmico che si realizzava attorno ad essi.

Il capolavoro di Newton è notoriamente i *Philosophiae naturalis principia mathematica*, che oltre all'*Ottica*, ed ai vari trattati di chimica e di analisi infinitesimale, costituisce il fulcro della sua opera. Nei *Principia* Newton enuncia i tre principi della dinamica che portano il suo nome, per quanto i primi due fossero in parte noti. Egli deduce inoltre le tre leggi di Keplero dalla sua teoria della gravitazione universale, con tale ipotesi lega la forma delle orbite planetarie all'attrazione terrestre, oltre a spiegare l'incomprensibile fenomeno delle maree: l'unificazione dell'universo fisico sembrava definitivamente compiuta. I corpi celesti, considerati dagli antichi astronomi incorruttibili, si limitavano ad obbedire alle medesime leggi dei fenomeni terrestri.

Invero già nel 1666 Giovanni Borelli aveva arguito la necessità di una

forza centripeta o attrattiva che contrastasse la forza centrifuga incontrata dai pianeti nelle loro orbite; ribadiamo che l'autentica grandezza dell'intuizione di Newton sta nell'aver abbracciato, con una sola formula, la forza che mantiene i pianeti nelle loro orbite e quella che fa cadere i gravi sulla terra. Eppure la spiegazione newtoniana della gravitazione universale non è interamente meccanica; se il pianeta non possedesse una velocità iniziale esso 'cadrebbe verticalmente' verso il sole. Newton ammise, fedelmente alla sua immagine di un cosmo retto dalla provvidenza divina, che, nel suo atto creativo, la divinità avrebbe trasmesso la giusta velocità iniziale ai pianeti. Appena un secolo più tardi, in pieno Illuminismo, Laplace avrebbe tentato una spiegazione meccanicistica della stessa velocità iniziale, ipotizzando la formazione del sistema solare a partire da un nube rotante primordiale.

La principessa Cristina di Svezia, già protettrice di Cartesio, intuì un potenziale pericolo, ed espresse in più occasioni la sua disapprovazione ai *Principia*, sostenendo che la filosofia derivante dalle concezioni Newtoniane era materialista e sovversiva. Ella paragonava il Dio di Newton ad un super-meccanico che aveva creato un universo instabile, dovendo continuamente correggere i suoi errori. In realtà l'idea dell'universo che Newton aveva maturato nei suoi studi, era quella di una mirabile macchina creata da un Dio personale e spirituale che aveva anche ordinato le leggi naturali alle quali essa doveva ubbidire. [Da Costa Andrade, 1965] In questo stesso quadro si inserisce il concetto newtoniano di spazio e tempo assoluto, ognuno esistente in sé, senza relazione a qualcosa di esterno, se non, probabilmente alla stessa divinità ordinatrice. La stessa gravitazione universale non risulta mediata da agenti che la trasportano

nello spazio, è al contrario istantanea e a distanza. In definitiva la forza di attrazione gravitazionale, così come la intendeva Newton, è un autentico mito scientifico. Ciò che la distingue dai miti prescientifici, è la quantificazione numerica cui la nuova figura di filosofo (la scienza al tempo si chiamava ancora filosofia naturale) sottopone le sue asserzioni. Ecco perché l'aspetto sperimentale assume un ruolo primario nella rivoluzione scientifica; ed è per lo stesso motivo che non si può prescindere dall'apprezzare il ruolo preparatorio dei generali mutamenti sociali, culturali, o geografici, che hanno seguito il medioevo.

Newton si era posto il problema dell'origine della gravità ed aveva cercato l'agente vitale dell'universo nell'alchimia, in particolare in un fantomatico spirito mercuriale che avrebbe dovuto risolvere il problema dell'azione a distanza non mediata. [Dobbs, 2002] Egli avvertiva dunque l'incompletezza della sua linea di ragionamento; se riusciva a calcolare con estrema precisione il moto dei pianeti, nello stesso tempo non chiariva il significato della forza gravitazionale. È sicuramente legittimo osservare che Newton calcolava tutto ma non spiegava niente. Come acutamente osserverà Mach: nella dinamica newtoniana la forza è definita come un ente capace di generare un'accelerazione, nel contempo l'accelerazione è una variazione del moto causata da una forza.

Newton elaborò anche una sua personale visione teleologica, armoniosamente coerente con la sua opera e con la storia dell'uomo, da lui a fondo studiata. Quando il mondo era giovane, e Newton reputava l'universo vecchio di poche migliaia di anni, le leggi fisiche dovevano essere nascoste all'uomo, avvolte dall'imperscrutabilità divina nell'*era dei miracoli*. La scienza, svelando questo disegno, diveniva uno dei prin-

cipali sussidi della religione. Per ironia della sorte, invece, l'eterodossia religiosa di Newton non ebbe alcuna risonanza, anche perchè il celebre scienziato inglese si guardò bene dal darle troppa visibilità, preoccupato e paranoico come era per ripercussioni delle autorità religiose dell'epoca. Al contrario il suo lavoro scientifico aveva gettato le fondamenta di una concezione fermamente materialista, che risolveva l'intero essere in termini di fenomeni meccanici.

È innegabile che Newton si sia interessato appassionatamente di questioni religiose. Il matematico John Craig, suo biografo, affermava che si interessò molto più a quest'ultime che a questioni scientifiche. Craig sosteneva addirittura che lo scienziato inglese mise in luce gli errori della teoria cartesiana proprio perché la riteneva un invito alla miscredenza. Molte sono infatti le opere di carattere teologico e cronologico che Newton scrisse. Tra esse un libro sulla cronologia *Chronology of the Ancient Kingdoms Amended*, ed altre pubblicazioni come *Observations on the Prophecies of Daniel and the Apocalypse of St. John* e poi *Historical Account of two Notable Corruptions of the Scriptures*, entrambe postume. È curioso ricordare che nei suoi studi di cronologia fissò la data della spedizione degli argonauti in Grecia nel 937 a.C. mentre modernamente la si pensa essere avvenuta nel 1469 a.C. Queste sue elucubrazioni ne fanno emergere l'impronta di scienziato eterodosso e di intellettuale attento al quadro d'insieme della realtà universale. Di certo, sebbene Newton abbia scritto tanto sul piano religioso, Egli non sospettò mai che la sua filosofia naturale avrebbe potuto sortire effetti negativi sulla religione e sulla fede cristiana. [Da Costa Andrade, 1965] Al contrario, Egli sentiva la propria visione scientifica come un inno

alla creazione.

Con Newton il copernicanesimo divenne ufficialmente ed in via definitiva una nuova scienza; in breve l'intera visione filosofica e cosmologica del mondo occidentale sarà sconvolta da un turbamento esistenziale. La quiescenza dottrinarica del medioevo scomparirà per sempre, demolita da uno spirito rinnovatore che troverà il coraggio di mettere tutto in discussione, senza l'ossessione di autorità infallibili. Di rimando, questo spirito si rivelerà frequentemente avventato e superficiale, e genererà perversioni non sempre improduttive, ma fortunatamente ormai vinte: come il determinismo meccanicista.

3.2.1 Il determinismo meccanicista

Napoleone: Newton ha parlato di Dio nel suo libro. Ho già sfogliato il vostro e non ho trovato questo nome una sola volta.

Laplace: cittadino Primo Console, non ho avuto bisogno di questa ipotesi.

Dialogo seguente alla presentazione della Exposition du systeme du monde di Laplace.

Dalla rivoluzione scientifica che si era affermata a partire dal Rinascimento il pensatore del secolo dei lumi erediterà un'immagine del mondo fondata essenzialmente sugli assunti della metodologia galileiana: **la natura è ordinata oggettivamente e causalmente**; in essa gli eventi si ripetono identici, a parità di condizioni iniziali, secondo regole determinate, ricavabili sperimentalmente ed estrapolando i risultati a disturbo ambientale nullo. Con la spersonalizzazione della natura si erano eliminati i magici rapporti di 'antipatia' o 'simpatia' degli elementi, che prima agivano secondo l'arbitrio delle divinità, a favore dei loro protetti. La natura è inoltre **un sapere matematico e sperimentale**; ossia le suddette leggi, ricavabili dall'esperienza intersoggettiva, sono esprimibili in caratteri matematici. Grazie a simili fondamenta il metodo scientifico apparirà presto universale e ammirevolmente rigoroso anche ai filosofi. Uno dei principali temi della battaglia illuministica contro l'ignoranza sarà proprio quello della scienza come conoscenza vera e socialmente utile.

In generale gli illuministi non avevano aderito propriamente al materialismo, ma avevano ammesso la possibilità che la materia fosse stata in alcuni casi animata da Dio, e avesse ricevuto la qualità primaria del pensiero. La tesi più estrema e drammatica del pieno materialismo, ossia la convinzione che nell'universo agisca una sola causalità, quella della materia, fu appoggiata, in pieno Illuminismo, solo da La Mettrie, D'Holbach, Helvétius e in parte da Diderot. Tuttavia il secolo *XVIII* fu dominato da una corrente decisamente meccanicistica, infatti in riferimento alla natura non vivente il meccanicismo fu sostenuto da pressoché tutti i filosofi dell'epoca, in alternativa sia alla fisica scolastica che alle credenze magiche che erano fiorite durante il Rinascimento, entrambe colpevoli di animismo ed antropomorfismo.

Il meccanicismo riduce la realtà fisica a materia e movimento. Quando questa riduzione è integrale si parla di materialismo; si parla di meccanicismo non materialista se, al contrario, l'essenza della psiche umana è esonerata dalle rigide regole che governano la materia, come nel razionalismo cartesiano. La corrente che ha dominato la cultura europea dal *XVII* al *XIX* secolo è invece il determinismo meccanicista. Dal punto di vista più tipicamente scientifico il determinismo trova la sua più rappresentativa espressione nell'opera del matematico ed astronomo francese Pierre-Simon de Laplace. Questi fu uno dei primi studiosi ad affrontare il problema della probabilità, in particolare nel suo *'Saggio filosofico sulle probabilità'* si applicano nozioni probabilistiche allo studio dei fenomeni naturali. L'introduzione del concetto di probabilità in un'epoca dominata dalla meccanica newtoniana e gravida di fondamentali sviluppi matematici, costituiva un apparente paradosso. Fu proprio

Laplace che chiarì il ruolo della teoria della probabilità in fisica, rassicurando i suoi contemporanei (troppo) fiduciosamente deterministi, che i limiti euristici dell'impostazione probabilistica della fisica erano da imputarsi esclusivamente a fattori umani. Tali limiti riflettevano dunque una nostra ignoranza, e una mente infinita non vi sarebbe soggetta. La nostra incapacità di prevedere il risultato del lancio di un dado, si limiterebbe alla valutazione scorretta delle condizioni iniziali, e al più ai nostri limiti di calcolo. Il ragionamento di Laplace consisteva in qualcosa di simile: sarebbe concettualmente possibile descrivere illimitatamente l'evoluzione temporale di un fenomeno, se solo fossero date, ad un certo istante, le posizioni di tutte le particelle interessate e di tutte le forze che agiscono su di esse. La possibilità reale essendo limitata esclusivamente dalla potenza di calcolo dell'osservatore e dall'influenza di agenti estranei non sempre umanamente determinabili. È ovvio che estrapolando tale concetto all'intero universo si perviene ad una conclusione di portata generale: **note, con assoluta precisione, le condizioni iniziali di ogni particella esistente, e nota l'entità di tutte le forze in gioco, ogni evento della storia universale sarebbe perfettamente descrivibile, ogni evento futuro prevedibile.** Questo risultato, oltre alla valenza epistemologica di assoluta fede nei metodi scientifici del tempo, comporta conseguenze opinabili anche su un piano propriamente fisico:

- postula l'illimitata validità temporale delle leggi fisiche, mentre non azzarda alcuna ipotesi sulla natura o l'origine di tali leggi.
- fa collassare l'intera vicenda cosmica in un punto: quello iniziale.

Se esso viene estrapolato a domini diversi da quello scientifico le conseguenze sono ancora più drastiche:

- limita l'onnipotenza divina.
- esclude il libero arbitrio dell'uomo.

Nonostante queste limitazioni, e le prime due sono decisamente obiettive, il determinismo meccanicista, così come lo aveva inteso Laplace, monopolizzò la cultura di buona parte del *XVIII* e *XIX* secolo.

3.3 L'uomo perde il suo trono

A queste piagge venga colui che d'esaltar con lode il nostro stato ha in uso, e vegga quanto è il gener nostro in cura all'amante natura. E la possanza qui con giusta misura anco estimar potrà dell'uman seme, cui la dura nutrice, ov'ei men teme, con lieve moto in un momento annulla in parte, e può con moti poco men lievi ancor subitamente annihilare in tutto. Dipinte in queste rive son dell'umana gente le magnifiche sorti e progressive.

Giacomo Leopardi - La Ginestra

La cultura scientifico-filosofica, (almeno quella ufficiale e prescindendo da non troppo fortunate correnti vitalistiche e spiritualiste che si sono alternate nel corso del Novecento), è stata dominata per tutto il corso della rivoluzione scientifica, e sino ai nostri giorni, da un'accesa convinzione del ruolo marginale ed accessorio dell'uomo in un quadro cosmico immenso, del tutto indifferente al destino ed al significato della vita. Non vi è dubbio che in taluni periodi storici la scienza sia stata considerata da molti una nuova religione, l'unico credo che potesse svelare la verità. L'antropocentrismo è insito forse negli stessi fondamenti

biologici della conoscenza, ed il suo allontanamento è stato tanto più convincente ed acclamato quanto più è costato all'orgoglio dell'uomo. È pertinente ricordare che, in fondo, nella vita di tutti i giorni, siamo in genere tutt'altro che coerenti a questi presupposti. Ognuno di noi conserva in fondo il convincimento, o forse la consapevolezza, di appartenere ad un genere privilegiato; quanto meno, in termini strettamente naturalistici, per intelligenza e creatività. Invero, neanche le filosofie materialiste, come almeno il materialismo storico con la sua fiducia nella natura messianica della storia, o il materialismo dialettico con la sua fiducia *in una società ideale*, hanno perso di vista il valore dell'uomo.

Per quanto frenato nelle sue conseguenze più autodistruttive, l'antropocentrismo ha comunque dominato il pensiero moderno. Al più per non esprimersi si è preferito tacere o disinteressarsi del tema della Creazione, del finalismo cosmico, della posizione dell'uomo nel contesto cosmico. Una soluzione spesso adottata è quella dell'agnosticismo; strumento utile ed intelligente quando si tratta di proseguire nel cammino tecnologico dell'umanità, ma insignificante quando gli interrogativi si spostano sul piano euristico e dei significati. Tornando alla nostra brevissima sintesi della storia del pensiero umano, in riferimento al Principio Antropico, si deve notare che durante il Rinascimento l'uomo si era trovato, come nel Medioevo, ma per opposti motivi, al centro del Cosmo, proprio in virtù della 'spersonalizzazione' di quest'ultimo.

A voler meglio comprendere questa apparente contraddizione, va stigmatizzata la rinnovata valorizzazione della complessità umana nei confronti di un ambiente esterno che sembrava ora più comprensibile e

meno misterioso. È in questo ambiente che l'uomo diviene “*faber fortunae suae*” e, citando Gentile, “. . . il **punto di vista** ¹ umano diventa punto di vista naturale o cosmico . . .” Nel corso di quattro secoli densissimi di scoperte scientifiche l'uomo si è visto invece lentamente privare della sua collocazione centrale, astronomicamente e metaforicamente, nel Cosmo. Si è visto poi sottrarre il diritto al libero arbitrio, dal determinismo laplaciano ad esempio, o da Freud; diritto poi parzialmente restituito dalla stessa neurobiologia moderna. Ma soprattutto, assieme a tutto il resto, ha rischiato che gli fosse sottratto il suo stesso elemento caratterizzante: la coscienza. Questa è stata fatta oggetto delle attenzioni di quanti la volevano ridurre ad un naturale composto chimico, di notevole complessità. Come se l'illusione della realtà non fosse essa stessa una realtà, o come se alla coscienza fosse possibile dimostrare la sua non esistenza. Eppure già Cartesio ci aveva insegnato che lo stesso dubitare di esistere ci conferma la nostra esistenza. Durante il secolo passato ‘*l'onda sinusoidale*’ dell'antropocentrismo ha toccato il fondo (in condizioni di antropoeccentrismo, come è stato chiamato in precedenza), tuttavia negli ultimi decenni dello stesso secolo, si è sviluppata una corrente di pensiero vicina al principio antropico, essa potrebbe invertire la tendenza ancora una volta.

Alla fine del secolo XVIII l'uomo aveva comunque perso il suo trono. Ci piace pensare che, con la sublime descrizione della subdola ‘*chimica dei sentimenti*’ ne ‘*Le affinità elettive*’, il romantico Goethe abbia testimoniato il dramma ed il disorientamento del genio di fronte all'usurpazione della dignità dell'uomo.

¹grassetto non originale, aggiunto dallo scrivente

3.4 Ulteriori letture

Bibliografia

[1] **Abbagnano Nicola**

La Sagghezza della filosofia
Milano, Rusconi, 1987

[2] **Monod Jaques**

Chance and necessity
New York, Knopf, 1971
Originale: *Les hasard et la nécessité*, 1970
traduzione italiana in:
Il caso e la necessità
Milano, Mondadori, 1970

[3] **More Louis Trenchard**

Isaac Newton
New York, Dover Publications, 1984

Capitolo 4

La riscoperta del Principio Antropico

4.1 Il criticismo Kantiano

Nonostante le temporanee vittorie di cui si è parlato nel capitolo precedente, il meccanicismo cominciava a mostrare i suoi punti deboli già assai prima della nascita della meccanica quantistica. Uno dei grandi sostenitori del meccanicismo newtoniano è stato senza dubbio Immanuel Kant. È d'obbligo, in tal senso, menzionare la sua opera del 1755, la *'Storia naturale universale e teoria dei cieli'*, in cui avanza la rivoluzionaria ipotesi sulla cosmogonia del sistema solare. Si è già accennato a questa ipotesi, a proposito di Laplace che la riprese nel 1796, con la sua *'Esposizione del sistema del mondo'*. Quello che caratterizza l'autore delle tre famose *critiche*, e che in un certo senso lo propone come l'ultimo degli illuministi ed il primo dei romantici, è l'introduzione del concetto di finalità, notoriamente morale nelle conclusioni di Kant. In tale maniera la natura meccanica dei fenomeni non limitava, essendone al più un veicolo, la spiritualità del creato. L'essenza profonda delle cose, per il pensatore di Königsberg, consisteva in un ordinamento trascendente, quello della *cosa in sé*, il *noumeno* kantiano. La natura trascendente doveva essere irraggiungibile per la coscienza umana, se non sotto forma di superiore intuizione artistica o religiosa.

La profonda fiducia nella giovane e vincente scienza newtoniana era limitata per Kant alla natura empirica delle cose, e non ascrivibile alle cose in sé, essendo filtrata dalle categorie dell'intelletto, quali lo spazio ed il tempo. Questa avventata fiducia è testimoniata nella prefazione della *Critica della Ragion Pura*, ove si os-

serva che la metafisica non può essere né scienza né verità attendibile, essendo un continuo campo di lotta; anche se adottando questo criterio oggi, visti i profondi dissidi su molte delle teorie portanti delle discipline fondamentali, poche di esse potrebbero rimanere scienza: forse la sola matematica!

È evidente comunque che Kant non immaginava che la scienza settecentesca avrebbe potuto essere invalidata. In realtà essa era destinata ad essere rinnovata alle fondamenta nel giro di poco più di un secolo.

