I molti aspetti dell'informazione

Parte I: evoluzione della biosfera

Basilio Catania (*)

L'avvento dell'era dell'informazione, succeduta all'era dell'energia, ci propone antiche e nuove riflessioni sui molti aspetti e significati di ciò che noi chiamiamo "informazione". In questo lavoro – tratto da due conferenze tenute dall'autore presso l'Associazione Elettrotecnica ed Elettronica Italiana (oggi AEIT), Sezione di Milano, rispettivamente il 13 marzo e il 10 aprile1986 – è considerata sia l'informazione a sé stante, cioè avulsa da ogni supporto materiale, sia l'informazione che si manifesta – legata o scambiata – nella materia inanimata e nella biosfera, nell'intento di coglierne un significato comune ed essenziale.

Introduzione

Con l'avvento e l'uso generalizzato dei computer, cioè del settore dell'informatica, l'importanza dell'informazione è cresciuta al punto che la maggior parte della cosiddetta *forza lavoro* è impegnata oggi nel cosiddetto settore terziario, a scapito della quota impiegata in industria e in agricoltura, anche perché ambedue beneficiano della cosiddetta robotizzazione consentita dai computer. Ciò significa che il valore globale della "merce" scambiata oggi non è che in minima parte rappresentato da prodotti industriali o agricoli, cioè da prodotti che potremmo definire *materiali* o *energetici* nei nostri confronti, ma da prodotti prevalentemente *immateriali*, contraddistinti da elevati contenuti di informazione e/o da elevate capacità di scambio di informazione. Questo scambio, come noto, può essere attuato tra gli esseri umani direttamente, cioè senza l'ausilio di supporti intermedi o "media" come si chiamano oggi [1], ovvero utilizzando svariati supporti come carta, nastri magnetici, dischi, fotografie, film, ecc., con o senza mezzi di telecomunicazione interposti. L'aspetto forse più rilevante è che noi stessi (o almeno la gran parte dell'odierna forza lavoro) siamo impegnati principalmente come trasformatori di conoscenza, quindi di informazione, dato che la conoscenza è fatta di informazione.

In altre parole, stiamo vivendo la cosiddetta *era dell'informazione* (chiamata anche *era postindustriale*), avendo praticamente abbandonato l'*era dell'energia*, o *era industriale*, quest'ultima a sua volta succeduta alle ere in cui gran parte della forza lavoro era essenzialmente dedita all'*agricoltura* o semplicemente a procacciare cibo per sé e per gli altri. In conseguenza, gli sforzi della tecnologia sono oggi prevalentemente volti a procurarci l'estensione della mente, più che l'estensione dei muscoli, come fatto in passato.

Fig. 1 – Informazione pura e informazione legata o scambiata nei vari stadi di aggregazione della materia.

Tuttavia, esistono altri campi in cui l'informazione – intesa nel senso matematico di rimozione del dubbio – gioca un ruolo altrettanto importante, che desidero portare alla vostra attenzione. Essa, infatti, oltre che essere legata agli esseri umani e più in generale agli esseri viventi e loro associazioni di varie dimensioni e complessità (che potremmo genericamente chiamare "società") è anche presente nelle strutture inanimate – da quelle più complicate come i cristalli fino alla più elementare particella subnucleare – ed infine può anche concepirsi come entità astratta e libera, cioè non legata ad un particolare supporto materiale (Fig. 1).

I "gap" della evoluzione complessiva dell'universo si stanno colmando a poco a poco ed è emozionante vedere delineare un meraviglioso quadro d'insieme, che non può non lasciarci stupiti per la semplicità dei principi dai quali sembra essere nato. Con questo lavoro, vi propongo di fare un viaggio a ritroso nel tempo, partendo dal presente, per scoprire dove e in quali forme si annida e quale ruolo ha giocato l'informazione, durante l'evoluzione del nostro Universo.

Il mio proposito, per la verità molto ambizioso, è quello di dimostrare come questa entità immateriale

---

(*) Dr. Ing. Basilio Catania, già Direttore Generale del Laboratorio di ricerca di Telecom Italia (CSELT), Torino.

[1] Anche se, nell'uso corrente, si pronuncia *"midia"* all'inglese, vorrei ricordare che *"media"* è un nome latino, che si pronuncia come scritto.

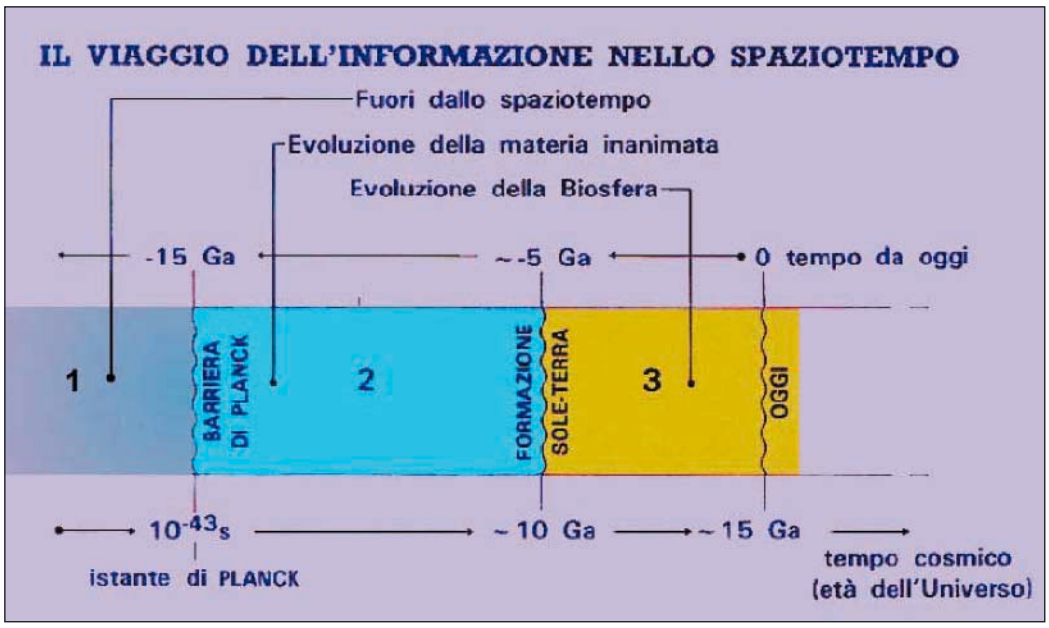


Fig. 2 – Il viaggio dell'informazione nello spaziotempo: dalla materia inanimata alla biosfera

– l'informazione – si manifesti legata (direi *incatenata*) o scambiata, sia negli esseri biologici (biosfera), e nell'uomo in particolare, che nella materia inanimata e più in generale nell'energia, quasi come se, sbucata da un superuniverso, le fosse montata in groppa, continuando a cavalcarla fino ad oggi, a partire dai primordi, quando la materia emergeva dal vuoto quantico sotto forma di punti privi di dimensioni.

Per comodità, divideremo il nostro viaggio in tre parti, partendo dal presente, e cioè (Fig. 2):

1. Evoluzione della biosfera
2. Evoluzione della materia inanimata
3. Fuori dallo spaziotempo, cioè prima dell'"istante di Planck" [2].

L'*Evoluzione della biosfera*, cioè degli esseri viventi, è quella più vicina al presente ed ha avuto origine poco dopo la formazione del sole e della terra, avvenute intorno a 5 miliardi di anni fa ($t \cong -5$ Ga [3], assumendo il presente come tempo zero). Si noti che il famoso "Big Bang", nel quale si colloca lo zero del tempo cosmico (scala inferiore), è situato a circa 15 miliardi di anni fa ($t \cong -15$ Ga), intorno a 10^{-43} secondi prima dell'istante di Planck.

Nella Parte II tratteremo l'*Evoluzione della materia inanimata* e faremo un brevissimo (e piuttosto ardito) cenno al ruolo (più che al viaggio) dell'informazione *fuori dallo spaziotempo*, ossia all'epoca in cui lo spaziotempo non esisteva in termini percepibili. Ciò accadeva al di là della *barriera di Planck*, che preferirei chiamare *barriera di Planck-Heisenberg* poiché, come vedremo più in dettaglio nella seconda parte, l'istante di Plance può essere calcolato tenendo in conto il principio di indeterminazione di Heisenberg.

È pur vero che in questo viaggio ideale verso le origini del nostro universo le tracce dell'evoluzione si perdono qua e là, quasi come in un'autostrada in costruzione, ma congiungendo idealmente i tratti visibili e guardando il cammino percorso dall'evoluzione da un'altezza sufficientemente elevata, vedremo come si possa delineare un quadro logico d'insieme abbastanza convincente. A tal fine non è importante la precisa datazione degli eventi (talvolta discordante a seconda delle fonti), essendo sufficiente focalizzarci sulle *fasi* dell'evoluzione stessa e sulla loro successione logica, più che sui precisi *istanti* di passaggio tra una fase e la successiva [4].

Evoluzione della biosfera

Abbiamo riportato in Fig. 3 le fasi evolutive dell'universo secondo una scala logaritmica del tempo, con lo zero posto idealmente al presente. Questo tipo di scala mostra più espanse le fasi vicine ai tempi odierni, e più compresse le fasi prossime all'origine dell'universo.

Queste ultime, infatti, si trovano, in Fig. 3, addensate in una piccola zona della decade compresa tra –10 e –100 Ga. Quando, invece, come faremo nella seconda parte, cambieremo l'origine della scala

---

[2] Come noto, prima del cosiddetto *istante di Planck* cessa la validità della gravità e dello spaziotempo e dominano gli effetti quantistici. Pertanto, non ci è possibile misurare, quindi *conoscere*, gli eventi accaduti nell'intervallo di tempo compreso fra il Big Bang e l'istante di Planck, il cui valore è di circa 10^{-43} s, come sarà dimostrato più avanti. Tale barriera alla conoscenza dei suddetti eventi si suole denominare *Barriera di Planck.*

[3] 1 Ga è pari a un miliardo di anni.

[4] Chi desiderasse approfondire il tema delle datazioni può consultare, ad esempio, la "Cambridge Encyclopaedia of Archaeology" [1] o la "Timescale" di Nigel Calder [2].

[5] L'incertezza sulle *origini della vita* cresce se si considera l'*origine della vita nel cosmo*, poiché è stato ipotizzato da alcuni che qualche molecola organica, progenitrice della vita sulla terra, possa esservi arrivata da fuori del sistema solare.

[6] Omettendo gli eventi relativi alla materia inanimata, i quadratini riportati in figura corrispondono a: 3 - nascita del DNA (vita); 4 - nascita del sistema nervoso centrale (cervello); 5 - nascita dell'uomo; 6 - nascita della ragione (linguaggio evoluto); 7 - nascita di Gesù.

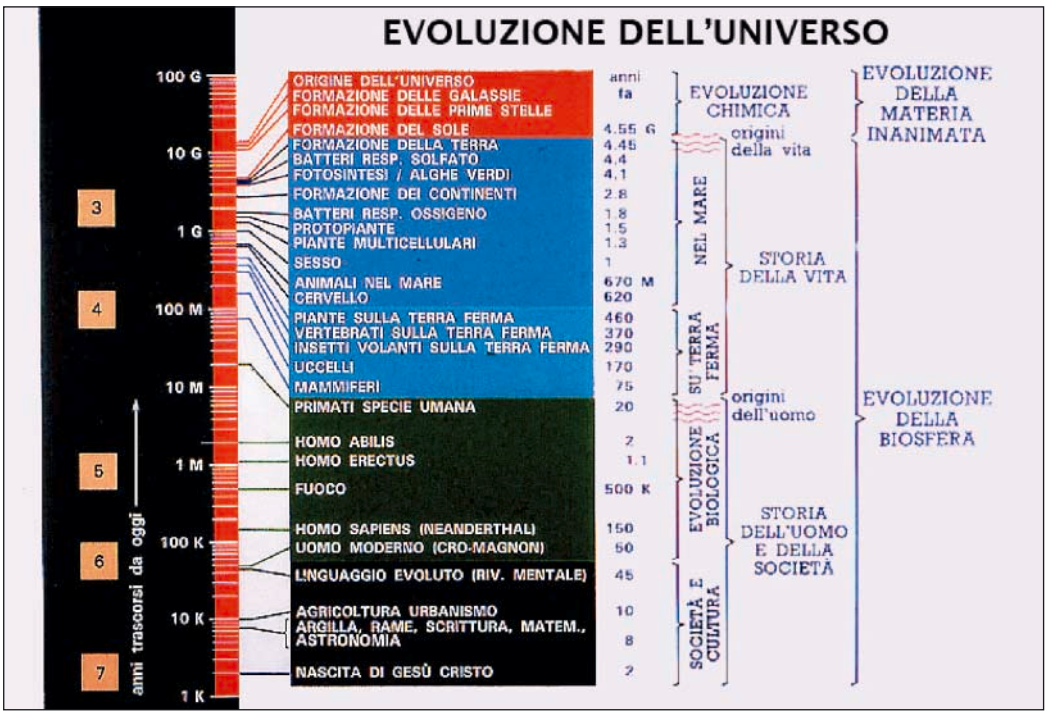


Fig. 3 – Le fasi evolutive della biosfera

dei tempi, ponendo t = 0 al Big Bang anziché al presente e invertiremo il senso di esplorazione, allora risulterà compressa la storia dei giorni nostri, mentre si vedrà con grande dettaglio tutto ciò che è avvenuto negli istanti immediatamente successivi al Big Bang.

In Fig. 3 si passa, da destra verso sinistra, da una classificazione più macroscopica a classificazioni con maggior dettaglio. In particolare, si può notare, all'estrema destra, la suddivisione dell'evoluzione dell'universo in due parti: *Evoluzione della biosfera* ed *Evoluzione della materia inanimat*a, dizione questa che preferiamo a quella, più usata, di *Evoluzione chimic*a, in quanto comprende anche fenomeni quantistici, come si vedrà nella seconda parte.

L'evoluzione della biosfera è a sua volta suddivisa in *Storia della vita* e *Storia dell'uomo e della società*. La prima inizia dalle prime forme di *Vita nel mare* e prosegue con la *Vita sulla terraferma*. La seconda inizia dall'*Evoluzione biologica* degli esseri umani e termina con la cosiddetta *Evoluzione culturale,* la cui origine si può identificare con la nascita del linguaggio evoluto e l'avvento delle prime società, estendendosi fino ai giorni nostri. Le linee ondulate poste in corrispondenza delle origini della vita e delle origini dell'uomo vogliono ricordare la notevole incertezza circa la loro collocazione temporale [5]. Infine, i numeri 3, 4, 5, 6, 7, riportati nei quadratini a sinistra della figura, riguardano eventi particolari, caratterizzati da una trascurabile probabilità di accadere spontaneamente, sui quali è stato lungamente discusso nel lavoro [3], pubblicato in questa stessa rivista [6].

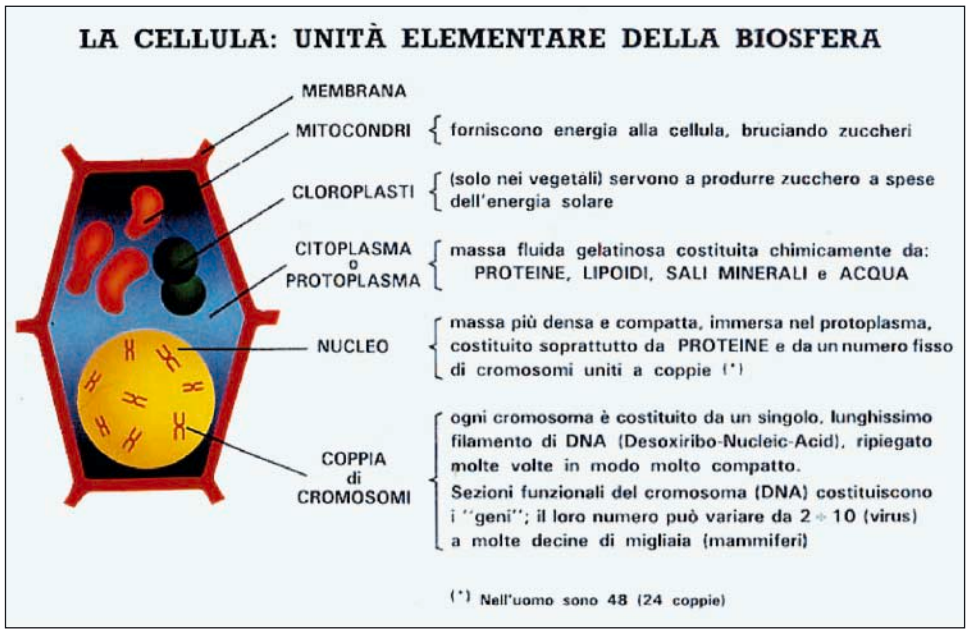


Fig. 4 – La cellula, unità fondamentale della biosfera

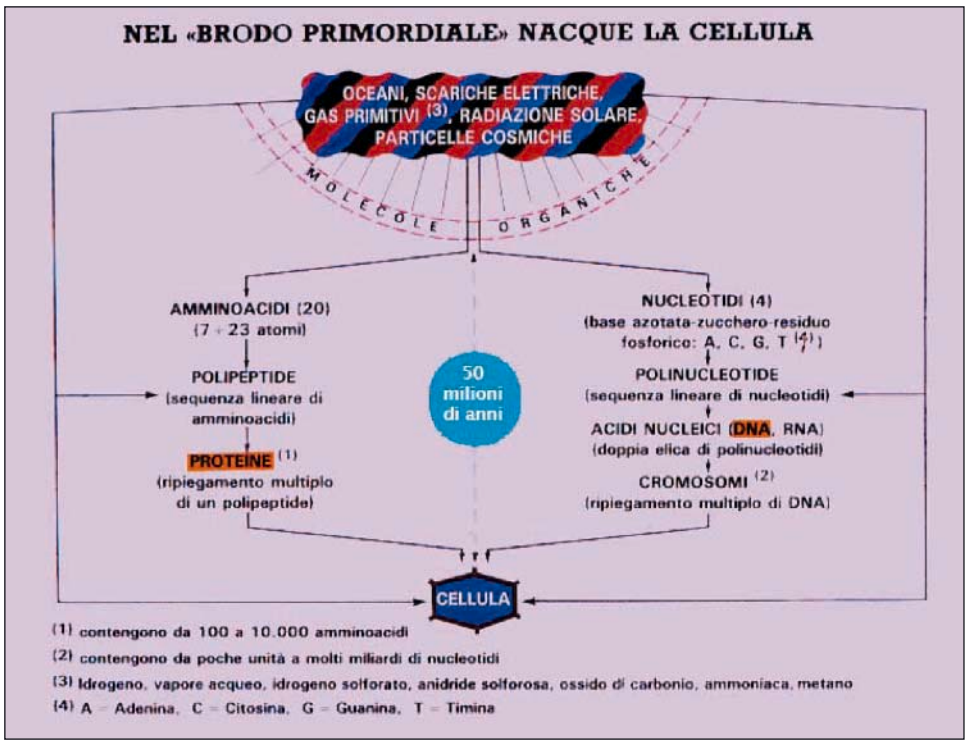


Fig. 5 – Nascita della cellula dal brodo primordiale

Una considerazione fondamentale riguardante l'evoluzione della biosfera si deve a Jacques Monod, Premio Nobel per la fisiologia nel 1965, il quale afferma [4]:

> *È stata rivelata appieno la profonda e rigorosa unità in scala microscopica dell'intero mondo vivente, cioè a partire dai batteri fino alle società organizzate. Oggi si sa che dal batterio all'uomo l'apparato chimico è essenzialmente identico – non simile – identico, come struttura e funzionamento.*

Questa unità della biosfera è rappresentata dalla cellula (Fig. 4). Essa è il costituente elementare di qualsiasi essere biologico, sia che appartenga al regno vegetale che al regno animale, dal batterio all'elefante e fino all'uomo. Addirittura, negli esseri unicellulari, come i protozoi, la cellula rappresenta la più piccola e la più semplice unità vivente.

Tra i componenti della cellula, le proteine e il DNA sono gli elementi (macromolecole) più importanti e, nello stesso tempo, più complessi e unici nel loro genere. Infatti, mentre si può facilmente capire come gli altri costituenti della cellula siano emersi dal cosiddetto "brodo primordiale", le proteine e il DNA hanno fatto disperare i biologi per capire in qual modo e perché fossero comparse, nel giro di *soli* (si fa per dire) 50 milioni di anni dalla formazione della terra. Infatti, i primi batteri respiranti solfato sono datati a circa –4,4 Ga a fronte dei –4,45 Ga della formazione della terra, trascurando l'ipotesi della creazione di molecole organiche a partire dagli elementi pesanti prodotti nelle grandi fucine costituite dalle stelle, anche diverse dal nostro sole, e di qui giunte sulla terra sotto forma di polvere cosmica [7].

La Fig. 5 mostra in dettaglio il processo che ha portato alla formazione delle proteine e del DNA – ed alla conseguente nascita della cellula – a partire dal cosiddetto "brodo primordiale". Molteplici sono stati i fattori scatenanti di questa trasformazione, tra essi le scariche elettriche, le sostanze elementari preesistenti, liquide e gassose, la radiazione solare e, probabilmente, anche molecole organiche provenienti dall'esterno del sistema solare (polvere cosmica).

Per quanto concerne la formazione delle proteine, dobbiamo osservare che esse sono costituite da catene lineari di amminoacidi, ripiegate più volte in modo da formare una matassa, e che gli amminoacidi costituenti le proteine (cioè l'*alfabeto* delle stesse) sono in numero di venti [8]. Gli amminoacidi sono composti abbastanza semplici, essendo costituiti da un minimo di 7 a un massimo di 23 atomi, e pertanto è comprensibile che si siano formati spontaneamente dal brodo primordiale. Esistono milioni di tipi di proteine, da quelle più elementari, formate da un centinaio di amminoacidi, a quelle più complesse, comprendenti decine di migliaia di amminoacidi. Vedremo come la formazione delle proteine più complesse sia causata da un programma scritto nel DNA.

Così come i venti amminoacidi di base costituiscono l'*alfabeto* per la costruzione delle pro-teine, così quattro *nucleotidi* costituiscono l'*alfabeto* per la

---

[7] Alcune di tali molecole sono state trovate su Marte dalla sonda Viking.

[8] In realtà il numero degli amminoacidi è molto superiore, ma quelli usati per costruire le proteine sono solo venti, e sono quelli che erano a disposizione nel brodo primordiale al momento in cui si sono formate le proteine.

[9] L'RNA differisce lievemente dal DNA quanto all'alfabeto (costituito da adenina, citosina, guanina e uracile) ed inoltre è composto da una sola elica anziché da due.

[10] Si tratta, in realtà, di uno "pseudo teorema", poiché il rigore matematico è temperato da diverse ipotesi non completamente condivisibili alla luce delle moderne conoscenze.

costruzione del DNA (Fig. 6). I quattro nucleotidi (e le loro abbreviazioni) sono: adenina (A), citosina (C), guanina (G) e timina (T) e si presentano, lungo la catena del DNA, a gruppi di tre (triplette), ogni tripletta avendo un preciso significato funzionale, come vedremo avanti. I nucleotidi sono disposti lungo un'elica alla quale è contrapposta una seconda elica "complementare" contenete i nucleotidi "complementari" di quelli contenuti nella prima elica: precisamente, la timina è complementare dell'adenina e la guanina è complementare della citosina. Le due eliche insieme costituiscono la *spirale* del DNA. Il DNA può contenere da poche unità a molti miliardi di triplette di nucleotidi e, come nelle proteine, le molecole più lunghe sono ripiegate più volte in modo da formare una matassa. La matassa del DNA (completata da alcune proteine) viene comunemente denominata cromosoma. Nel caso dell'uomo (il più complesso), la matassa del suo DNA, srotolata, raggiungerebbe la lunghezza di due metri.

Per quanto detto, il DNA è il più esteso dei due componenti fondamentali della cellula (proteine e DNA), ed è unico per ogni essere vivente, del quale trasmette i caratteri ereditari.

Inoltre, insieme al suo analogo, l'RNA [9], comanda la fabbricazione delle proteine necessarie alla crescita e al funzionamento dell'organismo di ogni essere biologico.

Eugene Wigner, analizzando la probabilità di esistenza di una siffatta unità autoriproducentesi, giunse, nel 1961, alla enunciazione di un teorema[10], da allora in poi noto come "teorema di Wigner," che afferma [5]:

> *Se l'interazione non è deliberatamente concepita per consentire la riproduzione, è infinitamente improbabile che esista un qualsiasi stato del nutriente che permetta la moltiplicazione di un qualsivoglia assieme di stati che comprenda un numero di stati molto più piccolo di quello degli stati possibili del sistema.*

Fig. 6 – L'informazione genetica nella biosfera è contenuta nella spirale del DNA

In parole più semplici, Wigner contestava la tesi secondo cui il brodo primordiale degli oceani (la cui temperatura doveva necessariamente essere compresa fra 0 e 100 °C) fosse stato capace di formare la prima minuscola doppia elica polinucleotidica, sia pure con l'aiuto dell'energia solare, delle scariche elettriche, ecc. ossia una molecola capace di produrre "copie" identiche a se stessa, prendendo dall'ambiente quanto necessario alla sua autoreplicazione. Con tale affermazione, Wigner portava acqua alla tesi della *creazione*, ossia dell'intervento di una volontà esterna (divina) alla emergenza del DNA, e quindi della vita, dal brodo primordiale. L'osservazione che fu fatta al teorema di Wigner è che una probabilità infinitesima, associata ad un numero infi-

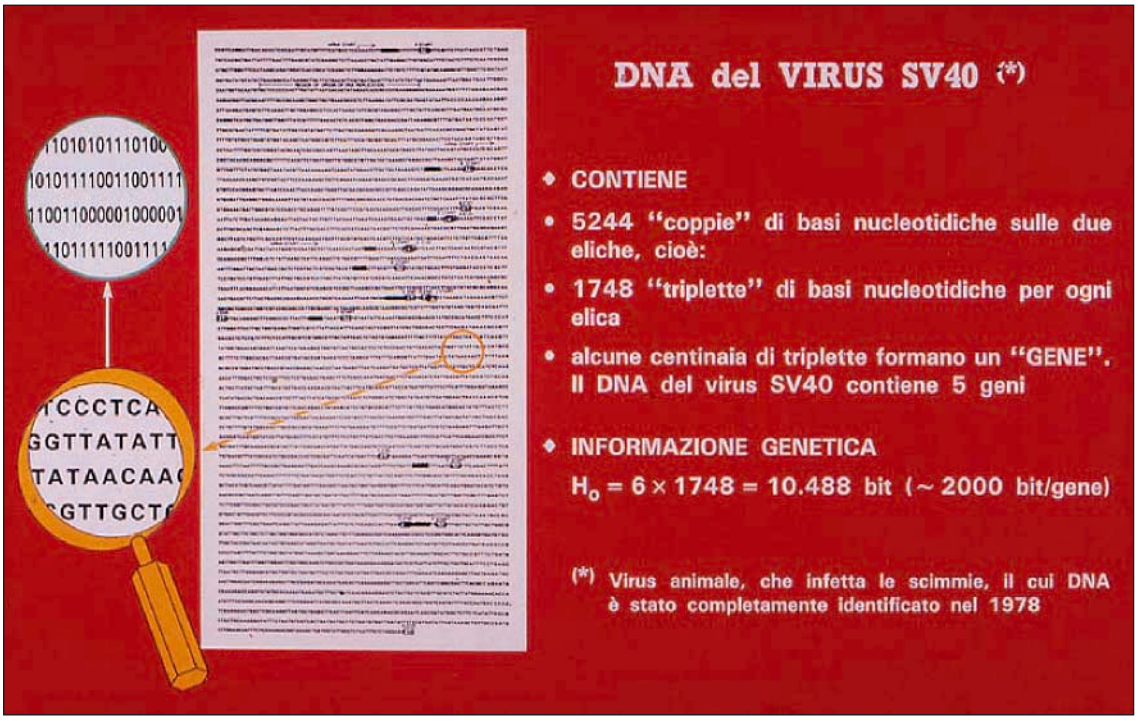


Fig. 7 DNA del Virus SV40

nito di scelte, può dare un risultato non nullo e che è sufficiente la formazione di una sola unità autoriproducentesi per aversi poi una crescita esponenziale della stessa [11].

Nella Fig. 9, tratta dal lavoro [6], è mostrata la sequenza di nucleotidi di un DNA abbastanza semplice: quello del virus SV 40 [12]. Bisogna riconoscere che questa ricostruzione è veramente suggestiva: essa ci fa capire chiaramente come un DNA non sia altro che un ordine scritto affinché l'essere che ne deriverà sia costruito e funzioni secondo un programma prestabilito.

Tale programma è solo scritto con un alfabeto "chimico", cioè ACGT, anziché con un alfabeto fonetico o visivo.

È facile calcolare la quantità di informazione in bit contenuta in un DNA, tenendo presente che ogni tripletta è formata con un alfabeto di 4 nucleotidi e, poiché ognuno dei 4 nucleotidi è individuato da 2 bit, ogni tripletta è individuata da 6 bit. Nel caso del virus SV 40, il numero delle triplette è 1748, quindi l'intero DNA è individuato da 10488 bit. In altre parole, il programma per costruire il virus SV 40 contiene un'informazione di circa 10 kbit.

Si noti, inoltre, che lungo la catena del DNA si trovano ogni tanto triplette di servizio, che rappresentano identificazioni, interpunzioni, preamboli, correzione di errori, ecc. Ad esempio: ATG indica "inizio messaggio", TGA "fine messaggio," CCG "inizio DNA," TAA "fine DNA" [13]. I codici di inizio/fine delimitano tratti più lunghi del DNA, la maggior parte dei quali rappresenta un "gene", cioè il sottoprogramma del DNA relativo a parti o caratteristiche della struttura complessiva dell'essere biologico, oppure rappresenta singole istruzioni di "montaggio", come la collocazione spaziale delle varie parti. Jacques Monod [4] osserva che per le istruzioni di montaggio occorrono, grosso modo, tanti bit quanti ne occorrono per la specificazione delle parti componenti, quindi, nell'esempio del virus SV 40, circa 5 kbit sono dedicati alla descrizione delle singole parti e circa 5 kbit alla loro collocazione spaziale.

Ripetendo questa esercitazione per i DNA di svariati esseri biologici si può (Fig. 8) costruire una scala evolutiva "informatica" della biosfera che, come d'altra parte ci si poteva aspettare, ricalca l'evoluzione temporale dell'universo. Da essa appare, infatti, che gli esseri più complessi sono proprio quelli che si sono formati più tardi, in quanto risultanti dall'aggregazione di altri meno complessi. Si potrebbe dunque parlare di *storia dell'aggregazione*, cioè del come siano emersi enti sempre più aggregati, cioè formati da enti più semplici preesistenti. È stato calcolato che l'informazione genetica (DNA) necessaria per *costruire* un essere umano è di 10^{10} bit.

Una volta individuata questa sorta di anamnesi della complessità nella biosfera, vien fatto di domandarsi se non sia possibile completare la scala evolutiva individuando aggregati da un lato molto più complessi dell'uomo e dall'altro molto meno complessi delle proteine. La risposta è affermativa ed oltremodo interessante.

Gli aggregati di uomini non possono essere altro che le società, a partire dalla famiglia, seguita dal gruppo (il *branco* degli animali), come le prime squadre di cercatori e cacciatori (hunters-gatherers) fino ai villaggi, le città, le nazioni ed oggi alle unioni di nazioni, come l'Unione Europea. I tre fattori aggreganti sono costituiti dalle "leggi" (anche non scritte, come i costumi) che si dà l'aggregato, dalla "comunicazione" fra i suoi membri e infine dalla "condi-

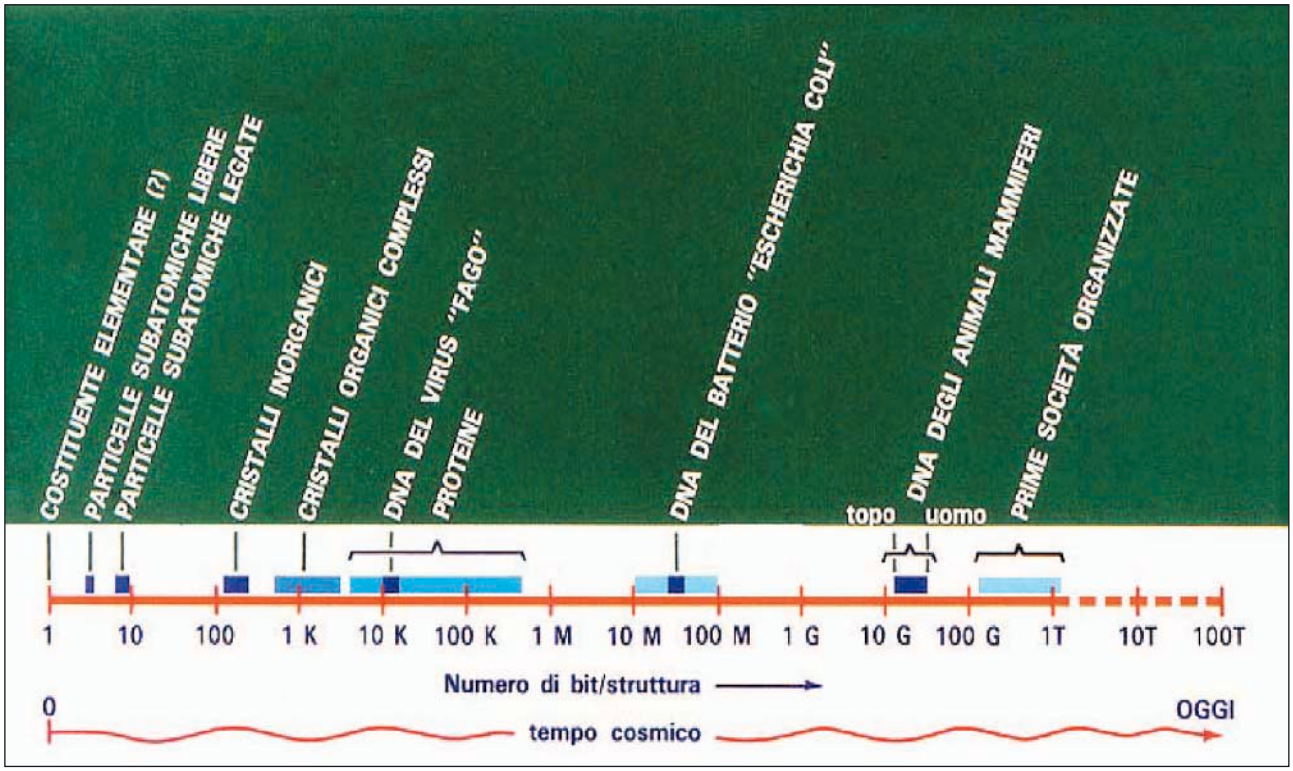


Fig. 8 – Anamnesi della complessità dell'universo

visione delle risorse energetiche". Dunque, gli elementi che formano un aggregato mettono in comune l'informazione e l'energia e obbediscono ad un insieme di leggi. Le leggi, secondo Hermann Haken [6], rappresentano gli *invarianti di trasformazione* di ogni processo evolutivo. Pensando alle società come a trasformazioni evolutive dell'uomo, con aggregazioni di ordine crescente, il numero di bit che ne identificano la struttura cresce col crescere dello stadio di aggregazione.

