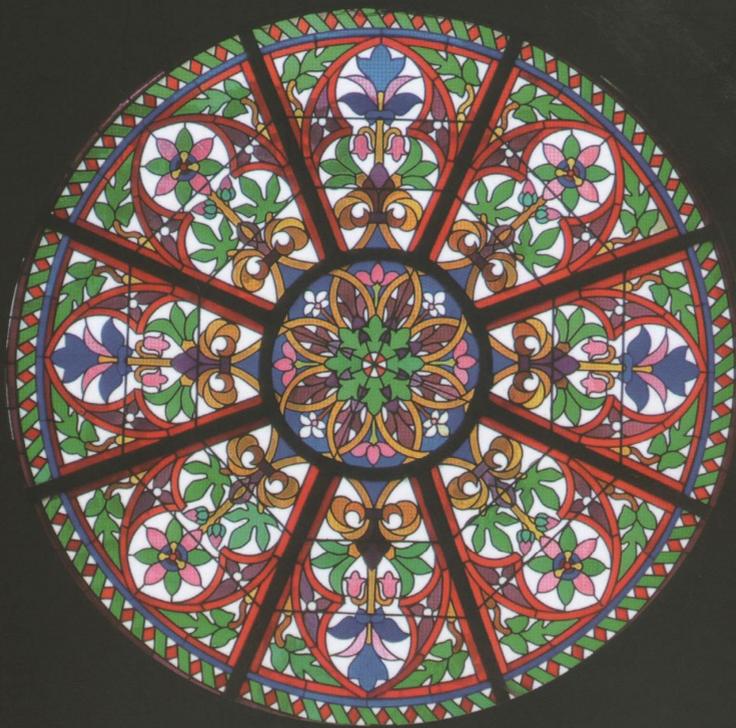




Grzegorz P. Karwasz

SCIENZA E FEDE

UN BREVE MANUALE



A02

Grzegorz Karwasz

Scienza e fede

Un breve manuale





Aracne editrice

www.aracneeditrice.it

info@aracneeditrice.it

Copyright © MMXIX

Gioacchino Onorati editore S.r.l. – unipersonale

www.gioacchinoonoratieditore.it

info@gioacchinoonoratieditore.it

via Vittorio Veneto, 20

00020 Canterano (RM)

(06) 45551463

ISBN 978-88-255-2955-5

*I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica,
di riproduzione e di adattamento anche parziale,
con qualsiasi mezzo, sono riservati per tutti i Paesi.*

*Non sono assolutamente consentite le fotocopie
senza il permesso scritto dell'Editore.*

I edizione: dicembre 2019

*Dedico questo libro alla memoria
del mio carissimo amico
Avv. Mario Fedrizzi*

Dio creò l'uomo a sua immagine;
a immagine di Dio lo creò; ma-
schio e femmina li creò.

Genesi, 1,27

Indice

13 *Premessa*

15 *Capitolo I*

La Scrittura e la filosofia

1.1. Introduzione, 15 – 1.1.1. *Questi bravi scienziati che sanno tutto*, 16 – 1.2. La Creazione o Big Bang?, 16 – 1.3. “In principio”, 18 – 1.4. Proviamo a costruire il mondo?, 19 – 1.5. L’universo eterno?, 21.

25 *Capitolo II*

Fisica e cosmologia

2.1. I “principi” nella fisica, 25 – 2.2. I principi di conservazione, 26 – 2.2.1. “*I principi della fisica*”, 27 – 2.3. Due paradossi del cielo, 30 – 2.4. Einstein e la relatività, 31 – 2.5. L’ascensore in caduta libera, 34 – 2.6. Planck: di che colore è il Sole?, 37 – 2.7. Aristotele: la vita delle stelle, 39 – 2.8. La fuga delle galassie, 42 – 2.9. Le supernove, 44 – 2.10. Il dito di Dio, 47 – 2.11. I nostri limiti cosmologici, 49 – 2.11.1. *Il terrore del buco nero*, 50.

53 *Capitolo III*

L’infinitamente piccolo

3.1. L’uomo: la dimensione intermedia, 53 – 3.2. A–tomos, cioè in–dividuo, 54 – 3.3. Gli efluidi, cioè i fotoni, 56 – 3.4. Perché si vedono i colori?, 59 – 3.5. Gli atomi con i gancetti, 60 – 3.6. Perché la chimica?, 64 – 3.7. Bohr: l’atomo quasi vuoto, 67 – 3.8. Schrödinger: la funzione d’onda, 69 – 3.9. Heisenberg: la certezza dell’incertezza, 72 – 3.9.1 *La crittografia quantistica*, 73 – 3.10 Skłodowska–Curie: dividere l’in–divisibile, 74 – 3.11. L’energia delle stelle, 76 – 3.12. Le particelle “elementari”, 78 – 3.13. Invisibile, penetrante, pericolosa, benefica, 79 – 3.14. Gell–Mann: i quark, 82 – 3.15. Weinberg: i primi tre minuti, 85 – 3.16. Il televisore in bianco e nero, 88 – 3.17. In un battibaleno, 90 – 3.18. Ricalcolo delle dimensioni, 93.

97 *Capitolo IV*

“E chiamò l’asciutto Terra”

4.1. “Il terzo giorno”, 97 – 4.2. Un pianetino alle periferie, 99 – 4.3. Perché esistono le stagioni?, 100 – 4.4. Un satellite, cioè un compagno, 102 – 4.5. Bacone: la Pasqua precoce, 104 – 4.6. Perché avvengono i terremoti?, 106 – 4.7. Perché non c’è vita su Marte?, 108 – 4.8. Un cuore di ferro, 110 – 4.9. Il Pianeta si autoregola, 112 – 4.10. Una Terra per l’uomo, 114 – 4.11. La vita oltre la Terra?, 116.

119 Capitolo V

“Una moltitudine di esseri viventi”

5.1. Dall'inorganico all'organico, 119 – 5.2. Il brodo primordiale, 123 – 5.3. La vita dalle comete?, 124 – 5.4. Sulla Terra molto calda, 126 – 5.5. Il pianeta verde, 129 – 5.6. Negli abissi degli oceani, 130 – 5.7. DNA – un po' duro, un po' morbido, 132 – 5.8. I geni: un po' di combinatoria, 134 – 5.9. Un codice perfetto?, 135 – 5.10. Le dieci invenzioni della vita, 136 – 5.11. Perché tutto questo spreco?, 140 – 5.12. Un'evoluzione cieca?, 142 – 5.13. Possiamo costruire una vita artificiale?, 145.

147 Capitolo VI

“L'uomo e la donna, li creò”

6.1. L'uomo deriva dalla scimmia?, 147 – 6.2. Un albero molto ramificato, 149 – 6.3. Su due gambe, 151 – 6.4. L'Homo erectus: il grande camminatore, 152 – 6.5. La scoperta del fuoco, 155 – 6.7. Eva mitocondriale, 159 – 6.8. Un Adamo in comune, 162 – 6.9. L'autocoscienza, 165 – 6.10. La cultura: un'esperienza determinante, 169 – 6.11. La torre di Babele: una realtà linguistica, 173 – 6.12. La voglia di scienza, 175 – 6.13. L'anima immortale, 179 – 6.14. Né angelo né bestia, 182 – 6.15. Il mondo pieno di angeli, 184 – 6.16. Da un soffio, 186 – 6.17. Per la mano di Dio, 187 – 6.18. Dicono, che è risorto, 188 – 6.19. I due mondi, 190.

191 Capitolo VII

Le testimonianze

7.1. Scienze umane e scienze “esatte”, 191 – 7.2. Platone: l'anima immortale, 193 – 7.3. Aristotele: le quattro cause, 195 – 7.4. Tommaso e la materia, 196 – 7.5. Copernico: ci saranno stolti, 201 – 7.6. Galileo: il metodo scientifico, 203 – 7.7. Cartesio: sensus communis, 206 – 7.8. Pascal: il mondo immenso, 207 – 7.9. Newton: Dio onnipotente e onnisciente, 209 – 7.10. Laplace: Universo orologio, 213 – 7.11. Kant: un cielo stellato, 214 – 7.12. La parte mancante, 218 – 7.13. Darwin: l'alito della vita, 219 – 7.14. Einstein: la cosa più difficile, 220 – 7.15. Planck: Un mondo senza religione sarebbe la fine, 222 – 7.16. Barrow & Tipler: Il principio antropico, 225 – 7.17. Davies: Dio e la Nuova Fisica, 229 – 7.17.1. *Ancora sulla “morte termica” dell'Universo*, 232 – 7.18. Messori: Qualche ragione per credere, 233 – 7.19. Separare il grano dalla pula, 235 – 7.20. Sottile è il Signore, 239.

241 Capitolo VIII

Rileggiamo ancora

8.1. “Un vento impetuoso”, 241 – 8.2. “E separò la luce dalle tenebre” – 243, 8.3. “Tutto quel che vive e guizza”, 245 – 8.4. “Una creatura vivente”, 247 – 8.5. L'albero della conoscenza, 250 – 8.6. Emmanuele, cioè Dio tra noi, 251.

253 Capitolo IX

Conclusioni

9.1. Sul costante progredire delle frontiere, 253 – 9.2. Perché Dio non ha fatto tutto in un click?, 256 – 9.3. In principio c'era il Logo, 257 – 9.4. Cinque “prove” dell'esistenza di Dio, 258 – 9.5. Sapiamo già tutto?, 259 – 9.6. San Giovanni Paolo II: le due ali, 260 – 9.7. Un risassunto, 263.

- 265 Capitolo X
Dieci domande
- 267 *Ringraziamenti*
- 269 *Bibliografia*

Premessa

Sembra che due mondi culturali, quello umanistico e quello scientifico, vivano vite separate: i fisici disdegnano Aristotele e i filosofi usano Heisenberg per sostenere tesi molto azzardate. Poi, il XIX secolo, con una serie di ideologie atee, ha decretato uno strappo tra la fede e le scienze naturali¹. Cercare la mente divina nella natura sembra collidere con il rigore scientifico.

Come una specie di antidoto, si citano spesso gli scienziati che, pur in quanto tali, cioè razionali, sono stati dei credenti. In questo libro mostriamo come la concordia tra la fede e il pensiero scientifico non è un'opinione soggettiva, che coinvolge solo i singoli scienziati, ma oggettiva e riguarda intere branche delle scienze naturali.

Tommaso d'Aquino, dottore della Chiesa Cattolica, comincia il trattato *Somma Teologica* indicando cinque "vie" per ragionare sull'esistenza di Dio. Quattro di loro si basano sulla metafisica: la deduzione su un Essere primo, causale, essenziale, superiore. La quinta via si basa sull'esistenza della natura e dell'ordine in essa, anzi, sul fine nascosto di questo ordine naturale²:

La quinta via si desume dal governo delle cose. Noi vediamo che alcune cose, le quali sono prive di conoscenza, cioè i corpi fisici, operano per un fine, come appare dal fatto che esse operano sempre o quasi sempre allo stesso modo per conseguire la perfezione: donde appare che non a caso, ma per una predisposizione raggiungono il loro fine. Ora, ciò che è privo d'intelligenza non tende al fine se non perché è diretto da un essere conoscitivo e intelligente, come la freccia dall'arciere. Vi è dunque un qualche essere intelligente, dal quale tutte le cose naturali sono ordinate a un fine: e quest' essere chiamiamo Dio.

Il nostro scopo è di identificare, passo per passo, questo ordine naturale, ovvero le leggi della natura (fisica, astronomia, chimica, biolo-

¹ Lo strappo riguarda anche la teologia e filosofia, come descritto nella memorabile enciclica di S. GIOVANNI PAOLO II, *Fides et ratio*, Vaticano 1998.

² TOMMASO D'AQUINO, *Somma Teologica*, I^a, q. 2, a. 3, co., trad. Frati Domenicani, Edizioni Studio Domenicano, 2014, p. 48.

gia, genetica, antropologia) nei loro dettagli specifici, per verificare che sono concordi con la Scrittura. Seguiamo qui le parole di Galileo, secondo cui la Natura è la più fedele osservatrice degli ordini divini.

L'ingente numero di citazioni, riferimenti bibliografici, illustrazioni e schemi che caratterizza questo libro è finalizzato a seguire le indicazioni di Sant'Agostino, che ammonì il teologo a essere preparato nel discorso con il matematico (cioè lo scienziato) e non essere ignorante nelle materie scientifiche, perché la sua incompetenza può ridicolizzare la fede.

Allora, l'insegnante di religione deve essere preparato non meno del professore di scienze. Per questo motivo è stato scritto questo manuale, per gli insegnanti e anche per i loro allievi, cioè tutti noi, credenti o meno.

La Scrittura e la filosofia

1.1. Introduzione

Il “Big Bang”, come dicono gli scienziati, o la “Creazione”, come dice la Bibbia³? Adamo ed Eva: i primi genitori della razza umana o solo una parabola con dei significati molto vaghi? La Torre di Babele o una parafrasi di un lavoro mal organizzato, come abbiamo letto su un sito internet italiano?

E l’evoluzione? Un’eresia o “non più che una mera ipotesi”, una teoria dotata di tutte le caratteristiche scientifiche, come si esprime San Giovanni Paolo II⁴?

Tante domande, semplici ma “pungenti”, che devono essere affrontate dagli insegnanti di religione, anche nella scuola elementare. Gli scienziati hanno screditato la Fede? No, assolutamente! Ve lo garantisce un professore ordinario di Fisica sperimentale, cattedratico di Didattica della fisica presso l’Università Niccolò Copernico di Toruń, che ha lavorato presso il Dipartimento di Fisica dell’Università di Trento dal 1985 al 2005 e che è consulente scientifico dell’Unione Europea, delle Nazioni Unite, della Repubblica di Corea, ecc.

³ La mancanza di un linguaggio concordato è un serio problema, in primo luogo per l’educazione. Nel settembre 2017, sulle pagine della più prestigiosa rivista americana «Science» No. 6354, p. 880, H.S. Silva si lamentò che in tredici stati americani viene insegnato “un progetto intelligente” piuttosto che una (semplificata) teoria dell’evoluzione. L’autore (GK) rispose che sia la mera evoluzione che l’enigmatico “progetto intelligente” hanno serie lacune, vedi la discussione nelle parti conclusive del libro e la risposta: <http://science.sciencemag.org/content/357/6354/880.1/tab-e-letters>.

⁴ «Oggi, circa mezzo secolo dopo la pubblicazione dell’Enciclica, nuove conoscenze inducono a non considerare più la teoria dell’evoluzione una mera ipotesi. È degno di nota il fatto che questa teoria si sia progressivamente imposta all’attenzione dei ricercatori a seguito di una serie di scoperte compiute nelle diverse discipline del sapere. La convergenza, non ricercata né provocata, dei risultati dei lavori condotti indipendentemente gli uni dagli altri, costituisce di per sé un argomento significativo a favore di questa teoria.» GIOVANNI PAOLO II, *Messaggio di Giovanni Paolo II ai partecipanti alla Plenaria della Pontificia Accademia delle Scienze*, Editrice Vaticana, 22.10.1996.

1.1.1. *Questi bravi scienziati che sanno tutto*

La scienza nel XX secolo ha fatto delle scoperte meravigliose: gli acceleratori di particelle elementari rivelano un mondo infinitamente piccolo, comunichiamo usando delle onde invisibili, i telescopi spaziali guardano i confini dell'universo, studiamo il passato fino dall'inizio del tempo. Sembra che il nostro sapere non abbia limiti, vero?

Per niente! Più sappiamo, più l'ignoto si apre davanti ai nostri occhi. Purtroppo, gli scienziati di solito raccontano solo le scoperte, ma raramente discutono dei dubbi che ne conseguono. Come dice il famoso fisico nucleare italiano, prof. Antonino Zichichi, nel libro *Perché credo in Colui che ha fatto il mondo?*, gli scienziati hanno costruito delle torri d'avorio, nelle quali si sono chiusi con il loro sapere. Serve una traduzione dal linguaggio scientifico a quello comune: un'opera molto complessa, sia per l'autore che per il lettore. Cominciamo dall'inizio, cioè dal cosiddetto "Big Bang"⁵. Il mondo venne creato o è il risultato di una bolla di materia scoppiata casualmente?

1.2. La Creazione o Big Bang?

Del cosiddetto "Big-Bang", l'inizio del mondo, tutti hanno sentito parlare. Fu un'esplosione immensa, che da un volume più piccolo di un'arancia ha messo in moto lo spazio immenso delle galassie odierne. Bang, e si è fatto l'universo intero! Il libro *I primi tre minuti* del premio Nobel Stephen Weinberg, un fisico di formazione agnostica, racconta come in un battibaleno da strane forme della materia primordiale si sono formati gli elettroni⁶, i protoni⁷ e i neutroni, che costitui-

⁵ Il nome, ironico, fu coniato da alcuni astronomi inglesi, avversari dell'idea che l'universo abbia avuto un inizio.

⁶ Gli elettroni sono le particelle più fondamentali che costituiscono la materia: ogni atomo contiene un numero specifico loro: idrogeno uno, elio due, litio tre, ecc. Secondo tutte le indicazioni sia teoriche che sperimentali, gli elettroni sono indivisibili e piccolissimi (con diametro dell'ordine di 10^{-15} m). Anche secondo tutte le indicazioni, gli elettroni non hanno componenti interni. La carica elettrica dell'elettrone è negativa e costituisce l'unità fondamentale: nessuna carica più piccola è stata mai separata in laboratorio. Gli elettroni sono molto leggeri: la vecchia TV a tubo catodico disegnava lo schermo spazzolandolo con un fascio di elettroni, deviato dal campo magnetico.

⁷ I protoni, più pesanti 1837 volte degli elettroni (in unità comode con la massa $911 \text{ MeV}/c^2$), sorprendentemente, hanno circa le stesse dimensioni, ma diversamente hanno dei componenti, che sono tre e si chiamano *quark*. Il protone è costituito da due quark chiamati *su*

scono tutto l'universo odierno (almeno così sembra). Nei primi tre minuti furono definite le proporzioni tra l'idrogeno e l'elio, i due gas più leggeri, che troviamo in tutte le galassie.

La scienza sembra qui in netto contrasto con il racconto biblico della *Genesi*, della Creazione in sette giorni. Anzi, nel suo insieme il "racconto" biblico sembra poco sensato: la formazione del Sole dopo quella del cielo e dell'acqua? Un unico padre e un'unica madre per tutto il genere umano? Un soffio che animò un plasmato d'argilla?

Tanti dubbi che nascono dalle scoperte delle scienze moderne pongono dubbi sulle verità della Fede. Come scrisse nel 1979 l'allora cardinale Ratzinger, sembra che negli ultimi secoli la fede abbia continuato ad arretrare su posizioni sempre più difensive, così che fra qualche tempo non ci saranno più i dogmi della Fede da rispettare⁸.

Il presente libro mira a invertire questa ritirata della Fede, ma non è un libro di apologetica: è un resoconto scientifico sulla fisica, la cosmologia, la genetica, la linguistica che mostra non solo i successi delle scienze ma anche i loro limiti, dove la scienza si ferma, lasciando spazio alla Fede. Cominciamo dalla cosmologia, anzi dalla filosofia o ancora meglio dal libro della *Genesi*. Che cosa dice la Bibbia, e che cosa dicono le scienze (fisica, matematica, biologia, antropologia, ecc.)?

La domanda principale è: l'Universo è eterno oppure ha avuto un inizio? Nella storia delle università medievali, la discussione sull'eternità del mondo portò atenei come Parigi e Oxford alla soglia dell'eresia⁹. Oggi non abbiamo dubbi: l'universo ha avuto un inizio. Ma gli argomenti da considerare sono tanti. Ecco il primo capitolo del Libro della *Genesi*.

(ing. *up*) e uno *giù* (*down*). Però i quark sono leggeri, *up* e *down* di circa 2,5 e 5,5 MeV/c², portano cariche frazionali (+2/3 e -1/3, rispettivamente) e, secondo tutte le indicazioni, non sono separabili. Il tempo di vita del protone supera, secondo gli esperimenti più recenti, l'età dell'Universo, almeno un miliardo di volte; in altre parole: i protoni (e anche gli elettroni) sono *stabili*.

⁸ J. RATZINGER, *In principio Dio creò il cielo e la terra. Riflessioni sulla creazione e il peccato*, «I Pellicani» – religione, cristianesimo, spiritualità, Edizioni Lindau, Torino 2006.

⁹ La domanda sull'eternità del mondo si rivelò essenziale agli albori della scienza moderna. Appena formatesi le prime università, negli anni sessanta e settanta del XIII secolo, in diversi luoghi, compresi Parigi ed Oxford, si svolse un dibattito intellettuale che professava l'eternità del mondo. Il vescovo di Parigi, Étienne Tempiere, condannò nel 1277 le 210 tesi che furono considerate eretiche, di cui 10 sull'eternità del mondo. Nel chiarire la posizione della Chiesa furono essenziali le voci di San Tommaso e San Bonaventura. Per una discussione più ampia v. per es. P. BERNARDINI, *Eternità del mondo*, Università di Siena, 2007.

1.3. “In principio”

¹ In principio Dio creò il cielo e la terra. ² La terra era vuota e deserta, le tenebre coprivano gli abissi e un vento impetuoso soffiava su tutte le acque.

³ Dio disse: 'Vi sia la luce!' E apparve la luce. ⁴ Dio vide che la luce era buona e separò la luce dalle tenebre. ⁵ Dio chiamò la luce Giorno e le tenebre Notte. Così fu sera, poi fu mattina: primo giorno.

⁶ Dio disse ancora: 'Vi sia una grande volta la quale separi le acque superiori dalle acque inferiori'. E così fu. ⁷ Dio fece un firmamento e separò le acque di sotto dalle acque di sopra.

⁸ Dio chiamò la grande volta Cielo. Di nuovo fu sera, poi fu mattina: secondo giorno.

⁹ Dio disse: 'Siano raccolte in un sol luogo le acque che sono sotto il cielo e appaia l'asciutto'. E così avvenne. ¹⁰ Dio chiamò l'asciutto Terra e chiamò le acque Mare. E Dio vide che era bello.

¹¹ Dio disse: 'La terra si copra di verde, produca piante con il proprio seme e ogni specie di albero da frutta con il proprio seme!' E così avvenne.

¹² La terra produsse erba verde, ogni specie di piante con il proprio seme e ogni specie di alberi da frutta con il proprio seme. E Dio vide che era bello.

¹³ Venne la sera, poi venne il mattino: terzo giorno.

¹⁴ Dio disse: 'Vi siano luci nella volta del cielo per distinguere il giorno dalla notte: saranno segni per le feste, i giorni e gli anni. ¹⁵ Risplendano nel cielo per far luce sulla terra'. E così avvenne.

¹⁶ Dio fece due grosse luci: la più grande per il giorno, la più piccola per la notte. E poi le stelle.

¹⁷ Dalla volta del cielo esse rischiarano la terra. Dio le mise lassù per regolare il giorno e la notte e separare la luce dalle tenebre. ¹⁸ E Dio vide che era bello.

¹⁹ Venne la sera, poi venne il mattino: quarto giorno.

²⁰ Dio disse: 'Le acque producano animali che guizzano, e sulla terra e nel cielo volino gli uccelli'. ²¹ Dio creò i grandi mostri del mare e tutto quel che vive e guizza nelle acque. E Dio vide che era bello.

²² Dio li benedisse: 'Siate fecondi, diventate numerosi e popolate le acque dei mari. E anche gli uccelli si riproducano sulla terra'.

²³ Venne la sera, poi venne il mattino: quinto giorno.

²⁴ Dio disse: 'Produca la terra varie specie di animali: domestici, selvatici e quelli che strisciano'. E così avvenne.

²⁵ Dio fece questi animali secondo la loro specie: quelli selvatici, quelli domestici e quelli che strisciano al suolo. E Dio vide che era buono.

²⁶ Dio disse: 'Facciamo l'uomo: sia simile a noi, sia la nostra immagine. Dominerà sui pesci del mare, sugli uccelli del cielo, sul bestiame, sugli animali selvatici e su quelli che strisciano al suolo'.

²⁷ Dio creò l'uomo simile a sé, lo creò a immagine di Dio, maschio e femmina li creò.

²⁸ Li benedisse con queste parole: 'Siate fecondi, diventate numerosi, popolate la terra. Governatela e dominate sui pesci del mare, sugli uccelli del cielo e su tutti gli animali che si muovono sulla terra'.

²⁹ Dio disse: 'Vi do tutte le piante con il proprio seme, tutti gli alberi da frutti con il proprio seme. Così avrete il vostro cibo.

³⁰ Tutti gli animali selvatici, tutti gli uccelli del cielo e tutti gli altri viventi che si muovono sulla terra mangeranno l'erba tenera'. E così avvenne.

³¹ E Dio vide che tutto quel che aveva fatto era davvero molto buono.

Venne la sera, poi venne il mattino: sesto giorno.¹⁰

1.4. Proviamo a costruire il mondo?

Anche dagli editori ufficiali della Bibbia, come il Palatinum in Polonia, il racconto della *Genesi* viene commentato come una narrazione pittoresca, cioè da non prendere troppo sul serio. Si consiglia di interpretare il racconto solo in chiave teologica, come la giustificazione del riposo settimanale, e di resto considerare i contenuti come molto distanti dalla reale storia dell'universo e della vita in esso. Infatti, la "terra" che viene creata prima del Sole e le acque separate (non si sa da che cosa) sembrano un non-senso.

Come dovrebbe essere il racconto della *Genesi* secondo la ragione comune? In altre parole: proviamo noi a raccontare come dovrebbe essere stato creato l'Universo? Lo facciamo in modo interattivo, con l'ausilio di disegni. Cosa viene per primo? Ovviamente, il Sole: senza Sole non c'è vita. E dopo? Dopo la terra, sulla quale cresce un albero, poi la casa (ovvero una caverna). Solo dopo un uomo. Così come nel disegno sottostante.

¹⁰ *La Bibbia. Traduzione Interconfessionale in Lingua Corrente*, Chiesa Italiana, <http://www.lachiesa.it/bibbia/tilc/index.htm> (28/01/2019).



Figura 1.1. Uno scherzo intellettuale: come progettare il mondo? La sequenza che propongono tutti, indipendentemente dalla lingua, età, educazione è sempre la stessa: prima il sole e la terra, come suggerisce “la ragion comune” e non l’idrogeno e le stelle, come dice la fisica. FONTE: Autore

Per capire come è stato l’inizio del mondo secondo la scienza moderna dovremo prima comprendere qualche principio di fisica, chimica, cosmologia. Ma per non fare i “sapientoni” ricordiamo che le domande sull’universo fanno parte della cultura umana in senso ampio, dalla filosofia (metafisica) alla teologia, dalle arti visive alla letteratura, fino all’astrofisica. La stessa domanda è stata esaminata e interpretata nella storia in modi molto diversi. Qui sotto sono riportate due immagini di Dio creatore: una meno nota, medievale, della cattedrale normanna di Monreale, un’altra ben conosciuta, rinascimentale, della Cappella Sistina.



Figura 1.2. Due immagini della creazione del mondo: sull’affresco della Cattedrale a Monreale, Dio giovane, sorridente (e con una pianta in mano) sta plasmando i pianeti; secondo Michelangelo Dio somiglia a Zeus, con tanto di gesti fulminanti. FONTE: Duomo Monreale, Foto Ultreya, Milano; Cappella Sistina, Foto Musei Vaticani, con gentile concessione.

1.5. L'universo eterno?

La prima domanda che affrontiamo è che cosa dice la scienza sull'inizio e l'età dell'universo. Il problema è vecchio come il pensiero umano. I nostri antenati guardavano il cielo, con l'ammirazione per l'immutabilità dei cicli astrali, notte dopo notte, anno dopo anno lo stesso ripetersi delle stagioni. Così, sia le piramidi degli Egizi sia altre costruzioni megalitiche come quelle di Stonehenge in Inghilterra e Mnajdra a Malta, si basavano sui cicli solari¹¹.

Oggi sappiamo che l'universo si espande, ed estrapolando questa espansione all'indietro, si arriva all'età di 13,78 miliardi di anni. Ma c'è stata una lunga strada prima di questa certezza. Già i due più grandi filosofi greci, Platone e Aristotele, discussero la questione dell'inizio dell'universo. Platone aveva dedotto l'esistenza di un "artefice della generazione e dell'universo"¹².

Diciamo dunque per quale ragione l'artefice realizzò la generazione e quest'universo. Egli era buono, e in chi è buono non si genera mai alcuna invidia riguardo a nessuna cosa: essendone dunque esente, volle che tutto fosse generato, per quanto era possibile, simile a lui. Se si accettasse da uomini assennati questa ragione come quella più fondata della generazione e del cosmo, la si accetterebbe nel modo più corretto. Volendo infatti il dio che tutte le cose fossero buone, e nessuna, per quanto possibile, cattiva, prendendo così quanto vi era visibile a non stava in quiete, ma si muoveva sregolatamente e disordinatamente, dallo stato di disordine lo riportò all'ordine, avendo considerato che l'ordine fosse assolutamente migliore del disordine.

Non era lecito e non era possibile all'essere ottimo fare altro se non ciò che è più bello: ragionando dunque trovò che dalle cose che sono naturalmente visibili non si sarebbe potuto trarre un tutto che non avesse intelligenza e che fosse più bello di un tutto provvisto di intelligenza, e che inoltre era impossibile che qualcosa avesse intelligenza ma fosse separato dall'anima. In virtù di questo ragionamento, ordinando insieme l'intelligenza nell'anima e l'anima nel corpo realizzò l'universo, in modo che l'opera da lui realizzata fosse la più bella e la migliore per natura. Così dunque, secondo un ragionamento verosimile dobbiamo dire che questo mondo (*κόσμον*) è un essere vivente dotato di anima, di intelligenza, e in verità generato grazie alla provvidenza di dio.¹³

¹¹ Le pietre megalitiche di Stonehenge in Inghilterra furono collocate in modo che il giorno del solstizio d'estate il Sole sorgesse tra due pietre "mirino". Nella piramide il canale che partiva dalla cella funeraria del faraone mirava, sembra, verso la stella polare di allora. Oggi a causa della precessione dell'asse terrestre quella stella non è più polare.

¹² PLATONE, *Timeo*, trad. E. Pegone, Newton and Compton, Roma 1997, 29d.

¹³ Ivi, 29d-30c.

Aristotele, abitualmente etichettato come un filosofo “materialista” in contrapposizione a Platone “idealista”, riteneva che l’universo e il tempo fossero eterni. Questa constatazione derivava dalle osservazioni del moto apparentemente eterno del Sole e dei pianeti¹⁴. Lo stesso Aristotele osservava comunque che nella fisica “terrena” il moto non è eterno: un corpo passa “il moto” all’altro, la freccia vola perché spinta dall’aria che si richiude dietro di essa. Ma nella conclusione, doveva esistere una *causa* prima del moto. Nella *Metafisica* Aristotele scriveva pure sull’essere “Uno”, il motore primo.

Il Principio e il primo degli esseri è immobile e assolutamente e relativamente, e produce il movimento primo, eterno ed uno. E poiché è necessario che ciò che è mosso sia mosso da qualcosa, e che il Motore primo sia essenzialmente immobile, e che il movimento eterno sia prodotto da un essere eterno e che il movimento che è unico sia prodotto da un essere unico; e poiché, d’altro canto, vediamo che accanto al movimento semplice del Tutto — il quale diciamo prodotto dalla sostanza prima e immobile — ci sono anche altri movimenti di traslazione eterni, ossia quelli dei pianeti (infatti, eterno e continuo è il moto del corpo che si muove circolarmente; e questo è stato dimostrato nei libri della *Fisica*), è necessario che anche ciascuno di questi movimenti sia prodotto da una sostanza immobile ed eterna.¹⁵

Anche nella *Fisica* (VIII, 259a) Aristotele riprendeva gli argomenti sulla causa prima del moto, che doveva essere una ed eterna. Anche se il Filosofo non ammetteva l’inizio del tempo (e dell’universo), i suoi ragionamenti sul moto, e sull’esistenza degli enti in generale, lo portarono a considerazioni del tutto *teologiche*¹⁶: deve esistere un essere Primo, principale, supremo ed eterno. Scriveva nella *Metafisica*:

¹⁴ Aristotele, seguiva (ovviamente) quel modello che appare all’osservatore sulla Terra, cioè geocentrico. Ma era conscio dei movimenti complicati dei pianeti che quel modello richiedeva. «Tuttavia è necessario, se tutte le sfere insieme devono rendere conto di ciò che a noi appare, che per ciascuno dei pianeti ci siano altrettante sfere meno una, le quali ruotino a ritroso e riportino sempre nella medesima posizione la prima sfera dell’astro che di volta in volta è situato immediatamente al di sotto. Solo in questo modo, infatti, è possibile che tutte insieme producano il movimento degli astri. Poiché, dunque, le sfere in cui gli astri si muovono sono otto per i primi due, e venticinque per gli altri, e, di queste, non devono essere fatte tornare a ritroso solo quelle in cui si muove il pianeta che è collocato all’ultimo posto, quelle che dovranno produrre il movimento a ritroso per i primi due pianeti saranno sei, e per i quattro pianeti seguenti, sedici; il numero complessivo delle sfere, di quelle che muovono in senso normale e di quelle che girano a ritroso, sarà di cinquantacinque». ARISTOTELE, *Metafisica*, 1074 a1–12, trad. di G. Reale, RCS Libri, Milano 2000, pp. 571–573.

¹⁵ Ivi, 1073 a27–34, p. 569.

¹⁶ Gli argomenti sulla causa prima del moto e sull’esistenza di un ente necessario furono ripresi mille anni dopo da San Tommaso nelle sue cinque vie per “provare” l’esistenza di Dio.

Dunque, questo è un essere che esiste di necessità; e in quanto esiste di necessità, esiste come Bene, e in questo modo è Principio. (...) Da un tale Principio, dunque, dipendono il cielo e la natura. Ed il suo modo di vivere è il più eccellente: è quel modo di vivere che a noi è concesso solo per breve tempo. E in quello stato Egli è sempre. A noi questo è impossibile, ma a Lui non è impossibile, poiché l'atto del suo vivere è piacere. (...)

Se, dunque, in questa felice condizione in cui noi ci troviamo talvolta, Dio si trova perennemente, è meraviglioso; e se Egli si trova in una condizione superiore, è ancor più meraviglioso. E in questa condizione Egli effettivamente si trova. Ed Egli è ancora vita, perché l'attività dell'intelligenza è vita, ed Egli è appunto quell'attività. E la sua attività, che sussiste di per sé, è vita ottima ed eterna. Diciamo, infatti, che Dio è vivente, eterno e ottimo; cosicché a Dio appartiene una vita perennemente continua ed eterna: questa, dunque, è Dio.¹⁷

Ma Aristotele si accorgeva che lo scorrere del tempo porta pian piano alla distruzione delle cose. «Non c'è dubbio che lo scorrere del tempo è piuttosto la causa della corruzione che della formazione (visto che il cambiamento allontana dallo stato iniziale), e se è la causa della creazione o dell'esistenza, ciò avviene per puro caso».¹⁸ Aristotele, diversamente da tutti altri pensatori fino alla metà del XX secolo, credeva anche nella “vita interna” degli astri. Scriveva che di astri c'è “una cifra innumerevole”¹⁹; oggi sappiamo che solo nella nostra Galassia, visibile sul cielo notturno, brillano centinaia di miliardi di stelle.

Questa dunque è la prima aporia che uno potrebbe giustamente sollevare; l'altra riguarda la causa per cui nella prima sfera [cioè la più lontana] c'è numero di stelle tale che l'insieme della loro schiera pare ascendere ad una cifra innumerevole, mentre gli altri astri [cioè astri “vaganti”, cioè i pianeti] son posti ciascuno separatamente in una propria sfera, e non se ne vedono due o più infissi nella medesima sfera.

Di tutto questo in verità è bene che sie cerchi di rendersi conto quanto più è possibile, benché noi non si disponga che di scarsi dati da cui muovere, e tale distanza ci separi dai fenomeni ad essi relativi. Tuttavia, indagando per via d'argomenti come quelli che seguono, si vedrà che non c'è nulla d'assurdo nell'aporia ora proposta. Senonché noi ci figuriamo glie astri come se fossero corpi, o monadi, aventi bensì un ordine, ma del tutto inanimati; bisogna invece concepirli come partecipi d'attività e di vita. In tal modo ciò si verifica in essi non si parrà più assurdo.²⁰

¹⁷ ARISTOTELE, *Metafisica*, 1072 b14–30.

¹⁸ ARISTOTELE, *Fisica*, trad. Antonio Russo, Laterza, Roma–Bari (1991), IV 222b.

¹⁹ ARISTOTELE, *Del cielo*, trad. di Oddone Longo (Laterza, Bari, 1973), Mondadori, Milano 2008, p. 392.

²⁰ Ivi, 292a 10–22.

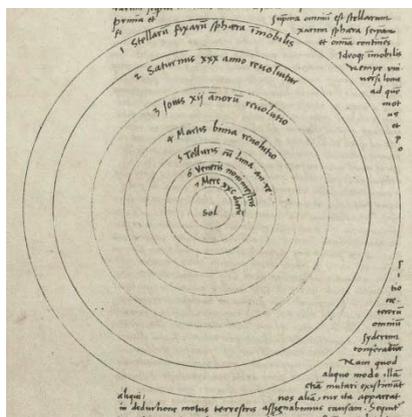
Considerare gli antichi filosofi come obsoleti può rivelarsi molto rischioso. A loro mancavano ancora le osservazioni scientifiche, ma non la capacità di ragionare...

La questione dell'eternità del mondo e della corruzione con lo scorrere del tempo fu ripresa da Immanuel Kant (1746–1805). Egli si accorse che un eventuale mondo eterno, cioè molto, molto vecchio sarebbe già fermo. Scriveva nella *Critica della ragione pura*²¹:

Si supponga infatti che il mondo non abbia alcun inizio nel tempo: in tal caso, sino ad un qualsiasi istante dato è passata un'eternità, e quindi è trascorsa nel mondo una serie infinita di stati susseguentisi delle cose. Peraltro, l'infinità di una serie consiste proprio nel fatto che quest'ultima non può mai essere completata mediante una sintesi successiva. Dunque, è impossibile un'infinita serie del mondo, già trascorsa, e quindi, un inizio del mondo è una condizione necessaria della sua esistenza.

La filosofia non ha risolto la questione dell'eternità del mondo. Ma due secoli prima di Kant è nata un'altra scienza, la fisica. Nominata così già da Aristotele, solo con Copernico (1473–1543), Galileo (1567–1642) e Newton (1643–1726) assunse l'aspetto moderno. I fisici spesso si vantano di coltivare la materia che ha definito i paradigmi della scienza moderna, che si basa in misura uguale sull'esperienza e sulla teoria. Conviene allora partire dalla fisica, dall'astrofisica e dalla cosmologia nel nostro viaggio attraverso la scienza moderna, le sue scoperte, i successi, ma anche i dubbi che si aprono con tutte le successive risposte parziali, nella loro sequenza.

Figura 1.3. Niccolò Copernico espresse i punti cardinali del suo modello già nelle prime pagine del trattato *De revolutionibus orbium coelestium* (1543). Nel Libro I, cap. X sull'ordine delle sfere celesti compare questo disegno: viene fatta una descrizione elegante e corrispondente alla realtà fisica del Sistema Solare e delle stelle fisse. Copernico conclude questo capitolo con le parole: «Certamente, questa è la massima opera divina» (Tanta nimirum est divina hæc Optima Maxima fabrica).



²¹ I. KANT, *Critica della ragion pura*, Parte II (Logica trascendentale); trad. di G. Colli, Einaudi, Torino 1957, p. 484, citato da P. DAVIES, *Dio e la nuova fisica*, Mondadori, Milano 2005, p. 37.

Fisica e cosmologia

2.1. I “principi” nella fisica

I fisici si esprimono con un linguaggio di *principi*. I principi sono la base delle nostre *credenze* scientifiche: un insieme di fatti sperimentali, comprovati e legati tra di loro tramite le teorie, che regolano l’universo (così, almeno, crediamo).

Nella meccanica, la scienza sul moto e le forze, vengono elencati tre principi di *conservazione*: i) della quantità di moto (cioè la velocità), ii) dell’energia (che però può trasformarsi in calore o in altre forme), iii) del momento angolare (che determina il moto “eterno” dei pianeti).

Nell’elettromagnetismo si crede nella conservazione della carica elettrica (cioè la somma di cariche positive e negative dell’universo intero) e nella non esistenza della carica magnetica (i cosiddetti monopoli¹ magnetici): i campi magnetici vengono creati dalle correnti, cioè da flussi di cariche elettriche.

Nella scienza del calore, la termodinamica, il principio di equivalenza di lavoro e calore dice che il lavoro si può sempre convertire in calore (viceversa non sempre) e che il calore è una forma di energia *interna* del corpo. Un altro principio della termodinamica dice che non si può trasferire il calore da un corpo più freddo a un corpo più caldo *senza* lavoro: il frigorifero richiede un motore (o un’altro modo di fornire lavoro). Inoltre si può sempre mescolare mezzo bicchiere di acqua calda con mezzo bicchiere di acqua tiepida, ma separarli da un bicchiere di acqua tiepida è impossibile.

¹ La non esistenza dei monopoli magnetici deriva dalle leggi di Maxwell: ogni magnete ha sia il polo “nord” che il “sud”. Gli scienziati hanno prodotto tante ipotesi sul perché non esistono i monopoli e/o dove cercarli e/o perché sono spariti all’inizio dell’universo, ma nessuna di tali ipotesi costituisce una teoria provata con sufficiente certezza.

Nella chimica per secoli è valso (e in approssimazione vale ancora) il principio di conservazione della massa: la somma delle masse di sostanze reagenti rimane uguale alla somma delle masse dei prodotti. La teoria della relatività di Einstein ha comportato piccole, a prima vista, correzioni di questo principio.

I principi si completano a vicenda. Anche se il principio di *conservazione dell'energia* dice che la quantità totale di energia rimane sempre la stessa², il secondo principio della *termodinamica* afferma che l'universo va verso una “morte termica”: non ci saranno motori per muovere le cose.

Questo principio, che determina il funzionamento dei motori termici (come il motore a scoppio), enuncia che la trasformazione di calore in energia meccanica richiede sempre una sorgente di calore (più calda) e un radiatore, più freddo, che assorbe la parte di calore che non è stato convertito in lavoro. La quantità di calore perso dipende dalla differenza di temperatura tra la sorgente e il radiatore.

Il calore che fluisce dalla sorgente al radiatore porta all'uguaglianza della loro temperatura. Allora, a lunga scadenza, le trasformazioni del calore in energia meccanica portano alla *morte termica* dell'universo: tutto il mondo avrà la stessa temperatura, cioè non ci saranno dei flussi di calore e di conseguenza non ci saranno motori. Occorre notare che i grandi motori sulla Terra, le correnti oceaniche e i venti nell'atmosfera, sono sempre plasmati dalle differenze delle temperature.

2.2. I principi di conservazione

Occorre allora ripassare brevemente i “principi” fondamentali della fisica. Questi principi, tra le scoperte di Galileo ed Einstein (1879–1956) permisero di “rimuovere” dalla filosofia i fenomeni semplici, come il moto, il calore, la luce, ecc. Ma l'interazione fisica↔filosofia è reciprocamente fertile: i principi della fisica hanno permesso di discernere tra tanti opposti ragionamenti, togliendo a tanti argomenti l'epiteto di “speculazioni” che veniva assegnato alla filosofia.

² Con la teoria della relatività di Einstein, e la famosa equivalenza di energia E e massa m , $E = mc^2$ (con c per la velocità di luce), il principio di conservazione dell'energia è stato ampliato alla conservazione totale dell'energia e della massa.

2.2.1. “I principi” della fisica

La fisica adopera alcune affermazioni (basate essenzialmente su esperimenti) come *principi*. Il primo ad essere formulato, ancora nel Medioevo, è il principio di conservazione del moto, detto anche principio d’inerzia. I corpi, una volta acquisita la velocità, la conservano, salvo l’esistenza di forze d’attrito (come attrito di aria). L’*impeto* spiega sia il moto di un vagone spinto su un binario sia il moto eterno dei pianeti.

Il secondo principio della meccanica è la conservazione della *energia*, le cui basi sono state fondate da Galileo: quando un corpo viene lanciato in alto, perde la velocità (cioè la sua energia cinetica) ma acquisisce la quota (cioè l’energia potenziale). Quando un corpo cade, la sua energia potenziale diminuisce ma l’energia cinetica cresce. Un pendolo nella sua massima quota è fermo, nel punto più basso si muove più velocemente. La somma di energia cinetica e potenziale rimane costante (salvo gli attriti).

Nel XIX secolo, dopo la costruzione delle macchine termiche (come la macchina a vapore), la conservazione di energia fu estesa anche ai fenomeni termici: anche il calore è una forma di energia e può essere convertito in energia meccanica. Questo è il primo principio della *termodinamica*.

Ma il secondo principio della termodinamica dice che questa trasformazione non può raggiungere il 100% dell’efficienza: una parte del calore deve essere sempre persa nel radiatore. Così il motore si raffredda e il radiatore si riscalda: le differenze di temperatura diminuiscono e a lungo termine tutto l’universo avrà la stessa temperatura. A questo punto non sarà possibile costruire motori termici: l’universo va verso una morte termica.

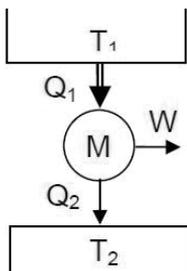


Figura 2.1. Il principio di funzionamento di un motore termico “M” (una turbina a vapore, un motore a scoppio, un tifone in atmosfera): il calore Q_1 fluisce dalla sorgente più calda (a temperatura T_1) al motore, che ricava il lavoro meccanico (W). Una parte del calore (Q_2) deve fluire al serbatoio a temperatura più fredda (T_2). Il rendimento massimo possibile è uguale a $\eta = (T_1 - T_2)/T_1$, dove le temperature sono espresse in gradi kelvin ($K = ^\circ C + 273,15$). FONTE: GK.

Kant aveva creato la sua filosofia prima della formulazione delle leggi della termodinamica (Carnot, 1824), usando lo stesso ragionamento di Aristotele: il tempo, per sé stesso, porta verso il disordine: una sorte di morte. La fisica aveva introdotto un termine specifico per misurare questo disordine: si chiama “entropia”. In origine, l’entropia fu definita come il rapporto tra il calore trasferito e la temperatura alla quale avviene questo trasferimento. Dallo schema nella fig. 2.1 si intuisce che, per avere un alto rendimento del motore termico, conviene usare sorgenti molto calde, in modo che l’entropia sia bassa.

Con la nascita dell’informatica, all’entropia è stato attribuito il significato diretto di disordine: più grande è il disordine, più alta è l’entropia. Se due gas a temperature diverse vengono mescolati, la loro energia complessiva non cambia, ma cresce l’entropia: non è più possibile separare le molecole calde dalle molecole fredde. Come ha scritto Aristotele, il tempo per sua natura è distruttivo, perché esso consiste in un certo numero di cambiamenti, che rimuovono ciò che esisteva (*Fisica*, 221b).

Riassumendo, ancora prima del XX secolo c’erano stati forti indizi che l’universo avesse avuto inizio, anche se le stime fatte dai fisici avevano sottovalutato la sua età in modo significativo. Per esempio, Lord Kelvin (1824–1907), uno dei fondatori della termodinamica, stimava l’età dell’universo attorno a 50 milioni di anni, molto meno che il miliardo di anni stimato allora dai geologi sulla base delle stratificazioni delle pietre calcaree visibili sulle rive dei mari (fig. 2.2).

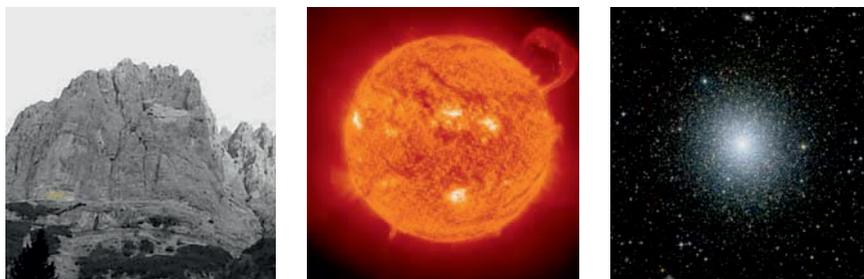


Figura 2.2. (a) Il conto degli strati, depositati anno dopo anno sul fondo del mare ed elevatisi fino a formare le Dolomiti, porta la loro età a centinaia di milioni di anni. (b) Ancora a cavallo tra XIX e XX secolo i fisici erano convinti che il Sole esistesse da non più di 50 milioni di anni. Oggi, grazie alle foto ai raggi X, ultravioletti, ecc., siamo a conoscenza dei violenti processi di fusione termodinamica che si svolgono all’interno del Sole e producono enormi quantità di energia. (c) Ammassi globulari sono le stelle più vecchie dell’Universo. L’ammasso Tucano, contiene anche stelle di neutroni, vecchie 13 miliardi di anni. FONTE: MARIA KARWASZ; NASA; D. WOS.

Kelvin basava le sue stime sulle dimensioni del Sole e valutava quanti milioni di anni una palla di fuoco avrebbe così impiegato per raffreddarsi. Non poteva immaginare una sorgente di energia interna: l'idrogeno che si trasforma in elio, perdendo complessivamente la massa m e producendo l'energia E , secondo la relazione di equivalenza tra $E = mc^2$ (dove c è la velocità della luce, 299 792 km/s).

Anche i principi della termodinamica devono essere ridimensionati dall'equivalenza di massa e energia prevista da Einstein: il Sole trae enormi quantità di energia convertendo nuclei di idrogeno in elio. La quantità è tale che riscalda tutto il sistema solare da 4,5 miliardi di anni e basterà almeno per i prossimi 10 miliardi di anni.

Ma, pian piano, l'idrogeno nell'universo, il carburante delle stelle, potrebbe esaurirsi: questo avverrà non prima di 10^{13} anni (cioè dieci bilioni, ovvero mille volte più dell'età dell'universo). Ancora mille volte di più, tra 10^{16} anni, la Terra (ormai completamente fredda) potrebbe vagabondare da sola nell'Universo. Secondo le stime dell'astrofisico svizzero Arnold Benz³, la materia esisterà ancora per i prossimi 10^{35} (un miliardo di miliardi di miliardi) anni, se non oltre...



Figura 2.3. La Terra ci potrà ospitare ancora per qualche miliardo di anni (salvo imprevisti). Poi l'idrogeno, la fonte primaria dell'energia solare, comincerà a scarseggiare: ciò causerà il rigonfiamento del Sole, il riscaldamento della Terra e l'evaporazione degli oceani. Nel frattempo la nostra Galassia potrebbe entrare in collisione con un'altra, quella di Andromeda. Ma un miliardo di anni sono tanti... FONTE: Illustration copyright © Ron Miller.

³ ARNOLD BENZ, *Il futuro dell'universo: caso, chaos, Dio?* (in tedesco) Patmos Verlag, Düsseldorf 1997.

2.3. Due paradossi del cielo

Un'altra questione fondamentale riguarda l'esistenza dei confini dell'universo. Già Copernico (nel 1543) scriveva che la Terra, pur essendo grande, non è niente in confronto con l'universo, di cui non conosciamo i limiti, che forse neanche *possiamo* conoscere⁴. Dai tempi della teoria eliocentrica gli astronomi hanno abbandonato il concetto delle sfere celesti⁵, l'ultima delle quali conteneva le stelle fisse. L'universo, potenzialmente, divenne infinito.