Di certo la così stretta adesione kantiana alla fisica sua contemporanea, si è rivelata un'arma a doppio taglio, poiché nel mentre era stata l'intuizione fondamentale del rinnovamento filosofico e dell'originalità di pensiero del filosofo tedesco, ne aveva nel contempo indissolubilmente legato le fortune a quelle della teoria di Newton, ed in particolare a quelle della interpretazione assoluta di spazio e tempo.

Ciò che tuttavia resta immortale nell'opera di Kant, è la contemporanea valorizzazione dell'ordine naturale descritto dalla scienza galileiano-newtoniana, e dell'ordine formale imposto dalla mente umana alla natura. Mentre lo scetticismo di Hume suggeriva che, da un momento all'altro, l'esperienza potesse smentire la verità su cui si regge la scienza, Kant stabiliva che l'esperienza, essendo condizionata dalle categorie dell'intelletto, non potrebbe smentirne i principi assiomatici. In tal modo le leggi della natura si propongono come le condizioni stesse di ogni esperienza possibile. Ecco dunque l'originalità del copernicanesimo filosofico di Kant, anziché cercare in Dio la garanzia ultima della conoscenza, Egli la scopre nella mente stessa dell'uomo. Kant ha aperto le porte ad una più vasta comprensione del ruolo dell'uomo, pur in un contesto coper-

nicano e moderno, l'ultimo degli illuministi doveva essere il primo dei romantici. È davvero singolare notare che il primo ad usare in senso lato il termine *Rivoluzione Copernicana* fu proprio Kant, che tra l'altro la usò in senso opposto a quello astronomico, ossia coniò tale espressione per significare che il suo modo di intendere la conoscenza poneva l'uomo al centro dell'intelletto, l'uomo conteneva in sé le forme a priori del pensiero per intendere la realtà e non il contrario, era a tutti gli effetti un piccolo incipit di Principio Antropico.

Barrow e Tipler osservano [Barrow & Tipler, 1986] in più punti che la descrizione dei fenomeni naturali è esponenzialmente semplificata dall'introduzione di concetti simbolici od analogici; l'indagine analitica sarebbe invece, in questo senso, sinonimo di riduzionismo. Se, ad esempio, dovessimo descrivere in termini biologici, od addirittura fisici, la genesi di un pulcino a partire da un uovo di gallina, senza tener conto del fine di questa trasformazione, la nostra conoscenza dei meccanismi riproduttivi degli ovipari sarebbe limitatissima. In altri termini le nostre osservazioni sarebbero di questo tipo: dopo x giorni dalla deposizione, la temperatura dell'uovo fecondato è y , il colore del tuorlo è . . . , la composizione interna è del $z\%$ di grassi e così via; dopo un certo numero di giorni di cova c'è la schiusa, e poi . . . *hypotheses non fingo*. Ben diverso è cominciare le nostre indagini con la consapevolezza dello scopo, insomma partire dalla fine, tenere presente che il risultato osservato è la nascita del pulcino. La consapevolezza teleologica, in contrapposizione al riduzionismo meccanicistico, offre un'enorme potere di sintesi, al punto che credo si possa osservare che la differenza tra intelligenza umana ed intelligenza artificiale consiste proprio nell'elaborazione *ana-*

logica e sintetica della prima, contro quella *sequenziale ed analitica* della seconda. In definitiva se ci fermassimo ad un'interpretazione meccanicoriduzionistica della natura limiteremmo il nostro potere intellettuale a quello di un robot, per quanto evoluto e sofisticato. Questo è, al di là della metafora, quanto Kant aveva capito, aprendo così la strada al più fiero antagonista del determinismo meccanicista: l'idealismo tedesco, che può essere visto come l'autentico precursore, in campo speculativo, delle odierne tematiche antropiche.

Quando Galilei fece rotolare le sue sfere su di un piano inclinato con un peso scelto da lui stesso, e Torricelli fece sopportare all'aria un peso che egli stesso sapeva già uguale a quello di una colonna d'acqua conosciuta fu una rivelazione luminosa per tutti gli investigatori della natura. Essi compresero che la ragione vede solo ciò che lei stessa produce secondo il proprio disegno, e che essa deve costringere la natura a rispondere alle sue domande; e non lasciarsi guidare da lei, per dir così, colle redini; perché altrimenti le nostre osservazioni, fatte a caso e senza un disegno prestabilito, non metterebbero capo a una legge necessaria. [kant, 1787]

Concludiamo qui il nostro percorso di ricostruzione storica per cercare le origini gnoseologiche del Principio Antropico. Una ragionevole sequenzialità di esposizione dovrebbe infatti farci ora approdare negli insicuri lidi delle correnti filosofiche dell'Idealismo e negli infiniti rivoli delle filosofie moderne, approdo che non è oggetto di questa tesi. Ci è infatti sufficiente osservare che: isolando il nostro interesse al solo WAP, non è neanche necessario pensare ad un cambiamento di paradigma rispetto alla stessa Rivoluzione Copernicana.

Addirittura *WAP*, come osservato da Barrow e Tipler, può essere considerato la naturale conseguenza del Principio Copernicano, non contraddicendone gli assunti fondamentali. La versione debole del Principio Antropico tende ad isolare la selezione antropocentrica dalle caratteristiche osservate del cosmo. Lo stesso Principio Copernicano può essere visto come una forma di applicazione del Principio Antropico Debole, dal momento in cui spiega il moto dei pianeti assumendo che le nostre osservazioni siano condotte da un punto di vista alterato dal moto stesso dell'osservatore. In questa materia il moto retrogrado dei pianeti, che prima aveva costretto gli astronomi ad introdurre gli epicicli, è spiegato dal moto stesso dell'osservatore terrestre, che in taluni casi sopravanza quello del pianeta. [Barrow & Tipler, 1986]

La versione forte del Principio Antropico, il cosiddetto *SAP*, non si può invece inserire così facilmente nel contesto della filosofia ufficiale post-copernicana. Per trovarne sostenitori bisogna appunto rivolgersi all'Idealismo tedesco dell'Ottocento. Almeno come corrente di pensiero unitaria, poiché non è poi certo difficile trovare, in ogni periodo storico, seguaci isolati di un finalismo della natura, che trovi realizzazione anche nella struttura fisica dell'essere. Rimanendo in campo scientifico, in passato come in parte già mostrato, l'opera di molti ricercatori ha palesemente svelato la loro disperata volontà di trovare nella metafisica la naturale origine delle proposizioni fisiche. L'esempio più rilevante di questa ossessiva ricerca sono i citati studi newtoniani di cronologia. Si possono comunque rinvenire molti altri esempi in campo scientifico: le più significative sono probabilmente la scoperta della circolazione sanguigna da parte di Harvey, e l'evoluzionismo darwiniano,

entrambe scoperte ispirate ad un principio finalistico. Tra le prime intuizioni filosofiche del Principio Antropico si possono invece invece annoverare la filosofia dell'idealista tedesco Schelling nel *XVIII* secolo, quella dell'inglese Alexander nel *XX* secolo, e la teleologia di Teilhard de Chardin.

4.2 Prime intuizioni del Principio Antropico

La prima apparizione di idee dirette progenitrici di *A.P.* in forma moderna è intimamente connessa alle osservazioni di Dirac ed Eddington sui *grandi numeri* dei primi decenni del XX secolo, tema che sarà specifico oggetto del capitolo VI.

Un articolo che ravviva il dibattito è quello di Dicke del 1961 [Dicke, 1961], in cui per la prima volta viene usato il Principio Antropico Debole per ottenere una inferenza scientifica, anzi possiamo ben dire che di fatto per la prima volta, per quanto non fosse menzionato e neanche fosse ancora enunciato, si fa riferimento in letteratura scientifica al Principio Antropico. Esso sarà invece definitivamente enunciato da Brandon Carter solo nel 1973 [Cart, 1973]. Dicke calcolò, in via approssimativa, il tempo T della Storia del Cosmo, compatibile con la vita intelligente. Assumendo ragionevolmente che esso debba coincidere con il tempo di vita delle stelle della sequenza principale, e stimando il tempo di esaurimento medio del loro combustibile nucleare; questi passaggi saranno mostrati con dettagli matematici nel capitolo VI.

Già nei primi anni 50 del secolo passato Fred Hoyle [Hoyle, 1959] aveva osservato che la natura avrebbe dovuto prodursi in una impressionante serie di coincidenze per produrre la vita. Il contributo dello stesso Hoyle a questo tema è stata la memorabile previsione del livello di risonanza negli atomi di ossigeno e carbonio, senza il quale la nucleo-sintesi stellare del carbonio non sarebbe possibile, come spiegato in maggior

dettaglio nel capitolo V.

Le premesse per una piccola rivoluzione, che possiamo chiamare Rivoluzione Antropica, erano state poste: nella descrizione scientifica del Cosmo si deve tenere conto della presenza dell'uomo, inteso come essere intelligente, e generalizzato quale *Osservatore*. È suggestionante evidenziare l'analogia con una ben più radicale Rivoluzione Scientifica, la Meccanica Quantistica, che già all'epoca aveva ormai convinto tutti, della imprescindibilità del ruolo dell'osservatore, non solo nell'osservazione, ossia nei limiti classici, estrinseci degli strumenti di misura, bensì anche nell'osservabile stesso, ossia nei limiti intrinseci (per la misura si rende indispensabile una interazione tra osservatore e osservabile) della natura dell'osservazione. La Meccanica Quantistica moderna ha viepiù esteso questo limite, e, almeno per la corrente di pensiero che ha finito con il prevalere, la cosiddetta *Scuola di Copenaghen*, la succitata imprescindibilità va estesa anche al *Non Osservabile*, ossia alla natura intrinseca dell'osservabile stesso! Questa ultima interpretazione è sintetizzabile con il *Principio di Complementarietà di Bohr*, ed è avvalorata dalle conferme sperimentali dell'esistenza del Paradosso di Einstein-Podolsky-Rosen, che lungi dall'ottenere l'effetto sperato dagli autori che lo avevano teorizzato, in realtà sembra dimostrare la violazione del principio di località. Una traccia di questa fascinosa tematica si può ritrovare nella Teoria dei Multiverso e nel Principio Antropico Partecipatorio *P.A.P.*, del quale abbiamo accennato nell'introduzione di questa tesi; esso sarà enunciato assieme alle altre versioni del Principio Antropico alla fine del prossimo capitolo.

4.3 Ulteriori letture

Bibliografia

[1] **Jacob Francois**

La Logique du vivant
Paris, Gallimard, 1970

[2] **Kant Immanuel**

Critica del giudizio
si è consultata l'edizione:
Bari, laterza, 1989

[3] **Schopenhauer Arthur**

Aforismi sulla saggezza del vivere
si è consultata l'edizione:
Milano, Mondadori, 1987

[4] **Tolstoy Lev Nikolaevič**

Le Confessioni
si è consultata l'edizione :
Milano, Rizzoli, 1979

[5] **Abbagnano Nicola**

Introduzione all'esistenzialismo
si è consultata l'edizione:
Milano, Mondadori, 1989

[6] **Abner Shimony**

The Reality of the Quantum World
Scientific American, **vol.258**, Gennaio 1988

[7] **Agno Mario**

The complex and difficult relations
between science and reality
Rivista di storia della scienza, **Vol.3**, 1986, 429-446

[8] **Eco Umberto**

I limiti dell'interpretazione
Milano, Bompiani, 1990

[9] **Cini Marcello**

The Context of Discovery and the Context of
Validation
Rivista di Storia della Scienza, **Vol.2**, 1985, 99-122

[10] **Giorello Giulio e Perruca Mariella**

Strain of Imagination
Rivista di Storia della Scienza, **Vol.1**, 1984, 279-305

[11] **Gloess Paul Y.**

Artificial Intelligence
Sherman Oaks, Alfred Publishing, 1981

[12] **Hofstadter Douglas**

Gödel, Escher, Bach
Milano, gli Adelphi, 1990 (I ed. 1979)

[13] **Huxley Aldous**

Le porte della percezione
si è consultata l'edizione:
Milano, Mondadori, 1980

[14] **Kastler Alfred**

Questa strana materia
si è consultata l'edizione:
Milano, Mondadori, 1977

[15] **Prigogine Ilya**

Dall'essere al divenire
Torino, Einaudi, 1986 (I ed. 1978)

Commenti

[7] Articolo in lingua inglese, scritto da un biologo di fama. È interessante l'analisi epistemologica, ed il tentativo di non creare una frattura

eccessiva, tentazione frequente tra i ricercatori, tra pensiero comune e pensiero scientifico.

[8] Interessante soprattutto la parte relativa alla semiotica

Capitolo 5

Il Principio Antropico Cosmologico

‘Devi osare di sapere’

Immanuel Kant

5.1 La cosmologia moderna

La cosmologia razionale è stata introdotta per la prima volta da Christian Wolff (Breslavia, 24 gennaio 1679 - Halle sul Saale, 9 aprile 1754), che coniò per la prima volta il termine *cosmologia*. L'opera di questo grande giurista e filosofo tedesco influenzò Kant, suo più giovane contemporaneo, che non a caso abbiamo posto, nel capitolo precedente, a cardine del nostro passaggio dalla ricerca storico-filosofica a quella scientifica. Il 1917 è l'anno di nascita della cosmologia moderna, difatti essa si basa primariamente sulla teoria della relatività generale. L'assunto di base di quest'ultima è che la struttura dello spazio-tempo sia determinata dalla distribuzione delle masse materiali e dei termini energetici presenti in esso. La teoria della relatività generale è lo strumento naturale per estendere l'esplorazione della realtà fisica alla totalità dell'universo; in effetti la famosa memoria di Einstein *Kosmologische Betrachtungen* (Considerazioni Cosmologiche), che segna la nascita della cosmologia moderna, fu pubblicata a poco più di un anno di distanza dalla formulazione definitiva delle equazioni gravitazionali, ottenuta da Einstein nel 1915, e pubblicata alcuni mesi dopo. [Einstein, 1916]

Le prime idee cosmologiche di Einstein furono influenzate dal *principio di Mach*. Tale assunto, dovuto al fisico omonimo, imputava l'inerzia dei corpi al concorso di tutte le masse esistenti nell'universo. Nella relatività generale il campo gravitazionale è descritto dalla *metrica dello spazio-tempo*, ossia dai coefficienti g_{ik} , che definiscono l'intervallo spazio-temporale. Einstein tradusse l'idea di Mach assumendo i coeffi-

cienti g_{ik} completamente determinati dalla distribuzione di massa-energia dell'universo.

La memoria di Einstein fu seguita immediatamente da un'altra non meno famosa dovuta all'astronomo olandese Willem de Sitter. In proposito si sviluppò una vera e propria controversia tra i due. [Kersberg, 1989]

Tanto Einstein quanto De Sitter erano convinti che l'universo fosse statico. Solo nel 1922 il fisico-matematico russo Alexander Friedmann propose un modello di universo privo della costante cosmologica e non statico, ossia con i coefficienti g_{ik} funzione del tempo. Anche il canonico belga Georges Lemaitre però pochi anni dopo, in via del tutto indipendente da Friedmann, sviluppò un modello analogo, in espansione e con un punto zero iniziale, anticipando di due anni l'osservazione sperimentale di Hubble. [Lemaitre, 1927] Non a caso, appena pochi mesi prima della stampa di questi tesi, il 30 Agosto del 2018, l'Unione Astronomica Internazionale (IAU) ha messo ai voti il cambio di nome della famosa legge di Hubble: che ora, in onore postumo al suo teorizzatore, si chiamerà: *legge di Hubble-Lemaitre*.

Nei primi anni Venti, l'idea di un universo non statico, doveva sembrare quanto meno non necessaria, e quindi una inutile complicazione, se non addirittura una assurdità. Fu proprio l'ostilità iniziale che, dopo le rivoluzionarie scoperte astronomiche di Edwin Hubble, avvalorò i modelli cosmologici che le avevano anticipate al di là di ogni previsione.

La scoperta di Hubble, la cui formulazione definitiva risale al 1929, concerne un campione limitato di galassie, delle quali furono misurati i *red-shift*. Dai diagrammi distanza- red shift, si inferì che $v \propto d$, ove

inizialmente, interpretando il *red shift* come effetto-Doppler, si conferì a v il significato comune di velocità. Solo in seguito alla analisi teorica si realizzò che la velocità v così definita non ha il significato ordinario; localmente le galassie sono in quiete (a parte i moti propri), quella che cambia non è la loro posizione reciproca, ma la scala universale $a(t)$ delle dimensioni spaziali.

I modelli non statici di Friedmann-Lemaitre prevedevano una contrazione od espansione dell'universo a seconda della densità di materia presente in esso. Non c'è dubbio che la non staticità urtasse contro le convinzioni, forse non ancora immuni da un residuo di *Aristotelismo*, di gran parte dei cosmologi dell'epoca. In particolare, ad esempio, la sensibilità di Einstein era più consona a ritenere inesistenti sistemi di riferimento spazio-temporali assoluti. L'espansione dell'universo in sé porta infatti un retaggio di informazione, e può costituire un riferimento, quanto meno temporale, si pensi all'evoluzione di densità media che comporta (anche se per arrivare alla possibilità di un sistema di riferimento univoco, e dunque assoluto, per ogni osservatore dell'universo bisogna riferirsi alla radiazione fossile di fondo, *CBR*). Inoltre tutta la cosmologia fisica che conosciamo è basata essenzialmente sul *Principio Cosmologico*, che enunciato da Milne, deve, non a caso, le sue principali fortune proprio ad Einstein. Il Principio Cosmologico è l'estensione a tutto l'universo del Principio Copernicano:

PRINCIPIO COSMOLOGICO
(o COPERNICANO COSMOLOGICO)

*Tutte le proprietà su larga scala dell'universo,
a qualsivoglia punto o direzione si riferiscano,
si equivalgono per ogni osservatore*

Nella sua forma più forte, quella del *Principio Cosmologico Perfetto*, esso in sostanza prevede che le succitate proprietà, siano immutabili non solo nello spazio, ma anche nel tempo, e si enuncia:

PRINCIPIO COSMOLOGICO PERFETTO

*Tutte le proprietà su larga scala dell'universo si equivalgono
per ogni osservatore, in ogni luogo ed in ogni istante dell'universo*

In proposito ci sembra opportuno riportare le parole di un famoso astrofisico:

“... il *Principio Cosmologico* esprime la fiducia della scienza d'oggi che l'universo deve presentare sostanzialmente lo stesso aspetto da qualunque punto di osservazione.

Questa convinzione non è una necessità logica, ma è venuta maturando solo dopo la ... ri-voluzione occidentale; prima di questa, salvo poche eccezioni era ritenuto esigenza razionale un principio opposto: quello che la terra costituisse un punto d'osservazione privilegiato anzi unico: il centro del mondo. **Il principio cosmologico, si deve quindi considerare un'evoluzione della ra-**

gione, verificatasi circa quattro secoli fa, una vera *rivoluzione cosmologica* dovuta soprattutto all'allargamento d'orizzonte nell'osservazione del mondo a seguito dell'invenzione del telescopio." [Gratton, 1987]

È da sottolineare come anche questo autore definisca rivoluzionario, sul piano della visuale cosmologica, il distacco da concezioni che in passato furono pressoché unicamente antropomorfe. Tornando al Principio Antropico, ed alla questione, abbastanza dibattuta, se esso meriti l'appellativo di Principio, abbiamo appena visto che il *Principio Copernicano* non è una necessità logica, ma coincide con l'estrapolazione oggettiva dei dati osservativi, perché allora negare oggi ad *A.P.* gli stessi attributi di veridicità conferiti al *Principio Copernicano*?