Verso l'altro estremo della scala (debordando nell'oggetto della Parte II) si trovano anzitutto i cristalli ed i composti organici meno complessi della più semplice proteina [14], quindi i complessi inorganici, le molecole, gli atomi e le particelle subatomiche, identificati ciascuno da un numero decrescente di bit, fino ad arrivare ai 6 quark e ai 6 leptoni, considerati finora i costituenti ultimi della materia.

I cristalli organici complessi possono essere individuati da un migliaio di bit [15]. I cristalli inorganici, che seguono subito dopo, possono essere individuati da alcune centinaia di bit e, al loro riguardo, è interessante quanto afferma Jacques Monod che li ritiene dotati di un *determinismo interno* (teleonomia) non molto diverso da quello degli esseri biologici, dato che ogni nuovo elemento aggregato al nucleo centrale, cioè al germe (o seme) da cui si forma il cristallo, conosce la sua collocazione spaziale, cioè ubbidisce a un programma contenente le *istruzioni di montaggi*o.

Sorvolando su molecole semplici e atomi (non riportati in figura), dobbiamo osservare che le particelle subatomiche, come il protone, il neutrone e l'elettrone, si possono presentare in forma legata o libera. Quando sono legati, contengono più informazione, in quanto all'informazione di struttura si deve aggiungere l'informazione che li vincola ad un ambito prestabilito. Ad esempio, nel caso dell'elettrone vincolato a un atomo, esso deve ruotare secondo una delle orbite di Bohr e seguendo un certo ordine, dall'orbita più interna a quella più esterna [16]. Un aggregato contiene dunque maggiore informazione rispetto alla somma delle informazioni dei singoli costituenti, in quanto contiene l'informazione corrispondente ai vincoli imposti ai costituenti medesimi, proprio come avviene nelle società rispetto agli uomini che la compongono.

È stato già osservato che la successione temporale degli oggetti individuati da un crescente contenuto di informazione, quindi da crescente complessità, come rappresentati in Fig. 8, corrisponde esattamente alla successione temporale della loro formazione durante l'evoluzione dell'universo, come rappresentato in Fig. 3. Può sembrare una considerazione ovvia, ma non lo è se non si dà per scontato il fatto che l'universo sia evoluto dalla massima semplicità alla massima complessità, attraversando stadi intermedi tutti caratterizzati da complessità crescenti rispetto allo stadio precedente.

Se accettiamo tale assunto, possiamo chiederci che cosa esisteva al momento in cui è nato l'Universo. Riprenderemo questo discorso nella seconda parte, ma vogliamo anticipare che, contrariamente alla corrente convinzione che quark e leptoni fossero i costituenti ultimi della materia, il fisico israeliano Haim Harari [8] propose una nuova teoria detta dei *preon*i, in base alla quale il costituente ultimo della materia sarebbe il *rishon*e, che esisterebbe in due sole forme dette rispettivamente *rishone T* e *rishone V*, più le rispettive antiparticelle, *antirishone T* e *antirishone* V. Pertanto, l'alfabeto delle particelle ultime elementari sarebbe costituito da due elementi, ciascuno dei quali sarebbe perciò individuabile da 1 solo bit. Secondo la teoria di Harari, quark e leptoni sarebbero costituiti da triplette di rishoni. In conseguenza, l'ultimo costituente elementare dell'universo sarebbe individuato dall'informazione elementare, cioè da 1 bit, che rappresenta la scelta tra due forme equiprobabili [17]. Ciò renderebbe il grafico della Fig. 8 ancora più suggestivo.

Tornando alla biosfera, per completarne la de-

Fig. 9 – "Sistema e Ambiente", ovvero "Strutture e Interazioni"

---

[11] Se si pensa che una singola mole di azoto (28 kg) possiede una entropia (numero di stati possibili) di 1,5-10^{28} bit, si deduce che l'entropia associata alla enorme massa del brodo primordiale sarebbe data da potenze di 10 di gran lunga più elevate. Pertanto, una probabilità, per quanto infinitesima, di formazione delle molecole del DNA, può dar luogo alla nascita di alcune di esse e da queste scatenare il processo di autoriproduzione.

[12] Si tratta di un virus presente nelle scimmie (Simian Virus 40), ma anche nell'uomo, spesso presente in forma latente e capace di indurre tumori. La struttura del suo DNA è stata identificata nel 1971 [7].

[13] Pare che sia stato identificato anche un messaggio in codice che si traduce in un "orologio cellulare" che governa i tempi dei passi del programma, morte compresa. Tuttavia, come si vedrà più avanti, eventi come la morte saranno anche influenzati da fattori esterni all'essere biologico.

[14] Il DNA si colloca più avanti delle proteine, potendo avere più di tre ordini di grandezza di contenuto informatico rispetto ad esse, come già accennato.

[15] Non ci dilunghiamo sul modo in cui è calcolato questo numero, in quanto sarebbe necessario considerare le classi di cristallizzazione e altri fattori per stabilire quante sono le scelte, ossia come è costituito l'alfabeto, dato che la quantità di informazione, cioè il numero di bit, dipende dal numero delle scelte possibili.

[16] Le orbite di Bohr si ottengono matematicamente imponendo che l'onda cui equivale l'elettrone, ruotando intorno all'atomo, deve ritrovarsi in fase quando raggiunge la posizione di partenza.

[17] Qui la parola "forma" è intesa in senso aristotelico, cioè "ciò che si percepisce o si immagina di percepire".

Fig. 10 – L'autoidentificazione dell'Ego e i quattro referenti che la determinano

scrizione dal punto di vista informatico, dobbiamo notare che finora abbiamo preso in considerazione la struttura di un essere biologico, ma non la sua capacità di interagire con l'ambiente circostante, ossia con le entità animate o inanimate situate entro il suo raggio d'azione (Fig. 9). Facendo un parallelo con la fisica atomica e subatomica, potremmo dire che abbiamo parlato di strutture ma non di forze.

L'*identità* di un essere biologico ("cosa è") non è soltanto determinata dalla *struttura* ("come è fatto"), ma anche dall'*interazione* ("che cosa fa"), cioè da come interagisce con l'ambiente.

Si noti, inoltre, che l'interazione, analogamente alla struttura, si manifesta sia in forma materiale/energetica (come, ad esempio, quando si ingerisce cibo o si espellono escrementi), che in forma informazionale (ad esempio quando si parla con altri o si legge un libro). In quest'ultimo caso lo scambio di informazione con l'ambiente esterno avviene ricevendola attraverso gli organi sensoriali e trasmettendola per mezzo di opportune parti della struttura, come, ad esempio, l'apparato di fonazione, cioè usando variamente il proprio corpo o parti di esso. Come noto, questo tipo di interazione fra esseri umani si chiama "comunicazione".

Si noti che, agli effetti della comunicazione, il DNA si limita generalmente a fornire le istruzioni per costruire gli organi riceventi e trasmittenti, più quelle per costruire il cervello, incluse alcune semplici strutture di apprendimento (tipica quella di predi-

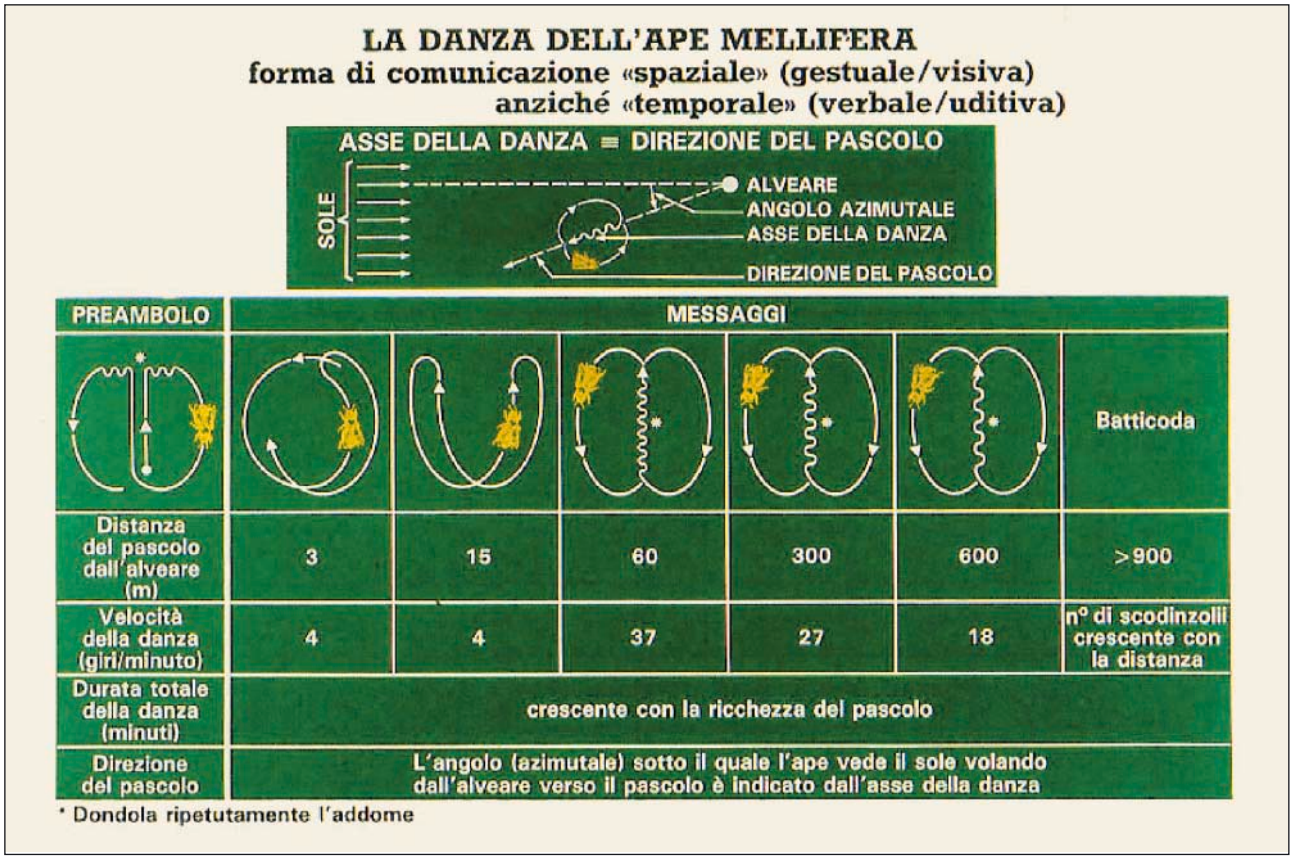


Fig. 11 – Esempio di comunicazione spaziale (linguaggio del corpo): la danza dell'ape mellifera.

Fig. 12 – Altro esempio di comunicazione spaziale o gestuale: la danza dello spinarello

sposizione all'apprendimento del linguaggio), lasciando alle interazioni con l'ambiente, successivamente alla nascita, il compito di completare l'opera genetica. È come se la natura si limitasse a fornire il *tema* di una melodia (che va considerato come un invariante delle trasformazioni) e lasciasse all'interazione del vivente con l'ambiente il compito di svilupparlo in una delle numerosissime variazioni possibili.

È interessante confrontare questo punto di vista *fisico* con quello della psicologia, in cui si afferma che l'autoidentificazione dell'Ego ("Io chi sono?") è conseguita mediante la *Sopravvivenza, Persistenza e Replicazione* (spesso abbreviate in SPR), dei quattro *referenti*: struttura materiale, struttura culturale, interazione materiale e interazione culturale, la struttura determinando l'identità interna, l'interazione l'identità esterna del singolo individuo.

Come si vede, non c'è molta differenza fra il punto di vista della psicologia (Fig. 10) e quello della fisica (Fig. 9). Vedremo che considerazioni analoghe si possono fare, oltre che per gli esseri biologici (animali compresi), anche per gli artefatti, per i composti naturali e per i componenti elementari come il quark e l'atomo.

Se ci pensiamo bene, la funzione (spesso antagonista) dell'ambiente, come, ad esempio, le osservazioni che riceverei su questo lavoro, costringe l'Ego o a cambiare se stesso, adattandosi all'ambiente, o (più raramente) è l'Ego che cerca di cambiare l'ambiente per adattarlo a se stesso. Ad esempio, ci dotiamo di indumenti e di mezzi di riscaldamento per sopravvivere al freddo invernale e di mezzi di locomozione per raggiungere i luoghi più lontani da noi, ma che riteniamo possano influenzare la qualità della nostra vita. La "selezione naturale" non è altro che il risultato di queste interazioni.

Sebbene gli animali abbiano, in genere, comportamenti informazionali meno evoluti, si trovano, molto spesso, forti analogie con quelli dell'uomo. Un esempio molto interessante è quello delle api [9, 10], la cui comunicazione con le compagne, mediante movimenti del corpo (danza dell'ape mellifera), non ha nulla da invidiare a quella attuata con le nostre macchine (Fig. 11).

L'ape mellifera, prima di iniziare la sua *danz*a, fa un *preambol*o, che serve ad attirare l'attenzione delle compagne (viene spontaneo pensare all'ATG dell'*inizio messaggio* nel DNA): parte da ferma, vola poi velocemente in linea retta, quindi dondola l'addome, descrive un semicerchio, ritorna in linea retta, dondola di nuovo l'addome, e completa il cerchio.

L'asse della danza indica la direzione del pascolo, cioè del luogo in cui si trova il nettare o l'acqua, dei quali le api hanno bisogno e fanno provvista. La direzione è percepita secondo l'angolo azimutale che ha rispetto al sole, che è il punto di riferimento per l'orientamento delle api. Dopo il preambolo, l'ape invia messaggi più dettagliati, come mostrato in figura, diversi a seconda della distanza e della ricchezza del pascolo [18].

Le api non comunicano soltanto in forma gestuale/visiva, come illustrato sopra, cioè utilizzando come trasmettitore il corpo e come ricevitore gli occhi. Esse utilizzano anche una forma di comunicazione che potremmo definire *chimica/olfattiv*a, mediante l'emissione di particelle materiali chiamate *feromoni* che vengono percepite dai suoi simili mediante gli organi olfattivi. Vi sono diversi tipi di feromoni, quelli che attraggono il partner, quelli di segnali di pericolo per l'alveare, quelli specifici delle api regine, ecc. Pertanto, anche per le api, come per gli esseri umani, le forme di comunicazione utilizzano vari organi. Tuttavia, nelle api, come nella gran parte degli animali, il sistema nervoso centrale, pur attraverso l'evoluzione (detta di tipo lamarckiano [19]) e le mutazioni, opera largamente in "logica cablata", come di-

---

[18] I movimenti illustrati in figura si riferiscono all'ape italiana. Le api australiane, indiane ecc. eseguono figure diverse, specie per indicare la distanza del pascolo. Possono esservi anche lievi differenze tra api appartenenti a diversi alveari della stessa regione geografica.

[19] Termine tratto dallo studioso francese Chevalier de Lamarck, cui si debbono i primi studi sull'evoluzione, che ispirarono, tra gli altri, Charles Darwin.

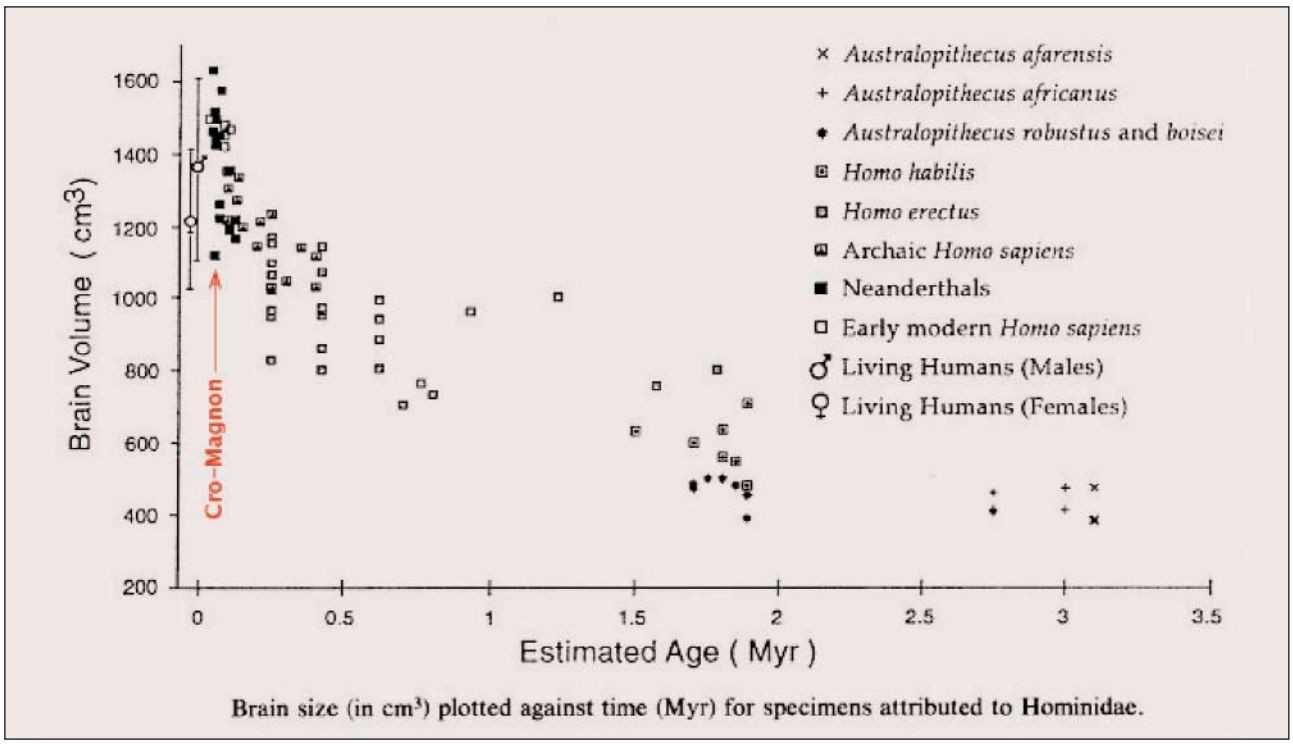


Fig. 13 – Aumento del volume del cervello umano dai primi ominidi ai giorni nostri [15] [22]

ciamo noi per le macchine, cioè determinata dalla informazione trasmessa geneticamente, più che attraverso l'apprendimento e la simulazione, come avviene per gli esseri umani.

Altro esempio di comunicazione gestuale/visiva è quello dello spinarello (Fig. 12), un pesce d'acqua dolce, studiato nel 1951 dal prof. Nikolaas Tinbergen [20] dell'Università di Oxford, che lo ha fotografato mettendo uno specchio nella vasca in cui nuotava, in modo che vi si vedesse riflesso [11, 12]. Credendo di vedere un nemico, immediatamente lo spinarello assumeva la suggestiva posizione di difesa e di combattimento mostrata in figura. Oltre ad alzare le pinne, lo spinarello cambiava colore del ventre, che diveniva bianco-azzurro, mentre i suoi occhi luccicavano e cambiavano colore. Altra gestualità caratteristica, studiata da Tinbergen, è quella assunta dallo spinarello nel corteggiamento della femmina.

Gli esempi di comunicazione animale sono moltissimi e svariati: ricordiamo, tra le cose note a tutti, le comunicazioni con ultrasuoni, indispensabili ai pipistrelli in quanto vivono in ambienti bui, ma comuni anche ad altri animali, ad esempio, i cani. Ma esistono anche tipi di comunicazione fra animali meno convenzionali, di natura elettrica, radio e ottica, per i quali rimandiamo il lettore esigente ad altri lavori [13, 14].

Veniamo ora alla struttura e alle interazioni informatiche dell'uomo, iniziando con l'osservare che il volume del nostro cervello è cresciuto dal valore di circa 400 cm^3 dei primi ominidi al valore odierno massimo di 2200 cm^3 (Fig. 13) [21]. È stato osservato e, d'altra parte, appare evidente dalla Fig. 13, che il volume del cervello umano aveva già raggiunto valori non molto inferiori a quelli attuali fin da prima dell'avvento dell'uomo moderno (o uomo di Cro-Magnon), databile a 35000 anni fa, e prima ancora che comparissero le prime forme di linguaggio evoluto (all'inizio solo parlato), evento databile intorno a 30.000 anni fa, cioè 5.000 anni dopo l'avvento dell'uomo moderno.

A questo proposito, Fred Hoyle ([16], p. 225-228) riporta le osservazioni di due illustri biologi, l'inglese Alfred Russel Wallace (1875) e il giapponese Susumu Ohno (1970), i quali sostennero che la capacità cerebrale, quindi la potenza intellettuale, dell'uomo dell'età della pietra (vissuto 2,5 milioni di anni fa) fosse assai simile a quella dell'uomo moderno, anche se tale potenziale intellettivo era sovrabbon-

---

[20] A Nikolaas Tinbergen, Konrad Lorenz e Karl von Frisch fu assegnato il Premio Nobel del 1973 per la Medicina e Fisiologia, per le loro ricerche nel campo dell'organizzazione e del comportamento individuale e sociale degli animali.

[21] Vi sono discordanze fra i valori odierni (oltre che fra maschio e femmina) del volume del cervello. Nel grafico si mostra un volume massimo di 1600 cm^3 per un maschio, mentre in altre pubblicazioni tale valore sale a 2200 cm^3.

[22] L'indicazione dell'uomo di Cro-Magnon è stata introdotta dall'autore del presente lavoro.

[23] È interessante osservare che l'evoluzione del cervello di un bambino fino al suo stato adulto ripercorre le strade evolutive che ha portato lo stesso al volume di 2200 centimetri cubi nel giro di due milioni di anni. Lo stesso vale per altri caratteri somatici ed intellettivi, per cui riassumendo si può dire che "l'ontogenesi è la ricapitolazione della filogenesi."

[24] Si deve precisare che i creazionisti puri interpretano i passi dell'evoluzione dell'universo attenendosi strettamente a quanto *rivelato* dalla Bibbia, mentre molti creazionisti odierni invocano l'intervento del Creatore in determinati istanti dell'evoluzione, cercando di dimostrare scientificamente l'impossibilità dell'accadimento spontaneo di un evento.

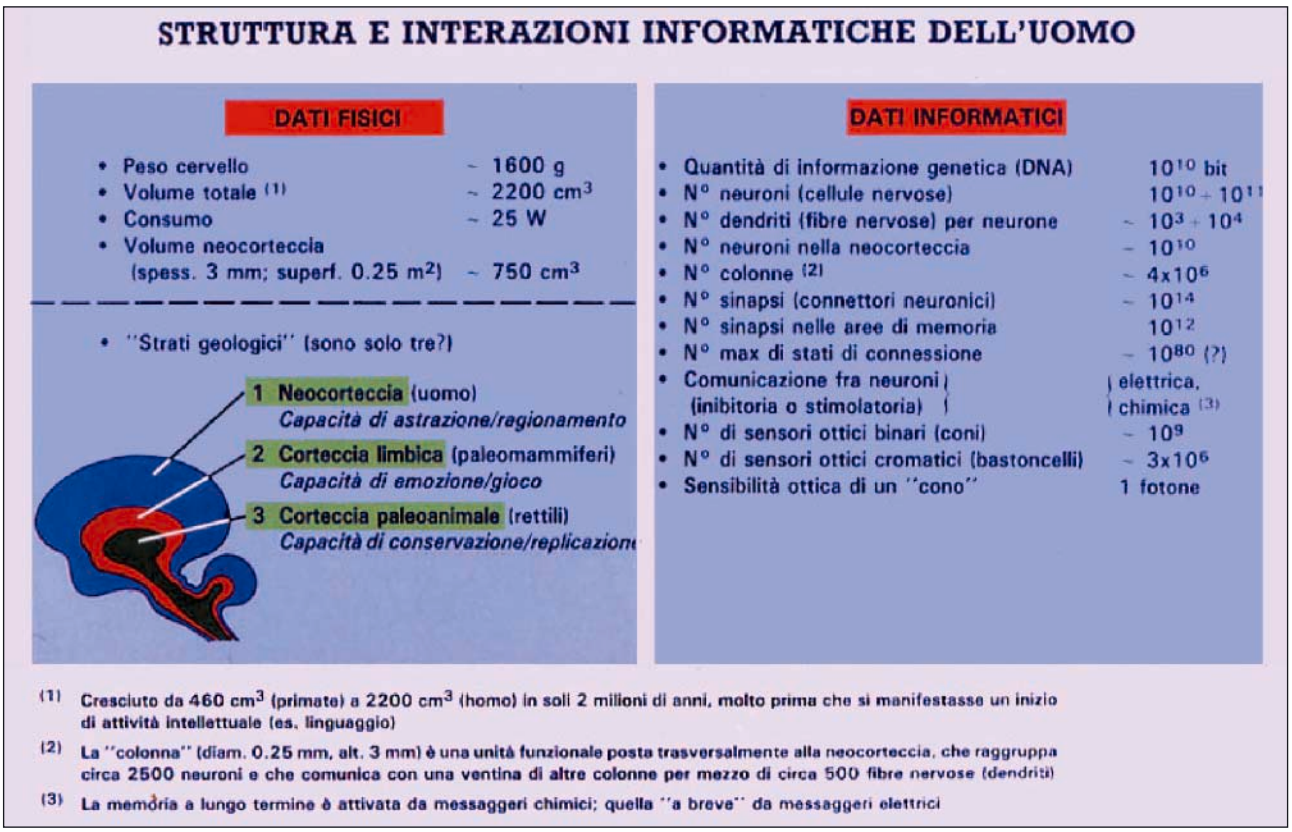


Fig. 14. Struttura informatica dell'uomo e sue interazioni con l'ambiente esterno

dante rispetto a quello che gli serviva per affrontare la situazione ambientale della sua epoca. Dall'altra parte, gli archeologi sono unanimi nel ritenere che l'uomo, prima di diventare "homo faber," ovvero homo habilis, cioè capace di fabbricare attrezzi (–1.7–1.9 Ma), era "homo logos" cioè capace di creare "parole", sia per comunicare coi suoi compagni che per sviluppare le proprie facoltà mentali e di adattamento all'ambiente. Si tratta, tuttavia, di una contraddizione apparente, perché occorre considerare la qualità e la varietà del linguaggio usato: una cosa è creare parole semplici, non molto lontane dal linguaggio degli animali, altra disporre di un linguaggio evoluto per scrivere un romanzo o dissertare di filosofia.

Occorre, inoltre, precisare che il solo volume del cervello umano non rende conto di una capacità intellettiva evoluta. Infatti, come mostra la Fig. 14, il cervello umano è formato da tre strati, il più antico dei quali, rappresentato dalla *corteccia paleoanimale* (tipica dei rettili), è responsabile della capacità di conservazione e replicazione, il secondo, rappresentato dalla *corteccia limbica* (tipica dei paleomammiferi), è responsabile della capacità di emozione e gioco, il terzo, rappresentato dalla *neocorteccia*, è responsabile della capacità di astrazione e di ragionamento, cioè dell'attività intellettuale più evoluta [23].

La neocorteccia rappresenta la parte più esterna, oltre che di più recente formazione, del cervello e, con uno spessore di 3 mm ed una superficie di 0,25 m^2, occupa un volume di circa 750 cm^3, pari a circa 1/3 del volume totale del cervello. Dunque, le affermazioni di Wallace e Ohno, riferite al volume *totale* del cervello, prescindono sia dal volume occupato dalla neocorteccia, sia dalla sua *organizzazione*.

L'argomentazione che la crescita del cervello umano si sia verificata molto prima che si manifestasse un inizio di attività intellettuale conseguente alla nascita del linguaggio evoluto (indicata come *rivoluzione mentale* in Fig. 3), è stata utilizzata dai cosiddetti *creazionisti* per contraddire il presupposto darwiniano che la spinta all'acquisizione di una così poderosa capacità informatica (mutazione genetica) sia provenuta dall'ambiente seguendo la legge della selezione naturale, e per dimostrare, invece, l'intervento di una volontà creatrice *esterna* [24].

Tale argomentazione si ritrova, seppure con importanti distinzioni, in Jacques Monod, il quale osserva ([4] p. 21):

> una delle proprietà fondamentali caratteristiche di tutti i viventi nessuno escluso [è] quella di essere *oggetti dotati di un progetto [teleonomia]*, rappresentato nelle loro strutture e al tempo stesso realizzato mediante le loro prestazioni, ad esempio la creazione di 'artefatti'.

Ma, al contrario dei creazionisti, Monod rifiuta l'*interpretazione dei fenomeni in termini di cause finali* ([4] p. 29), sostenendo che *il caso* sia stato il responsabile della formazione della prima struttura replicativa inglobante una mutazione genetica anche di eccezionale portata, dopo di che *la necessità*, cioè la rigida legge della replicazione e dell'invarianza ha provveduto a fare di un singolo evento eccezionale una realtà vastissima e onnipresente.

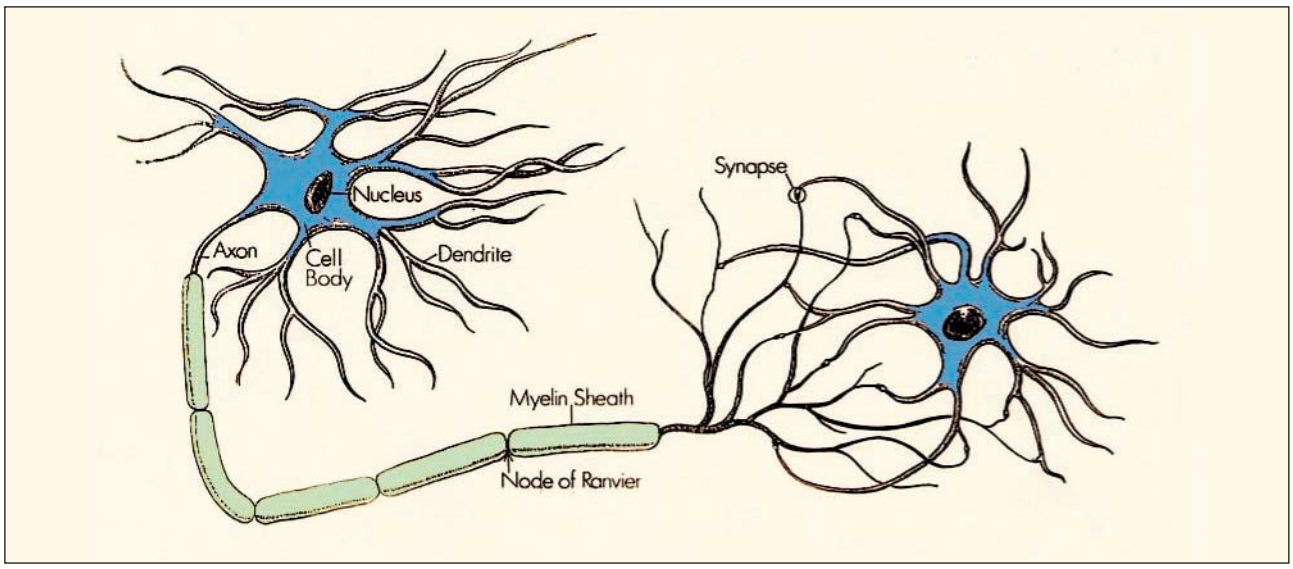


Fig. 15 – Cellule nervose (neuroni), fibre nervose (dendriti), incroci (sinapsi) e loro interconnessione

Scrive, infatti, Monod ([4] p. 99):

> … una volta inscritto nella struttura del DNA, l'avvenimento singolare, e in quanto tale essenzialmente imprevedibile, verrà automaticamente e fedelmente replicato e tradotto, cioè contemporaneamente moltiplicato e trasposto in milioni o miliardi di esemplari. Uscito dall'ambito del puro *caso*, esso entra in quello della *necessità*, delle più inesorabili determinazioni. La selezione opera in effetti in scala macroscopica, cioè a livello dell'organismo.

Un movimento decisamente contrario al gioco del caso e della necessità propugnato da Jacques Monod è quello dei sostenitori del cosiddetto *principio antropico*, primo fra tutti John Wheeler, ell'Università di Austin, Texas, il quale scrive [18] (traduzione dall'inglese):

> Non è solo l'uomo adattato all'universo. L'universo è adattato all'uomo. Immaginate un universo in cui l'una o l'altra delle costanti fondamentali adimensionali della fisica sia alterata di pochi percento, in un modo o nell'altro. L'uomo non potrebbe esistere in un siffatto universo. Questo è il punto centrale del principio antropico. Secondo questo principio, un fattore che dà la vita sta al centro dell'intero meccanismo e disegno del mondo.