Paradossalmente, pochi anni dopo, fu Albert Einstein a provare che a causa della limitata velocità della luce, l'universo che possiamo conoscere è confinato da un raggio di 13,8 miliardi di anni luce (circa $1,3 \times 10^{23}$ km). Oltre questa sfera non possiamo estendere le nostre conoscenze.

Isaac Newton ha scoperto la legge della gravità universale, per cui tutte le masse si attraggono a vicenda. È questa la forza che non permette ai pianeti di allontanarsi dal Sole e li costringe a girare sulle orbite intorno a esso⁶. Ma sorge una difficoltà: dato che la forza di gravità agisce a distanze infinite (anche se indebolisce con il quadrato della distanza), in un universo abbastanza vecchio tutte le stelle, interagendo tra loro, dovrebbero avvicinarsi: l'universo collapserebbe su sé stesso.

Figura 2.4. In questa immagine comparsa nel 1888 nel libro di Flammarion a Parigi, l'autore voleva deridere la filosofia medievale che poneva limiti all'universo. Nello stesso tempo (1887) l'esperimento di Abraham Michelson a Cleveland mostrava che non possiamo determinare i limiti del Universo. FONTE: Wikipedia.



⁴ «Nihil enim aliud habet illa demonstratio, quam indefinitam coeli ad terram magnitudinem. At quousque se extendat haec immensitas, minim e constat.» *De revolutionibus orbium coelestium*, L. I, cap. VI, “Cur ergo hacsitamus adhuc, mobilitatem illi formae suae a natura congruentem concedere magis quam quod totus labatur mundus, cuius finis ignoratur, scirique nequit, [...]” cap. VIII Wikisource p. 122.

⁵ Il titolo dell'opera di Copernico “Sulla rivoluzione delle sfere celesti” sembra aggiunto dall'editore di Norimberga, un po' spaventato dalla portata rivoluzionaria delle tesi del libro. Copernico esamina i *corpi* celesti sulle loro orbite, ma non le “sfere”.

⁶ Notiamo che Copernico usava lo stesso argomento rispondendo alle obiezioni secondo cui la Terra girando potrebbe disgregarsi (Libro I, cap. VI).

La seconda difficoltà riguarda il cielo stellato, che rimane nero di notte. Un universo infinito dovrebbe contenere un numero infinito di stelle. Di più, nelle zone dell'universo più lontane dalla Terra si trova un numero sempre più grande di stelle⁷. Anche se la loro luminosità apparente diminuisce con la distanza (in modo simile alla la forza di gravità), il numero infinito delle stelle dovrebbe rendere il cielo infinitamente luminoso, sia di giorno che di notte.

Anticipando le scoperte della cosmologia moderna, entrambe le difficoltà svaniscono se si assume che l'universo sia in espansione. Così le stelle "sfuggono" al reciproco collasso gravitazionale. La radiazione "ritarda" ad arrivare da noi dalle stelle in fuga e il cielo rimane nero di notte. Ma gli argomenti sperimentali per sostenere la tesi dell'universo in espansione mancavano fino agli anni Venti del XX secolo. Qualche anno prima venne sviluppata la tecnica per valutare la distanza delle galassie e nel 1915 Einstein formulò la sua teoria dell'equivalenza tra la gravità e il moto accelerato, detta teoria generale della relatività. Le conseguenze filosofiche dei risultati dedotti da questa teoria superano persino la rivoluzione copernicana.

2.4. Einstein e la relatività

Nel 1905 Albert Einstein, poco prima laureatosi al Politecnico di Zurigo (dove gli fu negato il posto di ricercatore), lavorava presso gli uffici dei brevetti di Berna. Un anno prima si sposò con l'amata Mileva Milić e gli nacque un figlio. Il 1905 fu un *annus mirabilis* non solo per Einstein ma per tutta la fisica. In un articolo che discuteva le proprietà delle onde elettromagnetiche (cioè della luce) Einstein arrivò alla conclusione che non è possibile rivelare se un osservatore si muove nello spazio oppure giace immobile: la velocità della luce misurata non dipende dal moto dell'osservatore rispetto allo spazio.

La sua teoria viene chiamata "della relatività", anche se dovrebbe chiamarsi dell'"oggettività". Il fulcro di questa teoria consiste nel fatto che le leggi della fisica sono le stesse per tutti gli osservatori che si muovono a una velocità costante (uno rispetto agli altri). Si potrebbe dire anche che non è una osservazione nuova: è difficile riconoscere

⁷ Assumendo una densità costante delle stelle nell'universo, a crescenti distanze r il numero delle stelle cresce come la superficie della sfera, cioè $4\pi r^2$.

un moto assoluto. Rispetto a che cosa? La relatività dei moti fu formalizzata in modo matematico già da Galileo; Copernico l'aveva invocata spiegando un apparente moto diurno (e notturno) del cielo. Anzi, lui citava Virgilio⁸: i marinai sulla nave salpata vedono i monti allontanarsi, e non la nave in moto.

Ma diversamente da un pensiero comune (e dalla matematizzazione di Galileo), la relatività di Einstein fu una vera rivoluzione: le leggi della fisica (compresa la velocità della luce) sono sempre le stesse, ma cambia la misura dello spazio e del tempo. Con Einstein lo spazio e il tempo non sono identici per i diversi osservatori ma sono relativi: dipendono dalla reciproca velocità tra i due osservatori.

Senza entrare in una dettagliata formulazione matematica, osservando gli oggetti che si muovono (rispetto a noi), le loro dimensioni (nella direzione del moto) si accorciano e gli intervalli di tempo si allungano. Come nella figura 2.5. l'aeroplano in moto (con una velocità vicina a quella della luce) sembra più corto. Da dove derivano queste "deformazioni"?

Einstein derivò in modo puramente teorico il restringimento delle coordinate dello spazio e l'allungamento di quelle del tempo, per "salvare" le equazioni delle onde elettromagnetiche (più propriamente le equazioni di Maxwell). Una spiegazione euristica di questo fenomeno è presentata nella fig. 2.6.

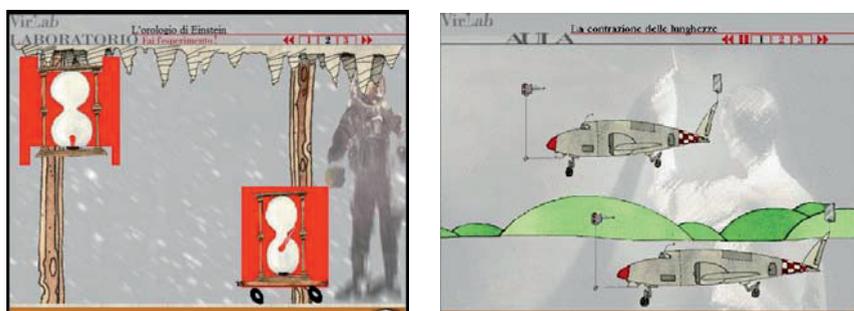


Figura 2.5. I principi della teoria ristretta della relatività: i corpi in moto sembrano più corti, il tempo sugli orologi in moto sembra in ritardo. FONTE: UGO AMALDI, "Einstein e la relatività", CD-Rom, Zanichelli, Padova 1999.

⁸ «Ci allontaniamo dal porto, terre e città retrocedendo» (VIRGILIO, *Eneide*, L. III, 73, trad. Rosa Calzecchi Onesti, Edizioni Progetto Scuola, 1989).

La misura dello spazio, semplificando, sta nel “buttare l’occhio”⁹, mandare un raggio di luce verso la fronte del treno in avvicinamento ed un altro (in contemporanea) verso la fine del treno. Ma il raggio mandato verso la fine impiega più tempo per arrivare verso il bersaglio, e quello nel frattempo si è già avvicinato. Così la distanza misurata è più corta. La chiave per questo fenomeno sta nella velocità costante della luce; una palla mandata verso la vetrata anteriore del treno si rifletterebbe con una velocità maggiore. Per il raggio di luce la velocità di arrivo al treno e di ritorno è sempre la stessa: 300 mila km/s.

La teoria della relatività ha preso il nome dal fatto che i fenomeni sono *relativi*: su due treni in avvicinamento entrambi gli osservatori sono convinti che il metro di *quell’altro* sia troppo corto (e che l’orologio di *quell’altro* sia indietro¹⁰). Allora le trasformazioni scoperte da Einstein sono un’illusione? No! La natura reale delle trasformazioni relativistiche confermano gli esperimenti. Uno dei più significativi, sul tempo di vita di una particella sub-atomica, il muone, è stato fatto da uno scienziato italiano, Bruno Rossi¹¹.

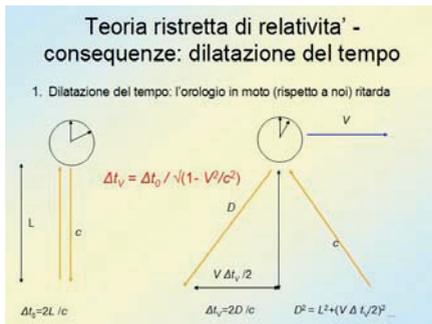


Figura 2.6. La dilatazione del tempo nella teoria ristretta della relatività: la lettura dell’orologio consiste nel mandare un raggio di luce verso l’orologio sulla parete, a distanza L dall’osservatore. Per un orologio fermo la luce impiega il tempo $2L/c$, ma per un orologio in moto la distanza che compie il raggio è maggiore, a causa del percorso allungato D . Così, prima che torni la lettura dell’orologio mobile, il nostro ha già misurato un tempo più lungo; quell’altro è indietro. In altre parole, per gli oggetti in movimento il tempo scorre più lentamente. FONTE: Disegno proprio.

⁹ “Buttare l’occhio” non è una espressione idiomatica molto corretta in italiano, sarebbe meglio dire “gettare lo sguardo”. In inglese si dice “drop an eye”, in polacco si dice proprio “buttare l’occhio” per descrivere uno sguardo veloce.

¹⁰ A proposito di quest’ultima affermazione nasce una domanda: chi dei due invecchia meno: chi compie un viaggio spaziale o chi è rimasto a casa? Nella teoria ristretta nasce un paradosso: entrambi sono convinti che l’altro invecchi meno (entrambi sono in moto relativo). La risposta si può dare solo nella teoria della relatività generale: quello che è partito per lo spazio ha dovuto subire un’accelerazione, allora le loro situazioni non sono reciprocamente simmetriche (chi invecchia di più dipende dalla biologia dei voli spaziali).

¹¹ B. ROSSI, D. B. HALL, *Phys. Rev.* 59, 223 (1941).

I muoni prodotti in laboratorio (in grandi acceleratori di particelle, come quello del CERN a Ginevra) vivono appena 2,2 microsecondi. Tanti muoni vengono prodotti dalla radiazione cosmica (cioè da protoni molto veloci provenienti dal Sole) nell'alta atmosfera. Assumendo che i muoni prodotti a quota di 10 km viaggino alla velocità della luce, avrebbero bisogno di 30 microsecondi per arrivare sulla superficie della Terra: secondo l'aritmetica "normale" non possono essere rilevati al livello del mare, a meno che non si usi l'aritmetica di Einstein. Con la velocità di $0,98c$ il tempo di vita di un muone diventa 50 volte più lungo: il muone può arrivare al suolo.

La conseguenza più importante della relatività ristretta di Einstein per la nostra visione del mondo è il limite invalicabile della velocità della luce: nessuna informazione può essere scambiata a una velocità maggiore¹². Così, l'universo potrebbe estendersi a distanze molto più grandi di quelle osservate da noi da 13,8 miliardi di anni luce, ma non abbiamo nessun modo di saperlo. Come scriveva già Copernico, "l'universo è grande: non ne conosciamo i limiti, e neanche possiamo conoscerli".

2.5. L'ascensore in caduta libera

Una domanda molto semplice (si può determinare un moto con la velocità costante?) portò a conseguenze rivoluzionarie. In seguito Einstein si pose un'altra domanda simile: si può rivelare un moto con l'*accelerazione* costante? Per esempio, come sappiamo che l'ascensore in cui siamo chiusi parte verso l'alto o verso il basso? Lo sentiamo?

Sì, lo sentiamo, perché se l'ascensore parte verso l'alto, per un momento il nostro peso sembra maggiore; se l'ascensore parte verso il basso, per un attimo sentiamo la gravità parzialmente assente. Appunto! Non c'è un modo di distinguere le forze fittizie durante l'accelerazione dell'ascensore dalla forza di gravità: entrambe agiscono nella stessa direzione. Quasi... C'è una sottile differenza tra un ascensore in accelerazione e il campo gravitazionale della Terra. Sulla Terra tutti

¹² Bisogna ricordarsi che la velocità della luce in mezzi materiali, come l'acqua, l'aria, anche lo spazio interstellare, è minore di c ; così persino l'onda gravitazionale (rilevata il 17/08/2017) sembrava più veloce della luce: no! La velocità della radiazione gamma rilevata è stata *inferiore* (per una parte di 10^{20}) di c . In certe situazioni anche le onde elettromagnetiche hanno una velocità (cosiddette di *fase*) maggiore di c , ma non possono portare l'informazione.

gli oggetti sembrano cadere in verticale, mentre in realtà cadono verso il centro della Terra (come diceva Aristotele), cioè in direzione *radiale*. Considerate le enormi dimensioni della Terra, le traiettorie parallele verso il basso (in ascensore) e radiali sembrano identiche. Ma non è così: il campo gravitazionale *curva* le traiettorie parallele, si veda la fig. 2.7.

In altre parole, ci dovrebbe essere una relazione tra il campo gravitazionale e la *curvatura* dello spazio (ovvero spazio-tempo). Einstein meditò per quasi dieci anni su un'adeguata formulazione della teoria generalizzata della relatività: ha dovuto sviluppare (con il collega Grossmann) una branca nuova della matematica. Finalmente, fra il 1914 e il 1917 Einstein formulò passo dopo passo (ma i primi passi erano sbagliati) la teoria generale della relatività. La teoria dipende dalla geometria dello spazio (prima considerato sempre semplice, come formulato dai matematici greci Pitagora e Euclide) e dalla gravità.

L'equazione, nei dettagli matematici molto complicata, nella forma concisa sorprende con la sua bellezza e sobrietà visiva

$$\mathbf{G} = (8\pi G/c^4) \mathbf{T}$$

dove un complesso oggetto matematico (il tensore) \mathbf{G} descrive la curvatura dello spazio-tempo dovuto all'azione di gravità e il tensore \mathbf{T} descrive l'energia (che equivale alla massa). Per il resto si tratta di costanti universali: la velocità della luce c , la costante gravitazionale G e il numero π .

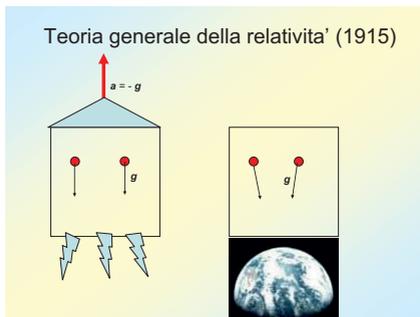


Figura 2.7. Un riassunto dell'idea della relatività generale di Einstein: come si può distinguere un razzo in accelerazione dalla presenza di corpo (per esempio la Terra) che esercita una forza di gravità? Nel razzo tutti gli oggetti cadono lungo le rette parallele; sulla superficie della Terra le traiettorie sono dirette verso il centro della Terra e non sono perfettamente parallele. Questo conduce al concetto della *curvatura* dello spazio-tempo, in presenza di masse gravitazionali. Ma, considerata l'equivalenza della massa e dell'energia, l'equazione di Einstein paragona il tensore della curvatura dello spazio con il tensore della massa-energia. FONTE: Disegno proprio.

Subito dopo la formulazione della relatività generale si ripresentò il problema del collasso dell'universo. Allora, la prima soluzione matematica dell'equazione di Einstein ottenuta da de Sitter (nel 1917) descriveva un universo stazionario, ma con la densità della materia nulla: un universo infinito, stabile, ma perfettamente vuoto! Lo stesso Einstein, vedendo la difficoltà, introdusse nell'equazione un termine *ad hoc*: un tipo di pressione artificiale per prevenire il collasso dell'universo. Questo termine Λ venne chiamato "cosmologico". Così l'equazione assume la forma

$$\mathbf{R}_{\mu\nu} - \frac{1}{2} \mathbf{g}_{\mu\nu} \mathbf{R} + \mathbf{g}_{\mu\nu} \Lambda = \frac{8\pi G}{c^4} \mathbf{T}_{\mu\nu}$$

dove viene esplicitato con degli indici che l'energia \mathbf{T} , la curvatura \mathbf{R} e la metrica \mathbf{g} dello spazio-tempo sono cosiddetti tensori.

Einstein considerò sempre questo termine "l'errore più grande della sua vita". Anticipando nuovamente le conclusioni dell'astrofisica del XXI secolo, che ha misurato questa pressione, sembra che il termine "cosmologico" sia stata proprio l'*intuizione* più grande di Einstein: l'Universo ha avuto l'inizio!

Ma tornando alla cronologia degli eventi, la soluzione dell'equazione di Einstein che prevedeva l'universo "a lunga durata" fu pubblicata nel 1925 da un matematico russo, Alexander Friedmann (1888–1925), il quale provò che l'universo deve espandersi per poter esistere a lungo termine.

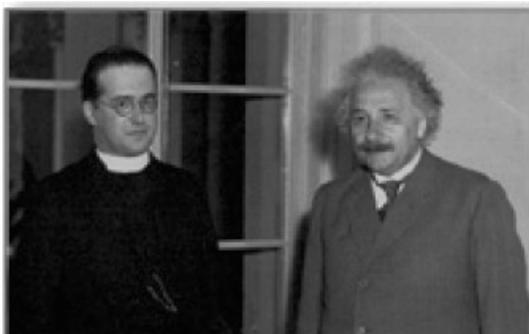


Figura 2.8. Quando nel 1933 Georges Lemaître fece la lezione a Princeton, Albert Einstein esclamò: «Questa è la più bella ed esauriente spiegazione della creazione che io abbia mai sentito»¹³. L'idea "del principio nel tempo" fu nel 1951 apprezzata anche dal Pio XII. FONTE: Catholic Education Resource Center.

¹³ «This is the most beautiful and satisfactory explanation of creation to which I have ever listened». H. KRAGH, *Cosmology and Controversy*, Princeton 1996, p. 55, citato da https://en.wikipedia.org/wiki/Georges_Lemaître.

Un prete belga, Georges Lemaître (1894–1966), canonico presso la cattedrale di Malinas, ottenne nel 1927 una soluzione indipendente, ma con le stesse conclusioni¹⁴. Egli ipotizzò l’inizio dell’universo come “un singolo atomo primordiale” che in seguito si divise in più atomi: «Allora l’inizio del tempo ebbe luogo un po’ prima che il primo atomo si scisse in due»¹⁵. Einstein commentò così: «Questa è la più bella descrizione della Creazione che io abbia mai sentito». Non l’inizio del mondo, ma la “Creazione”, disse Einstein, v. fig. 2.8.

Le conseguenze dell’equazione della relatività generale sono molto più vaste del rigonfiamento dell’Universo: incidono sulla nostra concezione dello spazio e del tempo. Ma prima torniamo alle osservazioni astronomiche.

2.6. Planck: di che colore è il Sole?

Di che colore è la nostra stella? La risposta sembra ovvia: una palla di fuoco gialla. Almeno sembra così. Ma già l’arcobaleno, la luce del sole “riflessa” nelle goccioline di pioggia mostra molti colori, va dal rosso al violetto. Sì, la luce del sole contiene tutti questi colori. I più forti sono il giallo e il verde, mentre quelli sui bordi dell’arcobaleno sono meno intensi.

La sensibilità dell’occhio umano a diversi colori varia un po’, ma i fisici hanno misurato l’intensità dei colori nello *spettro* solare, ottenendo un grafico come nella fig. 2.9. Lo spettro registrato dagli strumenti fisici si estende al di sopra del colore rosso e un po’ sotto il colore viola. Parliamo di luce *infrarossa* e *ultravioletta* (nell’arcobaleno la luce infrarossa è sopra e quella ultravioletta sotto: fu Newton a tenere il prisma di vetro rovesciato).

Il Sole è una palla di gas molto caldo (e denso) che nel suo centro arriva a 15 milioni di centigradi. Ma verso la superficie la temperatura di questo gas diminuisce e ammonta a solo 5500°C (circa 5800 K). Quel che rimane un po’ sorprendente è che nonostante sia una palla di gas, la distribuzione dei colori (lo “spettro” come nella fig. 2.9b) somiglia alla luce emessa da un ferro da cavallo riscaldato nel forno di

¹⁴ Anche l’autore di un’altra rivoluzione cosmologica, Niccolò Copernico, fu prete: canonico della cattedrale di Frauenburg (Frombork) in Polonia.

¹⁵ *Documentazione Interdisciplinare di Scienza e Fede*, <http://disf.org/lemaitre>.

un fabbro. Anche la forma matematica dei due spettri è simile: dipende dalla temperatura e può essere descritta con la stessa formula, detta “del corpo nero”. Infatti, sia il ferro da cavallo sia il filamento di una lampadina a incandescenza sono neri quando sono freddi. Man mano che cresce la temperatura, il colore cambia da amarena a rosso, arancione, giallo, come nella fig. 2.10a.

La relazione matematica tra lo spettro e la temperatura del corpo nero, nota “ad occhio” dall’età di ferro, fu spiegata solo nel 1900 (esattamente giovedì 14 dicembre), da un professore di fisica di Berlino, Max Planck. Per farlo, questi ha dovuto assumere che l’energia della luce viene emessa a porzioni, in “quanti”. Quel giorno è nata la fisica *quantistica*, che oggi è alla base non solo della fisica, ma anche della chimica, della biologia molecolare, dell’astronomia.

Usando la descrizione matematica dello spettro di un corpo incandescente possiamo determinare la sua temperatura senza toccarlo. Così, nel campo astronomico possiamo valutare la temperatura delle stelle più remote, come nella fig. 2.10b.; possiamo misurare anche la temperatura dello spazio cosmico (che non è zero kelvin). Con altri metodi, sempre analizzando i dettagli del “colore”, cioè dello *spettro*, possiamo indovinare la composizione chimica di stelle remote. Lo studio degli spettri è un metodo di esaminare gli oggetti (atomi, stelle, l’intero cosmo) senza toccarli.

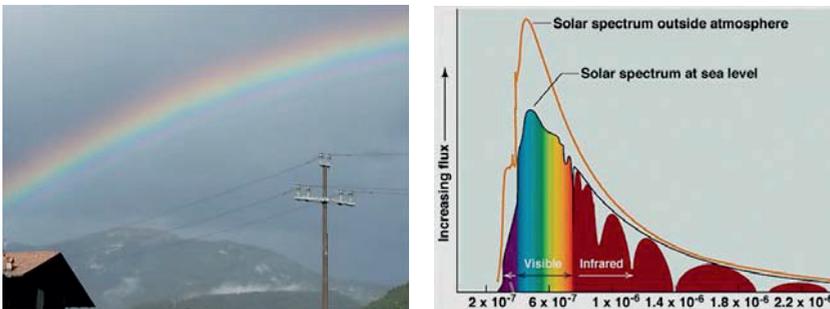


Figura 2.9. (a) L’arcobaleno in Trentino; l’arcobaleno compare quando la luce del sole alle nostre spalle si riflette (e rifrange) nelle goccioline di pioggia davanti. Sotto la fascia dei sette colori si vedono anche il fucsia e il magenta, che derivano da un altro fenomeno ottico: l’interferenza. La scomposizione della luce bianca in colori diversi è un esempio di “spettro”. (b) La luce visibile (l’arcobaleno) occupa solo una parte dello *spettro* del Sole, ma contiene il 50% dell’energia. L’atmosfera attenua un po’ la luce solare, eliminando la luce ultravioletta più energetica; inoltre l’atmosfera non è trasparente all’infrarosso, che viene assorbito sia da H₂O che da CO₂. FONTE: <https://ivanpankov.files.wordpress.com/2009/07/sun-spectrum.gif>.

Le nostre conoscenze dell'universo più remoto cominciano con i lavori di un gesuita, padre Angelo Secchi (1818–1878), direttore dell'Osservatorio astronomico del Collegio Romano. Questi fu il primo a studiare nel dettaglio i diversi colori delle stelle — rosse, gialle, bianco–azzurre. Ma oltre a vedere il “colore”, Secchi studiò i dettagli dello spettro: delle righe che compaiono sullo sfondo continuo. Come Galileo puntò per primo il cannocchiale verso il cielo, così Secchi puntò lo *spettrometro*. Questo permise non solo di determinare il “colore” delle stelle e la loro temperatura, ma anche la loro grandezza, la distanza, l'età, la composizione, ecc.

2.7. Aristotele: la vita delle stelle

Fu Aristotele il primo a ipotizzare l'evoluzione delle stelle. Ma passarono più di duemila anni prima che gli astronomi prendessero le sue parole sul serio. Ci volevano prima tante osservazioni “certosine”, non solo di Secchi ma di numerosi astronomi (e di donne–astronome).

A metà del XIX secolo fu introdotto un nuovo metodo di studio della materia allo stato gassoso: i colori della luce emessa durante la scarica elettrica. Ogni sostanza, riscaldata, anzi, evaporata nella fiamma, emette un colore caratteristico: il sodio (il sale da cucina) — il giallo, i sali di rame — il verde, i sali di rubidio — il color rubino. Questo è anche un modo per ottenere i diversi colori nei fuochi d'artificio.

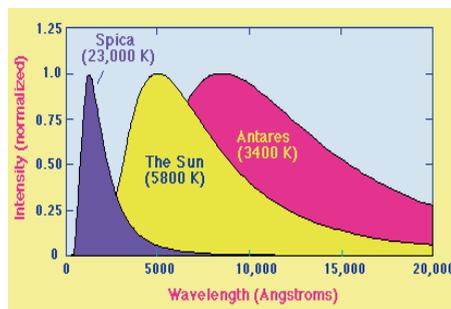


Figura 2.10. (a) Il colore del ferro da cavallo (e del filamento di una lampadina) cambia con la temperatura: da rosso (a 1000°C) a giallo fino a bianco incandescente a 3000°C . (b) Nello stesso modo cambia anche il colore delle stelle: la Spica, con la superficie a 23000°C sembra azzurra rispetto al Sole (5500°C) e alla grossa ma relativamente fredda Antares (nella cintura di Orione), che è rossa. FONTE: NURE AGLIO; ERIC C. BLACKMAN.

Lo stesso principio viene sfruttato nelle lampade luminescenti: gialle in strada contengono vapori di sodio, bianche negli uffici contengono mercurio, rosse nelle insegne pubblicitarie contengono neon. In astronomia, questa tecnica, detta *spettroscopia*, permette di identificare gli elementi chimici negli astri. Così fu scoperto l'elio, che è il principale gas nelle stelle oltre l'idrogeno. In questo modo sappiamo che sulla superficie del Sole si trovano persino i vapori di ferro.

I colori caratteristici degli elementi chimici che si trovano nelle stelle compaiono negli spettri come delle righe strette su uno sfondo continuo. Ci voleva tanta pazienza per fissare queste righe su delle lastre fotografiche (oggi si può fare con un telefonino).

Gli studi di colori delle stelle, iniziate da padre Angeli Secchi, furono riprese all'inizio del XX secolo a Harvard (oggi il telescopio usato si trova a Toruń), foto 2.12b. Un gruppo di scienziate¹⁶, notte dopo notte, fotografarono gli spettri di quasi un milione di stelle.

Inizialmente le caratteristiche di questi spettri non erano chiare. Così le stelle furono classificate come A, B, C, poi M e ancora O. Essenzialmente, le stelle bianche furono chiamate "A", gialle "G", rosse "M". Poi furono scoperte delle somiglianze *spettrali* che permisero di classificare le stelle secondo la loro temperatura e luminosità in cosiddetto diagramma di Hertzsprung–Russell.



Figura 2.11. Il colore della stella indica la sua temperatura. Da qui si può dedurre le sue dimensioni e l'età. Qui mostriamo un gruppo di stelle vicino ad Antares nella costellazione dello Scorpione. Antares è di colore rosso, ma visto attraverso le nubi interstellari sembra giallo-verde. FONTE: DOMINIK WOS <https://astrofotografia.eu>

¹⁶ Ricordiamo alcuni nomi: Annie Jump Cannon, Williamina Fleming, Henrietta Swan Leavitt, Antonia Maury.

Presto si capì che le differenze di colore, luminosità e dimensioni sono la prova di ben definiti cicli di vita delle stelle. Come già citato Aristotele: «a noi le stelle sembrano immutabili ma in realtà esse funzionano e gioiscono¹⁷ la vita». Diversi rami del diagramma R–H mostrano il percorso di evoluzione delle stelle: i rami separati, come “nane bianche”, sono le tappe finali, il “parcheggio”, prima di spegnersi per sempre. Invece più alta è la temperatura della stella e la sua massa, più breve la sua vita. Per esempio i giganti blu esploderanno tra un centinaio di milioni di anni. Il Sole non è né particolarmente grande né caldo; per questo la sua evoluzione dura da qualche *miliardo* di anni, permettendo la vita sulla Terra.

Il ciclo di vita delle stelle dà la prima indicazione sperimentale che l’universo non è eterno: le tesi dell’Università di Parigi sull’eternità del mondo erano sbagliate, se non addirittura eretiche!

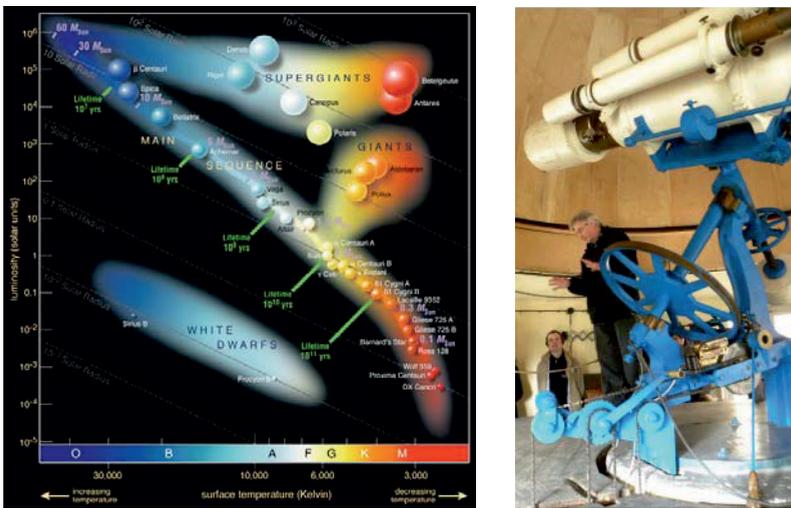


Figura 2.12. (a) Il diagramma di Hertzsprung–Russell: il rapporto tra la luminosità assoluta e la temperatura della superficie, con segnate alcune stelle caratteristiche della nostra Galassia. (b) Il telescopio storico di Harvard che permise questa classifica oggi si trova a Toruń, presso l’osservatorio dell’Università, in permuta per cento anni. FONTE: ESO; foto MARIA KARWASZ.

¹⁷ La traduzione in italiano del XVI secolo dice: «Ma di esse, come de corpi, & unita, hauenti ordine & inanimati al tuto pensiamo. Et bisogna stimare, come Se hauenti vita, & at-tione.» *De celo et mondo Aristotele tradotto di greco in volgare italiano*. Per Antonio Bruc-cioli. Impresso in Venetia, per Bartholomeo Imperatore nel 1552. Google books: iVRxG4Lf7UC, p. 133. Una traduzione in polacco dice: “e gioiscono la vita” (trad. P. Siwek, PWN, Warszawa, 1990).

2.8. La fuga delle galassie

Lo studio dei percorsi di vita delle stelle ha permesso un passo avanti anche nella cosmologia, cioè nello studio dell'intero universo. Tra gli astri classificati a Harvard c'è un tipo di stella variabile, δ -Cephei, della costellazione di Cefeo, identificata come tale già nel XVIII secolo. La peculiarità delle stelle variabili dette *cefeidi* è che la loro luminosità decresce gradualmente nel giro di un paio di giorni, per poi riprendersi rapidamente. Si tratta probabilmente di giganti rossi che verso la fine del loro ciclo di vita collassano, per riaccendersi di nuovo¹⁸. Misurando la loro luminosità apparente e, con uno stratagemma descritto in seguito, anche la distanza, si è arrivati alla conclusione che il periodo di variabilità delle cefeidi dipende dalle loro dimensioni. Così gli astronomi guadagnarono uno strumento potente, un modo di misurare le distanze assolute degli astri, seppur solo delle cefeidi.

Qualche cefeide fu scoperta nella galassia più vicina alla nostra, la Grande Nube di Magellano, ancora dalle scienziate astronome a Harvard. Poi, negli anni Venti del XX secolo, da Edwin Hubble, nella Galassia di Andromeda, 2 milioni di anni luce da noi e poi nelle galassie ancora più lontane.

La grande scoperta di Hubble fu però un'altra: egli si accorse che le linee *spettrali* degli astri nelle galassie lontane sono spostate rispetto alle linee delle stelle nella nostra Galassia. Lo spostamento avviene sempre nella stessa direzione: verso il rosso. Lo stesso effetto avviene quando un'ambulanza si allontana da noi: il tono della sirena sembra più basso di quando si avvicina. Il fenomeno (per le sirene) fu scoperto nel 1842 dal fisico austriaco Christian Doppler. Oggi l'effetto Doppler serve sia per valutare la velocità di fuga delle galassie lontane che per la velocità del sangue nelle vene.

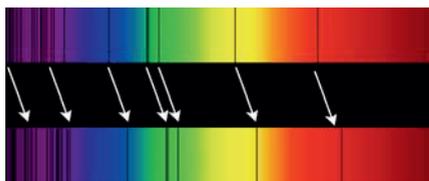


Figura 2.13. L'effetto Doppler permette di valutare la velocità di fuga delle galassie lontane: le linee spettrali del Sole, pannello superiore (spettri in assorbimento — la riga in rosso e in blu sono dovute alla presenza di idrogeno) si spostano *tutte*

verso il rosso nella luce di una galassia lontana (BAS11, pannello inferiore). Lo spostamento dipende dalla velocità di fuga e aumenta con la distanza da noi: l'intero Universo si gonfia come un panettone in lievitazione. FONTE: H.T. STOKES, BYU.

¹⁸ Un altro tipo di stella variabile è la Betelgeuse, alfa di Orione, un gigante rosso pronto per esplodere. Questa esplosione può arrivare entro i prossimi 500 anni.

Combinando la conoscenza della luminosità assoluta (cioè a una distanza standard) delle cefeidi con la loro velocità di fuga si arrivò alla conclusione non solo che l'Universo è in espansione, ma anche che la velocità di fuga delle galassie cresce con la loro distanza da noi. Inoltre fu chiaro che non è possibile determinare un punto centrale di questa inflazione. L'Universo si gonfia, ma come il pane in lievitazione: uniformemente, in tutte le direzioni.

Dal rapporto tra la velocità e le distanze tra le galassie si poteva derivare la prima stima delle dimensioni del Cosmo. Poi, tramite il principio di Einstein, si ottenne la stima grossolana dell'età dell'Universo: circa dieci miliardi di anni. Molto di più che le stime dei fisici (Lord Kelvin) e persino dei geologi.



Figura 2.14. (a) Il telescopio spaziale Hubble è stato rivolto per un paio di mesi su una regione del cielo in cui non ci sono stelle luminose. Ciò ha permesso di osservare oggetti molto deboli: le galassie lontane. In questa foto si nota che certi piccoli oggetti hanno un colore molto più rosso di altri: le galassie apparentemente rosse sono simili a quelle blu, ma lontane. È la conferma dell'osservazione originale di Hubble: l'Universo è in espansione e la velocità di fuga cresce con la distanza. (b) La costellazione di Orione, bella, ben visibile nelle ore serali d'inverno sopra l'orizzonte a Sud. In alto la Betelgeusa, la stella alfa di Orione, un gigante rosso pronto a esplodere. FONTE: Hubble Telescope; DOMINIK WOS.

2.9. Le supernove

Le misure della luminosità delle stelle variabili di un tipo ben definito, le cefeidi, hanno permesso di verificare che le galassie si allontanano dalla Terra. La caratteristica decisiva delle cefeidi per questa verifica è la ben precisa dipendenza della loro luminosità (che dipende dal loro volume) dal periodo di variazione (che corrisponde al periodo di rigonfiamento). Le cefeidi sono in media da mille a dieci mila volte più luminose del Sole, ma questa luminosità non è sufficiente per misurare le distanze di galassie lontane non qualche milione ma qualche miliardo di anni luce¹⁹: era necessario trovare un'altra metodologia.

Nel 1572 fu osservata nella costellazione di Cassiopeia una stella “nuova”, molto brillante, nei primi mesi luminosa come Venere. Fu l'esplosione di una stella che si trovava, abbastanza vicino a noi, circa a 9 mila anni luce dalla Terra. Oggi, i resti di questa esplosione oggi sono appena visibili sul cielo notturno, fig. 2.16a. Un simile evento fu osservato nel 1604 da Keplero (il primo ad annotarlo è stato l'astronomo italiano Lodovico delle Colombe). L'esplosione aveva avuto luogo a 13 mila anni luce dalla Terra e la luminosità iniziale della stella “nuova” fu un po' minore di quella del 1572.



Figura 2.16. (a) I resti della supernova AD 1572 (di Tycho Brahe) visti ai raggi X: in rosso i raggi di bassa energia, in blu i raggi di alta energia. (b) I resti di una supernova (G299) che doveva essere visibile ad occhio nudo 4500 anni fa. FONTE: chandra.harvard.edu.

¹⁹ Ricordiamo che la luminosità osservata cambia come il quadrato della distanza, per cui un fattore di mille in termini di distanza fa la differenza di un fattore di un milione in termini di luminosità.

Nelle cronache cinesi nell'anno che corrisponde al nostro 1054 fu descritta una supernova nella costellazione del Cancro. La stessa stella è stata notata dagli Indiani nel Nuovo Messico. Dalle valutazioni fatte dagli astronomi oggi sappiamo che quella supernova era visibile anche di giorno. Infatti l'esplosione ebbe luogo "solo" alla distanza di 6,5 mila anni luce dalla Terra.

Si nota che la luminosità apparente, cioè vista dalla Terra, diminuisce con il quadrato della distanza dalla supernova. In altre parole, la luminosità assoluta (cioè misurata a una distanza standard) per tutte le supernove rimane la stessa.

Come nel caso delle cefeidi, anche le esplosioni delle supernove sono causate da processi ben definiti e segnano l'esaurimento di un certo tipo di combustibile nucleare che alimenta il "forno stellare". Cioè molte supernove hanno simili dimensioni e la temperatura nel momento dell'esplosione: abbiamo trovato un'altra candela standard.

Negli ultimi mille anni di storia scritta sono state notate probabilmente 5 supernove, che corrispondono alle esplosioni delle stelle nella nostra galassia, cioè circa una ogni duecento anni. Poi, la supernova brilla per un paio di mesi e si disperde nello spazio. Ma l'Universo è pieno di galassie. Con telescopi sempre più potenti gli astronomi hanno individuato diverse supernove nelle galassie molto distanti. Riassumendo, con lo spostamento verso il rosso del colore delle galassie possiamo misurare la loro velocità di "fuga", anche se sarebbe più corretto parlare della velocità d'inflazione dell'Universo intero; misurando la luminosità apparente delle supernove nelle galassie lontane, possiamo determinare con una discreta precisione le loro distanze.

Nel 2011 il premio Nobel per la fisica è stato assegnato a tre astronomi per le misure precise della velocità d'espansione dell'universo, tramite un determinato tipo di supernove osservate a grandi distanze (a miliardi di anni luce dalla Terra). Lo scopo era di stabilire se dopo il Big Bang la velocità di espansione stesse rallentando e in che modo. Sarebbe naturale che questa velocità si riduca con il passare del tempo (così come vediamo anche nelle nebulose "planetarie" dopo lo scoppio della stella, vedi fig. 2.16). Poi, tra qualche miliardo di anni questa velocità si potrebbe ridurre a zero, e l'universo dovrebbe collassare su sé stesso.

La risposta ottenuta dopo diversi anni di osservazioni è stata sorprendente: l'Universo si sta gonfiando non per inerzia ma a causa di una "pressione interna". In altre parole, le misure confermano l'esis-

tenza del fattore *cosmologico* nell'equazione della relatività generale di Einstein, dando anche un valore preciso. Ma oltre a questo si è scoperto che questa velocità di espansione non è stata costante nella storia dell'Universo: dopo una veloce inflazione iniziale, l'espansione è rallentata, per accelerare negli ultimi miliardi di anni. Nelle parole di Saul Perlmutter, uno dei vincitori del Premio, questa è stata la vera sorpresa:

Visibilmente, abbiamo un Universo che è dominato da qualche ingrediente nuovo, una «energia scura» prima sconosciuta, che fa sì che l'Universo si espanda sempre più velocemente. È talmente raro che si incontri qualcosa che non fa parte del nostro modello fisico corrente! Si tratta di uno dei migliori risultati che si possano ottenere in un progetto come questo. Mi sento molto fortunato di aver potuto lavorare a questo progetto, perché qualsiasi suo risultato sarebbe stato eccitante: avremmo potuto scoprire che l'Universo era infinito oppure che era finito e andava verso una fine. Entrambi questi risultati sarebbero stati grandi. Invece abbiamo trovato una risposta che era ancora meglio di “grande”, e questa è stata la sorpresa. È qualcosa che non si potrebbe mai sognare nella scienza.

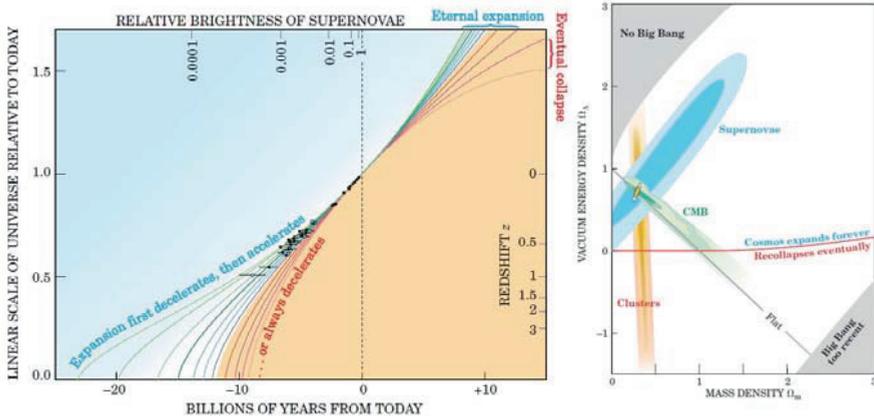


Figura 2.17. Due disegni dall'articolo del vincitore premio Nobel Saul Perlmutter: (a) la misura decisiva delle supernove di tipo Ia a grandi distanze (miliardi di anni) dalla Terra; il grafico presenta la storia dell'universo sino a 10 miliardi di anni fa: la zona colorata in marroncino corrisponde all'universo che decelera, la zona azzurra all'Universo che accelera. I punti misurati si trovano su una curva dell'universo che dopo l'esplosione iniziale ha decelerato la sua espansione, per accelerare qualche miliardo di anni fa. Adesso tutto indica l'universo infinito, in espansione sempre più rapida. b) Altre possibilità (teoriche) per l'universo: niente Big Bang (angolo in alto a sinistra), un Big Bang troppo recente (angolo in basso a destra); la curva rossa separa l'universo che espande per sempre (sopra) dall'universo che colassa. La riga nera indica l'universo “piatto”, cioè 3D. Diverse misure sono congruenti tra di loro. FONTE: Physics Today 56, 4, 53 (2003) © American Institute of Physics.

E così Saul Perlmutter prosegue la sua riflessione, che non è solo metodologica, ma anche filosofica:

Questo risultato è un esempio perfetto di come la scienza spesso possa essere a doppio taglio. Da una parte, era possibile scoprire qualcosa che fu una vera sorpresa per tutti noi perché il nostro campo, la fisica, aveva già fatto progressi molto grandi nella comprensione dell'Universo. Meno di un secolo fa non avevamo nessuna idea che c'è qualcosa di più nell'Universo che la nostra Via Lattea. La dimensione immensa dell'Universo, il fatto che esso si espanda, il fatto che è popolato da oggetti come le stelle che esplodono: tutto ciò e di più doveva essere scoperto prima che noi potessimo fare il lavoro che ci ha portati a contemplare una forma sconosciuta di energia che contribuisce a più di due terzi di tutto ciò che esiste.

È straordinario quanto abbiamo capito, ma d'altra parte è straordinario come quanto è il mistero che si è aperto come il risultato, e quanto abbiamo ancora da scoprire. Uno dei piaceri reali di fare scienza — che continuerà ad esser vero, credo, in qualsiasi giorno nei prossimi secoli — è che abbiamo così tante conoscenze costruite, ma c'è ancora così tanto per noi da scoprire.²⁰

Sappiamo “di testa propria” che esistono tanti mondi da vedere, ma sentire la stessa opinione dal premio Nobel, scopritore delle forze misteriose che pervadono l'intero Universo, è tutta un'altra cosa...

2.10. Il dito di Dio

Le misure delle stelle supernove nelle galassie lontane non solo hanno confermato l'intuizione di Einstein, provando l'esistenza di energia “scura”, ma in aggiunta hanno dimostrato che la velocità d'espansione è variabile. Sulle pagine di Wikipedia inglese, in occasione dell'assegnazione del premio Nobel del 2011 è comparsa una vignetta molto originale (vedi fig. 2.18.). Il titolo della pagina, “Fingers of God”, è stato presto cambiato e attualmente riporta la dicitura “Redshift space distortion”²¹.

Questo “dito di Dio” è comparso su Wikipedia anche perché sappiamo che le galassie formano i gruppi più grandi (i “cluster”), composti di qualche decina di esse, poi i cluster formano i super-cluster,

²⁰ S. PERLMUTTER, *Measuring the Acceleration of the Cosmic Expansion Using Supernovae*, Nobel Lecture, Dec. 8th, 2011, p. 25. (C) Nobel Foundation. <https://journals.aps.org/rmp/pdf/10.1103/RevModPhys.84.1127>.

²¹ https://en.wikipedia.org/wiki/Redshift-space_distortions.

sulle distanze di 500 milioni di anni luce. Infine i super-clusters sono gravitazionalmente legati a formare una gigantesca ragnatela che riempie l'Universo (v. fig. 2.18b.). Sul perché di questa ragnatela non abbiamo nessuna plausibile spiegazione.

Esiste qualcosa di più grande dell'Universo intero? Tanti scienziati e tanti pseudoscienziati fanno diverse speculazioni. Il nostro Universo che è nato “risucchiando” energia da un altro, universi paralleli come bolle di sapone separate, universi chiusi su sé stessi come un groviglio di anelli per le chiavi mutuamente collegati, ecc. A tutte queste idee, non verificabili, allora secondo “il rasoio di Ockham” non esistenti, conviene contrapporre Sant'Agostino:

Dio ha creato il mondo...

4. 1. Il mondo è il più grande degli esseri visibili, Dio il più grande degli esseri invisibili. Noi percepiamo l'esistenza del mondo, l'esistenza di Dio la crediamo. E crediamo che Dio abbia creato il mondo perché nessuno ne può dare la certezza che ne dà Dio stesso. Dove abbiamo udito la sua voce? In nessun luogo frattanto così bene come nelle Scritture sante, in cui ha detto un suo Profeta: *Nel principio Dio creò il cielo e la terra*. Questo Profeta non era presente quando Dio creò il cielo e la terra, ma v'era la sapienza di Dio, mediante la quale furono fatte tutte le cose.²²

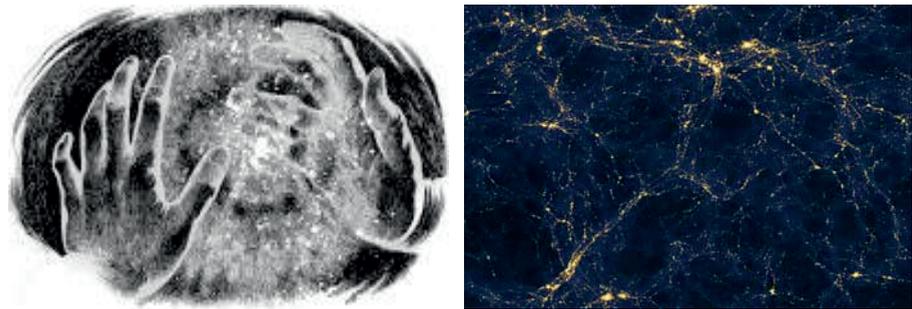


Figura 2.18. “Il dito di Dio” (Fingers_of_God) la pagina inglese di Wikipedia (nel 2011, oggi cambiata). (b) Filamenti delle Galassie viste in scala dell'Universo intero, non sappiamo perché le galassie formano i gruppi più grandi, detti “cluster” (si parla di una misteriosa materia scura come un legante), poi non sappiamo perché il cluster formano dei filamenti come una ragnatela, non sappiamo se l'universo si estende oltre i limiti visibili: rimangono ancora più domande che risposte.

Fonte: Wikipedia, 2011; Wikipedia 2019.

²² AURELIO AGOSTINO, *Città di Dio*, L. XI, p. 177, Edizione Acrobat a cura di Patrizio Samami: <https://giuseppicapograssi.files.wordpress.com/2013/01/ebook-ita-filosofia-s-agostino-la-città-di-dio.pdf>.

Le mancate risposte dell'astrofisica ci rimandano alla metafisica. La cosmologia moderna ha posto i limiti sulle nostre possibilità conoscitive. Il primo fu Copernico, poi Newton, Einstein e Perlmutter.

2.11. I nostri limiti cosmologici

Quali sono le conseguenze filosofiche della cosmologia moderna? Prima, dopo la breve illusione dell'Illuminismo, di nuovo conosciamo i nostri limiti. La seconda legge di Newton dice che per raggiungere una determinata velocità serve agire con una determinata forza per un tempo appropriatamente lungo. Questo significa anche che per accelerare serve l'energia. Le leggi di Newton sono il primo dei nostri limiti nei viaggi nello spazio-tempo: arrivare ai confini dell'universo è impossibile.

Il "corollario" della seconda legge di Newton è la teoria della relatività di Einstein: non si possono sommare due velocità di luce per ottenere una velocità doppia; in ogni caso, la velocità della luce rimane massima per qualsiasi trasmissione di oggetti materiali.

Di solito, la seconda legge di Newton si scrive nella forma

$$\mathbf{F} = m\mathbf{a}$$

dov'è \mathbf{F} sta per forza che agisce, m per la massa che viene accelerata e \mathbf{a} per l'accelerazione (con il grassetto viene segnato che \mathbf{F} e \mathbf{a} sono vettori, cioè sono caratterizzati non solo dai loro valori, ma anche dalla loro direzione).

Ma l'accelerazione è la crescita $\Delta\mathbf{v}$ della velocità nell'intervallo di tempo Δt : $\mathbf{a} = \Delta\mathbf{v}/\Delta t$. Così l'equazione di Newton può essere descritta come

$$\mathbf{F} \Delta t = m \Delta\mathbf{v}$$

da dove risulta chiaro che per far crescere di più la velocità serve o una forza maggiore o un tempo più lungo. Così la seconda legge di Newton (insieme alle limitate risorse di energie per derivare forze infinite) diventa la nostra prima "ancora" contro i viaggi infinitamente lontani in un tempo limitato. La nostra mente può raggiungere i confini dell'universo in un secondo, il nostro corpo avrebbe impiegato miliardi di anni.