Ritornando ai due principi cosmologici sopra espressi: *il Principio Cosmologico*, come peraltro già visto, è alla base di tutta la cosmologia moderna: la sua versione più forte: *il Principio Cosmologico Perfetto*, portato alle sue estreme conseguenze logiche, aveva indotto a quella che è oggi comunemente ritenuta una teoria superata: *la Teoria dell'Universo Stazionario*.¹ Si noti che essa (come l'aggettivo copernicano talora aggiuntovi vorrebbe stigmatizzare) deriva dunque da una estensione del principio copernicano, nel momento in cui nega risolutamente la possibilità che possa esistere un sistema di riferimento privilegiato. Ogni testo di cosmologia non manca di evidenziare, a proposito della teoria dello stato stazionario, il suo grande rigore logico, e la per-

¹Invero tale teoria è oggi di certo superata formalmente, ma non del tutto concettualmente: la teoria del multiversi ad inflazione eterna, potrebbe esserne vista come una sorta di rielaborazione. A tal riguardo la rivista *Nature* ha commentato: *...Hoyle sorride dalla tomba...*

fetta coerenza con il principio poc'anzi enunciato. Il primo tentativo di descrizione stazionaria dell'universo, risale a Milne nel 1935, che non a caso coniò il termine *Principio Cosmologico*. Si trattava tuttavia addirittura di una estrapolazione matematica della Teoria della Relatività Speciale, piuttosto che della Relatività Generale, e di fatto prendeva in considerazione un Universo vuoto, riuscendo così a ricavare delle soluzioni statiche. Una caratterizzazione più completa è stata proposta in seguito da Bondi, Hoyle e Gold nel 1948, e queste indagini segnano l'inizio della *teoria dello stato stazionario* (*Steady-State Theory*). Tale teoria, prendendo atto dell'espansione dell'Universo, implicava gioco-forza la continua creazione di materia. Questa ipotesi, in apparenza eccessivamente ardita, non è stato il principale ostacolo all'accettazione della teoria dello stato stazionario. Infatti la creazione dal nulla, per quanto inspiegabile in termini della fisica nota, avverrebbe ad un *tasso di crescita* di circa un atomo per metro cubo per miliardo di anni, irrilevabile per le proporzioni estremamente esigue. Non sarebbe stato pertanto facile pronunciarsi sulla validità di un universo stazionario, sulla base di questo solo elemento. Invero il modello dello *steady-state* è stato abbandonato sulla base delle osservazioni del fondo di microonde, delle proprietà delle radiosorgenti, dell'abbondanza dell'elio, come spiegato in seguito. Tra gli altri argomenti che hanno reso quanto meno improbabile la teoria dello stato stazionario vi è la datazione di oggetti cosmici, che non solo impone un limite inferiore all'età dell'universo, ma di fatto, almeno statisticamente, anche un limite superiore. Se non accettassimo un'età finita del Cosmo, non ci sarebbe facile capire perché non conosciamo oggetti più antichi di tale età.

Argomentazioni di nucleo-cosmo-cronologia interpretando le risultanze del decadimento beta del neutrone, come anche le analisi dell'età della nostra galassia, ci suggeriscono l'idea che il tempo abbia avuto un inizio, o che comunque non si possa andare a ritroso all'infinito nella storia del cosmo, come inevitabilmente un Universo in stato stazionario dovrebbe permettere.

La teoria dello stato stazionario ci descrive un universo infinito e con proprietà fisiche immutabili nello spazio e nel tempo, è il trionfo di quella *evoluzione della ragione* precedentemente citata. Tra le proprietà fisiche immutabili, la *steady-state theory* non potrebbe non annoverare la densità media dell'universo. Poiché era già nota la legge di Hubble, come già spiegato, fu proposto l'improbabile meccanismo di una creazione continua di materia. È facile vedere in questa spiegazione una ipotesi *ad-hoc*. Ma essa si può anche interpretare (come già abbiamo trovato nella storia del pensiero umano, vedi sezione 2.1), quale una frettolosa estrapolazione: il **principio cosmologico perfetto** dal **principio cosmologico**. È facile a questo punto obiettare che anche *A.P.* potrebbe rappresentare una estrapolazione altrettanto ardita, se non addirittura azzardata. Ma è lecito anche chiedersi se tali obiezioni pregiudichino la validità dell'interesse che *A.P.* può suscitare, o se al contrario non spingano ad approfondirlo; a nostro parere sarebbe testarda prevenzione non volerlo studiare con le stesse energie che il *principio copernicano* ha meritato finora.

Anche nella accezione *Popperiana* il Principio Antropico induce a proposizioni falsificabili. Più in dettaglio lo è l'osservazione di Rees, la conosceremo nel paragrafo 5.4, sulla prospettiva che un osservatore può

avere in relazione all'età dell'universo.

Vi è una ben chiara differenza, sul piano osservativo, tra un universo in evoluzione, che esiste da un tempo finito e le cui proprietà sono cangianti col tempo, ed un universo infinito nello spazio e nel tempo; nel quale peraltro il tempo stesso avrebbe ben misero significato.

In proposito sembrano emblematiche le parole di Tolstoy:

dire: tutto si sviluppa, si perfeziona, si complica, si differenzia nel tempo e nello spazio infinito significa dire assolutamente nulla.

Sono tutte parole prive di significato, giacché nell'infinito non vi è né il complicato né il semplice, né il davanti né il dietro, né il meglio né il peggio.

Un universo stazionario ed eterno sembra aver poco a che vedere con l'uomo.

Tornando alle origini scientifiche della cosmologia, tutto nasce come già ricordato, con la Relatività Generale enunciata da Einstein tra il 1915 ed il 1916, e non a caso, la prima memoria dello stesso autore sull'applicazione alla Cosmologia di tale teoria le è successiva di appena un anno, essendo datata 1917. Le equazioni di Einstein pongono in relazione la metrica dello spazio-tempo $g_{ik}(x_k)$ ($i, j, k = 0, 1, 2, 3$), con il tensore energia-momento $T_{ij}(x_k)$ della materia-energia:

$$R_{ij} - \frac{g_{ij}R}{2} = -\frac{8\pi G}{c^4}T_{ij} \quad (5.1)$$

Ove R_{ij} ed R sono rispettivamente il tensore e lo scalare di Ricci. Data questa equazione la dinamica delle particelle si riduce alla ricerca delle geodetiche che esse seguono.

Assumendo, in base a convalida osservativa che la distribuzione di materia-energia dell'universo sia, in media e su grandi scale, omogenea ed isotropa, si ricavano, integrando le equazioni di Einstein, tre modelli detti di *Friedmann-Lemaître*, che implicano una dipendenza dal tempo dell'intera struttura geometrica dell'universo. La suddetta integrazione è subordinata a due parametri della massima importanza:

1. La densità di materia-energia dell'universo ϱ .
2. La natura della pressione.

Per quanto riguarda il primo punto si usa caratterizzare la densità dell'universo nei termini della quantità Ω ove:

$$\Omega = \frac{\varrho}{\varrho_c} \quad (5.2)$$

Il simbolo ϱ_c rappresenta la densità critica dell'universo; ossia la densità esattamente al confine tra quella necessaria a renderlo chiuso ($\varrho > \varrho_c$), e quella, al contrario indice di un universo aperto ($\varrho < \varrho_c$), un rapporto Ω uguale ad uno corrisponde ad un Universo piatto e pertanto con metrica euclidea. Ad Ω si faranno seguire dei pedici indicanti l'epoca, ed il tipo di *materia*, alla quale si riferisce. Ad esempio : Ω_{0m} indica il rapporto Omega riferito alla sola materia (comune) ed all'epoca attuale. Per quanto concerne la natura della pressione possiamo distinguere:

- **Un universo di materia.**
- **Un universo di radiazione.**

Nel primo prevale la pressione dovuta alla materia; in altri termini la pressione di radiazione è trascurabile rispetto a quella dovuta alla materia. Nel secondo al contrario, i rapporti si capovolgono ed a prevalere è la pressione di radiazione soggetta alla legge di Stefan: $\varrho = \frac{1}{3}\sigma T^4$. Da essa discende anche che la densità di radiazione ϱ_r decresce più rapidamente di quella della materia. In particolare si ha: $\varrho_r \propto a^{-4}$ e $\varrho_m \propto a^{-3}$; dove a indica un fattore di scala dell'universo. Da queste relazioni discende che l'universo sarà di pura radiazione nelle sue primissime fasi, quando a è ancora estremamente piccolo, e sarà di pura materia nelle fasi più avanzate.

Sul piano osservativo invece i parametri fondamentali sono la densità di materia ϱ_{0m} ed il valore della costante di Hubble H_0 . La stima di questi due parametri è purtroppo ancora incerta. Per H_0 si è concordi a fissare un valore tra i 50 ed i 100 $km\ s^{-1}Mpc^{-1}$, con le stime più attuali assestate attorno ai 70 $km\ s^{-1}Mpc^{-1}$; per Ω si accettano valori compresi nell'intervallo: $0.05 \leq \Omega \leq 0.5$, ma queste stime sono complicate dall'effettiva quantificazione della materia oscura.

5.2 I modelli di Friedmann

‘ L’espansione dell’universo è provata soprattutto dalla costante espansione delle capacità umane ’

Georges Lemaitre

La descrizione teorica dell’universo è facilitata dall’assunzione di trattarlo come un fluido continuo, omogeneo ed isotropo. Si assegnano allora ad ogni elemento di fluido tre coordinate spaziali x^α ($\alpha = 1, 2, 3$) ed una coordinata temporale t , che misura il tempo proprio dell’elemento di fluido; ossia il tempo risultante dalla sommatoria dei dt misurati da una ipotetica successione di orologi; essi saranno in quiete in un riferimento inerziale istantaneamente solidale all’elemento di fluido. Queste quattro coordinate sono definite *coordinate comoventi*.

Si dimostra che, con le sole assunzioni della validità del principio cosmologico e delle equazioni di Einstein, avvalendosi delle coordinate comoventi, la metrica dello spazio-tempo, in coordinate polari, assume la seguente forma:

$$ds^2 = (c dt)^2 - \frac{a(t)^2 dr^2}{1 - kr^2} - a(t)^2 r^2 (d\vartheta^2 + \sin^2 \vartheta d\varphi^2) \quad (5.3)$$

In essa r , ϑ , φ , t sono le coordinate comoventi. Si preferisce prendere r adimensionale ed assegnare dimensioni di lunghezza ad $a(t)$, che è il fattore di scala già accennato; k rappresenta invece la curvatura dello spazio-tempo; comunemente la si normalizza, assume così i valori

+1, 0, -1.

Abbiamo visto che l'equazione 5.1 mette in relazione il tensore metrico g_{ij} dello spazio-tempo con il tensore energia-momento T_{ij} . Per un fluido perfetto il tensore T_{ij} è dato da:

$$T_{ij} = pg_{ij} + \left(p + \rho c^2\right) u_i u_j \quad (5.4)$$

ove p è la pressione, ρc^2 la densità di energia comprendente l'energia della massa a riposo, u_n è la quadrivelocità del fluido.

Le equazioni di Friedmann applicate alla metrica di Robertson-Walker danno le equazioni seguenti, di fondamentale valore:

$$3\ddot{a} = -4\pi G \left(\rho + \frac{3p}{c^2}\right) a \quad (5.5)$$

$$\dot{a}^2 + kc^2 = \left(\frac{8\pi G}{3}\right) \rho a^2 \quad (5.6)$$

Ad esse va aggiunta l'equazione della conservazione dell'energia:

$$d(\rho c^2 a^3) = -p da^3 \quad (5.7)$$

Si assume inoltre di avere a che fare con un fluido perfetto e di assegnargli l'equazione di stato:

$$p = \alpha \rho c^2 \quad (5.8)$$

ove il parametro α è compreso nell'intervallo: $0 \leq \alpha \leq 1$. Con l'assunzione α costante nel tempo si ottengono tre diverse possibilità, a seconda del tipo di fluido trattato. In generale vale:

$$\rho a^{3(1+\alpha)} = \text{cost.} \quad (5.9)$$

Da essa si ricava:

1. Per $\alpha = 0$ (universo di polvere). Si tratta di un gas perfetto di particelle monoatomiche:

$$\varrho_m a^3 = \text{cost.} \quad (5.10)$$

2. Per $\alpha = \frac{1}{3}$ (universo di radiazione). Fluido di particelle ultrarelativistiche (fotoni):

$$\varrho_r a^4 = \text{cost.} \quad (5.11)$$

3. Per $\alpha = 1$ (universo di stiff-matter):

$$\varrho_{sm} a^6 = \text{cost.} \quad (5.12)$$

I casi di maggiore interesse sono di certo i primi due, l'universo di *stiff-matter* risponde più che altro ad una esigenza di inventario, lungi dal descrivere un modello realistico.

L'equazione 5.6 si riscrive ora:

$$\left(\frac{\dot{a}}{a_0}\right)^2 - \frac{8\pi G}{3}\varrho\left(\frac{a}{a_0}\right)^2 = H_0^2\left(1 - \frac{\varrho_0}{\varrho_{0c}}\right) = -\frac{kc^2}{a_0^2} \quad (5.13)$$

Con H_0 costante di Hubble e $\varrho_{0c} = 3H_0^2/8\pi G$. Sostituendo nella 5.13 la 5.9 si ottiene:

$$\left(\frac{\dot{a}}{a_0}\right)^2 = H_0^2 \left[\Omega_\alpha \left(\frac{a_0}{a}\right)^{1+3\alpha} + (1 - \Omega_\alpha) \right] \quad (5.14)$$

La soluzione corrispondente ad $\Omega_\alpha = 1$ ed $\alpha = 0$ è detta di Einstein-De Sitter, è relativa ad uno spazio piatto, ossia con $k = 0$. Con $\Omega_\alpha = 0$

la 5.14 diviene:

$$\left(\frac{\dot{a}}{a_0}\right)^2 = H_0^2 \left(\frac{a_0}{a}\right)^{1+3\alpha} \quad (5.15)$$

Integrando quest'ultima si ottiene:

$$a(t) = a_0 \left(\frac{t}{t_0}\right)^{\frac{2}{3(1+\alpha)}} \quad (5.16)$$

Notiamo come in tutti i modelli di Friedmann-Lemaitre per $t \rightarrow 0$ si ottiene uno stato di singolarità con $a(t) \rightarrow 0$ e temperatura $T \rightarrow +\infty$, e che è comunemente definito *big-bang*, il grande scoppio. Risalire al tempo zero è pertanto non solo concettualmente arduo, anche sul piano logico, vista la debolezza di ogni rapporto causa-effetto; ma anche pressoché vietato alla fisica odierna. In tale stato di singolarità infatti le nostre teorie fisiche di più vasto respiro, ossia la teoria della relatività e la meccanica quantistica entrano in contrasto. Per scendere al di sotto del tempo di Plank corrispondente a $t_P = 10^{-43}s$, sarebbe infatti necessaria una teoria che unificasse relatività e mondo dei quanti, la cosiddetta quantogravità.

Come si nota, gli universi con $\Omega_\alpha = 1$ sono caratterizzati da un'espansione spaziale monotonicamente crescente con il tempo.

5.3 L'idea di universo evolutivo

I modelli di Friedmann-Lemaitre ci hanno introdotto all'idea di un universo con un punto di origine, che possiamo definire *evolutivo*. Come pre-messo questi modelli postulano l'omogeneità e l'isotropia dell'universo, ed essi devono la loro veridicità al riscontro sperimentale di queste caratteristiche. È evidente che attribuendo al cosmo tali caratteristiche si intende riferirsi a proprietà medie e su larga scala, in pratica quella dei superammassi di galassie, ossia circa 100 *Mpc*. Nei successivi paragrafi saranno infatti evidenziati l'omogeneità e l'isotropia su larga scala, e si vedrà anche come esse risultino, alla luce dell'esistenza degli orizzonti delle particelle, decisamente misteriosi. Una spiegazione di queste proprietà e delle problematiche ad esse connesse, è di grande interesse per lo sviluppo di questa tesi, vista la profonda correlazione tra di esse e la possibilità dell'esistenza della vita intelligente.

Il modello del *big-bang*, o comunque di un Universo primordiale caldo ed in espansione, con una singolarità iniziale, o in ogni caso con una origine del tempo, nonostante sollevi problemi non risolti, può comunque vantare in termini generali numerose conferme osservative, le più importanti sono: la radiazione cosmica di fondo, l'abbondanza di ^4He , i conteggi di radiosorgenti lontane, oltre naturalmente alla Legge di Hubble-Lemaitre.

5.3.1 I conteggi di radiosorgenti lontane

La prima evidenza osservativa di un'evoluzione dell'Universo, anche se non ancora direttamente probatoria per l'ipotesi del *big - bang*, ma più che altro valida come prova invalidante della teoria dello stato stazionario, è costituita dai conteggi di radiosorgenti. La teoria dello stato stazionario, per la sua eleganza concettuale, e perché evitava la singolarità matematica del Big-Bang e l'evidente crisi di alcuni concetti fisici, fu molto accreditata fino agli anni '60 del secolo passato. Un importante strumento di verifica fu il conteggio di sorgenti radio. Un Universo con parametri cosmologici costanti nel tempo, esigeva che la distribuzione degli oggetti a seconda del loro flusso (ossia della loro distanza spazio-temporale, a meno di assorbimenti e di correzioni) avesse un andamento determinato e calcolabile. Se invece fosse esistita una qualche evoluzione, non solo della morfologia delle sorgenti stesse, ma anche della struttura dello spazio-tempo, si sarebbero rilevate delle discrepanze rispetto alle previsioni di uno stato stazionario. Ebbene come mostra la figura 5.2, i conteggi di radiosorgenti hanno mostrato un'evidente evoluzione temporale delle stesse.

5.3.2 La radiazione cosmica di fondo

Una delle prime prove sperimentali della teoria del *big-bang* è stata fornita dalla scoperta del fondo cosmico di microonde nel 1964 da parte di Penzias e Wilson. La scoperta, premiata con il premio Nobel, di una radiazione diffusa stimata all'epoca a temperatura di $T_0 = 3.5 \pm 1.0^\circ K$, fu correttamente (ma non prima di tentativi di spiegazione *meno cosmologici*, tra i quali l'ipotesi del deposito nella tromba dell'antenna di escrementi di volatili) interpretata come il residuo di un periodo della storia dell'universo estremamente caldo.

I cosmologi del tempo, o almeno quelli non cristallizzati nella teoria dello stato stazionario, non furono colti di sorpresa. Già nel 1948 Gamow aveva previsto nell'ambito di studi sulla nucleosintesi primordiale, l'esistenza di una radiazione fossile dalle intense energie dominanti nella primissima epoca cosmologica. Nello stesso 1948 Alpher e Hermann furono in grado di prevedere la temperatura attuale di questa radiazione, stimandola attorno ai $5^\circ K$. Le prime ricerche sperimentali tuttavia non giunsero che fino al 1960, ad opera di Dicke e Peebles. Mentre il gruppo di questi ultimi andava sviluppando le tecnologie necessarie per l'esperimento, la fortuna premiò Penzias e Wilson, che erano impegnati a rilevare le fonti dei disturbi radio per conto dei Bell Laboratories.

A tale radiazione fu dato il nome di *radiazione cosmica di fondo* (*CBR*), o anche fondo cosmico di radiazioni di microonde (*CMBR*), dalla banda spettrale ove fu scoperta, e che rappresenta il suo picco di intensità. Il valore più recente della temperatura di tale radiazione è: $T_0 = 2.728 \pm 0.004 \text{ } ^\circ K$ in un intervallo di lunghezze d'onda: $0.1 \leq \lambda \leq 12 \text{ cm}$. La scoperta di un fondo di radiazione primordiale, oltre ad essere prevista teoricamente della teoria del *big-bang*, fu di basilare importanza perché implicava l'esistenza di un periodo nel quale l'universo era costituito da un plasma di materia e radiazione. Essa inflisse pertanto un colpo definitivo alla teoria dello stato stazionario; infatti per spiegare una tale caratteristica osservativa si sarebbe dovuta postulare la creazione continua anche di fotoni. Inoltre tali fotoni avrebbero dovuto avere uno spettro di corpo nero perfetto, in altri termini sarebbe stato necessario ricorrere ad una ipotesi assolutamente *ad hoc*.