Si ritrova, dunque, nelle parole di Wheeler, il principio della *causa finale*, aborrito dalla scienza fin dalla rivoluzione di Galileo e Cartesio, come contrario al *postulato di oggettività* e al conseguente *principio di causalità* della fisica. Secondo Jacques Monod ([4] p. 30) "il postulato di oggettività è consostanziale alla scienza e da secoli ne guida il prodigioso sviluppo" essendo "impossibile disfarsene, anche provvisoriamente, o in un settore limitato, senza uscire dall'ambito della scienza stessa".

Ma ecco che, a intaccare tale postulato – e a ridare ossigeno alla esistenza della *causa finale* – interviene la scuola del grande matematico italiano Luigi Fantappié, il quale, negli anni intorno al 1942-1944, fece osservare che le equazioni d'onda probabilistiche (proprie della fisica quantistica) ammettono due tipi di soluzioni e quindi due tipi di onde: le soluzioni dei *Potenziali ritardati* e le soluzioni dei *Potenziali anticipati*. Le soluzioni dei potenziali anticipati, fino allora ignorate dalla Fisica, rappresentano onde di probabilità convergenti, cioè onde che si fanno sentire *prima* di confluire alla sorgente (causa), la quale è posta a valle delle stesse. Fantappié dimostrò [19, 20] che l'evoluzione dei sistemi macroscopici ad onde convergenti evolvono verso stati di maggiore complessità e differenziazione e che, inoltre, in tali sistemi, la causa dell'evoluzione si trova nel futuro e l'effetto è nel presente. In altri termini, lo stato futuro del sistema è la *causa finale,* che esercita la sua influenza nel sistema allo stato presente ([21] p. 128). Una acuta ed estesa analisi dell'opera di Fantappié si trova nell'opera dei fratelli Arcidiacono [21].

Fantappié, sebbene non universalmente conosciuto, fece un quadro abbastanza completo e convincente dei fenomeni naturali, che descrisse come appartenenti a due classi (spesso coesistenti nella realtà): quella dei fenomeni *entropici*, ubbidienti al *Principio di causalità* (secondo il quale la causa precede l'effetto) ed al *Principio del Livellamento* ovvero *Secondo Principio della Termodinamica* (corrispondente alla tendenza verso il disordine e l'aumento dell'entropia) e quella dei fenomeni *sintropici*, ubbidienti al *Principio di finalità* (secondo il quale l'effetto precede la causa), e ad un *Principio di differenziazione*, che equivale ad un principio di organizzazione in senso anti-entropico della materia ([21] p. 132-136). Verrebbe così giustificata l'evoluzione *sintropica* dell'universo, verso stati sempre più complessi e differenziati, come per i fenomeni biologici.

Tornando alla struttura informatica dell'uomo (Fig. 14), dobbiamo constatare che tale struttura, ivi inclusi sensori e attuatori, consiste di un numero elevatissimo di cellule nervose chiamate *neuroni* presenti nel sistema nervoso di tutto il nostro corpo, in numero da $10^{12} \div 10^{13}$ [4] e delle loro interconnes-

sioni, attuate mediante fibre nervose chiamate *dentriti*, che ammontano a 1000-10000 per ogni neurone. Le sinapsi, in numero di $10^{14} \div 10^{15}$, rappresentano i punti di contatto (o incroci, in inglese *cross-point*) fra dendriti e assicurano l'interconnessione fra i neuroni, anche tra punti lontani, che viene attuata mediante impulsi nervosi viaggianti ad una velocità compresa fra 0.9 e 90 m/s (Fig. 15).

La sola neocorteccia possiede un numero di neuroni intorno a $10^{10} \div 10^{11}$ e un numero di sinapsi dell'ordine di 10^{14}. È stato calcolato che il numero massimo di *stati* di connessione che può assumere la neocorteccia è decisamente astronomico, aggirandosi sui 10^{80}, ossia pari al numero di Eddington, che rappresenta il numero di nucleoni (protoni e neutroni) esistenti nell'universo. Si può quindi comprendere come la neocorteccia, pur occupando solo 1/3 del volume del cervello, possieda una capacità di elaborazione colossale.

Quanto alla sua organizzazione, la neocorteccia è formata da *colonne,* poste trasversalmente alla corteccia. Ogni colonna ha un diametro di 0,25 mm e un'altezza di 3 mm, e raggruppa 2500 neuroni; comunica con una ventina di altre colonne, per mezzo di 500 dendriti, come quelle del neurone. Essa rappresenta una unità funzionale, cioè un sottoinsieme equivalente a un microcalcolatore. Di queste colonne, la corteccia ne contiene 4.000.000, il cui insieme forma una struttura simile a un elaboratore ad architetture parallele.

La comunicazione fra i neuroni, che può essere inibitoria o stimolatoria, può essere di natura elettrica o chimica. La memoria a lungo termine, ad esempio, è attivata da messaggeri chimici, perché essi inducono una modificazione stabile e duratura. A questo scopo ci richiede uno sforzo maggiore, necessario per *scolpire* indelebilmente tale informazione. Ciò avviene, ad esempio, quando proviamo un'emozione per un evento traumatico: questa indurrà una modificazione neuronica di tipo chimico. Al contrario, la memoria a breve termine, detta anche *memoria operativa* (come la RAM dei computer), che si carica e si scarica in continuazione, è attuata mediante messaggeri elettrici. Un'altra meravigliosa forma di comunicazione *chimica* è quella mediante la quale ogni cellula del nostro corpo comunica il proprio fabbisogno di ossigeno, trasportato da una speciale molecola contenuta nei globuli rossi del nostro sangue chiamata emoglobina: in tal modo l'ossigeno entrante nei nostri polmoni viene convogliato alle cellule che ne hanno bisogno [22].

Anche l'interazione dell'uomo con l'ambiente circostante, per mezzo di sensori e attuatori, ci riserva strabilianti sorprese. Il nostro sensore più potente è indubbiamente l'occhio. In esso si trovano circa un miliardo di sensori ottici binari, i *coni*, e circa 3 milioni di sensori ottici cromatici, i *bastoncelli*. La sensibilità ottica di un cono è di un fotone, nella gamma della luce visibile: non esiste niente al mondo che abbia una siffatta sensibilità. Il fotone incidente nella retina induce un cambiamento di stato *stereoisomerico* della molecola di retinolo (contenuta nella rodopsina della retina), che passa dalla configurazione spaziale di riposo di cis-retinolo a quella eccitata di trans-retinolo, in meno di un picosecondo [25]. Questa, a sua volta, innesca tutta una serie di reazioni fotochimiche, chimiche ed elettrochimiche, che sarebbe lungo illustrare, svolgenti funzioni di amplificazione (ca 10.000 volte in potenza) a spese del metabolismo cellulare; dette reazioni portano, in soli 100 millisecondi, alla creazione del segnale elettrico standardizzato (impulso da 30 mV, con durata di circa 1 ms) al nervo ottico e di qui al cervello. Lo studio della sensibilità dell'occhio umano ha innescato applicazioni futuribili nel campo della bionica (vedasi, ad esempio, il lavoro [23]).

E, infine, notiamo che questa stragrande capacità elaborativa e interattiva posseduta dal cervello umano comporta un consumo di soli 25 watt.

Da quanto precede, e in particolare dai dati riportati in Fig. 14, appare la grandiosità di questo essere che noi chiamiamo uomo, le ragioni della sua supremazia sugli altri esseri viventi, non certo dovuta alla sua capacità muscolare, ma alla sua capacità informatica che, come vedremo nella seconda parte di questo lavoro, è capace di immaginare il non percepibile.

[25] È da notare che solo il 40% dell'energia del fotone è usata per l'innesco; il resto (60%) è incamerato come energia torsionale di legame, che è restituita dopo il tempo di rilassamento.

Bibliografia

[1] Sherratt, A. (Editor), *The Cambridge Encyclopedia of Archaeolog*y, Cambridge University Press, 1980.

[2] Calder, Nigel, *Timescale - An Atlas of the Fourth Dimensio*n, The Viking Press, New York, 1983.

[3] Catania, Basilio, *Genesi e Apocalisse: il viaggio dell'informazione nello spaziotemp*o, Conferenza del 15 marzo 1987 presso l'Aula Magna della Pontificia Università di San Tommaso *(Angelicu*m), Roma, pubblicata su *Il Fuoco* (Ed. Studium Christi), Roma, A. XXXV, N. 2, 2° Trim. 1987, pp. 11-24 e successivamente su *Omar* (Novara), A. VIII, novembre 2005, p. 5-14.

[4] Monod Jacques, *Il Caso e la necessità—Saggio sulla filosofia naturale della biologia contemporanea* (traduzione da *Le hasard et la nécessité—Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne,* Paris, Éditions du Seuil, 1970), Arnoldo Mondadori Editore, Milano, VIII Edizione, 1976.

[5] Wigner, Eugene Paul, *The Probability of the Existence of a Self-Reproducing Uni*t, in: Polanyi, Michael, *The Logic of Personal Knowledg*e, Glencoe, IL: Free Press, 1961, p. 232.

[6] Haken, Hermann, *Sinergetica – Il segreto del successo della natur*a, Boringhieri Editore, Torino, 1983 (trad. dal tedesco, 1981). Schema del DNA del Virus SV 40 a pag. 96.

[7] Sebring E. D., Kelly T. J. Jr, Thoren M. M., Salzman N.P., *Structure of Replicating Simian Virus 40 Deoxyribonucleic Acid Molecule*s, Journal of Virology, October 1971, p. 478-90.

[8] Harari, Haim, *The Structure of Quarks and Lepton*s, Scientific American, p. 56, April 1983 (see also: *Rishon Model of Elementary Particles* by J. D.

Shelton, posted on Internet at http://www.geocities.com/rishonmodel/, June 15, 2005.)

[9] Free, John B., *L'organizzazione sociale delle api*, Edagricole Bologna, 1982 (traduzione da *The Social Organization of Honeybees*, Edward Arnold Publisher, London, 1977)

[10] Frisch, K. von, *Bees: Their Vision, Chemical Senses, and Language*, Cornell University Press, New York, NY, 1950.

[11] Tinbergen, Nikolaas, *The study of instinct*, Oxford University Press, London, 1951.

[12] Tinbergen, Nikolaas, *Il comportamento sociale degli animali*, Piccola Biblioteca Einaudi, Torino, 1969 (traduzione da *Social behaviour in animals*, 1956).

[13] Richards, Douglas G., *Biological Strategies for Communication - The structure of typical examples of animal signals in the acoustic, radio frequency, and optical modalities, as compared to manmade signals,* IEEE Communications Magazine, June 1985, Vol. 23, No. 6, p. 10-18.

[14] Westby, G. W. M., *Il linguaggio elettrico dei pesci*, L'Elettrotecnica, Vol. LXXI, n. 1, gennaio 1984, p. 33-38 (traduzione da: *Electrical language of fish*, Spectrum, British Science News, 1982, No. 181).

[15] McHenry H. M., *Tempo and mode in human evolution*, Proceedings of the National Academy of Sciences, USA, 1994, 91:6780-6.

[16] Hoyle, Fred, *L'Universo intelligente - Creazione ed evoluzione in una prospettiva nuova*, Arnoldo Mondadori Editore, Milano, 1984 (tradotto da *The Intelligent Universe*, Dorling Kindersley Ltd., London, 1983)

[17] Ohno, Susumu, *Evolution by gene duplication*, Springer-Verlag, New York, 1970 (quoted in [16])

[18] Wheeler, John Archibald, *Foreword* to *The Anthropic Cosmological Principle*, by Barrow J. D., Tipler F. J., Clarendon Press, Oxford University Press, 1987

[19] Fantappié L., *Princìpi di una teoria unitaria del mondo fisico e biologico*, Humanitas Nova, Roma, 1944

[20] Fantappié L., *Sull'interpretazione dei potenziali anticipati della meccanica ondulatoria e su un Principio di finalità che ne discende,* Rend. Accademia d'Italia, sez. 7ª, vol. 4, fasc. 1-5, 1942

[21] Arcidiacono Giuseppe, Salvatore e Vincenzo, *Creazione, Evoluzione, Principio Antropico*, Edizioni Il Fuoco, Roma, 1983 (in particolare Cap. VIII e XII)

[22] Yamane, T., *Hemoglobin: Communication on a Molecular Level*, Bell Laboratories Record, October 1970 p. 269-272.

[23] Catania, Basilio, *Dall'Elettronica alla Fotonica e dalla Fotonica alla Bionica,* L'Elettrotecnica, Vol. LXXVII, N. 7, luglio 1990, pp 27-43.

I molti aspetti dell'informazione

Parte II: evoluzione della materia inanimata

Basilio Catania (*)

L'avvento dell'era dell'informazione, succeduta all'era dell'energia, ci propone antiche e nuove riflessioni sui molti aspetti e significati di ciò che noi chiamiamo «informazione». Le tre parti di questo lavoro sono tratte da due conferenze tenute all'autore presso l'Associazione Elettrotecnica ed Elettronica Italiana (oggi AEIT), Sezione di Milano, rispettivamente il 13 marzo e il 10 aprile 1986. Nella prima parte è stata considerata l'informazione che si manifesta – legata o scambiata – nella biosfera; in questa seconda parte ci si riferisce alla materia inanimata, ed in una successiva terza parte si tenterà di dare uno sguardo al limite e al di fuori dello spaziotempo, nell'intento di cogliere nell'informazione un significato comune ed essenziale.

Introduzione

Come ricordato nella prima parte di questo lavoro, l'obbiettivo che ci eravamo proposti è di "scovare" l'informazione – questa entità immateriale che sembra ormai destinata a permeare gran parte delle attività degli esseri umani – ovunque sia "annidata", cioè sia nei supporti materiali (viventi e non), sia al di fuori di essi, cioè in quegli stati astratti (o quasi astratti) nei quali essa appare libera, ossia non legata a materia di qualsiasi tipo. Ricordo anche (Fig. 1) che abbiamo intrapreso un viaggio ideale nello spaziotempo, partendo dal nostro presente per esplorare regioni sempre più remote, suddividendo il viaggio in tre parti:

Parte I *"Evoluzione della biosfera"*, trattata nella Parte I di questo lavoro [1],
Parte II *"Evoluzione della materia inanimata"*, tema principale del presente articolo,
Parte III *"Fuori dallo spaziotempo"*, tema che sarà trattato in un prossimo articolo (ed anche con un adatto *equipaggiamento di viaggio*).

Riprendiamo, dunque, il nostro viaggio, addentrandoci nel regno del "non vivente". Tuttavia, prima di partire, è utile riassumere le principali conclusioni della Parte I, aggiungendovi qualche utile considerazione.

Conclusioni e considerazioni aggiuntive sull'evoluzione della biosfera

Abbiamo evidenziato anzitutto l'unità della biosfera, osservando, più precisamente, che:

- ogni e qualsiasi struttura vivente è costituita da un aggregato di cellule;
- ogni e qualsiasi cellula contiene, in aggiunta a

(*) Dr. Ing. Basilio Catania, già Direttore Generale del Laboratorio di ricerca di Telecom Italia (CSELT), Torino.

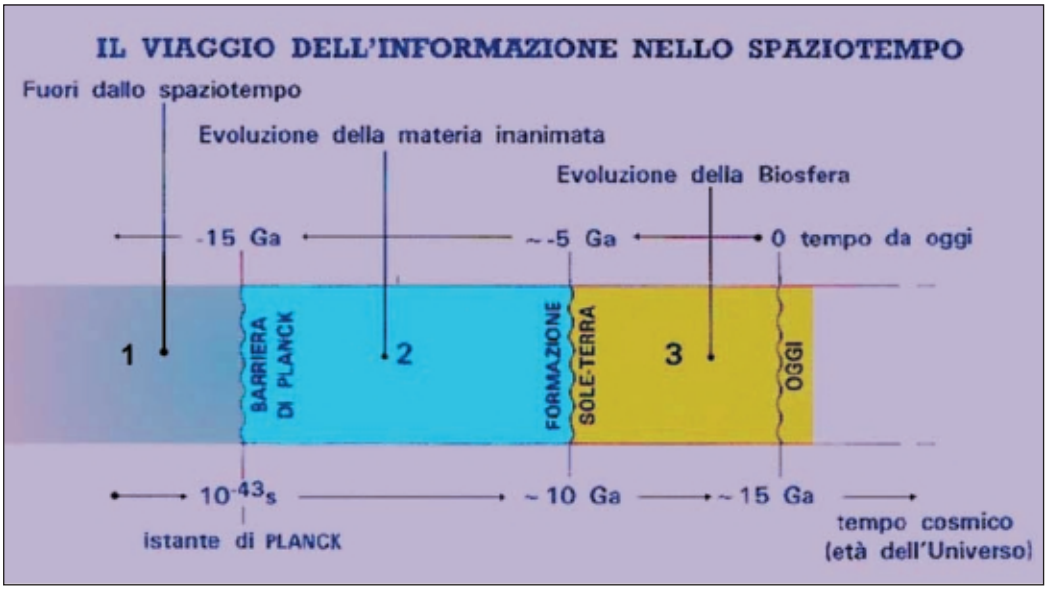


Fig. 1. Il viaggio dell'informazione nello spaziotempo: dalla materia inanimata alla biosfera

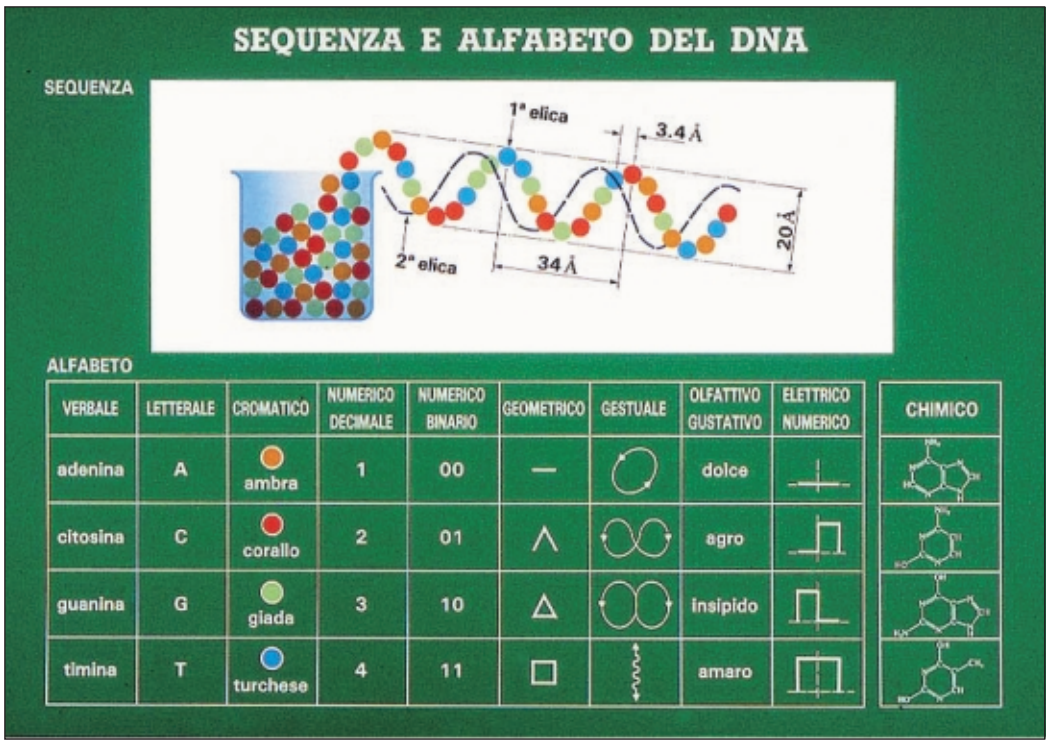


Fig. 2. Sequenza e alfabeto del DNA

semplici composti organici e inorganici, due tipi di macromolecole complesse: le proteine e il DNA, la seconda delle quali, il DNA, serve a fabbricare le prime.

Dunque, la chiave di volta di tutta la biosfera è il DNA, una macromolecola caratteristica di ciascun essere, che, come un "marchio di fabbrica", si ritrova riportata identicamente in ogni singola cellula della sua struttura.

Abbiamo anche osservato (Fig. 2) che il DNA è costituito da due lunghissime catene elicoidali controverse – e tra loro interconnesse – in cui figurano, una dopo l'altra, numerosissime, ma semplici basi nucleotidiche, appartenenti, per così dire, a un *alfabeto* di solo quattro *lettere*: adenina, citosina, guanina e timina (ACGT). Pertanto, il messaggio che ciascuna di esse porta equivale, per dirla alla Shannon, a una quantità di informazione di 2 bit per ogni "grano" della collana, non importa se il messaggio si renda a noi manifesto attraverso la visione stessa della catena nucleotidica (per esempio ai raggi X) oppure verbalmente o per iscritto (e in questo caso mediante codici alfabetici, numerici – decimali o binari – o geometrici), oppure ancora gestuali, olfattivi o gustativi, o elettrici oppure infine mediante il codice (chimico) di struttura interna di ciascun grano della collana, come illustrato in Fig. 2[1].

Dunque, l'informazione trasportata dal DNA rappresenta l'invariante astratto che è comune alle sue varie materializzazioni o espressioni. Essa, inoltre, contiene le istruzioni per un processo potenziale (oggi lo chiameremmo *software*) – quindi non ancora in atto nella realtà percepibile – ma che può attuarsi, quindi divenire realtà, ove si verifichino le condizioni esterne favorevoli.

Visualizzando tale quantità d'informazione mediante lettere dell'alfabeto (ACGT) abbiamo visto che ci vuole una pagina intera per descrivere il DNA del virus SV40 (Fig. 7 della Parte I), equivalente, in codice binario, ad una informazione di struttura di circa 10,5 kbit. Ma già per un batterio come l'*Escherichia Coli*, che ospitiamo nel nostro intestino, occorre una quantità di informazione maggiore di oltre 3 ordini di grandezza (30 Mbit), quindi di pagine ce ne vorrebbero 3000, un bel trattato in tre volumi di 1000 pagine l'uno! Per un mammifero tra i più semplici, il topo, occorrono circa tre ordini di grandezza in più (≈10 Gbit), dunque, ci vorrebbero ben 1000 di quei volumi che, sistemati in una adatta libreria, occuperebbero una intera parete da 3x5 m^2. Infine, per l'uomo, più complesso del topo di solo una mezza decade (30 Gbit), ci vorrebbero tre di quelle pareti. È stato calcolato, infine, che la massima differenza di contenuto informativo nel DNA di individui di una stessa specie (uomini compresi) è molto piccola (circa l'1‰), quindi, per l'uomo, interesserebbe *soltanto* (si fa per dire), 3 di quei 3000 volumi di istruzioni. Ciò significa, ad esempio, che la descrizione del mio DNA comporta 2997 volumi identici a quella di ciascuno di voi e ne differisce soltanto per 3 volumi.

Abbiamo anche osservato nella Parte I che l'informazione di struttura o genetica non è *tutta*

---

[1] Alcune curiosità:
– ciascuno dei 4 nucleotidi che formano il DNA è formato da soli quattro elementi: idrogeno, azoto, ossigeno e carbonio;
– questi elementi sono tra i primissimi che si sono formati agli albori dell'universo, come vedremo fra poco;
– di essi, l'idrogeno è monovalente, l'ossigeno bivalente, l'azoto trivalente, il carbonio tetravalente, mentre l'elio (anch'esso formatosi agli albori dell'universo) è zerovalente (gas nobile) e, ovviamente, non compare come costituente dei 4 nucleotidi;
– i venti amminoacidi che costituiscono le proteine sono anch'essi formati da idrogeno, ossigeno, azoto e carbonio, salvo due (cisteinile e metionile), che contengono anche zolfo (esavalente).

l'informazione che si può incontrare nella biosfera. Infatti, se guardiamo l'essere vivente (Fig. 9 della Parte I) sotto il doppio aspetto della sua struttura (largamente determinata dal patrimonio genetico) e della sua interazione con l'ambiente circostante, scopriamo che l'uomo non soltanto possiede il più ricco patrimonio genetico, ma che egli si colloca anche al più alto livello di capacità di interazione informatica, anche se ciò è avvenuto, filogeneticamente (ossia durante l'evoluzione della specie umana), a scapito della sua capacità di interazione energetica (abbiamo perso in muscoli e guadagnato in mente), proprio in forza del fatto che la prima gli ha consentito di dominare le risorse energetiche dell'ambiente. L'interazione con l'ambiente circostante è anche causa dell'*apprendimento* e delle *mutazioni genetiche*, per cui si può dire che l'interazione diventa un fattore altrettanto se non più importante della struttura o, se si vuole, dell'informazione genetica.

Infatti, nell'uomo, il numero di bit disponibili per tale interazione è persino più elevato di quello corrispondente ai bit di struttura: basti pensare che egli possiede: oltre 1 miliardo di sensori ottici binari, ciascuno capace di inviare al cervello 50 bit/sec (un bit per ogni fotone di luce visibile), quindi complessivamente 100 Gbit/s; 1000 Gbit di memoria; 100 Terabit di elaborazione (corrispondenti al numero di sinapsi), a confronto della pur elevata complessità del programma genetico, misurabile in *soli* 10 Gbit[2]. L'uomo può dunque incamerare (apprendere) ed elaborare enormi quantità di informazioni, nonché ideare e utilizzare memorie esterne di ogni tipo, potendo così disporre della "memoria della specie," ossia di tutti i suoi simili, e tramandarla a sua volta; può ideare e costruire macchine[3], utilizzare l'ambiente circostante, compresi i regni animale e vegetale, il tutto grazie alla sua struttura e capacità di interazione informatiche.

Questo modo di concepire un ente, cioè identificato da una sua struttura energetico/informatica e dalle sue interazioni energetico/informatiche con l'ambiente, è molto efficace anche quando si considerano altri esseri viventi, come anche oggetti inanimati e persino enti astratti (cioè non percepibili coi nostri sensi), poiché, come sottolineato nella Parte I, *l'ente è in quanto ha una struttura e in quanto interagisce con altri enti.* Anzi, molto spesso, nei processi vitali dell'uomo, come di tutta la biosfera, l'interazione è più importante della struttura.

Consideriamo, a titolo di esempio, un albero, un bel cedro del Libano (Fig. 3) lungo tutto il processo di crescita a partire dal seme fino al suo massimo rigoglio (tralasciando, al momento, la fase di degradazione, seguita dalla estinzione). Ebbene, si vedono chiaramente sia l'interazione energetica che quella informatica con l'ambiente. Infatti, l'informazione contenuta nel DNA del seme ha *occupato* tutto l'albero e in più ha fabbricato semi per moltiplicarsi in *n* alberi (salvo mutazioni per l'effetto antagonista dell'ambiente) in modo che l'informazione salvi quanto possibile il *"ne varietur"*, per dirla alla Jacques Monod [2], ossia l'informazione invariante contenuta nella stringa del DNA. La Fig. 3 mostra anche come l'informazione comandi l'assorbimento di energia dall'ambiente (nutriente) e determini i passi del programma (più veloci se l'ambiente collabora).

Un'altra importante osservazione riguarda il *tempo* Δt impiegato per completare il processo, che sarà più o meno breve a seconda che sia disponibile più o meno energia, potendosi dire, abbastanza

[2] Il prefisso *giga* (G) equivale a una potenza di 10^9, mentre il prefisso *tera* (T) equivale a una potenza di 10^{12}. Si noti la similitudine del linguaggio a quello di un elaboratore, costituito da organi di ingresso e uscita (I/O), unità centrale di elaborazione (CPU), unità di memoria M.

$$\begin{array}{c} I \rightarrow \boxed{CPU} \rightarrow O \\ \uparrow \\ \boxed{M} \end{array}$$

[3] Le macchine o *artefatti*, per dirla alla Jacques Monod [2] sono state finora costruite con materiali non biologici (infatti, in una macchina fotografica non si trova il DNA in ogni sua parte). Fra non molto, però, gli artefatti cominceranno ad usare anche materiali biologici (bionici) [3].

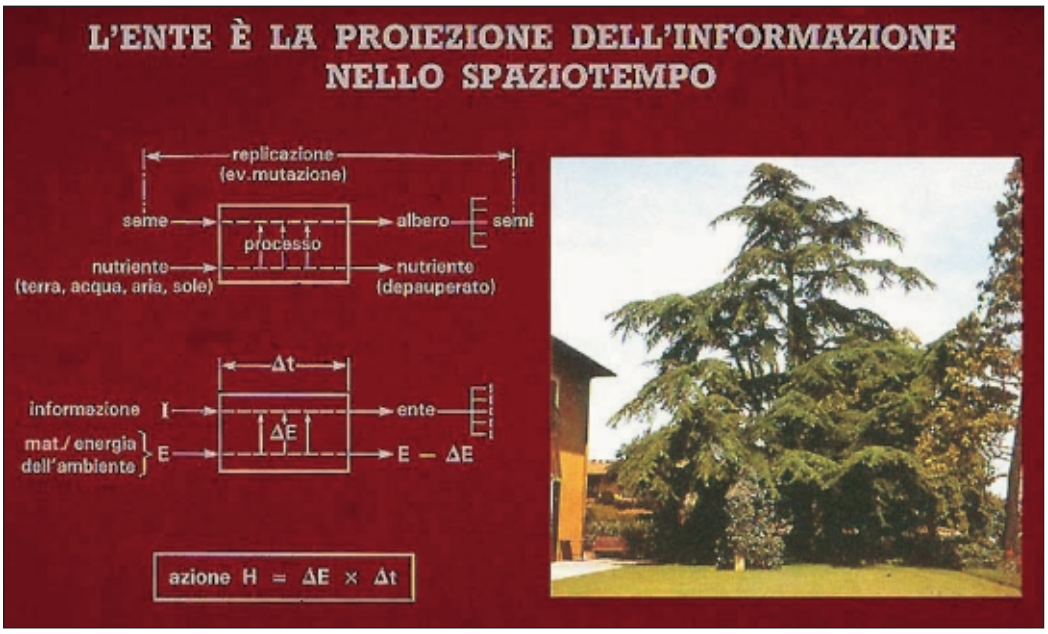


Fig. 3. L'Ente è la proiezione dell'informazione nello spaziotempo

in generale, che il prodotto energia x tempo, $\Delta E \cdot \Delta t$ – che coincide con la grandezza fisica che si chiama *azione* – è sostanzialmente una costante caratteristica del processo [4].

Un esempio di vita quotidiana chiarirà ulteriormente questo concetto, e la particolare importanza dell'*azione*. Supponiamo di doverci spostare in automobile da Milano a Torino, cioè di dover operare un *cambiamento nello spaziotempo* (né più né meno che diventare un cedro del Libano adulto partendo dal seme). Possiamo coprire l'intero percorso in meno tempo, consumando più benzina, cioè energia (come i nutrienti per il cedro), oppure in più tempo, risparmiando energia, ma si può constatare che il prodotto energia x tempo, ossia l'*azione*, è sostanzialmente costante.

L'*azione* è, dunque, la grandezza fisica che presiede al *cambiamento*, non importa se il cambiamento è intervenuto in un tempo più o meno breve o se ha richiesto più o meno energia[4].

Anche per un artefatto, come la casa che si intravede a sinistra dell'albero in Fig. 2, si può fare un ragionamento analogo. Infatti, essa è costruita a partire da un software, uscito dalla mente dei progettisti, ed usa materiali ed energia ambiente per essere costruita e diventare realtà percepibile. Dunque, anch'essa rappresenta la proiezione dell'informazione nello spaziotempo.

Appare chiara, pertanto, l'importanza fondamentale dell'informazione, generalmente contenuta in uno spazio angusto (ogni nucleotide del DNA occupa uno spazio di soli 3,4 Å[5], come mostrato in Fig. 2), ma capace di dare risultati grandiosi, come un uomo, un cedro del Libano, una casa.

D'altra parte, un buon dizionario della lingua italiana, come lo Zingarelli (Fig. 4), dà per l'informazione, come primo significato, "azione dell'informare" e, sotto la voce "informare", sempre come primo significato, "dare la forma, formare". Dunque l'informazione è *l'atto di dare forma*, e poiché *la forma* è una caratteristica di tutto ciò che si può vedere e toccare, cioè percepire – secondo la concezione che risale all'Antica Grecia, in particolare ad Aristotele – si deduce che la parola *informazione* etimologicamente rappresenta *l'agente mediatore tra ciò che non è e ciò che è*, in perfetto accordo con quanto abbiamo illustrato[6].

Storia dell'universo inanimato

Ma è tempo di iniziare l'esplorazione dell'universo inanimato. Questo universo, come ormai condiviso dalla maggior parte degli studiosi, ha avuto un inizio *(big bang)*, che si può collocare a circa 15 miliardi di anni fa[7]. Se stabiliamo il nostro "campo base" intorno a quella data, cioè se misuriamo il cosiddetto *tempo cosmico t*, che si identifica con l'*età* del-

Fig. 4. Etimologia della parola informazione: "Azione del dare la forma".

[4] L'importanza dell'azione, quale grandezza fisica *primaria*, è stata sottolineata nel lavoro [4] dell'autore. Essa si può misurare in numero di quanti d'azione, prendendo come unità di misura la costante di Planck, pari a $h = 6.625 \times 10^{-34}$ Js, che, come noto, ha le dimensioni di un'azione (ovviamente, si otterranno numeri enormi per le azioni più comuni). Assumendo l'azione (in Js) come grandezza primaria, l'energia (in J) sarebbe definita come "velocità di azione" e la potenza (in W, ossia J/s) come "accelerazione di azione".

[5] 1 angstrom (Å) vale 1 decimilionesimo di millimetro, cioè 10^{-8} cm.

[6] Nel già citato lavoro [4] è stata mostrata una perfetta corrispondenza tra l'azione *A* necessaria per indurre un cambiamento e l'informazione *I* che lo descrive, data dalla formula $A = \hbar I$, dove $\hbar$ è la costante di Dirac (pari alla costante di Planck *h* divisa per 2π).