Così, la velocità finita della luce pone limiti anche spaziali alle frontiere della nostra conoscenza: non sappiamo se l'Universo si estende oltre la distanza di 13,78 miliardi di anni luce, perché la luce da oltre questa distanza non è ancora arrivata a noi.

Inoltre, cambia anche la seconda legge di Newton: la massa m da accelerare non è più costante, ma cresce all'infinito, man mano che la sua velocità v si avvicina alla velocità della luce c , secondo la formula data da Einstein

$$m = m_0 / \sqrt{1 - v^2/c^2}$$

dove per m_0 si definisce la "massa al riposo", cioè senza movimento.

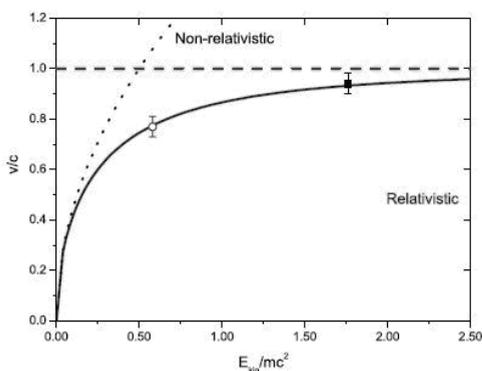


Figura 2.19. È impossibile per un elettrone (e qualsiasi altro oggetto provvisto di massa, cioè tutti gli oggetti tranne i fotoni e i gravitoni) muoversi alla velocità della luce: la massa dell'elettrone m rispetto alla sua massa "a riposo" m_0 cresce verticalmente nel limite della velocità v uguale alla velocità della luce (due dati sperimentali). FONTE: M. LUND. U.J. UGGERHØJ, Am. J. Phys. 77 (1982), p. 757.

Così l'infinitamente lontano è per noi irraggiungibile: accelerare alla velocità di luce è praticamente impossibile.

2.11.1. *Il terrore del buco nero*

Alla conclusione di una lezione di astronomia interattiva per bambini, con tanto di esperimenti, vengono fatte molte domande. Regolarmente metà di esse riguarda i buchi neri. Esistono? Ci si può entrare? Si può uscirne? Com'è il mondo dentro?

Il concetto di buco nero è molto facile da spiegare. Le stelle molto massicce, al di sopra di circa dieci volte la massa del Sole, possono finire la loro vita come un buco nero: è un oggetto talmente pesante che niente, neanche la luce, sfugge alla loro forza di gravità. Come abbiamo già visto, le stelle, quando finiscono il carburante, possono esplodere come supernove, ma possono anche collassare su sé stesse e formare palle di massa molto densa. La densità di queste stelle è così

grande che una capocchia fatta di questa massa pesa come un edificio di 10 piani. La densità della massa dentro un buco nero è ancora più grande, non sappiamo esattamente quanto.

La forza di gravità intorno a un buco nero è tale che non solo nessun oggetto non può sfuggire: persino la luce viene intrappolata. In principio la luce non ha massa, ma visto che porta energia, alle particelle di luce, i fotoni, si può attribuire la massa secondo la relazione di Einstein $E = mc^2$. Così la luce delle stelle, quando passa vicino al Sole, viene leggermente attratta: il percorso devia dalla retta. L'effetto venne osservato già nel 1919 durante l'eclissi solare²³. La luce che arriva al buco nero viene letteralmente inghiottita.

Se la luce che entra non esce più, la palla fatta da una materia così pesante sembra completamente nera, come nella “foto” 2.20a. Solo di recente sono state ottenute le prove inconfutabili dell'esistenza dei buchi neri: le onde gravitazionali, cioè le distorsioni dello spazio-tempo appena percepibili con gli strumenti più sofisticati in assoluto (precisione 10^{-23}). La prima onda, registrata nel 2015, è una prova di collisione, anzi di mutuo inghiottimento di due buchi neri della massa di circa 30 masse solari ognuno, v. fig. 2.20.

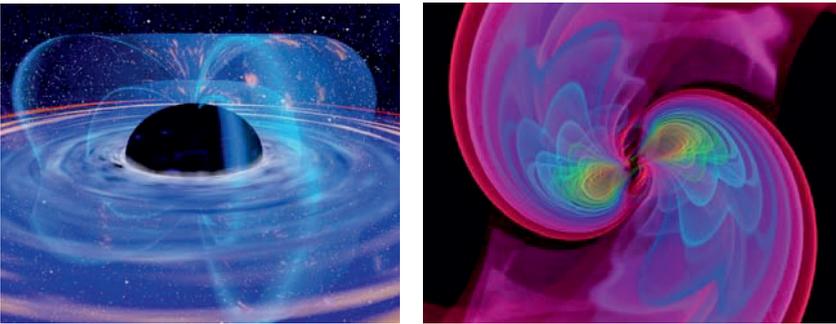


Figura 2.20. (a) Un buco gravitazionale visto da fuori è una sfera perfettamente nera: nessun raggio di luce esce da esso; il forte campo gravitazionale fuori del buco accelera la materia e la fa brillare prima di inghiottirla. (b) Le riproduzioni artistiche, basate su calcoli dettagliati, della collisione di due buchi neri della massa di 29 e 36 masse solari, registrata a Terra (14/09/2015) tramite le onde gravitazionali, e avvenuta alla distanza di 1,3 miliardi di anni luce. FONTE: Goddard Space Flight Center NASA (CC), <http://www.gsfc.nasa.gov/gsfsc/spacesci/pictures/blackhole/BH1.tif>; Nature News ©, 16/02/2016, doi:10.1038/530261a.

²³ L'osservazione fatta nel corso di due spedizioni inglesi non fu facile, ma la risposta diede ragione alla teoria generale della relatività di Einstein: la deviazione dalla retta era doppia rispetto alle previsioni della teoria di Newton.

Di che aspetto è la materia dentro il buco nero? Difficile persino chiamarla materia: l'estrema forza di gravità schiaccia tutto, compresi gli atomi. Non ci saranno più elementi chimici — idrogeno, carbonio, ossigeno — ma un miscuglio di neutroni, tutti identici. Un buco nero si può forse paragonare a una calderone di particelle ancora più esotiche, sicuramente molto, molto calde.

Non solo la materia viene schiacciata, ma dentro il buco nero si ferma il tempo²⁴: un secondo diventa l'eternità — in senso fisico, non solo metaforico. Senza dubbio, un buco nero è la fine di tutto ciò che è bello attorno noi. Allora i bambini, giustamente, hanno terrore del buco nero. Per nostra fortuna, quelli tuttora rivelati, che vagano nello spazio, distano alcuni miliardi di anni luce da noi.

²⁴ S.S. GUBSER, F. PRETORIUM, *I buchi neri*, Le Scienze, Roma 2018.

L'infinitamente piccolo

3.1. L'uomo: la dimensione intermedia

L'Universo intero, che si estende per 13,8 miliardi di anni luce, è la più grande struttura che possiamo osservare. Sull'altro estremo, l'infinitamente piccolo, si trovano l'atomo e i suoi componenti. Le dimensioni di un corpo umano sono in mezzo tra l'Universo e l'atomo.

La misura dell'uomo, un metro e qualcosa, è diventata anche la misura del mondo che lo circonda. Era così anche prima del sistema metrico: il pollice e il piede inglese, il cubito (gomito) toscano (pari a 58,4 cm). Il millimetro è il diametro della capocchia di una spilla, e un centesimo del millimetro lo spessore di un capello. Lo spessore di una bolla di sapone è un millesimo del millimetro. Gli atomi, le strutture chimiche elementari, sono ancora 10 mila volte più piccoli (in notazione scientifica: di diametro di 10^{-10} m). Per esempio, il raggio dell'orbita dell'elettrone nell'atomo di idrogeno è di $0,53 \times 10^{-10}$ m.

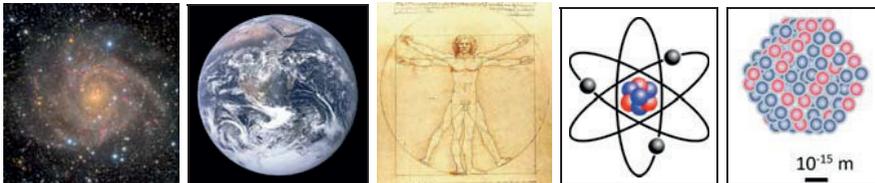


Fig. 3.1. L'altezza di un uomo (1,7 metri), si trova in “mezzo” tra il diametro della Terra $1,3 \times 10^7$ m, foto Apollo 17 e della nostra Galassia ($1,2 \times 10^{21}$ m, qui la foto della galassia IC342) da una parte, e l'atomo ($1,1 \times 10^{-10}$ m) e i componenti del suo nucleo (circa 10^{-15} m) dall'altra. Il Sole (con tutti pianeti) fa parte di una gigantesca pastella, del diametro circa 130 mila anni luce. È la nostra “Galassia”, in greco Via Lattea, cento miliardi di stelle che ci circondano. Però la Via Lattea è una delle 100 miliardi di galassie simili. L'Universo disponibile per le nostre conoscenze ha un raggio di 13,78 miliardi di anni luce. In metri questo fa $1,3 \times 10^{26}$ m. FONTE: (a) D. WOS; (b) NASA, Apollo 17 Crew; (c) Wikipedia, Da_Vinci_Vitruve_Luc_Viatour.jpg; (d) https://en.wikiquote.org/wiki/Atomic_theory, (e) T. WRÓBLEWSKI .

Esistono strutture più piccole dell'atomo? Sì, i componenti di un atomo: l'elettrone e il protone hanno diametri ancora centomila volte minori, pari a 10^{-15} metri. E poi i costituenti di un protone, i tre *quark* avranno le dimensioni dell'ordine di 10^{-18} m, se di dimensioni si può ancora parlare, visto che non abbiamo un modo di misurarle. I fisici speculano su dimensioni ancora più piccole, sino a 10^{-34} m.

Nella direzione opposta, la circonferenza della Terra è di 40 mila chilometri (e questa fu la definizione originale del metro), la distanza tra la Terra e la Luna di 380 mila chilometri (un'astronave arriva sulla Luna comodamente in due giorni). Dal Sole ci separano 150 milioni chilometri (e questa viene chiamata "unità di misura astronomica" — $1,5 \times 10^{11}$ m). Il Sistema Solare si estende per qualcosa come 130 unità astronomiche.

Ma persino l'unità astronomica non è adeguata per misurare l'estensione dell'intero Universo. Gli astronomi usano il "parsec", basato sull'angolo di osservazione. I fisici usano una misura basata sulla velocità della luce, che è altissima (circa 300 mila chilometri al secondo): un lampo di luce impiega 8 minuti per arrivare dal Sole a noi. Per arrivare a una stella più vicina a noi, chiamata appositamente "Proxima" nella costellazione del Centauro, la luce impiega circa 4,5 anni.

3.2. A-tomos, cioè in-dividuo

Georges Lemaître aveva ipotizzato che l'universo avesse avuto inizio da un singolo atomo primordiale¹. Così la cosmologia si lega alla fisica — questa volta non di un universo infinitamente vasto ma dell'infinitamente piccolo — delle particelle elementari. Per ripercorrerle torniamo di nuovo ai Greci antichi.

Un pezzo di granito della roccia della Scandinavia contiene cristalli di tre diversi colori che possono essere da esso separati. Un granello di sabbia, cioè di quarzo, può essere triturato in polvere bianca, usata per le pulizie domestiche nella forma di una sospensione: un liquido denso per strofinare i pavimenti (mai le pentole in acciaio inox, perché rimarranno graffiate!). Questi granelli, quasi invisibili a occhio nudo

¹ Altrettanto interessante era l'osservazione di Lemaître secondo cui le nozioni di spazio e tempo non avevano nessun senso prima che l'atomo primordiale si scindesse in due. Così lo spazio e il tempo si formarono un attimo prima della nascita dell'universo.

(un milionesimo di millimetro), possono essere ulteriormente divisi. Esiste un limite a questa frammentazione? La fisica (anzi la chimica) moderna risponde sì. È un'unità indivisibile (con mezzi meccanici o chimici) chiamata *a-tomo*, cioè *in-divisibile*. Ancora nel greco moderno *atomos* significa “persona”, cioè *in-dividuo*.

È stato probabilmente Democrito (460–370 a.C.) il primo filosofo a ipotizzare l'esistenza degli atomi. Secondo la sua teoria tutti gli atomi sono della stessa grandezza ma si differenziano nella loro forma, come le due lettere F \sqcup , anche se incastrandosi possono formare dei composti. Gli atomi erano invisibili, ed emettevano degli “efluidi”. Cosa dice la fisica (e chimica) moderna? Ancora cento anni fa gli scienziati, compreso, Einstein non credevano nella possibilità di vedere gli atomi.

Oggi sappiamo che tutti gli atomi sono fatti in modo molto simile con solo due (anzi tre, se viene contato il neutrone²) identici componenti: i protoni (in atomi più pesanti dell'idrogeno anche neutroni), che formano un piccolo nucleo (diametro circa 10^{-15} m), e gli elettroni, che girano intorno al nucleo a circa 10^{-10} m di distanza³.



Figura 3.2. (a) Un pezzo di granito dalla Lettonia: si distinguono i grossi cristalli di ortoclasio (rosa), quarzo (bianchi) e mica (neri). (b) I cristalli bianchi nel pezzo di granito sono fatti di quarzo. Su questa foto certi cristalli hanno le dimensioni della sabbia, altri mille volte più piccoli (delle dimensioni di un micrometro) vengono usati per strofinare lo sporco ostile sulle superfici dure. (c) Dividendo questi ultimi altre mille volte si arriverebbe a singoli atomi, qui visibili tramite un microscopio “a forza atomica”: i punti bianchi sono gli atomi, mentre gli spazi neri indicano la loro assenza. FONTE: (a, b) Foto GK; (c) RHK Technology (2006), Dr. Xue Kun, Prof. Xu Jian Bin – The Chinese University of Hong Kong.

² Il neutrone, scoperto da James Chadwick nel 1932, potrebbe essere considerato, in prima approssimazione, un insieme di un protone e di un elettrone.

³ Un atomo è quasi vuoto. Paragonando il nucleo dell'atomo di idrogeno a un'arancia (diametro 10 cm), l'elettrone gira a 10 km di distanza. Simili proporzioni caratterizzano il Sole e i pianeti, compresa la Terra.

Stranamente (cioè a causa delle leggi dell'elettrostatica) tutti gli atomi, indipendentemente dal loro peso, dall'idrogeno al piombo, sono di dimensioni simili, di circa 10^{-10} m. Identica (governata dalle stesse leggi del micro-mondo) è anche la disposizione degli elettroni (che formano degli "orbitali", come nella fig. 3.6 più avanti).

Da pochi anni ci sono metodi diretti di visualizzare gli atomi, semplici dal punto di vista concettuale ma abbastanza sofisticati da quello tecnico: un sottile dito che va sulla superficie del cristallo. La punta dell'ago è talmente vicina alla superficie che viene attratta da singoli atomi. Si misura la forza con cui l'ago è attratto dalla superficie: la forza è maggiore, se gli atomi sporgono dalla superficie. Nella la foto 3.2c mostriamo la superficie di un cristallo di silicio, come nei circuiti elettronici del telefonino. La dimensione dei singoli punti è di circa 10^{-10} m. Se manca un atomo, il cristallo è difettato.

3.3. Gli efluidi, cioè i fotoni

Ma la materia è visibile anche per un altro motivo: gli atomi emettono una specie di "efluidi" (usando il termine di Democrito), cioè i *fotoni*, le particelle di luce. Secondo la sua energia, il fotone cambia il suo colore: i fotoni viola sono più energetici di quelli rossi.

I processi di emissione dei fotoni sono strettamente legati alla struttura dell'atomo, in particolare al numero degli elettroni che esso possiede e ai livelli d'energia sui quali questi elettroni si trovano. Ciò determina i diversi colori delle lampade al neon, al mercurio, al sodio.

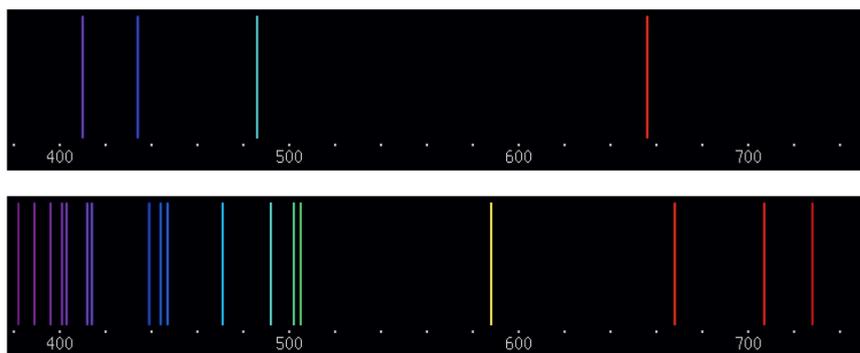


Figura 3.3. Gli spettri di emissione (la luce visibile) di idrogeno atomico (sopra) e di elio (sotto). Sull'ascissa la lunghezza d'onda in nanometri. FONTE: Wikipedia.

Nella figura 3.3 vediamo i colori (le righe) emesse dagli atomi di idrogeno e di elio. In generale, più elettroni contiene un atomo, più righe compaiono nello spettro: nella fig. 3.3 contiamo 4 righe visibili per l'idrogeno (solo 1 elettrone in diversi stati d'energia) e 18 per l'elio (2 elettroni). Gli atomi emettono colori non solo quando vengono riscaldati (come nella fiamma), ma anche quando vengono semplicemente illuminati. Il colore visibile di un corpo è il risultato dei processi di assorbimento e riflessione di fotoni.

Così il colore è l'impronta di una sostanza. Lo intuì già Aristotele nel *De anima* (Libro B7, "La vista") scrivendo:

Oggetto della vista è il visibile. Visibile è il colore e inoltre ciò che può essere espresso con un discorso, ma che si trova a non avere un nome: quanto intendiamo dire sarà chiaro più avanti. Il visibile è in effetti il colore, ed il colore è ciò che si trova sul visibile per sé: dico "per sé" non perché sia visibile per sua essenza, ma perché possiede in sé stesso la causa della sua visibilità. Ora, ogni colore è capace di muovere il trasparente che si trova in atto, e questa è la sua natura. Pertanto il colore non è visibile senza la luce, ma ogni colore di ciascuna cosa si vede nella luce. Bisogna perciò dire anzitutto che cos'è la luce. Esiste dunque qualcosa di trasparente. Chiamo trasparente ciò che è visibile per sé, ma per esprimersi propriamente, non visibile per sé, bensì per mezzo di un colore estraneo. Tali sono aria, acqua e molti corpi solidi. (418a 26 – 418b 8)

Che cosa dunque sia il trasparente e che cosa sia la luce s'è detto: la luce non è fuoco né, in generale, un corpo né un'emanazione di alcun corpo (giacché anche in questo caso sarebbe un corpo, ma è la presenza del fuoco (o qualcosa di simile) nel trasparente. (418b 14–16)

Se i fotoni (la "luce" di Aristotele) siano corpi o no, rimane un dibattito aperto tra i fisici: i fotoni possiedono la massa, ma solo quando viaggiano (alla velocità della luce). Quando sono fermi, non hanno la massa, anzi semplicemente non esistono. Ed ancora su un fatto Aristotele aveva ragione: il fuoco (cioè gli atomi riscaldati) emette la luce, ma la luce non è il fuoco.

Il discorso sui colori si trova nel *De anima*, non nella *Fisica*: infatti, i colori così come li vediamo sono prodotti sì dalla fisica, ma in definitiva dal nostro cervello. Dei sette colori dell'arcobaleno l'occhio umano ne usa praticamente solo tre: rosso, verde e blu. I tre sensori hanno il massimo della loro sensitività proprio in queste tre regioni dello "spettro", v. la figura 3.4a.

Le api vedono i colori diversamente (v. fig. 3.4b): il verde è grigio, il marrone è nero, non vedono il blu (indaco; così non ci sono fiori blu impollinati dalle api), mentre vedono benissimo il rosso, il giallo e l'ultravioletto. Nei fiori bianchi del melo illuminati dal sole si accendono delle piccole lampadine al centro, ma solo se vi si trova ancora il nettare.

Aristotele intuiva bene che sono i colori che portano la maggior informazione sugli oggetti e che solo al buio dobbiamo usare i ricettori di scorta dell'occhio, cioè i cosiddetti *bastoncelli*, per la visione a gradazioni del grigio. La luce visibile dall'occhio umano è solo una parte dell'intero spettro della radiazione elettromagnetica che arriva dal Sole, che oltre il visibile comprende l'ultravioletto e l'infrarosso. Dalle lunghezze d'onda da 0,1 a 10 micrometri dello spettro solare vediamo solo uno stretto intervallo compreso tra 0,38 (il violetto) e 0,76 micrometri (il rosso).

Sembra poco, ma il 50% dell'energia delle onde elettromagnetiche che arriva alla superficie terrestre è compresa proprio nella regione visibile dall'occhio umano. Inoltre, tutti i gas dell'atmosfera sono trasparenti in questa regione dello spettro. Ma persino il cane non vede tutti i colori che vediamo noi: per lui il verde è incolore. Poi, non è l'occhio che fa l'immagine, ma il cervello umano: da un milione di punti ("pixel") fa un quadro complesso. Gli insetti, che sono praticamente senza cervello, hanno un occhio "composto" da centinaia di celle, di cui ognuna di esse è un fotoricettore sconnesso. Anche gli uccelli reagiscono a un movimento piuttosto che a una forma o al colore del vermetto da assaggiare.

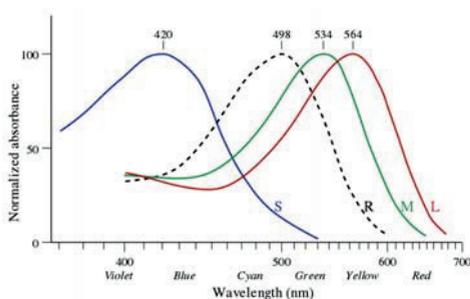


Figura 3.4. La sensibilità dell'occhio umano (i tre tipi di coni per la visione dei colori) e i bastoncelli per la visione in scala dei grigi. FONTE: Wikipedia (Rod_cell). (b) Una simulazione della visione dei colori da parte delle api. FOTO: M. KARWASZ, elaborazione dell'immagine GK.

Diversamente dai cagnolini, il bambino guarda il mondo già nei primi minuti dopo la nascita. Esso impiega qualche giorno per capire che l'insieme delle macchie colorate sono oggetti fisici, palpabili, poi, allungando la mano e toccando la faccia della mamma comincia a capire che gli oggetti sono tridimensionali, e togliendo gli occhiali alla mamma si accorge che certe parti del viso sono smontabili, altri come il naso no.

L'occhio umano, con centinaia di milioni di ricettori, la visione a colori, l'altissima sensibilità e l'ampio spettro di colori è veramente una meraviglia della Natura. Per non parlare del cervello umano...

3.4. Perché si vedono i colori?

La spiegazione della visione dei colori arrivò solo nel XX secolo e richiedeva una mente geniale come quella di Einstein.

La luce ultravioletta, anche di intensità minima può causare il cancro, perchè porta l'energia sufficiente per tagliare il DNA. Ma il fenomeno sembra molto strano, se consideriamo la luce come un'onda elettromagnetica: l'energia delle onde dipende in primo luogo dalla loro ampiezza; sulla stessa superficie di mare una brezza delicata non causa danni come una burrasca con onde gigantesche. Con la luce è diverso: la luce di colore rosso, anche molto intensa, non porta l'energia sufficiente per tagliare il DNA, la ultravioletta — anche molto debole — sì.

L'energia della luce arriva in pacchetti, detti quanti, oppure fotoni. L'energia di un singolo fotone dipende esclusivamente dalla lunghezza d'onda della luce, cioè dal suo colore, secondo la relazione $E = h\nu$, dove la frequenza ν dell'onda è legata alla sua lunghezza λ tramite la velocità di luce $v = c/\lambda$. In altre parole, più corta è l'onda (cioè la luce ultravioletta), più grande è l'energia portata da un singolo fotone.

La relazione $E = h\nu$ (h è una costante fisica introdotta da Max Planck) fu dedotta da Einstein per spiegare il cosiddetto effetto *fotoelettrico*. A cavallo tra il XIX e il XX secolo è stato osservato che le superfici di alcuni metalli perdono la loro carica elettrica se vengono illuminati dalla luce: l'effetto dipende dal colore della luce, non dalla sua intensità.

Chiaramante, i quanti di luce colpendo la superficie di metallo ne ributtano gli elettroni. Ma dal punto di vista ondulatorio il fenomeno è

molto strano. Qualcuno ha paragonato l'effetto fotovoltaico a un porto di mare con delle barche ancorate, che dondolano sulle onde. All'improvviso, qualche barca fa un salto in alto di 20 metri, ricade giù e poi tutto torna alla tranquillità.

L'effetto non dipende solo dal colore della luce, ma anche dal tipo di metallo: i metalli alcalini, come il sodio e il potassio, perdono elettroni più facilmente, cioè basta la luce blu e non l'ultravioletta. L'occhio umano funziona allo stesso modo: un quanto di luce colpisce la retina e provoca una minima corrente elettrica che va al cervello. Ma per vedere separatamente i colori, servono diversi ricettori. Ne abbiamo tre, sensibili alla luce rossa, verde e blu, come nella figura 3.4a. Nel dettaglio, gli intervalli di sensibilità di questi ricettori si sovrappongono parzialmente: una congiunta illuminazione rossa e verde sembra essere di colore giallo; il colore violetto cade sul bordo di sensibilità del ricettore di colore blu e, nonostante che il violetto consista di quanti di alta energia, a noi sembra abbastanza poco intenso.

Ovviamente, possiamo ritenere che sia stata la cieca evoluzione a formare tre ricettori diversi, che in modo complementare coprono l'intervallo di luce dal rosso al violetto: non è l'intero spettro della luce solare ma solo 380–760 nanometri⁴. Ma in questo stretto intervallo si racchiude il 50% dell'energia (vuol dire l'informazione sul mondo esterno). Ma i diversi e praticamente infiniti colori, oltre a essere utili perchè portano l'informazione, sono anche belli: come mai la “cieca evoluzione” ha creato un occhio così sofisticato?

3.5. Gli atomi con i gancetti

Gli atomi di diversi elementi possiedono diversi numeri di elettroni. Il numero degli elettroni determina in un modo unico tutte le proprietà fisiche degli atomi, come il loro stato macroscopico (solido, fluido, gassoso), la durezza, la temperatura di evaporazione, il colore, e anche quelle chimiche: metallo alcalino, ossidante, gas neutro, ecc. La varietà di queste caratteristiche è molto ampia: l'elio, il gas nobile più leggero, rimane liquido anche alla temperatura di zero kelvin (cioè –

⁴ Un intervallo che copre frequenze (equivalenti alle lunghezze d'onda) 1:2 si chiama in acustica “un'ottava”, otto tasti bianchi sulla tastiera del pianoforte. Sulla tastiera ci sono più che sette ottave (che sentiamo perfettamente) ma l'occhio copre solo *una* ottava di luce. Ma già il fatto che copre questa ottava e distingue i colori rimane una meraviglia della natura.

273,15°C); il tungsteno, un metallo molto pesante e duro, si scioglie alla temperatura di 3695 K ed evapora a 6200 K; il carbonio (atomo leggero) non si scioglie, ma evapora direttamente dalla fase solida (è soggetto alla sublimazione) a 3915 K.

Gli atomi, come le due lettere F, possono “incastrarsi”, scambiando i loro elettroni, formando i cosiddetti *composti* chimici. Una polvere gialla di zolfo (v. fig. 3.5b), triturrata con una goccia di mercurio, forma un composto grigio (rosso se forma i cristalli), il solfato di mercurio HgS (il minerale chiamato cinabro), v. fig. 3.5c.

Circa cento diversi atomi che esistono nel mondo della chimica⁵, combinati tra loro possono dare una infinità di materiali — cristalli di rocce, leghe metalliche e composti organici, sui quali si basa la vita.

Gli atomi legandosi formano le molecole. Possono farlo in molti modi diversi: cedendo (o ricevendo) elettroni oppure facendo girare alcuni di essi (quelli più esterni) attorno a due atomi. Combinando gli atomi di ossigeno (con 6 elettroni esterni, cioè di “valenza”) con l’azoto (5 elettroni) si ottengono composti di diverse stechiometrie e caratteristiche chimiche.

Per esempio, tra i composti di azoto e ossigeno, N₂O è un anestetico e propellente nella panna montata. NO è incolore e NO₂ marrone; entrambi formano lo smog del traffico automobilistico. NO (che in piccolissime quantità si forma nel naso) stimola la respirazione, mentre NO₂ è velenoso.

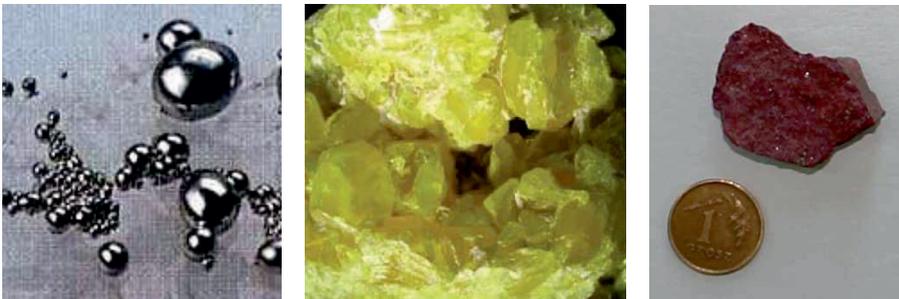


Figura 3.5. I composti di atomi possono avere caratteristiche fisiche molto diverse dai loro costituenti. (a) Il mercurio, Hg, un metallo pesante, è liquido alla temperatura dell’ambiente: triturrato con lo zolfo (b), forma una polvere HgS grigia; nella forma cristallina HgS è un minerale chiamato cinabro, un pigmento rosso vivace (c).
FONTE: Autore

⁵ Nella tabella di Mendeleev, che oggi (2019) contiene 118 elementi, solo 80 sono stabili, dall’idrogeno (n.1) al piombo (n. 82).

Persino gli stessi atomi possono formare strutture diverse. Gli atomi di carbonio, se interscambiano tre elettroni, formano la grafite — un minerale molto morbido, usato nelle matite — e se ne scambiano quattro, il diamante, la sostanza più dura in assoluto (che però diventa grafite alla temperatura di mille gradi), v. figura 3.6.

La ricchezza della chimica, e della scienza dei materiali deriva proprio da questa straordinaria differenza nelle proprietà elettriche, chimiche, strutturali, meccaniche, che produce una piccola variazione di determinate “posizioni” di elettroni. I chimici, come spieghiamo in seguito, chiamano “orbitali” queste ben definite, *quantificate* posizioni. Nell’atomo di carbonio, in diversi composti chimici, gli elettroni possono girare su diversi orbitali. Anzi, questi orbitali dipendono dal atomo con cui l’atomo di carbonio si lega.

Poi supraggiunge la struttura cristallografica, vuol dire il modo in cui milioni di atomi formano un granello. Il pezzo di acciaio rimane morbido, se gli atomi di ferro con l’aggiunta di qualche percentuale di atomi di carbonio formano una struttura a cubetti (“regolare”), invece diventa molto duro, quando il cristallo ha una forma allungata.

Anche le proprietà ottiche, vuol dire la “trasparenza” di Aristotele e il colore “che sopraggiunge” dipendono dalla disposizione di elettroni negli atomi e nelle molecole. Una sostanza è “colorata” quando riflette (come lo zolfo) o assorbe (come un rubino) determinate lunghezze d’onda della luce visibile.

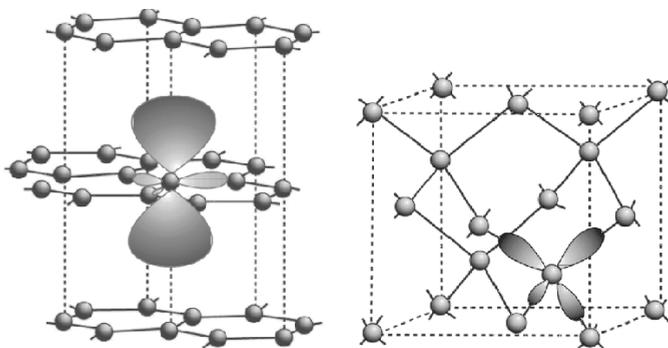


Figura 3.6. (a) La struttura cristallografica della grafite: gli atomi di carbonio interscambiano 3 elettroni. (b) La struttura cristallografica del diamante: gli atomi di carbonio scambiano 4 elettroni. Gli atomi sono segnati come punti, e gli “aloni” rappresentano “nuvole” descritte dagli elettroni interscambiati. FONTE: S. MITURA *et al.*, J. Achiev. Materials & Manufact. Eng, **16**, 1–2 (2006) p. 1.244.

Le determinate lunghezze corrispondono ai particolari “salti” da un orbitale a un altro che gli elettroni compiono dentro il materiale. La luce visibile corrisponde ai salti (nelle nostre unità comode) di qualche eV (elettronvolt): più esattamente tra 1,8 eV (la luce rossa) e 3,6 eV (la luce violetta)⁶.



Figura 3.7. (a) Tiziano ha usato il colore rosso vermiglione (HgS) per l'effetto drammatico nella *Assunzione della Vergine* (Venezia, 1516–1518): le vesti rosse guidano l'occhio verso i personaggi principali. (b) Van Gogh per la notte stellata usò i pigmenti meno costosi: il blu di cobalto (CoAl_2O_4) e il blu di Prussia, un ferricianuro. (c) Per le vesti della Madonna Aldobrandini (1532) Tiziano ha usato l'ultramarina (lapis lazuli), un alluminio-silicato, un pigmento più costoso dell'oro. FONTE: Santa Maria Gloriosa dei Frari, Patriarcato di Venezia, concessione a titolo gratuito; Museum of Modern Arts, N.Y. & Scala Group; The National Gallery, London (permission gratis, educational waiver, with appreciation).

⁶ Per confronto, un elettrone dentro la pila del telefonino compie un salto di 3,7 eV passando da un orbitale di litio all'altro, in due „elettrodi” diversi.

I livelli di questi salti dipendono da tanti fattori. L'atomo di cromo dà una colorazione gialla in diversi composti chimici ma un bel colore rosso, se incorporato dentro un (incolore) cristallo di allumina, Al_2O_3 . I colori sono diversi se il cromo forma l'ossido o cloruro.

L'ossido di ferro ha il colore della ruggine, se la sua formula è Fe_2O_3 e il colore nero, se FeO . Da qui nascono tutte le sfumature che sfruttano i pittori: si ammirino i quadri nella fig. 3.7.

Perché atomi così simili nella loro costruzione formano sostanze chimiche così diverse? Torneremo alla questione più avanti, citando due autori eccellenti, Wolfgang Pauli, un fisico del XX secolo, e San Tommaso d'Aquino, filosofo del XIII secolo.

3.6. Perché la chimica?

La domanda per esteso è la seguente: che cosa rende possibile la chimica, cioè tutta la diversità degli elementi chimici — metalli, gas, semiconduttori, ecc. — visto che tutti gli atomi sono fatti esattamente dagli stessi componenti? La risposta è: non lo sappiamo. Ovvero, abbiamo diverse risposte indirette, ma che spostano solamente il problema.

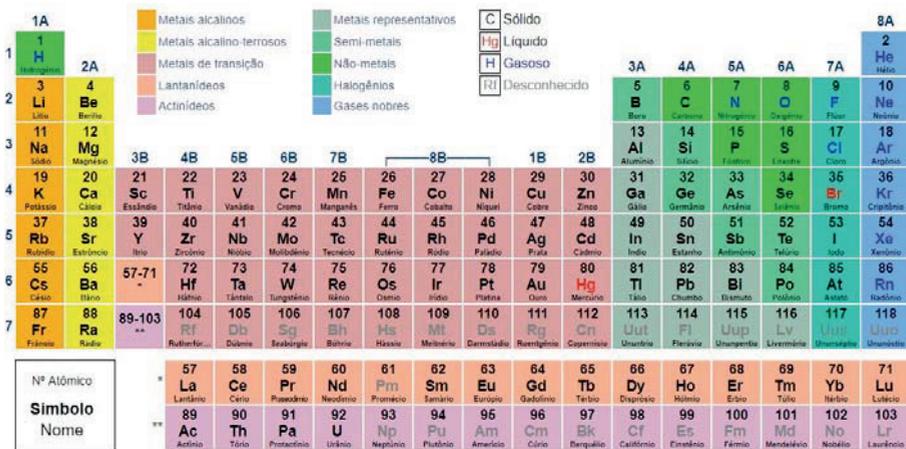


Figura 3.8. La tavola periodica degli elementi chimici: aggiungendo un elettrone cambiano radicalmente le proprietà chimiche, come per esempio tra il fluoro (un gas molto reattivo) e il neon (gas inerte). FONTE: Wikipedia.

La prima approssimazione alla risposta è la “tavola periodica” di Mendeleev, v. la fig. 3.8. Quando verso la fine del XIX secolo fu individuato l’elettrone (per la precisione fu misurata la sua massa e carica elettrica da J.J. Thompson), fu chiaro che la tabella periodica di Mendeleev si sviluppa aggiungendo un elettrone alla volta: l’idrogeno atomico H ne ha uno, l’elio He due, il litio Li — tre, ecc.

Ma perché l’aggiunta di un elettrone cambia così drasticamente le proprietà di un atomo? Ciò viene determinato dalla posizione nello spazio degli elettroni. Un singolo elettrone nell’atomo di idrogeno gira su un’orbita che può essere considerata circolare; su quest’orbita possiamo mettere ancora un elettrone e non più. Due elettroni su un’orbita circolare, abbastanza stretta, danno un atomo chimicamente non reattivo, l’elio. Un terzo elettrone deve occupare un’orbita nuova, anch’essa “circolare” ma quattro volte più larga.

Così il terzo elettrone (cioè quello più esterno nell’atomo di litio) si trova lontano dal nucleo e facilmente si “accoppia” con qualche elettrone di un altro atomo: il litio è estremamente reattivo. Anche il singolo elettrone dell’atomo dell’idrogeno è reattivo: l’idrogeno allo stato gassoso forma una molecola diatomica H_2 , e alla fase liquida, negli acidi, l’atomo di idrogeno perde il suo elettrone e forma H^+ , che è lo ione di tutti gli *acidi*.

Nel berillio, un quarto elettrone può ancora occupare un’orbita circolare; nel boro (un metallo leggero ma duro), poi nel carbonio, nell’azoto, nell’ossigeno, nel fluoro, nel neon, gli elettroni occupano uno alla volta delle orbite a forma di una doppia ciambella “8” (v. fig. 3.9c). Sono possibili tre posizioni diverse (lungo tre assi perpendicolari) di queste ciambelle, così possiamo posizionare 6 elettroni. L’oro è facilmente malleabile, grazie alla particolare forma di uno degli orbitali esterni, v. fig. 3.9d.

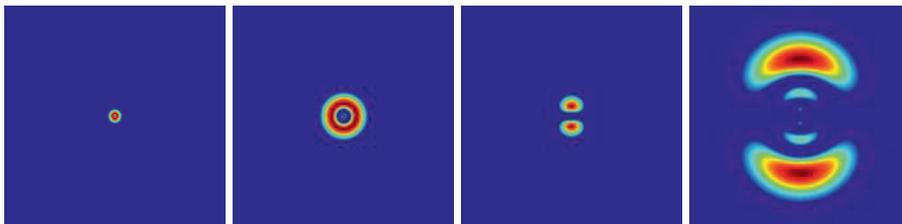


Figura 3.9. Soluzioni all’equazione di Schrödinger per un atomo di idrogeno (con singolo elettrone): la forma degli orbitali: $1s$, $2s$, $2p$, $4d$. Il colore rosso corrisponde alla probabilità più alta di trovare l’elettrone. FONTE: K. FEDUS & Autore.

Abbiamo capito che la forma dell'orbita e il numero pari o dispari degli elettroni determina le proprietà chimiche. Ma non abbiamo spiegato perché più di due elettroni non possano occupare la stessa orbita. Nella chimica elementare ciò viene spiegato costruendo delle caselle, come nel gioco della battaglia navale: una singola, una tripla, una quintupla, ecc. Poi nelle caselle vengono aggiunti gli elettroni. Così l'idrogeno viene disegnato come un elettrone nella casella ("orbitale") $1s$, l'elio con due (con due freccette opposte, come sarà spiegato subito), ecc., v. fig. 3.10.

La struttura "a caselle" è solo una pittoresca rappresentazione della soluzione matematica dell'equazione che governa il moto (e le posizioni) degli elettroni in un atomo. Queste soluzioni sono "quantizzate": non tutti gli orientamenti delle orbite (e degli elettroni) sono permesse. In ogni "casella" sono permessi due elettroni. Questo è dovuto alla rotazione degli elettroni: girano su sé stessi, come la Terra intorno al suo asse. Ma diversamente dalla rotazione dei pianeti, la velocità di rotazione di un elettrone assume un solo valore, ma con due direzioni (da qui le freccette in alto e in basso). In questo modo i due elettroni sono *distinguibili*. Allora, su un orbitale, cioè nella singola casella nella rappresentazione schematica, sono permessi al massimo due elettroni.

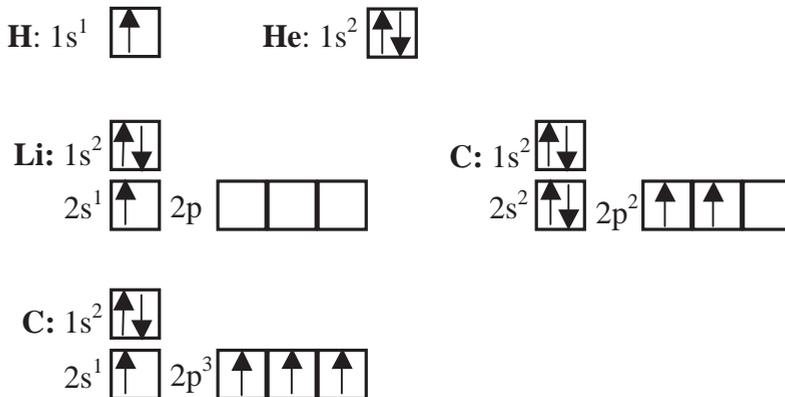


Figura 3.10. La struttura elettronica degli atomi descritta tramite "orbitali": nell'idrogeno atomico un singolo elettrone occupa l'orbitale $1s$, nell'elio due elettroni occupano lo stesso orbitale; nel litio il terzo elettrone è sull'orbitale $2s$; due forme di carbonio, la grafite, con due elettroni sull'orbitale $2p$ o il diamante, con un elettrone di $2s$ e tre su $2p$. FONTE: Autore

Questa regola si chiama “divieto” (o principio) di Pauli. Riformuliamo questo principio di esclusione: al massimo due elettroni (ma con rotazioni proprie contrapposte) possono occupare lo stesso orbitale.

Nel linguaggio esatto della meccanica quantistica si dice: “non più di un elettrone può occupare lo stesso elemento dello spazio di fase”. In parole semplici, due elettroni si evitano, come due donne con lo stesso vestito al ballo di Capodanno. Perché? Non si sa. L'elettrone è piccolo, leggero, senza struttura interna, per cui possiamo definirlo “elementare”. Ma ci sono ancora molte altre particelle elementari.

3.7. Bohr: l'atomo quasi vuoto

I disegni degli atomi, come quello qui sotto (3.11a), sono erronei, per un paio di motivi. Il primo è che sullo stesso tipo di orbitale (circolare in questo disegno) possono stare al limite due elettroni: il terzo elettrone gira su un'orbita, sì circolare, ma molto più distante. Il secondo motivo sono le dimensioni dell'atomo e il suo interno, cioè il nucleo, che sono fuori scala nel disegno sotto. L'orbita dell'elettrone (nel modello semplice, fatto da Niels Bohr nel 1916), di raggio $0,53 \times 10^{-10}$ m, è centomila volte più grande del raggio del protone ($0,88 \times 10^{-15}$ m).



Figura 3.11. (a) Il disegno dell'atomo, in cosiddetto modello di Bohr, è sbagliato per diversi motivi: non esistono quattro orbite circolari, ma solo due; poi in generale, le orbite non sono ben determinate. (b) L'elettrone (che gira intorno al nucleo) si comporta come un'onda. Le orbite stazionarie sono solo queste, quando l'onda si chiude su sé stessa, come la decorazione di questo piattino in una caffetteria a Parigi. (c) I pianeti, diversamente dagli elettroni, girano nello stesso piano (detto eclittica): le forze gravitazionali tra i pianeti sono attrattive, tra gli elettroni repulsive. Qui le orbite sono in proporzioni giuste, ma il Sole è più grande. FONTE: E.G. BLACKMAN, University of Rochester; Autore; Wikipedia (H. SMITH, L. GENEROSA), NASA.

Per paragone, assumendo la dimensione del nucleo di circa un centimetro, l'elettrone (anch'esso del raggio⁷ di qualche millimetro) si troverebbe a un chilometro. In altre parole, l'atomo è quasi completamente vuoto.

Anche il Sistema Solare è quasi vuoto: paragonando il Sole (diametro 1,3 milioni di km) a un'arancia, la Terra sembra una capoccia di spillo, posta alla distanza di 10 m. Ma niente vieta ai pianeti di trovarsi più vicini al Sole: Mercurio, che è tre volte più vicino della Terra, v. fig. 3.11c, non cade sul Sole, perché (secondo le leggi di Keplero) semplicemente gira più velocemente⁸ della Terra intorno a esso. Che cosa impedisce a un elettrone di trovarsi più vicino al nucleo del raggio di Bohr? La meccanica quantistica, o meglio la meccanica ondulatoria.

Per spiegare il suo modello dell'atomo, Bohr aveva posto una condizione un po' artificiale sull'orbita dell'elettrone, secondo cui il prodotto di raggio r e la velocità orbitale v siano un multiplo intero della costante di Planck, h .

$$mvr = nh \quad (3.1)$$

dove m è la massa dell'elettrone. Fu un'ipotesi arbitraria fino a un'altra interpretazione: la meccanica ondulatoria. Nel 1924 un laureato in storia, il conte Louis de Broglie, scrisse una tesi di dottorato in fisica. Nel suo lavoro assunse che l'elettrone, come il fotone, le volte può mostrare una natura ondulatoria. Infatti, nella fotocellula del telefonino un fotone si comporta come una particella, nell'arcobaleno come un'onda (v. fig. 2.9).

La lunghezza d'onda di un elettrone, nel modello di de Broglie, dipende dalla sua velocità. E visto che questa a sua volta deve essere in relazione al raggio dell'orbita (tramite le leggi di Keplero, che si applicano anche alle forze elettriche, non solo alla gravitazione), si ottiene la condizione (3.1) di Bohr: per un'orbita stazionaria (cioè affinché un elettrone non cada su nucleo immediatamente), la lunghezza d'onda deve "chiudersi" su sé stessa (v. fig. 3.11b).

Anche altri ragionamenti portano al risultato che l'orbita dell'elettrone è enorme rispetto alle dimensioni del nucleo: in altre parole,

⁷ Diversamente dal protone, non abbiamo modi diretti di misurare il raggio dell'elettrone. Il limite posto dalle leggi della fisica classica (l'elettrostatica e la relatività ristretta di Einstein) ammonta a $0,28 \times 10^{-15}$ m.

⁸ Il pianeta Mercurio compie un'orbita completa in 88 giorni.

l'atomo è costituito principalmente dal vuoto. Che cosa succederebbe se l'elettrone smettesse di girare e cadesse sul protone del nucleo? La carica positiva del protone si annulla con la carica negativa dell'elettrone e si forma una particella con quasi la stessa massa del protone, ma elettricamente neutra, un neutrone. Addio atomi, con tutta la loro diversità chimica: un insieme di neutroni è indistinguibile.

Può esistere un insieme di neutroni? Sì, le stelle che finiscono la loro vita possono collassare: la forza di gravità schiaccia gli atomi, gli elettroni si annullano con i protoni e tutto ciò forma una stella di neutroni⁹. Il Sole, composto principalmente da atomi di idrogeno ed elio, diventando una stella di neutroni avrebbe il diametro di 11 km, cioè si sarebbe ridotto per un fattore 10^5 , lo stesso fattore che abbiamo calcolato all'inizio di questo paragrafo per gli atomi. Un atomo, fortunatamente per la chimica (e per noi), è quasi vuoto. E i postulati di Bohr rimangono un po' metafisici.

3.8. Schrödinger: la funzione d'onda

Max Planck, per spiegare i colori dell'arcobaleno (cioè lo spettro continuo del Sole), dovette assumere che la luce venisse mandata a porzioni di energia, detti quanti. Le strette righe dei diversi colori, che emettono i gas riscaldati rarefatti, mostrano che gli elettroni negli atomi fanno "salti" da livelli di energia ben definiti, cioè quantificati. Bohr riuscì a calcolare questi livelli per l'atomo di idrogeno, quasi in perfetto accordo con le righe osservate. Ma le sue ipotesi erano dei "postulati": la teoria quantistica prevedeva certi fenomeni, ma si arrendeva davanti ad altri esperimenti con elettroni.

Uno di questi esperimenti furono i lavori da Carl Ramsauer, al Politecnico di Danzica, svolti nel 1919. Studiando il passaggio degli elettroni in gas rarefatti (argon, krypton), egli si accorse che alle basse energie i gas diventavano completamente trasparenti. Alle energie più alte era diverso: i gas rimanevano quasi impenetrabili, v. fig. 3.12a.

Non ci si stupisce che il vetro sia trasparente: è così e basta. No, il vetro non è trasparente, né per le palline di gomma, né per i sassi; è trasparente solo alla luce e solo a quella visibile: non è trasparente

⁹ Solo di recente, cioè nel 2017, abbiamo osservato le onde gravitazionali dovute alla collisione di due stelle di neutroni: una prova inconfutabile della loro esistenza.

all'infrarosso¹⁰ (da qui la funzione “riscaldatrice” delle serre in vetro), né all'ultravioletto (rimangono gli “occhialoni” quando uno si abbronzava con gli occhiali con le lenti in vetro). La luce è un'onda!

L'effetto Ramsauer non ha spiegazione, salvo l'ipotesi che gli elettroni siano onde e che la loro lunghezza d'onda dipenda dall'energia. Variando la lunghezza d'onda, in certe condizioni i gas diventano trasparenti. Dopo il lavoro di de Broglie fu chiaro che l'elettrone potesse essere descritto come un'onda. Serviva un'equazione.

L'equazione per descrivere un'onda sul lago (oppure sulla corda) ha la forma

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = -c \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \quad (3.2)$$

dove c è la velocità di propagazione dell'onda e t il tempo, x significa che l'onda si propaga lungo la direzione x e che le oscillazioni (in alto e in basso) vanno nella direzione y (∂ è una variazione o nelle direzioni x o la variazione in tempo).