Il modello standard consente di definire la temperatura di equilibrio della radiazione ad ogni istante di *red-shift* z , conoscendola all'istante attuale:

$$T = T_0 (1 + z) \tag{5.17}$$

5.3.3 L'abbondanza di elio primordiale

Negli anni quaranta del '900 gli Studi di George Gamow prima e di Gamow e Alpher dopo, chiarirono il comportamento dell'universo caldo nelle sue prime ere; questi studi, non solo predissero la radiazione cosmica di fondo, ma anche impostarono i primi conteggi relativamente alla produzione degli elementi più pesanti dell'idrogeno, generati dalla fusione nucleare dovuta alle enormi temperature del plasma primordiale. Tali calcoli predicevano anche che la percentuale di atomi ${}^4\text{He}$, rispetto a quelli di idrogeno fosse di circa il 25% in massa . Questa percentuale è del tutto indipendente dalle condizioni dell'universo, e non può cambiare, se non in minima parte, nella sua successiva evoluzione. L' ${}^4\text{He}$ è talmente stabile che non decade ed è estremamente improbabile che si combini con altri nuclei per formare atomi più pesanti. Nelle prime fasi calde dell'Universo, il rapporto neutroni/protoni è regolato dal decadimento beta e sostanzialmente raggiunge un equilibrio condizionato dalla differenza di massa dei due barioni, il rapporto diviene così di un neutrone ogni sette protoni. Una volta raffreddatosi il fulido cosmico, neutroni e protoni possono accoppiarsi nel nucleo di nuovi elementi: risulta che ogni 16 nucleoni (2 neutroni e 14 protoni), 4 di questi si sono combinati in ${}^4\text{He}$ (2 protoni e 2 neutroni), gli altri 12 protoni rimarranno sostanzialmente sotto forma di idrogeno: ecco che si genera la percentuale del 25%, un risultato sostanzialmente privo di gradi di libertà, e che proprio per questo costituisce un dato cosmologico di assoluto rilievo. L'elio che si forma durante la nucleosintesi

stellare infatti, viene, in sostanza bruciato quasi tutto per produrre altri elementi più pesanti, quello che si osserva a livello cosmologico è stato dunque prodotto, in grandissima parte, durante le prime fasi di evoluzione dell'universo. L'osservazione nei campi interstellari di una proporzione del 25% della massa totale sotto forma di atomi di elio, costituisce pertanto un'importante conferma del modello di big - bang.

Le importanti conferme osservative brevemente spiegate, hanno fatto abbandonare, tranne che a pochi irriducibili, la teoria dello stato stazionario, ed il *mainstream* scientifico ha accettato l'idea di un universo evolutivo. Il modello base di tale universo, non a caso chiamato *Modello Standard*, incorre tuttavia in seri problemi: oltre alla singolarità iniziale (il problema del punto zero è però comune di fatto a tutte le altre teorie evolutive), emergono relevantissimi *fine-tuning*, le regolazioni fini dei parametri osservati, che sono un sottoinsieme del più generale *problema della naturalezza* della fisica teorica.

Il *fine-tuning* di alcuni parametri cosmologici ne confina i valori possibili, affinché l'Universo possa avere la struttura che osserviamo, ad un insieme estremamente limitato, a volte di numerosi ordini di grandezza più piccolo di quello logicamente prevedibile a priori.

Il problema della Naturalezza in Fisica si pone quando le teorie esigono dei parametri *innaturali* per funzionare, ossia poco probabili, o difforni tra loro di esagerati ordini di grandezza. Questi *constraint* lasciano pensare che la Teoria sia incompleta, se non errata, e che i suddetti *constraint* svanirebbero in seno ad una teoria più completa o esatta. Non si tratta di un principio estetico, si badi bene, ma di

fondamentale interesse epistemologico, un problema di struttura di base del pensiero scientifico; del riduzionismo unificatore e semplificatore, che sta alla base di esso, si è più volte parlato nello svolgimento di questa tesi. Al di là di considerazioni di filosofia della scienza, i problemi che andiamo ad analizzare nel seguito, sono problemi cosmologici che non si possono ignorare.

5.3.4 Il problema dell'orizzonte

Si usa studiare le variazioni dell'omogeneità dell'universo come di un qualunque fluido in termini di differenze percentuali. Si definisce così la grandezza adimensionale *fluttuazione di omogeneità*: $\delta\rho/\rho = (\rho(x) - \bar{\rho})/\bar{\rho}$, ove $\bar{\rho}$ e $\rho(x)$ sono rispettivamente la densità media del fluido e la densità puntuale dello stesso nel generico punto x . Le fluttuazioni di omogeneità nei primi istanti dell'universo sono oggi, o almeno dovrebbero, essere osservativamente testimoniate dalle fluttuazioni di isotropia della radiazione fossile: la *Cosmological Background Radiation* o *CBR* spesso indicata con l'acronimo *CMBR*, in quanto il picco di emissione cade nel dominio delle microonde. Le fluttuazioni di temperatura della *CMBR* sono state rilevate principalmente dai fondamentali programmi satellitari COBE, WMAP e PLANCK. Esse si sono rivelate estremamente piccole, dell'ordine di grandezza di una parte su centomila, un dato che concilia, anche se con percorsi di ipotesi teoriche non ancora immuni da difficoltà ed incognite, con la struttura su larga scala dell'universo a noi visibile oggi. Tale struttura di larga scala è quella dei super-ammassi di galassie, che possiamo dire che infrangono l'omogeneità su scale dimensionali dell'ordine di grandezza dei 100 *Mpc* e su scale di massa dei $10^{15} M_{\odot}$.

I modelli teorici standard della Cosmologia, non riescono a spiegare un simile livellamento della *CMBR*, ed hanno fatto parlare di un **problema dell'orizzonte**. Esistono vari orizzonti in cosmologia, quello cui si riferisce il problema sopra evidenziato, è chiamato: *oriz-*

zonte delle particelle, esso costituisce il limite spazio-temporale massimo di connessione causale tra punti comoventi differenti dell'universo, ossia dall'orizzonte entro il quale una *particella* può ricevere un segnale. Esso è naturalmente imposto dalla finitezza della velocità della luce e dal massimo tempo t , di viaggio di un segnale, ossia dal tempo cosmico t , dall'origine dell'Universo all'istante considerato. Esistono dunque preponderanti regioni dell'universo che non dovrebbero mai essere entrate in contatto tra di loro, basti pensare anche semplicemente al cielo stellato. Con i mezzi giusti possiamo scorgere la radiazione di fondo sottostante, o galassie lontanissime che sono dunque in connessione causale con noi, ricevendone segnali. Tuttavia non sono evidentemente in connessione causale tra loro, per esempio quelle agli antipodi tra di loro, per i quali va pensata una distanza doppia rispetto a quella che li divide da noi. Eppure le proprietà medie dell'universo sembrano le stesse in ogni punto e direzione. Si tratta cioè dell'omogeneità ed isotropia già discusse, ed assunte per l'appunto a postulato di base, o meglio ancora a principio di base, di tutta la cosmologia scientifica. È anche questo un *problema di naturalezza*: dobbiamo ritenere che sia un incredibile caso, dobbiamo ritenere che non sia un tema significativo, oppure dobbiamo cercarne un significato fisico più profondo? La risposta più semplice al problema dell'orizzonte è pensare che queste regioni, pur non essendo in contatto causale ora, lo siano state in passato. Nasce così la teoria dell'**Universo Inflazionario**.

5.3.5 Il problema della piattezza

Bisogna distinguere nello studio delle fluttuazioni di disomogeneità tra modelli aperti e chiusi, discriminati dal valore di Ω_0 .

Modello aperto: $\Omega_0 < 1$

Nel caso la densità dell'universo sia inferiore a quella critica siamo in presenza di un universo aperto. Esso si espande continuamente senza possibilità di arresto, in pratica, per tempi cosmici sufficientemente grandi, si osserverebbe $a(t) \propto t$. Ben presto porzioni di spazio differenti dell'universo si allontanerebbero a velocità relative maggiori di quella della luce, divenendo causalmente sconnesse. In tali condizioni le forze gravitazionali si *congelerebbero* e l'ampiezza di disomogeneità tenderebbe ad un valore costante, sarebbe così inibita l'ulteriore formazione di galassie.

Modello chiuso: $\Omega_0 > 1$

In tale modello la densità dell'universo supera quella critica. L'espansione dura per un periodo finito t_{ex} definito da:

$$t_{ex} = \frac{\Omega_0 \pi}{2H_0 (\Omega_0 - 1)^{\frac{3}{2}}} \quad (5.18)$$

Ad essa segue un contrazione accelerata che rende i *red-shift* dei *blue-shift*. Tale contrazione culminerebbe infine in una nuova singolarità. Questi alterni stati di espansione e contrazione influiscono anche

sulla grandezza $\delta\rho/\rho$. Essa avrà in generale una dipendenza dal tempo. Per semplificare l'espressione di tale dipendenza si usa una coordinata temporale particolare: il tempo conforme. Tale coordinata τ è definita dalla espressione:

$$t = H_0^{-1} (\Omega_0 - 1)^{-\frac{3}{2}} (\tau - \sin \tau) \quad (5.19)$$

Si noti che al tendere a zero di t anche τ segue la stessa sorte. Le equazioni di Friedmann con questa parametrizzazione forniscono una soluzione per $a(t)$ semplificata:

$$1 - \cos \tau = 2 \left(\frac{\Omega_0 - 1}{\Omega_0} \right) \frac{a(t)}{a_0(t)} \quad (5.20)$$

Possiamo ora ottenere l'andamento di $\delta\rho/\rho$; si ha:

$$\frac{\delta\rho}{\rho} \propto \frac{5 + \cos \tau}{1 - \cos \tau} - \frac{3\tau \sin \tau}{(1 - \cos \tau)^2} \quad (5.21)$$

Abbiamo diverse possibilità per l'andamento di $\delta\rho/\rho$; non tutte sembrano consentire la formazione di strutture legate gravitazionalmente. In particolare la stessa esistenza delle galassie è consentita per un *range* di valori abbastanza particolari di $\delta\rho/\rho$; al tempo attuale dovremmo prevedere un $\delta\rho/\rho \sim 5$. Possiamo in realtà distinguere tre casi discriminati dal valore critico: $(1 + z_i)^{-1} (1 - \Omega_0) \Omega_0^{-1}$ con z_i pari al valore del *red-shift* di disaccoppiamento, circa 1000.

1. Se $\delta\rho/\rho$ supera il valore critico le disomogeneità evolvono troppo rapidamente; le galassie si formano troppo presto, in pratica le condensazioni da materia collassano in buchi neri. In sintesi questo avviene per $(\delta\rho/\rho)_i \geq 10^{-2}$.

2. Per un $\delta\rho/\rho$ pari circa al valore critico le condensazioni arrivano a formare le galassie; non si formano tuttavia gli ammassi.
3. Per un $\delta\rho/\rho$ molto minore del valore critico la fluttuazione tende asintoticamente al valore approssimativo di:
 $1.5(\delta\rho/\rho)_i(1+z_i)\Omega_0(1-\Omega_0)^{-1} \ll 1$. La formazione delle galassie è inibita. Anche qui si può fissare un valore orientativo pari a $(\delta\rho/\rho)_i \leq 10^{-5}$.

Possiamo concludere che al tempo del disaccoppiamento la fluttuazione di densità doveva essere dell'ordine di 10^{-4} . Si tratta certamente di un valore molto particolare tra tutti quelli possibili, potenzialmente infiniti.

La maggiore evidenza osservativa dell'isotropia è quella fornita dall'osservazione del fondo cosmico di microonde, *CMBR*, e dall'osservazione dei *red-shift* di galassie distribuite in ogni direzione dello spazio. Quest'ultima osservazione si riduce all'espressione della costante di Hubble in forma tensoriale. In altri termini si accantona momentaneamente il termine *costante*, e si ricerca per ogni direzione il rispettivo valore di H . In realtà si parla di costante di Hubble per indicare la costanza in ogni direzione di osservazione; poiché la costante di Hubble H varia secondo una scala di grandezza $\sim t^{-1}$, ove t denota come al solito l'età dell'universo. Risulta molto agevole esprimere questa direzionalità usando una notazione tensoriale; allora H prende la forma più complessa:

$$H_{\alpha\beta} = H\delta_{\alpha\beta} + \Theta_{\alpha\beta} + \sigma_{\alpha\beta} \quad (5.22)$$

alla quale ci si può riferire come al *tensore di Hubble*.

5.4 Formulazione del Principio Antropico

La prima formulazione scientifica in assoluto di tematiche antropiche si può probabilmente far risalire al grande biologo, filosofo, chimico e sociologo statunitense Lawrence Joseph Henderson (1878 -1942), che nel suo *The Fitness of the Environment*, osservava i *fine-tuning* biologici ed ambientali che hanno permesso la vita. In campo astrofisico invece, abbiamo già visto nel capitolo precedente, le prime intuizioni in questo campo si devono a Fred Hoyle negli anni cinquanta del '900, che comprese che solo grazie ad un notevole esempio di *fine-tuning* avrebbe potuto realizzarsi la nucleosintesi stellare del ^{12}C . In questa reazione, che avviene ad altissime temperature e pressioni all'interno di stelle in stato di evoluzione avanzato, si genera ^{12}C dalla fusione di tre nuclei di ^4He , e per questa ragione viene chiamata: *processo triplo alfa*.

La reazione per la precisione inizia con la produzione di ^8Be dalla fusione di due nuclei di ^4He :



Ma il Berillio prodotto è fortemente instabile, decade rapidissimamente, solo una risonanza nei livelli energetici del ^{12}C , che ne amplifica esponenzialmente la velocità può permettere alla reazione di dare il tempo al Berillio di fondersi con un altro nucleo di ^4He e completare la produzione di ^{12}C :



L'energia di legame complessiva del Be ed He della reazione 5.23 è circa 7.37 Mev, a queste va aggiunta l'energia cinetica (termica) dei medesimi nuclei. Se il nucleo di ^{12}C avesse un livello energetico poco al di sopra l'energia di massa sopra riportata, l'energia cinetica dei nuclei di ^4He e ^8Be nel caldissimo interno di una stella li *spingerebbe nella buca potenziale nucleare* di potenziale che deriva dalla creazione di ^{12}C , a velocità ancor più vertiginosa del decadimento del ^8Be (circa 10^{-16} secondi), per un effetto detto di risonanza. L'esistenza del Carbonio, e dunque indirettamente di un osservatore, spinse Hoyle a predire tale livello di risonanza, che era sfuggito alle verifiche sperimentali fino ad allora, e che fu poi verificato sperimentalmente dal gruppo di Fowler, osservando un livello energetico giusto a 7.65 Mev. È inutile ricordare quanto il ^{12}C sia fondamentale per la vita. Fu questo il primo abbozzo, involontario, di considerazioni antropiche in astrofisica, anche se tali considerazioni rientrano più nella tematica dei *fine-tuning*, in quanto non è detto a priori che non avrebbero potuto esistere differenti vie per generare del ^{12}C , così come non è detto a priori che la vita intelligente debba necessariamente basarsi sul Carbonio. Per questo motivo l'atto di nascita delle considerazioni antropiche cosmologiche è generalmente ritardato di un decennio, e precisamente al già citato articolo di Dicke del 1961. Va rimarcato in ogni caso che, molto curiosamente, queste considerazioni derivavano dal più accanito sostenitore della teoria dello stato stazionario, che poco concilia con il Principio Antropico.

Non per niente, anni dopo, ed anche quale ulteriore esempio nelle inferenze ottenute dall'applicazione del Principio Antropico, Martin Rees fece osservare che il Principio Antropico avrebbe potuto invalidare la

teoria dell'universo stazionario, visto che in una teoria dell'universo stazionario non ci sarebbe nessuna particolare ragione per osservare stelle con una età massima giusto eguale all'età di Hubble. [Rees, 1999]

In fondo anche la LNH (Large Numbers Hypotesis) di Dirac era stata affrontata in termini di Wap (Dicke) e di Sap. Ed anzi, il Sap fu introdotto da Brandon Carter [Cart, 1973] proprio perché esso provvedeva a fornire una ragione del perché il nostro universo avesse rapporti adimensionali così grandi (avrebbe queste proprietà per permettere alla vita di svilupparsi). Carter espose queste considerazioni, durante, e non a caso, un simposio scientifico commemorativo del 500-esimo anniversario della nascita di Copernico, organizzato nella città di Cracovia, della quale fu suo celeberrimo cittadino. Carter concettualizzò il Principio Antropico dopo aver letto alcune considerazioni di Bondi sulla teoria di Dirac, la LNH appunto, che prevedeva radicali mutamenti del Cosmo (G dipendente dal tempo!), in contrapposizione logica allo stato stazionario che Bondi assiduamente sosteneva.

Citando Carter:

Copernico ci ha insegnato il ragionevolissimo principio che non dobbiamo supporre senza motivo di occupare una posizione centrale privilegiata nell'universo. Purtroppo c'è stata una forte (e non sempre inconscia) tendenza a estendere questo principio facendone un discutibile dogma secondo il quale la nostra situazione non può essere privilegiata in alcun senso [Carter, 1974]

Carter nella sua esposizione aveva individuato due forme di Principio Antropico, una debole, che sostanzialmente è riconducibile ad un

principio di autoselezione:

Dobbiamo tenere presente il fatto che la nostra posizione [nello spazio e nel tempo] è necessariamente privilegiata, in quanto compatibile con la nostra esistenza di osservatori

ed uno forte, che è invece riconducibile ad un principio più finalistico:

le condizioni e parametri osservabili DEVONO essere tali da arrivare a permettere la creazione di osservatori al suo interno

Le due enunciazioni iniziali si sono successivamente ampliate: ed è venuto dunque il momento di enunciare le varie forme di Principio Antropico oggi comunemente accettate, come schematizzate nell'introduzione di questa tesi.

Barrow e Tipler [Barrow & Tipler, 1986] infatti, successivamente all'introduzione del termine da parte di Brandon Carter, hanno molto approfondito l'argomento arrivando a definire le seguenti varianti e corrispondenti acronimi:

WAP Principio Antropico Debole, come sopra enunciato da B. Carter.

PAP Principio Antropico Partecipatorio: *Gli osservatori sono necessari perché l'Universo esista.*

SAP Principio Antropico Forte, come sopra enunciato da B. Carter.

FAP Principio Antropico Finale *Nell'universo deve necessariamente svilupparsi elaborazione intelligente dell'informazione, e una volta apparsa essa non si estinguerà mai.*

Il PAP fu suggerito da J. A. Wheeler, il grande fisico che peraltro spinse lo stesso B. Carter ad esporre, al citato Simposio di Cracovia, i concetti che questi stava sviluppando da tempo. È una versione del Principio Antropico, suggestiva e più profonda di una interpretazione prettamente solipsistica che se ne potrebbe dare a primo acchito. Essa va, sul piano scientifico, inevitabilmente connessa ad un approccio olistico di *somma di tutte le storie*. Il FAP invece è una versione ancora più forte del SAP, perché introduce adesso un fine alla presenza dell'uomo: non solo genericamente le condizioni dell'universo osservabile DEVONO prevedere la possibilità dell'esistenza umana, ma devono essere finalizzate ad essa. D'ora in avanti gli acronimi sopra definiti ed enunciati saranno utilizzati per indicare in che contesto si utilizza il *Principio Antropico*, ad esempio WAP sarà utilizzato per spiegare che due relazioni hanno un vincolo richiesto dal Principio Antropico Debole.