[7] Come già raccomandato nella Parte I, si invita il lettore a non focalizzare l'attenzione sui valori esatti delle grandezze che si incontrano esaminando l'evoluzione dell'universo. Molti valori, infatti, sono controversi ed altri noti con insufficiente precisione. È più interessante, infatti, focalizzare l'attenzione sulle varie tappe evolutive e sulla loro concatenazione logica, piuttosto che sui valori precisi delle grandezze che le descrivono, in particolare quelli delle transizioni tra una tappa e la successiva.

l'Universo, a partire dal big bang, è chiaro che, in scala logaritmica, vedremo con molto dettaglio i primi istanti dell'universo, mentre il nostro presente e tutta l'evoluzione della biosfera svanisce all'orizzonte, compressa in una frazione di decade (Fig. 5). In realtà, è proprio questo che vogliamo fare in questa Parte II, in quanto la storia più vicina al presente è stata trattata nella Parte I, in cui fissammo il tempo *zero* al presente. In Fig. 5 le ascisse rappresentano il logaritmo (decimale) del tempo cosmico *t,* espresso in secondi, salvo che per le ultime decadi per le quali è anche riportata una scala del logaritmo del tempo espresso in anni.

Nelle ordinate sono riportate, in scala logaritmica, le seguenti grandezze:

– la temperatura assoluta *T* in gradi Kelvin (K) e l'energia cinetica media di una singola particella *E*, espressa in elettronvolt (eV)[8] (linea rossa). Sono evidenziate, per comodità, le energie di 1 KeV, 1 MeV, 1 GeV e 1 TeV, essendo 1 TeV (teraelettronvolt) pari a 10^{12} eV.
– il diametro D dell'universo, in cm (linea arancione). Per comodità, sono evidenziati lungo la curva alcuni valori significativi, corrispondenti a un diametro di 10 cm, 1 km, 10.000 km, 1 anno luce (a.l.), 10 milioni di a.l., 30 miliardi di a.l.[9].
– la densità ∂ dell'universo, in g/cm^3 (linea nera).

Si può osservare, innanzitutto, che queste grandezze coprono gamme di valori vastissime. Infatti, il tempo va da 10^{-43} secondi al valore attuale di oltre 10^{17} secondi (equivalente a circa 15 miliardi di anni); la temperatura va da qualche grado Kelvin (K) fino a 10^{32} K**,** la densità da 10^{-30} fino a 10^{94} g/cm^3**,** il diametro da una frazione infinitesima di millimetro (come vedremo più avanti) a 30 miliardi di anni luce. Dunque si va dall'infinitamente piccolo all'infinitamente grande.

Un'altra osservazione immediata è che i tre andamenti, nella scala doppio-logaritmica adottata, sono sostanzialmente rettilinei, per una gran parte dell'evoluzione. Più precisamente ([5], p. 339-340, [6]), la densità ∂ è decrescente col quadrato del tempo (quindi scende di due decadi per ogni decade di tempo), la temperatura *T* (o l'energia *E*) sono decrescenti nel tempo con la radice di *t* (cioè, scendono di mezza decade per ogni decade del tempo), mentre il diametro è crescente con la radice del tempo (cioè cresce di mezza decade per ogni decade di tempo), salvo che per il tratto iniziale in cui, come vedremo avanti, si verificò una iperespansione (*inflazione*) a ritmo esponenziale.

---

[8] Come noto, la temperatura assoluta *T* è proporzionale all'energia cinetica media *E* di una molecola di un gas perfetto (monoatomico) in equilibrio termico col sistema considerato, secondo la nota relazione $E = (3/2)\ kT$, dove *k* è la costante di Boltzmann, pari a $1{,}38 \cdot 10^{-23}$ J/K. Essendo le due grandezze proporzionali, si potrebbe usare indifferentemente l'una o l'altra per indicare lo stato di agitazione molecolare esistente in un dato istante dell'evoluzione dell'universo. L'unità elettronvolt (eV), pari a $1{,}6 \cdot 10^{-12}$ joule, è molto usata in fisica nucleare (ad esempio per indicare le energie impresse dagli acceleratori di particelle) e corrisponde all'energia acquisita da un elettrone che si muove tra due punti di un campo elettrico aventi la differenza di potenziale di 1 V.

[9] 1 anno luce è la distanza percorsa dalla luce in un anno, pari a $9.45 \cdot 10^{12}$ km, ossia circa 10.000 miliardi di km. L'anno luce si usa per indicare distanze molto grandi, specie in astronomia. Il valore di 30 miliardi di a. l. (30 Gal) risulta semplicemente dal raddoppio dell'età dell'universo (ca. 15 Ga, cioè 15 miliardi di anni), in quanto la luce si è irradiata in tutte le direzioni, ed ha percorso una distanza di 15 Gal, cioè 15 miliardi di anni luce in ogni direzione e 15 Gal in direzione opposta, da qui il diametro di 30 Gal. Si tratta, tuttavia, del diametro dell'*universo osservabile* (da non confondersi con quello dell'*universo materiale*, del quale parleremo più avanti).

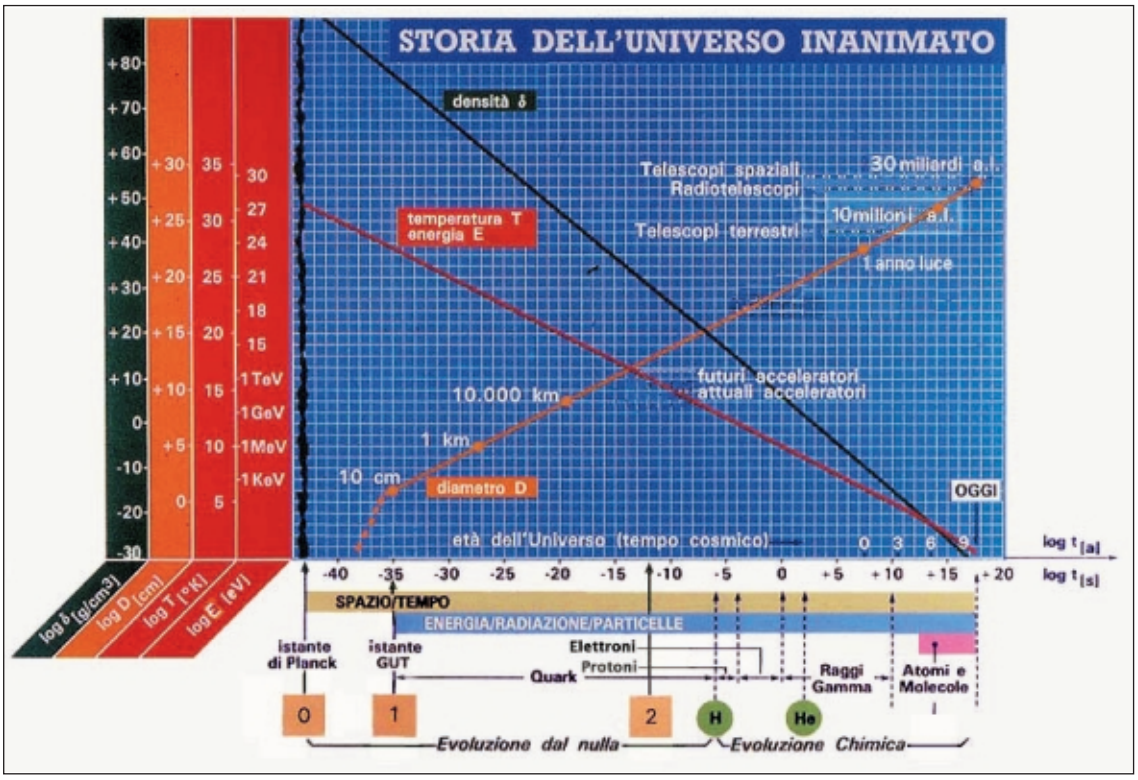


Fig. 5. Storia dell'Universo inanimato.

Pertanto appare dalla Fig. 5 che il nostro universo si presentava al suo inizio come tanti minuscoli punti (diametro piccolissimo), roventi (temperatura elevatissima) e con elevatissima densità. Da allora, densità e temperature sono progressivamente diminuite, mentre il diametro è progressivamente aumentato, mantenendosi ancora oggi in fase di espansione.

L'universo osservabile oggi

Prima di esplorare le varie fasi che hanno preceduto il momento attuale, conviene fare una fotografia della struttura odierna dell'universo, quale appare, da un lato, agli astronomi che, con l'aiuto di telescopi e radiotelescopi, scrutano le immensità del cielo, dall'altro, ai fisici e ai chimici che, con l'aiuto del microscopio (curiosamente inventato anch'esso nel periodo rinascimentale insieme al telescopio) e del microscopio elettronico scrutano il microcosmo, scoprendo talvolta spettacoli non molto dissimili da quelli che si snodano nel macrocosmo (Fig. 6).

Ed ecco quanto possiamo osservare, per sommi capi:

1. L'universo è grandissimo, ma non infinito; ha un diametro di circa 30 Gal (30 giga anni luce, ossia 30 miliardi di anni luce) o, se si vuole, di circa $2{,}8 \times 10^{28}$ cm[10].
2. L'universo non è statico ma è in espansione, come un pallone che si gonfia. La velocità di espansione varia linearmente con la distanza dei corpi osservati (legge di Hubble), raggiungendo, alle massime distanze, valori prossimi alla velocità della luce.
3. L'energia totale dell'universo (materia + radiazioni) è costante e finita, ed è equivalente alla massa di circa 10^{80} protoni (numero di Eddington) più circa 10^{89} fotoni, con un rapporto fra fotoni e protoni uguale a circa 10^{9} [11].
4. In particolare, la *materia* presente nell'universo ha una massa valutabile fra $3 \cdot 10^{56}$ e $5{,}6 \cdot 10^{56}$ g, l'incertezza essendo dovuta al fatto che non tutta la materia è visibile, dato che esistono corpi non luminosi, come i pianeti, i cosiddetti buchi neri, ecc.
5. Questa materia è distribuita su circa 100 miliardi di galassie, ciascuna delle quali può contenere da 100 a 1.000 miliardi di stelle, anche più grandi del nostro sole, a loro volta contornate da relativi pianeti e satelliti.
6. La densità media della materia nell'universo risulta equivalente a circa 1 atomo di idrogeno per metro cubo, più precisamente compresa fra 10^{-30} e $14 \cdot 10^{-30}$ g/cm^3, l'incertezza essendo legata alla imprecisione con cui sono noti la massa e il volume totale. Come vedremo, non siamo molto lontani dal valore critico di $2 \div 5 \cdot 10^{-30}$ g/cm^3, al di sopra del quale dovrebbe accadere in futuro che l'universo rallenti e successivamente cessi la sua espansione per contrarsi di nuovo

[10] Il diametro dell'*universo materiale* è circa 5 volte maggiore, essendo valutato oggi intorno ai 156 Gal [7]).

[11] Moltiplicando il numero di Eddington per la massa del protone si ottiene il valore della massa totale dell'universo, come riportata in Fig. 6. Il fatto che l'energia dell'universo sia rimasta costante in tutto il tempo cosmico, dal big bang ad oggi – in accordo col principio di conservazione dell'energia – è oggetto di dibattito, specie per quanto riguarda l'energia perduta durante l'espansione che può ritrovarsi in forme inusuali (neutrini).

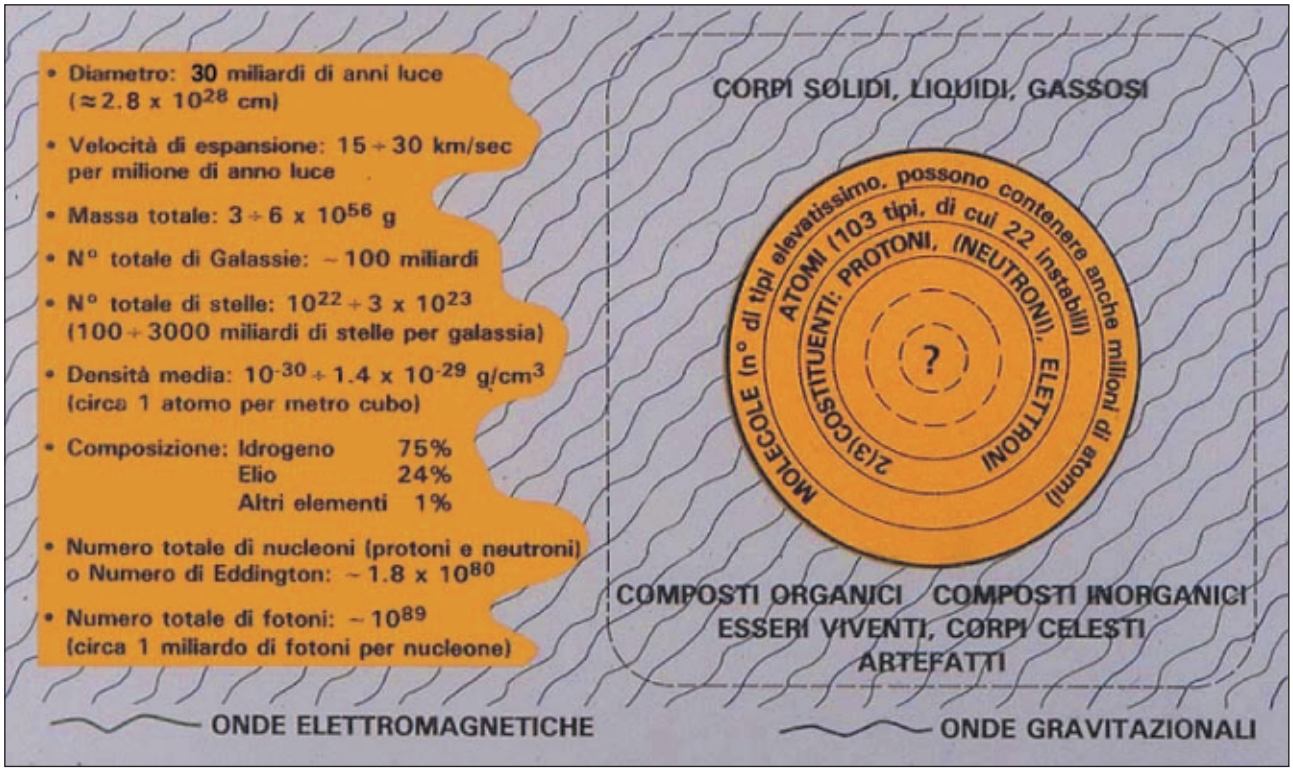


Fig. 6. L'universo osservabile oggi

ed eventualmente collassare (teoria del cosiddetto "universo chiuso," [5], p. 97).

7. La materia esistente nell'universo consiste essenzialmente per il 75% di idrogeno e per il 24% di elio, che sono i più semplici e i più leggeri elementi esistenti ed anche i più *vecchi*, essendosi formati nei primi minuti dopo il big bang. Il rimanente 1% consiste di elementi più pesanti (formatisi più tardi, all'interno delle stelle) e dei loro composti organici e inorganici, presenti allo stato solido, liquido o gassoso a seconda della temperatura locale. Questi elementi, in numero di 103, ordinati nel noto "sistema periodico degli elementi" di Mendelejeff, costituiscono i mattoni coi quali è costruito l'edificio chimico dell'universo ed in particolare le molecole, che vanno dalle più semplici (gas monoatomici) alle più complesse, costituite da milioni di atomi, come le macromolecole organiche delle proteine contenute negli esseri viventi. Queste ultime sono ancora più rare nell'universo e si può valutare che la loro incidenza sia inferiore a 10^{-18}**,** praticamente tutta concentrata, per quanto ne sappiamo oggi, sul pianeta terra (cosa veramente singolare). Gli stessi 103 elementi sono utilizzati per realizzare gli artefatti, cioè gli oggetti e le macchine ideati dall'uomo.
8. Gli atomi contenuti in ognuno dei 103 elementi sono costituiti da un nucleo, formato da un certo numero di protoni e di neutroni, intorno al quale ruotano un certo numero di elettroni. Ad esempio l'atomo più semplice, quello dell'idrogeno, è fatto da un solo protone e da un solo elettrone che gli gira intorno; uno dei più complessi, l'uranio, possiede un nucleo formato da 92 protoni e 143 neutroni, ed è attorniato da 92 elettroni, che ruotano intorno ad esso, distribuiti in 8 orbite. Gli atomi sono dunque simili a sistemi planetari in miniatura, dove si riflette, come per magia, lo spettacolo osservato dagli astronomi nel cielo stellato.
9. Protoni e neutroni sono, a loro volta, formati dalla combinazione di tre quark, mentre i *leptoni* (come l'elettrone e il neutrino) sembrano essere, insieme ai quark, gli ultimi costituenti della materia. Il punto interrogativo al centro della *cipolla* della materia (Fig. 6), come viene scherzosamente chiamata, rappresenta il dilemma dei fisici sul fatto che la ricerca del più piccolo potrebbe continuare indefinitamente oppure fermarsi con la scoperta del nucleo ultimo della cipolla, il *rishone*, menzionato nella Parte I, che interverrebbe come primo costituente sia dei quark che dei leptoni [1].
10. Il suddetto *cast* di personaggi che compaiono oggi sulla scena dell'universo – corpi inanimati (solidi, liquidi o gassosi), esseri viventi, artefatti e corpi celesti – nuota in un oceano di radiazioni, ossia di onde gravitazionali e di onde elettromagnetiche. Queste onde hanno raggio di azione e vita teoricamente infinite e, pertanto, permeano tutto l'universo, come mostrato schematicamente in Fig. 6. La densità di tali onde o radiazioni[12] è oggi trascurabile (inferiore di 4 ordini di grandezza) rispetto a quella della materia ([6] p. 348). In passato, tuttavia, la situazione era diametralmente opposta, come mostrato qui di seguito.

L'era della materia o "evoluzione chimica"

Contrariamente a quanto constatiamo oggi, in tutto il periodo compreso fra il big bang e il tempo cosmico $t_D \approx 100.000$ anni, la radiazione era di gran lunga predominante rispetto alla materia, quest'ultima essendo prevalentemente costituita da un plasma incandescente di idrogeno ed elio ionizzati ([15] p. 211). Il passaggio fra le due ere – l'*era della radiazione* e l'*era della materia* – viene denominato *epoca del disaccoppiamento (decoupling epoch*), ed è stimato, per l'appunto, intorno a $t_D \approx 100.000$ anni. Successivamente al disaccoppiamento fra radiazione e materia, iniziò la formazione degli elementi, dai più leggeri, come l'idrogeno, fino a quelli più pesanti, che furono creati all'interno di quelle grandi fucine di materia che sono le stelle, e, nel giro di circa 1 milione di anni, la chimica dell'universo fu completamente definita. Inoltre, il disaccoppiamento fra radiazione e materia rese l'universo trasparente alla radiazione, quasi come lo è oggi, sia per effetto del raffreddamento (cioè della perdita di energia) della radiazione, sia perché gli elettroni liberi si ricombinarono con i protoni per formare idrogeno[13] e pertanto smisero di opporre una barriera alla radiazione, come avveniva quando si trovavano allo stato libero.

È stata una grande conquista della scienza l'individuazione della struttura di ciascuno dei 103 elementi esistenti oggi nell'universo. Ma, anteriormente all'*era della materia*, il nostro universo aveva una composizione del tutto diversa ed un assortimento di componenti enormemente più semplice rispetto all'universo attuale. La ragione principale di tale *semplicità primordiale* sta nel fatto che, allontanandosi dal presente e avvicinandosi sempre più al big bang, le temperature (così come le energie) divengono sempre più elevate, impedendo ai componenti più complessi di esistere. Queste temperature (cioè energie) elevate frantumano, per così dire, gli edifici atomici più complessi, consentendo, a un dato istante, soltanto l'esistenza di agglomerati di particelle più semplici e con energia più elevata, comunque non inferiore a quella dell'ambiente circostante. In particolare si trova che gran parte degli atomi e delle molecole (banda rosa della Fig. 5), con la sola eccezione dell'idrogeno e dell'elio, non poteva esistere a temperature superiori a 100.000 K, quindi, prima di un'età dell'universo pari a diverse migliaia di anni, come già accennato.

---

[12] Secondo la meccanica quantistica, ogni onda può considerarsi come un corpuscolo, avente massa *m* ottenibile dall'equazione $hv=mc^2$, dove *h* è la costante di Planck, *v* la frequenza, e *c* la velocità della luce. Pertanto, la densità della radiazione si può calcolare come rapporto fra la massa relativistica *m* dei fotoni e il volume occupato, che può assumersi eguale a quello di una sfera di raggio $\lambda/2$, essendo $\lambda=c/v$ la lunghezza d'onda del fotone. Per converso, ogni particella o corpuscolo di massa *m* si può considerare come un'onda avente lunghezza d'onda $\lambda=mc/h$, chiamata *lunghezza d'onda di Compton*.

[13] Ci riferiamo qui all'idrogeno *molecolare*, in quanto, ad esempio, la comparsa nel cosmo di idrogeno ionizzato (ossia del semplice protone) avvenne molto prima, intorno a $t=10^{-6}$ secondi.

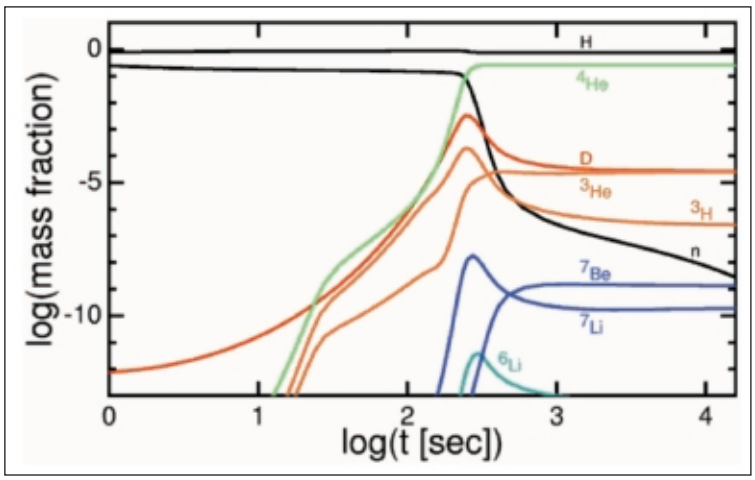


Fig. 7. Formazione di elementi "leggeri" nell'intervallo di tempo cosmico da 1 a 10^4 secondi.

Andando ulteriormente a ritroso nel tempo, si può notare che nella banda azzurra della Fig. 5, denominata "Energia/Radiazione/Particelle", suddivisa a sua volta in sottobande denominate rispettivamente *Quark, Protoni, Elettroni, Raggi* γ*, Atomi e molecole* (quest'ultima rientrante nell'*era della materia*, già commentata), sono indicate, rispettivamente, le epoche in cui l'esistenza di tali particelle elementari[14] era consentita dall'ambiente circostante e, di fatto, avvenuta.

Allo scopo di dare un'idea di come si può calcolare l'epoca in cui una data particella poteva esistere, faremo due esempi: quello del protone e quello del fotone γ. Un protone ha una massa a riposo m=1,67·10^{-24} g, quindi possiede una energia a riposo[15] $E = mc^2$ pari a circa 1 GeV. Vediamo, dal grafico di Fig. 5, che tale energia è raggiunta dall'universo a $t \approx 10^{-6}$ sec, proprio nell'istante in cui è indicato l'inizio dell'*era del protone* o *era adronica*. A un tempo inferiore il protone non avrebbe potuto esistere allo stato libero, in quanto si sarebbe trovato immerso in un ambiente a energia (temperatura) maggiore, quindi si sarebbe dovuto *rompere* in qualcosa di più piccolo (quark) con conseguente liberazione dell'energia di legame. Si noti anche, in Fig. 5, che l'inizio dell'*era del protone* coincide con la nascita dell'idrogeno (ionizzato)[16].

Per quanto riguarda il fotone γ, la cui lunghezza d'onda (minima) vale $\lambda \approx 10^{-10}$ cm, la sua energia vale $E = h\nu = hc/\lambda$, pari a circa 1 MeV. Vediamo, dal grafico di Fig. 5, che tale energia è raggiunta dall'universo a $t \approx 1$ sec, proprio nell'istante in cui è indicato l'inizio dell'*era dei raggi gamm*a, più in generale, dell'*era della radiazione* (*photon era* o *radiation era*), in quanto la radiazione con lunghezza d'onda maggiore (raggi γ *lungh*i, raggi X e luce visibile) sarebbe caratterizzata da una energia minore, quindi poteva esistere solo in istanti successivi a $t = 1$ sec.

Si deve notare, tuttavia, che non a tutte le particelle può applicarsi il criterio di determinare l'epoca della loro formazione in dipendenza della loro energia a confronto dell'energia dell'ambiente circostante. Ad esempio, l'inizio dell'era dell'elettrone, meglio nota come *era leptonica* (*lepton era*) è valutata a $t \approx 10^{-4}$ secondi, quando l'universo aveva un'energia alquanto superiore a quella dell'elettrone isolato. La spiegazione di tale fatto sta nella continua creazione e annichilazione di coppie di elettroni-positroni ([6], p. 352).

È, infine, importante osservare che solo gli elementi più semplici furono formati dal big bang (*big bang nucleosynthesis*), mentre quelli più pesanti, come già detto, furono sintetizzati più tardi, all'interno delle stelle (*stellar nucleosynthesis*). Per i primi, si veda, ad esempio, il grafico di Fig. 7, tratto dal lavoro [8], dal quale risulta, in particolare, che al tempo cosmico $t = 100$ s, era già apprezzabile la presenza dell'elio (peso atomico 2), poi cresciuta e stabilizzatasi a partire da $t \approx 300$ s. Anche il litio (peso atomico 3) e il berillio (peso atomico 4) comparvero, sia pure in proporzione piccolissima ($<10^{-9}$) entro qualche centinaio di secondi dal big bang. Gli altri elementi con peso atomico maggiore sarebbero stati formati successivamente, come già detto, all'interno delle stelle a partire dal tempo cosmico $t \approx$ 100.000 anni (banda rosa di Fig. 5).

Formazione delle galassie

La formazione delle galassie è stata ed è tuttora molto dibattuta. Secondo le teorie più moderne [9], essa si fa risalire alle protogalassie, già presenti all'epoca della formazione dell'idrogeno e dell'elio atomici, ossia a partire da $t \approx 600$ milioni di anni, ma la cui origine è da ricercarsi ancora più lontana nel tempo, precisamente all'epoca del big bang. Più precisamente si ipotizza che piccole disuniformità di

---

[14] Sebbene la già menzionata dualità onda-corpuscolo (wave-particle duality), sia maggiormente usata per la luce – considerata, a seconda dei casi, come una successione di fotoni (corpuscoli) o come un'onda elettromagnetica – essa vale per qualsiasi particella o radiazione, esprimendo la sua energia a riposo (*rest energy*) come quella di un fotone con frequenza ν o a quella di una particella di massa m, in base alla già citata relazione $h\nu = mc^2$. Questa *dualità* (materia-onda) fu suggerita per primo dal francese Louis de Broglie.

[15] Tale energia si ricava dall'equazione della relatività generale, ponendovi eguale a zero la velocità (o la quantità di moto), quindi l'energia cinetica.

[16] La parola *nascita*, vuol dire che a quel momento poteva osservarsi *una frazione apprezzabile* (diciamo qualche percento) di quel 75% di idrogeno che troviamo oggi nell'universo, come mostrato dalla Fig. 7.

pressione prodottesi nei primissimi istanti del big bang avrebbero prodotto, molto più tardi, quei *grumi* (cioè piccole regioni a più alta concentrazione di idrogeno ed elio atomici) intorno ai quali si sono poi condensate le galassie più antiche secondo un processo che i matematici hanno potuto individuare e spiegare. In altre parole, sembra certo che la maggior parte delle galassie sia quasi vecchia quanto l'universo. Ci si potrebbe chiedere come mai l'espansione dell'universo non si sia verificata in modo assolutamente uniforme, cioè senza *grumi*. Se così fosse stato, non si sarebbero formate le galassie, quindi le stelle, poi gli atomi pesanti e poi la vita: l'universo sarebbe oggi solo un grande pallone pieno di elio, idrogeno e onde ed io non sarei qui a scrivervi, né voi ad leggermi[17].

Espansione dell'universo e radiazione di fondo

Nel secolo scorso furono fatte due importanti scoperte, che illuminarono la conoscenza del nostro universo e che confermarono la teoria del big bang. Una di esse si deve all'astronomo statunitense Edwin P. Hubble, l'altra a due ricercatori dei Laboratori Bell, Arno Penzias e Robert Wilson.

La prima, alla quale abbiamo già accennato sopra, risale al 1929, quando Hubble scoperse che tutti gli oggetti celesti facenti parte di una galassia posta ad una distanza media *d* dalla nostra galassia, si allontanano da noi con una velocità *v (velocità di recessione*) proporzionale alla distanza *d*, secondo la relazione, nota come *legge di Hubble*:

$$v = \mathrm{H} \cdot d \qquad (1).$$

La costante H, denominata *costante di Hubble*, secondo le ultime rilevazioni del *Hubble Space Telescope* [11], vale circa 70 km/s per Megaparsec[18] ±10%, ovvero, in unità Giorgi (Sistema Internazionale SI o MKS), $H = 2{,}274 \cdot 10^{-18}\ \mathrm{s}^{-1}$. Si noti che, se nella (1) si pone *v* eguale alla velocità della luce (≈300.000 km/s), si ottiene una distanza $d^* = 14$ Gal ±10%, da considerarsi perciò come la massima possibile. Questo valore è compatibile con quello di circa 15 Gal che abbiamo ipotizzato per l'età dell'universo, in quanto esso risiede entro l'intervallo di tolleranza di questa misura (12,6÷15,4 Gal). Ciò significa che non possono esistere galassie ad una distanza maggiore di d^* e che quelle a distanza di poco inferiore a d^* si allontanano da noi con velocità prossime a quelle della luce.

La coincidenza della distanza massima d^* con l'età dell'universo non è casuale. Occorre, infatti, tener presente che, quando osserviamo oggetti molto lontani coi nostri telescopi o radiotelescopi, guardiamo nel nostro passato, per il semplice motivo che la luce (come una qualsiasi altra onda elettromagnetica) viaggia ad una velocità elevatissima *ma finita*, pari a circa 300.000 km/sec, quindi impiega un tempo *finito* per arrivare fino a noi. Così, vediamo Andromeda, la galassia più vicina alla nostra, come era 2 milioni di anni fa (infatti dista da noi 2 milioni di anni-luce), vediamo le stelle più lontane della nostra galassia come erano 50 mila anni fa, il sole come era 8 minuti fa, la luna come era 1 secondo fa e, se fossi nella stessa stanza con voi, mi vedreste come ero circa 30 nanosecondi (cioè 30 miliardesimi di secondo) fa, quindi *quasi* ma *non* contemporaneamente. Come sono *ora* tutti gli oggetti che abbiamo citato non possiamo saperlo, possiamo solo immaginarlo, ma è certo che possiamo apprendere com'era l'universo moltissimi anni fa, osservando gli oggetti celesti più distanti da noi. Dunque, poiché la misura della *distanza* in anni luce coincide con la misura del *tempo* impiegato dai fotoni per giungere fino a noi, ne deriva che puntando i nostri telescopi alla distanza di 15 miliardi di anni luce, potremmo vedere che cosa è successo in quei punti 15 miliardi di anni fa, cioè a ridosso del big bang, in quanto riceveremmo i fotoni che partirono da essi 15 miliardi di anni fa. Purtroppo, a quell'epoca, la temperatura e la densità erano così elevate da formare un muro al passaggio della radiazione, come già accennato sopra. Tuttavia, possiamo ricevere la radiazione partita *dopo* l'epoca in cui l'universo divenne trasparente alla radiazione cioè, come detto sopra, quando aveva l'età di circa 100.000 anni (*epoca del disaccoppiamento*), ossia circa 14,9999 miliardi di anni fa, dunque, abbastanza a ridosso del big bang. In quel momento, i fotoni iniziarono il loro cammino verso di noi, viaggiando alla velocità della luce senza perdere più energia, mentre ovviamente ne avevano già persa prima, e molta, durante la loro fase di espansione durata 100.000 anni o più.

In conclusione, se la legge di Hubble ci dice che una galassia *distante* circa 15 Gal si allontana da noi con una velocità prossima a quella della luce, ciò vuol dire che tale fenomeno succedeva in quel punto 15 miliardi di anni fa – ed è questo il motivo per cui la legge di Hubble costituì una suggestiva conferma della teoria del big bang.

Ma l'importanza della scoperta di Hubble non si ferma qui. È, infatti, da considerare che, se un oggetto celeste si allontana da noi con una certa velocità *v*, a causa dell'effetto Doppler la lunghezza d'onda λ_e della radiazione *emessa nel lontano passato* da quell'oggetto viene da noi ricevuta *oggi* con una lunghezza d'onda λ_o più elevata rispetto a quella emessa, cioè, con uno spostamento verso il rosso (*Doppler shift*). Lo spostamento verso il rosso Z, definito come la variazione relativa subita dalla lunghezza d'onda, è calcolabile, nel caso più generale, mediante la formula, che tiene conto della relatività generale ([5], p. 330):

$$Z = \frac{\lambda_o - \lambda_e}{\lambda_e} = \frac{1 + v/c}{\sqrt{(1 - v^2/c^2)}} - 1 \qquad (2)$$

dove λ_o rappresenta la lunghezza d'onda osservata e λ_e la lunghezza d'onda emessa. La formula si

---

[17] Per dare una risposta a questo quesito si stanno cercando di utilizzare speciali strumenti matematici in un'area di ricerca che va sotto il nome di "Caos deterministico". Un'ottima presentazione delle problematiche relative è stata fatta recentemente da Tito Arecchi in un libro che raccomandiamo al lettore esigente [10].