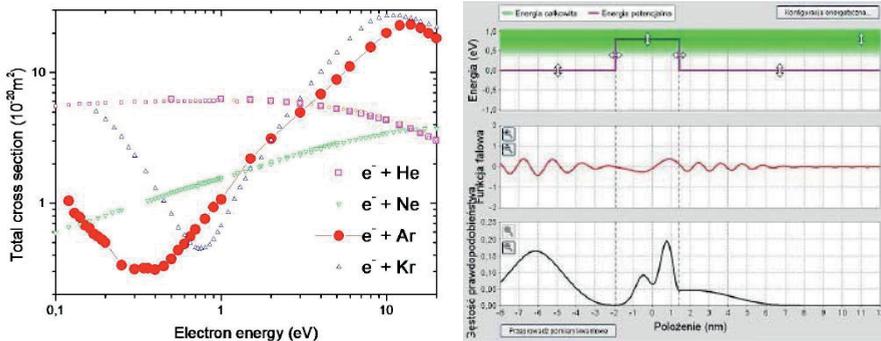


Figura 3.12. Fisica dell'equazione di Schrödinger: (a) a una determinata energia l'elettrone può passare attraverso i gas quasi senza ostacolo (il minimo della curva rossa che indica l'argon): le misure delle “sezioni d'urto”, cioè delle “dimensioni” dell'atomo in funzione di energia cinetica dell'elettrone. (b) In modo analogo, l'elettrone ha una certa probabilità (curva inferiore) di attraversare la barriera del potenziale (il rettangolo superiore); la curva rossa mostra la funzione d'onda e la curva nera (il pannello inferiore) la probabilità di trovare l'elettrone: l'elettrone può passare, può essere respinto ma anche intrappolato per un certo tempo dentro la barriera. FONTE: Autore; PhET Università di Colorado, simulazione GK.

¹⁰ Il vetro è essenzialmente composto dall'ossido di silicio, SiO_2 . Il silicio cristallino, Si, è grigio metallico alla luce visibile ma è trasparente all'infrarosso.

Non dobbiamo entrare nei dettagli matematici per capire che l'equazione dell'elettrone (di massa m) è simile:

$$i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} \quad (3.3)$$

La matematica è un po' più complessa, usa il numero immaginario i , e l'elettrone (cioè la sua posizione nello spazio e nel tempo) è descritto tramite la "funzione d'onda" Ψ . Viene usata la costante \hbar , cioè la costante di Planck h divisa per 2π (così si capisce meglio che la funzione d'onda dell'elettrone nell'atomo si chiude sul cerchio completo, v. fig. 3.11b).

L'equazione precedente, proposta nel 1927 da Erwin Schrödinger, si distingue un po' dall'equazione delle onde sul lago (o della luce), per il motivo che la luce (nel vuoto) si propaga sempre alla stessa velocità, ma possiamo accelerare gli elettroni a qualsiasi velocità. L'equazione di Schrödinger divenne la nostra chiave per capire il micro-mondo.

L'elettrone si comporta come un'onda non solo quando passa attraverso un atomo: si riflette (e parzialmente¹¹ passa) anche su una barriera, v. fig. 3.12b. In questo l'elettrone (e altri corpi del microcosmo) si differenziano dai corpi del macro-cosmo, come la pallina da tennis. Quest'ultima, se colpita al di sotto del bordo della rete, non passa: l'elettrone può, con una certa probabilità, passare, anche se non ha un'energia (potenziale) maggiore della barriera.

La probabilità di trovare l'elettrone in un determinato posto è descritta proprio dalla funzione d'onda Ψ (o meglio: dal "modulo" di questa funzione, v. la fig. 3.12b). Nella fisica classica era possibile determinare la posizione di una particella in qualsiasi momento; nella fisica quantistica parliamo solo di *probabilità*.

L'equazione di Schrödinger ha creato seri problemi concettuali: un elettrone, una particella quasi puntiforme, si comporta come un'onda estesa: a volte passa sopra la barriera, altre volte si riflette (e per un certo tempo viene intrappolato dentro la barriera). La fisica ha perso la sua classica certezza. O meglio: è stato impedito a noi (dall'equazione di Schrödinger?) di avere questa certezza.

¹¹ "Parzialmente passa" non è una affermazione del tutto corretta: la funzione d'onda descrive la *probabilità* che l'elettrone passi. In altre parole descrive quanti elettroni, sparati in una grande quantità, oltrepassano la barriera.

3.9. Heisenberg: la certezza dell'incertezza

L'equazione di Schrödinger descrive la posizione di un elettrone (o di qualche altro oggetto del microcosmo¹²: nucleo, molecola, gruppo di atomi) in funzione del tempo. Trattando un elettrone come un'onda, essa però non permette una precisa determinazione della posizione, ma descrive una “distribuzione della probabilità” (v. la fig. 3.12b). In altre parole, non possiamo conoscere con “certezza” la posizione.

Questo sembra irragionevole: per conoscere la posizione di un tavolo basta semplicemente misurarla, anzi basta un “batter d'occhio”. Ma “batter d'occhio” significa mandare un fotone verso il tavolo e raccogliere il fotone riflesso. Questa operazione non influenza la posizione del tavolo, ma di un leggero¹³ elettrone sì!



Figura 3.13. (a) Gli oggetti del microcosmo sulla scala macro si comportano come oggetti classici: nella camera “a bolle” una particella alfa (2 neutroni + 2 protoni) urta un protone (più leggero) nell’atomo di idrogeno: l’angolo d’urto è acuto. La foto mostra anche il principio di Heisenberg; le tracce non sono continue: dove c’è il punto la particella alfa ha urtato qualche elettrone (allora la sua posizione è ben determinata), ma non conosciamo la direzione e la velocità; tra due punti possiamo dedurre la velocità, ma non sappiamo le posizioni in mezzo. (b) Gli oggetti del microcosmo si comportano come le onde: un fascio di elettroni passa attraverso due fenditure (fatti da un potenziale elettrico) molto strette. Nonostante il fatto che gli elettroni passino uno ad uno, sullo schermo si forma un’immagine “ondulatoria”, come se un elettrone successivo sapesse dov’è caduto quello precedente. Ovviamente, un elettrone non “sa”, ma viene governato dall’equazione intuuta da Schrödinger. FONTE: H. HAKEN, H.C. WOLF, *Atomi e quanti*; Hitachi Ltd. (Youtube).

¹² Non solo l’elettrone viene descritto con la funzione d’onda, ma anche la palla da tennis; solo che per gli oggetti pesanti (cioè masse grandi in equazione 3.1) gli effetti “ondulatori” sono piccoli ed è sufficiente la meccanica classica per descrivere il loro moto.

¹³ La massa di un elettrone ammonta a appena $9,1 \times 10^{-31}$ kg.

Dal punto di vista sperimentale nella meccanica quantistica la misura influenza l'oggetto misurato. Dal punto di vista matematico, ogni diversa misura significa fare una diversa operazione con la funzione d'onda. Si scopre che anche matematicamente una misura influenza l'altra: se abbiamo misurato la posizione dell'elettrone, abbiamo cambiato la sua velocità, allora una successiva misura della velocità sarà errata.

Questo principio fu notato per primo da Werner Heisenberg (1901–1976): alcune coppie di misure, come per esempio la posizione e la velocità, o l'energia e il tempo non possono essere misurate con una precisione maggiore della costante di Planck \hbar , anzi $\hbar/2$, oppure $\hbar/4$ (i fisici teorici ne discutono ancora).

Al principio di Heisenberg viene spesso attribuito un senso “magico”: tra un punto e un altro della traiettoria dell'elettrone non sappiamo che cosa succede; gli elettroni nell'esperimento con due fenditure molto strette si comportano come un'onda. Sì, si *comportano*, ma non *sono* un'onda. E l'elettrone non sparisce tra un urto e un altro, semplicemente *noi* non lo abbiamo *rilevato*.

3.9.1. *La crittografia quantistica*

Le leggi della meccanica quantistica (cioè ondulatoria) sono controintuitive: nonostante la migliore precisione non possiamo determinare certe grandezze fisiche; anche conoscendo la posizione, non sappiamo la velocità (è vietato conoscerla in modo intrinseco secondo il principio di Heisenberg), così non possiamo *prevedere* la posizione futura.

Le dipendenze matematiche tra gli oggetti quantistici determinano altri paradossi. Scegliendo due elettroni dell'atomo di elio (con i loro *spin* opposti), possiamo mandare messaggi che rimangono correlati anche a grandi distanze. La cosiddetta crittografia quantistica costituisce un modo assolutamente sicuro di mandare messaggi: qualsiasi tentativo di spiare una parte della serie 0/1 del messaggio lo cancella totalmente. Come funziona? Bella domanda! Con le parole di uno degli ideatori di questa branca della fisica, Paweł Horodecki, siamo in grado di descrivere la formulazione matematica, codificare messaggi, decifrarli, ma non sappiamo come funziona. La nostra intuizione del mondo esterno, semplicemente, finisce qui.

3.10. Skłodowska–Curie: dividere l’in-divisibile

L’atomo è indivisibile, ma solo meccanicamente. Già nella lampada al neon la corrente elettrica passa attraverso il gas perché una piccola parte di atomi perde i suoi elettroni. Una reazione, prendendo come esempio un atomo del gas principale nelle lampade “a risparmio energetico” — l’argon, Ar, avviene nella scarica elettrica: un atomo perde un elettrone (che ha una carica elettrica negativa) e forma uno ione (con la carica positiva)



Gli elettroni sono le particelle che portano la corrente elettrica nel cavo di rame, sono le particelle che disegnano l’immagine sullo schermo del vecchio televisore (cosiddetto “a tubo catodico”), sono le particelle che, accelerate nella lampada (“magnetron”) delle cucine a microonde, generano la radiazione che riscalda i cibi (in particolare quelli umidi). Il loro nome significa “ambra” in greco, visto che l’ambra strofinata si “elettrizza”¹⁴, e di conseguenza attrae polveri.

Gli elettroni sono i principali costituenti di tutta la materia e, come dimostrato da recentissimi esperimenti fatti sul Gran Sasso, sono stabili (cioè eterni): il loro tempo di vita supera l’età dell’Universo.

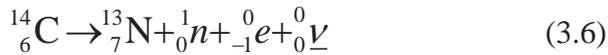
Lo ione Ar^+ , che si forma nella reazione (eq. 3.4), porta la carica positiva, perché positiva è la carica dei protoni, che formano il nucleo. Il nucleo di argon contiene 18 protoni (lo stesso numero degli elettroni) e in più un numero simile di neutroni.

È stata la scienziata di origine polacca Maria Skłodowska–Curie (1865–1925) a scoprire che non solo gli atomi ma anche i loro nuclei possono dividersi. La prima osservazione di un evento del genere è stata fatta da H. Becquerel (nel 1897), il quale notò che la lastra fotografica si anneriva in vicinanza dei sali di uranio. Si scoprì in seguito che i nuclei di uranio che contengono 92 protoni e 146 neutroni (cioè 238 neutroni e protoni insieme) possono trasformarsi in altri nuclei (di torio, con 90 protoni e 144 neutroni) emettendo una particella composta di due protoni e due neutroni (la cosiddetta particella *alfa*, che in realtà è un nucleo dell’elio). Schematicamente, tenendo il conto del numero degli elettroni e dei protoni più neutroni, possiamo scrivere:

¹⁴ Non sappiamo nel dettaglio come avviene questo processo, nonostante secoli di studi, a partire da Alessandro Volta (1745-1827) e l’invenzione della sua “pila”.

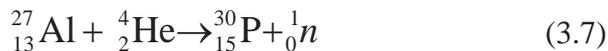


Gli oltre cent'anni passati dai lavori di Maria Curie e Henri Becquerel hanno di mostrato che solo certi nuclei sono stabili, come il carbonio con 6 protoni e 6 neutroni. Il carbonio con 8 neutroni, denominato ${}^{14}\text{C}$ si forma nell'atmosfera¹⁵ sotto l'azione della radiazione cosmica e decade, dimezzando la sua quantità in 5730 ± 40 anni. Nella trasformazione radioattiva di ${}^{14}\text{C}$, uno dei neutroni si trasforma in un protone e inoltre viene emesso un elettrone più una particella molto difficile da rilevare, il neutrino, prevista dal fisico italiano Enrico Fermi. In modo simbolico possiamo scrivere questa reazione come:



dove n sta per neutrone (massa 1, carica 0), e – per elettrone (massa 0, carica -1), ν – per anti-neutrino (massa e carica = 0). Questo decadimento, in cui si forma un elettrone, si chiama *beta*, il nome che fu dato ai raggi emessi (cioè gli elettroni) quando furono osservati da Maria Curie.

Nel 1937 la figlia di Maria Curie, Irène Joliot-Curie e il marito Frédéric scoprirono che il decadimento radioattivo può essere anche indotto. Essi osservarono che un nucleo di alluminio assorbendo la particella *alfa* si trasformava in un nucleo di fosforo radioattivo, emettendo un neutrone, secondo la reazione



Il nucleo di fosforo risultava radioattivo e nel giro di pochi minuti¹⁶ si trasformava emettendo un elettrone in silicio, l'isotopo ${}^{30}\text{Si}$. L'uomo ha realizzato il vecchio sogno: trasmutare un elemento chimico in un altro.

Perché tutte queste reazioni? Sono queste che permisero la formazione di tutti elementi chimici all'interno del "forno nucleare", cioè dentro la stella del proto-Sole. E senza questi elementi non ci sarebbe la vita e neanche noi.

¹⁵ I test degli ordigni nucleari negli anni 1950-1970 hanno contribuito all'aumento di ${}^{14}\text{C}$ nell'atmosfera.

¹⁶ Il tempo di dimezzamento radioattivo dell'isotopo ${}^{30}\text{P}$ è di 2,5 minuti.

3.11. L'energia delle stelle

Ancora cento anni fa non si sapeva quale fosse la sorgente d'energia del Sole. Nel 1897 un famoso fisico, lord Kelvin (che inventò la scala assoluta della temperatura), sbagliò clamorosamente l'età del Sole (datandola appena a 50 milioni di anni), perché riteneva che la sorgente della sua energia fosse il suo collasso (sotto la forza di gravità). In realtà, già in quel periodo era noto che i decadimenti radioattivi “producono” energia, come per esempio nel caso dell'uranio, ma non solo: molto di più (a parità di massa) si ottiene dalla sintesi dell'elio da due nuclei di idrogeno pesante, v. fig. 3.14a:



Anche se i due protoni (in atomi di idrogeno) si respingono (essendo due cariche positive), a distanze corte i neutroni e i protoni si attraggono. Visto che la forza netta è attrattiva, si forma il nucleo di elio e viene liberata una grossa quantità di energia.

La situazione è simile alla caduta dentro un fosso: ci si fa male e l'energia della caduta può danneggiare la gamba. Nelle reazioni nucleari questa reazione viene liberata, e in ultima analisi si trasforma in calore, tanto calore.

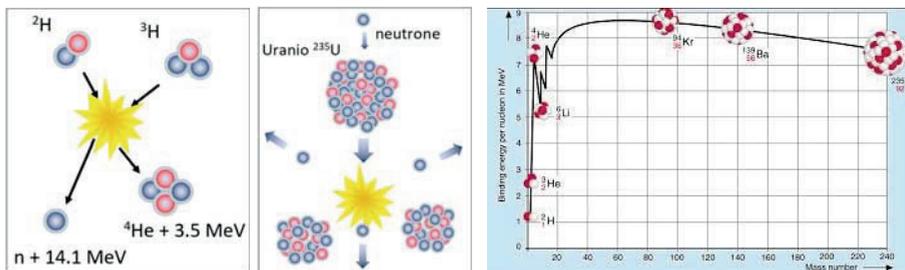


Figura 3.14. (a) La sintesi di un nucleo di elio, come nella centrale termonucleare (e nel cuore del Sole), avviene da due nuclei di idrogeno pesante (deuterio e tritio); viene prodotto un nucleo di elio, un neutrone e 17,6 MeV di energia cinetica (vuol dire in pratica calore). (b) La scissione del nucleo dell'uranio ${}^{235}\text{U}$: il nucleo assorbe un neutrone e si divide in due frammenti di massa circa (ma non esattamente) uguali; vengono inoltre emessi due o tre neutroni e liberata grande quantità di energia. (c) L'energia di legame dei nucleoni (cioè protoni o neutroni) per diversi atomi dall'idrogeno all'uranio: il nucleo più stabile è quello di ferro ${}^{56}\text{Fe}$; particolarmente stabile rimane anche il nucleo di elio ${}^4\text{He}$; FONTE: (a, b) T. Wróblewski; (c) European Nuclear Society.

Se le reazioni chimiche, come per esempio la formazione della molecola di CO₂, bruciando carbone liberano energia di qualche frazione di eV (elettronvolt), la formazione di un nucleo di elio da atomi di idrogeno fornisce 14,4 MeV (un milione di volte in più)¹⁷.

Così, nelle reazioni di sintesi nucleare (elio da idrogeno, carbonio e ossigeno da elio¹⁸, ecc.) viene liberata una quantità enorme di energia: questo è il meccanismo che permette alle stelle di brillare, e al nostro Sole di mantenere la vita sulla Terra.

Ma c'è un "ma": la sintesi dei nuclei pesanti avviene fino al ferro; dopo il ferro la sintesi non è più avvantaggiata dal punto di vista energetico. I nuclei molto pesanti diventano instabili; la loro scissione è favorita energeticamente. Riportiamo queste osservazioni nel grafico 3.14c. Dall'idrogeno all'elio (i numeri bassi sull'asse della massa) la curva sale: i nuclei più pesanti hanno un'energia di legame maggiore; oltre il ferro la curva scende e l'energia di legame (riportata a un protone o neutrone) scende.

Perché questa dipendenza? Nel dettaglio non lo sappiamo: è stata osservata in modo sperimentale. Perché non sappiamo calcolarla? Perché la meccanica quantistica funziona bene per l'*atomo* dell'idrogeno, in cui l'energia di legame è di 13,6 eV; mentre per la fisica nucleare le energie diventano mega-elettronvolt (MeV) e servono calcoli molto più complicati di quanto permettano gli attuali metodi.

La curva presentata nella fig. 3.14c è la chiave per la comparsa del Sistema Solare: ci fu il collasso di una stella, la formazione di nuclei pesanti in una formace come la stella di neutroni, l'esplosione della supernova, e solo in seguito la "coagulazione" della materia espulsa nella forma di pianeti (comete, satelliti ecc.). In questo modo si sono formati gli elementi pesanti come selenio, rame, uranio ecc.

Senza dubbio, la grande quantità di ferro formatosi nel proto-Sole è indispensabile per l'esistenza del campo magnetico sulla Terra.

E questo, di nuovo, è essenziale per la vita.

¹⁷ Ovviamente, secondo $E=mc^2$, quando nella sintesi dell'elio si ottiene energia, la massa diminuisce, ma in modo impercettibile (meno dell'1%).

¹⁸ La reazione di sintesi di carbonio avviene con uno stadio intermedio di berillio, v. fig. 9.4 nel capitolo conclusivo di questo libro.

3.12. Le particelle “elementari”

Fino alla metà del XX secolo il mondo delle particelle subatomiche conteneva: l’elettrone con la carica negativa¹⁹ di valore $-e$, il protone con la carica positiva $+e$, il neutrone con la carica zero. Di tutte le tre particelle era inoltre noto che fossero caratterizzate dalla rotazione propria²⁰ (*spin*), che nelle unità “atomiche” ammonta per loro a $\frac{1}{2}$. Si credeva anche che l’elettrone, il protone e il neutrone fossero particelle “elementari”, cioè non più divisibili, e così risultava dagli studi dei decadimenti radioattivi e delle reazioni nucleari.

Qualche dubbio proveniva dal fatto che in alcuni decadimenti (detti *beta-minus*) un neutrone si scindeva in un protone e in un elettrone, mentre in altri decadimenti molto simili un protone si scindeva in un neutrone e in un elettrone con la carica positiva, detto positrone. Questo elettrone con la carica positiva è stato previsto teoricamente, come un risultato non voluto, dell’equazione di Dirac (1902–1984).

Dopo la scoperta delle reazioni nucleari indotte, eq. (3.7), si decise di creare degli appositi reattori, v. fig. 3.15, che possono “iniettare” protoni (o particelle *alfa*) dentro altri nuclei.



Figura 3.15. (a) Il primo acceleratore di protoni, il sincrotrone (qui la costruzione di Cambridge)²⁰ occupava un tavolo. (b) Gli acceleratori odierni, come il sincrotrone di Hamburg, hanno dimensioni di centinaia di metri, se non di decine di chilometri, come quello del CERN a Ginevra. FONTE: GK; (C) DESY, Hamburg, 2015.

¹⁹ Dove $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$: se nel cavo elettrico passa la corrente di 1,6 Ampere (tipica di una lavatrice), sono 10^{19} elettroni al secondo.

²⁰ I principi di conservazione valgono anche per lo *spin*: il decadimento di un neutrone in un protone più un elettrone sembrava violare questa conservazione, così si è rivelata necessaria l’esistenza del neutrino, che oltre allo spin mancante portava l’energia che sembrava mancare nel decadimento beta.

Così, nel 1934 fu costruito il primo “acceleratore”, cioè un apparato per accelerare particelle cariche, come i protoni (che, ricordiamo, sono nuclei di idrogeno) ad alte velocità. Come in un tubo neon, gli elettroni nella scarica elettrica, accelerati dalla tensione di rete 220 V, urtano gli atomi di argon e gli tolgono un elettrone, così si supposeva che i protoni (o gli elettroni) accelerati da tensioni di milioni di volt, potessero frammentare i nuclei. Con la costruzione del primo acceleratore (foto 3.15a) si aprì la strada per una miriade di reazioni, ben controllabili a differenza delle reazioni indotte dalla radiazione cosmica.

Presto si scoprì che esistono non solo elettroni con carica positiva ma anche protoni con carica negativa (gli antiprotoni). Nacquero subito diverse domande: che cosa è costituito da che cosa? Un neutrone di un protone più un elettrone o un protone di un neutrone e anti-elettrone (positrone)? E che cosa succede se un antiprotone si unisce a un anti-elettrone? Si forma un atomo di anti-idrogeno? Identico o no a un atomo di idrogeno? Anticipando molto i tempi, possiamo dire che queste sono tra le domande più urgenti della fisica di oggi e chi riuscirà a rispondere prenderà il premio Nobel.

3.13. Invisibile, penetrante, pericolosa, benefica

La radiazione nucleare, come la particella *alfa* emessa nella reazione (3.8) porta energia, e per questo può ionizzare non solo gli atomi (reazione 3.4) ma anche le molecole più complesse come il DNA. Nelle reazioni nucleari vengono emessi non solo particelle, ma anche energia, nella forma di onde elettromagnetiche. Ma diversamente dalla lampada al neon, in cui vengono create onde elettromagnetiche visibili (cioè la luce), nelle reazioni nucleari vengono emesse onde *gamma*, molto più energetiche. Per dare un'idea, la luce rossa ha una energia corrispondente a 2 eV (cioè l'energia di un elettrone accelerato dalla tensione di 2 Volt), i quanti gamma possono avere 2 MeV e in profondo cosmo anche 2 Giga (miliardi eV, GeV).

Le sorgenti delle radiazioni sono diverse: decadimenti radioattivi nella crosta terrestre (questo rende la crosta ancora liquida, 4,5 miliardi di anni dopo la formazione), atomi radioattivi nei materiali usati per le costruzioni (cemento), un gas radioattivo radon che si forma nel decadimento dell'uranio (perciò esce dal sottosuolo, in particolare nei

terreni post-vulcanici), particelle energetiche che provengono da centri di galassie lontane, lo stesso Sole, ecc.

Una “particella” (un *quanto*) energetica della radiazione elettromagnetica può ionizzare le molecole del DNA in un tessuto biologico tante volte. Per questo, le radiazioni nucleari sono pericolosi agenti cancerogeni. Ma nello stesso tempo, la loro azione biologica distruttiva viene utilizzata nei trattamenti del cancro. Secondo la profondità di formazione da distruggere si possono utilizzare i protoni, cioè le particelle pesanti per trattamenti poco profondi, oppure le onde elettromagnetiche ad alta energia (i “raggi” *gamma*) che penetrano tutto il corpo.

Il termine “raggi” proviene dai tempi di Maria Curie, quando si osservavano sulla pellicola fotografica (un po’ come nella fig. 3.13a) le tracce di radiazioni emesse da uranio (e i prodotti del suo decadimento). Applicando il campo magnetico una parte di “raggi” veniva deviata a destra (*alfa*), una parte a sinistra (*beta*) e una parte proseguiva indisturbata. Da allora i nomi sono rimasti gli stessi, nonostante differenze basilari: i raggi *gamma* sono la radiazione elettromagnetica (come la luce), i raggi *beta* sono i fasci di elettroni veloci, e i raggi *alfa* sono i nuclei d’elio (cioè due protoni e due neutroni). Poi, nelle radiazioni cosmiche (e negli acceleratori nucleari), le particelle veloci (e anche la radiazione *gamma*) possono indurre la creazione di altre particelle, secondo la famosa relazione $E = mc^2$.

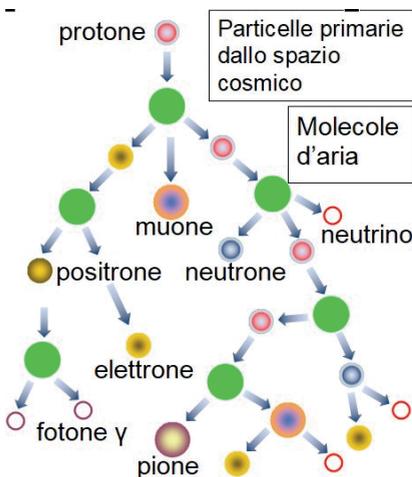


Figura 3.16. La “doccia” di particelle elementari (elettroni, positroni, muoni, neutroni) viene generata da un protone ad alta energia proveniente dalla radiazione cosmica. Tutte queste particelle, compresa la radiazione *gamma*, possono recare danni alla struttura del DNA, provocando così le mutazioni. La mutazione per un individuo sono di solito letali, ma sulla scala globale le mutazioni sono uno dei meccanismi dell’evoluzione biologica (lo schema non è preciso e viene presentato esclusivamente a scopo illustrativo). FONTE: Disegno proprio.

La figura 3.17 riporta lo “spettro” delle onde elettromagnetiche, da quelle poco energetiche (come le onde radio, della lunghezza di qualche chilometro), più energetiche (come le micro-onde, della lunghezza di qualche millimetro), visibile da 0,380 micrometri (μm) di luce violetta a 0,760 μm di luce rossa, ultravioletta che è già pericolosa per il DNA, dai raggi X (qualche \AA , cioè 0,0001 μm) sino ai raggi *gamma*. È difficile stabilire i limiti inferiori e superiori per queste lunghezze d'onda.²¹

L'occhio umano vede solo una minima parte dello spettro delle onde elettromagnetiche (ma la sua capacità cognitiva rimane una meraviglia della natura). Con delle antenne particolari possiamo scrutare sia l'Universo lontano sia quello nanoscopico. Praticamente, non ci sfugge niente dell'intero spettro di particelle, né della radiazione: salvo questo, che *non sappiamo*...

Senza dubbio, siamo immersi in un *oceano di onde e particelle invisibili*. La scoperta delle onde millimetriche che pervadono l'intero cosmo ha contribuito a fornire argomenti decisivi riguardo alle conoscenze dell'inizio dell'Universo. Ne parleremo in seguito. Ma prima concludiamo la descrizione dello *zoo* delle particelle elementari.

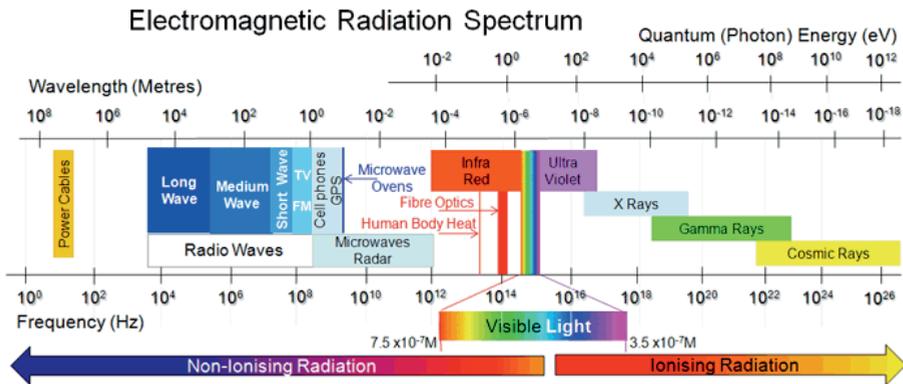


Figura 3.17. Lo spettro delle onde elettromagnetiche, dalle onde radio, più lunghe (ma meno energetiche), e le microonde, ai raggi X e ai raggi gamma di provenienza cosmica. La luce visibile, tra 760 e 380 nm (che corrisponde a un'energia da 1,6 a 3,2 eV), è una minima parte dell'intero spettro. FONTE: Woodbank, <https://www.mpoweruk.com/images/emspectrum.gif>.

²¹ Per esempio, le onde gravitazionali, che però non sono elettromagnetiche, hanno una lunghezza d'onda di migliaia di km.

3.14. Gell–Mann: i quark

Se il decadimento *alfa*, reazione (3.5), è facile da spiegare come una scissione del nucleo (anche se uno dei frammenti è minuscolo in confronto con altro), il decadimento *beta* (3.6) richiede una *trasformazione*. Si scoprì anche che, oltre ai decadimenti beta in cui il neutrone sembra trasmutare in un protone più un elettrone, come in potassio ^{40}K (nel nostro sangue), esistono nuclei che decadono in modo opposto: un protone si trasforma in un neutrone e un positrone. In questo modo non vale più il vecchio senso di essere “costituito di”. Anche se un neutrone è leggermente più pesante di un protone, la somma delle masse di prodotti del decadimento non corrisponde alla massa della particella originale²². Qui entra in gioco la famosa formula di Einstein dell’equivalenza di energia e massa: $E = mc^2$. La massa mancante dei costituenti viene bilanciata dal surplus di energia, e anche viceversa: assorbendo l’energia si possono creare oggetti più pesanti da costituenti che sommati non avrebbero la massa sufficiente.

Due ricercatori polacchi, M. Danysz e J. Pniewski, nel 1951 hanno osservato in una lastra fotografica un urto della radiazione cosmica, che ha prodotto una particella simile al protone ma instabile²³; essa fu chiamata “strana” (*strange* in inglese). In pochi anni furono scoperte decine di particelle strane, che sembravano formare delle famiglie.

Nel 1963 due fisici teorici, Murray Gell–Mann e Georg Zweig, avanzarono l’ipotesi che né i neutroni né i protoni fossero particelle elementari ma oggetti complessi, costituiti da tre minori, di due tipi: una particella positiva, con carica elettrica $+2/3$, e una negativa, con carica $-1/3$, che furono chiamate “quark” da Gell–Mann²⁴. I quark positivi furono chiamati *up*, gli altri *down*. Così, un protone è costituito da due quark *up* e uno *down*, mentre il neutrone da due *down* e uno

²² La massa del neutrone (come già detto) è di $m_n = 939,5654133(58) \text{ MeV}/c^2$ (c è la velocità della luce che serve per la conversione di un’unità di misura, la parentesi indica che l’incertezza è soltanto sulle due ultime cifre riportate). La massa del protone $m_p = 938,2720813(58) \text{ MeV}/c^2$ e la massa dell’elettrone $m_e = 0,5109989461(13) \text{ MeV}/c^2$. Così, $m_p + m_e < m_n$. La massa del neutrino non è conosciuta ma certamente molto piccola, di pochi eV.

²³ Il tempo di vita di un protone, stimato da diversi esperimenti supera l’età dell’Universo.

²⁴ Murray Gell–Mann spiega così l’origine del nome “quark”: «Nel 1963, quando chiamai «quark» queste particelle, mi venne dapprima in mente il suono di una parola che avrebbe potuto essere *quo:k*. Poi, in una delle mie occasionali letture di *Finnegans Wake* di James Joyce, mi imbattei nella parola “quark” nella frase: Three quarks for Muster Mark.» M. GELL-MANN, *Il quark e il giaguaro. Avventura nel semplice e nel complesso*, Bollati Boringhieri, Torino 2000, p. 211.

up. Il decadimento di un neutrone in protone nella reazione *beta* consiste nel cambio di un quark *down* in un quark *up* con l'emissione di un elettrone (e un anti-neutrino):

$$udd \rightarrow uud + e^- + \bar{\nu} \quad (3.9)$$

e il decadimento *beta-plus* (nel quale si forma in elettrone con la carica positive, cioè un positrone) nella reazione

$$uud \rightarrow udd + e^+ + \nu \quad (3.10)$$

dove ν sta per neutrino (piccolo neutrone, come fu chiamato da Enrico Fermi) e $\bar{\nu}$ per anti-neutrino.

I quark *u* e *d*, costituenti di neutrone e protone, sono molto leggeri, dalla massa di circa²⁵ 2,3 (^{+0,7}_{-0,5}) MeV e 4,8 (^{+0,5}_{-0,3}) MeV per quark *up* e *down*. Qui appare di nuovo la strana formula matematica di $E = mc^2$: $2 \times 2,3 + 4,8 = 938,3$. Non sappiamo come mai i quark così leggeri possano formare protoni molto pesanti.

Il quark *down* in sé stesso è instabile: un neutrone libero, cioè fuori dal nucleo atomico, decade (in un protone e un elettrone) dopo circa 15 minuti: non sappiamo perché. Neppure siamo in grado di spiegare perché le masse di quark assumano questi determinati valori. Si presume che questi valori esatti sono essenziali per la stabilità (anzi la stessa esistenza) sia degli atomi sia delle stelle. Ne parleremo ancora.

La scoperta dell'altro, instabile "protone", fatta da Danysz e Pniewski indicava però che esiste ancora un altro, terzo quark, con la carica elettrica negativa, ma più pesante del *down* e con un tempo di vita molto breve: è stato chiamato quark *strange*. Mancava un quark positivo per formare la coppia con lo *strange*; venne scoperto in una gara di misure tra due laboratori americani (Stanford e Brookhaven) e chiamato *charm*, cioè affascinante. Il quark *strange* (in un composto con anti-quark *up*, chiamato kaone, *K*) vive appena 10^{-8} secondi (in combinazioni con altri quark ancora meno) e la sua massa è di 95 MeV/ c^2 (anche per questa manca la spiegazione). Il quark *charm* ha una massa di 1290 MeV/ c^2 ; un composto di *charm* con il suo anti-quark, cioè una particella denominata J/Ψ , vive un tempo incredibilmente breve, 10^{-20} s. Esiste ancora una terza coppia (generazione) di quark, ancora più pesanti e ancora meno stabili. Ma non conosciamo le ragioni di queste tre "generazioni" e di loro caratteristiche.

Le incognite nel mondo dei quark rimangono tante. Non siamo in grado di prevedere i loro tempi di vita né le loro masse; non capiamo

²⁵ I numeri nelle parentesi descrivono le incertezze in più e in meno.

pienamente perché formano solo due tipi di composti: coppie quark anti-quark (come il mesone J/Ψ o il mesone K) oppure tre quark (come neutrone, protone e loro equivalenti con quark più pesanti).

Nel neutrone e nel protone i quark sono legati con forze, che crescono con la distanza; un tentativo di separarli oltre la dimensione del protone (10^{-15} m) richiede una forza uguale a quella necessaria per alzare un'automobile. Così si parla di quark intrappolati: nessun esperimento ha evidenziato quark singoli.

Alcune teorie (alle quali però manca la verifica sperimentale) prevedono che ad altissime temperature (10^{14} K) i protoni, i neutroni e i mesoni possano “sciogliersi” in un plasma, o in una “zuppa” di quark liberi. Senza dubbio, queste forme della materia sarebbero molto esotiche, *disordinate* e *instabili*, per niente simili alla materia (“terra”) normale. Certe speculazioni astrofisiche prevedono persino stelle fatte da quark liberi (stelle piccole ma molto pesanti: magari buchi neri?), ma di nuovo mancano indicazioni sperimentali.

La scoperta delle tre generazioni di quark (di cui solo la prima, più leggera è stabile), con le loro masse crescenti, ha portato i fisici all'idea di essersi avvicinati a pochi istanti dal Big Bang.

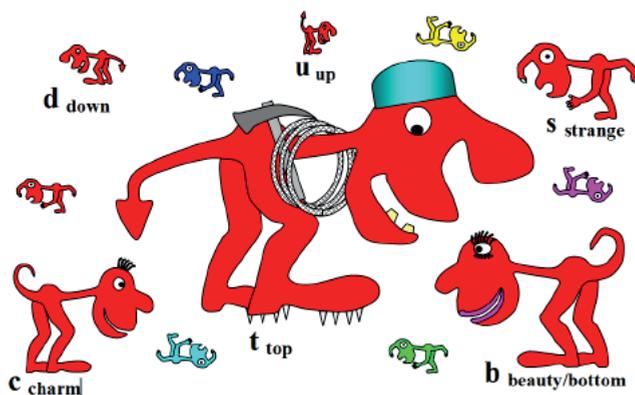


Figura 3.18. Le tre generazioni di quark, secondo dr T. Wróblewski: 1) la prima, più leggera, esistente nella materia (odierna, cioè normale) formata da due quark: *up* e *down* (guarda la coda); 2) la seconda, più pesante e instabile (non vive più che un miliardesimo di secondo) formato da *strange* e *charm*; 3) la terza, *bottom* e *top*, fu scoperta nelle collisioni nei giganteschi acceleratori di particelle negli USA. La direzione del muso indica il segno della carica elettrica (a destra positiva); le dimensioni corrispondono (loro quarta potenza) alla massa. I quark possono essere di 3 colori (rosso, blu, verde); inoltre esistono anti-quark con la stessa massa ma con la carica elettrica opposta e il “colore” supplementare (l'anti-quark del verde è il magenta, ecc.). Dietro queste semplici visualizzazioni ci sono difficili teorie quantistiche.

Le grandi masse di quark *strange* e *charm*, che corrispondono alla loro grande energia (sempre secondo $E = mc^2$), si possono paragonare alle grandi temperature: non di milioni ma centinaia di miliardi di gradi. Poi, questi quark si disintegrano in milionesime frazioni di secondi. Così, riproducendo negli acceleratori di particelle i quark pesanti, abbiamo riprodotto le condizioni dell'Universo nel primo secondo della sua vita. I fisici ne sono convinti...

3.15. Weinberg: i primi tre minuti²⁶

I diversi decadimenti nucleari, le reazioni nei nuclei indotte da bombardamento con altre particelle, l'infinità (oggi qualche migliaia) di possibili agglomerati di sei quark e sei anti-quark: tutto ciò indica che la presenza di atomi di idrogeno e di elio nelle stelle (la fonte di vita sulla Terra) non era per niente scontata. Inoltre, le proporzioni tra l'idrogeno e l'elio che osserviamo oggi furono "definite" nei primi tre minuti della storia dell'universo.

Abbiamo visto che l'atomo di idrogeno è composto da un protone al centro e un elettrone che gira intorno a grande velocità (1/137 della velocità della luce). L'elettrone e il protone si attraggono a vicenda, ma le leggi della meccanica quantistica impediscono che l'elettrone si avvicini troppo al protone: la loro distanza minima è circa $\frac{1}{2}$ angstrom ($1\text{\AA} = 10^{-10}$ m). Se l'elettrone cadesse sul protone, potrebbe formare un neutrone²⁷ piccolo, senza carica elettrica. Questo avviene nelle stelle vecchie e massicce, che sono composte solo da neutroni: stelle calde ma già morte.

Ma tutta la chimica dipende da elettroni che girano su diversi orbitali, così si distinguono atomi di metalli, di gas ecc., come abbiamo già detto, per cui nella materia composta da neutroni non è possibile nessuna varietà né chimica né biologica. Quali furono i meccanismi per i quali la materia non collassò in neutroni già nei primi minuti dell'universo? La risposta più comune è: perché i valori delle costanti

²⁶ Per approfondimenti si consiglia l'eccezionale libro del premio Nobel, S. WEINBERG, *I primi tre minuti. L'affascinante storia dell'origina dell'universo*. Mondadori-DeAgostini, Novara 1994.

²⁷ Entra in gioco ancora un neutrino, ma non sappiamo con precisione le sue proprietà né la sua funzione.

fisiche sono “giusti”. Come mai? Torneremo a questa domanda nel capitolo VII.

I modelli fisici dei primi istanti dell’universo sono abbastanza complessi e si basano sulle proprietà delle particelle elementari scoperte per mezzo dei grandi acceleratori. D’altra parte, questi modelli hanno permesso di prevedere diverse caratteristiche dell’universo odierno, come le proporzioni tra l’idrogeno e l’elio, il contenuto dell’idrogeno pesante, il rapporto tra il numero delle particelle nucleari (protoni e neutroni) e le particelle di luce (fotoni) che vagano nello spazio.

L’universo all’inizio fu molto caldo, molto denso e molto piccolo, anche se il primo momento che possiamo immaginare, è l’universo delle dimensioni di solo qualche migliaio di anni luce. L’universo caldo significa che le particelle si muovevano a grande velocità, cioè la loro energia era altissima. Dalla relazione di Einstein $E = mc^2$ risulta che questa loro energia cinetica poteva trasformarsi in altre particelle (o più precisamente in coppie di particelle con cariche elettriche opposte, come l’elettrone e l’anti-elettrone, cioè il positrone). D’altra parte, le particelle annichilano con proprie antiparticelle, producendo di nuovo una radiazione, la quale urtando altre particelle creava nuove coppie, e così via. Nei suoi primi stadi l’universo era composto da questa strana “zuppa” di particelle, molto esotiche e di radiazione. Questo stadio sarebbe durato per sempre, se l’universo non si fosse espanso subito, provocando un calo della temperatura.

Con il calo della temperatura pian piano è diventato impossibile creare particelle al di sopra di una certa massa. Così i protoni e i neutroni potevano essere creati e rimanere in mutuo equilibrio, solo fino a 0,01 secondi dopo l’inizio. Da questo momento il numero dei neutroni ha cominciato a diminuire: essi, essendo instabili per natura, sono decaduti in protoni e elettroni.

Un famoso fisico teorico russo (e nostro grande amico, il professor Lev Pitaevski), alla domanda perché le masse di quark, protoni, elettroni sono così strane e sembrano non seguire alcuna logica, ha risposto: «Esistono degli scienziati che dicono che se queste masse fossero state diverse, noi non saremmo esistiti.» Non si può immaginare una risposta più esatta. Se le masse di due quark *up* e *down* sono simili, il terzo quark è 20 volte più pesante. Se le masse di protone e neutrone sono uguali a 0,1%, l’elettrone è 1837 volte più leggero (e “pesa” $0,51 \text{ MeV}/c^2$). Il neutrino, che accompagna l’elettrone come prodotto

della disintegrazione del neutrone, ha la massa di qualche singolo²⁸ eV/c². Queste differenze permisero che i primi tre minuti dell'universo andassero "a gradini".

Prima si è fermata la sintesi di protoni e neutroni che avveniva attraverso la collisione dei fotoni (in 0,01 s); poi (in 0,1 s) si è rallentata anche la creazione di coppie elettrone-positrone. Dopo il primo secondo i neutrini si disaccoppiano dalla materia; in questo tempo già una parte di neutroni subì il decadimento: il rapporto tra numero di neutroni e protoni è di 1 a 3.

Dopo 14 secondi gli elettroni annichilano copiosamente con i positroni producendo una massiccia quantità di fotoni (oggi permane nello spazio un miliardo di fotoni per un elettrone). Sopravvive solo questa parte di elettroni, che corrisponde al numero dei protoni (la carica elettrica dell'Universo è zero, o almeno siamo convinti che sia così).

A questa temperatura (3×10^9 K), neutroni e protoni possono legarsi in nuclei di elio (energia di legame 24 MeV) che ha permesso ai neutroni di sopravvivere ai nostri tempi. I protoni in eccesso rimangono come futuri nuclei di idrogeno, e una piccolissima quantità di neutroni (qualche parte per milione) sopravvive in forma di nuclei di idrogeno pesante, deuterio²⁹. Come scrive Stephen Weinberg, sono passati esattamente tre minuti e 46 secondi dall'inizio dell'universo³⁰. La composizione della materia fu fissata³¹, salvo le reazioni future, ormai misurate in milioni e miliardi di anni, nei nuclei di stelle (e nei laboratori degli scienziati).

In riassunto: solo gli elettroni sono particelle elementari. I protoni, composti da tre quark (*uud*) sono stabili; invece i neutroni, composti dagli stessi quark (*udd*), sono instabili, salvo quelli legati nei nuclei atomici (o stelle di neutroni). Abbiamo capito che il mondo delle particelle elementari è molto complicato: conosciamo le loro caratteristiche con grande precisione. Non sappiamo solo, come sempre: *perché?*

²⁸ La massa di neutrino non è ancora (nel 2019) determinata con precisione.

²⁹ Il deuterio si trova anche nelle molecole di acqua negli oceani. Servirà per alimentare i reattori termonucleari per l'energia del futuro. Le risorse bastano per assicurare l'energia all'intera umanità per i prossimi 3 mila anni.

³⁰ S. WEINBERG, *op. cit.* p. 125.

³¹ L'elio costituisce il 25% del peso dell'universo, il resto è essenzialmente idrogeno.

3.16. Il televisore in bianco e nero

Mio padre comprò il primo televisore intorno al 1966: era una pesante ed elegante cassa di legno, con una scritta in cirillico “РУБИН” (RUBIN). Dopo aver pigiato il tasto giusto, si accendeva dietro una piccola lampadina, poi altre e alla fine la scatola cominciava a fare un rumore sordo e sullo schermo compariva un quadro abbastanza regolare, a tante piccole chiazze bianche e grigie. Dopo lunghi tentativi si riusciva a sincronizzare l’antenna e si poteva vedere un programma. Mi incuriosiva sempre che l’immagine venisse codificata con quelle chiazze. Lo capii molti anni dopo: è l’informazione che l’universo ci ha spedito appena nato; più precisamente, 380 mila anni dopo il suo inizio, un rumore elettromagnetico nelle frequenze tipiche per le microonde (cioè anche le onde televisive)³².

L’intero Universo a quell’epoca era delle dimensioni della nostra Galassia, ancora molto denso, come i vapori di sodio nella lampada gialla usata per illuminare le strade. Lo spettro della lampada di sodio dovrebbe così consistere di righe strette, come quello di elio ed idrogeno. In particolare il sodio emette la luce gialla a 590 nm. Ma la lampada stradale non funziona così: dove dovrebbero esserci due righe gialle, una accanto all’altra, c’è un largo buco, come se la luce gialla fosse intrappolata dentro la fiala con vapori di sodio.

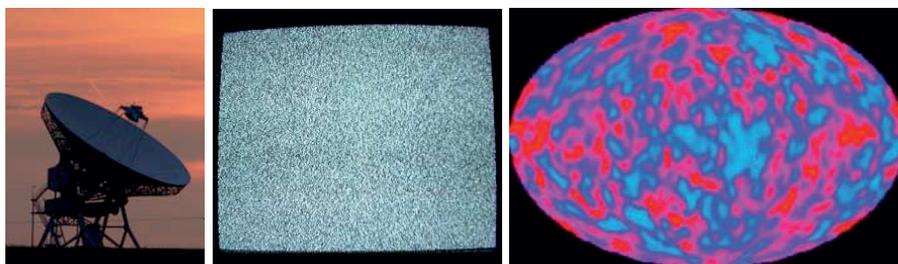


Figura 3.19. (a) Nelle osservazioni del cielo con radiotelescopi (come questo a Toruń) è stato rilevato un segnale persistente che arriva da tutte le direzioni. (b) Lo stesso segnale viene captato da una vecchia TV in bianco e nero. (c) Nel dettaglio, scrutando il cielo, si osservano piccolissime differenze nella temperatura di questo segnale (cioè della radiazione a microonde); quella distribuzione corrisponde alla galassie odierne ed è il primo segnale dell’Universo appena nato che possiamo rilevare. FONTE: A. ROMAŃSKI, UMK; Autore; ESA.

³² Ovviamente, gran parte del rumore sullo schermo proviene dai circuiti elettronici del televisore; secondo diverse stime solo il 20% di questo rumore arriva dalla radiazione cosmica.

Così fu anche nell'Universo 380 mila anni dopo il suo inizio: era ancora caldo (a temperatura di circa 3 mila K), ma anche molto denso. La luce emessa dagli atomi caldi veniva subito assorbita da altri atomi; l'universo visto da fuori sembrava nero. Poi, quando la densità dell'Universo si abbassò, la luce improvvisamente uscì dalla materia. Non esiste una rappresentazione migliore di questo concetto di quella visibile in un mosaico della basilica di San Marco a Venezia.

Nel momento di disaccoppiamento tra la luce e la materia, la temperatura dell'universo fu circa di 3000 K, che corrisponde proprio alla luce arancione-gialla, della lunghezza d'onda di qualche frazione di micrometro. Poi, l'universo si è espanso tanto ed è cresciuta anche la lunghezza d'onda, che oggi è di una decina di centimetri, proprio nel dominio delle onde TV, e corrisponde alla temperatura di 2,3 K.

La radiazione "di fondo" fu scoperta casualmente, nel 1964, da due tecnici americani, Arno Penzias e Robert Wilson, incaricati di costruire una grande antenna per le comunicazioni con satelliti artificiali. Essi osservarono uno strano rumore che proveniva da tutte le direzioni. Oggi sappiamo che questa radiazione è il relitto dell'universo molto giovane. L'esistenza di questa radiazione è anche una prova inconfutabile del Big Bang.

Purtroppo, stabilita l'idea di Big Bang, rimangono diverse difficoltà. Vista l'equivalenza $E = mc^2$, l'energia si può creare a scapito della massa e viceversa, nasce la domanda: da dov'è nata tutta questa quasi infinita massa (e l'energia) dell'universo?

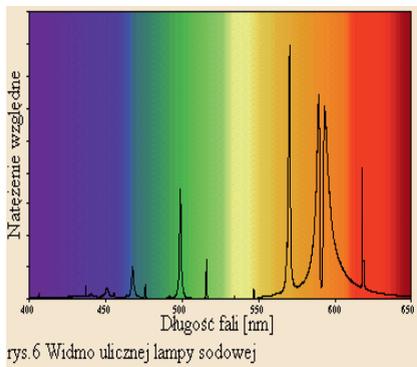


Figura 3.20. (a) Lo spettro di una lampada stradale gialla (a vapori di sodio) mostra un buco nella zona del colore arancione: i vapori sono densi, allora la luce non esce dal contenitore di sodio (spettro GK). (b) La geniale presentazione della luce che esce dall'universo scuro: il colore giallo corrisponde alla temperatura di separazione della materia dalla radiazione elettromagnetica. FONTE: La Basilica di San Marco, Patriarcato di Venezia, per gentile concessione, immagine: Edizioni Kina.

3.17. In un battibaleno

Il modello dei “primi tre minuti”, come descritto nel libro di Weinberg, è il frutto di decenni di studi di fisica nucleare e sulle particelle elementari. I grandi acceleratori hanno permesso di creare particelle esotiche, molto instabili, e con masse grandi, che tradotte in termini di temperatura corrispondono a bilioni di gradi. Ovviamente, nei termini della fisica di Galileo — di esperimenti *ripetibili* con caduta di gravi — il Big Bang non rientra nei canoni della teoria scientifica verificabile: non possiamo ripetere il Big Bang nella sua complessità. Comunque, tutti i fisici concordano (cioè credono) che l’inizio dell’Universo sia stato proprio così.

Ma c’è un problema, anzi tre. Il primo è l’uniformità delle leggi della fisica: le righe spettrali di idrogeno nelle galassie più lontane da noi, cioè 13 miliardi di anni luce (sia in termini della distanza temporale sia spaziale), sono esattamente le stesse (con l’ovvio spostamento verso il rosso per l’effetto Doppler), come nella lampada nel laboratorio di Toruń. Il Big Bang da solo, con l’Universo che si è espanso velocemente, non doveva garantire questa uniformità delle leggi della fisica. Non c’era tempo per accordare gli angoli più remoti di un universo sulle stesse leggi e costanti fisiche.