Tornando alla parametrizzazione temporale individuata da Dicke, nel già citato articolo [Dicke, 1961], che possiamo individuare come atto di nascita concettuale del Principio Antropico Cosmologico, vedremo nel prossimo capitolo che proprio questo parametro temporale ci permetterà di risolvere un problema posto circa un secolo fa sulla ricorrenza dei grandi numeri cosmici. Il Principio Antropico può avere una valenza scientifica, oltre che morale e filosofica.

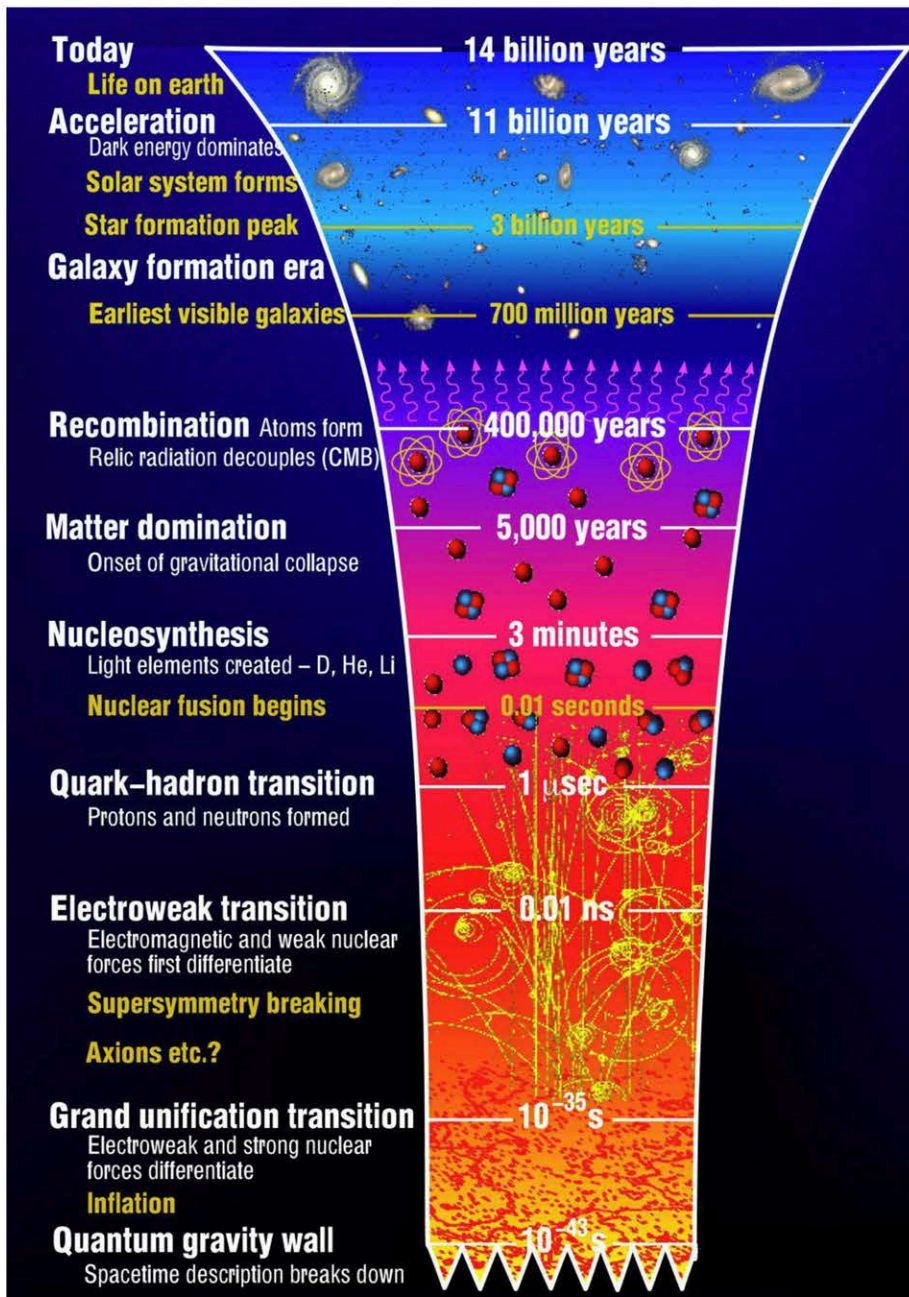


Figura 5.1 : Cronologia dei principali eventi della storia dell'universo. La scala dei red-shift è più indicativa di quella temporale, poiché è il dato effettivamente misurato.

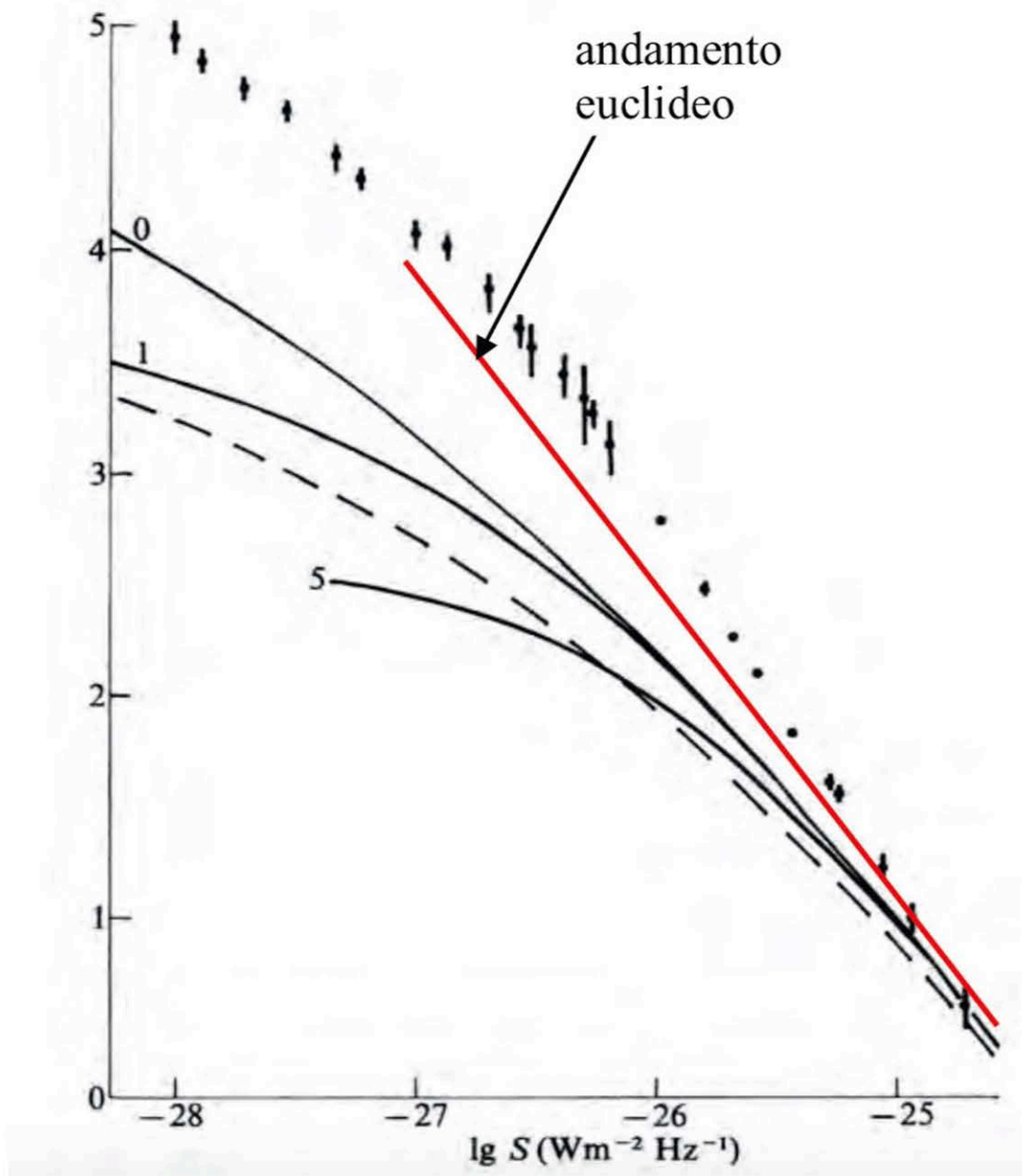
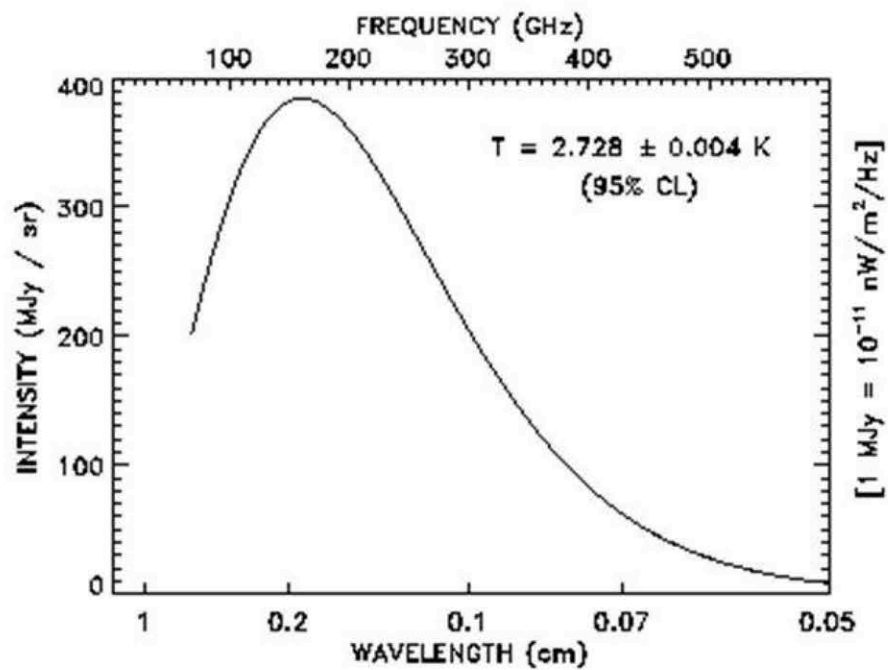


Figura 5.2 : Conteggi integrali di sorgenti radio, la curva tratteggiata corrisponde alle previsioni del modello di stato stazionario

Spettro di Corpo Nero *Radiazione di fondo a 2.7 K*



Intensità della radiazione di fondo cosmica in funzione della frequenza, misurata dal satellite COBE. (NASA Goddard Space Flight Center)

Figura 5.3 : Spettro della CMBR.

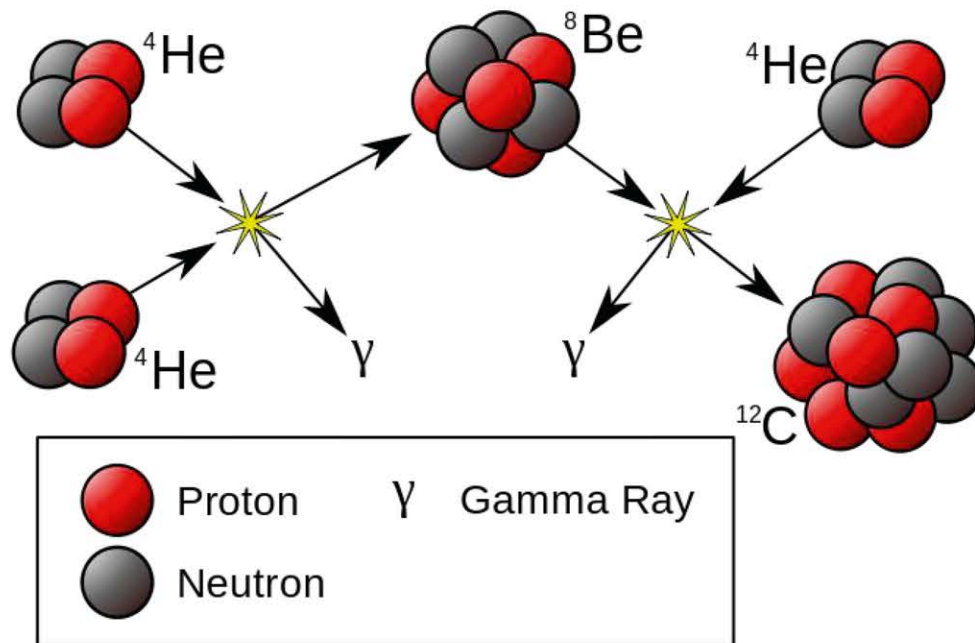


Figura 5.4 : Nucleosintesi primordiale dell'elio.

Bibliografia

[1] Barrow John D.

Nuovi modelli di spiegazione in cosmologia
in Quaderni della Fondazione Istituto Gramsci Veneto
Venezia, Arsenale Editrice, 1989

[2] Barrow John D. & Silk Joseph

La struttura del primo universo
Le Scienze, n.142, Giugno 1980

[3] Bertotti Bruno

Introduzione alla cosmologia
Firenze, Le monnier, 1980

[4] Burigana Carlo

Spettro della radiazione di fondo di microonde
Tesi di laurea, Università di Padova
Dipartimento di Astronomia, A.A. 1987-88

[5] Calder Nigel

L'Universo di Einstein
Bologna, Zanichelli, 1981

[6] **Dallaporta Nicola**

Sguardo sull'attuale cosmologia
Roma, Borla, 1986

[7] **Davies Paul C.W.**

The accidental universe
Cambridge, Cambridge University Press, 1982

[8] **Dyson Freeman J.**

L'energia dell'universo
Le Scienze, n.40, Dicembre 1971
originale: *Sci. Am.*, **225**, 1971, 51

[9] **Eddington Arthur S.**

L'universo in espansione
Bologna, Zanichelli, 1989 (I ed.1934)

[10] **Hawking Stephen**

Dal big bang ai buchi neri
Milano, Rizzoli, 1988

[11] **Silk Joseph**

The Big Bang
New York, Freeman & Co., 1980

[12] **Sunyaev Rashid A. & David L. Meier**

Galassie primordiali
Le Scienze, n.137, Gennaio 1980

[13] **Webster Adrian**

La radiazione cosmica di fondo
Le Scienze, n.76, Dicembre 1974

[14] **Weinberg Stephen**

The First Three Minutes
New York, Basic Books, 1977

[15] **Wilczek Frank**

L'asimmetria cosmica tra materia e antimateria
Le Scienze, n.150, Febbraio 1981

Capitolo 6

I numeri cosmici

Ora, dall'apice alla base, le misure della Grande Piramide, in pollici egizi, sono di 161.000.000. Quante anime umane sono vissute sulla terra da Adamo a oggi? Una buona approssimazione sarebbe qualcosa tra 153.000.000 e 171.000.000.

(Piazzi Smyth, *Our Inheritance in the Great Pyramid*, London, Isbister, 1880, p.583)

6.1 Introduzione

In era pre-scientifica la numerologia ha avuto un ruolo rilevante nelle sue connessioni con l'astrologia ed in particolare con la preveggenza mistica. La scuola pitagorica, di grande rilievo nell'antichità, proiettando il numero all'essenza del cosmo, ha firmato successi non indifferenti nella storia del pensiero matematico.

Ancora Tolstoy, in tempi relativamente recenti, con sofisticate argomentazioni crittografiche traduceva le lettere contenute nel nome *Napoleone Bonaparte* in *666*: il numero della bestia nell'Apocalisse di Giovanni. Su di un piano più scientifico Archimede, tre secoli prima di Cristo, azzardò il calcolo dei grani di sabbia presenti in tutto l'universo. Il risultato, 10^{63} , valutate le dimensioni dei granelli considerate da Archimede, corrisponde ad un numero di barioni pari a 10^{80} ; straordinariamente simile a quello oggi accettato quale approssimazione del numero di barioni contenuti nel nostro orizzonte delle particelle [Barrow & Tipler, 1986]. Simili coincidenze possono sminuire la portata delle intere considerazioni moderne sui grandi numeri; è un'osservazione da non sottovalutare prima di avventurarsi in elucubrazioni cabalistiche. È tuttavia innegabile che, talora, simili elucubrazioni possano anche avere un certo valore euristico: basti pensare alla legge empirica di Titius - Bode.

Invero non sembra che l'uomo abbia rinunciato al fascino di argomentare e fantasticare sul valore dei numeri. Si tenta ancora di usare i valori numerici, questa volta di grandezze fisiche, per intuire l'esistenza di nuove leggi o principi della natura. Non mancano esempi che si sono dimostrati estremamente fecondi nei loro sviluppi. L'uso, o l'abuso, più

grande di queste argomentazioni nel nostro secolo è certamente quello che fa capo ai cosiddetti *numeri cosmici* ovvero *numeri magici cosmologici*.

La discussione del possibile significato di queste relazioni adimensionali costruite usando le grandezze cosmologiche fondamentali comincia già nel 1919 con Hermann Weyl [Weyl, 1919], ed è stata ripresa da Eddington [Eddington, 1934] e [Eddington, 1939], Jordan [Jordan, 1949], Dicke [Dicke, 1961] e molti altri sino ai giorni nostri.

Dirac osserva che: nelle relazioni adimensionali formate con le grandezze cosmologiche fondamentali, ricorrono numeri con base 10 ed esponenti che sono multipli interi (o al limite seminteri) di 40 [Dirac, 1937], e che una di queste espressioni è interpretabile approssimativamente come l'età dell'Universo.

Si deve notare che non è la sola ricorrenza degli esponenti in sé ad insospettire gli illustri studiosi che hanno analizzato in passato questa curiosità. Di estremo rilievo è anche l'enormità di tali numeri, 10^{40} è infatti un numero che non può non avere un significato fisico profondo, esso è per esempio il rapporto tra la intensità della forza elettrica e quella gravitazionale. Troviamo dunque numeri, o prossimi all'unità, o al contrario molto grandi, essi sono inoltre numeri ricorrenti. Si parla, come meglio spiegato in seguito, di numeri adimensionali, in sostanza di *RAPPORTI*, tra grandezze. Nei fondamenti stessi di come abbiamo definito la nostra aritmetica, ossia in sostanza del linguaggio usato per contare gli oggetti del nostro quotidiano, va da sé che una legge fisica, ossia che rappresenti la realtà osservabile, contenga numeri relativamente piccoli, quali interi di pochi ordini di grandezza, i *razionali sem-*

plici, che definiremo in seguito, oppure dei rapporti sostanzialmente geometrici quali π ed e . In ogni caso ci aspettiamo numeri adimensionali (non valori, sia chiaro, come quelli della velocità della luce o della costante di Planck, che dipendono dalle unità di misura usate) relativamente piccoli. Per fare degli esempi: il rapporto tra la lunghezza di una circonferenza ed il suo raggio è 2π , od ancora: il rapporto tra l'energia cinetica di un corpo ed il prodotto della sua massa per la sua velocità al quadrato è $\frac{1}{2}$.

Gli studiosi che hanno analizzato il mistero dei numeri cosmici, sono stati dunque attratti, non già solo dalle mere ricorrenze, ma anche dalla enormità di questi numeri adimensionali. Abbiamo già evidenziato come alcuni di questi numeri sembrano correlati o addirittura dipendano direttamente dall'età e/o dalle dimensioni osservabili del nostro cosmo, e dunque sono evolventi con il tempo.