[18] Per misurare grandi distanze astronomiche si usa spesso l'unità Megaparsec, pari a 3,258 milioni di anni luce.

semplifica per velocità molto piccole rispetto a quella della luce, in

$$Z \approx v/c \qquad [v/c << 1]. \qquad (2')$$

Dalla combinazione della (1) con la (2) consegue che, misurando lo spostamento verso il rosso Z della radiazione ricevuta da una stella lontana, è possibile calcolare con precisione la sua distanza *d* dal nostro punto di osservazione (altra conseguenza preziosa della legge di Hubble).

Si noti, a questo proposito, che i tipi di spettri delle radiazioni emesse dalle stelle sono in numero limitato (nove)[19] e pertanto un numero stragrande di stelle presenta lo stesso spettro, caratterizzato anche dalla presenza delle tipiche *righe* di assorbimento o di emissione di idrogeno, ferro, cromo e altri elementi in esse contenuti. Se, pertanto – come avviene in pratica – viene osservato uno dei nove tipi di spettro sopramenzionati, ma spostato sull'asse delle lunghezze d'onda (o, il che è lo stesso, delle frequenze), si deduce che si tratta di una stella la cui distanza *d* è deducibile direttamente dallo spostamento *Z* osservato, applicando le relazioni (1) e (2). Si noti, in particolare, che per $v=c$, ossia per $d=d^*$, risulta $Z=\infty$, e cioè oggetti molto distanti da noi e prossimi al big bang hanno uno spostamento verso il rosso *Z* elevatissimo.

L'altra scoperta di grande rilievo fu fatta per caso nel 1965 da Penzias e Wilson, mentre stavano calibrando uno dei primi radiotelescopi da montare a bordo dei satelliti. A questo scopo, essi lo puntarono verso punti del cielo dove presumibilmente non esistevano corpi celesti (*cielo nero*).

Con loro sorpresa, notarono che, dovunque puntassero il loro radiotelescopio, la radiazione ricevuta non era mai nulla. Inoltre, lo spettro della radiazione ricevuta non corrispondeva a nessuno dei nove spettri tipici delle stelle, ma si presentava come in Fig. 8, con una intensità massima intorno alla frequenza di circa 150 GHz, corrispondente a una lunghezza d'onda di circa 2 mm [13]. Fu subito evidente che tale spettro era perfettamente sovrapponibile a quello emesso da un corpo nero alla temperatura di 2,9 K, secondo la nota legge di Planck della radiazione di corpo nero[20]. La stessa radiazione, con lo stesso spettro di Fig. 8, era rilevabile identicamente *in qualsiasi direzione essi puntassero il radiotelescopio*, purché libera da specifici corpi celesti interposti.

Dunque, il cosiddetto *cielo nero* non era affatto *nero* o *vuoto*, ma era popolato, senza soluzione di continuità, da un immenso mare di microscopiche sorgenti di radiazione, equivalenti ad un corpo nero con l'*apparente* temperatura di 2,9 K. L'aggettivo *apparente* è da mettersi in relazione al fatto che la *vera* temperatura di quelle sorgenti dipendeva dalla loro distanza dal punto di osservazione, sia a causa dell'effetto Doppler che della legge di Hubble. Era chiaro che se quella distanza fosse stata prossima ai 15 Gal, ossia al big bang, lo spettro della radiazione *emessa* avrebbe dovuto essere centrato su frequenze alquanto più elevate di quella misurata, corrispondenti perciò a energie, quindi a temperature, enormemente più elevate di quella osservata (2,9K).

[19] Nel lavoro [12] si indica la classificazione in nove tipi, contraddistinti dalle lettere dell'alfabeto O, B, A, F, G, K, M, L, T, a partire dal tipo *O* (più *calde*, con temperature comprese tra 31.000 e 49.000 K) fino al tipo *T* (con temperature ≤1200 K), cadendo il nostro sole nel tipo *G*.

[20] Esiste una corrispondenza univoca tra la frequenza o la lunghezza d'onda di picco *(colore)* dello spettro di radiazione del corpo nero, e la temperatura *T* del corpo stesso, così come tra la potenza irradiata per unità di area e la sua temperatura *T* ([5], p. 130).

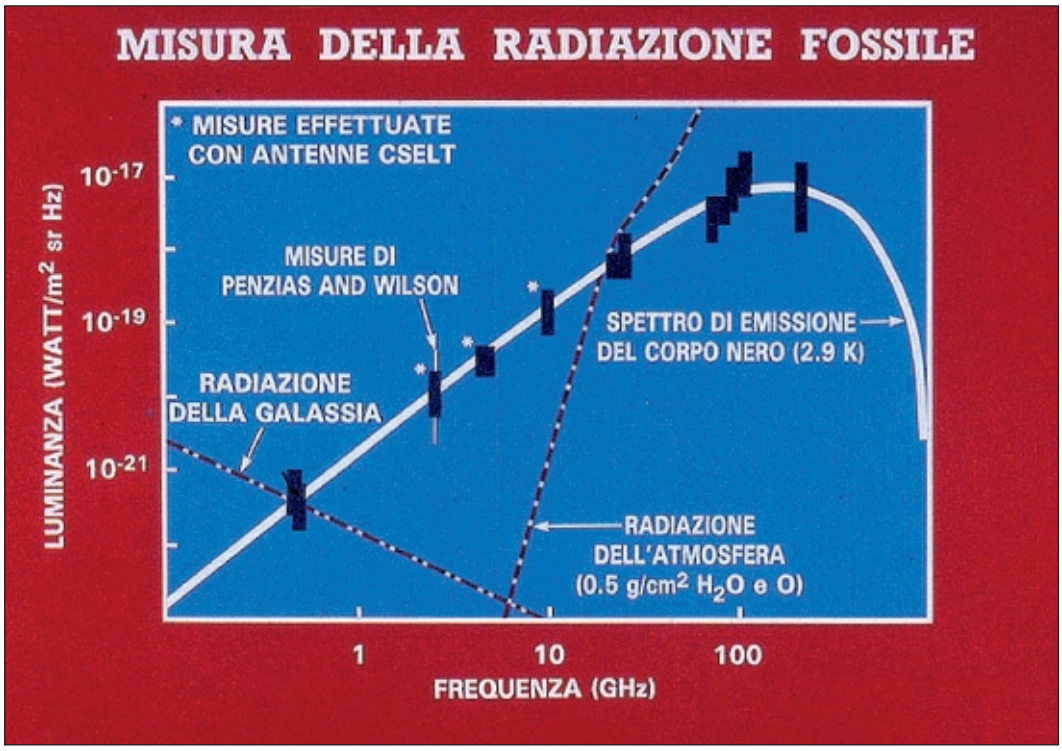


Fig. 8. Misura della radiazione fossile

Ebbene, effettuando i calcoli relativi, Penzias e Wilson ottennero valori della temperatura e della distribuzione spettrale della radiazione emessa, perfettamente compatibili con l'ipotesi che le sorgenti di quella misteriosa radiazione fossero collocate a distanze molto prossime ai 15 Gal del big bang. Per tali motivi Penzias e Wilson diedero alla radiazione suddetta il nome di *radiazione fossile* o *di fondo* (*background radiation*), con chiara allusione al fatto che essa fu originata dal big bang e giunge oggi a noi quale testimonianza del big bang.

Dopo questa scoperta, il nostro cielo stellato ci appare, dunque, come un immenso *cuscino* di radiazione fossile – assolutamente uniforme e identica a se stessa, in qualsiasi direzione la si osservi – sul quale si adagiano i vari corpi celesti, le galassie e gli ammassi di galassie.

Ma la scoperta di Penzias e Wilson fece anche emergere uno sconcertante interrogativo. Se, infatti, osservando due punti *A* e *B* in direzioni diametralmente opposte, ciascuno distante da noi 15 miliardi di anni luce, e si vede esattamente la stessa radiazione, ciò vuol dire che, all'istante del big bang, succedevano esattamente le stesse cose in punti distanti fra loro di 30 Gal *non comunicanti l'uno con l'altro*. Infatti, il punto *B* non poteva *sapere* che cosa era successo in A, dato che il *messaggero* più veloce esistente, il fotone, partito da *A* 15 miliardi di anni fa, raggiunge noi *ora*, ma raggiungerà *B* fra altri 15 miliardi di anni, dunque non ha ancora portato a *B* nessun messaggio sullo stato di A, e pertanto non può averlo influenzato né *ora* né, tanto meno, 15 miliardi di anni fa. È lecito chiedersi, allora, come si sia creata questa uniformità, senza una comunicazione, quindi senza interazione fra punti così lontani. Eppure è certo che tutti quei punti sono *esplosi* dappertutto nello stesso identico modo, senza saper l'uno dell'altro. La scienza ha cercato di dare una spiegazione plausibile di tale fatto, con la *teoria inflazionaria*, della quale parleremo nella Parte III. Alternativamente, si potrebbe pensare all'intervento di messaggeri superluminali, come i tachioni, finora sfuggiti alla osservazione dei fisici [16], oppure, ancora una volta, all'intervento di una volontà creatrice *esterna* al nostro universo che orchestrò le modalità della sua nascita (quadratino arancione "0" di Fig. 5).

Energia di legame e forze

Le nostre conoscenze fisiche sulla costituzione della materia ci hanno consentito di ricostruire agevolmente quanto è successo nell'intervallo di tempo da $t = 10^{-6}$ sec a oggi (quasi la metà di destra del nostro diagramma di Fig. 5), ossia durante la fase che abbiamo denominato *Evoluzione chimica*. Allo scopo di meglio capire le fasi evolutive precedenti, da noi compendiate nella *Evoluzione dal nulla*, occorre avere una comprensione più approfondita di quella forma di energia che viene denominata *energia di legame*.

È noto che la massa di un composto chimico, come anche quella di un semplice atomo, è inferiore alla somma delle masse dei singoli costituenti allo stato libero e che la differenza fra le due è chiamata *difetto di massa*. Tale differenza corrisponde all'energia[21] che bisogna spendere per scindere il composto nei suoi costituenti, energia che viene denominata *energia di legam*e.

Ora, come è noto, il legame fra i costituenti di un aggregato è esercitato da *forz*e, delle quali sono no-

[21] Si fa sempre riferimento all'equivalenza tra massa ed energia secondo la relazione $E = mc^2$.

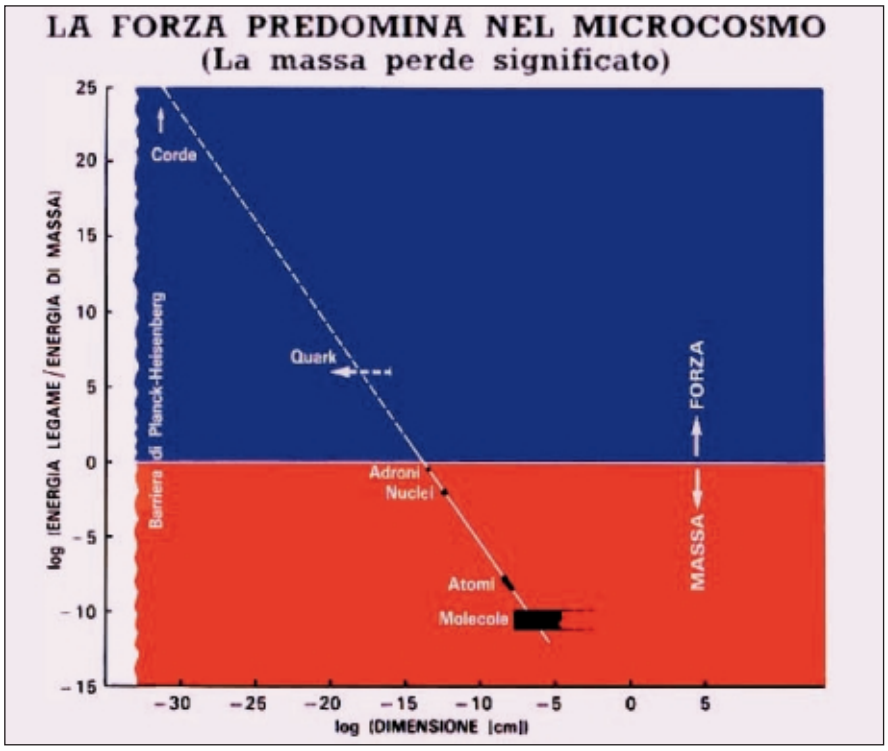


Fig. 9.
Il rapporto fra energia di legame ed energia di massa in funzione della dimensione dei vari aggregati

ti oggi quattro tipi: la ben nota *forza gravitazionale*, che tiene insieme le masse, la *forza elettromagnetica*, che tiene uniti atomi e molecole, mantenendo gli elettroni nelle orbite loro assegnate, la *forza forte o nucleare*, che mantiene insieme i protoni e i neutroni (ossia gli *adroni*) costituenti il nucleo atomico, come anche i quark di cui essi sono formati, ed infine la *forza elettrodebole*, che interviene nei decadimenti radioattivi.

Il grafico di Fig. 9 riporta, in scala doppiologaritmica, il rapporto fra energia di legame e energia di massa dei vari aggregati (molecole, atomi, nuclei, adroni, quark, ecc.), in funzione della loro dimensione in centimetri. Si può notare che, negli aggregati più grandi (molecole), l'energia di legame è solo dell'ordine di 10^{-10} volte dell'energia di massa, dunque trascurabile rispetto ad essa.

Negli atomi il rapporto sale a 10^{-8}, quindi la situazione non cambia molto. Nei nuclei atomici l'energia di legame vale circa 1 centesimo (10^{-2}) di quella di massa, quindi comincia ad essere apprezzabile, mentre in un protone (adrone), l'energia di legame finisce per essere dello stesso ordine dell'energia di massa. Al contrario, nei quark, l'energia di legame supera di un milione di volte (10^{6}) l'energia di massa. Possiamo, dunque, constatare che, man mano che ci si addentra nel più piccolo (passando dalla zona rossa alla zona blu di Fig. 9, cioè dalla zona della materia alla zona dell'immateriale), l'energia di legame prevale di gran lunga sull'energia di massa, e pertanto, nel profondo microcosmo, la massa diventa trascurabile e predomina la forza.

È stato chiarito recentemente che le forze si esplicano attraverso *mediatori*, costituiti da particelle virtuali[22], e precisamente:

- da *fotoni virtuali* per quanto riguarda la forza elettromagnetica,
- da *gluoni virtuali* per quanto riguarda la forza nucleare,
- da *gravitoni virtuali* (*gravitini* per distanze inferiori a 200 m) per quanto riguarda la forza gravitazionale,
- da *bosoni vettoriali intermedi virtuali* per quanto riguarda la forza elettrodebole.

È, inoltre, da rilevare che, in base al principio di indeterminazione di Heisenberg, l'energia messa in gioco risulta tanto più elevata quanto più piccolo è il tempo di vita della particella, quindi a tempi di vita e dimensioni minime corrispondono energie incredibilmente elevate. In altre parole, laddove spazio e tempo si dissolvono, nel regno dell'invisibile e dell'intangibile, lì troviamo le più potenti forze della natura, celate dietro una cortina di particelle virtuali.

La fisica teorica ha sviluppato la cosiddetta Teoria della Grande Unificazione (*Grand Unification Theory*, o GUT) con lo scopo di combinare la forza elettromagnetica con le forze elettrodebole e nucleare forte (unione che si ritiene avvenuta intorno al tempo $t = 10^{-35}$ secondi, denominato perciò *istante GUT*), nonché le cosiddette Teorie di Supersimmetria o di Supergravità, con lo scopo di riconciliare tutte e quattro le forze fondamentali della natura, dunque inclusa anche la gravitazione, in un'unica forza progenitrice di tutte le forze (*superforza*). In Fig. 10 è mostrato come, secondo tali teorie, le quattro forze sopra menzionate si siano separate

[22] Una particella *virtuale*, al contrario di una particella *reale*, esiste per un tempo così piccolo da non essere rilevabile direttamente con alcuno strumento di misura, in forza del principio di indeterminazione di Heisenberg. L'azione continua di una forza si esercita, dunque, mediante l'avvicendarsi di particelle appena nate che prendono il posto di particelle appena estinte, senza che noi possiamo materialmente registrare né le nascite, né le morti: la nostra conoscenza dell'esistenza delle particelle cosiddette *virtuali* è indiretta, cioè ci deriva dalla misurazione dei loro effetti sulla realtà visibile, piuttosto che dalla visibilità diretta di tali entità.

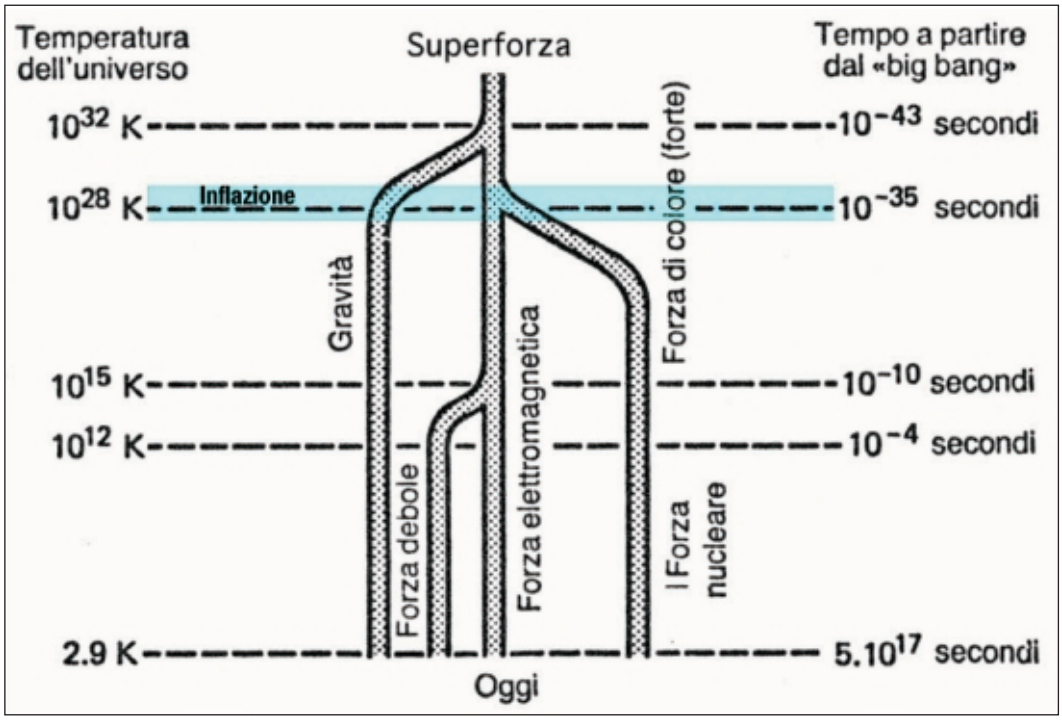


Fig. 10. Nascita delle quattro forze fondamentali della natura a partire dall'unica superforza, comparsa all'istante del big bang ([14], p. 98)

dall'unica *superforza* esistente al momento del big bang e come si sono successivamente scisse nelle quattro forze oggi note [13, 14, 15].

Queste scoperte rivoluzionano il nostro modo di concepire la realtà fisica del nostro universo, che, per quanto detto, ci appare come nato dal nulla, se per *nulla* intendiamo ogni cosa che non sia direttamente percepibile dai nostri sensi o dai nostri strumenti di misura, cioè, che non sia considerato *reale*, secondo l'accezione più comune del termine. Per questo motivo, in Fig. 5 abbiamo suddiviso l'intera *Storia dell'Universo inanimato* in *Evoluzione chimica* e *Evoluzione dal nulla*. Parrebbe anche assurdo parlare ancora di *energia di legame* quando ci si riferisca a situazioni in cui praticamente la *massa* non esiste più, ma esistono solo particelle virtuali la cui funzione non può più essere quella di tenere insieme la materia, bensì quella di esistere come oggetti immateriali indipendenti, che hanno le stesse caratteristiche di quelli che abbiamo definito *forze*.

Oramai i fisici, nello studio dei costituenti ultimi della materia non fanno altro che trovare *gruppi di simmetria*, che non sono altro che strutture matematiche, ricavate dalla teoria dei gruppi, nelle quali si ottengono i vari componenti dello stesso gruppo mediante opportune trasformazioni, mentre quelli successivi sarebbero originati dalla *rottura spontanea della simmetria* del gruppo.

D'altra parte, gli strumenti che ci consentono di indagare sperimentalmente quella parte dell'evoluzione dell'universo che precede la cosiddetta *epoca del disaccoppiamento*, sono gli acceleratori di particelle (*particle colliders*), che, tuttavia, al momento attuale, sono capaci di conferire energie massime dell'ordine di qualche centinaio di GeV[23]. Ma, come mostra la Fig. 5, con questi livelli di energia possiamo solo simulare le condizioni che esistevano in corrispondenza di un tempo cosmico superiore a $10^{-11} \div 10^{-12}$ secondi, ma non al di sotto di esso.

Il tempo di Planck

Anche nel caso che, ipoteticamente, potessimo disporre di energie comunque elevate, esiste un limite invalicabile alla nostra capacità di acquisire conoscenza mediante misurazioni, stabilito dal principio di indeterminazione di Heisenberg.

Secondo questo principio, non possono essere misurate energie E e/o tempi t per i quali il prodotto $E \cdot t$ sia inferiore ad $\hbar/2$, dove $\hbar$ – detta anche *costante di Dirac* – è uguale alla costante di Planck h divisa per 2π[24]. In Fig. 11 abbiamo riportato in coordinate logaritmiche di tempo t ed energia E (o di temperatura T), sia la curva $E(t)$ di Fig. 5 (linea rossa), dove E è inversamente proporzionale alla radice quadrata di t, sia la relazione di indeterminazione

[23] Si prevede che in futuro saranno disponibili acceleratori con energie anche superiori a 10 TeV. Tra essi, il *Large Hadron Collider* (LHC) del CERN di Ginevra, previsto per il 2007, capace di creare collisioni a 14 TeV, e l'*International Linear Collider* (ILC) da completarsi entro la decade del 2010 in una sede ancora da stabilirsi. Un altro potentissimo acceleratore, il *Superconducting Super Collider* (SSC), che doveva costruirsi in Texas con una potenzialità di 20 TeV, è stato cancellato dal Congresso USA nel 1993, a causa dei costi troppo elevati.

[24] La costante h ha le dimensioni di un'azione e vale 6.625 x10^{-34} joule sec. Si noti che la formulazione originale del principio di indeterminazione fu fatta con riferimento alla quantità di moto p e alla posizione s di una particella, e che fu successivamente estesa al campo duale E, t.

[25] Basta eliminare E dalle due equazioni $E \cdot t = \hbar/2$ ed $E = 2{,}07066 \cdot 10^{-13} \cdot t^{-0{,}5}$. Si ritiene che questo modo di calcolare il tempo di Planck sia originale di questo autore. Nella letteratura corrente sono indicati altri metodi, che tuttavia portano a risultati non molto diversi dal nostro. Uno di essi, indicato al fondo di Fig. 11, fornisce $t_P = 0{,}539 \cdot 10^{-43}$ s ([6] p. 333); altri forniscono per t_P valori di $0{,}5 \cdot 10^{-43}$ s o di $1{,}351 \cdot 10^{-43}$ s o semplicemente di 10^{-43} s. Ancora una volta, invitiamo il lettore a non formalizzarsi sui valori esatti delle grandezze ma sul significato degli eventi.

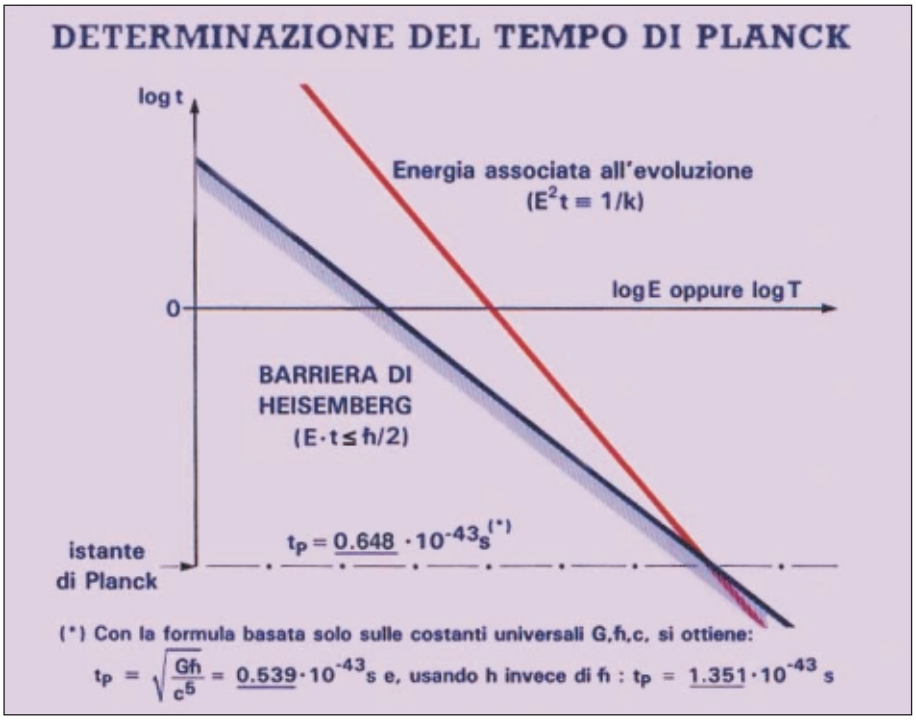


Fig. 11. Determinazione del tempo di Planck

$E \cdot t \leq \hbar/2$ (linea blu), in cui la parte barrata sottostante, è preclusa alle nostre misure. Si può facilmente verificare che le due rette si incrociano a $t = t_P = 0{,}648 \cdot 10^{-43}$ secondi, dove si è indicato con t_P il *tempo di Planck* o *istante di Planck*[25].

Al tempo di Planck, corrisponderebbe una energia di circa 10^{28} eV, una temperatura di circa 10^{32} K e una densità di circa $0{,}5 \cdot 10^{94}$ g/cm^3, come evidenziato in Fig. 5. Quanto al (piccolissimo) diametro che aveva allora l'universo, riprenderemo il discorso a proposito dell'*inflazione*, che tratteremo più diffusamente nella Parte III.

Al di sotto del tempo di Planck, la relazione di Heisenberg vieta che si possa acquisire conoscenza, anche se disponessimo di un ipotetico strumento con precisione e sensibilità illimitate. In altre parole, tutto ciò che si svolge entro tempi inferiori a t_P – quindi anche entro spazi inferiori a $c \cdot t_P = 1.944 \cdot 10^{-33}$ cm = l_P (*lunghezza di Planck*) – non è e non potrà mai essere osservabile dagli esseri umani. Per questo motivo, in Fig. 5, la scala dei tempi è interrotta a sinistra del tempo di Planck mediante una fascia nera verticale irregolare, proprio per indicare l'impossibilità di fornire dati quantitativi delle grandezze riportate in ordinate.

Riusciremo, tuttavia, a gettare uno sguardo anche su ciò che ci sarebbe proibito osservare, ma dobbiamo chiedere ai nostri lettori di pazientare fino alla pubblicazione della Parte III.

Bibliografia

[1] Catania, Basilio, *I molti aspetti dell'informazione - Parte I: Evoluzione della biosfera*, OMAR, A. IX, Aprile 2006, p. 5-18, articolo tratto da una conferenza tenuta dall'autore alla Sezione di Milano dell'AEI (oggi AEIT) il 13 marzo 1986.

[2] Monod, Jacques, *Il Caso e la necessità* – Saggio sulla filosofia naturale della biologia contemporanea (traduzione da Le hasard et la nécessité – Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne, Paris, Éditions du Seuil, 1970), Arnoldo Mondadori Editore, Milano, VIII Edizione, 1976.

[3] Catania, Basilio, *Dall'Elettronica alla Fotonica e dalla Fotonica alla Bionica*, L'Elettrotecnica, Vol. LXXVII, N. 7, luglio 1990, p. 27-43.

[4] Catania, Basilio, *Action unit as a primary unit in SI*, Conferenza tenuta il 22 settembre 1988 al Convegno Internazionale "Giovanni Giorgi and his Contribution to Electrical Metrology," p. 101-106 dei Proceedings, pubblicati dal Politecnico di Torino nel 1990.

[5] Silk Joseph, *The Big Bang - The creation and evolution of the universe*, W. H. Freeman & Co. San Francisco, CA, 1980.

[6] Harrison Edward R., *Cosmology - The Science of Universe*, Cambridge University Press, 1981.

[7] Robert Roy Britt, *Universe Measured: We're 156 Billion Light-years Wide!,* posted on 24 May 2004 at http://www.space.com/scienceastronomy/mystery_monday_040524.html.

[8] Edward L. Wright, *Big Bang Nucleosynthesis*, © 2002-2004, posted on Internet at http://www.astro.ucla.edu/~wright/BBNS.html.

[9] Meier, David L., Sunyaev, Rashid A., *Galassie primordiali*, Le Scienze, N. 137, Gennaio 1980, in "Relatività e Cosmologia" a cura di Tullio Regge, Ed. Le Scienze, Milano, 1981, p. 105-115.

[10] Arecchi, Tito, *Caos e complessità nel vivente*, Lezioni alla Scuola Universitaria Superiore, Pavia, IUSS Press, Pavia 2004, p. 248, disponibile in http://www.ino.it/home/arecchi/Caos_e_Compless.pdf

[11] *Hubble Measures the Expanding Universe*, NASA Press Release, May 25, 1999, disponibile in http://science.nasa.gov/newhome/headlines/ast25may99_1.htm.

[12] James B. Kaler, *Spectra*, © 1998, aggiornato il 17 ottobre 2005, disponibile in http://www.astro.uiuc.edu/cgi-bin/count2.xbm/appl/projects/sow/stats/spectra

[13] Penzias, A. Arno, Wilson, Robert W., *A measurement of excess antenna temperature at 4080 Mc/s*, Astrophysical Journal, *142*, 493, 1965.

[14] Barrow J. D., Silk, Joseph, *La mano sinistra della creazione – Origine e creazione dell'universo*, Saggi A. Mondadori, Milano, 1985

[15] Davies Paul, *Superforza – Verso una teoria unificata dell'universo*, Mondadori Editore, Milano, 1986 (trad. dall'inglese, 1984)

[16] Catania, Basilio, *I messaggeri della legge: Assoluto e relativo nell'attuale visione del cosmo*, Responsabilità del Sapere, Rome, January-June 1988, A. XL, Vol. 164, pp. 73-91.

I molti aspetti dell'informazione

Parte III: fuori dallo spaziotempo

Basilio Catania (*)

L'avvento dell'era dell'informazione, succeduta all'era dell'energia, ci propone antiche e nuove riflessioni sui molti aspetti e significati di ciò che noi chiamiamo "informazione". Le tre parti di questo lavoro sono tratte da due conferenze tenute dall'autore presso l'Associazione Elettrotecnica ed Elettronica Italiana (oggi AEIT), Sezione di Milano, rispettivamente il 13 marzo e il 10 aprile 1986.

Nella prima parte è stata considerata l'informazione che si manifesta – legata o scambiata – nella biosfera; nella seconda parte è stata considerata la materia inanimata ed in questa terza parte si tenterà di dare uno sguardo al limite e al di fuori dello spaziotempo, sempre nell'intento di cogliere nell'informazione un significato comune ed essenziale.

Introduzione

Come ricordato nelle parti prima e seconda di questo lavoro, l'obbiettivo che ci siamo proposti è di "scovare" l'informazione – questa entità immateriale che sembra ormai destinata a permeare gran parte delle attività degli esseri umani – ovunque sia "annidata", cioè sia nei supporti materiali (viventi e non), sia al di fuori di essi, cioè in quegli stati astratti (o quasi astratti) nei quali essa appare libera, ossia non legata a materia di qualsiasi tipo. Ricordo anche (ved. Fig. 1 delle parti I e II) che abbiamo intrapreso un viaggio ideale nello spaziotempo, partendo dal nostro presente per esplorare regioni sempre più remote del nostro universo, suddividendo il viaggio in tre parti:

Parte I *"Evoluzione della biosfera"*, trattata nella Parte I [1],
Parte II *"Evoluzione della materia inanimata"*, trattata nella parte II [2],
Parte III *"Fuori dallo spaziotempo"*, tema principale del presente articolo.

Analogamente alla Parte II, stabiliremo il nostro campo base ($t = 0$) in corrispondenza del big bang. Dobbiamo anche precisare che le considerazioni riportate in questa Parte III non riguardano soltanto l'informazione avulsa da qualsiasi supporto materiale, cioè *fuori dallo spaziotempo*, ma anche quelle relative al tempo di Planck *e dintorni*, in quanto essenziali alla comprensione delle prime.

Il vuoto quantico

Abbiamo dimostrato nella Parte II come, al di sotto di un tempo cosmico pari all'*istante di Planck* $t_P \approx 0{,}648 \cdot 10^{-43}$ secondi, la relazione di Heisenberg vieta che si possa acquisire conoscenza, anche nel caso ipotetico che si disponesse di strumenti aventi precisione e sensibilità illimitate. In altre parole, tutto ciò che riguarda istanti *precedenti* – quindi anche spazi inferiori alla *lunghezza di Planck* $l_P = c \cdot t_P \approx 1{,}944 \cdot 10^{-33}$ centimetri, dove c è la velocità della luce – non è, e non potrà mai essere osservato dagli esseri umani. Per questo motivo, nella Fig. 5 della Parte I, che riportiamo in Fig. 1 nella pagina seguente per comodità del lettore, la scala dei tempi è stata interrotta a sinistra dell'istante di Planck mediante una fascia nera verticale irregolare, proprio per indicare l'impossibilità di fornire dati quantitativi delle grandezze riportate in ordinate. Questa essenziale limitazione induce importanti considerazioni, in ordine alla ricostruzione della storia dell'universo nei primissimi istanti successivi al big bang e alle circostanze che lo determinarono.