Il secondo problema deriva dall’uniformità della radiazione di fondo. In tutte le direzioni dell’Universo la temperatura di questa radiazione è la stessa (e piccole differenze corrispondono grosso modo alla distribuzione delle odierne galassie). Su grande scala, di migliaia o milioni di anni luce, non c’è un meccanismo per ottenere questo *equilibrio termico* osservato nell’intero Universo. Cioè deve esserci un momento in cui la temperatura si è potuta uniformare nell’Universo ancora molto giovane. Quale fu il meccanismo che non violò i limiti di propagazione di segnali materiali scoperti da Einstein?

Il terzo problema, il più serio di tutti, è la mera esistenza dell’universo. Per permettere la decomposizione dei quark primordiali in quark moderni, le costanti di *accoppiamento* (che conosciamo solo attraverso gli esperimenti) dovevano molto essere precise; lo stesso vale per le masse di quark. Per evitare che gli elettroni si uniscano con protoni subito dopo l’inizio, il tempo di vita di un neutrone deve avere il valore che osserviamo: nei primi minuti si sono formati i neutroni, che dopo furono incorporati in nuclei di elio. Poi, i nuclei dell’elio sono particolarmente stabili (ricordiamo che la loro energia di legame è 24

MeV), così l'elio non si trasformò subito in carbonio e poi in ossigeno, permettendo alle stelle di accendersi gradualmente.

In altre parole, tante diverse *costanti* della fisica dovevano avere valori molto precisi, per permettere all'universo di esistere e di evolvere³³. Allan Guth, un fisico statunitense, scrisse nel 1981 che la probabilità che queste costanti si *aggiustassero da sole* è qualcosa come 10^{-50} , cioè 1 dopo cinquanta zeri: in pratica, totalmente impossibile, a meno che non ci sia stato un altro meccanismo per aggiustare queste costanti. Così è nata la teoria dell'*inflazione*³⁴, anche se questo nome è fuorviante, come quello del Big Bang, v. fig. 3.21.

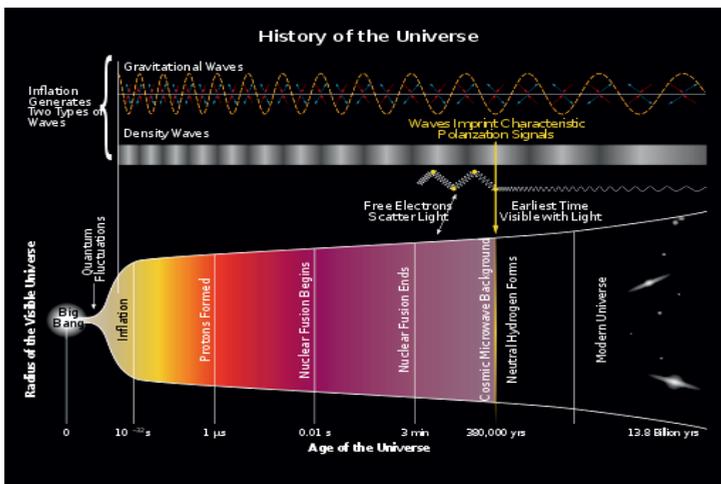


Figura 3.21. Una rappresentazione della storia dell'Universo, attualmente molto popolare. L'esplosione iniziale è avvenuta al di fuori delle leggi della fisica: non abbiamo un minimo modello né nel campo della cosmologia né in quello della fisica delle particelle elementari per descrivere il primo istante dell'Universo. Dopo la separazione tra la materia e la luce, cioè a 380 mila anni, il modello dell'Universo in espansione funziona bene; l'ultimo tratto "a tubo" indica che l'espansione accelera. Nonostante che il disegno venga riprodotto spesso, rimane ingannevole: la scala del tempo non distingue i bilionesimi di secondo dai biliardi di secondo. La bolla iniziale, la "fluttuazione quantistica", è una pura fantasia. FONTE: Wikipedia Commons.

³³ Qui arriviamo alla questione del principio antropico: le costanti della fisica sono così e allora fu possibile la comparsa della vita e anche la nostra esistenza? O le costanti sono così *per permettere* a noi di esistere?

³⁴ «These problems arise from the observation that to look like it does today, the Universe would have to have started from very finely tuned, or "special" initial conditions at the Big Bang. Inflation theory largely resolves these problems as well, thus making a universe like ours much more likely in the context of Big Bang theory.» FONTE: [https://en.wikipedia.org/wiki/Inflation_\(cosmology\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Inflation_(cosmology))

I sostenitori³⁵ dell'inflazione iniziale dell'Universo ritengono che l'universo esplose per un fattore equivalente a qualcosa come 10^{26} in 10^{-32} secondi. Un fattore 10^{26} significa che l'universo si ingrandì dalle dimensioni di una capocchia di spillo³⁶ a un diametro 100 volte maggiore della dimensione della nostra Galassia (cioè a 14 milioni di anni luce). Dopo ci fu solo un lento (per un fattore di mille) rigonfiamento, fino alla dimensione di 13,78 miliardi di anni luce odierni.

Non esistono leggi della fisica (come la vediamo in presente, cioè da 13,78 miliardi d'anni) che possano permettere un'inflazione così. Forse non esisteva la mera *Fisica* in quell'epoca.

Ma assolutamente più sorprendente è l'altro numero: 10^{-32} secondi. Il tempo più breve per i processi fisici che conosciamo è il salto dell'elettrone da un'orbita all'altra (cioè la produzione di un quanto di luce): 10^{-18} s. Il valore di Guth corrisponde al tempo più breve che possiamo immaginarci, prossimo al "tempo di Planck"³⁷ (10^{-43} s), che potrebbe essere il minimo *quanto* sull'asse del tempo. In altre parole: *l'intero Universo è comparso in un battibaleno*.

Sorge ancora un altro problema: l'esplosione per un fattore di 10^{26} in 10^{-32} secondi viola tutte le leggi della fisica, in particolare il postulato di Einstein (provato da tutti gli esperimenti) che la velocità della luce costituisce la velocità massima possibile per lo scambio di informazioni (cioè a maggior titolo anche per il moto della materia). La velocità della materia nell'esplosione iniziale dovrebbe superare la velocità della luce per un fattore impossibile da calcolare.

Rimane più ragionevole ricavare che le leggi della fisica siano nate *dopo* l'inflazione, cioè che l'esplosione iniziale si sia svolta a prescindere dallo spazio e dal tempo, oppure, che lo spazio e il tempo comparvero "dopo che l'atomo iniziale si scisse in due", come intuì per primo Georges Lemaître.

³⁵ «The detailed particle physics mechanism responsible for inflation is not known. The basic inflationary paradigm is accepted by most scientists, as a number of inflation model predictions have been confirmed by observations». FONTE: Wikipedia, [https://en.wikipedia.org/wiki/Inflation_\(cosmology\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Inflation_(cosmology)).

³⁶ Un calcolo alternativo, fatto da un amico cosmologo, parte dalla misura iniziale di 10^{-17} m, che potrebbe corrispondere alle dimensioni del quark, il più piccolo oggetto fisico che ci si riesce a immaginare. Dopo l'inflazione la dimensione dell'universo sarebbe di qualche metro, come le sfere nera e gialla nel mosaico della Basilica di Venezia.

³⁷ Il cosiddetto tempo di Planck non deriva da lui e non ha nessun significato fisico: è semplicemente un gioco di costanti fisiche organizzate così da produrre l'unità di misura del tempo.

3.18. Ricalcolo delle dimensioni

L'espansione dell'Universo, che dura da 13 miliardi di anni, ha gonfiato le dimensioni per un fattore di mille. Abbiamo già visto che l'atomo di idrogeno con un elettrone è praticamente vuoto. Anche il cosmo è un vuoto immenso. Tutti i pianeti del Sistema Solare pesano insieme meno del Sole (1/5 circa).

Un amico, professore di cosmologia, chiedendosi di quanto si è gonfiato l'universo nella fase di "inflazione" e quali sono state le dimensioni dopo questa fase, scrisse l'equazione seguente: *incognita x incognita = incognita*. Non ci rimane che speculare.

Dalla fisica atomica sappiamo che, schiacciando un atomo, si costringono gli elettroni a unirsi con i protoni (serve ancora una particella elusiva di anti-neutrino) in neutroni. Così si passa dalle dimensioni di 10^{-10} m a 10^{-15} m. La materia composta di neutroni è di conseguenza molto pesante: una capocchia "pesa" come un edificio di 10 piani. E non è per niente differenziata.

Il Sole ridotto a una stella di neutroni avrebbe il diametro di circa 14 km: 100.000 volte meno del suo diametro attuale. La stella più vicina alla Terra, Proxima Centauri, dista un po' più di 4 anni luce, cioè 4×10^{14} km. Poi ci sono altre stelle, ma sempre a qualche anno luce³⁸: anche l'Universo è essenzialmente vuoto, ancor più di un atomo. Così, paradossalmente, l'intero universo ridotto a una stella di neutroni sarebbe un po' più grande del nostro Sole.

In altre parole, sui primi secondi, e sino ai 380 mila anni, non abbiamo dirette testimonianze sperimentali della storia dell'universo. Possiamo speculare sui questi primi momenti estrapolando indietro gli esperimenti sui quark. La massa (ovvero l'energia equivalente) di quark più pesante, *top* ($172 \text{ GeV}/c^2$) tradotta in termini di temperatura (usando l'equivalenza $E = kT$) corrisponde a 2 miliardi (2×10^{15}) centigradi. Ha senso parlare di temperatura? Possiamo applicare le stesse leggi della natura che conosciamo alle condizioni così estreme? Valevano le stesse costanti della fisica³⁹?

³⁸ Per esempio, la stella Pegasi-51, su cui fu scoperto un primo sistema planetario oltre il Sole, dista 51 anni luce (premio Nobel 2019!)

³⁹ Alla discussione delle costanti della fisica ("The constants of Nature") fu dedicato un intero libro del famoso fisico teorico di Cambridge, JOHN BARROW, *I numeri dell'universo. Le costanti della natura e la teoria del tutto*, Oscar Saggi, 2004. Sembra, che le costanti di fisica

Così, riassumendo, non ci sono dubbi che l'Universo abbia avuto inizio, nello spazio e nel tempo. Non ci sono dubbi che le forme della materia ("terra" come dice la *Genesi*) furono molto, molto strane. Quali? Non lo sappiamo. Non ci sono neanche dubbi che la storia dell'universo, compresa la comparsa delle stelle e la formazione della Terra intesa come l'intero pianeta, sia stata lunga e complicata. Ma allo stesso tempo, questa evoluzione sembra molto "mirata", vuol dire "teleologica", usando il linguaggio di Aristotele (e di San Tommaso).

Quasi, quasi, l'inizio dell'Universo appartiene ancora alla filosofia più che alla fisica.

Riassumendo la cosmologia e la fisica, è difficile chiamare la prima frazione del microsecondo (10^{-32} s) della storia dell'Universo con un altro nome che *creazione ex nihilo*.

Questa creazione in primo luogo stabilì le leggi della Natura: la Natura, che secondo le parole di Galileo costituisce "la più osservante eseguitrice degli ordini di Dio".

Poi, in un certo senso, stabilite le leggi della fisica, l'Universo andò "per conto suo".

Ma questo non vuol dire che Dio rimase al riposo...

P.S. Circola l'opinione, che tanti fisici, diversamente da certi altri scienziati, sono credenti. Perché? I fisici sanno che l'universo è governato dalle leggi matematiche e capiscono che niente succede a caso. Sanno anche che le leggi della fisica sono molto complesse (che si riflette nella complessa struttura della materia). Inoltre i fisici sono consci che non riescono a spiegare *perché* il mondo è stato fatto così.

Diceva Socrate⁴⁰:

Certo sono più sapiente io di quest'uomo, anche se poi, probabilmente, tutti e due non sappiamo proprio un bel niente; soltanto che lui crede di sapere e non sa nulla, mentre io, se non so niente, ne sono per lo meno convinto, perciò, un tantino di più ne so di costui, non fosse altro per il fatto che ciò che non so, nemmeno credo di saperlo.

rimangono le stesse dall'inizio dell'Universo. Purtroppo, poche conclusioni sono possibili sulla questione: "Perché il mondo è fatto così?".

⁴⁰ PLATONE, *Apologia di Socrate*, cap. 6, <https://it.wikiquote.org/wiki/Socrate>.



Figura 3.22. Bye-bye Terra! L'ultima foto fatta al pianeta Terra dalla sonda cosmica Voyager 1, alla distanza di 6,4 mld km, prima di lasciare il Sistema Solare. L'intero nostro pianeta è un puntino azzurro, appena, appena visibile. Ma questo granello di sabbia ospita la vita, e poi la vita intelligente. FONTE: NASA.

“E chiamò l’asciutto Terra”

4.1. “Il terzo giorno”

Lo studio della radiazione cosmica di fondo, molto fredda (2,3 K, cioè -270°C), rivela che l’Universo è molto vecchio: 13,78 miliardi di anni. Ma quando nacque la Terra? Lo possiamo dedurre dai decadimenti radioattivi. Come abbiamo già detto, gli elementi chimici pesanti, come l’oro, l’uranio, il platino, non possono essersi formati nelle stelle normali, in cui la catena di sintesi si ferma al ferro e al nickel. La stella deve collassare e i protoni devono essere mischiati con gli elettroni sotto una grandissima pressione gravitazionale: così nasce tutta la varietà degli elementi chimici pesanti. Poi la materia riesplode eruttando nello spazio cosmico.

Dalle osservazioni delle stelle supernove sappiamo che un’esplosione avviene in pochi giorni e che il materiale formatosi nella fase di contrazione viene sparpagliato per miliardi di chilometri dalla stella. Così avvenne anche con la stella del proto-Sole. Ma quando?

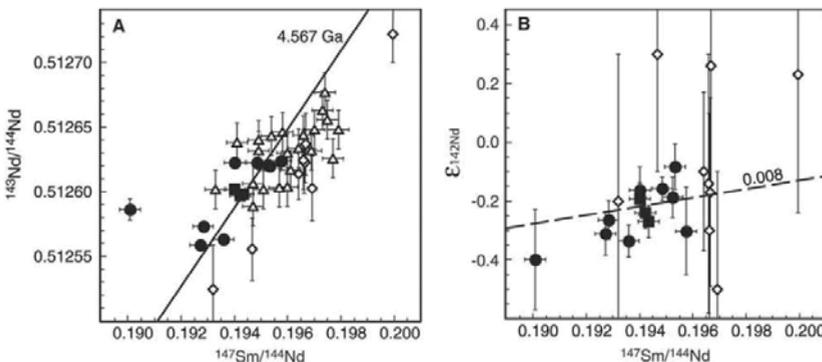


Figura 4.1. Lo studio di relativi contenuti di isotopi del samario ^{147}Sm e del neodimio ^{144}Nd e ^{142}Nd , nelle rocce basaltiche (quadrati neri) e nei meteoriti (altri simboli): tutti i dati indicano l’età della Terra (e del Sistema Solare) di circa 4,567 miliardi di anni. FONTE: M. BOYET, R.W. CARLSON,, «Science» 309 (2005), p. 576.

Il decadimento radioattivo dell'uranio ^{238}U è lento, con un tempo di dimezzamento di 4,4 miliardi di anni. Il risultato finale della lunga catena di reazioni è il piombo. Così, studiando le proporzioni dell'uranio e del piombo, possiamo dedurre quale porzione di uranio è già decaduta e, confrontando il tempo di dimezzamento, sappiamo quanti miliardi di anni sono passati dal momento di sintesi dell'uranio.

Esistono nuclei, come samario e neodimio, che permettono una datazione ancora più precisa. Sono in corso innumerevoli studi; uno di essi¹ ha fornito il numero seguente per l'età del Sistema Solare (vuol dire anche della Terra): 4,567 miliardi di anni.

Gli studi degli isotopi (nuclei di atomi di masse diverse) radioattivi permettono di valutare l'età del Sistema Solare. Secondo dati recenti, il Sole (e i pianeti) si sono formati circa 4,567 miliardi di anni fa. Questo vuol dire, che la Terra, intesa come pianeta (non come materia) è comparsa solamente a due terzi dell'età dell'Universo.

Simili studi permettono di capire quando si sono formate le prime rocce. Le più antiche si trovano in Groenlandia, Canada e Scandinavia. Sembra che i gneiss (cioè graniti molto deformati) canadesi hanno l'età di 4,28 miliardi di anni²: le prime "isole" solidificate sulla Terra ancora rovente.

Diverse valutazioni indicano che il globo terrestre si formò molto rapidamente (secondo la scala dei tempi cosmici), cioè in 10 milioni di anni. Circa 100 milioni di anni dopo, ci fu una terribile catastrofe: un oggetto delle dimensioni di Marte urtò la Terra, ancora semi-liquida, e un'immensa "goccia" di lava fu espulsa nello spazio. In 24 ore si formò la Luna. Furono le ore più orribili nella storia del nostro pianeta: l'intero globo poteva disintegrarsi. Un cataclisma così non è mai più successo.

Confrontando l'età del sistema solare con l'età dell'Universo si arriva alla conclusione che sono passati due terzi da quest'ultima e solo dopo si è acceso il nostro Sole e si formata la "terra" (usando la grafia della Bibbia), cioè il pianeta Terra. Fu proprio il "terzo" giorno?

¹ M. BOYET, R.W. CARLSON, *^{142}Nd Evidence for Early (>4.53 Ga) Global Differentiation of the Silicate Earth*, «Science» 309 (2005) p. 576.

² J. O'NEIL et al., *Neodimium-142 Evidence for Hadean Mafic Crust*, «Science» 321 (2008), p. 1828.

4.2. Un pianetino alle periferie

La Terra per niente occupa una posizione “centrale”: è il quarto pianeta del Sistema Solare (né vicino né lontano) e lo stesso Sole si trova piuttosto alla periferia della nostra Galassia (circa 30 mila anni luce dal centro, rispetto al raggio della Galassia di 130 mila anni luce).

La posizione periferica ha i suoi vantaggi. Al centro della Galassia si trova un gigantesco buco nero³, che risucchiando la materia emette⁴ grandissime quantità di raggi X e gamma, i quali, come abbiamo già capito, sono micidiali per la vita basata sul carbonio e per i delicati legami chimici.

Nel 2012 la sonda spaziale Voyager, lanciata nel 1977, arrivò oltre le orbite degli ultimi pianeti, a una distanza 130 volte maggiore di quella tra la Terra e il Sole. Si scoprì che l’intero Sistema Solare si trova dentro “un uovo” formato dal vento solare (vedi la fig. 4.2a). Il vento solare respinge un flusso di particelle ionizzate molto energetiche, cioè pericolose, che pervade lo spazio interstellare.



Fig. 4.2. Nel 2012 la sonda Voyager-1 arrivò a qualcosa che si potrebbe definire come “l’involucro” del Sistema Solare, un tipo di guscio dell’uovo, la frontiera tra il delicato vento solare e il molto più energetico flusso di ioni dallo spazio interstellare. Questa frontiera si trova 130 volte più lontano da noi che la Terra dal Sole: la luce impiega 20 ore per arrivare da lì. (b) Con grande probabilità la nostra Galassia è simile a quella visibile a occhio nudo nella costellazione di Andromeda. Il Sole si trova a circa 1/3 dal centro della Galassia, cioè lontano dalle regioni caratterizzate da forti radiazioni dovute a un possibile gigantesco buco nero. FONTE: NASA; D. WOS.

³ Solo nel 2019 gli astronomi sono riusciti a fotografare (con il sistema dei radio-telescopi) la radiazione emessa da un buco nero al centro di una galassia vicina.

⁴ Ogni carica elettrica (e la materia delle stelle è sempre ionizzata), se viene accelerata, emette una radiazione elettromagnetica (per esempio i raggi X). L’unica eccezione sono gli elettroni sulle orbite stazionarie dell’atomo, in accordo con i “postulati” di Bohr, v. par. 3.7.

Distanze molto più grandi ci separano dalle stelle più vicine: 4 anni luce (cioè 2 mila volte di più che il nostro “uovo” solare) da Proxima Centauri, 8 anni luce da Sirio, 640 mila anni luce da Betelgeza, un gigante rosso che potrebbe esplodere tra qualche secolo. Anche l’ipotetica nube di Oort, il “parcheggio” per un gran numero di comete che potrebbero colpire la Terra, si trova a una distanza adeguata (un anno luce⁵). Così, in epoca odierna gli arrivi delle comete sono eventi rari: come si è visto dalla collisione della cometa Shoemaker–Levy con Giove avvenuta nel 1994, sono eventi potenzialmente molto violenti.

Anche le galassie sono separate da grandi spazi vuoti: la galassia di Andromeda si trova a 2,5 milioni di anni luce dalla Terra. Ma ci stiamo avvicinando: la collisione avverrà tra 2 miliardi di anni. Anche se l’integrità della nostra stella non dovrebbe essere a rischio, possibili conseguenze per fenomeni delicati come la vita potrebbero essere fatali.

Negli ultimi anni sono stati scoperti migliaia di pianeti attorno alle stelle. Forse addirittura la maggioranza delle stelle ha suoi sistemi planetari. Ma tutti i sistemi scoperti sinora (qualcosa come 4 mila pianeti) sono molto diversi dal Sistema Solare: sono composti o da giganti gassosi come Giove, nella maggioranza dei casi anche molto caldi (un tipo di mezzo–stelle non accese) o da pianeti rocciosi, ma molto vicini alle loro stelle (per esempio un sistema *Trapist–1*). Il Sistema Solare, un po’ solitario nello spazio, sembra tuttora unico.

4.3. Perché esistono le stagioni?

Il susseguirsi delle stagioni a volte sembra fastidioso: non sarebbe meglio avere un’unica stagione dal tempo mite e soleggiato?

Le stagioni sono dovute all’inclinazione dell’asse terrestre: l’angolo di questa inclinazione ammonta a 23,5°. È un angolo abbastanza grande: significa che tra la posizione del Sole a mezzogiorno in inverno (23 Dicembre) e in estate (22 Giugno) la differenza è di ben 47°, cioè la metà dell’angolo retto. Allora non è solo la nostra impressione che il Sole invernale (a Trento) appena, appena esce sopra i monti, e in Sicilia a luglio “picchia” in verticale.

⁵ La zona di Oort potrebbe trovarsi ai bordi della nube formata dopo lo scoppio del proto–Sole, come le “nebulose planetarie” le rimanenze delle super–novae.

Le stagioni permettono non solo alle persone di fare le ferie invernali o estive e alla vegetazione di riposare. L’illuminazione variabile durante l’anno fa da motore per le correnti oceaniche e i venti. Il benefico “Niño” che porta il pesce abbondante lungo le coste del Cile è un fenomeno stagionale. Persino Cristoforo Colombo sapeva che gli alisei soffiano verso ovest in settembre e verso est in marzo.

Ma prima di tutto, grazie all’inclinazione dell’asse terrestre non ci sono zone “morte” sul globo terrestre. Dove il sole è basso (sopra il circolo polare), risplende sul cielo per metà dell’anno: è il “giorno” polare. In Alaska durante il giorno polare la temperatura arriva a 30°C, più che a Seattle, che si trova a sud.

Poi, serve anche l’inverno: gli orsi bianchi aspettano la stagione fredda, quando la calotta di ghiaccio si estende fino al continente, per poter cacciare le foche nelle loro “bocche di aerazione”. Un problema si presenta ultimamente, con il lento ma costante riscaldamento del clima che fa arretrare la banchisa. Ma l’estate più lunga fa proliferare le foche. E quando nell’Artico gli orsi cominciano a digiunare, in Antartide i pinguini fanno la covata. Così, la vita biologica sulla Terra non si ferma da nessuna parte. E gli alberi, riposando d’inverno, vivono più a lungo.

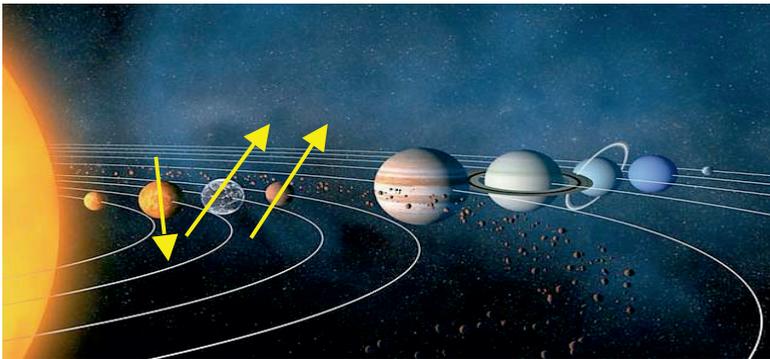


Figura 4.3. Il Sistema Solare: quattro pianeti relativamente piccoli e composti da materia pesante e solida si trovano nella parte interna (il raggio dell’orbita di Marte è 1,5 volte quello della Terra). I pianeti esterni, molto più grandi, girano a distanze da 5 (Giove) a 30 volte (Nettuno) più lontane dalla Terra. Tutti questi quattro pianeti esterni, ma in particolare Giove, svolgono il ruolo di “salvaguardia” dei pianeti interni contro il bombardamento di meteoriti. Tutti i pianeti ruotano su sé stessi: Giove e Saturno in circa 10 ore; Marte e la Terra in circa 24 ore, Venere una volta in 9 mesi (e nella direzione contraria). FONTE: Modifica propria del file di Wordpress <https://tragicocomedia.files.wordpress.com/2015/11/solar-system.jpg>.

La causa delle stagioni è l'inclinazione dell'asse terrestre, ma non basterebbe da sola per lo sviluppo della vita sul pianeta: serve la stabilità di quest'asse in un lungo periodo, di centinaia di milioni di anni. Una simile inclinazione dell'asse si osserva nel caso di Marte. Ma a differenza della Terra, Marte non ha l'atmosfera e il campo magnetico; manca anche la Luna. Si scopre che il nostro compagno, l'unico satellite naturale, la Luna, svolge un ruolo importante per stabilizzare i moti della Terra.

4.4. Un satellite, cioè un compagno

Il nostro globo è un pianeta particolare in tutto il Sistema Solare anche per la sua Luna, delle dimensioni (cioè del diametro) di circa un quarto della Terra. La massa della Luna è 1/81 rispetto alla massa della Terra e la distanza di una dall'altra è relativamente corta: circa 10 circonferenze terrestri (varia durante l'anno da 364 a 404 mila km). Nel caso delle stelle una coppia così sarebbe chiamata un sistema binario. Infatti, i moti della Terra e della Luna sono correlati: la Luna gira su sé stessa ma con un periodo uguale al tempo di rivoluzione attorno alla Terra⁶ (28,9 giorni⁷). Anzi, più precisamente non è la Luna a ruotare attorno alla Terra, ma entrambe girano attorno al comune baricentro, che si trova alla profondità di circa 1700 km (rispetto al raggio della Terra di 6378 km).

Nel 1993 tre matematici francesi hanno dimostrato⁸ che la Luna svolge un ruolo stabilizzante per la Terra. Senza la Luna l'asse terrestre avrebbe subito forti oscillazioni, sino a differenze di 30° in pochi milioni di anni, con gravi conseguenze per la stabilità del clima, che avrebbero così impedito lo sviluppo della vita. Il ruolo della Luna si può paragonare a un'asta, leggera ma lunga, che il funambolo tiene per non cadere, v. fig. 4.4b.

⁶ Un altro sistema simile è Plutone con il suo satellite maggiore, Caronte. Il periodo della rotazione propria di Caronte e di Plutone è uguale al loro periodo di mutua rivoluzione. Ma Plutone è più piccolo rispetto alla Terra.

⁷ Parliamo del mese sinodico, cioè la rotazione attorno alla Terra nel sistema di riferimento della Terra (che a sua volta gira intorno al Sole). Il periodo di rotazione nel sistema di riferimento di stelle fisse è di 27,3 giorni (un mese siderale).

⁸ J. LASKAR, F. JOUTEL, PH. ROBUTEL, "Stabilization of the Earth's obliquity by the Moon", «Nature» 361 (1993), p. 615.

L’asse di Marte è inclinato in un modo simile (25°) che l’asse terrestre, ma mancando la luna pesante (Marte possiede solo due piccoli satelliti) l’inclinazione è soggetta a forti variazioni (da 10° a 60°) in lunghi periodi. Come commenta un prestigioso giornale scientifico, «Science»⁹, queste oscillazioni hanno causato forti cambiamenti climatici e hanno contribuito alla perdita della maggior parte dell’atmosfera del pianeta, lasciando Marte “allo stato di un deserto asciutto all’ultimo osso”, come si presenta oggi.

La Luna esercita ancora una funzione: crea le maree. Ai londinesi (dato che la differenza di livello del Tamigi supera 5 metri) le maree permettono di lavorare (anche se solo per 6 ore) sulla terra asciutta e subito dopo varare la nave, senza muoverla. L’influenza delle maree sulla vita animale può vedere sulle spiagge di Jesolo: appena l’acqua si ritira, arrivano in fretta i granchi per trovare qualcosa da mangiare. In passato, quando la Luna era più vicina¹⁰, le maree dovevano essere davvero gigantesche. I pesci rimasti sull’asciutto, hanno dovuto sviluppare la respirazione alternative alle branchie: sono nati gli anfibi.



Figura 4.4. (a) La foto fatta sulla Luna dagli astronauti dell’Apollo sembra mostrare che la Terra si rialzi sull’orizzonte; in realtà la Terra vista da un determinato punto della Luna rimane sempre nella stessa posizione, come un lampione, ma gira velocemente (un giro in 23h56m) e presenta le fasi, come la Luna vista dalla Terra. (b) La Luna agisce da contrappeso per la Terra. (c) L’altra faccia della Luna, invisibile dalla Terra: fu soggetta a un pesante bombardamento di meteoriti, proteggendo così la Terra da questi impatti catastrofici. FONTE: NASA; GK; Wikipedia.

⁹ «That caused huge climate variations that in turn could have contributed to the loss of most of the planet’s atmosphere, leaving Mars the bone-dry desert world that it is now. Since then, most astrobiologists have assumed that Earth-like planets in other solar systems would need a comparatively large moon to support complex life over long periods of time.» <http://www.sciencemag.org/news/2011/05/who-needs-moon>.

¹⁰ Gli astronauti dell’Apollo hanno collocato sulla Luna degli specchi. Mandando i raggi laser dalla Terra si è scoperto che la Luna si sta allontanando, di circa 3 centimetri all’anno. Tra qualche milione di anni non ci saranno più le bellissime eclissi totali.

La presenza della Luna sembra necessaria per l'esistenza della vita, dato che sembra che questa sia presente in non più dell'1% dei pianeti extraterrestri. Govert Schilling nel suo già citato "flash" di «Scienze» "Chi ha bisogno della Luna?" prosegue così: «Questo vorrebbe dire che i pianeti che ospitano la vita complessa possono essere relativamente pochi»¹¹.

Quando l'uomo, in diretta televisiva da Apollo 8, vide per la prima volta la Terra sopra l'orizzonte della Luna fu preso da un misto di rispetto, ansia e meraviglia¹². Gli astronauti, volando verso il nostro globo, lessero a turno i frammenti della *Genesi*.

4.5. Bacone: la Pasqua precoce

La Terra ruota come un giroscopio inclinato. Ma una trottola inclinata "dondola", cioè compie lenti giri attorno all'asse verticale. La Terra anche, ma essendo molto più grande, questi suoi giri sono molto, lenti (uno ogni 25 mila anni). Il nome di questo fenomeno, conosciuto anche da Copernico, è precessione. Anzi, fu la precessione la causa della riforma del calendario voluto dalla Chiesa Cattolica ai tempi di Copernico (e introdotta nel 1583 dal papa Gregorio VIII). Perché?

La festività del Natale, mancando date precise, fu fissata al solstizio invernale. Per la Resurrezione esistono documentazioni inconfutabili, come per esempio la Sacra Sindone¹³: la Resurrezione coincide con la Pasqua ebraica. Però è una festa mobile: cade la Domenica dopo il primo plenilunio primaverile. Allora bisogna determinare l'inizio della primavera. Non sarebbe difficile usando le stelle come riferimento, scegliendo quando il Sole "entra" nella costellazione zodiacale dell'Ariete. E così è stato per più di mille anni, dalla riforma del calendario approvata da Giulio Cesare. Ma dal punto di vista pratico, in partico-

¹¹ "That would mean that planets harboring complex life might be relatively rare." FONTE: <http://www.sciencemag.org/news/2011/05/who-needs-moon>.

¹² «Said Lovell, 'The vast loneliness is awe-inspiring and it makes you realize just what you have back there on Earth.' They ended the broadcast with the crew taking turns reading from the book of Genesis.» FONTE: NASA https://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_1249.html.

¹³ Indichiamo per esempio lo straordinario libro di PIERLUIGI BAIMA BOLLONE: 2015. *La Nuova Indagine sulla Sindone. Due mila anni di storia e le ultime prove scientifiche*, Priuli & Verlucca, Ivrea 2015.

lare nell’agricoltura, sarebbe meglio organizzarsi secondo le stagioni, scegliendo come riferimento il giorno dell’equinozio. Già il calendario neolitico di Stonehenge funzionava così: i megaliti sono collocati in modo da indicare il solstizio d’estate. Ma il calendario giuliano, con il passare dei secoli, cominciò lentamente a sbagliare. Il problema diventò acuto nel Medioevo.

Il Medioevo, al contrario dell’opinione diffusa, è stato una stagione di grande progresso tecnologico: l’aratro, i mulini, la rotazione in agricoltura, i bottoni sono tutte invenzioni medievali. Produsse anche grandi risultati nelle scienze: Giovanni Buridano (ca. 1300–1360) scoprì il principio d’inerzia, che coincide oggi con la prima legge di meccanica di Newton. Vitelio (ca. 1237–1300), prete di origine polacca (e turingese), riordinò l’ottica, introducendo la legge della riflessione, costruì il periscopio, descrisse l’anatomia dell’occhio e meditò sulla percezione visiva¹⁴.

Ruggero Bacone (ca. 1214–1292) nell’*Opus Maius* riordinò il sapere dall’astronomia alla fisica, dalla matematica alla linguistica e alla geografia. Discutendo il calendario si lamentò di un conflitto grave: nel calendario giuliano, ogni secolo il giorno dell’equinozio si spostava verso febbraio.

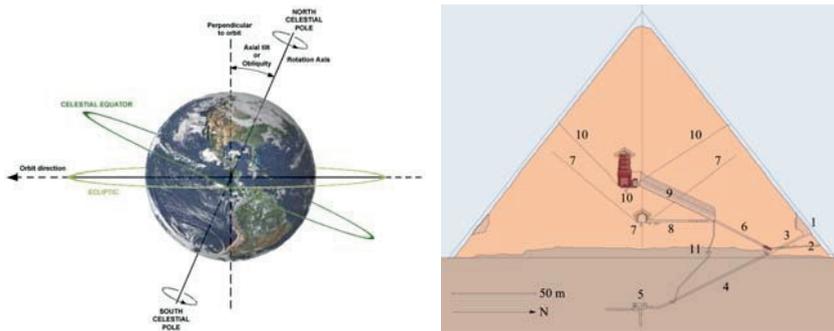


Figura 4.5. (a) I tre moti del globo terrestre: oltre la rotazione propria e la rivoluzione attorno il Sole, polo nord dell’asse terrestre compie un giro completo in 25 mila anni. Questo moto, chiamato precessione, era noto anche a Copernico: la necessità di spiegarlo fu una delle ragioni che lo spinse a scrivere il suo trattato. (b) La sezione della piramide di Cheope: uno dei canali di “aerazione” poteva puntare verso la stella polare, che era Thuban nell’anno 2500 a.C. Oggi la Stella Polare è tutt’altra: *alfa* di Orsa Minore. FONTE: Wikipedia, DENIS NILLSON, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:AxialTiltObliquity.png>; «Nature», 2017/11/02.

¹⁴ Sulla percezione tridimensionale Vitelio scrisse: «Quando guardiamo un oggetto, non lo vediamo mai nella sua totale estensione spaziale; sarà la funzione giudicatrice dell’anima a dirci che vediamo l’oggetto e non la sua immagine». Witelo, *De Perspectiva*, UMK, 2004.

Questo spostamento fu per Bacone un problema serio. Durante la Quaresima non si poteva mangiare la carne, mentre durante il carnevale sì: il rischio era di far sovrapporre la fine del carnevale con l'inizio della Quaresima. Sarebbe stato molto grave!

Il “movimento” dell'equinozio verso febbraio fu chiamato la “precessione”. Oggi questo termine appartiene alla fisica: è il lento moto dell'asse terrestre, simile a una trottola inclinata. Osserviamo la precessione anche come un lento spostarsi della stella polare. Oggi è la *alfa* dell'Orsa Minore, ma non era così cinquemila anni fa quando fu costruita la piramide di Cheope. Uno dei canali che conduce dalla camera del re in questa piramide punta verso una stella, ma non è la Stella polare di oggi: cinquemila anni fa l'asse della rotazione della Terra puntava verso la stella Thuban nella costellazione del Drago.

Copernico è stato uno degli esperti chiamati dal Papa per risolvere la questione della precessione. Infatti, già nelle prime pagine della sua opera egli ha scritto che la Terra fa tre tipi di moto. Così, la rivoluzione copernicana è nata in parte da una necessità ecclesiale.

4.6. Perché avvengono i terremoti?

I terremoti sono tra i disastri più spaventosi. Le popolazioni del passato lo sapevano, così la costa est dell'Appennino (cioè l'Umbria) è poco urbanizzata rispetto alla costa ovest (Roma, Napoli), nonostante che questa sia stata (o ancora è) vulcanica.

I geologi rispondono che i terremoti avvengono a causa del movimento delle placche continentali. La penisola appenninica si è staccata 20 milioni fa dalla costa africana e girando in senso antiorario urtò il continente europeo: la zona di scontro sono le Alpi.

Ma perché quattro miliardi di anni dopo la sua formazione la crosta terrestre (molto sottile, da 20 a 60 chilometri appena) non si è ancora solidificata? Risponde la fisica nucleare. La crosta terrestre contiene metalli che formano ossidi, tra i quali vi sono sia il pesante uranio che il leggero potassio, componente di argille (e dei nostri organismi). Sia l'uranio che il potassio sono radioattivi. In modi diversi: l'uranio si scinde nella reazione (4). Il potassio si trasforma in calcio, emettendo un elettrone, secondo la reazione ${}^{40}_{19}\text{K} \rightarrow {}^{40}_{20}\text{Ca} + {}^0_{-1}e + \text{antineutrino}$.

Sia l'uranio che il potassio sono *debolmente* radioattivi. Debolmente significa che in un'unità di tempo pochi nuclei si scindono; po-

chi vuol dire che la reazione è lenta e che dura a lungo. Per il potassio ^{40}K il tempo di “dimezzamento”¹⁵ è di 1,2 miliardi di anni; per l’uranio ^{238}U addirittura di 4,4 miliardi di anni, tempo paragonabile all’età della Terra. In altre parole, sulla Terra rimane ancora la metà di uranio che si è formata nel proto-Sole.

Qui arriviamo alla conclusione: la crosta terrestre è in continuo movimento, perché viene riscaldata da sotto. Un bilancio esatto, ottenuto nel 2011 tramite le misurazioni del flusso di neutrini che derivano dalla reazione (3.4). Si scopre che la metà del flusso di calore viene dal centro della Terra, che è ancora molto caldo (oltre 5 mila gradi); per l’altra metà i decadimenti di uranio e di potassio contribuiscono circa in parti uguali.

I terremoti sono disastri orribili, causati dal movimento delle placche continentali, le quali si scontrano in continuazione e una di esse emerge (come catena dell’Himalaya), mentre un’altra sprofonda. Ma, immergendosi, la placca si scioglie (da qui i vulcani della catena delle Ande). Così i depositi di calcare si fondono, liberando CO_2 nell’atmosfera. E questo ci assicura l’effetto serra, positivo per la vita, di cui parleremo più avanti.

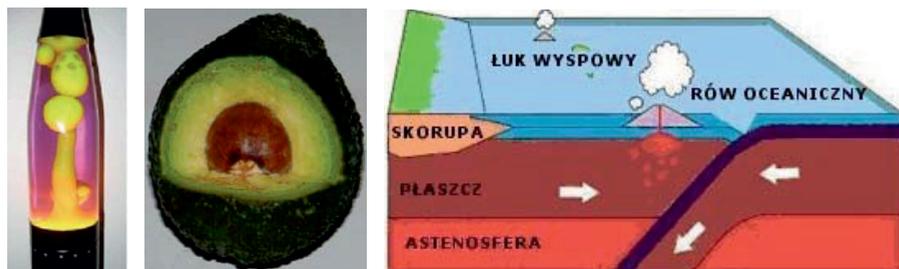


Figura 4.6. (a) Il flusso del calore dall’interno della Terra crea correnti di convezione, che fanno eruttare i vulcani e muovono i continenti, come in questa lampada “lava”. (b) La sezione della Terra somiglia a un avocado: circa la metà è costituita dal nucleo di ferro, liquido in superficie e solido dentro; lo strato successivo chiamato mantello è semiliquido, come la polpa dell’avocado; solo lo strato superficiale, molto sottile (10 km di spessore sotto oceani, 70 km in Scandinavia) è solido: le montagne sulla terra sono come la scorza ruvida dell’avocado. (c) I terremoti avvengono quando lo spostamento delle placche continentali non è uniforme. Qui si riporta la situazione del Giappone: una sottile placca del Pacifico scivola sotto lo spesso continente dell’Eurasia; sul “davanzale” compaiono le isole vulcaniche e sulla “sutura” succedono i terremoti. FONTE: GK.

¹⁵ Il tempo di dimezzamento è il periodo nel quale la metà della sostanza radioattiva si scinde (o è soggetta a un altro tipo di reazione).

4.7. Perché non c'è vita su Marte?

Marte (e anche Venere) sono pianeti molto simili alla Terra: pressapoco alla stessa distanza dal Sole (Marte 50% più lontano, Venere 25% più vicino) e solo un po' più piccoli. Ma la temperatura media su Marte è di -40°C e su Venere $+400^{\circ}\text{C}$. Da dove derivano queste differenze? Da fattori, sembrerebbe, poco importanti, quali i componenti dell'atmosfera.

Nell'atmosfera primordiale sulla Terra non c'era ossigeno, che era legato in composti chimici con metalli (cioè ossidi) e la parte rimanente formava CO_2 e SO_2 . Anche l'acqua era in forma di vapore. Inoltre l'atmosfera era ricca di metano (CH_4), ammoniacca (NH_3), solfuro di idrogeno (H_2S), acido cianidrico (HCN). Un'accentuata attività elettrica nell'atmosfera (i fulmini) doveva formare anche ossidi di azoto (cioè acido nitrico). Di conseguenza, il terreno era ricco di sali di azoto e le piante hanno sviluppato il sistema di nutrimento che assorbe azoto dalla terra e ossido di carbonio dall'atmosfera.

Oggi, le proporzioni sono completamente diverse: l'azoto nell'atmosfera si trova nella sua forma molecolare N_2 ; di CO_2 in forma gassosa sono rimaste solo tracce. Enormi quantità di CO_2 sono state “sepolte” all'interno della crosta terrestre. Una parte fu ridotta a carbonio puro (estratto oggi nelle miniere), un'altra parte formò diversi idrocarburi (petrolio, gas naturale) e il resto è stato depositato come carbonato di calcio (calcare, marmo). Ma il sequestro di CO_2 dall'atmosfera è tutto l'opera della vita che è comparsa sulla Terra circa 3,5 miliardi di anni fa or sono.

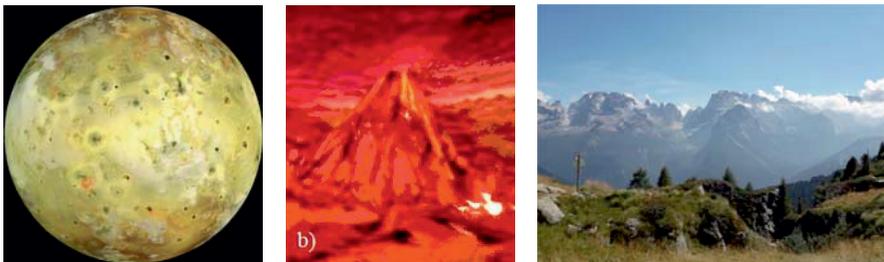


Figura 4.7. La Terra ha avuto una lunga storia per ospitare la vita sulla terra (ferma, cioè “asciutta”). (a) L'atmosfera primordiale era opaca, giallo–violacea, come oggi la superficie di Io, uno dei satelliti (galileiani) di Giove: la sua atmosfera contiene biossido di zolfo (SO_2). (b) Una visione artistica della terra primordiale (“Geodium”, Toruń, concetto GK). (c) Questa è la vita biologica (e l'uomo) che rende la terra così bella: Dolomiti di Brenta. FONTE: (a) NASA/Photojournal/PIA02308; (b, c) MK.

La vita sulla terra ferma è comparsa circa mezzo miliardo di anni fa: solo quando si è formato abbastanza ossigeno nell'atmosfera per la respirazione delle piante (e degli animali). Anche la presenza dell'ossigeno nell'atmosfera (oggi circa 21%) è opera della vita.

Su Marte l'atmosfera è molto rarefatta: l'ossigeno è legato in ossidi di ferro (che danno il colore rosso alla sua superficie), ma prima di tutto manca l'acqua nell'atmosfera e fa troppo freddo. Ma fa freddo perché nell'atmosfera manca il vapore acqueo. Sembra un paradosso, ma nell'elettronica si chiama un "feedback", cioè un retroprocesso.

La temperatura sulla terra calcolata in base alla quantità di energia che deriva dal Sole dovrebbe esser in media -18°C , e invece ammonta a $+15^{\circ}\text{C}$. La differenza di ben $+33\text{K}$ è dovuta alla particolare composizione d'atmosfera che contiene sia CO_2 sia H_2O . I gas principali dell'atmosfera, N_2 e O_2 , sono molecole semplici e simmetriche (a differenza per esempio da NO , che è asimmetrica). Le molecole asimmetriche, come H_2O , hanno le cariche elettriche (positiva e negativa) spostate: così assorbono la radiazione elettromagnetica, in particolare nell'infrarosso (ne parliamo più avanti).

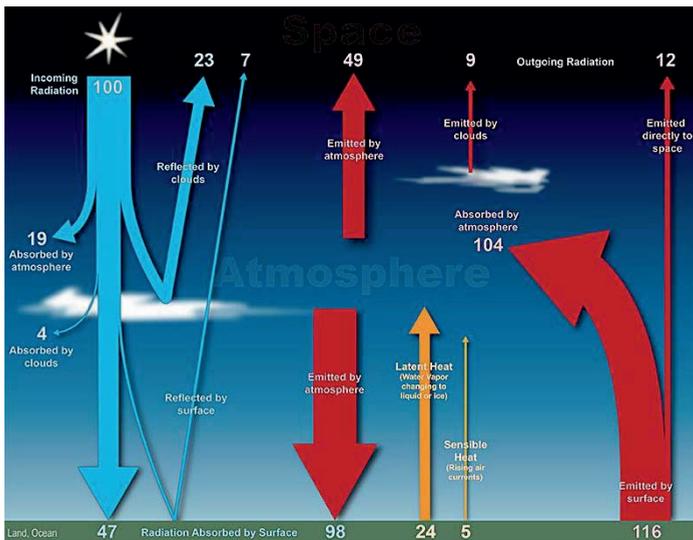


Figura 4.8. Il bilancio d'energia sulla Terra è molto complesso. 50% della radiazione solare in arrivo è la luce visibile, invece la Terra emette la radiazione infrarossa. Le nuvole riflettono i raggi di Sole ma i gas serra CO_2 , H_2O assorbono la radiazione infrarossa e la rimandano verso la Terra. Così la quantità totale di energia a disposizione a livello di terra ammonta al 116% dell'energia arrivata dal Sole. FONTE: NOAA, https://www.weather.gov/images/jetstream/atmos/energy_balance.jpg.

L'atmosfera terrestre oggi contiene¹⁶ 400 parti per milione di CO₂: sembra poco, ma è giusto per provocare, insieme con il vapore acqueo, l'aumento intrinseco di temperatura di ben +33 K. Due molecole assorbono la radiazione infrarossa, anzi sono complementari: CO₂ chiude la "finestra" di assorbimento che rimane aperta nello spettro di H₂O.

Ma l'assorbimento della radiazione dovrebbe portare alla diminuzione della temperatura? Sì, ma bisogna specificare un dettaglio. La radiazione che arriva dal Sole in prevalenza è la luce visibile, che ha la temperatura caratteristica di 5700 K. La temperatura della Terra in media è di 288 K (+15°) che corrisponde all'infrarosso. Allora, la presenza di CO₂ non impedisce alla radiazione solare di arrivare alla superficie della Terra, ma impedisce la fuoriuscita della radiazione infrarossa (cioè di calore) verso il cosmo. L'infrarosso torna a Terra: è un effetto ping pong. Così, paradossalmente, la Terra ha a disposizione più energia, di quella che arriva dal Sole: il 116% di essa (fig. 4.8).

CO₂ e H₂O sono due gas responsabili di questo naturale effetto "serra", grazie al quale fiorisce la vita sulla Terra. Nell'atmosfera di Marte c'è CO₂, ma manca il vapore d'acqua (perché fa troppo freddo). Così la radiazione infrarossa non viene intrappolata: l'effetto "serra" è di appena +3K. Su Venere accade l'opposto: tanti CO₂, SO₂ e H₂O provocano l'effetto serra di qualcosa come +350K. Né su Marte né su Venere (oggi) esiste la vita. Ci sono ancora altri motivi, ma ne parleremo più avanti.

4.8. Un cuore di ferro

Mercurio, Marte, Venere appartengono alla stessa classe di pianeti della Terra: tellurici, cioè fatti da materia rocciosa. La composizione della superficie della Luna (da dove sono stati portati dei sassi) e di Marte (dove le analisi sono svolte da robot autonomi) non è molto diversa da quella delle rocce vulcaniche sulla Terra. Su Marte c'è persino ferro in abbondanza. Ma la differenza consiste nel fatto che la Terra è l'unico di questi quattro pianeti ad avere il campo magnetico.

¹⁶ Ancora nell'anno 1900 l'atmosfera conteneva solo 270 ppm di CO₂. Questo aumento è dovuto all'azione dell'uomo, che brucia le riserve del carbonio sepolte nel corso di miliardi di anni sotto forma di carbone e idrocarburi.

Il nucleo nell’atomo è estremamente piccolo; il “nucleo” della Terra si estende a circa metà del suo raggio¹⁷: dovrebbe essere chiamato nocciolo, visto anche che è duro (e pesante). Se la densità tipica del granito (di cui è costituita per esempio la Scandinavia) è di $2,7 \text{ g/cm}^3$, la densità media calcolata per tutto il globo è di $5,5 \text{ g/cm}^3$ (la densità del ferro sotto pressione normale è di $7,8 \text{ g/cm}^3$): si comprende quindi che il nucleo debba essere fatto di un materiale pesante.

Non conosciamo la composizione esatta del nucleo della Terra: deve essere fatto di ferro, ma di una fase metallurgica compatta (e pesante). Nel nucleo quasi sicuramente c’è anche il nichel: sia il ferro che il nichel sono magnetici. È il ferro nel nocciolo della Terra che crea il campo magnetico, indispensabile anche per la vita sulla Terra.