Tornando ora a Dirac, Egli, reputando altamente improbabili le coincidenze sopra citate, suppose che le espressioni includessero grandezze cangianti nel tempo come potenze semplici.[Dirac, 1937] In particolare Dirac suppose la costante di gravità essere inversamente proporzionale al tempo T . Questa variazione temporale, avrebbe riallineato molti dei numeri adimensionali, numero barionico dell'universo e rapporto raggio di Hubble e raggio dell'elettrone, per far un esempio, oppure il rapporto tra forza elettrica e forza gravitazionale, confrontato con il tempo cosmico attuale e il tempo di attraversamento di un nucleone da parte di un segnale elettromagnetico. [Dicke, 1961] Questa idea, semplice e decisamente plausibile, ha tuttavia implicazioni fisiche drastiche.

Ci proponiamo di mostrare che non solo questa assunzione non è

necessaria per spiegare la ricorrenza dei grandi numeri, ma che, una volta assunta la validità del principio antropico, in qualsivoglia forma lo si consideri, essa è di fatto inevitabile date le caratteristiche dimensionali delle costanti fondamentali. È opportuno premettere che, nella ricerca di leggi o relazioni di interesse fisico, gli unici rapporti tra grandezze fisiche, con valori numerici significativi, sono quelli tra grandezze omogenee. I rapporti così ottenuti sono adimensionali ed i loro valori numerici non dipendono dalle particolari unità di misura scelte. Il problema dunque è quello di ottenere delle relazioni adimensionali dal prodotto di potenze delle costanti fondamentali della fisica. Mostriamo ora che, scelte queste ultime, **esistono solo quattro relazioni adimensionali indipendenti**. Tutte le altre si ricavano dal prodotto di queste, ciascuna elevata ad un particolare esponente.

6.2 Il vincolo dimensionale

In pratica le dimensioni che ci interessano sono quelle delle grandezze meccaniche, pertanto useremo sempre d'ora in poi il sistema *CGS*. Quest'ultimo, a differenza del sistema *MKSA* usa le sole tre dimensioni di **massa, lunghezza e tempo**.

L'introduzione dell'intensità di corrente semplifica molto la trattazione dell'elettromagnetismo; essa ha tuttavia una dimensione del tutto avulsa da quelle meccaniche. Utilizzando il sistema *MKSA* non sarebbe possibile formare, usando le costanti fondamentali, delle relazioni adimensionali contenenti la carica elettrica elementare. Più in dettaglio la costante di struttura fine $e^2/\hbar c$ oltre a perdere la sua adimensionalità, assumerebbe un valore completamente diverso dal famoso $1/137$. Si sarebbe costretti a usare l'espressione $ke^2/\hbar c$, decisamente artificiosa, anche la forza elettrostatica, che spesso compareremo alla forza gravitazionale, per stimarne le rispettive costanti di accoppiamento, sarebbe gravata dalla costante di Coulomb k ; in sintesi usare il sistema *CGS*, come peraltro nella gran parte della letteratura sull'argomento, ci consente una notevole semplificazione.

La tecnica algebrica usata è quella di assegnare ad ogni costante un vettore tridimensionale (una matrice 3×1), che contenga le dimensioni della costante in questione.

Nell'ordine esse sono: massa, lunghezza e tempo. Avremo pertanto vettori del genere:

$$\begin{vmatrix} M \\ L \\ T \end{vmatrix}$$

Per rafforzare il ragionamento consideriamo l'intero insieme di costanti che comprende tutte quelle usate in letteratura sull'argomento: c , e , G , \hbar , m , H_0 , ρ_0 . Si tratta di velocità della luce, carica elettrica elementare, costante di gravitazione universale, costante di Planck ridotta, massa del protone, costante di Hubble, densità media dell'universo.

Queste ultime sono necessarie per introdurre nelle nostre relazioni l'età e la massa complessiva dell'universo, si noti che esse non sono propriamente costanti nel tempo, tant'è che sono connotate con il pedice $_0$, in questo caso ci si riferisce ai valori attuali, e la costanza è da intendersi in senso spaziale, non temporale. Si operano approssimazioni a meno di termini prossimi all'unità; esse rientrano nell'ordine di approssimazione assunto per la validità delle considerazioni sui grandi numeri, come tra l'altro chiaramente definito, lo vedremo a breve, da [Dicke, 1961], e sintetizzabile in questo suo spezzone di frase, estremamente esplicativo: *..dropping numerical factors...*

È estremamente comodo usare in partenza e^2 in sostituzione di e , sia perché la carica elettrica appare al quadrato in tutte le formule che ci interessano, sia perché due sue dimensioni sono semi-intero.

I vettori assegnati ad ogni grandezza saranno indicati anche dal simbolo della grandezza inclusa tra parentesi quadre. Con questo formalismo si trovano nell'ordine i sette vettori seguenti, le cui componenti, nell'ordine, rappresentano le dimensioni di Massa, Lunghezza e Tempo:

$$[c] = \begin{vmatrix} 0 \\ +1 \\ -1 \end{vmatrix} \quad [e^2] = \begin{vmatrix} +1 \\ +3 \\ -2 \end{vmatrix} \quad [G] = \begin{vmatrix} -1 \\ +3 \\ -2 \end{vmatrix} \quad [\hbar] = \begin{vmatrix} +1 \\ +2 \\ -1 \end{vmatrix}$$

$$[H] = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ -1 \end{vmatrix} \quad [m] = \begin{vmatrix} +1 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} \quad [\rho] = \begin{vmatrix} +1 \\ -3 \\ 0 \end{vmatrix}$$

Abbiamo bisogno di sapere quali sono le relazioni indipendenti che generano tutte le possibili relazioni adimensionali. Usando n vettori tridimensionali, si possono costruire solo $n - 3$ relazioni adimensionali indipendenti. Si devono infatti imporre tre condizioni: che ogni dimensione sia nulla, ossia, nel nostro caso che ogni componente del vettore risultante sia nulla.

Per ricavarle è sufficiente l'algebra lineare:

$$\begin{vmatrix} 0 & +1 & -1 & +1 & 0 & +1 & +1 \\ +1 & +3 & +3 & +2 & 0 & 0 & -3 \\ -1 & -2 & -2 & -1 & -1 & 0 & 0 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \\ \delta \\ \epsilon \\ \zeta \\ \eta \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} \quad (6.1)$$

ove le sette lettere greche sono gli esponenti delle sette costanti usate, seguendo l'ordine proposto precedentemente. L'equazione (6.1) è semplicemente una maniera di scrivere:

$$ELN = c^\alpha \times e^{2\beta} \times G^\gamma \times \hbar^\delta \times H^\epsilon \times m^\zeta \times \rho^\eta \quad (6.2)$$

ove l'acronimo *ELN* sta per Every Large Number.

Difatti l'equazione matriciale (6.1) lega gli esponenti in questa maniera:

$$\begin{cases} \beta & -\gamma & +\delta & +\zeta & +\eta & = & 0 \\ \alpha & +3\beta & +3\gamma & +2\delta & -3\eta & = & 0 \\ \alpha & +2\beta & +2\gamma & +\delta & +\epsilon & = & 0 \end{cases} \quad (6.3)$$

Scegliendo come indipendenti $\beta, \gamma, \delta, \eta$:

$$\begin{cases} \alpha = -3\beta & -3\gamma & -2\delta & +3\eta \\ \epsilon = +\beta & +\gamma & +\delta & -3\eta \\ \zeta = -\beta & +\gamma & -\delta & -\eta \end{cases} \quad (6.4)$$

Si può dunque ora scrivere:

$$ELN = c^{3\eta-3\beta-3\gamma-2\delta} \times e^{2\beta} \times G^\gamma \times \hbar^\delta \times H^{\beta+\gamma+\delta-3\eta} \times m^{\gamma-\beta-\delta-\eta} \times \rho^\eta \quad (6.5)$$

Raccogliendo i quattro esponenti *indipendenti* si ha:

$$ELN = (c^3 H^{-3} m^{-1} \rho)^\eta \times (c^{-3} e^2 H m^{-1})^\beta \times (c^{-3} G H m)^\gamma \times (c^{-2} \hbar H m^{-1})^\delta \quad (6.6)$$

Da cui si ottiene:

$$ELN = (c^3 H^{-3} m^{-1} \rho)^\eta \times \left(\frac{e^2}{G m^2} \right)^\beta \times (c^{-3} G H m)^{\gamma+\beta} \times (c^{-2} \hbar H m^{-1})^\delta \quad (6.7)$$

ed anche:

$$= (c^3 H^{-3} m^{-1} \rho)^\eta \times \left(\frac{e^2}{G m^2} \right)^{\beta+\delta} \times (c^{-3} G H m)^{\gamma+\beta} \times (c^{-2} \hbar H m^{-1})^\delta \times \left(\frac{e^2}{G m^2} \right)^{-\delta} \quad (6.8)$$

dopo quest'ultima manipolazione:

$$= (c^3 H^{-3} m^{-1} \rho)^\eta \times \left(\frac{e^2}{G m^2} \right)^{\beta+\delta} \times (c^{-3} G H m)^{\gamma+\beta+\delta} \times \left(\frac{e^2}{\hbar c} \right)^{-\delta} \quad (6.9)$$

basta porre (sottolineando che l'ordine di scrittura in (6.9) evidenzia l'immutata indipendenza dei quattro esponenti):

$$\begin{cases} a = \eta & -c \\ d = -\delta \\ b = \beta & -d \\ c = \gamma & +b \end{cases} \quad (6.10)$$

dal che consegue:

$$ELN = (c^3 H^{-3} m^{-1} \rho)^{a+c} \times \left(\frac{e^2}{Gm^2} \right)^b \times (c^{-3} GHm)^c \times \left(\frac{e^2}{\hbar c} \right)^d \quad (6.11)$$

per ottenere finalmente:

$$ELN = (c^3 H^{-3} m^{-1} \rho)^a \times \left(\frac{e^2}{Gm^2} \right)^b \times (H^{-2} G\rho)^c \times \left(\frac{e^2}{\hbar c} \right)^d \quad (6.12)$$

Le quantità adimensionali a secondo membro rappresentano, a meno di termini del tipo $8\pi/3$, nell'ordine: la stima del numero barionico complessivo dell'universo a noi osservabile che chiamiamo N , il rapporto tra forza elettromagnetica e gravitazionale $\frac{F_e}{F_G}$, il rapporto Ω tra densità attuale e densità critica dell'universo, la costante di struttura fine α . Nella seconda di tali quantità si è usato per m^2 un valore che in realtà è pari a $m_p m_e$, come comunemente si adotta. Si noti che in tal modo non si aumenta il numero delle costanti poiché le due masse in questione sono legate da un rapporto ben determinato. Si tratta di un rapporto, circa 1836, *piccolo* secondo i parametri stabiliti da Dicke . . . *where such numbers as $m_p/m_e \sim 1,800$ and $\frac{\hbar c}{e^2} \sim 137$ are said to be of the order of unity, the zero power of 10^{40} .* [Dicke, 1961].

Sostituendo ora i valori noti per queste quantità si ottiene, con le approssimazioni suddette ed in linea con la letteratura, l'espressione finale:

$$ELN \cong (10^{80})^a \times (10^{40})^b \times (1)^c \times (100)^{-d} \cong (10^{40})^{2a+b} = (10^{40})^{\frac{2}{d}} \quad (6.13)$$

Essa indica che qualora si usino per **a**, **b**, **c**, **d** valori *razionali semplici*, vale a dire rapporti tra interi prossimi ad uno, ogni relazione adimensionale, costruita con le grandezze fisiche assunte in partenza, sarà

prossima all'unità oppure esprimibile in termini di $N^{\frac{1}{2}} N N^{\frac{3}{2}} N^2 \dots$; N essendo pari a circa 10^{40} : **questi sono per l'appunto i numeri magici.**

Difatti ricavate *a posteriori* le espressioni usate da Dirac, si deducono valori di **a, b, c, d** *razionali semplici*. È ragionevole pensare che ciò si debba ascrivere al carattere antropocentrico della formulazione simbolica delle leggi fisiche, che tende all'economia di notazione. D'altro canto la stessa notazione esponenziale, della quale proprio stiamo parlando, è un evidente esempio della tendenza antropocentrica (base dieci, come le dita delle nostre mani!) e dell'economia di notazione (non dieci seguito da quaranta zeri, bensì 10^{40}). Se vogliamo, nella stessa genesi delle leggi fisiche, si usano notazioni che inducono a semplificare la lettura delle stesse, per esempio nella legge di Gravitazione Universale Newtoniana la costante di proporzionalità è definita semplicemente come G , non come, ad esempio, $G^{\frac{8}{-19}}$; l'interpretazione Machiana di *scienza come economia del pensiero* può essere utile a interpretare l'argomento. In ogni caso, a maggiore ragione, ricordiamo che nella letteratura sull'argomento, di fatto, le sette grandezze prima elencate, che sono quelle che generano le varie combinazioni dei grandi numeri, sono sempre combinate per l'appunto, con esponenti piccoli, o al più *razionali semplici*, come già definito. Questo perchè si sono combinate grandezze che generassero dei rapporti significativi in Fisica, il rapporto tra raggio dell'universo e raggio Compton di una una particella elementare, il rapporto tra massa totale dell'universo e massa di una particella tipo, il rapporto tra Forza Elettrica e Gravitazionale, e così via. È di palmare evidenza che se nella formula ELN utiliz-

zassimo esponenti qualunque, purché non tutti nulli, potremmo generare qualunque tipo di numero positivo, qualsivoglia piccolo o grande; portemmo addirittura ottenere dei numeri negativi, ampliando gli esponenti al campo dei numeri complessi. Non è ovviamente questo lo scopo di questo calcolo, bensì quello di mostrare che: i vincoli dimensionali *costringono* di fatto i numeri adimensionali significativi in Fisica, o almeno in Cosmologia, ad essere dominati da successioni di uno di questi rapporti (il 10^{40} che è il risultato del rapporto tra intensità di Forza Elettrica e Gravitazionale). Vedremo che di fatto questo numero così grande è un indice del gran numero di barioni necessari per formare un Universo in grado di accogliere un Osservatore, e che la sua ricorrenza in due espressioni sulle quattro ottenute come generatrici dalla formula 6.12 è vincolata da condizioni antropiche.

Come esempio, si può ora mostrare la dipendenza dei grandi numeri ricavati in letteratura dalle espressioni indipendenti assunte come *generatrici*. Il numero barionico dell'universo si può scomporre in questa maniera:

$$c^3 H^{-3} m^{-1} \rho = \left(\frac{\rho G}{H^2} \right) \times \left(\frac{c^3}{mGH} \right) \cong \Omega \times \left(\frac{mc^2 R}{Gm^2} \right) \quad (6.14)$$

ove con R si è indicato il raggio dell'universo osservabile; usando poi l'espressione del raggio di Compton, prossimo a quello classico a meno di α , del protone:

$$r = \frac{\hbar}{mc} \quad (6.15)$$

ne deriva:

$$\Omega \times \left(\frac{mc^2 R}{Gm^2} \right) = \Omega \times \frac{cR\hbar}{Gm^3 r} = \Omega \times \frac{e^2 cR\hbar}{Gm^2 r e^2} = \Omega \times \alpha^{-1} \times \left(\frac{e^2}{Gm^2} \right) \times \frac{R}{r} \quad (6.16)$$

ove con α si è indicato questa volta la costante di struttura fine, come consuetudine in fisica. Per il rapporto suddetto si ottengono allora i seguenti valori di **a**, **b**, **c**, **d**: $a = 1$, $b = -1$, $c = -1$, $d = 1$; come si vede numeri *razionali semplici*. In altri termini si può scrivere:

$$\frac{R}{r} = \left(c^3 H^{-3} m^{-1} \rho \right)^1 \times \left(\frac{e^2}{Gm^2} \right)^{-1} \times \left(H^{-2} G \rho \right)^{-1} \times \left(\frac{e^2}{\hbar c} \right)^1 \quad (6.17)$$

Ora, se a quanto finora esposto, si potessero aggiungere ulteriori argomentazioni che circoscrivessero le quattro grandezze adimensionali sopra riportate ad un certo intervallo di valori, potremmo decapitare con il *Rasoio di Occam* l'ipotesi dei grandi numeri (*LNH, Large Numbers Hypothesis*) di Dirac, e tutte le vere e proprie teorie cosmologiche, create all'occasione, che vorrebbero assegnare alle ricorrenze nei numeri cosmici significati reconditi.

Il problema è ora dunque ridotto all'interpretazione dell'unica *ricorrenza*, non prevedibile *a priori* sintetizzata in: $(c^3 H^{-3} m^{-1} \rho) \sim (10^{40})^2$.

6.3 Il ruolo del Principio Antropico

Le considerazioni sui grandi numeri possono essere arricchite con l'introduzione della tematica del Principio Antropico. L'equazione (6.12) esprime ELN come prodotto di potenze di rapporti di grande rilevanza fisica. Essi sono legati da condizioni antropiche, nel senso che una significativa variazione, di uno qualunque degli stessi, limiterebbe la possibilità di esistenza dell'osservatore. Abbiamo visto come questi rapporti siano interpretabili come: numero N barionico dell'universo a noi osservabile, rapporto tra intensità di forza elettrica e gravitazionale, rapporto tra densità media di materia energia dell'universo e densità critica Ω , ed infine α : la costante di struttura fine.

In via preliminare possiamo fare delle considerazioni *qualitative* su questi quattro rapporti adimensionali. L'esistenza dell'osservatore indica che Ω ed α devono essere numeri non troppo lontani dall'unità (si spiegherà a breve il significato dell'approssimazione ALN), e che invece il rapporto tra forza elettromagnetica e gravitazionale, come anche il numero complessivo di barioni, devono essere numeri svariati ordini di grandezza più grandi. Per entrambi questi rapporti così grandi vale la suggestiva considerazione di M. Rees : *..la (loro) grandezza RISPECCHIA la debolezza della gravità, un grandissimo numero di particelle deve riunirsi prima che la gravità diventi importante...*[Rees, 1999] In particolare la forza elettromagnetica deve di necessità essere di gran lunga predominante su quella gravitazionale, affinché esista un osservatore a rivelarne il rapporto (WAP); o, se si preferisce, l'esistenza

corporea richiede di necessità tale rapporto (*SAP*). La forza elettromagnetica infatti, non è *sempre additiva* come quella gravitazionale, che non prevede *cariche di segno opposto*, e poichè per l'accensione del motore nucleare delle stelle, si deve raggiungere un equilibrio tra gli ordini di grandezza di queste forze, la grande massa delle condensazioni gravitazionali arriva a bilanciare forze immensamente più grandi.

È opportuno preliminarmente chiarire quali siano i limiti dell'approssimazione così spesso invocata. Allo scopo introduciamo un acronimo: ALN, per assonanza con la precedente ELN, che sta ora per: Approximation of Large Numbers, essa corrisponde alla approssimazione introdotta da [Dicke, 1961], ed in sostanza permette di elidere componenti dell'ordine di grandezza di alcune unità. Come già detto, per esempio, ci permette di usare indistintamente la massa dell'elettrone o quella di un nucleone. Si ricorda che tale approssimazione è largamente tollerata, utilizzata, ed anzi implicitamente abusata potremmo quasi dire, in tutta la letteratura relativa. Si userà la notazione \cong per indicare grandezze, sempre adimensionali, uguagliabili nei limiti di tale approssimazione, e che definiremo pertanto equivalenti. Per semplicità si userà anche la notazione di anteporre l'acronimo WAP, subito dopo la scrittura di una equivalenza, come appena definito, che si ottiene utilizzando il Principio Antropico (usato come rafforzativo nella sua forma debole).