La prima considerazione riguarda il significato della grandezza *tempo* (e *spazio*) al di là della barriera di Planck, che si dovrebbe chiamare *barriera di Planck-Heisenberg* in quanto è proprio il principio di indeterminazione di Heisenberg che impedisce di acquisire conoscenza al di là di essa. Se i valori di tempo che si trovano al di sotto del limite di distinguibilità di Heisenberg non possono misurarsi a causa dell'indeterminazione, dobbiamo concludere che il *tempo* perde il suo significato di grandezza *osservabile*[1] e che, pertanto, l'istante di Planck coincide

(*) Dr. Ing. Basilio Catania, già Direttore Generale del Laboratorio di ricerca di Telecom Italia (CSELT), Torino.

[1] Ricordiamo che spazio e tempo, così come altre grandezze fisiche, vengono denominate *osservabili*, in quanto rilevabili da un *osservatore* con adatti strumenti di misura (regoli, orologi) e con riferimento a opportune unità di misura. Laddove non sussistano più le condizioni di *osservabilità*, manca il requisito essenziale di rapportarle ad una unità o scala di misura, ossia ad un

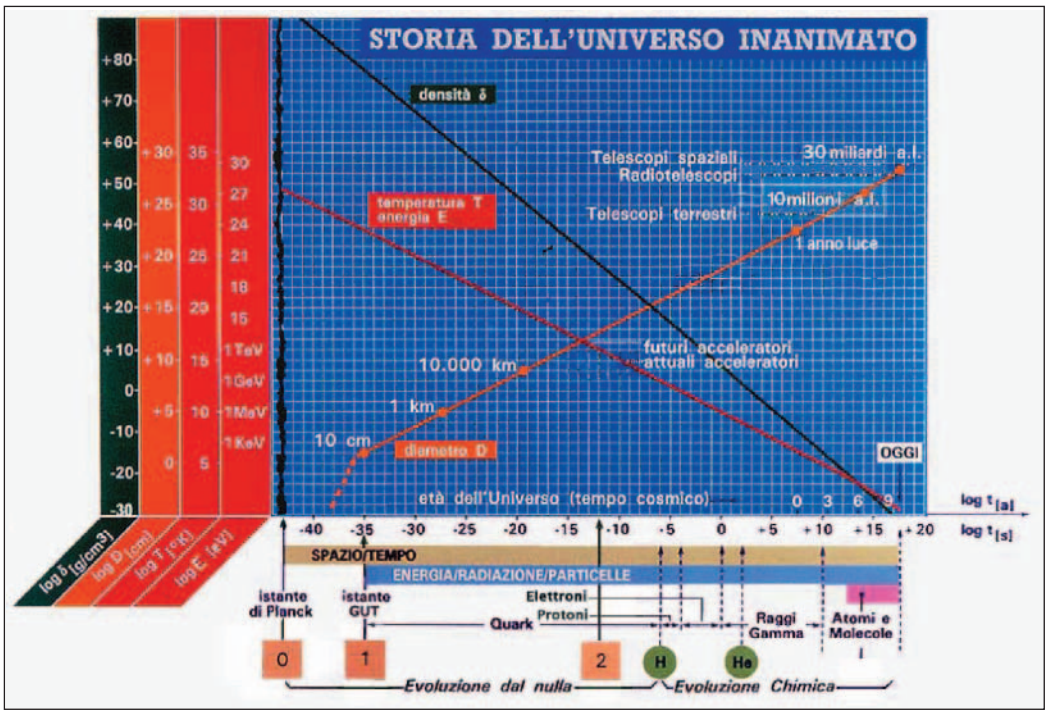


Fig. 1. Storia dell'Universo inanimato (Fig. 5 della Parte II).

con la nascita del *tempo*, nella sua accezione scientifica, e, più in generale, per quanto detto sopra, anche con la nascita dello spazio, quindi dello spazio-tempo. È anche interessante notare che il tempo, come lo spazio, nascono in dimensioni finite, rispettivamente di $0{,}648 \cdot 10^{-43}$ secondi e di $1{,}944 \cdot 10^{-33}$ centimetri, che rappresentano, pertanto, rispettivamente, il *quanto* indivisibile di tempo e il *quanto* indivisibile di spazio. Conseguenza diretta della inesistenza del tempo al di là della barriera di Planck è l'inesistenza della *causalità*, in quanto, non esistendo un *prima* e un *dopo*, non è possibile affermare che un evento sia *causa* di un altro.

Dunque, con tutto rigore, non avrebbe senso porsi la domanda "che cosa ha *causato* il big bang?" ma, piuttosto, in quale costruzione logica soddisfacente possiamo inquadrare questo evento.

La seconda considerazione riguarda l'*energia*. Se vi è una legge ferrea, mai violata in fisica, questa è la legge di conservazione dell'energia, che consente all'energia solo di trasformarsi nelle sue varie forme di massa, radiazione (onda), energia cinetica, ecc., ma non di crearsi o di distruggersi. Ora, come già indicato in Fig. 6 della Parte II, la massa totale dell'universo vale circa $3 \cdot 10^{56}$ g ($3 \cdot 10^{50}$ tonnellate), pari a circa 10^{80} masse protoniche, dove 10^{80} è il numero di protoni (nucleoni) nell'universo o numero di Eddington. Pertanto, l'energia totale dell'universo è pari a circa $1{,}7 \cdot 10^{80}$ GeV[2], valore, questo, che è rimasto inalterato durante tutta l'evoluzione dell'universo. Ma, al di là della barriera di Planck, potevano benissimo esistere energie E anche molto superiori all'energia totale dell'universo, ad esempio di 10^{90} o di 10^{100} GeV o ancora più elevate, purché agissero per un tempo t brevissimo, tale che fosse $E \cdot t \leq \hbar/2$, ossia entro i limiti stabiliti dal principio di indeterminazione di Heisenberg (Fig. 11 della Parte II), sfuggendo così alla nostra osservazione.

In altre parole, la legge di conservazione dell'energia poteva essere violata al di là della barriera di Planck, così come lo è ancora oggi per le varie particelle virtuali che esercitano le varie *forze*, come illustrato nella Parte II. Le particelle virtuali, infatti, agiscono mediante un *prestito di energia* da parte del vuoto quantico, operante oggi come lo era al tempo del big bang[3].

Tale *prestito* di energia dura un tempo brevissimo e perciò non siamo in grado di rivelarlo se non attraverso i suoi effetti sulle particelle reali. Si deve, pertanto, ammettere che elevatissimi prestiti di energia *possono avvenire* in violazione della legge di conservazione dell'energia.

Ebbene, secondo la fisica quantistica, non solo quanto qui ipotizzato *può avvenire*, ma di fatto *avviene*, dandoci un quadro del tutto nuovo ed inaspettato del cosiddetto *vuoto quantico*. Questo risulta, infatti, dotato di una frenetica attività del tipo sopra descritto, ed, inoltre, contiene una immensa quantità di particelle ed antiparticelle dalla vita effi-

---

asse di coordinate numeriche. D'altra parte, al di là del tempo di Planck non esisterebbero nemmeno *osservatori*, perciò sarebbe doppiamente assurdo parlare di *esistenza* di una *osservabile*. Fanno eccezione quelle grandezze come l'*azione*, che sono indipendenti dagli osservatori, ma, anche per l'azione, esiste un valore minimo di limite di $\hbar/2$, stabilito dal principio di indeterminazione, non essendo misurabile al di sotto di esso, mediante misurazioni delle due grandezze coniugate nelle quali essa si manifesta [3].

[2] Si fa sempre riferimento all'equivalenza fra massa ed energia secondo la relazione $E = mc^2$.

[3] L'energia *prestata* dal vuoto quantico è un'energia *negativa*, esattamente come quella di un campo elettromagnetico che, ad esempio, fa muovere una particella immersa nel campo, conferendole l'energia necessaria al movimento. Più precisamente, lo stato particolare del vuoto quantico che consente tale *prestito* è uno degli *stati eccitati* che esso può assumere, anche se per un tempo brevissimo ([4], p. 237).

mera, che compaiono e scompaiono come in una *schiuma* continuamente effervescente. Molto efficace è questa descrizione del vuoto quantico offertaci da Paul Davies ([4], p. 128-129):

> Il prestito di energia può avvenire per ogni tipo di fini, uno dei quali è la creazione di particelle … [Esse] possono emergere dal nulla, godendo di un'esistenza effimera, prima di ricadere nell'oblio. Quest'attività evanescente non può essere impedita. Benché lo spazio possa essere svuotato il più possibile, ci sarà sempre una quantità di queste particelle transeunti, la cui apparizione è finanziata dal prestito di Heisenberg … Esse sono, in effetti, una forma di particella *virtuale*, simile alle particelle messaggere … Esse viaggiano da vuoto a vuoto, testimoni dell'esistenza di un campo di forza, ma con nulla di permanente contro cui esercitare una spinta[4]. Quello che potrebbe apparire uno spazio vuoto è, perciò, un fermento ribollente di particelle virtuali. … Quando un elettrone [*reale*] si muove nello spazio, nuota in realtà in un mare di particelle fantasma di ogni sorta … Persino quando è in riposo, un elettrone non è in quiete: esso è infatti continuamente assalito da ogni varietà di altre particelle provenienti dal vuoto …

La terza considerazione è connaturata con i concetti della fisica quantistica, imperante nei primi istanti successivi al big bang. In essa, infatti, domina la *probabilità*, che sostituisce la *certezza* della fisica classica. Così, mentre in fisica classica si può affermare, ad esempio, che un elettrone *si trova* in un certo punto dello spazio o che, ad esempio, non può oltrepassare una elevata barriera di potenziale, in fisica quantistica si può solo dire che esiste una *elevata probabilità* che l'elettrone venga localizzato in un certo punto dello spazio o che, nel secondo caso, esiste una *bassissima probabilità* (ma *non nulla*) che esso sia localizzato al di là di una elevata barriera di potenziale. In realtà quest'ultimo evento, per quanto poco probabile, accade ed è addirittura sfruttato in applicazioni pratiche (*effetto tunnel*). In altre parole, in fisica quantistica tutto può accadere, e, se può accadere, è certo che accadrà prima o poi, tale certezza essendo determinata dal prodotto di una probabilità infinitesima, ascrivibile ad una singola particella, per un numero immenso di particelle in gioco (virtuali o reali che siano). Si potrebbe dire, un po' enfaticamente, che in fisica quantistica i miracoli avvengono regolarmente.

La nostra difficoltà a comprendere questo tipo di fenomeni deriva dal fatto che, nel luogo-istante in cui viviamo, le diuturne esperienze ci portano a ragionare in termini coerenti con esse o che esse stesse ci suggeriscono e, in particolare, in termini di predominante causalità e determinismo. Se, tuttavia, pensiamo alle condizioni che esistevano quando la specie umana non era che una remotissima possibilità, sommersa in un oceano di fluttuazioni quantiche, appare chiaro che dobbiamo sforzarci di concepire ed accettare modelli drasticamente diversi da quelli che ci suggerisce la diuturna esperienza della nostra era[5] .

Inflazione, iperspazio e istante GUT

È stato valutato ([4], p. 238) che nei primissimi istanti successivi al tempo di Planck l'intero universo oggi osservabile era contenuto in uno spazio dell'ordine di 10^{-22} cm, pari a un miliardesimo delle dimensioni di un protone, il che è come dire che nello spazio di un protone ci potevano stare un miliardo di universi come il nostro! Che le normali leggi della fisica non valessero più in una siffatta situazione è più che plausibile, anche perché, se in quelle condizioni avesse agito la forza di gravità come ai nostri giorni, l'enorme massa/energia dell'universo ($3 \cdot 10^{50}$ tonnellate), concentrata in uno spazio così angusto, sarebbe collassata in un buco nero e la sua storia sarebbe finita prima ancora di cominciare. Per questo motivo, fin dagli albori del Novecento, i fisici ipotizzarono che all'atto del big bang operasse una potentissima forza repulsiva, contenuta nella superforza di Fig. 2 (uguale alla Fig. 10 della Parte II), che produsse una esplosione talmente forte da vincere la gravità e costringere l'universo a espandersi col vertiginoso ritmo iniziale di un raddoppio delle sue dimensioni ogni 10^{-34} secondi ([4], p. 238)[6].

Pertanto, il diametro dell'universo, anziché crescere in proporzione alla radice del tempo, come nelle ultime decadi di Fig. 1 (linea arancione continua), crebbe all'inizio molto più velocemente, precisamente con legge esponenziale, ossia proporzionalmente a e^t (linea arancione tratteggiata). Tale *iperespansione* è stata denominata *inflazione* da Alan Guth del Massachusetts Institute of Technology, che, nel 1981, formulò per primo questa teoria, detta anche dell'*universo inflazionario* [8]. Secondo Guth, la repulsione che causò l'iperespansione dell'universo nacque da un particolare stato *eccitato* del vuoto quantico che si esaurì nel giro di circa 10^{-35} secondi (ved. fascia azzurra in Fig. 2), ma la

---

[4] In realtà, nonostante tali particelle non esistano quali entità osservabili, la loro esistenza è stata rivelata grazie alla tenue pressione *negativa* che esse esercitano su altre particelle *reali* (effetto Casimir [5]). Casimir dimostrò che ponendo due lamine parallele (non elettrizzate) sufficientemente vicine l'una all'altra, tra esse si esercita una debole attrazione, dovuta alle fluttuazioni del campo elettromagnetico del vuoto quantico interposto.

[5] Scriveva Einstein: "Tutti i nostri pensieri e concetti sono evocati dalle nostre esperienze sensoriali ed hanno significato soltanto in riferimento a tali esperienze sensoriali. D'altra parte, tuttavia, essi sono il prodotto dell'attività spontanea delle nostre menti e perciò non sono in alcun modo conseguenze logiche del risultato di queste esperienze sensoriali " [6].

[6] Come spesso accade, si trovano in letteratura valori numerici discrepanti in relazione alla fase cosiddetta di *inflazione* dell'universo. Per passare, infatti, da un diametro di 10^{-22} cm a un diametro di 10 cm, occorrono circa 77 raddoppi, in un tempo pari alla differenza fra la fine e l'inizio dell'inflazione. Se supponiamo che l'inflazione sia terminata a $t = 10^{-34}$ secondi, allora ogni raddoppio sarebbe avvenuto in circa $1{,}3 \cdot 10^{-36}$ secondi e l'inizio dell'inflazione dovrebbe essere collocato intorno a 10^{-36} secondi. Se, invece, come afferma Davies, ogni raddoppio avvenne in 10^{-34} secondi, allora il termine dell'inflazione dovrebbe essere collocato intorno a 10^{-37} secondi. Ancora una volta invitiamo il lettore a focalizzarsi sulla *natura* delle fasi evolutive piuttosto che sull'esattezza dei *valori numerici* che le delimitano.

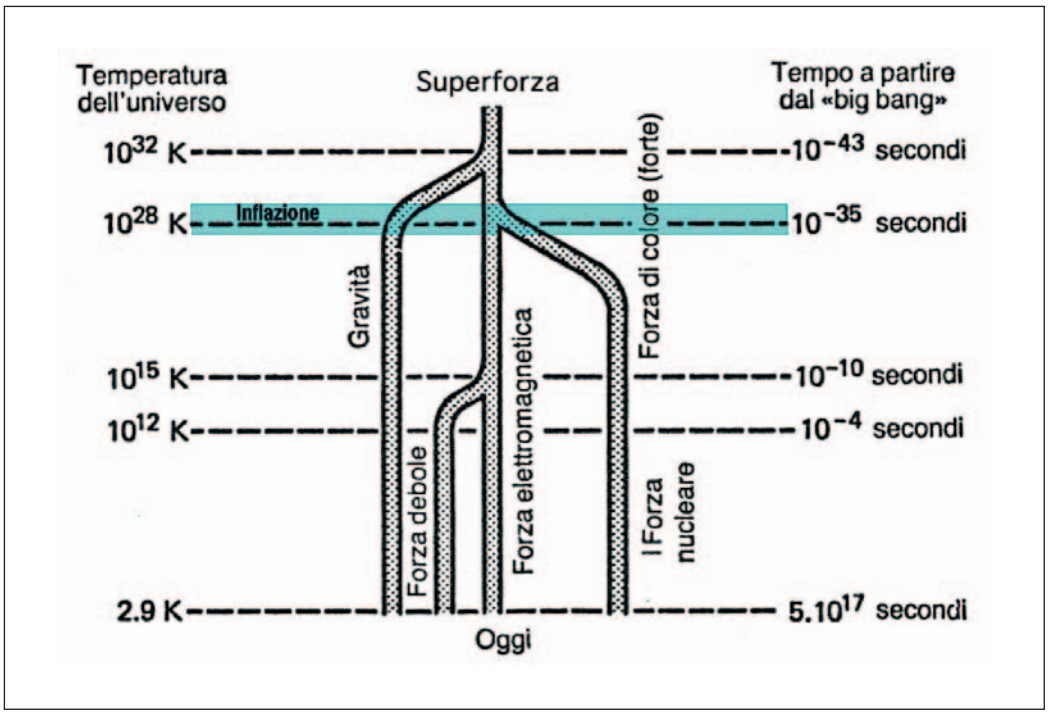


Fig. 2. La superforza, progenitrice delle quattro forze fondamentali della natura, seguita dall'inflazione dell'universo (fascia azzurra) . (Fig. 10 della Parte II).

cui spinta iniziale fu così potente da mantenere l'universo in espansione fino ai giorni nostri, nonostante l'attrazione esercitata dalla gravità[7]. Per meglio comprendere questo fenomeno, si pensi al lancio di un missile: quanto più forte è la spinta iniziale, tanto più lontano (e in alto) esso andrà, prima di ricadere a terra per effetto della gravità, anzi, addirittura sfuggendo alla gravità stessa se riesce ad acquistare una velocità superiore alla cosiddetta *velocità di fuga*. È, infatti, noto che l'attrazione di gravità diminuisce con il quadrato della distanza e quindi, a un certo punto, essa diventa troppo debole per contrastare l'ascesa del missile. Ancora oggi il nostro universo continua ad espandersi per effetto di quella potentissima spinta iniziale e non sappiamo ancora con certezza se mai inizierà la ricaduta (contrazione) per effetto della gravità.

La *teoria inflazionaria* di Alan Guth fornì anche una soddisfacente spiegazione sia dell'uniformità dell'universo, sia della nascita delle galassie. Essendo, infatti, tutto l'universo contenuto inizialmente in uno spazio piccolissimo, esso si trovava nel pieno raggio d'azione di particelle messaggere come i fotoni, quindi in piena validità del principio di causalità. Questo giustificherebbe l'uniformità al momento del big bang, conservata nella successiva espansione.

Quanto alla formazione delle galassie, come anticipato nella Parte II, esse si sarebbero già formate all'atto del big bang come frutto delle inevitabili (piccole) fluttuazioni di densità presenti nel vuoto quantico primordiale.

È da notare, tuttavia, che se è vero che lo scoppio iniziale da cui nacque l'universo fu abbastanza potente da produrre gli effetti che abbiamo descritto, è anche vero che non fu *così* potente da fargli acquistare una velocità superiore alla *velocità di fuga*. In altre parole, se l'espansione fosse stata un pochino più veloce, il materiale cosmico si sarebbe disperso completamente in poco tempo, mentre, se fosse stata un pochino più lenta, il cosmo intero avrebbe subito il collasso gravitazionale. La cosa stupefacente è che quel *pochino* è di soli 10^{-18} ([4] p. 228), cioè sarebbe bastato uno scostamento della velocità dello 0, 0000000000000001% per far saltare il delicato equilibrio che portò in essere il nostro universo! In altre parole, lo scoppio iniziale fu così *perfettamente calibrato* da dirigere l'universo verso quella ristretta linea di equidistanza fra due catastrofi, oltre ad averlo reso esattamente uniforme dappertutto e in ogni direzione al momento del lancio. Come osserva Paul Davies ([4], p. 9, 301), è arduo sostenere che un siffatto evento possa essersi verificato spontaneamente, senza, cioè, un deliberato intervento esterno o una precisa *intenzionalità*. Quanto detto giustifica i quadratini arancione "0" e "1" che abbiamo posto in Fig. 1 in corrispondenza del big bang e dell'inflazione.

La fase di *inflazione* durò, come detto sopra, un paio di decadi di tempo intorno all'istante della Grande Unificazione (10^{-35} secondi), indicato in Fig. 1 come *istante GUT*[8]. Una ricostruzione affidabile degli eventi che la precedettero, ossia compresi fra

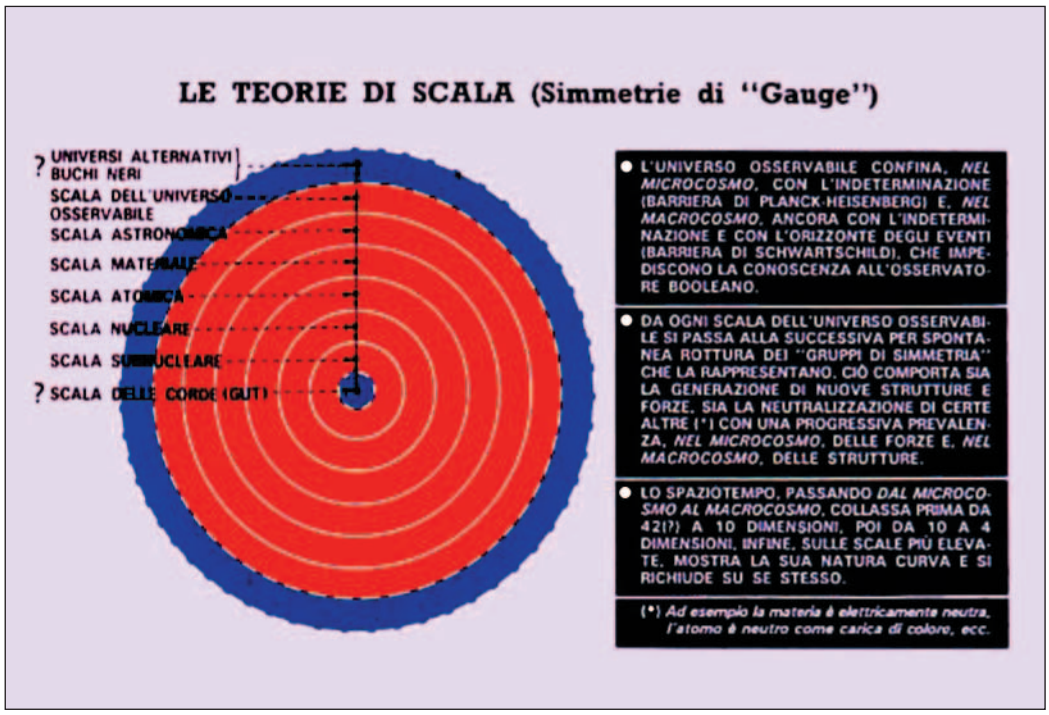
---

[7] Nel 1917 Einstein aveva ipotizzato l'esistenza di una "antigravità" con la sua *costante cosmologica*, poi da lui stesso rigettata come il più grande errore della sua vita. La teoria di Guth la richiamò in vita, ma con una intensità della forza repulsiva 10^{120} volte maggiore di quella ipotizzata da Einstein.

[8] GUT = *Grand Unification Theory*. Come si vede dalla Fig. 2, a $t = 10^{-35}$ secondi soltanto la gravità si era separata dalla superforza, pertanto la dizione *grandunificazione*, si riferisce alla unificazione delle tre forze debole, forte ed elettromagnetica.

[9] La traduzione italiana di *string* è, infatti, *corda*. Tuttavia è d'uso parlare di *Teoria delle stringhe*, anziché di *Teoria delle corde*. Questa teoria sostituisce il concetto classico di particelle elementari *puntiformi* (0 dimensioni) con particelle unidimensionali (1 dimensione) come le stringhe, ma anche con particelle a 2 o più dimensioni *(membrane)*.

Fig. 3. Le teorie di scala o teorie di gauge e l'universo



l'istante GUT e l'istante di Planck, non è ancora universalmente condivisa, essendo tuttora caratterizzata da molti punti oscuri [9, 10]. Si parla di un iperspazio a 10, 11, 26 e persino a 42 dimensioni, in cui le dimensioni in più del nostro familiare spaziotempo (3 di spazio e 1 di tempo) sarebbero *arrotolate* in minuscole *stringhe* filiformi, aventi lunghezze dell'ordine della lunghezza di Planck ($\approx 10^{-33}$ cm), differenti l'una dall'altra soltanto per la frequenza di risonanza, come le corde di un violino[9].

Secondo la più recente *teoria delle superstringhe* o *teoria supersimmetrica*, stringhe di tipo diverso o loro combinazioni darebbero luogo a tutti i tipi di forza e a tutti i costituenti elementari della materia (leptoni e quark). Per questo motivo tale teoria è anche denominata *teoria del tutto* [11]. È, però, da notare che su queste teorie non esiste a tutt'oggi una larga intesa, anche per la inesistenza (o impossibilità) di conferme sperimentali, e pertanto ci limiteremo qui ad alcune considerazioni di carattere generale.

Per comprendere il concetto di uno spazio a *n* dimensioni, osserviamo anzitutto che il nostro spazio *tridimensionale* si chiama così in quanto, per individuare un qualsiasi punto di esso abbiamo bisogno di *tre* numeri (le tre coordinate ortogonali *x, y, z*). Supponiamo ora che, una volta individuato il punto suddetto, ci dirigessimo su di esso con una ipotetica minuscola astronave ma che, man mano che ci avviciniamo ad esso, scopriamo che il punto è, in realtà, un oggetto tridimensionale, ad esempio un atomo, che ci si presenta come un nucleo di protoni e neutroni, contornato da elettroni: è chiaro che, per sapere dove atterrare, avremmo bisogno di altre tre coordinate e forse dovremmo cambiare veicolo (uno molto più piccolo), per poterci muovere agevolmente nel nuovo microcosmo. In conclusione, per individuare il nostro punto di atterraggio, partendo dal *nostro* macrocosmo, avremmo bisogno in totale di 6 coordinate spaziali. Ripetendo tale operazione più volte (ad esempio per esplorare il mondo subatomico dei quark o quello ancora più microscopico delle corde), è chiaro che avremmo bisogno di un numero di coordinate anche elevatissimo (multiplo di 3), ma è anche evidente che questo ci serve per individuare punti di microcosmi sempre più piccoli, contenuti in microcosmi di ordine superiore, fino ad arrivare al nostro *cosmo* – quindi al nostro spazio tridimensionale – a misura d'uomo. Un modo alternativo, ma meno intuitivo, è quello di immaginare di trovare al nostro arrivo un oggetto a 7 dimensioni (eptasfera), che, aggiunte alle nostre 3 dimensioni darebbero uno spazio a 10 dimensioni, o, se si vuole, uno spaziotempo a 11 dimensioni ([4], p. 198).

È chiaro, dunque, che il bisogno di un elevato numero di coordinate si manifesta quando si penetra in una dimensione sempre più piccola, tale che un *punto* del nostro familiare spazio tridimensionale non possa più considerarsi tale. È sicuramente questo il caso delle ere di Planck e di GUT, quando la materia non esisteva e le dimensioni stesse dell'universo erano trascurabili rispetto a quelle del (non ancora nato) protone. Le teorie di scala (*gauge theories*) tengono conto delle mutate condizioni in cui si è venuto a trovare l'universo nelle sue varie tappe evolutive, strettamente legate ai suoi salti dimensionali (o *scale*) (Fig. 3).

La conclusione che agli albori del nostro universo esistesse uno spazio a *n* dimensioni (ovvero uno spaziotempo a *n+1* dimensioni, dove il valore più ricorrente di *n* sembra essere 10) e che questo, a sua volta, sia *esploso* dal vuoto quantico per effetto della forza repulsiva generata dallo stesso, non è la sola a stupirci. Molte teorie riguardanti la struttura primeva dello spaziotempo ipotizzano, infatti, che forze e particelle materiali (inclusi gli ipotetici *rishoni* menzionati nella Parte I) non fossero altro che manifestazioni (*grinze*) dello spaziotempo e che, pertanto, l'universo sia nato da un *niente strutturato* ([4], p. 6). Anche per questo motivo riteniamo appropriata la denominazione di *Evoluzione dal nulla* che abbiamo

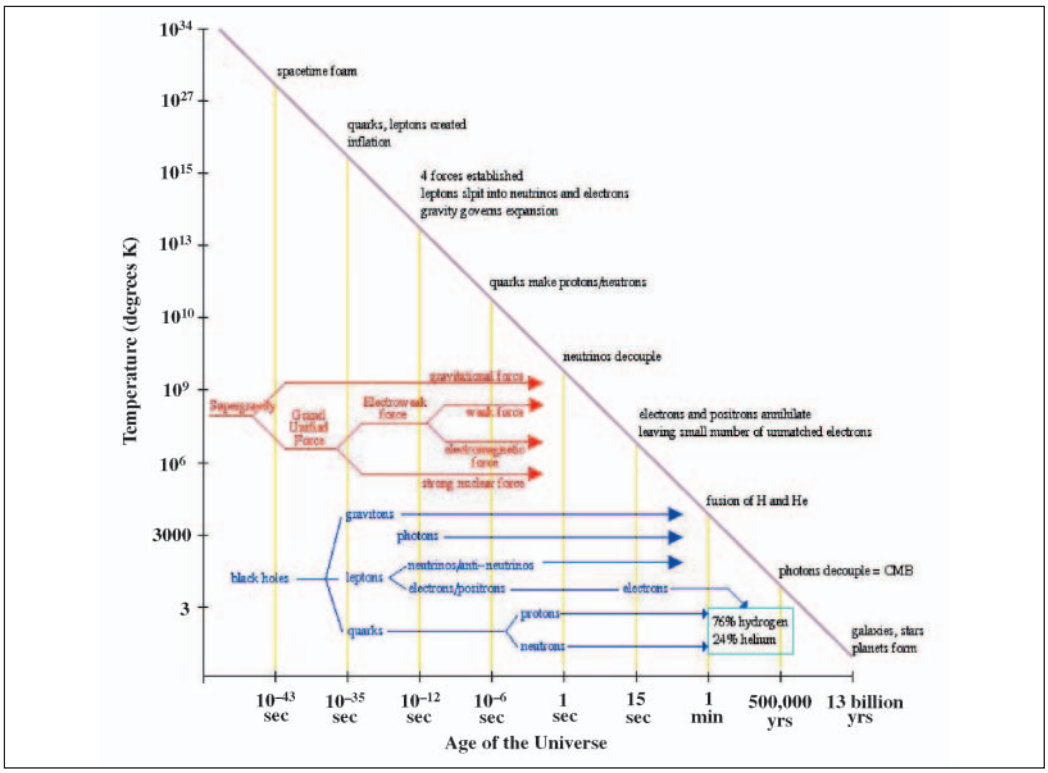


Fig. 4. Nascita delle forze (in rosso) e della materia (in blu) [9].

dato alla fase neonatale del nostro universo, dal big bang fino alla comparsa della materia (Fig. 1).

Già nel 1915, Albert Einstein, nella sua teoria generale della relatività, aveva descritto la gravità come un fatto puramente geometrico, interpretando l'attrazione gravitazionale come una semplice distorsione dello spazio[10]. Più tardi, all'inizio degli anni sessanta, il fisico americano John Wheeler, con la sua teoria *geometrodinamica* [12], estese l'opera di Einstein interpretando tutte le forze e tutte le particelle materiali in termini di strutture geometriche.

Anche per la carica elettrica Wheeler propose un modello spaziale, denominato a *galleria di tarlo* (*wormhole*), secondo il quale la carica elettrica non sarebbe altro che l'estremo di una galleria scavata nello spazio n-dimensionale, il cui altro estremo spunterebbe in un'altra dimensione dove si manifesterebbe una carica elettrica di segno opposto. Altre teorie sostengono, infine, che persino l'intera gamma delle costanti fisiche e l'insieme di tutte le leggi fisiche abbiano avuto origine da fluttuazioni *geometriche* del vuoto quantico [9]. Come osserva Davies, "in ultima analisi il mondo risulterà una scultura di puro vuoto, un vuoto auto-organizzato" ([4] p. 202-203). Ancora una volta, dunque, possiamo dire che la sua storia è iniziata con una *Evoluzione dal nulla*.

E la luce fu (insieme alla materia) ... a un picosecondo

Le prime fasi del neonato universo sono illustrate in Fig. 4 con un maggiore dettaglio di quello indicato nella precedente Fig. 1. Nella stessa Fig. 4 sono indicate in rosso le linee evolutive delle varie forze, e in blu quelle delle varie particelle materiali. Si noti anche, in Fig. 4, un evento molto speciale, rappresentato dalla nascita dei fotoni (linea blu denominata *photons*), in corrispondenza di un tempo cosmico pari a 1 picosecondo (10^{-12} secondi): questa linea blu ha inizio a 1 picosecondo e non è collegata ad eventi precedenti[11]. Si tratta di fotoni γ (cioè fotoni a frequenze molto elevate) *reali*, quindi diversi da quelli *virtuali* che trasmettono la forza elettromagnetica (stranamente separatasi dalla forza elettrodebole alla stessa epoca di circa 1 picosecondo, come mostrato nella stessa Fig. 4). Questo evento, che i fisici hanno battezzato *bagno di fotoni*, fu conseguenza dell'iperespansione e del conseguente raffreddamento dell'universo durante la fase inflazionaria, secondo un meccanismo abbastanza semplice, che illustriamo qui di seguito.

Si deve osservare, anzitutto, che, al tempo cosmico di 1 picosecondo, tutte le particelle e antiparticelle elementari erano state create e che l'universo conteneva materia e antimateria in proporzioni *quasi* uguali, ma *con un lieve eccesso di materia sull'antimateria*, precisamente con una particella in più di materia per ogni miliardo di coppie materia-antimateria ([4] p. 216).