Il Sole, oltre al piacevole calore (il 40% dello spettro è la radiazione infrarossa) e alla luce, emana anche particelle elettricamente cariche e molto energetiche, che nascono nei processi atomici sulla sua superficie. Il flusso di queste particelle è notevole e potrebbe danneggiare le strutture biologiche, in particolare il DNA.

La vita ha “incorporato” il campo magnetico nei suoi processi di regolazione: gli usignoli della Svezia aspettano una lieve variazione del campo magnetico per cambiare il piumaggio (e ripartire verso Sud) a settembre.

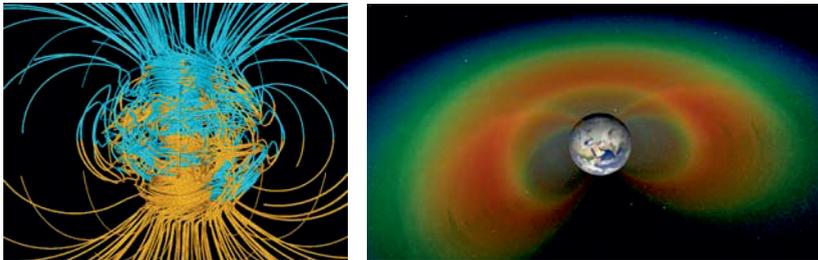


Figura 4.9. (a) Il modello della dinamo magnetica della Terra: la struttura con plessa del campo sulla superficie della Terra è dovuta a un “groviglio” di linee all’ interno del nucleo di ferro, caldo e in rotazione (con tutto il globo). (b) Il campo magnetico ci protegge dal flusso delle particelle energetiche che provengono dal Sole (vento solare), che sono dannose per la vita. Le particelle vengono convogliate verso i poli, dove danno lo spettacolo dell’aurora. FONTE: NASA, GARY A. GLATZMAIER; NASA/Goddard Space Flight Center/Scientific Visualization Studio.

¹⁷ La cosiddetta discontinuità di Gutenberg, ricavata dalla propagazione delle onde sismiche attraverso il globo, si trova a 2900 km di profondità e segna un rapido cambiamento di densità del materiale, da 10 g/cm^3 (più denso è del ferro sotto pressione normale) a $13,5 \text{ g/cm}^3$. Il raggio medio della Terra è di 6370 km; il nucleo di ferro si estende a circa metà del raggio.

Le tartarughe della Florida usano il campo magnetico per depositare le uova sulle stesse spiagge dove sono nate¹⁸. Sicuramente anche i piccioni, volando, si costruiscono una mappa magnetica. Magari anche l'uomo aveva (ha ancora?) questa capacità.

4.9. Il Pianeta si autoregola

Abbiamo discusso come l'odierna atmosfera terrestre si è formata nel lungo processo di adattamento alle condizioni di vita. Abbiamo spiegato anche che l'effetto serra benefico, essenziale per la vita, è minimo su Marte e troppo intenso su Venere. Ma parlando del clima favorevole per la vita sulla Terra bisogna discutere in dettaglio i "feedback" annunciati prima.

I feedback (le retroazioni) sono meccanismi di autoregolazione, che possono però portare sia alla stabilizzazione sia alla catastrofe. Regolando il volume del televisore sfruttiamo un amplificatore all'interno dello strumento, che aumenta l'ampiezza del segnale portato dalle onde elettromagnetiche fino a un livello desiderato. Ma un amplificatore acustico può anche andare "in tilt", quando il microfono viene messo vicino all'altoparlante: al posto del segnale amplificato si sente un doloroso fischio e si è creata una retroazione destabilizzante (un feedback positivo).

Anche nei processi climatici esistono due tipologie di feedback. La presenza di vapore d'acqua nell'atmosfera è un tipico esempio di retroazione positiva, cioè con un'azione destabilizzante. Nel paragrafo 4.8 abbiamo specificato il contenuto di CO₂ nell'atmosfera ma non di H₂O. Infatti, questo ultimo è soggetto a un feedback.

Il contenuto di vapore d'acqua nell'aria dipende dalla temperatura, lo sappiamo tutti. In Siberia, d'inverno, l'aria respinta dai polmoni diventa nebbia, o addirittura prende la forma di cristalli di ghiaccio. Invece nella sauna finlandese si può perdere coscienza, perché nell'aria c'è solo vapore d'acqua (100%) e manca l'ossigeno.

Il contenuto di vapore d'acqua varia molto con la temperatura: più alta è la temperatura, più grande è il suo contenuto. E visto che H₂O in atmosfera è un gas che contribuisce all'effetto serra, abbiamo un feedback positivo: aumenta la temperatura e di conseguenza a catena an-

¹⁸ G. KARWASZ, *Tartarughe magnetiche*, in: *On the Track of Modern Physics*, dydaktyka.fizyka.umk.pl/Physics_is_fun/html/turtle.html.

che il contenuto di H_2O , l’effetto serra e quindi ulteriormente la stessa temperatura. Questo meccanismo è successo nell’atmosfera di Venere (in concomitanza con la presenza di altri gas serra, quali CO_2 e SO_2).

La temperatura sulla Terra dipende da diversi altri fattori, e fra questi dalla quantità di radiazione solare riflessa, detta *albedo*. Essa dipende dal tipo di vegetazione sulla terra: la steppa riflette più della giungla; l’albedo più alta è dovuta alla neve. E qui compare un altro feedback positivo: con l’abbassamento della temperatura media sul globo, una parte sempre maggiore della sua superficie viene coperta da neve. Di conseguenza più alta è l’albedo media, maggiore l’energia solare riflessa e più bassa la temperatura media.

In altre parole, diversi fattori rendono il clima sulla Terra instabile. Negli ultimi 500 mila anni i periodi glaciali si sono intrecciati con quelli interglaciali. E nella storia remota (1–2 miliardi d’anni fa) ci furono periodi in cui la maggior parte del globo era coperto da ghiaccio: sulle rocce dei continenti che erano all’equatore si trovano tracce di erosione glaciale. Ma la copertura di ghiaccio avrebbe dovuto provocare l’estinzione della vita. Sì, ma ha anche accelerato l’evoluzione: la vita proliferava attorno ai vulcani e l’evoluzione avrebbe potuto provare diverse soluzioni alternative, tra le quali, dopo lo scioglimento di ghiacci, avrebbe vinto la migliore. Al momento la teoria non è ancora del tutto provata.



Figura 4.10. (a) Nel periodo delle glaciazioni globali c’era già l’ossigeno nell’atmosfera: così si potevano osservare anche le aurore boreali, che sono dovute a O_2 e NO (Geodium, Toruń). E forse la presenza d’ossigeno provocò grandi fluttuazioni della temperatura sulla scala globale. (b) Le bocche idrotermali sono ambienti ricchi di vita sorprendente, nei quali l’energia non viene ricavata dal sole, ma dalle reazioni chimiche. (c) Il paesaggio desolato di Marte, privo di acqua e di rocce calcaree. In Giugno 2018, sembra, che sono state trovate le tracce delle sostanze derivanti dalla decomposizione di molecole organiche: non è da escludere, che in tempi remoti (un paio di miliardi d’anni fa) sul Marte esisteva qualche forma primitiva di vita. FONTE: Geodium, Toruń (GK); NASA Astrobiology Institute; <http://mars.nasa.gov>.

Tornando al feedback, la vegetazione, e la vita in generale, svolge un ruolo stabilizzante: aumenta il contenuto di CO₂ e di conseguenza, a catena, la temperatura e l'umidità; inoltre migliorano le condizioni per la vegetazione e quindi aumenta il sequestro di CO₂ da parte delle piante: diminuisce il contenuto di CO₂.

A volte i meccanismi di autoregolazione del pianeta Terra vengono *personificati*, sotto il nome Gaia. Il concetto fu coniato negli anni '70 del secolo scorso da un astrofisico americano, James Lovelock, il quale, incaricato dalla NASA di verificare se su Marte potesse esistere la vita, ha risposto negativamente. Il segno della vita è la presenza dell'ossigeno: dallo spazio il pianeta appare blu. Ma tra i processi naturali, governati dalle leggi esterne e la vita intelligente, c'è un po' di differenza: "Gaia" è solo un organismo (inanimato), cioè una *cosa* organizzata, non l'*organizzatrice*.

Riassumendo: il presente assetto della Terra è dovuto in gran parte alla comparsa e al proliferare della vita su di essa. L'uomo ha una grossa influenza sul suo pianeta (e anche una grossa responsabilità). Forse il primo a capirlo è stato San Francesco.

4.10. Una Terra per l'uomo¹⁹

Con la scoperta di tanti sistemi planetari (il satellite Kepler ha trovato addirittura sette pianeti attorno alla stella Trapist-1), è tornata d'attualità la domanda se la Terra sia un pianeta speciale. Dal punto di vista del principio antropico, la risposta sarebbe ovvia: sì, perché sulla Terra esiste la vita intelligente e non abbiamo sinora nessuna testimonianza né archeologica né astronomica che essa esista altrove nell'Universo (palpabile, cioè osservabile con mezzi della fisica). La Chiesa Cattolica, con le parole del professore George V. Coyne, direttore dell'Osservatorio Astronomico Vaticano, non esclude una tale esistenza ma non la prova neanche²⁰.

¹⁹ Uso il titolo di una mostra divulgativa dell'associazione "Mosaico" che si è svolta al Meeting di Rimini nel 2002.

²⁰ V. MESSORI, *Inchiesta sul Cristianesimo. Quarantasette voci sul mistero della fede*. Oscar Mondadori, 2003 (prima edizione 1993), p. 168.

– Padre, lei crede ad altri mondi abitati?

Se stiamo alla statistica, è certo che le condizioni per la vita devono essersi realizzate: e non in un solo punto dell’universo. Le stelle come il Sole sono centinaia di miliardi, dentro e al di fuori della nostra galassia, ed è sicuro che una gran parte di esse ha un sistema di pianeti come quello solare. Anche ad essere pessimisti e ad escludere gran parte di questi pianeti, si arriva pur sempre a un numero altissimo di corpi celesti dove le stesse condizioni della Terra devono essersi verificate. Ma attenzione, parlo di *condizioni*. Non dico che da queste condizioni favorevoli la vita si sia effettivamente sviluppata. Soltanto questo può dire lo scienziato.

– E l’uomo, il religioso padre Coyne che ne pensa?

«Personalmente, scoprendo che la nostra Terra è meno, assai meno di un granello di sabbia su una spiaggia immensa, mi chiedo perché Dio avrebbe creato questo enorme palcoscenico che è l’universo soltanto per noi. Ma abbiamo diritto di chiederci questo? Noi non siamo Dio, non possiamo conoscere i suoi pensieri. La legge del creato sembra del resto essere qualcosa che a noi sembra un gigantesco spreco: miliardi di spermatozoi gettati, ad esempio, perché uno solo — e non certo sempre — provveda alla riproduzione. Lo stesso spreco, almeno apparente, lo si constata scrutando i cieli. Come persona privata direi di sì, c’è vita anche altrove. Ma non ne ho alcuna sicurezza. Per il credente, la vita non nasce dal caso, dalle leggi della statistica, da una fortuita combinazione fisico-chimica: l’evoluzione nasce da un *fiat* divino e segue il programma di un Creatore.

Senza dubbio, la cosmologia, l’astronomia, la geologia e la fisica contribuiscono a riconoscere un particolare carattere della Terra: un pianeta roccioso, con l’atmosfera chimicamente inerte (a parte l’ossigeno la cui presenza è dovuta alla vita) e con grandi quantità di acqua, alla distanza “giusta” dal Sole per assicurare un adeguato flusso di energia elettromagnetica. D’altra parte, la presenza di uranio e di torio, elementi che devono essere formati nelle supernove, assicura i movimenti delle placche e di conseguenza un delicato equilibrio nell’atmosfera di CO₂, che è un gas “foraggio” per le piante.

Anche altri elementi chimici pesanti (selenio, rame, bromo, iodio) non esistono nelle stelle di prima generazione. Essenziale per la vita è anche l’enorme quantità di ferro, la condizione per l’autogenerazione del campo magnetico nel cuore della Terra.

La presenza della Luna, grande e vicina, assicura non solo l’“illuminazione notturna”, ma in primo luogo la stabilità del clima. Non è da escludere che l’inclinazione dell’asse terrestre, che determina le dinamiche molto complicate delle correnti oceaniche e atmosferiche, sia anch’essa il risultato della collisione che ha formato la Luna.

Riassumendo, grazie a una serie di “coincidenze” particolari, tra la cosmologia, l’astronomia, la geologia, la climatologia, la Terra ospita la vita. E non si tratta solo di mere “coincidenze”, ma di tutta una sequenza temporale di eventi: esplosione del proto-Sole, formazione della Terra, il suo lento raffreddarsi, formazione degli oceani, la produzione dell’ossigeno, i primi animali sulle terre emerse ecc.

Non sappiamo se la vita è nata sulla Terra o se proviene dal cosmo. Con molta probabilità (uno scienziato non dovrebbe mai parlare dell’impossibilità) la Terra rimane l’unico luogo su cui c’è la vita nell’intero Universo.

4.11. La vita oltre la Terra?

Dal 1992, cioè dalla scoperta di un primo sistema planetario attorno a una stella di neutroni (ad opera di un astronomo di Torun che lavorava negli USA, Aleksander Wolszczan) sono stati sviluppati diversi metodi di rivelare la presenza di corpi freddi (appunto: pianeti) nello spazio. Vengono usati radiotelescopi, telescopi ottici e anche satelliti costruiti appositamente (per esempio “Kepler”). Oggi (1 Febbraio 2018) conosciamo quasi quattro mila pianeti (esattamente²¹ 3728).



Figura 4.11. Le rocce, l’acqua, la neve, il campo magnetico, l’ossigeno: tutti gli elementi indispensabili per la vita sono visibili su questa foto usata come salvaschermo da Microsoft Windows 10 in data 31/12/2017.

²¹ https://en.wikipedia.org/wiki/Discoveries_of_exoplanets (accesso 01/02/2018).

La maggior parte di questi pianeti appartiene alla categoria dei freddi giganti gassosi, come Giove e Saturno. Ultimamente sono stati scoperti anche pianeti piccoli, pesanti, probabilmente rocciosi, forse con l’atmosfera. Alcuni potrebbero contenere l’acqua, in quantità molto maggiori che tutti gli oceani della Terra. Stiamo cercando se qualche pianeta ha una atmosfera gassosa con, forse con l’ossigeno. In totale, nell’Universo intero, ci sarà un miliardo di pianeti, se non di più.

Esiste la vita su questi pianeti? Non sappiamo neanche se le condizioni su di essi permettono davvero la vita. La stella del sistema Trappist-1, studiata ultimamente, è una fredda nana rossa (cioè una stella abbastanza vecchia, nella fase avanzata della sua evoluzione), distante 40 anni luce. I periodi di rivoluzione di sette pianeti attorno a essa (cioè la durata del loro anno) sono da 2 a 19 giorni. Come si è espressa Natalie Batalha, la ricercatrice della missione Kepler, non sappiamo se i pianeti Trappist-1 possono ospitare la vita: «Non si contano pulcini prima che le uova si schiudessero»²².

La Terra rimane un pianeta speciale per la vita. La prova? La vita stessa, fatta dagli elementi chimici che si trovano sul nostro pianeta.

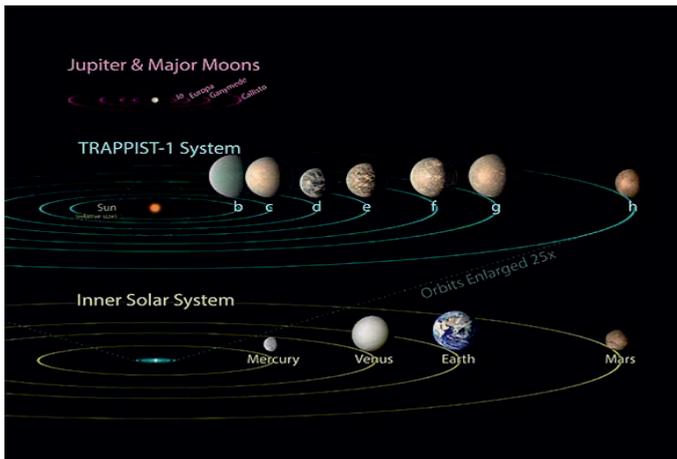


Figura 4.12. I sette pianeti del sistema Trappist attorno a una nana rossa. Nonostante una apparente analogia col Sistema Solare, i pianeti somigliano più a Giove e alle sue lune: con periodi di rivoluzione di qualche giorno e le distanze dalla stella minore di quella di Mercurio dal Sole. FONTE: NASA/JPL–Caltech.

²² «They say not to count our chickens before they're hatched, but that's exactly what these results allow us to do based on probabilities that each egg (candidate) will hatch into a chick (bona fide planet).» <https://www.outerplaces.com/science/item/16234-kepler-nasa-exo-planets-life>.

“Una moltitudine di esseri viventi”

«Brulichino le acque di una moltitudine di esseri viventi, e volino gli uccelli al di sopra della terra in faccia al firmamento del cielo» — disse Iddio (ma solo il quinto giorno).

5.1. Dall'inorganico all'organico

La fisica si occupa principalmente del mondo inorganico: palline, atomi, particelle elementari. Ma le leggi di fisica (per esempio che elettrone è dotato dello *spin* $\frac{1}{2}$) determinano anche la chimica, cioè la varietà di composti chimici. Già discutendo i cristalli di diamante e grafite abbiamo capito che il carbonio è un elemento chimico particolare — possiede pochi (6 in totale) elettroni, di cui 4 sono chimicamente attivi. Così un atomo di carbonio può cedere fino a 4 elettroni (un modello semplificato è la molecola di $O=C=O$) o accettare fino a 4 elettroni (in CH_4). Atomi di carbonio possono formare anche delle catene (come in acetilene $H-C\equiv C-H$). Queste proprietà rendono la chimica di composti di carbonio infinitamente più ricca di qualsiasi altro elemento. Allora il primo determinante per passare dal mondo inanimato alla vita è la ricchezza di possibili composti organici. Però dalla chimica organica alla biologia la strada è ancora sconosciuta.

Il tratto essenziale che differenzia la chimica dalla biologia è il fatto, che nella chimica le reazioni, che sono in pratica lo scambio di elettroni tra due atomi, avvengono in un semplice contatto tra loro: l'idrogeno esplose se mescolato in proporzione giusta con l'ossigeno. Ma anche in chimica ci sono certe reazioni che proseguono in presenza di *catalizzatori* — tipo il vanadio (per la produzione dell'acido solforico), gli ossidi di ferro (per la produzione dell'ammoniaca) ecc. Nella marmitta catalitica avviene l'ossidazione di CO a CO_2 e la “ri-

duzione” di NO_x a N_2 : si usa l’ossido di cerio (CeO_2) e il platino colloidale. La funzione di catalizzatori nel processo di reazione è assicurare il “prestito” di elettroni agli atomi (molecole) reagenti.

In biologia praticamente tutte le reazioni avvengono in modo catalitico, anzi — *enzimatico*. Gli enzimi sono come catalizzatori: assicurano gli elettroni ai reagenti, ma in un ordine e in un posto molto ben preciso. Ma tra i catalizzatori chimici e gli enzimi c’è un’essenziale differenza di complessità.

5.2. Dal semplice al complesso: la via termodinamica?

Nella fisica e nella chimica le reazioni vanno, usualmente, nella direzione dell’energia minima: una pallina rotola giù sul pendio, perché la sua energia (“potenziale”) in fondo della pendenza è minore¹. In chimica il carbone brucia, perché l’energia complessiva di atomi H e O è minore quando formano il complesso, cioè H_2O .

Come abbiamo già discusso, le reazioni portano di solito all’aumento di disordine (entropia): due contenitori prima della reazione contengono i gas separati e per separarli dopo la reazione serve l’energia.

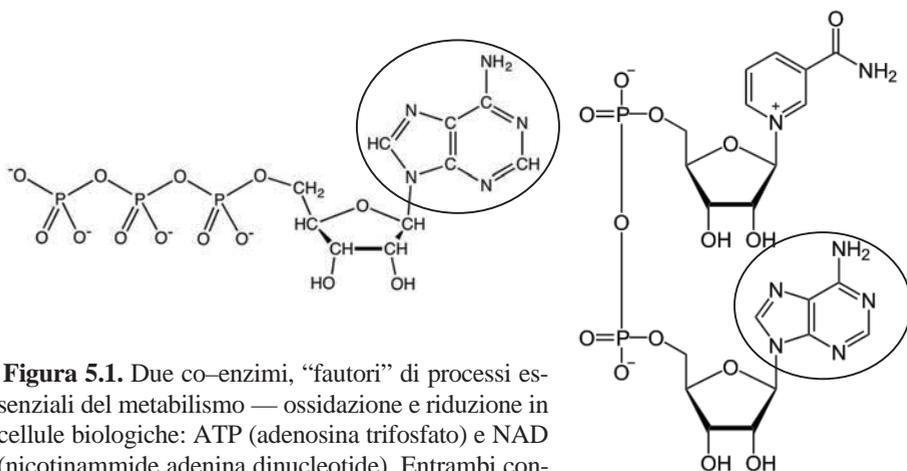


Figura 5.1. Due co-enzimi, “fautori” di processi essenziali del metabolismo — ossidazione e riduzione in cellule biologiche: ATP (adenosina trifosfato) e NAD (nicotinammide adenina dinucleotide). Entrambi contengono l’adenina, una base azotata (con il gruppo NH_2), che fa parte anche del DNA.

¹ Per essere precisi bisognerebbe invocare il principio di minimo di “azione”: una quantità definita come l’integrale dell’energia (cinetica meno potenziale) lungo il tempo. Questo principio, formulato da Maupertuis spiega, per esempio, la legge della rifrazione in ottica.

In un motore termodinamico il calore compie il lavoro, ma alla fine il calore residuo viene disperso nel ambiente: a lungo termine la temperatura dell’ambiente e del motore si uguagliano — aumenta l’entropia, cioè il disordine. Invece la vita è il contrario del disordine: le piante usando la luce (le onde elettromagnetiche poco complesse) e semplici molecole (H_2O e CO_2) producono zuccheri, proteine, legno, aromi: tutto tranne il disordine. La vita tende allora a diminuzione d’entropia. La vita consuma l’energia, ma la differenza tra la bellezza di un fiore e il grigiore di un marciume è fulminante. Le strutture vive mostrano un altissimo grado di *organizzazione* — che sia un fiore, un cuore o un pezzo del DNA. La natura non-animata non mostra capacità di formare le strutture complesse ma ordinate: un fiocco di neve non è complicato. Come, allora spiegare la comparsa della vita?

Un’enciclopedia delle scienze spiega la formazione di strutture complesse nel modo seguente: «Le molecole più piccole, in seguito ai loro movimenti nell’acqua e nell’urto continuo e reciproco, tendono a disaggregarsi, ma altre, le più grandi e dotate di movimenti più lenti, non solo mantengono la loro struttura, ma cercano di associarsi fra loro e di catturare altre molecole più piccole formando degli aggregati molecolari sempre più compressi e con architetture ben definite»².

Purtroppo, al nostro giudizio, questa non è una spiegazione ma un *postulato*: le onde marine muovono nello stesso modo granelli di sabbia che le meduse. Gli aggregati spontanei³ di proteine sono stati il fulcro della teoria della vita del biologo sovietico Oparin (1894–1980).



Fig. 5.2. La formazione dei (a) fiocchi di neve e di cristalli di pirite FeS_2 (b) si può spiegare in termini di legami chimici, di simmetria di cristalli (fisica), di frattali (matematica), senza parlare di “materia che si autoorganizza”. FONTE: NOAA; GK.

² GAMPiero FRIZZI e GUIDO FRIZZI, *Breve storia della biologia*, in: “Le basi della vita”, La Scienza, La biblioteca di Repubblica, UTET, Roma 2005, p. 34.

³ Possiamo aggiungere, ironicamente, che gli aggregati spontanei si formano sulle praterie incolte, dove i rotoli di erba spinti dal vento si ingrandiscono; simili aggregati nella camera da letto vengono formati dalla polvere: una matassa di immondizie, e non una struttura ordinata.

Il premio Nobel, Belga, Christian de Duve (1917–2013), scopritore di numerosi enzimi, riteneva che la nascita della vita fosse un fatto “dovuto” a causa di specifiche reazioni chimiche, che sono molto rapide. È difficile condividere questa opinione: le reazioni chimiche, cioè i “salti” di elettroni da un orbitale all’altro sono — sì, molto rapide, dell’ordine di 10^{-18} secondi, ma non tutte. Le reazioni molto lente, difficili da accelerare, sono, per esempio, la formazione degli esteri, cioè i composti di alcool e acidi, che danno il sapore al vino. Un altro esempio di reazioni molto lente, che impiegano diversi anni, è l’invecchiamento dei polimeri che li rende o fragili o molli.

Attribuire alle reazioni chimiche un “tunning” (i.e. una autoregolazione) speciale per facilitare la nascita della vita biologica non diverge molto dal requisito del tunning delle costanti fisiche, per permettere il ciclo energetico nelle stelle e la nascita di sistemi planetari: è un mero postulato.

Un tentativo di spiegare la comparsa di vita biologica dalle leggi di fisica deriva dai lavori sulla termodinamica di sistemi di non-equilibrio, sviluppati dal un altro premio Nobel, Ilya Prigogine (Mosca 1917-Bruxelles 2003). Lui si occupava *non* della termodinamica “a lungo scadere”, cioè di sistemi in equilibrio, ma di sistemi in transizione. Prigogine osserva che nelle fasi di transizione i sistemi possono *minimizzare* le perdite di entropia (cioè cercando di limitare l’accrescimento del disordine, vedi par. 2.2).

Riassumendo, sembra che manchi ancora il concetto di comparsa delle strutture biologiche complesse, dove regna la diminuzione del disordine in confronto con il mondo inorganico, dove *regna* il disordine. Scriveva Aristotele nella *Fisica* (222b, 20):

Infatti è chiaro che il tempo potrà essere di per sé più la causa di distruzione che di generazione, come è stato detto anche prima (ché il cambiamento è di per sé la capacità di fare uscire le cose fuori di sé), mentre solo accidentalmente esso può essere causa della generazione e dell’essere.⁴

Questo “accidentalmente” portò Aristotele a formulare, anche nella *Fisica*, la causa teleologica: gli eventi succedono *per* portare a *un fine*. Poi, l’ipotesi derivante dai lavori di Prigogine che i principi della matematica potrebbero permettere anche il massimo *ordine*, invece di massimo *disordine*, come richiede il secondo principio di termodina-

⁴ ARISTOTELE, *Fisica*, *op. cit.*, p. 113.

mica è nuovo una *supposizione* e non uno *scenario* di procedimenti. Così, il passaggio da chimica a vita rimane un “gap” (in italiano⁵: passo, breccia, lacuna, abisso, gioco) concettuale molto serio, se non del tutto incolmabile all’interno del quadro puramente deterministico⁶.

5.2. Il brodo primordiale

Nel 1953 Stanley Miller, dottorando nel laboratorio del premio Nobel Harold Urey, fece un esperimento che passò alla storia. Miller fece passare delle scariche elettriche in una ampolla sigillata di vetro, riempita di vapore d’acqua, di metano, ammoniaca e idrogeno (che potrebbe corrispondere all’atmosfera primordiale della Terra). I prodotti di reazione si scoglievano in acqua: già dopo un giorno l’acqua mostrò un colore rosa. Dopo una settimana furono analizzati prodotti delle reazioni: a sorpresa furono trovati cinque aminoacidi. Oggi in simili esperimenti (“Milley–Urey”) sono stati trovati numerosi aminoacidi.

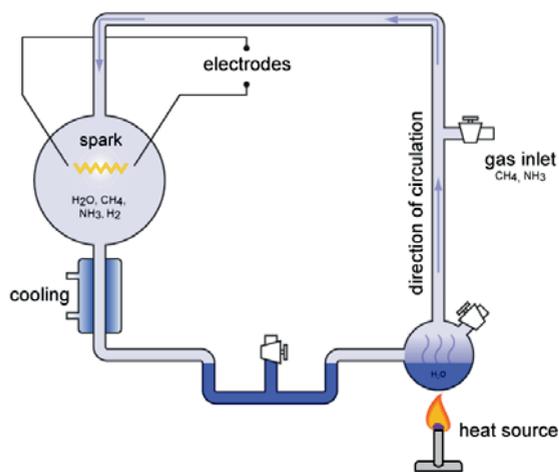


Figura 5.3. Lo schema dell’esperimento di Miller e Urey: vengono applicate le scariche elettriche dentro una ampolla di vetro riempita con vapore d’acqua, metano, ammoniaca e idrogeno. I prodotti delle reazioni vengono raffreddati e intrappolati nella parte bassa dell’apparato. Dopo una settimana di funzionamento furono trovati diversi aminoacidi sciolti in acqua. FONTE: Wikipedia; by Carny, id=611578.

L’esperimento di Miller suscitò grande interesse, fu accolto con applausi nei paesi del blocco sovietico (Polonia compresa, all’epoca): la

⁵ The Bantham New College Italian & English Dictionary, New York, 1976.

⁶ E con questo troviamo una sinergia con Prigogine, che considerava il determinismo la negazione della freccia del tempo («determinism is fundamentally a denial of the arrow of time»): https://en.wikipedia.org/wiki/Ilya_Prigogine.

vita è nata da sola, non serve più un creatore⁷. Purtroppo, a distanza di più di 50 anni dopo la scoperta di Miller non si è molto progrediti: da singoli, un po' casuali aminoacidi non siamo riusciti a costruire degli aggregati più grandi, cioè proteine.

Poi, per costruire proteine funzionanti, serve un particolare l'ordine. Oggi lo possiamo codificare sul disco rigido del computer (sono troppi numeri da scrivere sulla carta): qualche miliardo di anni fa, l'unico modo per scrivere catene di 3.300.000.000 cifre, in uno spessore di singoli nanometri (10^{-9} m) era il DNA.

Oggi, i metodi più promettenti per sintetizzare aminoacidi in via controllata sono le reazioni a bassissime temperature, svolte sui granelli di polvere, come quella cosmica. I colleghi francesi⁸ sono riusciti a sintetizzare la glicina, un aminoacido semplice, dall'acido acetico e dall'ammoniaca (che a sua volta si trovano nello spazio cosmico) usando gli elettroni a bassa energia. Ma passati più di dieci anni, non c'è stato un'ulteriore progresso.

5.3. La vita dalle comete?

Si temeva (nelle credenze popolari) che le comete portassero disastri. Una delle comete più belle, quella di Halley, torna ogni circa 80 anni e fu (probabilmente) immortalata da Giotto nell'affresco della Natività nella Cappella degli Scrovegni a Padova. Gli scienziati oggi cercano di capire se non siano state le comete a portare la vita sulla Terra. Infatti, diverse sonde spaziali sono state dirette verso le comete e nel 2014 una è persino atterrata su una cometa.

Le comete sono palle di neve molto fredda e sporca, grandi qualche chilometro. Quando arrivano nelle vicinanze del Sole, cominciano a evaporare, lasciando due code: una dietro, giallastra, fatta dalle polveri perse lungo il percorso, un'altra, azzurrina, dritta, di gas riscaldati, v. fig. 5.4b.

Gli astronomi credono che le comete arrivino dai confini lontani del Sistema Solare: la sonda Voyager 1 che nel 2013 aveva raggiunto

⁷ Gli scienziati che “credono” nella vita nata per puro caso sono come quelli che, prima dell'invenzione del microscopio, erano convinti che i microbi, le pulci, mosche, ecc. nascessero da soli nell'acqua pura.

⁸ L. AMIAUD, *Electron induced processes on mixed molecular ices*, Institut des Sciences Moléculaires, Orsay, 2015, <http://www.ismo.u-psud.fr/spip.php?article1522&lang=fr>.

la distanza di 130 unità astronomiche⁹ dal Sole e ha varcato la frontiera del vento solare, non ha trovato nessuna traccia di comete. In realtà, la nube che contiene le comete, ipotizzata da Jan Oort, dovrebbe trovarsi mille volte più lontano, quasi alla distanza di un anno luce dal Sole. D'altra parte, guardando le belle immagini delle supernove (vedi la foto 2.15), l'esistenza della nube di Oort è plausibile: lontana, fredda e piena di comete.

Già in passato furono mandate sonde verso le comete: una ha bombardato la cometa con un proiettile e aveva studiato lo spettro dei gas liberati. L'altra, “Stardust” ha attraversato la coda di polveri, allungando una trappola come una racchetta da tennis, ha raccolto polveri e fatto tornare la trappola sulla Terra. Furono trovate migliaia di micropolveri e in esse diversi minerali, sia quelli che esistono nella crosta terrestre, sia molecole di probabile provenienza extra-solare. Sembra che le comete raccolgano la microspazzatura spaziale.

Nel 2014 l'agenzia europea ESA ha fatto “atterrare” la sonda “Rosetta” sulla cometa 67P/ Churyumov–Gerasimenko (nomi degli astronomi russi che la scoprirono nel 1969). La 67/P somiglia a un osso per il cane, della lunghezza di 4 km. La sonda ha saltellato un po' prima di agganciarsi bene e di conseguenza si è trovata parzialmente in ombra: presto i pannelli solari hanno smesso di funzionare. Ma prima di spegnersi, “Rosetta” è riuscita ad analizzare i gas circostanti.



Figura 5.4. (a) Giotto vide la cometa di Halley nel 1301 e la dipinse sull'affresco nella Cappella Degli Scrovegni a Padova. (b) Le comete stendono a loro passaggio due chiome — una bluastra, dovuta ai vapori, un'altra gialla, dovuta ai polveri lasciato nello spazio. FONTE: Wikipedia (Cappella Degli Scrovegni), con gentile concessione del Comune di Padova; ESA.

⁹ Ricordiamo che l'unità astronomica equivale alla distanza della Terra dal Sole (150 milioni km) e invece 1 anno luce = 63241 u.a.

Furono trovati, oltre ad acqua (H₂O) e metano (CH₄), anche ammoniaca (NH₃), solfuro di idrogeno (H₂S), acido cianidrico (HCN), formaldeide (H₂CO): tutti gas molto puzzolenti, che in biologia nascono dalla putrefazione di sostanze organiche, in particolare di proteine. Purtroppo, per le reazioni chimiche al contrario, cioè da gas semplici ad aminoacidi, la strada non è semplice.

Ma la diversità delle molecole sulla cometa è niente in confronto alle nubi interstellari che contengono tante molecole, anche organiche. C'è persino una nuvola piena di alcol etilico, solo che è lontana qualche anno luce.

5.4. Sulla Terra molto calda

Le prime rocce solidificate si sono formate probabilmente 4,2 miliardi di anni fa, ancora sulla Terra semi-liquida. L'era (o meglio: "eone") archeana viene estesa convenzionalmente da 4 a 2,5 miliardi di anni fa e viene seguita dall'eone proterozoico (tra 2,5 miliardi e 0,542 miliardi di anni fa). Tra l'Archeano e il Proterozoico c'è stato un salto enorme: nelle forme di vita, nell'atmosfera, nell'idrosfera e persino nella litosfera (cioè nelle forme geologiche¹⁰).

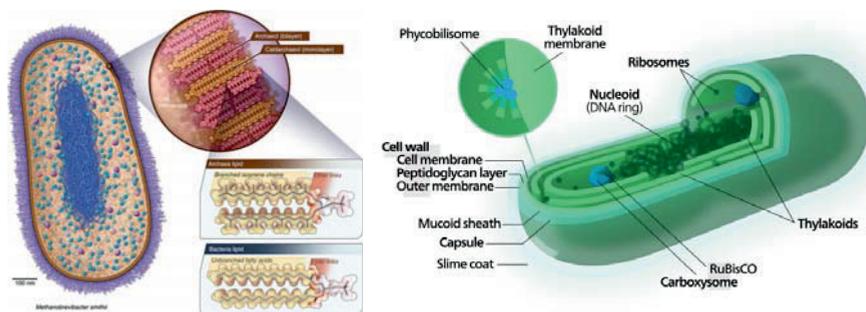


Fig. 5.5 (a) Il *Methanobrevibacter smithii* appartiene al regno Archeae vive nell'intestino umano, dove produce metano digerendo polisaccaridi; esso ha un'anatomia molto semplice: un groviglio di DNA al centro e una membrana cellulare molto primitiva, ancora non basata su lipidi; (b) la struttura del batterio azzurro-verde (cianobatterio) è molto più complicata: contiene delle "sottocellule" specializzate in alcune funzioni, come la fotosintesi o la replicazione (ribosomi). FONTE: Wikipedia.

¹⁰ Certe stime dicono che quasi la metà dei minerali (più di duemila), non contando le rocce come i calcari e i marmi, sono di origine organica.

Questo tipo di vita era completamente diverso dalle forme che dominano la terra oggi: non c’era l’ossigeno libero nell’aria né in acqua, allora non funzionava il metabolismo basato sul ricavo d’energia dai processi di “combustione”. L’atmosfera opaca non permetteva la fotosintesi. Le prime forme di vita dovevano ricavare l’energia da processi bio-chimici poco efficaci, come la formazione del pirite (Fe_2S) — dal solfuro di idrogeno (H_2S) e dagli ioni di ferro sciolti in acqua. Reazioni così potevano avvenire nelle “fumarole nere” — le bocche idrotermali nella profondità di oceani, nelle zone vulcaniche. Anche oggi troviamo lì stranissime forme di vita¹¹.

L’ipotesi alternativa è la formazione di semplici composti organici, sempre nelle zone di vulcani sottomarini, direttamente dal idrogeno e l’ossido di carbonio, in reazioni catalizzate da nanostrutture (?) di zolfo, nichel e ferro.

Un esempio del batterio (o più propriamente non batterio, ma un organismo più primitivo, classificato adesso nel regno di Archaea) che esiste ancora oggi è il *Sulfolobus solfataricus*, trovato per la prima volta nella solfatara di Pozzuoli. Esso cresce meglio alla temperatura di 80° Celsius, in un ambiente estremamente acido (tra pH=2 e pH=4) e richiede lo zolfo sul quale è basato il suo metabolismo.

Il grande interesse per questa specie deriva dal fatto che il suo genoma è stato poco fa (nel 2001) risolto. Esso contiene¹² 2.992.245 basi nucleotidiche che codificano 2.977 proteine. Un terzo del genoma di *S. solfataricus* codifica delle proteine che non trovano corrispondenza negli altri esseri viventi. I restanti 40% sono le proteine specifiche per il regno Archaea, il 12% in comune con i batteri, e solo il 2,3% di proteine condivise con organismi eucarioti (cioè cellule provviste del nucleo contenente DNA e di altre “organelle”).

S. solfataricus per il metabolismo usa enzimi semi-inorganici (ferredoxine, cioè composti di proteine con ferro e zolfo) piuttosto che NAD di altri organismi (v. fig. 5.1). Ma una simile molecola di ferro e

¹¹ Così descrive questi ambienti Nick Lane: «Questo mondo bizzarro e isolato sembrava una visione dell’inferno e si rivelò pieno di zolfo e invaso dallo sgradevole odore di uova marce del solfuro di idrogeno proveniente dalle fumarole nere. Solo la mente travagliata di Hieronymus Bosch avrebbe potuto immaginare i vermi tubicoli giganti, privi in età adulta di bocca, di apparato digerente e di ano, e i gamberi senza occhi, brulicanti in moltitudini innumerevoli sulle cenge sotto le bocche dei camini, grotteschi come la piaga biblica delle cavallette.» N. LANE, *Le invenzioni della vita. Le dieci grandi tappe dell’evoluzione*, il Saggiatore, Milano, 2012, p. 25.

¹² https://en.wikipedia.org/wiki/Sulfolobus_solfataricus (accesso 10/10/2018).

zolfo, incorporata nelle proteine specifiche, serve per l'attività della tiroides umana. Questo è uno di casi del "risparmio" di soluzioni biochimiche, che la natura ha sperimentato in corso di miliardi di anni.

In un altro organismo primordiale, *Archaeoglobus* vive nei bollenti pozzi di petrolio (prolifera meglio a 83°C) e ricava l'energia dalla reazione chimica di riduzione¹³ di solfati (ioni SO_4^{-2}) in solfidi (allo ione S^{-2} , per esempio in già menzionato H_2S). Così viene liberato l'ossigeno. Poi, in una reazione inorganica è possibile la formazione dello zolfo solido: $16 \text{HNO}_3 + 24 \text{H}_2\text{S} \rightarrow 16 \text{NO} + 3 \text{S}_8 + 32 \text{H}_2\text{O}$. Altrimenti, lo ione S^{-2} può formare composti con metalli: con mercurio il cinabro (Hg_2S), con piombo — la galena (PbS), con ferro — il pirite (FeS_2 , detto oro di stupidi, vedi figura 5.2b).

Ricordandosi dell'atmosfera di Venere (piena di acido solforico H_2SO_4) — chi sa se non sono stati gli *Archeoglobus* (o suoi predecessori) a far liberare la Terra dalle nuvole di acido solforico e far arrivare i primi raggi di sole alla superficie.

Anche il genoma di *Archaeoglobus fulgidus* contiene 2.178.000 basi e rimane in gran parte enigmatico: circa $\frac{1}{4}$ codifica proteine le cui funzioni sono sconosciute. Il genoma sembra pieno di duplicazioni superflue, ma le proteine prodotte non sono identiche¹⁴.

Al regno di Archaea appartiene anche un "batterio" che produce metano da CO_2 e H_2 , il *Methanobrevibacter smithii*¹⁵; esso è presente anche nell'intestino umano dove aiuta a digerire i polisaccaridi¹⁶. Ha una costruzione molto semplice: un pacchetto del DNA e una membrana cellulare fatta di isoprene piuttosto che da lipidi (come in organismi più avanzati, partendo da batteri). La sua struttura è presentata nella figura 5.5a. Chissà se il nostro inquilino-aiutante non è un residuo dell'era Archeana? Sarebbe un altro argomento per la "razionalità della natura": le stesse soluzioni a miliardi di anni di distanza. Ma davvero questa *razon* deriva da un mondo puramente atomico?

¹³ La riduzione dei solfati è accoppiata (in pozzi di petrolio) con l'ossidazione degli idrocarburi.

¹⁴ <https://en.wikipedia.org/wiki/Archaeoglobus> (accesso 20/12/2018).

¹⁵ https://en.wikipedia.org/wiki/Methanobrevibacter_smithii (accesso 20/12/2018).

¹⁶ Questo archeo-batterio non potrebbe esistere in un ambiente inorganico, perché l'energia si ricava dalla "digestione" di carboidrati.

5.5. Il pianeta verde

A metà dell’Archeano sono comparse forme di vita nuove e più complesse: i batteri. Pur essendo ancora organismi unicellulari, la loro struttura è più complicata, con la divisione di funzioni, ma ancora senza un nucleo separato per il DNA (v. la fig. 5.5b). Tra i primi batteri comparsi, forse già 2,5 miliardi di anni fa, si ricordano quelli azzurro-verdi, detti cianobatteri.

L’evidenza geologica delle prime forme di vita deriva dalle formazioni di arenarie, dette stromalotiti: granelli di sabbia legati con materia organica. Le stromalotiti, che testimoniano con buona probabilità la presenza di batteri fotosintetici, risalgono a circa 2,5 miliardi di anni fa.¹⁷ Si discute se le rocce più antiche, come quelle dell’Australia (3,4 mld d’anni fa) o della Groenlandia (3,7 d’anni fa¹⁸), abbiano avuto anch’esse una formazione organica.

I cianobatteri mostrano alcune caratteristiche che fanno supporre la loro provenienza dall’epoca a cavallo tra la vita anaerobica e quella aerobica. Per esempio hanno la capacità di fissare azoto atmosferico¹⁹ in ammoniaca (che a sua volta forma aminoacidi). Le caratteristiche dei cianobatteri sono anche una prova di diverse condizioni fisiche del pianeta: i cianobatteri contengono, per esempio, altri pigmenti, complementari alla clorofilla, come la ficocianina, che assorbe la luce gialla (620 nm, rispetto da 650–660 della clorofilla): la vita biologica odierna porta le impronte della pre–pre–istoria.

Il grande evento di ossigenazione (GOE) avvenne circa 2,5 miliardi di anni fa, sicuramente in concomitanza con la comparsa dei cianobatteri. Ma quali furono le cause del GOE — mancanza di nichel che fermò la proliferazione di batteri metanogenici (uno di loro enzimi necessita di questo elemento), una globale glaciazione, gli effetti di feedback legati alla formazione di ozono — non sappiamo. Senza dubbio — la presenza d’ossigeno in atmosfera cambiò tutto — dalla chimica di oceani alla geologia di depositi minerali. Di vita biologica non parlando: al posto di complicatissimi (e poco efficaci) schemi di ossida-

¹⁷ <https://en.wikipedia.org/wiki/Collenia> (accesso 22/10/2018)

¹⁸ A.C. ALLWOOD, *Evidence of life in Earth’s oldest rocks*, «Nature» 535 (2016), p.500.

¹⁹ Oggi le piante non riescono ad utilizzare l’azoto atmosferico e hanno bisogno di azoto nel sottosuolo. Poche piante, per esempio i legumi, vivono in simbiosi con gli azotobatteri, capaci di fissare azoto atmosferico.

zione e riduzione di solfati, nitrati ecc. entra il ciclo di metabolismo basato sui composti di carbonio.

Dopo il GOE, l'energetica di esseri viventi diventò standard: sintetizzare idrocarburi (proteine, grassi) e bruciarli in atmosfera d'ossigeno quando serve. Si sono formate di "sottocellule" specializzate in queste operazioni — mitocondri, con il loro patrimonio genetico autonomo — semplice ma robusto.

Nel frattempo il pianeta, visto dal cielo, cominciava ad apparire verde: ancora oggi i cianobatteri contribuiscono alla metà del volume della fotosintesi in oceani aperti. La versatilità metabolica dei cianobatteri li posizionò tra le due ere della Terra: senza e con l'ossigeno nell'atmosfera. E il cambiamento venne causato, in gran parte, dagli stessi batteri.

5.6. Negli abissi degli oceani

Le prime forme di vita sono nate negli oceani; anche lì si svilupparono gli organismi più evoluti, con organi ben specializzati, come li conosciamo oggi: non solo i vertebrati (pesci, anfibi, rettili) ma anche gli antenati d'insetti. Gli esempi di convergenze, fossili viventi, parallelismi nelle soluzioni evolutive sono le volte sorprendenti, v. fig. 5.6 per Arthropodi. Sull'esempio di questo gruppo (*phylum*), che conta più di due milioni di specie, sorprende come la "natura" sperimenta diverse soluzioni, in sovrapposizione e in diversi ambienti.



Fig. 5.6. Nonostante l'enorme varietà di animali, certe forme si somigliano a distanza di milioni d'anni. (a) I trilobiti regnavano nei mari da 550 milioni di anni fa, nelle acque torbide e povere di ossigeno. (b) Oggi, una struttura simile a segmenti e un paio di zampe per segmento possiede il porcellino di terra (*Armadillidium vulgare*) che si nutre di resti organici, compreso il legno; esso colonizzò la terra circa 500 milioni di anni fa. (c) La blatta fischiante del Madagascar (*Gromphadorhina portentosa*) diversamente da altre blatte non ha le ali; fossili di blatte risalgono a 350 milioni di anni fa. FONTE: (a) Hewelianum, Gdańsk, GK, (b) MK; (c) Wikipedia.

Il porcellino di terra, fig. 5.6b, un artropode lungo poco di più di un centimetro, vive in Europa negli angoli umidi di orticelli e in Africa sui deserti aridi. Le blatte, fastidiosi insetti alati, nel Madagascar non volano, ma fischiano. Nella logica semplice, per ogni ambiente basterebbe solo una specie vincente, non tutta questa ricchezza.

I trilobiti, comparsi per la prima volta circa 550 milioni di anni fa nella zona di odierna Siberia, hanno regnato nei mari fino a 250 milioni di anni fa. Erano artropodi con complesso esoscheletro, lunghi fino a 30 centimetri e occupavano diverse nicchie ecologiche, dagli spazzini ai predatori. Per centinaia di milioni di anni queste forme di vita proliferarono ancora solo negli oceani: il contenuto di ossigeno nell’atmosfera era basso, mancava lo strato di ozono e la radiazione ultravioletta poteva essere micidiale.

Trilobiti avevano degli occhi primitivi, fatti da migliaia di cristalli trasparenti di calcite (CaCO_3). Con la struttura ben definita (vuol dire poco variabile), alla fine del Paleozoico non potevano sostenere la competizione della nuova “soluzione” evolutiva, l’endoscheletro dei pesci che permetteva gli spostamenti rapidi.

I primi vertebrati risalgono, probabilmente, ai tempi di trilobiti, circa 500 milioni di anni fa²⁰. Relativamente presto, in corso di cento milioni di anni, comparvero i primi “ibridi”, cioè gli animali con le caratteristiche sia di pesci sia di anfibi (o magari di rettili, v. fig. 5.7). I ritrovamenti di queste forme di “transizione” sono rari, perché questi animali erano poco adatti all’ambiente, allora poco numerosi. Confrontati con le specie odierne, sembrano dei biblici “mostri marini”.



Fig. 5.7. (a) Una forma di transizione tra i pesci e gli anfibi — un tiktalik scoperto recentemente in Canada e risalente a 375 milioni di anni fa. (b) Dio creò i grandi mostri del mare, *Tapes de la Creació* a Girona. Fonte: KEVIN JIANG, The University of Chicago, <https://tiktaalik.uchicago.edu/press/>; Wikipedia.

²⁰ JUN-YUAN CHEN, DI-YUNG HUANG & CHIA-WEI LI, *An early Cambrian craniate-like chordate*, «Nature» 402 (1999), p. 518.

Il *tiktaalik*, *Tiktaalik roseae* viveva 375 milioni di anni fa ed era una forma intermedia tra pesci e anfibi. Le sue impronte nelle rocce furono trovate nel 2006 in Canada antartica che in quell'epoca era in una zona tropicale. Il nome significa un tipo di merluzzo nella lingua degli Inuiti. Non è l'unica forma di transizione verso i tetrapodi, ma è la prima con il bacino ben sviluppato, che indica una via evolutiva verso i dinosauri. Altre forme intermedie sono piuttosto tipiche per gli anfibi.

C'è stata un'unica via di evoluzione o diverse altre in parallelo? Sembra che in ogni momento, in tutti gli ambienti in continua variazione, "brulicavano le acque di una moltitudine di esseri viventi", come dice *La Bibbia*.

5.7. DNA – un po' duro, un po' morbido

Il codice genetico, racchiuso nella lunghissima doppia elica del DNA (nelle cellule della cipolla e di 5 cm) è la base sia della riproduzione da una generazione all'altra (vuol dire la conservazione di tratti caratteristici di una specie biologica) sia della variabilità delle specie. Il DNA deve essere abbastanza inflessibile per cambiamenti per non degenerare durante la vita di un individuo (perché altrimenti avviene una modifica genetica, cioè il cancro — una sofferenza terribile), ma abbastanza variabile per permettere la evoluzione biologica nel tempo. I due obiettivi sono contrapposti.

Il discorso sulla scala dell'energia nei processi atomici (e nello spettro della luce solare²¹) serve per capire uno dei problemi che hanno preoccupato tutti i pensatori, da San Tommaso e Leibniz a Charles Darwin: perché esistono il male e la sofferenza? Darwin nella sua *Autobiografia* (1876) scriveva che è difficile capire il motivo per il quale Dio, il creatore dell'universo, onnipotente e onnisciente per le nostre menti, di una benevolenza illimitata, permette sofferenze di milioni di animali inferiori, per un tempo infinito²². Infatti, se dal punto di vista

²¹ Lo spettro visivo, da 380 nm a 760 nm in termini di lunghezza d'onda, si estende da 1,6 a 3,2 eV in termini di energia (onde corte corrispondono alle energie maggiori).