Prendiamo in considerazione, più in dettaglio, le due ultime grandezze dell'equazione 6.12; numerosi autori hanno mostrato come Ω e α , siano *vincolate* da considerazioni Antropiche (WAP) a poter variare solo in un intervallo alquanto ristretto. Per Ω la faccenda, soprattutto nei li-

miti dell'approssimazione ALN, è anche perfino abbastanza intuitiva, il [Barrow & Tipler, 1986] è comunque esaustivo sull'argomento, e mostra anche i limiti di variazione di α , perchè una vita intelligente possa esistere per misurarla: una sua variazione anche del 20% sarebbe fatale per la possibilità di vita nel Cosmo. Le quattro figure a fine capitolo illustrano *qualitativamente* le aree di variabilità massima, concesse a questi parametri, perchè essi siano compatibili con la presenza di vita. Una analisi più approfondita di questa variabilità non è oggetto di questa tesi, riguarda piuttosto i *fine-tuning*, a noi basta cristallizzare tale variabilità entro i limiti di tolleranza della approssimazione ALN. È evidente, da quanto esposto, che l'intervallo di variazione di Ω e di α compatibile con WAP, ne risulta appiattito circa quaranta ordini di grandezza al di sotto del *grande numero* che, al contrario, contraddistingue i rimanenti due parametri dell'equazione 6.12.

Tornando a N e a $\frac{F_e}{F_G}$, qualche conteggio illustrerà che: al nostro tempo T di osservazione (WAP), essi devono essere approssimativamente (ALN) l'uno il quadrato dell'altro.

Per mostrare questa equivalenza, sostituiamo in 6.12 $\rho \cong \frac{H^2}{G}$, perchè in ipotesi WAP e ALN vale l'equivalenza: $\rho \cong \rho_C$ (questa è in pratica il succitato valore di $\Omega \cong 1$), si noti che, come definito nell'introduzione di questa tesi con il simbolo \cong si indicano due grandezze equivalenti in seno alla LNH. Per il medesimo motivo trascuriamo il termine portato da α .

e pertanto otteniamo:

$$ELN \cong \left(\frac{c^3 H^2}{H^3 m G}\right)^a \times \left(\frac{F_e}{F_G}\right)^b = \left(\frac{c^3 T}{m G}\right)^a \times \left(\frac{F_e}{F_G}\right)^b \quad (6.18)$$

Dicke ha ottenuto, per il tempo T di vita medio di una stella, di massa adeguata, della sequenza principale, l'espressione seguente (sempre in approssimazione ALN): [Dicke, 1961]

$$\frac{m c^2 T}{\hbar} \cong \left(\frac{G m^2}{\hbar n a r c}\right)^{-1} \quad (6.19)$$

da cui,

$$T \cong \frac{\hbar a r^2 c}{m^3 G c^2} = \frac{\hbar a r^2}{m^3 c G} \quad (6.20)$$

È questo il nostro tempo T di osservazione. L'effetto di *autoselezione* impone all'osservatore, stante la fisica e la biologia per come ci sono note, di osservare il cosmo, e pertanto le quattro relazioni adimensionali della equazione 6.12, a tale tempo T .

Ne deriva che usando l'espressione appena ottenuta per T , e sostituendola ad $1/H$ (notoriamente $T \cong 1/H$). si ottiene :

$$ELN \cong \left(\frac{\hbar a r^2 c^2}{G^2 m^4}\right)^a \times \left(\frac{F_e}{F_G}\right)^b \quad (6.21)$$

e, infine, ricordando l'espressione per $\alpha = \frac{e^2}{\hbar c}$, che si può sopprimere in approssimazione ALN:

$$ELN \cong \left(\frac{\hbar a r^2 c^2 e^4}{G^2 m^4 e^4}\right)^a \times \left(\frac{F_e}{F_G}\right)^b = \left(\frac{F_e}{F_G}\right)^{2a} \times \left(\frac{F_e}{F_G}\right)^b \quad (6.22)$$

che corrisponde alla condizione cercata.

La condizione vincolate sul tempo T di osservazione, portata dall'*equivalenza* di Dicke (equazione 6.19), è una condizione antropica, e dimostra la capacità deduttiva che può avere il Principio Antropico. Per concludere: al tempo T , approssimativamente (ALN) inevitabile (WAP) perchè esista un lettore di questa tesi, il numero di barioni dell'universo deve essere approssimativamente (ALN) simile al quadrato dei rapporti di intensità di forza elettrica e gravitazionale. Gli ulteriori due *vincoli antropici* della formula (6.12) che caratterizza gli ELN , risolvono definitivamente il mistero dei grandi numeri, o numeri cosmici, che dir si voglia.

Per concludere:

Signori, ..., invito loro ad andare a misurare quel chiosco. Vedranno che la lunghezza del ripiano è di 149 centimetri, vale a dire un centomiliardesimo della distanza Terra-Sole. L'altezza posteriore divisa per la larghezza della finestra fa $176/56=3,14$. L'altezza anteriore è di 19 centimetri e cioè pari al numero di anni del ciclo lunare greco. La somma delle altezze dei due spigoli posteriori fa $190 \times 2 + 176 \times 2 = 732$, che è la data della vittoria di Poitiers. Lo spessore del ripiano è di 3,10 centimetri e la larghezza della cornice della finestra di 8,8 centimetri. Sostituendo ai numeri interi la corrispondente lettera alfabetica avremo $C_{10}H_8$ che è la formula della naftalina. [Eco, 1988]

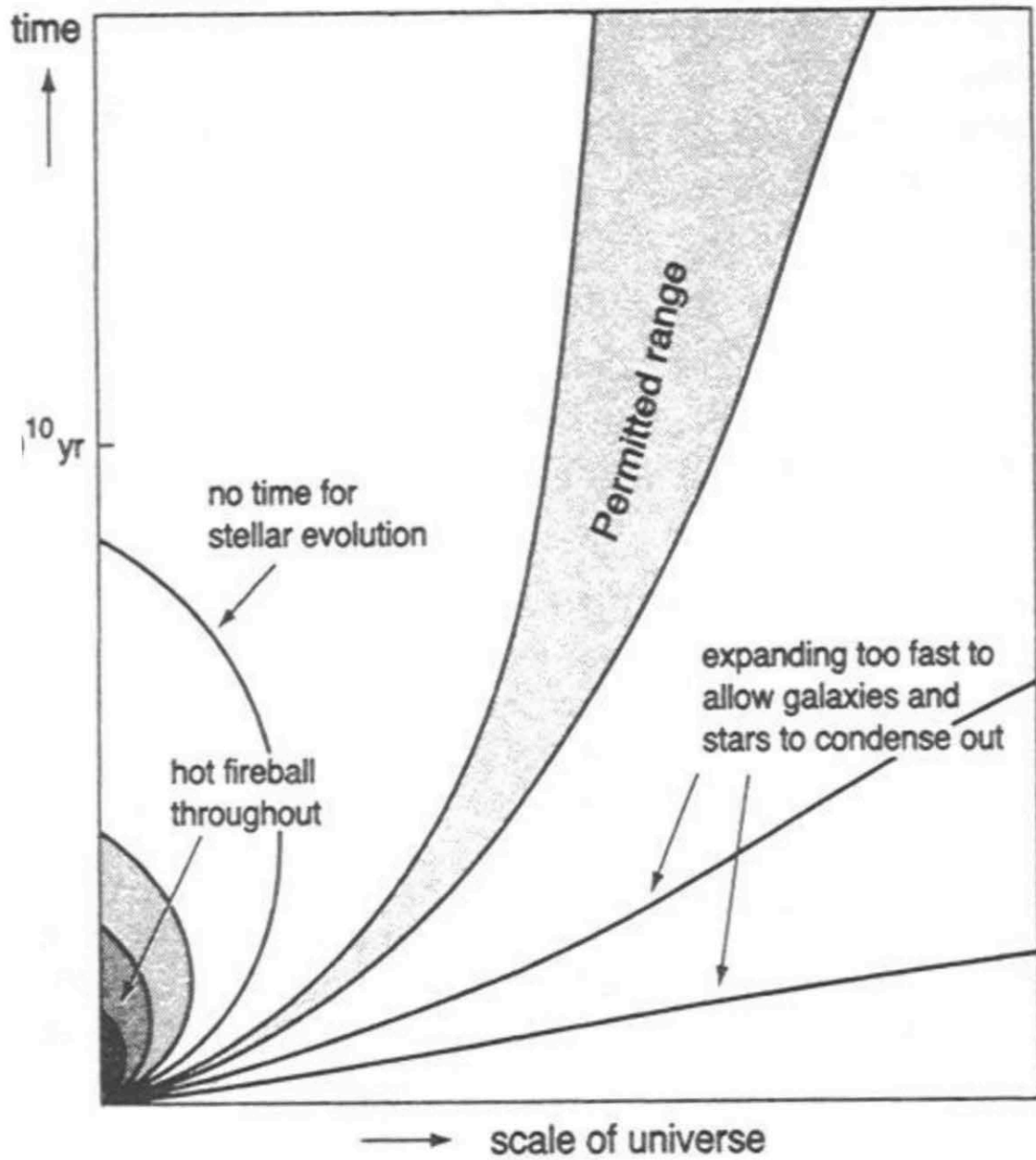


Figura 6.1 : Effetti della velocità/accelerazione di evoluzione del fattore di scala sulla possibilità di esistenza di grandi condensazioni di materia.

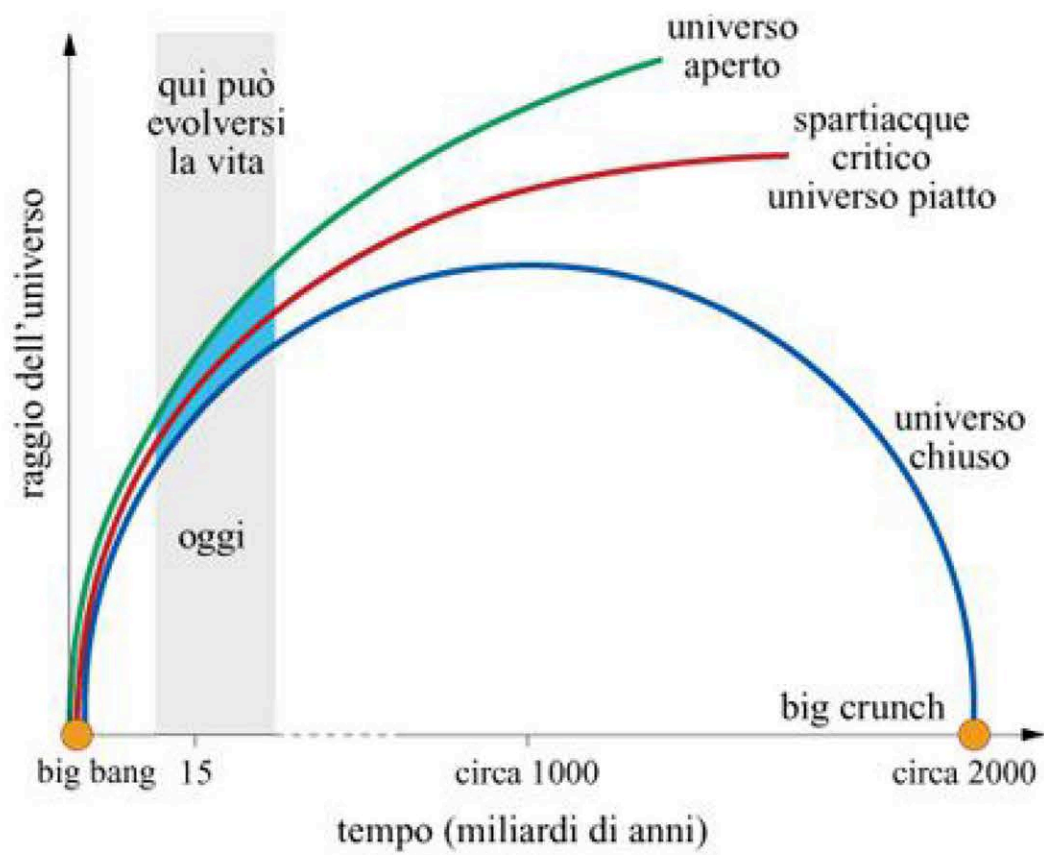


Figura 6.2 : Effetto dei differenti valori di densità (di materia-energia) sulla finestra di esistenza possibile di vita.

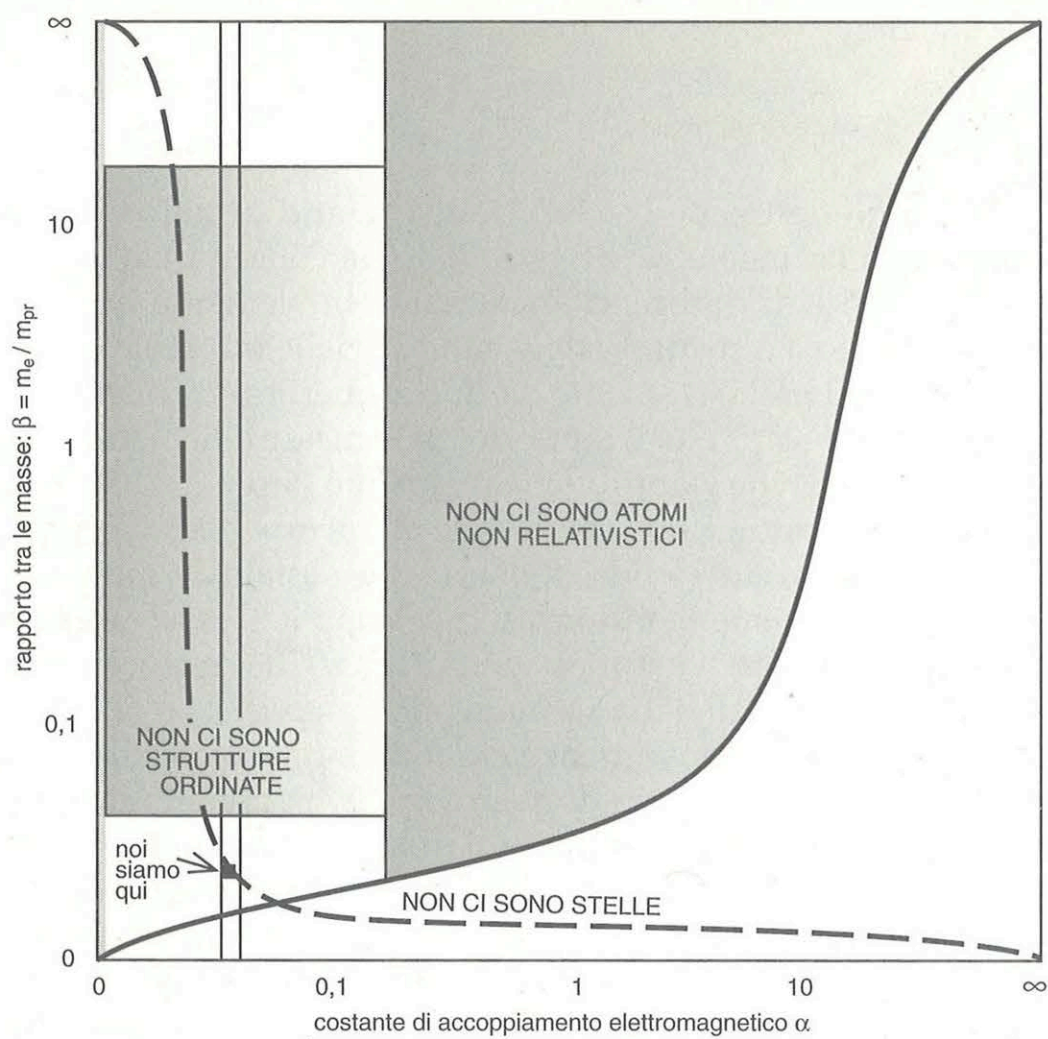


Figura 6.3 : Correlazione tra valori di α e del rapporto m_p/m_e , possibili per la vita.

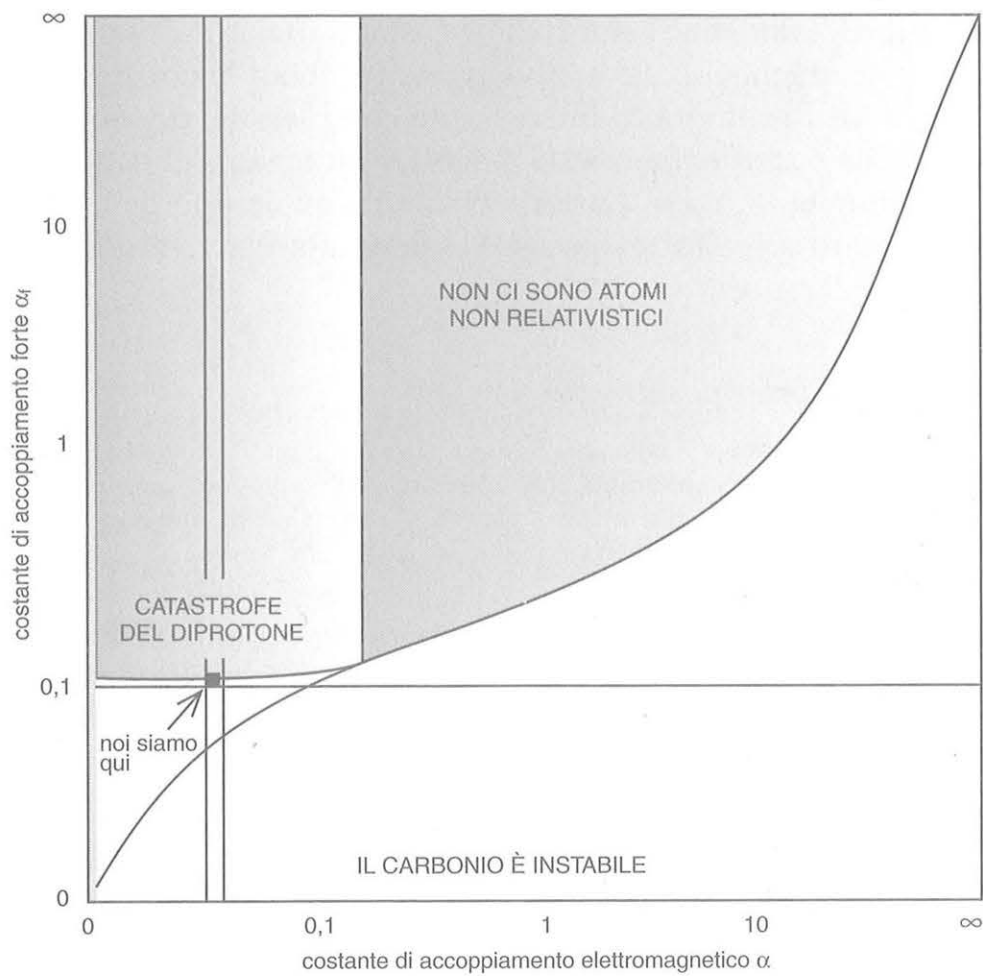


Figura 6.4 : Correlazione tra valori di α e della costante di accoppiamento forte, possibili per la vita.