Con la progressiva espansione e il conseguente raffreddamento dell'universo, la creazione di coppie di materia-antimateria divenne sempre meno probabile e pertanto, intorno a $t = 1$ picosecondo, le coppie particella-antiparticella si annichilarono, con liberazione di una enorme energia per l'appunto sotto forma di fotoni γ (da qui il termine *bagno di fotoni* o *bagno di luce*), e rimase soltanto quel *piccolo* (10^{-9}) eccesso di materia – ma non tanto piccolo in valore assoluto, avendo esso dato origine alla massa dell'universo di $3 \cdot 10^{50}$ tonnellate[12]!

Riassumendo, il numero di fotoni γ prodotti al tempo cosmico di 1 picosecondo fu un miliardo di volte superiore al numero di elettroni e protoni sopravvissuti all'annichilazione che formarono il nostro universo materiale. Così, quando il neonato univer-

so materiale emise i primi vagiti, esso trovò a festeggiarlo un immenso oceano di luce, un miliardo di volte più potente di esso.

Ebbene, i fotoni γ di quel bagno di luce non sono scomparsi: ci sono ancora oggi, sebbene ci appaiano a frequenza (quindi a temperatura) molto più bassa, a causa sia dell'espansione dell'universo che dell'effetto Doppler, come illustrato nella Parte II; essi, cioè, costituiscono la radiazione fossile o di fondo. Il rapporto fotoni/protoni di circa un miliardo coincide con il valore predetto dalle teorie Grandunificate (GUT) ed è coerente col contenuto attuale di fotoni freddi a 2,9 K (allora erano caldissimi) della radiazione di fondo. Infatti, la densità della radiazione di fondo è valutata oggi in circa centomila fotoni per litro, mentre il contenuto di idrogeno (l'elemento più comune nell'universo) è di circa un atomo ogni diecimila litri. Da qui il rapporto fotoni/protoni di circa un miliardo, valore che è rimasto pressappoco invariato da allora ad oggi (è solo cresciuto, moderatamente, come vuole il secondo principio della termodinamica).

In conclusione, dobbiamo la nostra esistenza a quel minuscolo eccesso di materia sull'antimateria, eccesso che, secondo le teorie Grandunificate, fu dovuto al decadimento di un'anziana particella, il bosone X (*X Higgs boson*) – di cui non resterà più traccia in seguito – capace di alterare l'equilibrio materia/antimateria nella misura riscontrata, fin dal tempo $t \approx 10^{-35}$ secondi (istante GUT). Senza l'intervento del bosone X, l'Universo sarebbe oggi costituito da soli fotoni da annichilazione e non vi sarebbe stata evoluzione della materia, per il semplice fatto che non vi sarebbe stata materia, e la nostra storia sarebbe finita, anche letteralmente, in un lampo. Anche questo evento, dunque, rientra in quegli eventi *miracolosi* che giustificano i nostri quadratini arancione posti in Fig. 1 (Fig. 3 della Parte I) e, in particolare, il quadratino arancione "1" posto in corrispondenza dell'istante GUT.

Il tutto e il nulla...

La tesi propugnata nella maggior parte delle teorie sulla nascita dell'universo *dal nulla*, assomiglia un po' a quei film che terminano con la morte dell'eroe, nel senso che ci lascia un po' di amaro in bocca. Tutti i meravigliosi corpi celesti che osserviamo oggi nel firmamento, tutti i meravigliosi doni della natura su questa terra, i meravigliosi animali, le piante, i fiori, e la meravigliosa gente con le sue meravigliose opere di arte sublime e con le sue meravigliose macchine che solcano i cieli e che esplorano l'invisibile, tutto fu originato dal nulla …

D'accordo, si tratta di un *nulla strutturato*, dal quale man mano prendono forma le particelle elementari e le forze, anche se queste ultime rimangono tuttora invisibili, celate nel vuoto quantico, però quella parola "*nulla*" è davvero sconfortante.

E se, invece, dicessimo che l'universo ebbe origine dal *tutto*? Potremmo forse consolarci, ma resta il fatto che dovremmo capire a fondo che cosa si nasconde dietro la parola *nulla*, e dietro il suo contrario, il *tutto*. Ricordo che, verso la fine della mia seconda conferenza presso l'AEI di Milano, il 10 aprile 1986, proiettai una diapositiva tutta bianca, dicendo "ed ora vi presento il *tutto*", quindi una diapositiva tutta nera, dicendo "ed ora vi presento il *nulla*". Facevo leva, evidentemente, sulle reazioni razionali ed emotive che provocavo nei due emisferi cerebrali dei presenti, rispettivamente, con la piena luce e con il buio completo, la prima foriera di immense possibilità di vita, di pienezza, di gioia, la seconda di miseria, di morte, di vuoto e di sconforto.

Ma era proprio così il *nulla* da cui nacque l'universo? Non proprio, da quanto abbiamo visto.

Vorrei far osservare, tuttavia, che la mia provocazione era basata sulla presenza o assenza di *percezione* (visiva in quel caso, ma poteva anche essere olfattiva, acustica o tattile), ma che l'assenza di percezione non significa necessariamente essere in presenza del *vuoto* o del *nulla assoluto* (a parte il fatto che, comunque, si presume presente un osservatore). Se ci troviamo, infatti, in una stanza buia e silenziosa, chi ci dice che sul suo soffitto non vi siano magnifici affreschi, che non esistano sussurri al di sotto della nostra soglia uditiva o al di fuori della nostra banda di frequenza uditiva (ultrasuoni, ad esempio), o radiazioni al di fuori del nostro spettro visivo o dei sensori termici della nostra pelle, o particelle microscopiche che sfuggono alla nostra sensazione tattile nonché ai nostri più sofisticati strumenti di misura? Ovviamente, nessuno.

Credo, pertanto, che possiamo tranquillamente accettare l'esistenza dell'immenso regno dell'indeterminazione di Heisenberg – contraddistinto dall'assenza o impossibilità di percezione – che è la caratteristica essenziale del vuoto quantico. Del resto, anche la familiare forza di gravità *non si vede* (agisce per mezzo di gravitoni virtuali, con prestiti di energia dal vuoto quantico) e nemmeno le onde radio *si vedono*, ma l'una e le altre esistono e ce ne rendiamo conto attraverso gli effetti che hanno su di noi quando cadiamo per terra o quando ascoltiamo la radio o guardiamo la televisione. Ecco che, allora, il *nulla*, inteso come il *non percepibile*, così come la concezione di un *universo nato dal nulla*, acquistano un senso logico di pienezza, del tutto accettabile e per nulla sconfortante.

Una suggestiva rappresentazione del vuoto quantico, coerente con la nostra descrizione, è riportata in Fig. 5, tratta dal lavoro [9]. In essa sono rappresentate coppie di elettroni e^- e antielettroni e^+ virtuali, e coppie di protoni p^+ e antiprotoni p^- virtuali, che nascono (bollino azzurro) e si annichilano (stella rossa) continuamente. Manca, in questa figura, la raffigurazione delle forze – anch'esse rappresentata da particelle virtuali – che completerebbe l'anagrafe

---

[10] Einstein fu preceduto in tale concezione dal matematico inglese W. K. Clifford che, nel 1870, tenne alla Philosophical Society di Cambridge una conferenza dal titolo *On the Space Theory of Matter* (Sulla teoria spaziale della materia).

[11] Incidentalmente, quel *bagno di fotoni* costituì anche il primo processo irreversibile della storia, in quanto, stabilendo una freccia del tempo, diede luogo al primo orologio antropico.

[12] Leptoni e quark, che avrebbero composto tutta la materia, conseguirono la loro identità soltanto a 1 picosecondo ([4], p. 218).

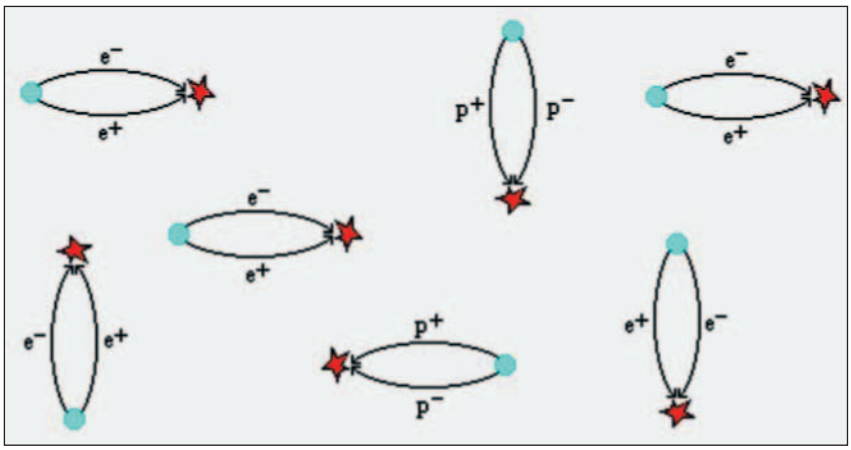


Fig. 5. Una suggestiva rappresentazione del vuoto quantico [9]

della popolazione del vuoto quantico. La Fig. 5 è accompagnata dalla seguente descrizione [9]:

> Il vuoto quantico non può essere percepito o misurato, poiché appare come vuoto; in realtà, esso è ricolmo di potenzialità. Nel vuoto quantico, coppie di materia e di antimateria virtuali sono continuamente create e distrutte, prendendo in prestito la loro massa/energia dal principio di indeterminazione. Esse non esistono come entità osservabili, ma la loro esistenza è rivelata da una tenue pressione esercitata su altre particelle (*Effetto Casimir*).

Nel vuoto quantico impera la *supersimmetria*: esso, infatti, è uguale a se stesso, da qualsiasi parte lo si guardi, in qualunque modo lo si rigiri o lo si mescoli. Ma il punto debole della supersimmetria è che essa è intrinsecamente instabile, analogamente, tanto per fare un esempio, a una sfera posta sulla punta di un cono (Fig. 6): è evidente che essa è destinata a perdere questo suo stato ideale supersimmetrico, e subire quella che viene chiamata *rottura spontanea della simmetria*, proprio come è avvenuto per il vuoto quantico [13].

La domanda è: in quale direzione, tra le infinite possibili, avverrà la sua caduta? A posteriori sappiamo che la rottura della simmetria è avvenuta proprio nella direzione esatta che avrebbe portato al nostro meraviglioso universo, ma, come afferma Paul Davies, è difficile credere che ciò sia avvenuto per caso, escludendo una precisa intenzionalità (che, per i creazionisti, si identifica con l'intervento divino) oppure ancora negando la validità delle teorie basate sulle *cause finali*, quali quella di Fantappié menzionata nella Parte I o di quelle che invocano il *principio antropico*, menzionati nella Parte I [14].

Occorre, tuttavia, notare, a proposito della *rottura spontanea della simmetria*, che il processo di espansione dell'universo, una volta iniziato dalla forza repulsiva, ha comportato, inevitabilmente, un raffreddamento dello stesso, poiché, man mano che l'universo si espande, diminuisce la probabilità di collisione fra le particelle che lo compongono, quindi diminuisce la sua temperatura. A sua volta, l'instaurarsi di una temperatura (ossia di una energia), più bassa delle singole particelle, favorisce ogni cambiamento di stato caratterizzato da valori più bassi di energia, proprio come la sferetta di Fig. 6, la quale tende a raggiungere stati più stabili a quota più bassa, cioè a cadere e fermarsi in uno dei rivoli che circondano la base del cono sul quale è posta, caratterizzati da livelli più bassi di energia[13]. Per converso, come osservato nella Parte II, è da rile-

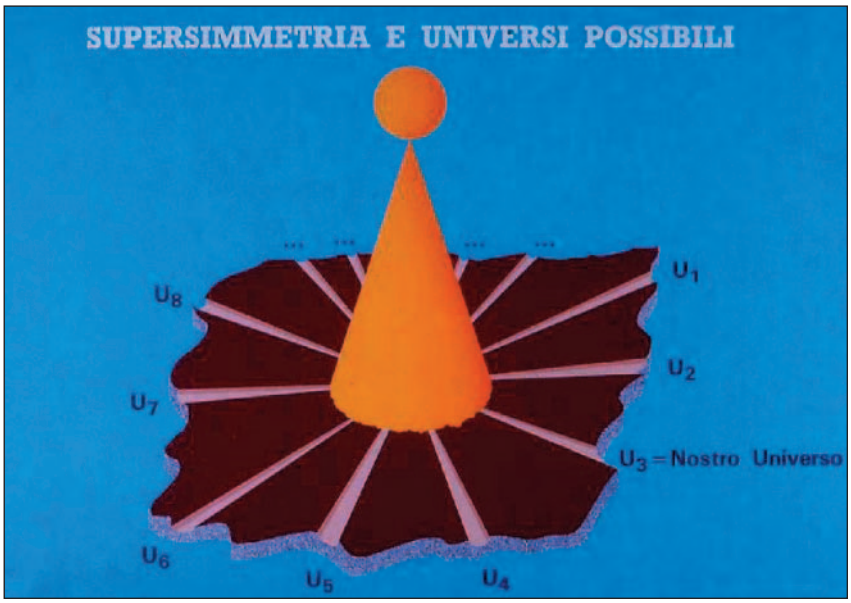
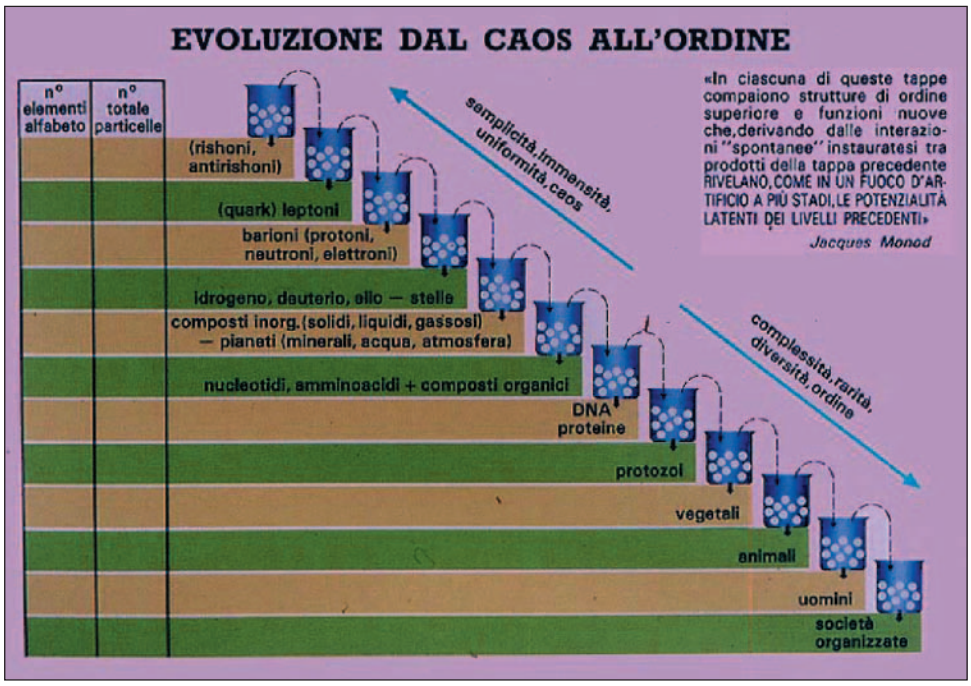


Fig. 6. Una sfera situata sulla punta di un cono è assolutamente simmetrica, ma instabile: da quale parte cadrà?

Fig. 7. Una rappresentazione informatica degli stadi evolutivi dell'universo



vare che livelli elevati di energia favoriscono la *simmetria*, cioè l'uniformità e la semplicità, in quanto vengono distrutte tutte le diversificazioni e le aggregazioni, proprio in forza dell'aumentato numero e violenza delle collisioni fra particelle.

L'evoluzione dell'universo verso forme sempre più complesse ed aggregate è dunque avvenuta grazie alla sua continua espansione e alla conseguente diminuzione di temperatura, quindi di energia. Tali forme sempre più evolute sono caratterizzate, a loro volta, da contenuti di informazione (ossia di ordine) crescenti. È anche da osservare che l'emergenza di tali strutture è accompagnata da una bassissima incidenza quantitativa delle stesse sul totale degli elementi che popolano l'universo. Infatti, nel nostro universo – composto per il 99% da idrogeno ed elio, e dai circa 10^{90} fotoni della radiazione di fondo – gli esseri biologici rappresentano numericamente una frazione insignificante (inferiore a 10^{-18}, come indicato nella Parte II), ancora più insignificante, quantitativamente, se si considerano gli esseri biologici superiori, come l'uomo.

Si aggiunga, inoltre, che, contemporaneamente alle aggregazioni, avvengono disgregazioni delle strutture complesse nei loro elementi costitutivi, per cui, durante l'evoluzione dell'universo, si è verificata, e si verifica, una continua creazione di ordine dal caos e di caos dall'ordine [15]. Il *tempo di vita* di ogni ente è il risultato dei due cambiamenti che rappresentano la comparsa e la scomparsa (la nascita e la morte) della struttura, cioè l'insorgenza dell'aggregazione e l'insorgenza della sua disgregazione.

Che l'evoluzione si sia manifestata *a scalini* (Fig. 7) anziché in modo uniforme e continuo è conseguenza del fatto che gli stati di energia di un determinato oggetto sono sempre quantizzati[14]. Jacques Monod illustra mirabilmente questa evoluzione *a tappe* del nostro universo [16]:

> In ciascuna di queste tappe compaiono strutture di ordine superiore e funzioni nuove che, derivando da interazioni 'spontanee' instauratesi tra prodotti della tappa precedente, rivelano come in un fuoco d'artificio a più stadi, le potenzialità latenti dei livelli precedenti.

In termini informatici, si può dire che questo *fuoco d'artificio a più stadi* si è sviluppato a partire da *alfabeti* costituiti dai prodotti dello stadio precedente, dando luogo a prodotti sempre più complessi, ma, come già detto, sempre più rari nell'universo, se rapportati al numero degli enti più semplici contemporaneamente presenti. Molto appropriata è l'osservazione di Jacques Monod circa "le *potenzialità latenti* dei livelli precedenti", che, inevitabilmente ci porta ad considerare il vuoto quantico come un immenso serbatoio di potenzialità, contenente in embrione ogni oggetto o essere evoluto che si sarebbe formato nei successivi 15 miliardi di anni di vita dell'universo. Pertanto, ad ogni *scala* dell'universo si materializza una certa *fauna* che, oltre ad essere l'erede (diversificato) della fauna precedente e progenitore della fauna successiva, è anche erede, alla lontana, del vuoto quantico e della superforza originari.

Il ruolo dell'informazione nelle varie tappe evolutive dell'universo è più che evidente dalla stessa definizione di *informazione* quale *rimozione del dubbio*,

---

[13] Questa è una tendenza generale della natura: laddove è possibile, ogni oggetto o elemento tende ad assestarsi su valori più bassi possibili di energia, come, ad esempio, un oggetto che, appena possibile, cade a terra per effetto della gravità.

[14] Si pensi, ad esempio, alle orbite di un elettrone intorno al nucleo atomico: possono solo essere in poche, determinate posizioni. Altro esempio di come la natura procede a salti è il passaggio dell'acqua da liquida a ghiacciata: abbassando la temperatura dell'acqua, nulla succede fino a che non si raggiunge la temperatura di 0 °C, quando d'improvviso si formano i cristalli di ghiaccio, cioè emerge una struttura ordinata, quindi con maggior contenuto d'informazione.

che, nel nostro caso, si manifesta come emergenza del *meno probabile* dal *più probabile*, coerentemente con quanto illustrato in Fig. 7[15]. L'universo, infatti, si è evoluto partendo da una situazione con elevatissima simmetria (caos perfetto, con minimo contenuto di informazione) a quello, odierno, caratterizzato da elevatissime complessità (ordine), quindi da elevatissimi contenuti di informazione.

Dobbiamo osservare, infine, che tale emergenza è avvenuta contravvenendo al secondo principio della termodinamica, secondo il quale i processi che avvengono *spontaneamente* in un sistema *isolato* sono quelli che lo portano verso uno stato di maggiore probabilità, cioè a un aumento del disordine (entropia), ossia a una diminuzione dell'ordine e dell'informazione [15].

Potremmo dedurre che, contravvenendo al secondo principio della termodinamica, l'evoluzione dell'universo non sia avvenuta *spontaneamente* (qualcuno gli ha fornito *informazione*) o, il che è praticamente lo stesso, che l'universo non fosse *isolato* durante le sue fasi evolutive. In realtà nessuna delle due ipotesi è corretta. La ragione vera sta nella spinta iniziale che ha costretto l'universo a espandersi e contestualmente a raffreddarsi costantemente e pertanto le rotture delle simmetrie o l'emersione di forme più aggregate (complesse) sono state perfettamente *spontanee*, in quanto conseguenti al raffreddamento. Semmai, potremmo dubitare della *spontaneità* della spinta iniziale, ipoteticamente emersa da un particolare *stato eccitato* del vuoto quantico.

La scienza e la Bibbia

Dobbiamo premettere che la nostra religione insegna che la Bibbia è una rivelazione e che, pertanto, deve essere accettata così com'è. Questo, tuttavia, non vieta di confrontare le conclusioni della nostra analisi sulla *Evoluzione dal nulla* dell'universo, con i primi versi della Bibbia (Genesi I, 1÷3):

> [1] *In principio Dio creò il cielo e la terra.*
> [2] *La terra era informe e deserta*
> *e le tenebre ricoprivano l'abisso*
> *e lo spirito di Dio aleggiava sulle acque.*
> [3] *Dio disse "Sia la luce!" E la luce fu.*

Riteniamo anche lecito tentare una lettura del testo biblico in chiave moderna, in quanto è evidente che l'originaria stesura della Bibbia richiese l'uso di un linguaggio accessibile a tutti, essendo la maggior parte delle popolazioni di allora formata da gente semplice, come pescatori, contadini, mercanti e schiavi. La Bibbia, peraltro, raggiunge questo risultato mirabilmente, con un linguaggio che, ancora oggi, appare conciso, immediato, efficace, e capace di esprimere i concetti più astrusi e profondi mediante riferimenti diretti alle comuni esperienze dell'umanità. Niente di male, dunque, se tentiamo di esprimere gli stessi concetti con un linguaggio derivante dalle odierne cognizioni.

Ci sembra, ad esempio, che *il cielo* si possa interpretare come tutto ciò che è *spirituale, immateriale*, in contrapposizione alla *terra*, che potrebbe rappresentare ogni cosa tangibile, cioè *reale, materiale*. Così, l'incipit della Genesi potrebbe significare che *in principio, Dio creò* l'*immateriale* (tutto ciò che non è percepibile, come le particelle virtuali) e il *materiale*, ossia le particelle materiali, come elettroni e protoni, insieme alle loro antiparticelle. Naturalmente questa interpretazione è arbitraria, ma ci sembra meno assurda di quella che vogliono attribuire alla Genesi un significato letterale, nel senso che in principio Dio creò il *pianeta* Terra.

Continuando nella nostra lettura in chiave moderna, il fatto che *la terra era informe e deserta* può ricondursi al fatto che, nell'universo materiale appena creato vigeva l'indeterminazione, e quindi la materia (*la terra*) era ancora allo stato latente (*informe e deserta*), accoppiata con l'antimateria.

Il fatto che *le tenebre ricoprivano l'abisso* ci sembra avere un chiaro riferimento ai buchi neri quantici o *black holes* di Fig. 4, poiché l'*abisso* evoca una paurosa voragine senza fondo (i buchi neri) e poiché, come noto, la fortissima attrazione di gravità dei buchi neri impedisce ai fotoni di uscire da essi, ossia la luce era imprigionata in essi, a causa della loro elevatissima densità.

Quanto alle *acque* del quarto versetto, esse evocano l'idea di un oceano, amico perché colmo di ricchezze (ad esempio, il pesce), nemico perché immenso e tempestoso. Potremmo perciò riscontrare nelle *acque* le peculiarità del vuoto quantico, le sue grandi potenzialità latenti e la continua agitazione di una moltitudine di particelle. Pertanto, il versetto *lo spirito di Dio aleggiava sulle acque* si potrebbe interpretare nel senso quasi letterale che lo spirito di Dio – una intelligenza superiore, capace di osservare e di decidere – aleggiava sul vuoto quantico (*le acque*).

Quanto all'ultimo versetto, *Dio disse "Sia la luce!" E la luce fu*, ci sembra logico l'accostamento al *bagno di luce*, provocato dall'annichilazione della materia con l'antimateria, e accompagnato dall'emergenza di quel lievissimo eccesso di materia sull'antimateria che costituì il nostro universo. Si trattò, come abbiamo visto, di un evento alquanto improbabile, che richiese un poderoso atto informativo. Infatti, *Dio disse*, cioè *scelse*, *decise*: *Sia la luce! E la luce fu.*

Un altro spunto importante, con riferimento alla nascita dell'universo, ci viene offerto dal Vangelo di Giovanni, originariamente scritto in greco (Fig. 8), tradotto in italiano come segue:

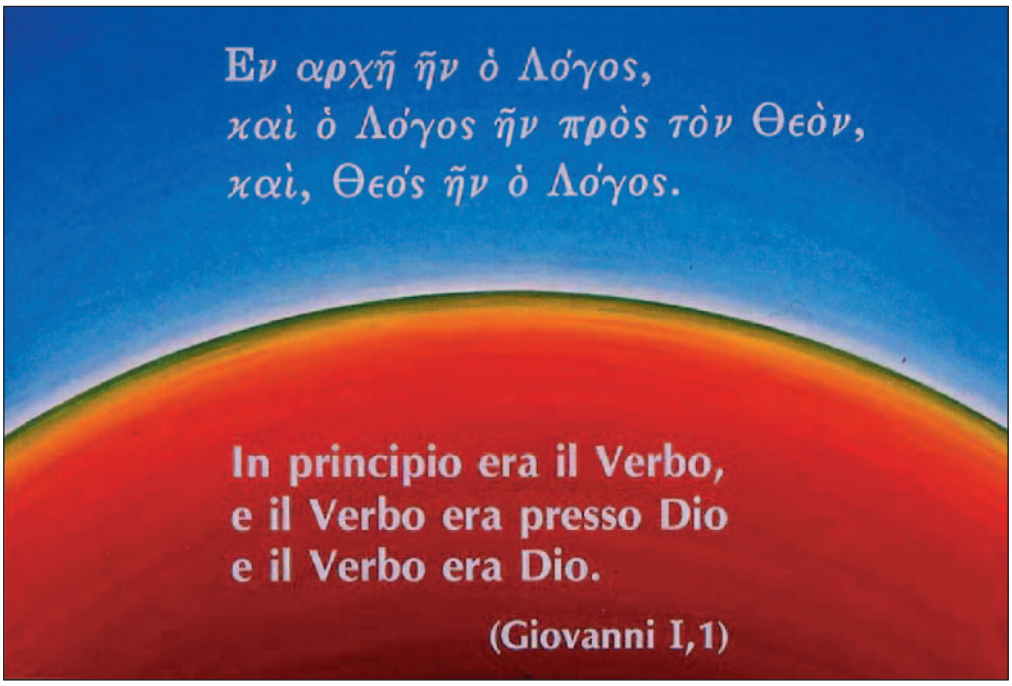
> *In principio era il Verbo,*
> *e il Verbo era presso Dio*
> *e il Verbo era Dio.*

---

[15] Dalla definizione di informazione I quale logaritmo della probabilità P cambiato di segno $I = -\log_2 P$, risulta immediatamente che se si passa da uno stato con probabilità P_1 a uno stato con probabilità minore $P_2 < P_1$, ciò avviene mediante fornitura di informazione, essendo $I_2 - I_1 = \log_2 (P_1 / P_2)$. Si ricordi anche che la probabilità P di occorrenza di un evento fra N eventi equiprobabili è semplicemente $P = 1/N$, quindi, è anche $I = \log_2 N$. Se, pertanto, emerge uno stato tra infiniti stati possibili, ne risulta che l'informazione corrispondente è infinita.

[16] Sebbene il termine "Trinità" non appaia mai come tale nella Bibbia, il suo concetto viene espresso chiaramente a più riprese, facendo riferimento al *Padre, Figlio e Spirito San*to.

Fig. 8.
Il primo versetto del Vangelo di Giovanni



Ripetendo il nostro esercizio di lettura in chiave moderna, dobbiamo osservare che il *principio*, cui si riferisce Giovanni, deve considerarsi anteriore al *principio* della Genesi (creazione del cielo e della terra e poi della luce), dal momento che egli afferma che *il Verbo era Dio,* e, ovviamente, il Creatore è preesistente alle cose da lui create. Dovremmo, pertanto, riferire questo *principio* al tempo di Planck, se non addirittura a *prima* di esso, dando al *prima* un significato causale *logico*, essendo il *prima del tempo di Planck*, per quanto detto, un *prima atemporale.*

Una seconda osservazione merita la parola greca *Logos,* usata da Giovanni e tradotta in italiano con la parola *Verbo* (e in latino con la parola *Verbum*). In uno dei più rinomati dizionari greci [17], il termine *logos* è analizzato ampiamente, con molte citazioni letterarie, da Omero a Eschilo, fino ad autori post-ellenici e con una ricca gamma di significati. Tuttavia, anche nel suo più comune significato di *parola*, il *logos* è sempre considerato come mezzo espressivo dell'*intelletto*, della *ragione*. Sono citate, infatti, molte frasi in cui la *parola*, intesa come manifestazione dell'attività intellettuale, è contrapposta ai *fatti*, cioè alle cose tangibili, sia in senso dispregiativo (*vogliamo fatti, non parole*), che in senso elogiativo (*idea creativa,* anche *divina*). È interessante anche il fatto che, nell'opera citata, la traduzione latina suggerita per la parola *logos* non è *verbum*, ma *vox*, *oratio*, quest'ultima avente un chiaro riferimento etimologico e semantico alla *ratio* (*ragione*, anch'essa citata come traduzione italiana di *logos*). Altre traduzioni italiane della parola *logos,* suggerite nel predetto dizionario, sono: *regola, legge,* e, dulcis in fundo, *informazione*, cosa che non sorprende, in quanto abbiamo già osservato nella Parte II che il significato etimologico dell'*informazione* è l'*atto di dare forma* cioè di *creare*, quindi, addirittura *azione creatrice*, oltre che *idea creatrice*. E poiché la creazione comporta una trasformazione di ciò che non è in ciò che è (ossia che è percepibile, tangibile, dunque, misurabile) potremmo dire, in sintesi, che tutti i significati del *logos* richiamano il concetto di *informazione,* ossia di *creazione di ordine mediante un'azione mentale*.

Ciò premesso, potremmo interpretare il primo versetto di Giovanni nel senso che *in principio esisteva l'idea creatrice divina*, quella stessa idea che, in seguito, l'uomo – creato a immagine e somiglianza di Dio – avrebbe imitato con l'*idea creatrice umana*, cioè con l'*informazione*, *creazione di ordine*. Naturalmente ci guardiamo bene dal tradurre l'incipit di Giovanni con la frase: *In principio era l'informazione*, e ciò non tanto per non dissacrare il testo biblico, quanto perché la parola *Verbo* ha acquisito nell'uso corrente un significato più nobile ed ampio della parola *informazione*, sia per il sottinteso riferimento alla divinità, sia per il suo aggiuntivo contenuto etico, come vedremo meglio fra poco.

Ma Giovanni dice ancora di più nei due versetti seguenti, e cioè che "*il Verbo era presso Dio, e il Verbo era Dio*", il primo implicante *il Verbo* come entità separata (era *presso* Dio), il secondo identificandolo con Dio stesso (*il Verbo era Dio*). Sembra evidente, da queste affermazioni, che Giovanni prefiguri gli attributi della *Trinità*[16], anche se delle tre *persone* della Trinità egli ne menziona qui le prime due, il Padre *(Dio*) e il Figlio *(Verbo*). D'altra parte, la terza persona, lo *Spirito Santo* (menzionato nella Genesi come *lo Spirito di Dio* che *aleggiava sulle acque*) sarà da lui citata più volte nel resto del suo Vangelo. Dicendo, dunque, che il *Verbo* allo stesso tempo era *presso* Dio ed *era* Dio, Giovanni evidenzia, a nostro modesto parere, l'*unità* nella *diversità* della trinità (Dio è Uno e Trino).

Potremmo, a questo proposito, ripetere l'esercizio che abbiamo fatto sopra per la Genesi e chiederci quale interpretazione dare alle tre *persone* della trinità, *Padre, Figlio* e *Spirito Santo*.

È immediato identificare il *Figlio* col *Verbo*, grazie

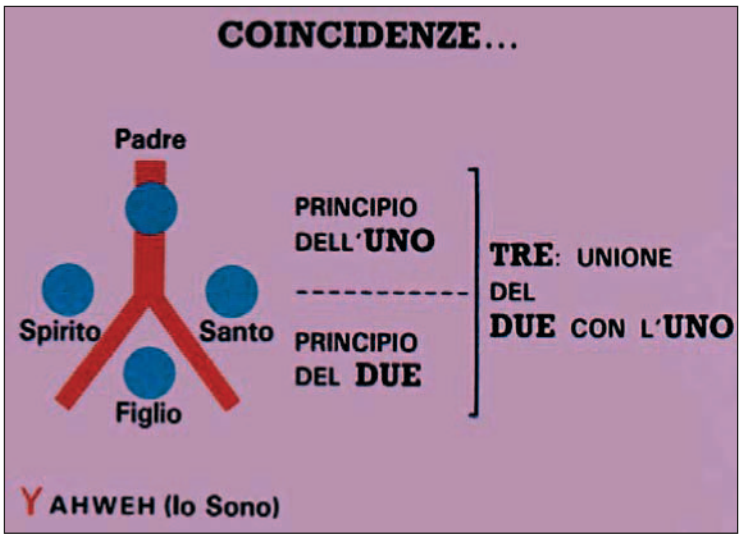


Fig. 9. La trinità e i principi dell'Uno, del Due e del Tre

proprio alle parole di Giovanni: "*E il Verbo si fece carne e venne ad abitare in mezzo a noi … unigenito dal Padre, pieno di grazia e di verità*" (Gv. 1, 14). Ci sembra anche lecito, attribuire al *Figlio* ogni significato che abbiamo dato al *Verbo*, ossia, al *Logos*, quindi la ragione, l'intelletto, l'ordine e, dall'ultimo versetto citato, la *Verità*[17]. D'altra parte, nel momento in cui *si fece carne e venne ad abitare in mezzo a noi*, *il Verbo* scelse di assumere le sembianze e l'intelletto umani, per meglio compiere la sua missione. In definitiva, dunque, il *Figlio* impersona quelle qualità divine che simboleggiano *Verità*, *Legge* e *Ragione*, ossia il *Logos*, tutto ciò che può essere compendiato in ciò che, in un altro lavoro, abbiamo chiamato il *Principio del Due* [15].