²² «all other sentient beings, and these often suffer greatly without any moral improvement. A being so powerful and so full of knowledge as a God who could create the universe, is to our finite minds omnipotent and omniscient, and it revolts our understanding to suppose that his benevolence is not unbounded, for what advantage can there be in the sufferings of millions of the lower animals throughout almost endless time?» CH. DARWIN, *Autobiografia*, ed. Nora Barrow, Collins, London 1958, p. 90.

dell’etica umana si potrebbe giustificare l’esistenza (e la necessità) di malattie e disastri, come scrive Darwin, gli animali non hanno bisogno del perfezionamento morale. E lo stesso Darwin intuisce la risposta: queste sofferenze servono per la “selezione naturale”²³.

Allora la domanda ritorna ancora più acuta: la selezione naturale funziona anche nel caso dell’uomo? Sarebbe un riduzionismo etico. No! Semplicemente, noi condividiamo con gli animali le stesse strutture biologiche, compreso il DNA. Le due strisce della doppia elica sono costruite con dei forti legami chimici, *covalenti*, come questi nella molecola N₂. Invece le strisce tra di loro sono legate con legami deboli, che scambiano non un elettrone ma un protone (legami di “idrogeno”). I delicati legami tra le due strisce permettono la cosiddetta riproduzione sessuale, cioè l’interscambio di patrimonio genetico dei due genitori. Ma tutta la struttura del DNA rimane delicata se confrontata persino con la luce ultravioletta²⁴: per questo motivo nascono delle mutazioni.

Le mutazioni dal punto di vista della specie biologica sono benefiche. Come dice Darwin, permettono di adeguarsi ai cambiamenti delle

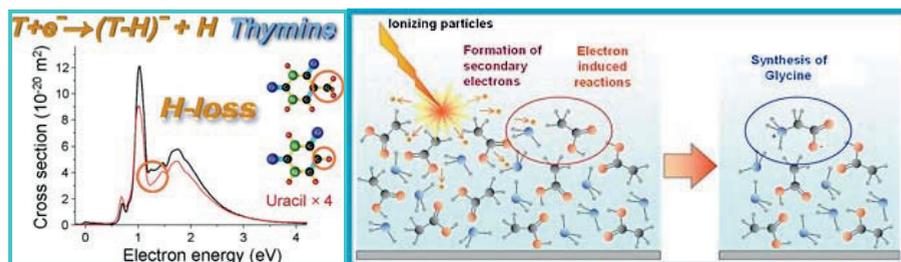


Fig. 5.8. Sono gli elettroni a bassa energia a distruggere i legami tra le basi nucleotidiche, permettendo ai frammenti “dondolanti” di creare nuovi ponticelli: le mutazioni (P. SCHEIER, Universität Innsbruck). (b) Gli stessi elettroni lenti possono (su una superficie particolare nel alto vuoto e alla bassa temperatura) indurre la sintesi di CH₃COOH (acido acetico) e di ammoniacca (NH₃) in glicina, un aminoacido semplice. (A. LAFOSSE, Université Paris Sud).

²³ «This very old argument from the existence of suffering against the existence of an intelligent first cause seems to me a strong one; whereas, as just remarked, the presence of much suffering agrees well with the view that all organic beings have been developed through variation and natural selection.» CH. DARWIN, *op. cit.* p. 118.

²⁴ Si è scoperto pochi anni fa (LEON SANCHE, 2001) che anche gli elettroni, e a sorpresa di bassa energia, possono recare alterazioni al DNA.

condizioni esterne (fisiche, chimiche e anche dovute alla presenza di altri organismi, come i predatori). Ma dal punto di vista individuale, un danneggiamento all'elica del DNA significa spesso un tumore. Così, un delicato equilibrio tra le energie chimiche di legami e fattori esterni (come la radiazione) permette una certa stabilità dell'organismo singolo, ma una plasticità della specie, quando le condizioni esterne lo esigono.

Dio non ha creato un mondo stabile, fisso per miliardi di anni, ma un ambiente ricco del costante (ed entusiasmante) progresso. Il perpetuo "viaggiare" nel tempo dell'intero universo, delle galassie, della pianeta Terra, della vita organica, non è meno interessante di un pellegrinaggio nelle terre lontane.

5.8. I geni: un po' di combinatoria

Il codice del DNA in tutti gli organismi viventi usa esattamente gli stessi componenti e le stesse regole matematiche di codifica. Lo scopritore della struttura del DNA, Francis Crick, si è chiesto perché non esistono in natura codici fatti in modo diverso. «La risposta ovvia è che tutti gli organismi esistenti sulla Terra discendono da un antenato comune, nel quale il codice era già fissato.»²⁵ Da chi fu fissato? Oppure proveniva da fuori? Ciò che sposta solo la domanda.

Nick Lane suggerisce che le regole (vincenti) della costruzione del DNA si sono stabilite attorno a una delle tante bocche idrotermali nel passato remoto. Così tutti gli organismi usano gli stessi 16 aminoacidi la cui produzione viene codificata con le sequenze di 4 lettere dell'alfabeto DNA. Quante lettere servono? Per distinguere 20 aminoacidi è necessario usare sequenze formate da un minimo di 3 lettere. Questa sequenza (un "codone") è il bit elementare per la sintesi delle proteine. Lo spiega la matematica combinatoria.

Per codificare 16 aminoacidi con 4 lettere servono sequenze di almeno 3 lettere. Nella combinatoria queste sequenze si chiamano "disposizioni con ripetizioni". Il numero di disposizioni, permettendo le ripetizioni della stessa lettera, è n^k , dove n è il numero totale di elementi (in nostro caso $n=4$) e k è la lunghezza della sequenza ($k=3$). Così il numero totale di disposizioni è $4^3=64$. Di qui bisogna togliere

²⁵ N. LANE, *op. cit.*, p. 52.

le sequenze di tre lettere identiche (che non sono distinguibili se lette dritte o a rovescio) e riservare almeno una sequenza per il codone alla fine della sequenza (lo stop). Tre lettere bastano per 20 aminoacidi.

La natura, da una parte, evita ridondanze, dall'altra permette una certa flessibilità. Nella sequenza di 3 lettere, già la prima determina che un precursore chimico sarà usato nella sintesi degli aminoacidi. Sembra che la seconda determini il carattere idrosolubile, basico o acido. La terza lettera sembra essere ridondante (non influenza la sintesi di alanina, glicina, ecc.), ma le lettere *A* o *D* fungono da stop.

In questo primo scorcio del XXI secolo i biologi molecolari hanno già sintetizzato 40 aminoacidi artificiali che possono sostituire quelli naturali nelle proteine. Costruendo "codoni" a 4 e 5 lettere hanno anche codificato i modi di sintetizzare alcuni aminoacidi artificiali per cellule vive.

Queste possibilità alimentano solo altre domande: data la quasi ridondanza della terza lettera, nei codoni (e di certi aminoacidi), forse le prime forme di vita usavano solo codoni a 2 lettere? Passare da 2 a 3 lettere è però facile al livello concettuale ($3=2+1$), ma non dal punto di vista pratico: significherebbe che tutto il lungo codice avrebbe dovuto subire una traslazione variabile. Sarebbe come chiudere una zip fatta da due strisce di grani diversi: qualcosa di impossibile da eseguire. È allora un cambiamento fissato *a priori*?

5.9. Un codice perfetto?

Il codice del DNA, con le sue ridondanze e/o omissioni (si potrebbero codificare più di 20 aminoacidi con codoni a 3 lettere) sembra un po' casuale. Addirittura, già con 2 lettere si possono codificare 15 aminoacidi. La funzione della terza lettera non è chiara: sembra aggiunta per caso.

Negli anni Novanta due biologi molecolari inglesi, Lawrence Hurst e Stephen Freeland, usando computer abbastanza potenti hanno esaminato una moltitudine di codici costruiti in modi diversi, concludendo che «il codice genetico reale è miglior di un milione di codici alternativi generati in modo casuale»²⁶. Il codice reale è il più resistente alle possibili mutazioni e ci protegge da gravi errori nella costruzione delle proteine derivanti da queste mutazioni. Il codice è ridondante, ma proprio per questo è molto più sicuro.

²⁶ *Ibidem*, p. 56.

Nick Lane commenta così le questioni aperte: «Lungi dal postulare il disegno divino, l'ottimizzazione può essere spiegata attraverso il solo funzionamento della selezione».

Con la selezione nasce però un altro problema: per sintetizzare le proteine, mettendo gli aminoacidi in un preciso ordine, serve il DNA, che ha tuttavia la struttura di una proteina. Prima l'uovo o la gallina? Gli scienziati cercano di uscire da questa trappola studiando il ruolo dei messaggeri tra il DNA e le proteine. Ma lo stesso Nick Lane ha ammesso che «Tutto questo scenario è senza dubbio congetturale, e ci sono ancora poche prove a suo sostegno» (p. 58).

5.10. Le dieci invenzioni della vita

Nick Lane ha elencato dieci invenzioni della vita. La prima è la vita stessa, quasi sicuramente nata negli oceani primordiali, e con l'atmosfera priva d'ossigeno. Seguono:

- 2) il codice della vita, cioè il DNA;
- 3) la fotosintesi (diversi pigmenti, non solo la clorofilla, attivi nel trasferimento degli elettroni nelle opportune molecole biologiche);
- 4) la cellula complessa: un aggressore che ha fagocitato altre cellule, più semplici ma specializzate in funzioni specifiche;
- 5) la riproduzione sessuale, in quanto un efficace scambio di frammenti del DNA;
- 6) il movimento, che è partito dagli organismi unicellulari, inventando tantissimi modi di locomozione in tutti gli ambienti (“volino gli uccelli al di sopra della terra”);
- 7) la vista, o più precisamente la specializzazione di certe cellule della pelle nel convertire il segnale delle onde elettromagnetiche in segnali elettrici;
- 8) il sangue caldo che ha permesso di colonizzare gli angoli più remoti della Terra.

Le ultime due tappe suscitano una certa perplessità:

- 9) la coscienza, che è difficile da ricondurre alla cieca evoluzione;
- 10) la morte dell'individuo, come il prezzo del “progresso” genetico.

I primi tre argomenti — il formarsi della vita nel ambiente molto particolare, il codice matematico flessibile per la lenta variazione delle specie e la comparsa di pigmenti organici elettro–foto–attivi — abbiamo già discusso. Molto interessante rimane la locomozione — non solo come gli arti di cavallette e cani, ma al livello cellulare, anzi — molecolare. È stata la locomozione a permettere di colonizzare ambienti nuovi, persino agli organismi primitivi come il paramecio (*Paramecium caudatum*). Esso si muove grazie ai cigli che coprono la superficie della sua cella a forma di una scarpina. (I cigli dello stesso tipo coprono la mucosa nei bronchi umani.)

Recentemente fu pubblicato un modello di locomozione di un’altro gruppo di protozoi, che hanno un singolo, grosso ciglio che ruota come l’elica di una nave. La costruzione di questa nano–elica comprende delle ruote “dentate” sul ciglio e nel suo cuscinetto all’interno della cella e delle guarnizioni su questo cuscinetto, v. fig. 5.9a. I processi della “combustione” metabolica alimentano questo nano–motore. Altri studi recenti, fatti da fisici teorici e sperimentali hanno mostrato come questo ciglio–elica non può essere troppo lungo né troppo rigido e che deve essere girato con la velocità giusta per non attorcigliarsi. Ci serve tanto lavoro scientifico per capire i segreti del mondo biologico.

Anche dentro le singole celle avvengono processi di trasporto e non solo chimico ma altrettanto meccanico. Dentro le celle esistono delle autostrade per portare certe proteine da un angolo all’altro. Ma servono anche dei rimorchiatori. La chinesina (o kinesina) è una proteina a forma di una treccia con due “piedi” liberi a muoversi.

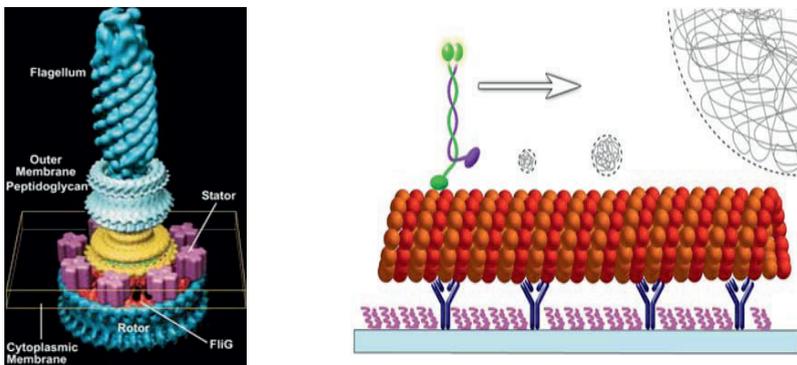


Fig. 5.9. (a) un “flagello” di un batterio di *Escherichia coli* è una vera nano–elica che ruota grazie agli ingranaggi dentro la cella. (b) Il „passo” della kinesina lungo l’autostrada dentro una cella è di circa 8 nm, ogni 10 ms; la kinesina può trasportare carichi molto pesanti che lei (K. SOZANSKI *et al.*). FONTE: APS, Wikipedia.

I cicli di ossidazione (la ricezione di un elettrone) e di riduzione (la cessione di un elettrone) da una molecola di ATP (v. fig. 5.1) permettono alla kinesina di stendere un piede e muoversi, e con essa portare anche dei carichi. Il singolo passo è di 8 nm (la distanza di pochi atomi), richiede 10 millisecondi e il carico massimo trainato ammonta a 0,1 femto-newton (vuol dire, equivalente al peso di mille molecole di qualche proteina complessa) — un vero camion cellulare²⁷.

Un altro meccanismo viene usato nei muscoli. La miosina, anche essa una proteina a forma di una doppia treccia, si accorcia quando arriva un segnale elettrico²⁸. La descrizione del processo è talmente complessa, che non si trova ancora (30/10/2018) una traduzione nella Wikipedia italiana. Nella versione inglese si parla delle porte ioniche (Ca^{2+}) dei neuroni, che si attivano sotto il potenziale elettrico, rilasciando acetilcolina, che a sua volta si lega ai ricettori nicotinici nelle membrane delle cellule muscolari e scatena un'onda di rilascio di ioni di sodio e potassio, e la successiva contrazione nell'intera fibra muscolare²⁹. Le miosine di diversi animali non sono identiche ma nonostante ciò si osserva un'ampia compatibilità: la miosina del coniglio si può legare all'actina (una proteina che collabora nella transizione di segnali) dell'ameba.

²⁷ K. SOZAŃSKI *et al.*, *Small Crowders Slow Down Kinesin Stepping by Hindering Motor Domain Diffusion*, «Phys. Rev. Lett.», 115 (2015) 218102; 10.1103/PhysRevLett.15.218102.

²⁸ Non solo la miosina cambia dimensioni in presenza di segnali elettrici. Persino un cristallo di quarzo si restringe in campo elettrico. Così, anzi alla rovescia funziona un'accendigas — scatta la scintilla, quando si schiaccia il cristallo di quarzo.

²⁹ «The sequence of events that results in the depolarization of the muscle fiber at the neuromuscular junction begins when an action potential is initiated in the cell body of a motor neuron, which is then propagated by saltatory conduction along its axon toward the neuromuscular junction. Once it reaches the terminal bouton, the action potential causes a Ca^{2+} ion influx into the terminal by way of the voltage-gated calcium channels. The Ca^{2+} influx causes synaptic vesicles containing the neurotransmitter acetylcholine to fuse with the plasma membrane, releasing acetylcholine into the synaptic cleft between the motor neuron terminal and the neuromuscular junction of the skeletal muscle fiber. Acetylcholine diffuses across the synapse and binds to and activates nicotinic acetylcholine receptors on the neuromuscular junction. Activation of the nicotinic receptor opens its intrinsic sodium/potassium channel, causing sodium to rush in and potassium to trickle out. As a result, the sarcolemma reverses polarity and its voltage quickly jumps from the resting membrane potential of -90mV to as high as $+75\text{mV}$ as sodium enters. The membrane potential then becomes hyperpolarized when potassium exits and is then adjusted back to the resting membrane potential. This rapid fluctuation is called the end-plate potential. The voltage-gated ion channels of the sarcolemma next to the end plate open in response to the end plate potential. These voltage-gated channels are sodium and potassium specific and only allow one through. This wave of ion movements creates the action potential that spreads from the motor end plate in all directions.» FONTE: https://en.wikipedia.org/wiki/Muscle_contraction.

L'invenzione della riproduzione in via sessuale fu un fattore che notevolmente aveva migliorato le possibilità di adattamento di organismi biologici alle variabili condizioni esterne. La combinazione di due genomi, con complicate procedure di sdoppiamento di nastri del DNA, dilatazioni, sostituzioni, inversioni etc. assicura che i nipoti somigliano più ai nonni (o agli zii) che a genitori. Niente paura! La somiglianza tornerà nella seconda generazione.

Gli occhi, molto primitivi da trilobiti (i cristalli di calcite) nel corso di milioni di anni si sono specializzati per tante diverse esigenze. Gli insetti, con loro cervello molto primitivo, hanno gli occhi fatti come i rivelatori di particelle elementari: tanti foto-moltiplicatori posizionati uno accanto altro (come un favo di miele). All'ape non serve vedere il colore verde, ma serve distinguere fiori bianchi (per noi) del melo, pero e prugno. Poi, nella luce ultravioletta il nettare brilla al centro del fiore, così le api possono mirare direttamente lì. Alla vipera serve di vedere il topo caldo anche nel buio, così usa dei rivelatori all'infrarosso (e lei rimane fredda, per il miglior contrasto con la preda).

Stranamente, lo stesso pigmento della retina umana (la rodopsina) sia trova da nel gambero incolore di sorgenti fumarole. Il gambero non ha occhi ma solo due lobi della rodopsina posizionati sulla schiena. Questa strana formazione permette al gambero d'identificare in modo grossolano debolissime sorgenti di luce, con la sensibilità 7 milioni di volte maggiore che gli occhi pianamente formati delle loro larve³⁰.

La stessa proteina del cristallino umano si trova nel cervello di un invertebrato marino, ascidia lunga (*Cioma intestinalis*). «Che cosa sia lì a fare non lo sappiamo, ma la cosa non è rilevante per noi. Quel che importa è che gli stessi geni che dirigono la formazione del cristallino nei vertebrati controllano anche l'attività di questa proteina; nell'ascidia essi hanno una funzione nel cervello oltre che nell'occhio»³¹.

Sembra, che la "natura" si diverte sperimentando diverse possibilità. Sorprende la ricchezza di scelte e il parallelismo delle soluzioni. A chi non piace il metabolismo del ATP, c'è il NAN (fig. 5.1) in alternativa. A chi non piace il sangue rosso (che richiede una proteina con lo ione di ferro), eccoci il sangue blu del polpo (*Octopus macropus*), che contiene lo ione di rame. Possiamo attribuire questa saggezza alla "natura", oppure a una Mente trascendentale, a cui la natura attinge

³⁰ N. Lane, *op. cit.* p. 177.

³¹ *Ibidem*, p. 188.

per servirsi delle diverse soluzioni. La continuità della vita attraverso ultimi 3–4 miliardi d’anni mostra che questa Saggezza supera enormemente le soluzioni “attualmente in uso”.

Nick Lane riamane più riservato. Commentando sulla presenza di pre-occhi in alcuni protozoi scrive così:

Se gli occhi degli animali si siano sviluppati da questi direttamente o indirettamente (attraverso una simbiosi), in questo microcosmo brulicante e poco conosciuto, è una questione aperta. Se ciò sia accaduto come un passo prevedibile o come un colpo di fortuna scandaloso, non possiamo dirlo. Ma questo tipo di domanda, a un tempo specifica e universale, è la sostanza stessa della scienza e io spero che possa ispirare una nuova generazione di scienziati con gli occhi fissi alle loro stelle³².

Alle “invenzioni della vita” Nick Lane aggiunge la coscienza e la morte. Conviene lasciare questi ultimi argomenti alla discussione di *creature* che sono in grado di sentire le emozioni superiori a quelli biologici (cioè superiori alla paura, la fame, il dolore, l’istinto riproduttivo), che sono in grado di ricordare, prevedere, immaginare, riflettere, cioè l’uomo.

5.11. Perché tutto questo spreco?

Guardando la cellula molto primitiva dell’archeo (pre-batterio) metanogeno che si trova nell’intestino umano, ci si meraviglia che la maggior parte di questo minuscolo organismo occupi il codice del DNA. A che cosa serve il nastro con 3 milioni di lettere? Il *Methanobrevibacter* svolge poche funzioni: taglia i polisaccaridi (l’amido), brucia gli zuccheri derivanti e con l’energia ottenuta rimuove l’idrogeno superfluo legandolo ai resti di CO₂, producendo così il metano. Niente occhi, niente movimento, niente fotosintesi: ambiente caldo, ricco di cibo, sicuro. La stragrande parte del patrimonio del DNA è completamente inutilizzato. Ma *potrebbe* essere utile.

I batteri metanogeni potevano, probabilmente, esistere anche in altri ambienti, non solo nell’intestino. Anzi, miliardi di anni fa potevano legare l’idrogeno e CO₂ atmosferico, producendo il metano e l’acqua e ricavandone l’energia da questo tipo di reazione. Un quarto

³² *Ibidem*, p. 191.

del genoma del *Methanobrevibacter smithii* codifica delle funzioni completamente ignote agli scienziati.

Lo stesso con gli *Archeoglobuli*: usano l'energia da una reazione poco redditiva, la riduzione chimica dello zolfo³³. La reazione proviene sicuramente dai tempi in cui non c'era ossigeno nell'aria (3 miliardi d'anni fa). Ma *Archeoglobulo* "digerisce" petrolio, è questo sì è formato (per esempi giacimenti di Canada) appena cento milioni di anni fa. Allora l'archo doveva acquisire o produrre, o inventare, o ereditare il pezzo del DNA con l'informazione sul metabolismo (l'ossidazione) degli idrocarburi?

Sono stati necessari questi 2 miliardi di anni sulla Terra senza ossigeno? Purtroppo o fortunatamente: sì! Frattanto si è formata la Luna³⁴, prendendo sul suo lato nascosto il maggior numero di impatti di meteoriti, la terra si è raffreddata e si è formato il nucleo interno di ferro solido creando il campo magnetico protettivo, l'atmosfera è divenuta trasparente per la luce solare, ecc. Fu l'evoluzione della Terra a forzare i cambiamenti nelle forme di vita. In quel modo, in ogni momento la storia geologica e quella biologica erano concordi.

Nella storia del pianeta Terra ci furono diverse catastrofi globali:

- 1) la (probabile) lunghissima glaciazione uroniana alla fine dell'Archeano (2,4–2,1 miliardi di anni fa),
- 2) la catastrofe alla fine del Paleozoico (241 milioni di anni fa), dovuta probabilmente alla ricomparsa dello zolfo nell'atmosfera, che ha causato l'estinzione dell'81% delle specie marine e del 70% dei vertebrati terrestri,
- 3) la scomparsa dei dinosauri (65 milioni di anni fa, a causa della caduta di un meteorite). Tutti questi disastri non solo non hanno portato alla fine della vita, ma hanno addirittura permesso la comparsa di nuove specie, meglio preparate alle condizioni ambientali già evolute.

³³ Lo zolfo, essendo analogo all'ossigeno presenta, in principio, reazioni simili. Ma col crescere del numero di orbite (ossigeno ne ha 2, zolfo 3), diminuisce l'energia tra livelli elettronici esterni (che governano le reazioni chimiche). Così il ciclo "biologico" dello zolfo rende poca energia rispetto ai cicli basati sul carbonio e ossigeno.

³⁴ «E Iddio fece i due grandi luminari: il luminare maggiore per presiedere al giorno e il luminare minore per presiedere alla notte, e le stelle.» *Genesis* 1, 16: il quarto giorno.

Ma Dio non poteva “preparare” la Terra già pronta? Sì, che poteva. Ma Lui ha già fatto un universo materiale, tutto intero in un 10^{-32} secondi. Un po’ di pazienza, per favore.

Seramente: nel corso dell’evoluzione gli organismi hanno sviluppato ed ereditato un patrimonio molto vasto, potenzialmente utile nelle condizioni di vita sulla Terra che sono in continuo cambiamento. Anche l’uomo contribuisce a questi cambiamenti.

5.12. Un’evoluzione cieca?

Charles Darwin, dotato di una straordinaria capacità di osservazione (e di talento come disegnatore), provocò³⁵, forse involontariamente, una profonda divisione nella nostra visione del mondo: non è stato un Creatore, ma un cieco caso a sviluppare la ricchezza delle forme di vita che ci circondano. Ma egli non si è espresso così: nella conclusione della sua opera più importante, *L’origine delle specie*, ha parlato di un “alito di vita”.

Nonostante più di 150 anni dalla pubblicazione dell’opera di Darwin, la teoria dell’evoluzione presenta tante lacune, di cui elenchiamo poche: la convergenza, il parallelismo, la multidirezionalità. Le api battono le ali 500 volte al secondo, portando carichi di miele superiori al loro stesso peso. Ma nell’alveare le ali devono essere spiegate, per risparmiare lo spazio. Allora, tra il segmento anteriore e posteriore esiste una cerniera complicatissima, v. fot. 5.10c. Il numero di combinazioni casuali delle mutazioni per trovare corrispondenza adeguata tra due segmenti sarebbe enorme. Qualcosa ha guidato l’evoluzione su due segmenti?

Tutte le rane depongono le uova in acqua, che una volta fecondate si sviluppano in girini. Tutte salvo una specie di Guinea, *Nectophrynoides occidentalis*, che vive nella zona limitata a pochi chilometri quadrati attorno il Monte Nimba. Questa rana rimane incinta per 9 mesi, frattempo va in letargo a causa della siccità e con la primavera le piccole rane nascono già simili agli esemplari adulti. Una convergenza delle soluzioni “evolutive” tra la rana e i mammiferi innattesa.

³⁵ Personalmente penso, dopo la lettura della sua *Autobiografia*, che Ch. Darwin non si aspettasse conseguenze così profonde della sua opera. Da giovane voleva diventare pastore. Nel 1904 gli fu apertamente chiesto se fosse credente; dovendo scegliere si dichiarò l’ateo.

Nelle grotte del Messico vive una salamandra che diventa adulta solo se la temperatura dell’acqua supera 21°C, altrimenti rimane nella forma larvare. Nella grotta non ci sono predatori né altri anfibi, allora manca una spiegazione perché questo strano comportamento. Sulle isole di Galapagos vivono due tipi dell’uccello con il becco curvo. Un tipo, che si nutre di ghiande ha il becco corto, altro che si nutre delle pinie ha un becco lungo. Senza dubbio, doveva esistere, come loro progenitore, un uccello con il becco intermedio. Moriva di fame, non potendo sgusciare né ghiande né pinie?

Magari sono le mutazioni “concatenate” nei geni a guidare l’evoluzione? Ultimamente fu scoperto un gene che sembra servire solo a velocizzare le mutazioni³⁶. Il gene *Pax6* identificato nel 1995, se prelevato dal topo fa crescere degli occhi sulle gambe del moscerino, e se manca del tutto non si sviluppa l’intera testa. Questo gene dirige il funzionamento di altri, ed è molto antico, in comune per i vertebrati e invertebrati, e persino per le meduse. Ma deve cooperare con altri geni. In che modo?

Se la teoria della evoluzione (e della selezione naturale) potrebbe spiegare la scomparsa della coda di gorilla (non li serviva più), i meccanismi di concatenazione o di regolazione di un gene dal altro (cioè una relazione tra le lettere separate sulle pagine diverse del libro) è



Fig. 5.11. (a) La rana dei Guinea, *Nectophrynoides occidentalis*, l’unico anfibio conosciuto che fa crescere i piccoli nell’utero, su questa foto è proprio incinta. (b) Axolotl di Messico (*Ambytona mexicanum*) — una salamandra “fossile” che sfugge all’evoluzione: si riproduce anche nella fase larvare, se danneggiata è capace di rigenerare senza cicatrici gli arti, i polmoni, il midollo spinale e persino parti del cervello. (c) La coevoluzione: i “gancetti” tra due segmenti dell’ala dell’ape (vista al microscopio elettronico). FONTE: (a, b) Wikipedia, en.wikipedia.org; (c) Arizona State University, <https://aska.biologi.st.asu.edu/how-do-bees-fly>.

³⁶ E. PENNISI, *Supergenes’ drive evolution*, «Science» 357 (2017), p. 1083.

ancora più difficile da capire. Non abbiamo spiegato niente, ma solo spostato la domanda: cambiamento nell'uovo o nella gallina?

La Chiesa Cattolica, nelle parole di Giovanni Paolo II ha riconosciuto il concetto dell'evoluzione come una teoria scientifica (cioè basata sulla sperimentazione) e non solo una mera ipotesi. Ma la Chiesa si oppone contro idea dell'uomo, come un "prodotto" dell'evoluzione biologica. S. Giovanni Paolo II invita i ricercatori a approfondire i vari aspetti dell'evoluzione per dare il giusto posto all'uomo con la sua *anima*.

Un concetto alternativo alla teoria di evoluzione è l'*Intelligent Project*, a cui però manca una solida metodologia. Si assume che lo sviluppo del mondo rispecchia il progetto di "una mente divina". In questo senso, si torna alle idee deistiche di fisici del XVIII secolo che consideravano il mondo "un orologio": una volta avviato, non ha più bisogno di essere regolato. George Lemaître, il prete e il cosmologo, ha prospettato una terza via³⁷:

Tutta la storia del mondo non fu registrata nel primo atomo come una canzone sul disco fonografico. Tutta la materia del mondo doveva essere presente all'inizio, ma la storia doveva essere scritta passo per passo.

L'idea di una "creazione continua" rimane in linea con la teologia cattolica. Il mondo non è uscito dalle mani del Creatore come un prodotto finale, perfetto. Dio, come la causa prima, e noi, come la causa secondaria, giorno per giorno partecipiamo alla creazione. Nella lettera ai partecipanti del congresso sull'evoluzione S. Giovanni Paolo II ha scritto:

In base a queste considerazioni del mio predecessore [Pio XII], non creano ostacoli una fede rettamente compresa nella creazione o un insegnamento rettamente inteso dell'evoluzione: l'evoluzione infatti presuppone la creazione; la creazione si pone nella luce dell'evoluzione come un avvenimento che si estende nel tempo — come una "creatio continua" — in cui Dio diventa visibile agli occhi del credente come Creatore del cielo e della terra.³⁸

³⁷ «The whole story of the world need not have been written down in the first quantum like a song on the disc of a phonograph. The whole matter of the world must have been present at the beginning, but the story it has to tell may be written step by step.» G. LEMAÎTRE, *The Beginning of the World from the Point of View of Quantum Theory*. «Nature» 127 (1931), p. 706, doi:10.1038/127706b0.

³⁸ Discorso di Giovanni Paolo II ai partecipanti al Simposio Internazionale su «Fede Cristiana e teoria dell'evoluzione». https://w2.vatican.va/content/john-paul-ii/it/speeches/1985/april/documents/hf_jp-ii_spe_19850426_studiosi-evoluzione.html.

Come abbiamo visto, il DNA persino dei microbi più primitivi è equipaggiato per le possibili avversità: l'evoluzione sembra estremamente ridondante, ma è “profetica”. Aristotele avrebbe detto: teleologica. Torneremo alla questione nel Capitolo VII, discutendo il libro di due fisici, Barrow e Tippler, intitolato *Il principio antropico*.

5.13. Possiamo costruire una vita artificiale?

Sì, cioè per il momento no, ma tra qualche secolo sicuramente sì. Già oggi, quasi, quasi sappiamo come sintetizzare aminoacidi da CO₂, ammoniaca e acqua: serve una temperatura bassa ben determinata, concentrazioni e pressioni ben precise, granelli di polvere cosmica con dimensioni e bordi esatti, ecc. Con gli enzimi, le tecniche della fisica e i computer potenti possiamo sintetizzare qualche pezzo di proteine.

Possiamo anche produrre il DNA con procedure analogamente precise. Non siamo ancora in grado di fare una membrana biologica per separare l'acido urico dal sangue (cioè un rene artificiale), ma nel corso del XXI secolo ce la faremo.

Con i futuri computer e le capienti memorie di dati, con la rete veloce degli scambi d'informazione, tra qualche secolo saremo in grado di fare una vita artificiale. Serve intelligenza, tempo (denaro) e il lavoro di un miliardo di cervelli. Rifaremo la vita! Sarà meglio di questa?

Nonostante tutti i progressi parziale rimane la domanda: in che modo la “stupida” materia inorganica è riuscita ad auto-organizzarsi da sola per fare ciò che l'umanità messa insieme avrà bisogno di un miliardo di anno-persona di lavoro? Nella genetica e nella teoria dell'evoluzione la situazione epistemica è identica al caso del quark nella fisica: sappiamo com'è fatto il mondo, ma non sappiamo *perché*.

Rispetto alle domande essenziali della fisica, la biologia quasi, quasi si potrebbe spiegare con ragionamenti materialistici. Ma proprio la biologia fornisce una matassa d'informazioni tale che la mente umana fatica a gestire. Davvero non c'era qualche *Logos* prima? O non siamo ancora in grado di travederlo? Il teleologo³⁹ (non teologo) avrebbe detto: *lo scopo* di tutta questa biologia complicatissima è la comparsa dell'organismo più perfetto nel mondo materiale — l'Uomo.

³⁹ Il “teleologo”, scherzando, è uno chi crede, come Aristotele (e l'autore presente), nella causa teleologica.

“L’uomo e la donna, li creò”

All’inizio del capitolo precedente abbiamo discusso come l’ipotesi di una pura origine chimica della vita potrebbe offuscare la bellezza dell’immenso mondo animato. In modo analogo, l’accettazione dell’origine puramente biologica dell’uomo avrebbe messo in discussione tutta la ricchezza della cultura umana. Lo “scoglio” principale nell’acettare la teoria dell’evoluzione è l’insistenza di certi ambienti (che si dichiarano atei) nell’includere/racchiudere l’uomo esclusivamente nel mondo biologico. Affrontiamo allora la prima domanda: è vero che l’uomo deriva dalla scimmia?

6.1. L’uomo deriva dalla scimmia?

Un argomento che ci impressiona è una (apparente) somiglianza genetica tra l’uomo e la scimmia. Si “sbandiera” che l’uomo ha il 97,4% del DNA identico a quello dello scimpanzé. Allora è davvero poca la differenza?

Uno degli organismi con il DNA meglio studiato è il pesce palla, la prelibatezza del sushi giapponese, ma con la carne molto velenosa. Il suo genoma è stato decifrato nel 2004, il secondo a essere conosciuto dopo quello umano¹. Perché? Il pesce palla, *Fugu rubripes*, ha il genoma più piccolo di tutti vertebrati, di “solo” 365 milioni di lettere. Grazie alla costruzione “economica” del suo genoma, il DNA del pesce palla contiene pochi geni non utilizzati, cioè ridondanti². Con il pesce palla l’uomo condivide il 75% del genoma, nonostante ci sepa-

¹ *Macchina del tempo*, Ottobre 2002, <http://www.cinquantamila.it/storyTellerArticolo.php?storyId=0000000084712>.

² Pochi geni ridondanti potrebbero significare poco “margine di sicurezza”: nel caso di mutate condizioni della vita, poche possibilità di sopravvivenza come la specie.

rino 400 milioni di anni di evoluzione. Inoltre, lo studio del genoma del pesce palla ha permesso di individuare quasi 1000 geni umani prima non identificati³.

Da dove derivano queste somiglianze? Dall'ambiente comune in cui viviamo: la presenza di ossigeno, il metabolismo che usa meccanismi identici, la salinità degli oceani, la luce visibile, ecc. Così, abbiamo il DNA in comune anche con le mosche e i ragni. Con lo scimpanzé condividiamo il 98,6% del DNA. Questo genoma è costituito da 3,3 bilioni di lettere (acidi nucleotidici, A, G, C, T). Ma il DNA umano contiene solo circa 30 mila sentenze sensate (i "geni"), come vengono chiamati in genetica.

Come sottolinea Michele Gazzaniga (p. 49), «questi 30.000 mila geni occupano circa l'1,5% di tutto il genoma, visto che la restante parte del genoma non ha funzioni di codifica. Quindi la maggior parte del genoma se ne sta per conto suo con funzioni a noi ancora sconosciute».

Citando ancora Michele Gazzaniga, l'1,4% del genoma che ci differenzia dallo scimpanzé può portare a differenze così grandi? Non è solo una differenza numerica, ma in primo luogo funzionale ed evolutiva. Uno studio apposito delle sequenze di DNA di 33,3 milioni di basi del cromosoma 22 dello scimpanzé con il cromosoma 21 dell'uomo ha rivelato «che 1,44% del cromosoma è costituito da sottrazioni su base singola oltre che da 68.000 inserimenti o sottrazioni. Queste differenze sono sufficienti a generare cambiamenti nella maggior parte delle proteine». (Gazzaniga, *Human*, p. 50)

Ma non si tratta solo di una differenza funzionale: sembra che, dal momento della separazione genetica tra i protouomini e gli scimpanzé, le due linee evolutive siano andate in direzioni divergenti. «Inoltre, abbiamo dimostrato la presenza di una differente espansione in particolari sotto-famiglie di retrotrasposizioni nei due ordini di discendenza, che suggerisce un diverso influsso delle retrotrasposizioni nell'evoluzione dell'essere umano e dello scimpanzé.»⁴ Gli autori dello studio concludono che «I cambiamenti nel genoma dopo la *speciazio-*

³ *Putterfisch DNA Yields Clues to Human Biology*, Joint Genome Institute, University of California, https://jgi.doe.gov/news_7_25_02/.

⁴ H. Watanabe et al., *DNA sequence and comparative analysis of chimpanzee chromosome 22*, «Nature» 429 (2004), pp. 382-348, citato da M.S. Gazzaniga, *Human*, p. 50.

ne e loro conseguenze biologiche sembrano molto più complesse di quanto fosse stato inizialmente ipotizzato».

Ritornando alla domanda iniziale — l’uomo deriva dalla scimmia? — la genetica risponde: sicuramente no! Una somiglianza del tutto casuale, non *causale*.

6.2. Un albero molto ramificato

Numerosi comportamenti degli scimpanzé, per esempio la capacità di organizzare la caccia in gruppo, oppure la facilità nell’imparare attività quotidiane dell’uomo, sono altri argomenti avanzati dai sostenitori della nostra parentela con le scimmie. Vengono presentati anche commoventi foto di oranghi con i loro piccoli in braccio e invocate le relazioni sociali all’interno dei gruppi di gorilla. Certe scimmie allungano la mano per chiedere cibo, altre coprono la testa se desiderano essere lasciate in pace, i cebi dai cornetti (*Cebus apella*) hanno il senso dell’ingiustizia, gli scimpanzé covano la vendetta e si fanno guerra tra loro⁵. La classifica biologica ci inserisce tutti insieme, uomini, scimmie, lemuri e tarsi, nell’ordine dei “primati”. Tutti hanno cinque dita e denti adatti alla dieta onnivora. Ma quali sono esattamente le parentele?

L’uomo e le scimmie hanno antenati comuni, ma dopo essersi separati seguono linee evolutive divergenti. «Le Scienze», versione italiana di «Scientific America», ha riassunto queste conclusioni con una specie di albero genealogico (v. la fig. 6.1).

Un particolare di questo albero è che esso evidenzia le ramificazioni “laterali”. L’*Homo sapiens* è posto sulla linea principale dello sviluppo, e altre specie si sono *separate* in modo distinto nel lontano passato: gli scimpanzé 6 milioni di anni fa, i gorilla 9 milioni di anni fa, gli oranghi (che spesso vengono presentati come particolarmente simili a noi) 16 milioni di anni fa. Da allora, le linee di sviluppo non si incrociano, non si intrecciano, non si mischiano. La separazione da altri rami di primati avvenne decine di milioni fa: per esempio, con le scimmie ragno 40 milioni di anni fa.

⁵ *Primati: 11 comportamenti tipicamente umani*, Focus, 22/02/2018 <https://www.focus.it/ambiente/animali/comportamenti-di-primati-tipicamente-umani>.

Lo sviluppo dell'ordine dei primati partì subito, insieme con altri mammiferi. Una recente scoperta in Cina ha individuato un piccolo topo con una coda lunga (2013), che si arrampicava sugli alberi, l'*Archigeus achilles*. Il fossile risale a 55 milioni di anni fa, appena 10 milioni di anni dopo la scomparsa dei dinosauri. L'*Archigeus* è probabilmente stato un progenitore degli odierni tarsi, cioè piccole scimmie notturne.

Considerando solo i ritmi “naturalisti” dell'evoluzione, cioè la probabilità di mutazioni del DNA e le variazioni ambientali, essa è un processo lento. Perciò sono state necessarie decine di milioni di anni per formare un “contenitore biologico” capace di contenere la ricchezza delle funzioni psichiche dell'Uomo. L'evoluzione di altri primati ha invece seguito strade diverse. E i complessi comportamenti sociali delle scimmie? Sono meccanismi necessari per la vita in gruppi, ma non hanno niente a che fare con la morale, riservata agli uomini. Ma dall'*Archigeus* (oppure un altro mammifero, direttamente all'inizio del nostro albero genealogico) all'*Homo sapiens* la distanza è ancora molto grande.

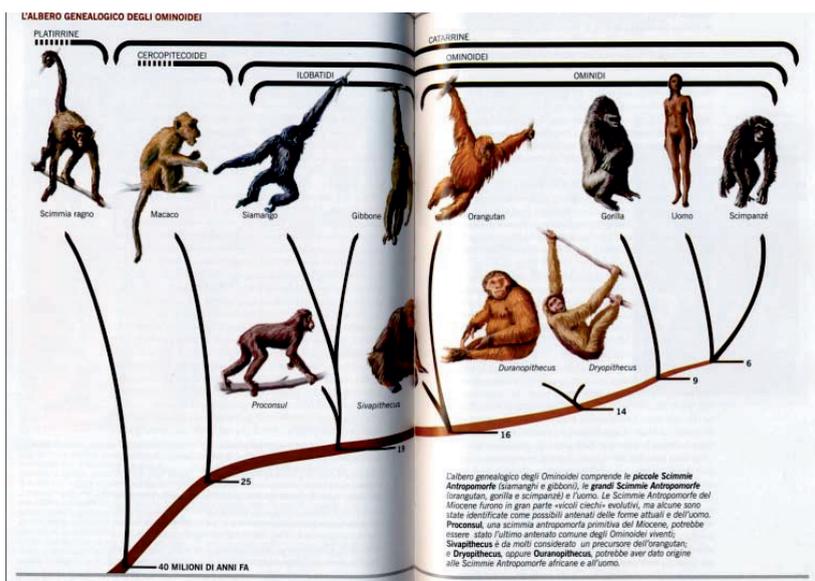


Fig. 6.1. L'albero “genealogico” dei primati, cioè delle scimmie, delle scimmie antropomorfe e dell'uomo. L'albero mostra una continuità, che non deve essere necessariamente valida. Importante su questo grafico è il fatto che gli oranghi, i gorilla e gli scimpanzé si sono *separati* dalla linea di sviluppo biologico dell'*Homo*, tanto tempo fa (rispettivamente 12, 9 e 6 milioni d'anni). FONTE: «Le Scienze».

6.3. Su due gambe

Un passo decisivo verso la formazione del genere *Homo* fu la posizione eretta del corpo. Essa permette non solo una visione migliore dell’ambiente circostante, come nel caso delle marmotte in guardia. La posizione permanente su due piedi permette prima di tutto di rendere libere le mani per un’infinità di funzioni, a cominciare da quella di dividere il cibo.

La più antica traccia di primati che hanno sfruttato la locomozione in posizione eretta risale a 3,7 milioni di anni fa. Le impronte di una femmina dell’*Australopithecus afarensis* furono scoperte nel 1976 dalla ricercatrice inglese Mary Leakey nel tufo vulcanico di Laetoli, nell’odierna Tanzania. Dato che in parallelo alle impronte della femmina sono state trovate anche quelle di altri due individui, forse si tratta della passeggiata di un nucleo familiare, come scrive la versione inglese di Wikipedia.

Pressapoco negli stessi anni fu scoperto in Etiopia uno scheletro femminile dell’*Australopithecus afarensis*, denominata Lucy. Lo scheletro presenta delle caratteristiche favorevoli per il bipedismo: la specifica costruzione del bacino, i piedi piatti, le ossa delle braccia più corte delle gambe (circa a metà tra le proporzioni dell’uomo e dello scimpanzé).

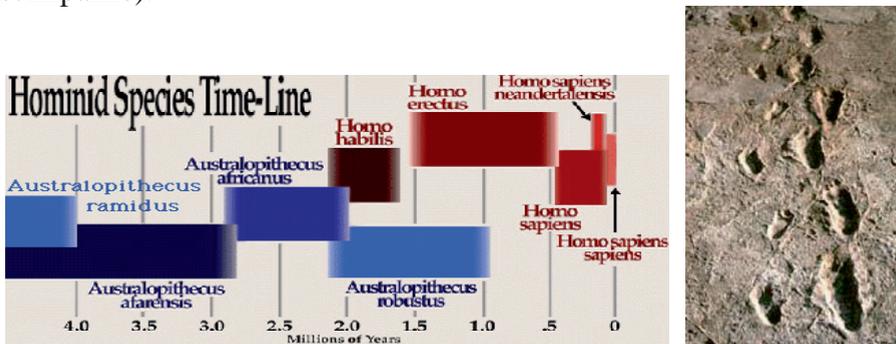


Fig. 6.2. (a) Le linee di sviluppo dei primi ominidi, di circa 4 milioni di anni fa. Diverse forme di antropomorfe di *Australopithecus*, risalenti ai periodi sovrapposti perirono furono scoperti in tutta l’Africa. Sembra che l’evoluzione abbia “provato” numerose soluzioni, di cui la maggior parte si è estinta. Alcune specie di *Australopithecus* coesistevano già con prime forme dell’*Homo*. (b) La prima scoperta delle orme di ominidi bipedi: le impronte di 3 individui nel tufo vulcanico a Laetoli, 1976. FONTE: (a) <https://juanat.files.wordpress.com/2011/02/timeline.gif>; (b) *Hominid Fossil Repository*, University of Michigan, http://projects.leadr.msu.edu/hominid_fossils/items/show/84, accesso 14/05/2019.

Gli scimpanzé sembrano essersi fermati nella loro evoluzione, dato che da sempre occupano la stessa “nicchia ecologica”, la foresta tropicale. I progenitori dell’uomo si sono spinti nella savana. Semplificando un po’, circa 4 milioni di anni fa, la crescita di una barriera montuosa nella direzione “verticale”, cioè da nord a sud (la catena di Ruwenzori e altre parallele) nell’Africa centrale, con vette che superano 5 mila metri, ha cambiato il clima nella parte orientale del continente africano. A ovest della catena fiorivano ancora le foreste tropicali, mentre a est comparve la savana, secca e coperta di erba alta. I progenitori dell’uomo, nella savana hanno assunto la posizione eretta.

Il bipedismo e la liberazione delle mani permisero anche di cambiare la dieta: dai ramoscelli e dalle foglie (come i gorilla), che richiedevano una forte dentatura, alla frutta (e possibilmente alla carne). Nel cranio aumentò lo spazio per il cervello; inoltre il flusso sanguigno prima necessario per la digestione si indirizzò dal ventre verso la testa.

La comparsa dell’*Australopithecus afarensis*, circa 4 milioni di anni fa (vedi la fig. 6.2a) coincide con i cambiamenti geologici dell’Africa orientale: l’innalzamento delle catene spargiacque e la formazione dei grandi laghi. Rimane la domanda: furono i cambiamenti climatici a forzare l’evoluzione oppure è stata la ricchezza pre-programmata del DNA pre-umano “ridondante” a permettere ai discendenti di Lucy di colonizzare la savana? Oppure si è trattato di una “coincidenza” fortuita? Un ominide che “per caso” si è trovato nel posto giusto, nel momento evolutivo giusto? In seguito, i discendenti di Lucy acquisirono la capacità di colonizzare quasi l’intero globo terrestre⁶. Ma nel mezzo, come sempre, il progresso, biologico e mentale, ha compiuto altri passi.

6.4. L’*Homo erectus*: il grande camminatore

Le dimensioni del corpo (e del cranio) degli australopitechi erano ancora simili a quelle degli scimpanzé di oggi. La conformazione dello scheletro permetteva anche la corsa a quattro zampe. Non ci sono tracce della fabbricazione di attrezzi né dell’uso del fuoco da parte

⁶ Ovviamente, scrivere “discendenti” è ancora una mera congettura: non ci sono prove dirette delle parentele, ma solo sequenze temporali di ritrovamenti paleontologici.

dell'*Australopithecus*, la cui diffusione rimase limitata all'Africa (da qui il nome "ominide del sud"). Fra la sua comparsa e la nascita dell'*Homo sapiens* trascorsero 4 milioni di anni.

Circa a metà di quel periodo comparvero i primi esemplari dell'*Homo*, con la conformazione dello scheletro decisamente adatta alla locomozione in posizione eretta, la capacità di procurarsi degli attrezzi e di accendere il fuoco (un milione di anni fa). L'evoluzione è proseguita a passi veloci: migliorava il cervello, ma anche lo scheletro.

Un articolo della rivista «Nature» di alcuni anni fa poneva la domanda: "Perché gli scimpanzé non sanno giocare a baseball?"⁷. Un giocatore esperto di baseball è capace di lanciare la palla a una velocità che sfiora i 140 km/h. Il lancio sfrutta diversi movimenti: del torso, della spalla, del braccio, dell'avambraccio e del polso nella fase finale (vedi la fig. 6.3a). Avere spalle larghe e muscolose risulta decisivo per diventare campioni di lancio nel baseball. Una scapola muovibile, un bacino robusto e un cranio più grande differenzia il genere *Homo* dall'*Australopithecus*.

Lo scheletro quasi completo di un ragazzo risalente a 1,6 milioni di anni fa fu ritrovato nel lago di Turkana in Tanzania: non era ancora un uomo moderno, anche se perfettamente adatto alla posizione eretta e a lunghe camminate. La sua statura (da adulto) sarebbe di 180 cm. Ma sullo scheletro, simile a quello dell'*Homo sapiens*, era ancora montata la testa dell'ominide, come quella di Lucy.

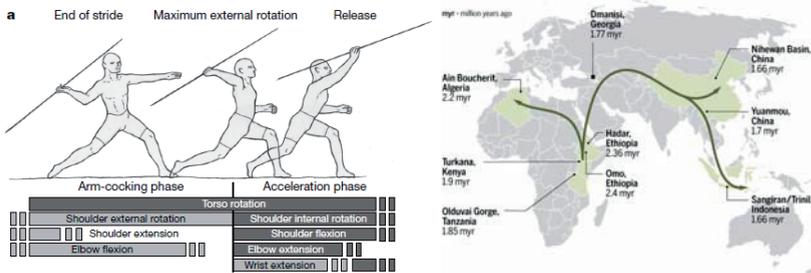


Fig. 6.3. La capacità di caccia delle prime specie dell'*Homo* furono determinate dalla sua fisionomia: un bacino rotabile, la spalla larga e il braccio esteso. b) I siti di ritrovamento di resti delle prime specie dell'*Homo* (*erectus*, *habilis*, *ergaster*) e le vie di migrazione dell'*Homo erectus* fra 1–2 milioni di anni fa. FONTE: «Nature», 498 (2013), pp. 483–486; G. GRULLÓN, «SCIENCE» 354 (2016), p. 958.