Capitolo 7

Conclusioni

*‘Se le porte della percezione fossero depurate,
tutto apparirebbe come realmente è: infinito’*

William Blake

La brevissima ricostruzione delle prime fasi storiche della Cosmologia Moderna, e delle evidenze osservative che più ci interessano, esposta nel capitolo 4, ci ha permesso, nonostante l'estrema sintesi, di giungere a intravedere come il Cosmo non sia fisso e immutabile, ma tutt'altro, in costante evoluzione, perfino in espansione, in qualche modo *vivo* e con una storia evolutiva di tutto rispetto. Esso ha perfino un tempo di esistenza, estremamente simile a quello che ci è indispensabile per esistere, cosa che tutto sommato non potremmo attenderci a priori se partissimo con le nozioni che abbiamo ricostruito dall'inizio di questa tesi, o almeno con le sole nozioni scientifiche. Nella storia evolutiva del Cosmo ci si imbatte in *fine-tuning*, a volte così macroscopici da apparire davvero misteriosi. Quandanche essi si volessero interpretare come casuali, cionondimeno renderebbero *innaturale* la teoria che non riesca a spiegarli. Una soluzione per spiegare tali coincidenze e regolazioni ultra-fini potrebbe essere l'utilizzo di teorie del multiverso, o dell'inflazione Eterna o caotica, alle quali si è accennato. Anche se tali teorie sono logicamente coerenti e potrebbero senza dubbio risultare vincenti, quando le si riuscirà a corredare da evidenze osservative convincenti (ove possibile), riteniamo comunque inossidabile la conclusione del fisico teorico e teologo John Polkinghorne:

*Anthropic fine tuning is too remarkable to be dismissed as just a
happy accident*

Ma, volendo dare l'ultima parola a chi contesta la visuale del Principio Antropico, citiamo per finire l'argomento di un famoso scettico, ed anzi fortemente critico su tutte le tematiche portate dal principio

antropico: il fisico Victor Stenger. Esso si può sintetizzare con la sua frase:

The universe is not fine-tuned to life; life is fine-tuned to universe

Se la prima parte della frase, può coinvolgere l'aspetto tautologico del WAP, nel senso che lo rende una banale necessità logica, ci sembra che la seconda parte della frase, oltre a rischiare addirittura di ricadere, per una perversa dialettica degli opposti in pieno SAP, se non FAP, non possa minimamente sfuggire alle considerazioni del PAP.

La speranza dell'autore, al termine degli studi che lo hanno portato a scrivere questa tesi è :

- Di essere riuscito a mostrare che le *considerazioni antropiche* possono essere elevate al rango di Principio.
- Che lo stesso può essere utilizzato per dedurre inferenze scientifiche.
- L'autore ha inoltre applicato il calcolo *antropico* del tempo t attuale ottenuto da Dicke nel 1961, per rielaborare in maniera originale ed usando l'analisi dimensionale con notazione matriciale, il mistero dei grandi numeri cosmici, mostrando come di fatto esso sia così risolto.

Ci piace concludere con un immaginario discorso, tenuto nell'antichità da un qualche precettore di fantasia, che Robert Graves ha idealmente evocato con queste parole

explicit liber:

‘...Altri dicono che il Dio di tutte le cose (chiunque Egli fosse, poiché taluni lo chiamano natura), apparso improvvisamente nel Caos, separò la terra dal cielo, le acque dalla terra e la parte superiore dell’aria dall’inferiore. Dopo aver separato l’uno dall’altro anche gli elementi, li dispose nell’ordine che ancor oggi si osserva. Divise la terra in zone, alcune molto calde altre, altre molto fredde, altre temperate; la modellò in pianure e montagne, la rivestì di erba e di alberi. Sopra di esse pose il firmamento scintillante di stelle e assegnò la loro direzione ai quattro venti. Popolò inoltre le acque con pesci, la terra con animali, il cielo con il sole, la luna ed i cinque pianeti. Infine creò l’uomo che, unico tra tutti gli animali, alza la faccia verso il cielo e osserva il sole, la luna e le stelle ...’

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano con affetto: il Dott. Roberto Caimmi per le continue e stimolanti discussioni e suggerimenti; il Prof. Luigi Secco, al quale si deve, tanti anni fa, l’ispirazione per questa tesi; ed infine il Prof. Giovanni Carraro, i cui continui incoraggiamenti, ne hanno permesso la conclusione.

Bibliografia

[Propilei, 1967] **AA. VV.**

I Propilei
Milano, Mondadori, 1967, 11 volumi
I ed. originale Propyläen-Weltgeschichte,
Frankfurt, Verlag Ullstein, 1961

[a cura di Audouze *et al.*, 1980] **AA. VV.**
a cura di J.Audouze, R.Balian & D.N. Schramm

Physical Cosmology
Les Houches, North-Holland Publ. Comp., 1980

[a cura di Bernstein & Feinberg, 1986] **AA. VV.**
a cura di J.Bernstein e G.Feinberg

Cosmological constants
New York, Cambridge University Press, 1986

[a cura di Bertola & Curi, 1989] **AA. VV.**
a cura di F.Bertola e U.Curi

The anthropic principle
Cambridge, Cambridge University Press, 1989

[Atkinson, 1968] **Atkinson R.**

Secular Changes in Atomic "Constants"
Phys. Rev. **Vol. 170**, 1968, 1193-1194

[Audouze, 1980] **Audouze J.**

Ages of the Universe
in [a cura di Audouze *et al.*, 1980]

[Barbaro, 1989] **Barbaro Guido**

Dispense di elettrodinamica cosmica
Padova, Dipartimento di Astronomia, A.A. 1989-90

[Barrow, 1979] **Barrow J.D.**

The proton half life and the Dirac hypothesis
Nature, **Vol. 282**, 1979, 698-699

[Barrow, 1980] **Barrow J.D.**

Grand unification theories and the large numbers hypothesis
Nature, **Vol. 287**, 1980, 566

[Barrow, 2002] **Barrow J.D.**

The constants of Nature. From Alpha to Omega
Traduzione italiana:
Milano, Arnoldo Mondadori Editore, Hoepli, 2003

[Barrow & Tipler, 1986] **Barrow J. D. & Frank J. Tipler**

The anthropic cosmological principle
Oxford, Oxford University Press, 1989 (I ed.1986)

[Barrow & Turner, 1981] **Barrow J.D. & S. Turner**

Inflation in the Universe
Nature, **Vol. 292**, 1981, 35-38

[Berry, 1976] **Berry M.V.**

Principles of Cosmology and Gravitation
Cambridge, Cambridge University Press, 1976

[Bertschinger, 1990] **Bertschinger Edmund**

Einstein's blunder resurrected
Nature, **Vol. 348**, 1990, 675-676

[Binney & Tremaine, 1987] **Binney J. & S. Tremaine**

Galactic Dynamics
Princeton, Princeton University Press, 1987

[Bisogno, 1991] **Bisogno Paolo**

Memorie del futuro
Milano, F. Angeli Editore, 1991

[Brans & Dicke, 1961] **Brans C. & R.H. Dicke**

*Mach's Principle and a Relativistic Theory of
Gravitation*
Phys. Rev. **Vol. 124**, 1961, 925-935

[Broglia & Kozlowski, 1986] **Broglia Alberto e Janusz Kozlowski**

Il Paleolitico
Milano, Jaca Book, 1986

[Bertazzi & Caimmi, 1988] **Bertazzi Gianfranco e Roberto
Caimmi**

Cosmo Spazio Tempo
Brescia, Editrice Sardini, 1988

[Binney & Tremaine, 1987] **Binney J. & S. Tremaine**

Galactic Dynamics
Princeton, Princeton University Press, 1987

[Caldara, 1980] **Caldara Adriana**

*Passaggio di fluttuazioni primordiali
attraverso la ricombinazione*
Tesi di laurea, Università di Padova
Dipartimento di Fisica, A.A. 1980-81

[Carr & Rees, 1979] **Carr B.J. & M.J. Rees**

*The anthropic principle and the structure of the
physical world*
Nature, **Vol. 278**, 1979, 605-612

[Carter, 1974] **Carter Brandon**

*Large Number Coincidences and the anthropic
principle in cosmology*
in *Confrontation of cosmological theories with observation*
Dordrecht, Longair, 1974

[Cart, 1973] **Carter Brandon**

*Confrontation of cosmological theories with
observational data; Proceedings of the Symposium,
Krakow, Poland, September 10-12, 1973. p. 291-298*
Dordrecht, D. Reidel Publishing Co., 1974

[Cester, 1984] **Cester Bruno**

Corso di Astrofisica
Milano, Hoepli, 1984

[Clayton, 1983] **Clayton Donald D.**

Principles of Stellar Evolution and Cosmology
Chicago, Chicago University Press, 1983 (I ed. 1968)

[Collins *et al.*, 1989] **Collins P.B., Martin A.D. & E.J. Squires**

Particle physics and cosmology
New York, Wiley, 1989

[Cotterell, 1989] **Cotterell Arthur**

Dei miti e delle leggende
Milano, Rizzoli, 1990

[Crick & Orgel, 1973] **Crick F.H.C. & L.E. Orgel**

Directed Panspermia
Icarus, **Vol. 19**, 1973, 341-346

[Da Costa Andrade, 1965] **Da Costa Andrade Edward Neville**

Sir Isaac Newton traduzione italiana in:
Isaac Newton
Bologna, Zanichelli, 1965

[Dallaporta, 1982] **Dallaporta Nicola**

*Il quadro fisico attuale circa
l'origine del cosmo e della materia*
Giornale di Astronomia, **Vol. 8**, 1982, 315-335

[Dallaporta & Secco, 1982] **Dallaporta Nicola e Luigi Secco**

*Conventional outlooks on the origin and evolution of
galaxies*

Il Nuovo Cimento, **Vol. 5**, 1982

[Dallaporta, 1991] **Dallaporta Nicola**

Cristianesimo e mondi tradizionali

Abano Terme, Piovan Editore, 1991

[Dallaporta & Secco, 1990] **Dallaporta Nicola e Luigi Secco**

Il principio antropico in fisica e in cosmologia

Università di Padova, Dipartimento di Astronomia, 1990

[Danese, 1988] **Danese Luigi**

Dispense di cosmologia

Padova, Dipartimento di Astronomia, A.A.1988-89

[Davies, 1972] **Davies P.C.W.**

Time variation of the coupling constants

J. Phys. A **5**, 1972, 1296-1304

[Davies, 1974] **Davies P.C.W.**

Dirac completes his theories of large numbers

Nature, **Vol. 250**, 1974, 460

[Dicke, 1961] **Dicke R.H.**

Dirac's Cosmology and Mach's Principle

Nature, **Vol. 192**, 1961, 440-441

[Dicke & Peebles,1962] **Dicke R.H. & Peebles P.J.**

*Cosmology and the Radioactive Decay Ages of
Terrestrial Rocks and Meteorites*
Phys. Rev. **Vol. 128**, 1962, 2006

[Dicus *et al.*, 1982] **Dicus D.A., Letaw J.R., Teplitz D.C. & V.L.
Teplitz**

Effects of proton decay on the cosmological future
Ap.J., **Vol. 252**, 1982, 1-9

[Dirac, 1937] **Dirac P.A.M.**

The Cosmological Constants
Nature, **Vol. 139**, 1937, 323

[Dirac, 1975] **Dirac P.A.M.**

Variation of G
Nature, **Vol. 254**, 1975, 273

[Dingle, 1937] **Dingle Herbert**

Modern Aristotelism
Nature, **Vol. 139**, 1937, 784-786

[Dobbs, 2002] **Dobbs B.J.T.**

*Isaac Newton scienziato e alchimista. Il doppio volto
del genio*
Edizioni Mediterranee, 2002

[Dreyer, 1953] **Dreyer J.L.E.**

A History of Astronomy
New York, Dover Publications, 1953

[Eco, 1988] **Eco Umberto**

Il pendolo di Foucault
Milano, Bompiani, 1988

[Eddington, 1939] **Eddington Arthur S.**

The Philosophy of Physical Science
Cambridge, Cambridge University Press, 1939

[Eddington, 1934] **Eddington Arthur S.**

L'universo in espansione
Bologna, Zanichelli, 1989 (I ed. 1934)

[Einstein, 1965] **Einstein Albert**

Pensieri degli anni difficili
Torino, Boringhieri, 1965

[Einstein, 1916] **Einstein Albert**

Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie
Annalen der Physik, 49, 769, 1916

[Efstathiou *et al.*, 1990] **Efstathiou G., Maddox S.J. & W.J. Sutherland**

The cosmological constant and cold dark matter
Nature, **Vol. 348**, 1990, 705-707

[Facchini, 1985] **Facchini Fiorenzo**

Il cammino dell'evoluzione umana
Milano, Jaca Book, 1985

[Franceschini, 2013] **Franceschini Alberto**

Corso di Cosmologia
Dispense Laurea Triennale in Astronomia Università di Padova,
1999

[Geymonat, 1957] **Geymonat Ludovico**

Galileo Galilei
Torino, Einaudi, 1980 (I ed.1957)

[Geymonat, 1970] **Geymonat Ludovico**

Storia del pensiero filosofico e scientifico
Milano, Garzanti, 1970, 6 volumi

[Gott, 1980] **Gott J.R.III**

The growth of structure in the universe
in [a cura di Audouze *et al.*, 1980]

[Gratton, 1987] **Gratton Livio**

Cosmologia
Bologna, Zanichelli, 1987

[Harrison, 1972] **Harrison E.R.**

The cosmic numbers
Physics Today, **Vol. 25**, Dec. 1972, 30-34

[Harrison, 1981] **Harrison E.R.**

Cosmology

Cambridge, Cambridge University Press, 1981

[Horowitz, 1986] **Horowitz N.H.***To Utopia and back*

New York, Freeman & Co., 1986

traduzione italiana in:

Utopia e ritorno

Milano, Jaca Book, 1987

[Hoyle, 1959] **Hoyle Fred***Religion and the scientist*

SCM, London, 1959

[Jordan, 1949] **Jordan Pascual***Formation of the Stars and Development of the
Universe*Nature, **Vol. 164**, 1949, 637-640[kant, 1787] **Kant Immanuel***Kant, Prefazione alla Critica della ragion pura*

Laterza, Roma-Bari, 2000

[Kersberg, 1989] **Kerszberg Pierre***The invented universe*

Oxford, Oxford University Press, 1989

[Khun, 1957] **Khun Thomas S.***The Copernican Revolution*

Cambridge, Harvard University Press, 1957

[Läpple, 1980] **Läpple Alfred**

L'Apocalisse
Roma, Ed. Paoline, 1980

[Leakey, 1981] **Leakey Richard**

The making of mankind
New York, Dutton, 1981

[Lequex, 1980] **Lequex J.**

Cosmological models confronted to observation
in [a cura di Audouze *et al.*, 1980]

[Lemaitre, 1927] **Lemaitre, Georges H.J.E**

*The gravitational field in a fluid sphere of uniform
invariant density according, to the theory of relativity ;
Note on the Sitter Universe*
Thesis (Ph. D.)—Massachusetts Institute of Technology, Dept. of
Physics, 1927

[Lucchin, 1990] **Lucchin Francesco**

Introduzione alla cosmologia
Bologna, Zanichelli, 1990

[Mach, 1905] **Mach Ernst**

Conoscenza ed Errore
Torino, Einaudi, 1982 (I ed. originale 1905)

[Masani, 1980] **Masani Alberto**

Storia della Cosmologia
Roma, Editori Riuniti, 1980

[Masani, 1984] **Masani Alberto**

Il principio antropico
Il giornale di fisica, **Vol. XXV**, 1984, 99-117

[Maeder, 1980] **Maeder A.**

*The problem of varying G and the scale covariant
gravitation and cosmology*
in [a cura di Audouze *et al.*, 1980]

[Mészáros, 1980] **Mészáros P.**

*Galaxy formation in matter and radiation dominated
universe*
in [a cura di Audouze *et al.*, 1980]

[Milne, 1937] **Milne E.A.**

On the Origin of the Laws of Nature
Nature, **Vol. 139**, 1937, 997-999

[Misner *et al.*, 1973] **Misner C., Thorne K. & J. Wheeler**

Gravitation
San Francisco, Freeman, 1973

[Munitz, 1957] **Munitz M. K.**

Theories of the Universe
New York, Free Press, 1957

[Munitz, 1986] **Munitz M.K.**

Cosmic understanding
Princeton, Princeton University Press, 1986

[Novikov & Zeldovich, 1982] **Novikov I.D. e Ya.B. Zeldovich**

Struttura ed evoluzione dell'universo
Roma, Editori Riuniti, 1982

[Pauli, 1921] **Pauli Wolfgang**

Teoria della relatività
Torino, Boringhieri, 1974 (I ed. 1921)

[Peebles, 1980] **Peebles P.J.E.**

The large-scale structure of the Universe
Princeton, Princeton University Press, 1980

[Peebles, 1980 n.2] **Peebles P.J.E.**

Masses of galaxies and clusters
in [a cura di Audouze *et al.*, 1980]

[Piaget, 1967] **Piaget Jean**

Biologia e conoscenza
Torino, Einaudi, 1983

[Popper, 1968] **Popper Karl R.**

Logica della scoperta scientifica
Torino, Einaudi, 1970

[Popper, 1972] **Popper Karl R.**

Congetture e confutazioni
Bologna, Il Mulino, 1972

[Prescott, 1970] **Prescott William H.**

Il mondo degli Incas
Ginevra, Edizioni Minerva, 1970

[Rees, 1999] **Rees M.J.**

Just Six Numbers
Weidenfeld & Nicolson; 1st Paperback Edition, 1999

[Rees, 1980] **Rees M.J.**

*Diffuse material, background radiations and the early
universe*
in [a cura di Audouze *et al.*, 1980]

[Romano, 1979] **Romano Giuliano**

Alcune considerazioni sui numeri cosmici
Padova, Società Cooperativa Tipografica, 1979

[Seeger, 1966] **Seeger J.**

Galileo Galilei
Oxford, Pergamon Press Ltd., 1966

[Sambursky, 1937] **Sambursky S.**

Static Universe and Nebular Red Shift
Phys. Rev. **Vol. 52**, 1937, 335-338

[Sandage *et al.*, 1980] **Sandage Allan, Tamman Gustav A. & A.
Yahil**

The determination of cosmological parameters
in [a cura di Audouze *et al.*, 1980]

[Schramm & Turner, 1980] **Schramm David N. & Michael S. Turner**

The origin of baryon number and related problems
in [a cura di Audouze *et al.*, 1980]

[Soccorsi, 1963] **Soccorsi Filippo**

Il Processo di Galileo
Roma, La Civiltà Cattolica, 1963

[Steigman, 1980] **Steigman G.**

Particle physics in the early universe
in [a cura di Audouze *et al.*, 1980]

[Stewart, 1931] **Stewart J.Q.**

Nebular Red Shift and The Universal Constants
Phys. Rev. **Vol. 38**, 1931, 2071

[Tinsley, 1980] **Tinsley B.M.**

Cosmology and galactic evolution
in [a cura di Audouze *et al.*, 1980]

[Trivini, 1988] **Trivini Riccardo**

La cosmologia e il principio antropico
Tesi di laurea, Università di Padova
Dipartimento di Fisica, A.A. 1988-89

[Wagoner 1, 1980] **Wagoner R.V.**

The early universe
in [a cura di Audouze *et al.*, 1980]

[Wagoner 2, 1980] **Wagoner R.V.**

Determining distances from supernovae
in [a cura di Audouze *et al.*, 1980]

[Weinberg, 1972] **Weinberg Stephen**

Gravitation and Cosmology
New York, Wiley, 1972

[Weyl, 1919] **Weyl Hermann**

Eine neue Erweiterung der Relativitätstheorie
Ann. Physik, **Vol. 59**, 1919, 101-133

[Weyl, 1934] **Weyl Hermann**

Universum und Atom
Naturwiss. **Vol. 22**, 1934, 145-149

[Wittgenstein, 1953] **Wittgenstein Ludwig**

Ricerche filosofiche
Torino, Einaudi, 1983 (I ed. 1967)

[Wittgenstein, 1956] **Wittgenstein Ludwig**

Osservazioni sopra i fondamenti della matematica
Torino, Einaudi, 1988 (I ed. 1971)

[Wittgenstein, 1961] **Wittgenstein Ludwig**

Tractatus logico-philosophicus e Quaderni 1914-1916
Torino, Einaudi, 1968 (I ed. 1964)

[Zwicky, 1939] **Zwicky F.**

*On the Theory and Observation of Highly Collapsed
Stars*
Phys. Rev. **Vol. 55**, 1939, 726-743