L'interpretazione della prima persona della Trinità, il *Padre*, è assiomatica, rappresentando il *Padre* colui da cui discende ogni cosa, dunque il *Tutto* (in greco *Pantos*), nel senso più ampio possibile, e, pertanto, possiamo considerare il *Padre* come la suprema impersonificazione di ciò che abbiamo chiamato il *Principio dell'Uno* [15]. Ci sembra, anche, di individuare l'*Amore*, tra le qualità distintive della prima persona della Trinità, inteso sia come l'unione armonica insita nel *Tutto* (che non esclude, anzi *include* l'ordine e la legge), sia nel suo significato più squisitamente etico. Vi è, infatti, nella Bibbia, un continuo richiamo all'etica della creazione. Leggiamo, ad esempio, nei primi versi della Genesi, che ogni atto creativo è seguito dalla frase "*e Dio vide che era cosa buona*", sottintendendo che quella cosa creata avrebbe portato *bene*, non danno. E, a questo proposito, non possiamo sottacere il fatto, che ogni qual volta l'umanità ha perduto questo senso del *bene*, abbandonandosi alla mercé della sola scienza, ossia del *logos* (come nella Torre di Babele), dimenticando l'*Amore*, si sarebbe allontanata da Dio – e si sarebbe autodistrutta, se Iddio non avesse mandato il Figlio a redimerla e a riportarla sulla retta via.

Quanto alla terza persona, lo *Spirito Santo*, possiamo di nuovo richiamare la Genesi (*lo Spirito di Dio aleggiava sulle acque*), osservando che, in essa, la parola *Spirito* traduce il termine ebraico *Ruahee* che ha come significato primario *soffio, aria*, *vento*[18]. Infatti, sul mondo informe si posa il *soffio di Dio* e la sua discesa produce il miracolo della creazione con la trasformazione del *caos* in *cosmos*, cioè del disordine in ordine, dell'indeterminazione in distinguibilità. Ed è ancora lo Spirito Santo il mezzo col quale il Padre trasmette le sue peculiarità al Figlio[19] e al creato, mantenendo l'unità e la qualità della creazione. In definitiva, dunque, lo Spirito Santo sembra fungere da *trait d'union* tra *Padre* e *Figlio* e tra *Padre* e il creato. La terza persona della Trinità può dunque interpretarsi come mediatrice dell'unione dell'*Uno* col *Due*, come mostrato simbolicamente in Fig. 9. In questa figura è evidenziato come il tronco dell'*Uno* si sia biforcato nel *Due* disegnando una Y rovesciata (la Y di *Yaveh*, nome usato per indicare il Padre in ebraico, che significa "*Io sono*") . . . una mera coincidenza.

La legge

Ancora oggi, gli uomini di scienza rimangono stupiti dalla matematica perfezione dell'universo e non solo dal movimento preciso e regolare degli astri, ma anche dalle delicatissime ed equilibrate reazioni termonucleari all'interno delle stelle, che sono fonte di energia per gli esseri viventi, dalla incredibilmente rara e perfetta nascita della molecola autoreplicantesi che sta alla base di ogni forma di vita e da mille altre cose basate sul numero e su semplici e potenti leggi matematiche, che sarebbe impossibile enumerare in questa sede, nemmeno sommariamente. Ricordo anche i *numeri magici* [20], come π ed *e* (base dei logaritmi naturali), e soprattutto il 137, inverso della *costante di struttura* degli edifici atomici (quindi, dell'universo che con essi è costruito), che è un numero indipendente da qualsiasi unità di misura, cioè dal nostro metro umano, e che, se fosse di valore lievemente inferiore o lievemente superiore sfascerebbe l'universo. Tutto ciò è preesistente e tuttora "resistente" alla scienza moderna: nessuno è, infatti, riuscito finora a darne una spiegazione o a ricavarlo da altri numeri magici.

Sulla *legge*, scienza e Bibbia sono d'accordo: l'universo è visto come un prodotto della *legge* (il *lo-*

gos), più che del *caso* e l'osservazione anche superficiale della struttura e dell'evoluzione dell'universo ci suggerisce che le leggi che lo governano non siano accidentali o casuali.

Anche accettando l'idea di un universo che non abbia avuto bisogno di alcun impulso soprannaturale per mettersi in moto, un universo, cioè, che sia per intero il prodotto di leggi naturali accessibili alla scienza, non si potrà mai negare che esso possieda un'unità e un'armonia da cui traspare insistentemente una forte intenzionalità. D'altra parte, la legge, il *logos* della Genesi, *era in principio, era con Dio ed era Dio*.

Una definizione (più pagana) della legge si deve al tedesco Hermann Haken, fondatore della "sinergetica", che la definisce come l'*invariante di trasformazione* di ogni processo evolutivo, applicabile al "comportamento collettivo di molti individui, siano essi atomi, molecole, cellule, animali o uomini", quindi alla fisica quantistica, alla chimica, alla biologia, all'ecologia, e persino alla sociologia e all'economia [21]. Un concetto simile fu espresso anche da Jacques Monod quando, a proposito del DNA, ne evidenziava "il potere di riprodurre e di trasmettere – *ne varietur* – l'informazione corrispondente alla loro struttura. Informazione molto ricca, poiché descrive un'organizzazione straordinariamente complessa che però si conserva integralmente da una generazione all'altra. Designeremo questa proprietà con il nome di *riproduzione invariante* o, semplicemente, di *invarianza*" ([16], p. 23).

La legge, dunque, impone ciò che non deve cambiare (il *ne varietur*) passando da un aggregato di ordine *n* all'aggregato di ordine *n+1* che ne deriva. Sono invarianti di trasformazione, cioè *leggi* del mondo atomico e subatomico, le *conservazioni* dei vari numeri quantici (principale, spin, spin isotopico, numero barionico, numero leptonico, carica elettrica e carica di colore), conservazioni che debbono essere rispettate nelle reazioni fisiche. Salendo all'apice della scala evolutiva, la formazione delle società richiede di statuire ciò che deve rimanere invariante (il *ne varietur*) per favorire l'aggregazione, ossia una serie di vincoli o *leggi* che debbono essere rispettate, limitando in parte la libertà dei singoli individui che la compongono. In definitiva, dunque, mentre tutto cambia, qualcosa deve rimanere invariato: ciò che è scritto nella *legge* e che porta il marchio degli albori del nostro universo.

Oltre la mente

Abbiamo indagato sulla nascita e sull'evoluzione dell'universo nel modo più razionale possibile, ricorrendo a leggi, numeri ed eventi descrivibili con parole del nostro linguaggio.

D'altra parte, la civiltà occidentale è fortemente orientata alla conoscenza analitica, ossia a quella che viene comunemente definita *scienza*, controllata dall'emisfero sinistro del nostro cervello. Lord Kelvin sosteneva fortemente questo concetto, affermando che la conoscenza non espressa da un numero non è vera conoscenza ma solo l'inizio di una conoscenza. Il riferimento al *Principio del Due,* ossia al *Logos*, è evidente.

D'altra parte, i nostri cinque sensi inviano al nostro cervello continui flussi di informazioni che vengono elaborate come in un elaboratore elettronico, basato sulla logica di Boole: come risultato, il nostro cervello ci fornisce una immagine di quella *realtà fisica* o *realtà oggettiva* che noi chiamiamo *realtà percepibile*. Laddove ci è precluso di osservare la realtà fisica con i nostri sensi o con i più sofisticati strumenti di misura da noi ideati, abbiamo usato la matematica, scoprendo un mondo immenso di una *realtà non percepibile ma immaginabile* (Fig. 10), che sta al di là della barriera di Heisenberg, che potremmo anche chiamare *barriera sensoriale*[20]. Abbiamo così scoperto il *vuoto quantico* e i suoi abitanti, le *particelle virtuali*, nonché le modalità con le quali questi abitanti si addentrano e agiscono nel nostro mondo *reale*, attraversando quella che potremmo chiamare la *galleria probabilistica*, scavata nel muro dell'indeterminazione di Heisenberg (Fig. 10).

Nonostante i grandissimi meriti che la conoscenza analitica ha portato al mondo occidentale, nei paesi orientali, come India ed Estremo Oriente, si pone l'accento sulla conoscenza olistica o estatica[21], cioè sintetica, che raggiunge l'acme con la cosiddetta *illuminazione* (*enlightenment*), consistente nella totale unione dell'osservatore (estatico) con l'universo [22].

Per raggiungere questo stato occorre far tacere il nostro emisfero sinistro (analitico o booleano) e potenziare le capacità emozionali e artistiche del nostro emisfero destro. Il riferimento al *Principio dell'Uno*, ossia al *Pantos*, è evidente.

La critica che le dottrine orientali rivolgono alla

---

[17] Ricordiamo, incidentalmente, che la *verità* è un concetto basilare della teoria dell'informazione (logica di Boole), basata sulla distinzione binaria o bit (*si/no*, *vero/falso*) e che essa, essendo contrapposta alla falsità, comporta il ricorso alla *ragione*, cioè al *Logos*.

[18] Vedasi anche:

[Giobbe, 33, 4] *Lo spirito di Dio mi ha creato e il soffio dell'Onnipotente mi dà vita.*

[Isaia, 11, 2] *Su di lui si poserà lo spirito del Signore, spirito di sapienza e di intelligenza, spirito di consiglio e di fortezza, spirito di conoscenza e di timore del Signore.*

[Isaia, 31, 15-17] *Ma infine in noi sarà infuso uno spirito dall'alto; allora il deserto diventerà un giardino e il giardino sarà considerato una selva. Nel deserto prenderà dimora il diritto e la giustizia regnerà nel giardino. Effetto della giustizia sarà la pace, frutto del diritto una perenne sicurezza.*

[19] [Isaia, 42, 1-2]: Pittura morale del Messia. *Ecco il mio servo che io sostengo, il mio eletto di cui mi compiaccio. Ho posto il mio spirito su di lui; egli porterà il diritto alle nazioni.*

[Isaia, 48, 16]: … *Ora il Signore Dio ha mandato me insieme con il suo spirito.*

[20] Ricordiamo i famosi "esperimenti intellettuali" di Einstein, certamente compiuti in modo non tangibile, solo con la mente, fidando sulla ferrea logica che, se ben inquadrata nelle conoscenze acquisite e se non viola le regole eterne della matematica, non può che portare a un risultato che, prima o poi, i fisici sperimentali riusciranno a provare e a rendere manifesto, come in realtà è avvenuto moltissime volte nella storia della scienza.

[21] *Ekstasi*s, in greco, vuol dire *unione*.

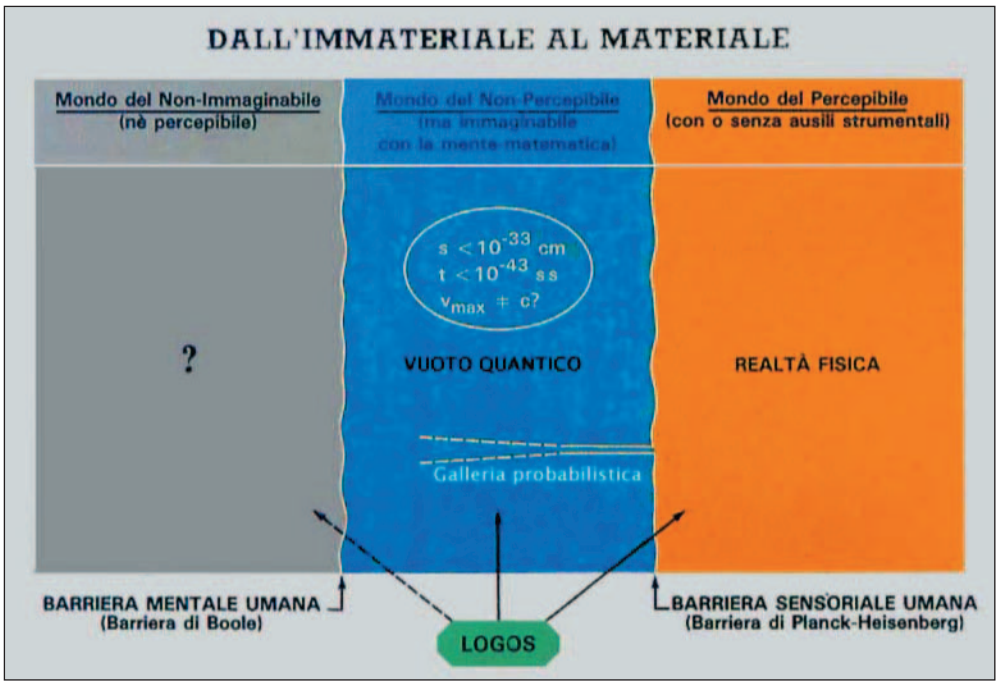


Fig. 10.
Barriera sensoriale (Planck-Heisenberg) e barriera mentale (Boole)

conoscenza analitica è che essa porta alla polverizzazione informatica della *realtà oggettiva*, in quanto essa deve essere sminuzzata (quindi distrutta) in un numero spesso elevatissimo di bit. Per valutare meglio la differenza fra la conoscenza analitica e quella sintetica, immaginiamo di osservare il tramonto del sole in una sera d'estate e di volerlo memorizzare su un elaboratore: dovremo fornirgli un fitto elenco di lunghezze d'onda dei colori percepiti, delle velocità dell'aria, dell'analisi chimica dei profumi percepiti, e così via, e ciò per ciascun punto e direzione dello spazio osservato. Il prodotto finale di questa analisi sarà un enorme pacco di tabulati, ossia una valanga di bit, col risultato che la realtà osservata è stata frantumata in minutissimi pezzetti di informazione, o bit, mediante il gioco della distinzione, cioè degli opposti, sul quale è basata la logica booleana di cui si ciba la scienza esatta e in base alla quale sono costruite le macchine [22, 23].

L'altro modo di osservare un tramonto d'estate è diametralmente opposto e si basa sull'unione, anziché sulla separazione; l'osservatore, che potremmo denominare *osservatore estatico*, per contrapposto all'*osservatore booleano*, quasi dimentica la propria identità, immergendosi nel paesaggio osservato, o meglio, acquista una nuova identità, sentendosi parte del tutto, cioè riscoprendo dentro di sé un ricordo senza tempo di ciò che osserva, o addirittura sentendosi osservato quanto osservatore, in una armonia col tutto che gli dà gioia e serenità, cosa ben difficile da farsi da una macchina e ben difficile da raggiungere da parte di un osservatore booleano.

È anche da rimarcare che la conoscenza analitica incontra una insormontabile limitazione dovuta alla massima capacità operativa e di memorizzazione di ogni tipo di elaboratore, compreso quello umano (*barriera computazionale*) [18]. Ad esempio, risulterebbe impossibile conoscere tutti gli stati di una mole di gas (ad esempio, di soli 28 kg di azoto), in quanto ci occorrerebbero 10^{28} bit, valore enormemente superiore alla capacità di qualsiasi elaboratore.

Dunque, il *logos* si arresta dinanzi alla barriera dei grandi numeri che derivano dallo spezzettamento in bit della realtà oggettiva. Forse anche per questo motivo la Bibbia ammonisce: *Molta sapienza molto affanno* (Qoèlet, 1, 18).

Infine, dobbiamo renderci conto che il nostro meraviglioso universo potrebbe non essere l'unico esistente, anche se non abbiamo elementi per affermarlo o negarlo con certezza. Del resto, la matematica stessa [23] ci ha indicato la possibile esistenza di un mondo duale del nostro, i cui abitanti, i *tachioni*, vivrebbero confinati in un effimero intervallo di *tempo,* mentre occuperebbero un vastissimo spazio, grazie alla loro velocità superluminale. Non possiamo incontrarli, né loro possono incontrare noi *bradioni*, perché i due mondi appaiono separati dai *fotoni*, quelle magiche entità che viaggiano sempre ed esattamente alla velocità della luce dalla loro nascita alla loro morte. Non possiamo escludere, tuttavia, che messaggeri tachionici (superluminali) possano essere i veri responsabili di molti fenomeni paranormali, quali la precognizione, dei quali è stata recentemente accertata l'attendibilità. Infine, una limitazione fondamentale alla nostra acquisizione di conoscenza è data dalla struttura della nostra mente analitica. Esiste cioè, oltre alla barriera sensoriale di Planck-Heisenberg, una barriera della logica umana, che potremmo chiamare *barriera di Boole*, che ci impedisce di immaginare ciò che non è né percepibile né immaginabile, ma che, con tutto rigore, non possiamo escludere possa avere un senso in universi a noi sconosciuti e costruiti con logiche diverse da quella della mente umana (~~Fig. 9)~~.

In altre parole, non possiamo negare che possano anche esistere universi (potenzialmente usciti dalla rottura della simmetria di ~~Fig. 5)~~ che né il *logos* né il *patos* – cablati nei nostri due emisferi – possano riuscire a comprendere e descrivere. Dalla struttura del nostro cervello, infatti, difficilmente potrebbero sorgere teorie *illogiche*, cioè contrastanti con le qualità di ordine, bellezza, simmetria, armonia e uni-

cità che quotidianamente riscontriamo nell'architettura del nostro universo. Tenderemmo a definire illogico, pazzesco o impossibile tutto ciò che non si incastra nel mosaico della logica booleana con la quale è costituito il nostro sistema nervoso centrale. Occorrerebbe, forse, una "pazzia mentale" (o anche vari tipi di pazzia mentale) per contemplare altre "logiche" o altre "regole" non booleane – o *non regole* – sulle quali potrebbero essere fondati altri universi, senza metriche e senza orologi, ossia senza spaziotempo.

Conclusioni

Dalle tre parti di questo lavoro è emerso chiaramente il ruolo fondamentale dell'informazione in ogni fase evolutiva del nostro universo, ininterrottamente, dall'istante della sua nascita all'era attuale e ai suoi possibili sviluppi futuri. Si può dire che l'informazione ha dato vita all'universo col più semplice atto informativo di 1 bit: la scelta del *Si* tra due sole possibilità, *Si/No*, ed è poi montata a cavallo della materia, rendendo probabile l'improbabile e continuando ad espandersi, al punto che l'intera storia dell'universo possa essere considerata come il viaggio dell'informazione nello spaziotempo.

Il traguardo raggiunto dall'informazione con l'emersione della specie umana, caratterizzata da 10 gigabit di struttura, da oltre 10 gigabit al secondo di capacità di interazione, e da una capacità di elaborazione di un milione di gigabit di operazioni al secondo (1000 teraflops[22]) [18] appare stupefacente. Infatti, in base al teorema di Bekenstein [19], appare che la capacità di elaborazione del cervello umano eguaglia la massima velocità operativa possibile di un sistema autonomo. Ciò equivale a dire che nessuna macchina fisica, passata, presente o futura, potrà essere in grado di superare la capacità operativa del cervello umano, capacità che è anche la massima riscontrata nella biosfera. E, per di più, questa rara virtù pare esistere soltanto nel pianeta terra. Che abbiamo fatto per meritare tanto?

Il viaggio dell'informazione nello spaziotempo vede l'informazione allo stato puro, al tempo di Planck, perché allora non esisteva materia, né energia, né spaziotempo. Subito dopo, l'informazione compare come *probabilità* (vedasi l'indeterminazione di Heisenberg o la funzione d'onda di Schrödinger, che definiscono una "regione di incertezza", all'inizio ampia poi sempre più ristretta, in cui si può localizzare una particella); quindi, si manifesta nello spaziotempo e poi, nella materia, diventa stabilmente percepibile e completamente legata (*bound information*) e governa le interazioni e le trasformazioni della materia/energia.

Riassumiamo ora le più importanti conclusioni del nostro lavoro:

– Gli enti che sono emersi man mano durante l'evoluzione dell'universo sono caratterizzati da contenuti informativi, sia di struttura che di interazione, continuamente crescenti.
– L'evoluzione dell'universo si è manifestata attraverso un numero notevole ma finito di *salti* generazionali (*scale*), ciascuno dei quali ha dato vita a una sua particolare *fauna*, ottenuta per aggregazione degli elementi (alfabeto) della *fauna* precedente.
– Oltre agli oggetti elementari materiali, esistono enti invisibili che esercitano un ruolo importante nell'universo materiale, ossia le forze. Queste, dalla forza di gravità alla forza nucleare forte e alla forza elettromagnetica, mantengono uniti i vari aggregati e provengono dal cosiddetto vuoto quantico, dal quale prendono in prestito la loro energia.
– Anche le forze hanno i loro antenati, e anch'esse sono comparse a gradini nell'universo, partendo da un'unica *superforza* operante al tempo di Planck.
– Molte trasformazioni dell'universo da un gradino al successivo sono avvenute perché *dovevano* avvenire (la probabilità di occorrenza era altissima), ma altre, di fondamentale importanza, hanno portato all'emersione di forme altamente improbabili, richiedendo, quindi, valori elevatissimi di informazione. La stessa nascita dell'universo (*big bang*) è avvolta nel mistero, parzialmente attenuato dalla considerazione che una infinitesima probabilità contenuta in un oceano di infinite possibilità, il vuoto quantico, dà, comunque un risultato finito, non nullo, come quello che, in realtà, si è realizzato.
– L'emergenza di strutture altamente improbabili ha la sua lontana causa nell'emergenza dal vuoto quantico della forza repulsiva (*soffio divino?*) che ha impresso all'universo una spinta fortissima, che lo ha fatto uscire dal suo stato di buco nero rovente e portato ad espandersi e contemporaneamente a raffreddarsi ininterrottamente, così che potessero emergere forme sempre più aggregate ed evolute. Sorprendente, ed estremamente improbabile, è il fatto che l'espansione prodotta da quella forza repulsiva sia avvenuta con una rapidità esattamente calibrata da indirizzare l'universo verso un particolare stato meraviglioso, scansando per un pelo due catastrofi di segno opposto.
– All'istante GUT, quando la fase inflattiva (esponenziale) dell'universo stava per concludersi, ebbe inizio l'espansione con rapidità inferiore (con la radice del tempo), emersero quark ed elettroni (*leptoni*) e la forza nucleare forte si separò dalle altre due (Fig. 4).
– Per quanto concerne il successivo *bagno di fotoni*, avvenuto al tempo di 1 picosecondo, potremmo dire che esso era abbastanza probabile, poiché il raffreddamento progressivo dell'universo rendeva sempre meno probabile la creazione di coppie di materia-antimateria, e per conseguenza portava inevitabilmente all'annichilazione di quelle esistenti, quindi all'emissione di fotoni γ. Ma il fatto estremamente improbabile – e che, invece, avvenne – era l'esistenza di un eccesso di mate-

[22] Il prefisso *giga* equivale a una potenza di 10^9, mentre il prefisso *tera* equivale a una potenza di 10^{12}. Quanto all'abbreviazione *flops*, essa proviene dall'inglese *floating point operations per second*, ossia di *operazioni in virgola mobile al secondo*, ed indica la velocità operativa di un elaboratore.

ria sull'antimateria di una parte su un miliardo, eccesso che, guarda caso, diede origine a tutta la materia esistente oggi nel nostro universo[23].

– Continuando nella escussione degli eventi sorprendenti, possiamo citare la formazione delle galassie, che, secondo le più accreditate teorie, furono originate da piccole disuniformità (*grumi*) esistenti nel vuoto quantico, che in seguito divennero grumi di materia, intorno ai quali si formarono le galassie. Ci possiamo, tuttavia, chiedere qual'era la probabilità che l'universo restasse assolutamente uniforme, cioè senza *grumi*.
– Il successivo evento – decisamente improbabile in base al teorema di Wigner – fu l'emergenza della molecola autoreplicantesi (DNA, RNA) dal brodo primordiale, responsabile della trasmissione dei fattori ereditari agli esseri *biologici* che da essa deriveranno. Con l'avvento del DNA, che segna la nascita della biosfera, l'interazione con l'ambiente diviene condizionata dai requisiti di *Sopravvivenza, Persistenza e Replicazione* (SPR), iscritti nel DNA degli esseri biologici.
– Assistiamo poi ad una ulteriore evoluzione della natura dell'interazione informatica con l'ambiente esterno, causata dalla nascita del sistema nervoso centrale (cervello), che segna il passaggio dal comportamento lamarckiano (a *logica cablata*) come quello delle api, all'autoapprendimento tipico dei mammiferi superiori (con *logica adattativa*). Assistiamo, in particolare, alla crescita del cervello umano a dimensioni e struttura superiori, prima ancora che si manifesti la necessità di essere utilizzato nelle sofisticate manualità dell'*homo habilis* o nel linguaggio evoluto dell'*homo sapiens* (fatto che contraddice il legame causa-effetto della *selezione naturale*). E infine, meraviglia delle meraviglie, apprendiamo dal teorema di Bekenstein che il cervello umano rappresenta la massima capacità autonoma di elaborazione possibile nell'universo.
– La nascita di Gesù è, infine, l'ultimo quadratino arancione nelle fasi evolutive della biosfera (Fig. 3. della Parte I), l'ultimo *miracolo* registrato nel nostro *escursus* sulla storia dell'universo. Sia per rispetto che per chiara nostra incompetenza ci asteniamo dal fare accostamenti e tentare interpretazioni al di là di una sola, semplicissima riflessione sul suo insegnamento, che invita a coniugare la *Verità* con l'*Amore*.

La scienza, a più riprese, nella sua storia, ha tentato di negare l'intervento divino nella creazione e nei salti generazionali dell'universo, ricorrendo a concetti quali il *codice cosmico* – il codice genetico dell'universo – il *principio antropico*, ovvero ancora elaborando teorie alternative, come quella di Fantappié sui *potenziali ritardati* o *cause finali*. Tuttavia, quanto al *codice cosmico*, è chiaro, dagli eventi descritti, che il programma in esso iscritto non era previsto per svolgersi in modo completamente automatico, in quanto ha richiesto, di tanto in tanto, per così dire, un intervento dell'*operatore*. Quanto alle teorie delle *cause finali*, esse partono dalla constatazione che esiste un unico universo capace di ospitare la vita e giustificano l'evoluzione dello stesso come l'insieme degli eventi necessari per giungere a produrre l'essere più evoluto e perfetto che esista: l'uomo. Tuttavia, in un modo o nell'altro, l'evoluzione dell'universo ha seguito uno schema (dal principio alla fine o dalla fine al principio) preordinato … ma da chi?

Ma la cosa più portentosa di tutte è che ci è concesso di comprendere le meraviglie del creato. Anche soltanto per questo dono, non dovremmo dubitare di essere stati creati a immagine e somiglianza di Dio, e saremmo persino tentati di dar ragione al serpente che convinse i nostri progenitori a mangiare i frutti dell'albero della conoscenza, quando disse ad Eva che "*si aprirebbero i vostri occhi e diventereste come Dio*" (Genesi, 3, 5). Ma, in tal caso, trascureremmo l'aspetto più importante della conoscenza, cioè il valore del *bene* che dovremmo dare ad ogni minuscolo frammento di conoscenza e dei mattoni di cui la conoscenza è fatta, l'*informazione*. Dio, infatti, in ogni atto della sua creazione, si accertava che fosse *cosa buona*. Non dimentichiamo, inoltre, che l'albero della conoscenza era l'*albero della conoscenza del bene e del male*. Dunque, è evidente che il Creatore ha sempre conseguito l'armonia di ogni singolo atto creativo con il disegno più vasto di tutto il creato e coi fini che il creato doveva raggiungere, quali l'esistenza della vita e dell'uomo [24].

In altre parole, l'*Informazione* non ha avuto, non ha, e non avrà gran valore se non unita all'*Amore*, come, d'altronde, è provato dall'esistenza nell'uomo, creato a somiglianza di Dio, dell'emisfero cerebrale sinistro, analitico e depositario del *Principio del Due* – l'*Informazione*, e dell'emisfero destro, olistico e depositario del *Principio dell'Uno* – l'*Amore.*

[23] Le teorie grandunificate sostengono, invece, che questo evento era *probabile,* in quanto previsto dall'emergenza del *bosone X.*

Bibliografia

[1] Catania, Basilio, *I molti aspetti dell'informazione - Parte I: Evoluzione della biosfera*, Omar nuovo n. 17, A. IX, aprile 2006, p. 5-18, articolo tratto da una conferenza tenuta dall'autore alla Sezione di Milano dell'AEI (oggi AEIT) il 13 marzo 1986

[2] Catania, Basilio, *I molti aspetti dell'informazione - Parte II: Evoluzione della materia inanimata*, Omar nuovo n. 19, A. X, aprile 2007, p. 5-18, articolo tratto da una conferenza tenuta dall'autore alla Sezione di Milano dell'AEI (oggi AEIT) il 10 aprile 1986

[3] Catania, Basilio, *Action unit as a primary unit in SI*, Conferenza tenuta il 22 settembre 1988 al Convegno Internazionale "Giovanni Giorgi and his Contribution to Electrical Metrology," p. 101-106 dei Proceedings, pubblicati dal Politecnico di Torino nel 1990

[4] Davies, Paul, *Superforza – Verso una teoria unificata dell'universo*, Mondadori Editore, Milano, 1986 (trad. dall'inglese, 1984)

[5] Casimir, Hendrick B.G., *Proceedings of the Royal Academy of Nederland, Wetensch.* B **51**, 793 (1948)

[6] Einstein, Albert, *Space-time*, in Encyclopedia Britannica, 14th edition, 1922, XXI, 105-108

[7] Barrow John D., Silk, Joseph, *La mano sinistra della creazione - Origine e creazione dell'universo*, Saggi A. Mondadori, Milano, 1985

[8] Guth, Alan H., *The Inflationary Universe: A Possible Solution to the Horizon and Flatness Problems*, Phys. Rev. D 23, 347 (1981)

[9] *Unification, spacetime foam, quantum vacuum, quantum fluctuations*, University of Oregon, Astronomy 123, Lecture 17, posted at http: //abyss.uoregon.edu/~js/ast123/lectures/lec17.html

[10] *Timeline of the Big Bang*, posted at http://en.wikipedia.org/wiki/Timeline_of_the_Big_Bang/, Wikipedia, the free encyclopedia, 27 November 2006

[11] *String Theory*, posted at http://en.wikipedia.org/wiki/String_theory, Wikipedia, the free encyclopedia, 2006

[12] Wheeler, John Archibald, *Geometrodynamic*s, Academic Press, New York, 1962

[13] *Spontaneous symmetry breakin*g, posted by Wikipedia, the free encyclopedia, at http://en.wikipedia.org/wiki/Spontaneous_symmetry_breaking

[14] Catania, Basilio, *Genesi e Apocalisse: il viaggio dell'informazione nello spaziotempo*, Conferenza del 15 marzo 1987 presso l'Aula Magna della Pontificia Università di San Tommaso (*Angelicum*), Roma, pubblicata su *Il Fuoco* (Ed. Studium Christi), Roma, A. XXXV, N. 2, 2° Trim. 1987, pp. 11-24 e successivamente su Omar nuovo n. 16 (Novara), A. VIII, novembre 2005, p. 5-14

[15] Catania, Basilio, *Dal Caos all'ordin*e, L'Elettrotecnica, Vol. LXXIV, N. 5, maggio 1987, pp. 445-452 (tratto da una conferenza tenuta all'AEI, Sezione di Milano, il 18 dicembre 1986)

[16] Monod, Jacques, *Il Caso e la necessità - Saggio sulla filosofia naturale della biologia contemporanea* (traduzione da *Le hasard et la nécessité - Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne*, Paris, Éditions du Seuil, 1970), Arnoldo Mondadori Editore, Milano, VIII Edizione, 1976

[17] Rocci, Lorenzo, *Vocabolario Greco-Italiano*, Società Editrice Dante Alighieri, Roma, 1990

[18] Catania, Basilio, *Dall'Elettronica alla Fotonica e dalla Fotonica alla Bionica,* L'Elettrotecnica, Vol. LXXVII, N. 7, luglio 1990, pp 27-43.

[19] Bekenstein J. D., *Energy Cost of Information Transfer*, Physics Revue Letters Vol. 46 No. 10, 9 March 1981, pp. 623-626

[20] Harrison, Edward R., *Cosmology - The Science of Universe*, Cambridge University Press, 1981, p. 333-338

[21] Haken, Hermann, *Sinergetica – Il segreto del successo della natura*, Boringhieri Editore, Torino, 1983 (trad. dal tedesco, 1981)

[22] Catania, Basilio, *The Physics of the Boolean Observer,* Proceedings of the International Symposium "Communication, Meaning and Knowledge vs. Information Technology", Lisbon, 13 September 1989, APDC & SPF, 1992, pp. 317-326.

[23] Catania, Basilio, *Azione e informazione: le due facce della fisica*, Media Duemila, A. VI, N. 7, luglio-agosto 1988, pp.144-153

[24] Catania, Basilio, *L'albero della vita: Vita e conoscenza nel giardino dell'Eden*, Il Fuoco (Studium Christi), Roma, A. XXXVII, N. 2, 2° Trim. 1989 (Conferenza tenuta presso l'Aula Magna della Pontificia Università di S. Tommaso, *Angelicum*, Roma, 5 marzo 1989) e successivamente su Omar nuovo n. 15 (Novara), A. VIII, maggio 2005, p. 5-8.