⁷ N.T. Roach *et al.*, *Elastic energy storage in the shoulder and the evolution of high-speed throwing in Homo*, «Nature» 498 (2013), pp. 483–486.

La capacità cranica del “ragazzo di Turkana” era uguale alla metà dell’*Homo sapiens*: nel teschio compare lo spazio per gli organi vocali, ma mancano ancora i canali per collegarli con il cervello. L’ominide era probabilmente in grado di articolare vari suoni, ma non adoperava ancora un linguaggio umano.

La capacità di lanciare sassi e poi, sicuramente a partire da 300 mila anni fa, anche delle lance appositamente preparate⁸ permise all’*Homo* di diventare un predatore–migratore e di poter cambiare ambienti secondo le stagioni e anche di spingersi verso territori nuovi. Così, nel giro di qualche centinaio di migliaia di anni, l’*Homo erectus* occupò tutto il megacontinente afro–euro–asiatico (vedi la fig. 6.3b)⁹.

Infatti, i resti della specie *Homo erectus* risalenti a circa 1,8 milioni di anni fa furono trovati sul “davanzale” del Caucaso (nelle grotte di Dmanisi in Georgia); mentre risalgono rispettivamente a circa 700 e 880 mila di anni fa quelli ritrovati nell’odierna Cina (l’*Homo pechinesis*) e nella Gran Dolina nelle montagne della Castiglia–León in Spagna. Due milioni di anni fa le sembianze del genere *Homo* cominciarono a divergere dagli oranghi e dagli scimpanzé (vedi le ricostruzioni forensi nella fig. 6.4)¹⁰.



Fig. 6.4. Ricostruzioni forensi di due ominidi primitivi e di due specie di *Homo* che biologicamente hanno preceduto l’*Homo sapiens sapiens*: l’*Ardipithecus ramidus* (circa 4,4 milioni di anni fa), l’*Australopithecus afarensis* (circa 3,4 milioni di anni fa), l’*Homo habilis* (2,2–0,8 milioni di anni fa), l’Uomo di Neanderthal (400–40 mila anni fa). Le dimensioni non sono esatte: la capacità cranica dell’*Australopithecus* era circa 1/3 di quella dell’Uomo di Neanderthal, mentre quella dell’*Homo habilis* poco più che metà del cervello umano (cioè uguale al cervello di un bambino di un anno). FONTE: CICERO MORAES.

⁸ I resti delle lance usate dall’*Homo heidelbergensis*, risalenti a 300 mila anni fa, furono scoperte in Germania e in Africa.

⁹ B.R. FENTON, *Homo Sapiens Direct Ancestors Migrated Out of Africa 2–million year ago*, <https://resonancescience.org/> (accesso 20/05/2019).

¹⁰ CICERO MORAES, *Reconstruções Faciais da Evolução Humana*, http://www.cicero-moraes.com.br/doc/pt_br/Moraes/RFF_Evolucao.html (25/07/2018).

Ovviamente, le ricostruzioni basate su frammenti di crani non esauriscono le possibili variazioni individuali. Non sappiamo neanche fino a che punto le prime specie pre-umane erano diverse: infatti, vengono chiamate con nomi particolari: *Homo* abile, eretto, lavoratore (*habilis*, *erectus*, *ergaster*) o secondo le regioni geografiche dei ritrovamenti.

Circa 800 mila anni fa apparvero le forme più simili all'*Homo sapiens*: la capacità cranica dell'Uomo di Neanderthal arriva alla nostra, anche se la sua statura era più bassa (e più robusta). L'Uomo di Neanderthal scomparve in Europa dopo l'arrivo della nuova specie; anche l'*Homo sapiens* proveniva sempre dall'Africa centrale, un paradiso abbondante di «ogni specie di alberi piacevoli d'aspetto e buoni da mangiare».

6.5. La scoperta del fuoco

L'*Homo habilis* si distingueva in modo decisivo sia dall'*Australopithecus* sia dalle scimmie moderne. A esso infatti risalgono le prime tracce di attività che caratterizzano l'uomo intelligente: costruiva le capanne (ma anche le cicogne tessono i nidi), usava attrezzi (ma anche il corvo sa usare un ramoscello per estrarre le formiche dai loro nidi), mostrava un certo gusto estetico (ma anche alla gazza ladra piacciono gli oggetti luccicanti). Due caratteristiche importanti del genere *Homo*, nelle sue specie pre-umane, sono l'uso del fuoco e la caccia con delle armi appositamente fabbricate.

Le ricerche sull'uso controllato del fuoco non sono facili: bisogna distinguere le ceneri dei focolari accesi appositamente dagli incendi casuali. Sembra che l'*Homo erectus* sapesse usare il fuoco già un milione di anni fa. Nel 2012 sono stati pubblicati i risultati di analisi fisiche e microscopiche dei depositi della cava di Wonderwerk Cave in Sudafrica¹¹. I risultati sono coerenti con l'uso permanente del fuoco nella cava; in particolare sono stati trovati resti di ossa bruciate (e anche non bruciate): vedi la fig. 6.5b. Nello stesso strato sono stati ritrovati anche attrezzi primitivi in selce (fig. 6.6c).

¹¹ F. BERNA *et al.* *Microstratigraphus evidence of in situ fire in the Acheulean strata of Wonderwerk Cave, Northern Cape province, South Africa*, «Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.» 109 (2012), pp. 1215–1220.

Nello stesso anno 2012, e sempre in Sudafrica (a Kathu Pan) sono stati scoperti i resti di lame in pietra scissa, che con ogni probabilità costituivano la punta di lance per cacciare animali di grossa taglia (vedi la fig. 6.6b). I resti sono stati datati (con la tecnica della fluorescenza) a 464 ± 47 mila anni fa. Rispetto ai ritrovamenti precedenti, questa scoperta riporta indietro la prima rivoluzione tecnologica dell'uomo: a circa mezzo milione di anni fa.

La documentazione sull'uso di attrezzi appositamente preparati già centinaia di migliaia di anni fa è vasta. Come scrivono gli autori della scoperta del 2012: «da circa 780 mila anni, gli ominidi uccidevano grandi prede, come risulta dalle tracce di preparazione *in situ* delle carcasse complete di daini a Geshe Benot Ya'kov in Israele»¹².

Nella località inglese di Boxgrove è stata ritrovata una scapola di un cavallo con una perforazione semicircolare, da cui si può ricavare che la caccia con la lancia veniva praticata già circa 500 mila anni fa. Le lance in legno datate circa 400 mila anni fa sono state trovate insieme ai resti di cavalli macellati a Schöningen, in Germania: sono simili ai giavellotti moderni, con il baricentro posto nella parte anteriore, e permettevano un lancio fino a 70 metri di distanza¹³. Le punte di selce legate all'impugnatura diventano frequenti nell'Età media della pietra e nel Paleolitico medio in Europa e in Africa, circa 300 mila anni fa.

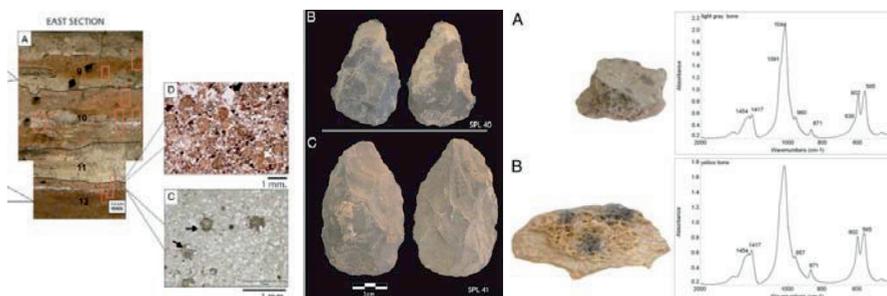


Fig. 6.5. (a) Lo strato n. 10 della caverna di Wonderwerk Cage con dei microgranuli di ceneri. (b) Le asce di pietra dello stesso strato della caverna. (c) Due frammenti di ossa: sopra un pezzo che subì una bruciatura a 400° C, sotto l'osso non bruciato; a destra i relativi spettri di assorbimento nell'infrarosso. FONTE: BERNA *et al.*, «Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.», 2012.

¹² J. WILKINS *et al.*, *Evidence for Early Hafted Hunting Technology*, «Science», 338 (2012), pp. 942–946.

¹³ https://en.wikipedia.org/wiki/Sch%C3%B6ningen_spears

Con la transizione dall'*Australopithecus* all'*Homo erectus*, due milioni di anni fa, si realizzò una rivoluzione biologica: l'*Homo erectus* aveva la statura del tutto simile a noi. Nel periodo fra un milione e mezzo milione di anni fa (che corrisponde pressapoco alla comparsa dell'Uomo di Neandertal e delle precedenti specie simili) avvenne una rivoluzione tecnologica: l'invenzione delle armi elaborate e la scoperta del fuoco.

I cibi cotti (e proteici) hanno permesso di ridurre le mascelle¹⁴, e di conseguenza hanno liberato spazio per gli organi della comunicazione vocale. L'uso della lingua, a sua volta, stimolava lo sviluppo del cervello. Tutti questi cambiamenti, pian piano, a scatti contati dalle singole mutazioni, hanno preparato le strutture biologiche per ospitare un pensiero intelligente. Di nuovo si pone la domanda: sono stati cambiamenti casuali, guidati da un "disegno intelligente", oppure il risultato dell'azione diretta creatrice?

Per poter parlare dell'Uomo nel senso vero della parola, l'*Homo sapiens sapiens*, abbiamo bisogno di individuare una rivoluzione culturale: la nascita del pensiero intelligente. Ma prima torniamo ancora alla biologia.

6.6. Da soli sulla cima

Diverse interpretazioni dell'albero genealogico dell'*Homo sapiens* hanno importanti ricadute filosofiche sulla nostra concezione di noi stessi nel mondo. Tra i numerosi schemi presenti su internet, abbiamo scelto l'albero disegnato allo Smithsonian Institute of Natural History di Washington. Questo disegno contiene alcune caratteristiche molto interessanti.

Prima di tutto, l'albero di Smithsonian fa capire che la gran quantità di ritrovamenti paleontologici non significa che l'uomo abbia tutti questi parenti: la maggior parte degli *australopitechi*, dei *paranthropi* o degli *ardipitechi* sono stati dei "vicoli ciechi" dell'evoluzione, o meglio delle isole separate e poi estinte. Alla cima dell'albero, dopo la

¹⁴ Qui usiamo una narrazione un po' semplificata. In realtà, i cambiamenti procedevano in parallelo e non è possibile stabilire la causa e l'effetto. Senza dubbio, il punto d'arrivo di questi cambiamenti (o il loro scopo) è l'*Homo sapiens*, una creatura del tutto diversa dalle forme precedenti, con il suo linguaggio, la mente, le capacità lavorative e intellettuali.

via stretta e contorta dalle radici sconosciute non è stato posto un generico *Homo sapiens* ma la foto di una famiglia: “Tu sei qua”. Risulta chiaro anche che abbiamo parentele più strette solo con certe specie del genere *Homo*, a partire da 2 milioni di anni fa, v. la fig. 6.6.

In particolare non è ancora chiaro se l’Uomo di Neanderthal, che ha preceduto l’*Homo sapiens* in Europa (e che si estinse quando quest’ultimo cominciò a prevalere sull’Uomo di Cro-Magnon), poteva “in crociarsi” con i nostri antenati. Senza dubbio, solo l’*Homo sapiens* ha lasciato tracce della sua cultura, che sono identiche a ovest del continente euro-asiatico (ad Altamura in Spagna) e a est (in Indonesia).

Nessuna di queste impronte culturali è più vecchia di cento mila anni fa. A 120 mila fa la genetica moderna fa risalire una pietra miliare per la comparsa dell’Uomo come lo intendiamo noi: solo una madre e un padre per tutti gli esemplari dell’*Homo sapiens* presenti oggi sull’intero globo.

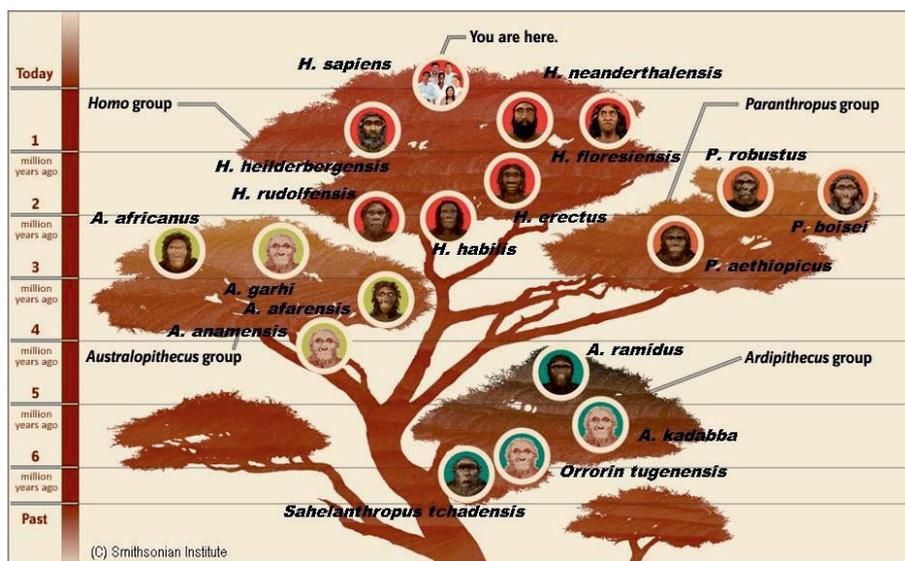


Fig. 6.6. Tra le diverse rappresentazioni dell’albero genealogico dell’*Homo sapiens* abbiamo scelto quello sulle pagine internet dello Smithsonian Institute of Natural History di Washington, USA. Questo istituto, di chiaro profilo cristiano, non mette in cima all’albero un “Homo”, ma la persona con la sua famiglia; altri “parenti” sono sui rami laterali, estinti. Non c’è alcun riferimento alle possibili somiglianze tra “noi” con l’Uomo di Neanderthal, l’*Homo floresiensis*, ecc. FONTE: Smithsonian Institute of Natural History.

6.7. Eva mitocondriale

La domanda se siano esistiti Adamo ed Eva, i progenitori di tutto il genere umano, è di un'importanza essenziale, se vogliamo prendere "sul serio" la fede cristiana. Nella prima lettera ai Corinzi¹⁵ San Paolo, parlando della Resurrezione, fa un paragone tra Adamo e Gesù¹⁶:

Ora, invece, Cristo è risorto dai morti, pimizia di coloro che sono morti. Perché, se per mezzo di un uomo venne la morte, per mezzo di un uomo verrà anche la risurrezione dei morti. Come infatti in Adamo tutti muoiono, così in Cristo tutti riceveranno la vita. [...]

Sta scritto infatti che il primo uomo, Adamo, divenne un essere vivente, ma l'ultimo Adamo divenne spirito datore di vita. Non vi fu prima il corpo spirituale, ma quello animale, e poi lo spirituale. Il primo uomo, tratto dalla terra, è fatto di terra; il secondo uomo viene dal cielo.

Se i progenitori sono solo una parabola, hanno allora ragione alcuni scrittori, come il francese Ernest Renan, che cercano in Cristo un personaggio concreto, vissuto in un ambiente, in un preciso momento storico e non il *Redentore*? A questo punto, anche la Passione e Resurrezione perdono il loro significato sovranaturale? Vista l'importanza basilare dell'argomento dell'esistenza o meno di Adamo, bisogna avvertire, in accordo con Vittorio Messori, che una prova scientifica inconfutabile avrebbe tolto spazio alla fede, in altre parole avrebbe limitato il libero arbitrio della singola persona. Con questo avvertimento passiamo alle scoperte scientifiche della genetica avvenute negli ultimi anni.

Come abbiamo già detto, il codice del DNA umano contiene qualcosa come 3,3 bilioni di lettere, ed è stato decifrato solo nei primi anni del XXI secolo grazie a potenti computer. Il DNA codifica tutte le caratteristiche di una specie e di un individuo. Ma la riproduzione sessuale, grazie alla quale non ci sono praticamente due individui identici, è soggetta anche a errori di trascrizione: tanti di questi errori (come per esempio le mani con sei dita) non sono gravi. L'essenziale per l'esistenza di ogni cellula è invece costituito dalle procedure energetiche: la conversione delle sostanze nutritive in energia.

¹⁵ 1 Cor, 15, 22–22 e 45–47, Edizione CEI2008

¹⁶ Vedi anche BENEDETTO XVI, *Adamo e Cristo: dal peccato (originale) alla libertà*, Udienza Generale, 3/12/2008.

Queste procedure (respirazione cellulare) vengono svolte negli organelli specializzati, detti mitocondri (una specie di centralina elettrica di ogni cellula). L'importanza dei processi energetici fa sì che i geni codificanti non vengano trasmessi con il resto del DNA ma separatamente, nei mitocondri. Per questo motivo il DNA mitocondriale viene ereditato direttamente (ed esclusivamente) dalla madre attraverso la cellula uovo.

Il DNA mitocondriale umano contiene solo 16,5 mila paia di basi nucleotidiche e codifica solo 37 proteine. È stato decifrato nel 1986. Si è scoperto che il DNA mitocondriale è soggetto a variazioni abbastanza frequenti, riscontrabili circa ogni 8–11 mila anni nella media della popolazione dell'*Homo sapiens*. Questo “orologio molecolare” e il confronto del DNA di diversi uomini su tutti i continenti porta alla conclusione che circa 120 mila anni fa tutti gli uomini avevano lo stesso DNA mitocondriale. Dato che il DNA mitocondriale viene trasmesso per via materna, è stata coniata l'espressione “Eva mitocondriale” per definire l'ipotetica madre comune di tutti gli uomini. Ma questa madre può (deve) essere stata reale, non ipotetica.

Una versione semplificata della parentela attraverso il DNA mitocondriale e la mappa delle direzioni delle migrazioni si possono vedere nella fig. 6.7. Tra l'Eva mitocondriale e la sua discendenza più lontana geneticamente ci sono appena 5 “gradini”, mentre i gruppi genetici (aplotipi) principali sono pochi.

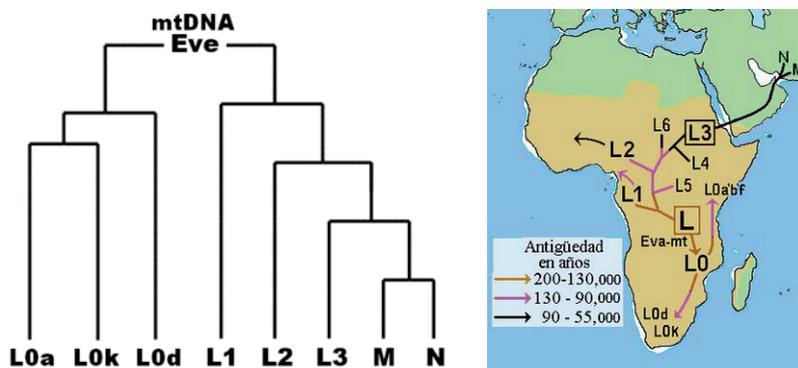


Fig. 6.7. La voce “Eva_mitocondriale” di Wikipedia riporta un grafico semplificato della stretta parentela tra tutti gli uomini attualmente viventi (sono stati studiati i campioni significativi di diverse “razze”) con una donna ipotetica, l'unica madre di tutti noi. A destra sono indicate le direzioni degli spostamenti delle discendenti di questa madre, a partire dall’Africa orientale. FONTE: Wikipedia.

Recenti confronti molto estesi¹⁷ (per esempio nella fig. 6.8) tra diverse popolazioni dell’Europa, Asia, Africa, danno un quadro più complesso, ma datano sempre lo stesso genoma materno circa a 200 mila anni fa, e lo localizzano sempre nella zona orientale dell’Africa centrale. Per esempio, le differenze dettagliate del DNA tra la madre comune e gli abitanti dell’Europa occidentale, sono tredici. L’intero albero genealogico di tutta l’umanità ha un singolo punto d’inizio.

Per i tempi più recenti (e le popolazioni più vicine geneticamente) la precisione di stessi confronti è migliore ed è possibile dare anche i limiti d’incertezza. Per esempio, il genoma dell’aplogruppo M1 è comparso (in Europa) 36,8±7,1 mila anni fa. Questa data corrisponde, pressappoco, alla datazione dei resti dell’Uomo di Cro-Magnon di 43 mila anni fa, il primo esemplare dell’*Homo sapiens* in Europa, e anticipa di poco le pitture rupestri nelle grotte della Francia meridionale. Sempre secondo tale ricerca l’aplogruppo “Mediterraneo” si separò 23,4±5,6 mila anni.

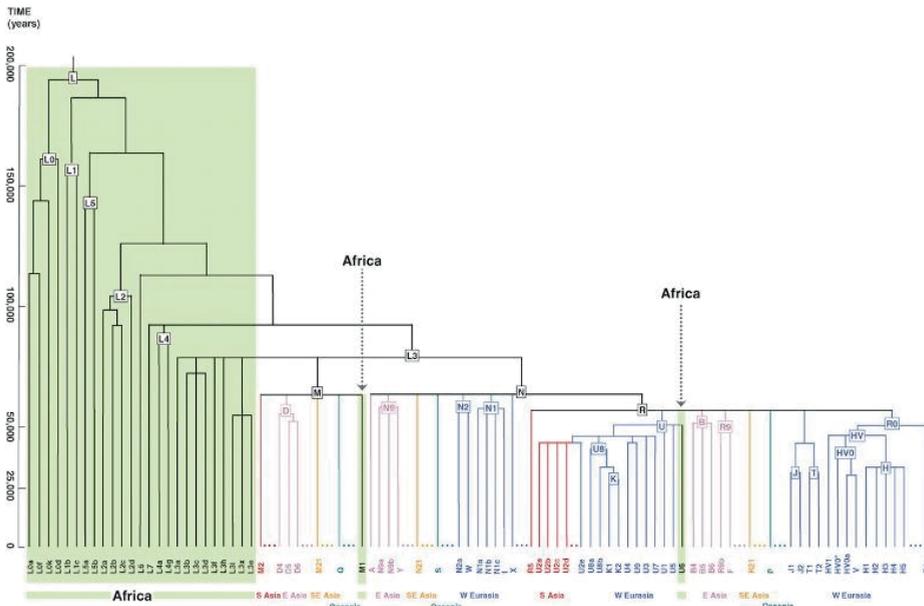


Fig. 6.8. Uno studio recente dell’albero genealogico dell’intera umanità (dall’Africa e dall’Oceania fino all’Europa Occidentale) data la madre comune circa a 200 mila anni fa. I molti studi sull’argomento sono concordi sull’esistenza di una progenitrice, da cui ci separano 9–12 “gradini” genetici. FONTE: A. OLIVIERI *et al.*, «Science».

¹⁷ A. OLIVIERI *et al.*, *The mtDNA legacy of the Levantine early Upper Paleolithic in Africa*, «Science», 314 (2006), pp. 1767–1770.

Il confronto con il DNA mitocondriale, con una decina di mutazioni in totale, l’analisi del cromosoma Y ha identificato più di 11 mila variazioni: sono stati usati complessi algoritmi per decifrare le sequenze temporali. Per calibrare l’asse del tempo è stato usato il momento dell’ arrivo dei Maya nell’estremo sud del Cile (14,5 mila anni, secondo i dati archeologici)¹⁸.

Il complesso quadro delle variazioni del cromosoma Y, che forma dei “pettini” caratteristici per ogni popolo, è presentato nella fig. 6.9. Per tutti diversi popoli studiati la data dell’ultimo comune antenato è stato stimato a 139 (120–156) mila anni fa per il maschio e 124 (99–148) mila anni fa per la femmina. Le incertezze sono un po’ diverse per l’uomo e per la donna, come mostra la figura 6.10. Chiaramente, anche gli studi di genetica sono soggetti alle stesse incertezze statistiche che le misure della fisica. Ma l’importanza dello studio di Poznik *et al.* consiste nell’evidenza che la comparsa del primo uomo e della prima donna coincidono con il genoma che portiamo tutti noi.

Fig. 3. Similarity of T_{MRCA} does not imply equivalent N_e of males and females. The T_{MRCA} for a given locus is drawn from a predata (i.e., prior) distribution that is a function of N_e , generation time, sample size, and demographic history. Consider the distribution of possible T_{MRCA} s for a set of 100 uniparental chromosomes. Although the Mbuti mtDNA N_e is twice as large as that of the Baka Y chromosome, the corresponding predata T_{MRCA} distributions overlap considerably.

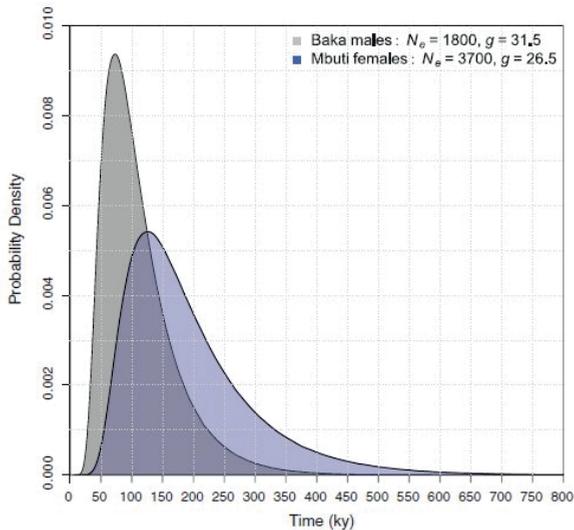


Fig. 6.10. La similitudine della data dell’ultimo antenato comune, per due popoli nativi dell’Africa: la data è stata ottenuta dallo studio del cromosoma Y per antenato maschio “Adamo” e dal DNA mitocondriale per l’antenato femmina Eva. Si noti la distribuzione statistica caratteristica per le analisi con pochi dati (di Poisson). Nonostante ciò le due curve si sovrappongono. FONTE: D. POZNIK *et al.*, «Science», 2013.

¹⁸ G.D. POZNIK *et al.*, *Sequencing Y Chromosomes Resolves Discrepancy in Time to Common Ancestor of Males Versus Females*, «Science», 341 (2013), p. 562.

La rapidità con cui è comparso il nuovo genoma, la stessa localizzazione e la concomitanza tra il maschio e la femmina portano alla «tentazione di chiamarla Eva», come scrivono gli autori della mostra sull'*Homo sapiens* presentata qualche anno fa al Museo delle Scienze a Trento¹⁹. Ma gli stessi autori mettono le mani avanti, scrivendo che «quella matrice comune di DNA mitocondriale doveva essere appartenuta a una donna del 'gruppo fondatore' africano da cui hanno avuto origine tutti gli *H. sapiens*».

Forse non è proprio così: la genetica insegna che una mutazione appartiene sempre a un singolo individuo. Nello stesso individuo, nella combinazione di geni, nella loro trasposizione e sostituzione si può riscontrare più di una mutazione: in un istante (in “un soffio”) può avvenire tutta una serie di cambiamenti concatenati, che portano a una qualità completamente diversa. La parte biologica nell'*Homo sapiens* non è più determinante.

Va sottolineato ancora una volta che la genetica indica lo stesso momento (entro i limiti di incertezza statistica) per la comparsa del comune antenato maschio (Adamo) e femmina (Eva) per tutto il genere umano. Come nel caso della fisica e del Big Bang, così anche con la genetica e i primi genitori: la Bibbia non è un libro di scienze, viceversa la scienza non serve per commentare la Bibbia. L'importante è che, nella mente della stessa persona, la Sacra Scrittura e la Natura *non siano* in contraddizione. Sinora tutto conferma le parole di Galileo, secondo il quale sia la Bibbia sia la Natura furono dettati da Dio.

6.9. L'autocoscienza

La scimmia riconosce il proprio volto allo specchio, perché è conforme alle immagini dei suoi simili. Ma se sulla sua fronte viene disegnata una macchia, la scimmia cerca di pulire il vetro, non la propria faccia: lo scimpanzé non è consapevole di sé stesso.

Nick Lane, lo scienziato già citato per i suoi studi di biologia, a proposito delle radici della mente umana, comincia citando il discorso del papa Giovanni Paolo II alla Pontificia Accademia delle Scienze: «La mente umana, era per sempre al di là del dominio della scienza».

¹⁹ L.L. CAVALLO SFORZA, T. PIEVANI, *Homo sapiens. La grande storia della diversità umana*. Mostra scientifica, Museo delle Scienze Trento 2012, Catalogo, Codice Edizioni, p. 30.

Oggi, nello stesso modo in base al quale *supponiamo* di saper spiegare le masse di quark nella fisica e l'autoaggregazione "spontanea" degli aminoacidi nel DNA, anche per quanto riguarda l'auto-coscienza umana si vorrebbe impostare un'auto-organizzazione dei neuroni. Nick Lane è consapevole di questa supposizione e mette "le mani avanti": «Questo non è un libro sulla religione, e io non voglio attaccare le credenze religiose di nessuno»²⁰. Egli comincia la discussione sulla coscienza citando papa Giovanni Paolo II:

La mente umana, disse [il papa], era per sempre al di là del dominio della scienza. «Di conseguenza, le teorie dell'evoluzione che, in funzione delle filosofie che le ispirano, considerano lo spirito come emergente dalle forze della materia viva o come un semplice epifenomeno di questa materia, sono incompatibili con la verità dell'uomo. Esse sono inoltre incapace di fondare la dignità della persona.» Esperienza interiore e consapevolezza di sé, disse, tutto l'apparato metafisico attraverso il quale comunichiamo con Dio, sono sottratte alle misurazioni oggettive della scienza, rientrando nei regni dalla filosofia e della teologia. [...]

Poi, Nick Lane esprime anche la sua cautela personale sul trattare la mente umana come un'entità puramente materiale (pp. 226-7):

Sto citando il papa perché penso che quello che dice vada oltre la religione, al cuore della concezione che l'uomo ha di se stesso. Anche chi non è religioso può sentire che il suo spirito è in qualche modo immateriale, qualcosa di unico, a in qualche modo «al di là della scienza». La posizione del papa mi sembra difendibile, in quanto non sappiamo in che modo la «mera materia» generi l'immaterialità percepita dalla mente; in effetti non sappiamo nemmeno che cosa sia in realtà la mera materia, o perché esista la materia invece di una nulla totale (una domanda in qualche modo analoga a quella del perché esista la coscienza, piuttosto che un'elaborazione inconscia delle informazioni).

Stiamo citando un biologo evoluzionista, per sottolineare che la domanda sulla coscienza o, parlando da credente, sull'anima umana, si estende al di là del dominio delle scienze (materiali). Contributi importanti a questa conclusione arrivano anche dalla neurologia.

Gli studi paleontologici e archeologici mostrano che dopo 2 milioni di anni di forme biologicamente "preparative", all'improvviso, centomila anni orsono, esplose la cultura (ne parliamo in seguito), la fab-

²⁰ N. LANE, *op. cit.*, p. 225..

bricazione di oggetti complessi (aghi, flauti), vengono realizzate sepolture intenzionali, ecc. L'*Homo* diventa una creatura *mentalmente* creativa. Ciò avviene con poca crescita della capacità cranica rispetto all'Uomo di Neanderthal.

Un paragone utile per capire questa esplosione del pensiero è il concetto di massa critica, nato con la fisica nucleare. Un mucchio di uranio (isotopo ^{235}U) sul tavolo è un metallo innocuo, neanche molto radioattivo. Ma aggiungendo a questo un altro cucchiaino, la pila diventa una bomba atomica: esplose in una frazione di secondo, con una forza che supera milioni di volte la stessa quantità di dinamite. Parliamo della massa critica: l'uranio decade (si scinde) ed emette due o tre neutroni. Se un neutrone viene catturato da un altro nucleo di uranio, provoca una nuova scissione. Fino a quando la pila non è troppo grande, i neutroni possono sfuggire dal volume di uranio. Una volta superata la massa critica, la quantità di neutroni che non sfuggono è tale da far avvenire l'esplosione.

In diversi campi della fisica, dell'informatica, della genetica, ecc. ci si scontra con la barriera della complessità: un computer, aggiungendo un programma si blocca improvvisamente; due frammenti del DNA, anche distanti, possono essere in interazione funzionando come un unico gene, dieci elettroni nell'atomo di neon interagiscono, uno ad uno. Le volte il numero di collegamenti tra gli elementi (gli elettroni, geni, ecc.) diventa troppo grande per essere gestito (e monitorato). Ma in tutti questi sistemi, l'interazione avviene tra coppie di elementi. Nel cervello umano l'interazione è molto, molto più complessa.

Lo possiamo capire con un semplice grafico. Nella biologia, nell'ecologia, nella demografia, ecc. tanti fenomeni sono governati da una crescita *esponenziale*. Se da una coppia di conigli nascono altri quattro, in breve tempo tutto il continente sarà infestato da questi roditori (è successo in Australia). Nella figura 6.11a confrontiamo la crescita esponenziale con il numero di *combinazioni* di un determinato numero n di elementi con l'ordine definito: il numero di combinazioni *esplose* oltre il grafico già per 8 neuroni. Non sappiamo come funziona il cervello, ma il paragone è molto istruttivo: ogni operazione mentale richiede l'attivazione di tantissimi neuroni in diverse combinazioni.

Poi, i collegamenti tra i neuroni nel cervello non avvengono uno per uno: per esprimere un pensiero, si scatena tutta la "valanga" di segnali elettrici in varie parti del cervello. I collegamenti coinvolgono due, tre, quattro neuroni, e così via. Poi, il segnale elettrico propaga

con una sequenza ben definita, che può anche variare secondo “un pensiero in testa”: v. nella fig. 6.11b la serie di segnali ordinati nel tempo e nello spazio in diverse parti della corteccia cerebrale dopo aver letto una parola.

Ma la convinzione che il cervello di un individuo sia solo un groviglio di cavi elettrici o una *personalità* rimane un’opinione privata. Due colleghi (un fisico e una teologa) scrivono così²¹: «L’uomo ha un’altra dimensione ricevuta dal Creatore, che li lega in un certo senso: lui è *niszmāt-hajjim*, coscienza vivente, coscienza di sé stesso, l’abilità di distinguere il bene dal male, la libertà della scelta morale».

Un altro collega, dello stesso corridoio dell’Università, sempre un fisico e un “guru” della neurologia, pur ammettendo che il cervello è la struttura più complessa dell’universo, scrive nella stessa rivista: «La coscienza non è una cosa che può essere ricevuta, ma un processo che dipende dalla neurodinamica del cervello, quando alcune parti del cervello commentano gli stati delle altre parti».²² In altre parole: un semplice “groviglio” di cavi elettrici, che si è organizzato per conto suo...

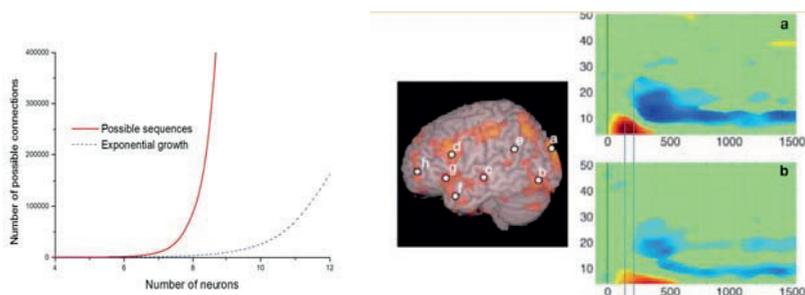


Fig. 6.11. (a) La quantità di possibili percorsi di segnale in una rete già di $n=8$ celle cresce verticalmente (come il numero fattoriale $n!$). (b) La sequenza e la locazione nel cervello di segnali quando si legge una parola. «Inoltre, il percorso di questi segnali è interessante, in quanto il primo segnale a circa 150 ms è un segnale *gamma* (35–40 Hz), il secondo a circa 200 ms — un segnale *alfa*, e il seguente a circa 300 ms di nuovo un *gamma*. La rete della corteccia coinvolta nel processo di lettura è molto complessa, e richiede un gioco (*interplay*) spazio-temporale delle diverse interazioni dinamiche»²³. FONTE: GK, «Frontiers in Human Neuroscience», 2014.

²¹ M. SZETELA, G. OSIŃSKI, *The concept of “dialogical soul” by Joseph Ratzinger against the latest concepts of neurosciences*, «Scientia et Fides», 5 (2017), pp. 199–215.

²² W. DUCH, *Why minds cannot be received, but are created by brains*, «Scientia et Fides», 5 (2017), pp. 171–198.

²³ «The cortical networks involved in reading are highly complex, requiring a sophisticated interplay of temporally and spatially dynamic interactions». Kristine Pammer, *Temporal*

Abbiamo in comune con gli animali diverse emozioni: la difesa del territorio, il piacere del buon cibo, l'istinto materno. Ma l'autocoscienza umana produce dei *sentimenti* che non hanno paragone nel mondo animale, come il pudore (non è la vergogna che viene dopo il fatto ma un sentimento *preventivo*), l'ansia anticipatoria (non la paura con il pericolo già in vista, né il rammarico dopo la perdita), la condivisione del dolore, l'altruismo, ecc. Molti mammiferi hanno le condotte lacrimali, ma solo l'uomo piange per esprimere la propria tristezza, solo l'uomo arrossisce a causa della vergogna. Michele Gazzaniga parla di "una bussola morale interiore". Siamo capaci di elaborare la coscienza non solo di noi stessi, ma anche delle cose molto al di là del momento presente e del nostro io. In un certo senso l'uomo si distingue dagli animali perché si dedica a cose che sembrano (localmente e materialmente) inutili. L'arte ne è un buon esempio (e universale).

Volendo, qualsiasi fenomeno complesso può essere semplificato e ridotto alla pura dimensione materiale. Ma in questo modo la nostra mente si priva da sola dello stupore conoscitivo, che è una delle caratteristiche più sorprendenti dell'uomo. Il già citato neurologo di fama mondiale Michele Gazzaniga conclude così il suo libro *Human. Quel che ci rende unici*: «Basta così! Esco a curare la mia vigna. La mia uva Pinot produrrà ben presto dell'ottimo vino. Sono proprio contento di non essere uno scimpanzé».

6.10. La cultura: un'esperienza determinante

L'arte è uno dei denominatori comuni più eclatanti e rappresentativi della nostra "specie". Già quarantamila anni fa l'uomo usava gli ornamenti del corpo, dipingeva animali sulle pareti delle caverne, suonava il flauto attorno al focolare. Le documentazioni sono abbondanti; le più antiche risalgono a quasi centomila anni fa. Gli autori della mostra "Homo sapiens" scrivono²⁴:

Intorno a 45–40.000 anni fa diventiamo non più soltanto anatomicamente ma anche mentalmente moderni. È il fiorire di un'intelligenza divenuta simbolica

sampling in vision and the implications for dyslexia, «Frontiers in Human Neuroscience», 7 (2014), pp. 933.

²⁴ L. L. CAVALLI SFORZA e T. PIEVANI, *op. cit.*, p. 58.

e capace di astrazione: pitture rupestri straordinarie, da subito animate sia di realistiche scene di caccia sia di figure stilizzate e simboliche; squisite opere d’arte intagliate nell’osso, sepolture rituali sofisticate; ornamenti per il corpo, monili e abbellimenti; i primi strumenti musicali; nuove tecniche di lavorazione della pietra, dapprima del tipo aurignaziano, poi in rapido avanzamento e differenziazione in culture regionali distinte, la costruzione di ripari più complessi, anche in spazi aperti; forse persino i primi calendari lunari intorno a 32.000 anni fa.

Michele Gazzaniga, direttore dell’istituto di neuroscienze della California, aggiunge: «L’arte è uno degli universali umani. Tutte le culture ne possiedono una qualche forma, che sia la pittura, la danza, le storie, le canzoni o altre forme»²⁵.

Moltissime, se non tutte le grotte calcaree sulla fascia sud-occidentale della Francia (e in Spagna) sono decorate con immagini di animali (bisonti, cavalli, cervi), v. disegni da Altamira nella fig. 6.12. Le immagini furono fatte mediante tecniche complicate, usando raffinati coloranti minerali, che ne hanno permesso la conservazione sino a oggi. I quadri mostrano non solo una forte capacità di osservazione, ma rispecchiano anche la voglia di lasciare una testimonianza. La gran parte del continente europeo (a parte la zona Sud-Ovest) in quel periodo era coperta dal ghiaccio, e l’uomo delle grotte sentiva una costante minaccia per la sua esistenza. Le pitture nelle grotte sono il suo “Non omnis moriar”.



Fig. 6.12. Le pitture rupestri, di circa 15 mila anni fa, presso le cave calcaree a Altamira sulla costa nord della Spagna. Simili decorazioni, risalenti al periodo tra 32 e 11 mila anni fa sono state trovate in moltissime località della Spagna e Francia sud-

occidentale (Lascaux, Pech Merle, Chauvet, Roc-aux-Sorciers), dove l’uomo di Cro-Magnon si rifugiava durante l’era glaciale. FOTO: M. KARWASZ, 2018.

²⁵ M. S. GAZZANIGA, *op. cit.*, p. 258.

L'improvvisa esplosione dell'arte quarantamila anni fa viene attribuita dai neuropsicologi a qualche cambiamento genetico. «Qualcosa è cambiato nei nostri cervelli che ha aumentato le precedenti capacità creative, qualcosa unico all'*Homo sapiens*», scrive il neurochirurgo²⁶. Senza dubbio, tutte le testimonianze della creatività artistica e delle credenze spirituali appartengono solo alla nostra "specie", i discendenti dell'Eva mitocondriale, e di Adamo.

E infatti, i primi manufatti "non utili" risalgono a quasi 100 mila anni fa, e furono trovati lì, ai confini del Sudafrica, nella grotta di Blombos, oltre la quale c'è solo l'oceano. Qualcuno 85 mila anni fa — per noia o per il senso della bellezza o per fare un disegno tecnico? — incise delle scanalature incrociate su un pezzo di ocra morbida.

Qualcun altro, 40 mila anni fa, nell'odierno Kenya, segnò sul dente di un elefante 28 righe verticali, collegandole con una riga orizzontale. Contava qualcosa? E chi? Una donna in una caverna? Un vero calendario lunare, non solo con le fasi della Luna ma anche con la sua posizione, risale a 32 mila anni fa e venne trovato nell'attuale Francia (cultura aurignazana, fig. 6.13b).

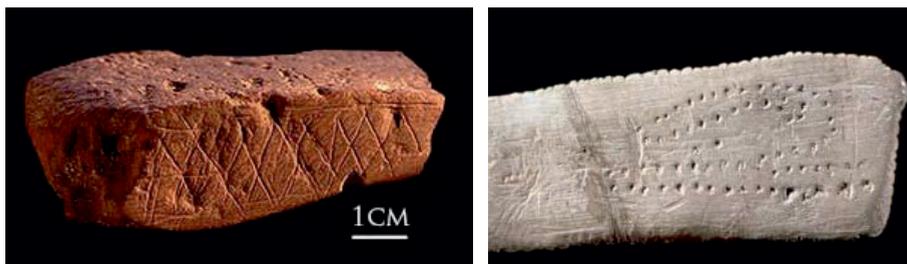


Fig. 6.13. (a) Un pezzo d'ocra, con un motivo geometrico, risalente a 85.000 anni fa, proveniente dalla grotta di Blombos Cave in Sudafrica, probabilmente la testimonianza più antica dell'identità intellettuale del genere *Homo sapiens*: oggi, i bambini fanno disegni simili nei quaderni, quando si annoiano a scuola. (b) Un osso, proveniente dall'attuale Francia e risalente a circa 32.000 anni fa, con una serie di incisioni semilunari e rotondi, che nel 1970 fu interpretata da Alexander Marshack²⁷ come prima evidenza di un calendario lunare. FONTE: Wikipedia; Peabody Museum of Archeology and Ethnology at Harvard University.

²⁶ *Ibidem*, p. 270.

²⁷ A. MARSHACK, *Notation dans les gravures du paléolithique supérieur*, Publications de l'institut de Préhistoire de l'Université de Bordeaux. Mémoire No. 8, Bordeaux, Imprimeries Delmas, 1970. Vedi anche: <https://sservi.nasa.gov/articles/oldest-lunar-calendars/>.

Oggi non sappiamo attribuire il significato e/o l'impiego tecnico a tanti manufatti lasciati dall'uomo del Paleolitico (v. la fig. 6.14a). Risale a 25.000 anni fa il primo ritratto di una statua femminile, con un corno in mano (la Venere di Laussel)²⁸, il paradigma artistico diffuso in tutta Europa nella forma di statuette in ceramica cotta (la Venere di Dolní Věstonice) per ben 30 mila anni (la Venere di Hohle Fels in avorio risale a qualcosa come 40.000 anni fa, mentre le figurine già stilizzate, come la Venere di Monruz, a circa 11.000 anni fa). L'elenco non di manufatti, ma di vere opere d'arte²⁹, come le sculture (e le immagini) di teste di cavallo o di bisonte che si leccano le punture di insetti, sono innumerevoli: non era un passatempo, ma un vero bisogno dell'uomo del Paleolitico remoto di esprimere il proprio talento individuale.

Non solo in Europa (e in Africa) troviamo sorprendenti testimonianze culturali dell'*Homo sapiens*.

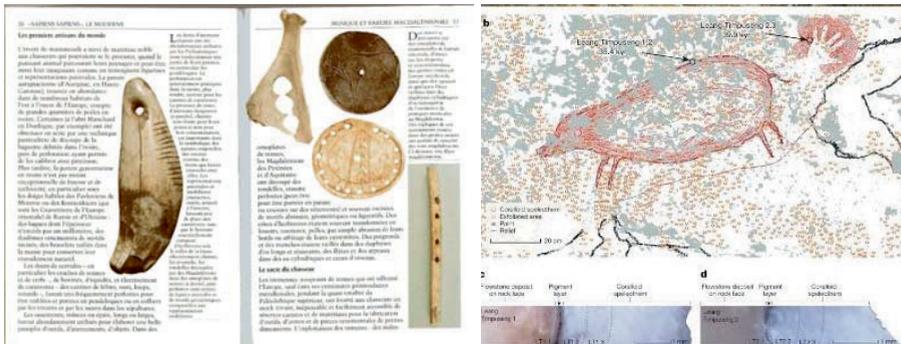


Fig. 6.14. (a) I manufatti (qui sopra la lavorazione dell'osso) dell'uomo del Paleozoico ci sorprendono per la loro diversità, la lavorazione minuziosa, le ricche ornamentazioni e gli utilizzi (parzialmente sconosciuti): i denti ritagliati dei carnivori servivano, forse, come amuleti; le piastrine decorate con i motivi animali forse come dei ciondoli; mentre il lungo osso perforato come flauto³⁰. (b) Le pitture dalla caverna Sulawesi in Indonesia: lo stencil della mano risale a 40 mila anni fa, il disegno del maiale a 35,5 mila anni fa. FONTE: D. VIALOU, Gallimard, 1996; M. AUBERT *et al.*, «Nature» 2014.

²⁸ Vénus de Laussel, https://fr.wikipedia.org/wiki/V%C3%A9nus_de_Laussel.

²⁹ Arte dell'era della pietra https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_Stone_Age_art.

³⁰ D. VIALOU, *Au cœur de la préhistoire. Chasseurs et artistes*. Gallimard, Paris 1996, pp. 26–27.

Recentemente (2014), all'altro estremo del continente euro-asiatico, nell'attuale Indonesia, sono state trovate³¹ alcune pitture rupestri che sembrano la copia di quelle in Francia³²: le impronte delle mani e le “foto” di scene di caccia, questa volta non di bisonti ma di un tipo del maiale oggi estinto (cioè cacciato con troppa efficacia, come il mammut in Europa e in Siberia).

Lo stile artistico è cambiato nel corso dei millenni: non a causa della globalizzazione, ma sulla base della ricerca personale di nuovi modi d'espressione. Non solo i grandi artisti, ma anche, probabilmente la gente comune cerca di dirci qualcosa attraverso i graffiti rupestri. In Val Camonica i disegni sulle rocce (esterne, cioè esposte alla pioggia e vento) somigliano ai moderni simboli grafici. Le porte di una tomba in Sicilia quattro mila anni fa furono decorate con un rilievo del tutto astratto; un lavabo di più di tremila anni fa ha un sostegno decorato, stilizzato a un torso femminile, che sembra del tutto inutile. La voglia di bellezza e gli astratti collegamenti mentali riprodotti nei manufatti neolitici sorprendono persino i nostri gusti moderni.

Che cosa ha provocato il passaggio dalla rappresentazione realista del Paleolitico all'arte astratta del Neolitico? Un neuropsicologo avrebbe risposto: “l'evoluzione delle strutture nel cervello”; un climatologo invece: “il mutamento delle condizioni ambientali”; mentre un sociologo: “la diversa posizione sociale dell'artista”.



Fig. 6.15. L'illustrazione non serve a rispecchiare l'oggetto o la persona ma a presentare l'immagine (cioè un'idea) su di esso, oppure un'altro concetto che l'artista vuole trasmettere. Alcuni esempi dell'arte astratta della preistoria: a) un fiero guerriero neolitico in Val Camonica; b) un lavabo con l'appoggio a forma di un torso femminile di Thapsos, XV–IX secolo a.C., Museo di Siracusa. FOTO: MK, 2003.

³¹ M. AUBERT *et al.* *Pleistocene cave art from Sulawesi, Indonesia*, «Nature», 514 (2014), p. 223.

³² Arte preistorica, https://fr.wikipedia.org/wiki/Art_pr%C3%A9historique.

La domanda è analoga a queste: perché Eduard Monet ha abbandonato i quadri realistici (e redditizi) delle strade di Parigi e ha scelto uno stile molto controverso, di macchie colorate, detto impressionismo? Oppure, perché Picasso dipingeva prima in marrone e poi in blu? Fatto sta che da centomila anni i manufatti dell'*Homo* ci sorprendono per la loro (cioè nostra) creatività. E nessuna traccia di creatività risale alle forme pre-umane, con la cesura di centomila anni fa.

Ma non sono i manufatti del paleolitico, ma il *nostro*, *comune* senso della bellezza, della verità, dell'onestà che ci unisce. Sicuramente, noi uomini siamo diversi da tutti gli altri esseri viventi. E anche il nostro intelletto, a volte anti-razionale quando si devono fare delle scelte difficili ma moralmente giuste. L'intelletto (e l'immaginazione), che mira alle stelle più lontane e agli albori della stessa umanità, ci differenzia dai “bruti”. Scriveva Aristotele nel *De anima*:

Riguardo al pensiero, poiché è diverso dalla sensazione e sembra includere da un lato l'immaginazione e dall'altro l'apprensione intellettuale, dopo aver trattato dell'immaginazione, si dovrà parlare anche dell'apprensione. Se allora l'immaginazione è ciò mediante cui diciamo che si produce in noi un'“apparenza”, e non se diciamo qualcosa con un uso metaforico di “immaginazione”, essa è una delle facoltà o abiti con le quali giudichiamo e siamo nel vero o nel falso. Tali facoltà e abiti sono la sensazione, l'opinione, la scienza e l'intelletto.³³

6.11. La torre di Babele: una realtà linguistica

La storia della Torre di Babele dovrebbe essere un'altra “favola” biblica. “Essa è, semplicemente, una spiegazione *naïve* della diversità delle lingue, niente a che fare con i fatti reali. Sono state trovate nella Mesopotamia strane costruzioni, dette «ziqqurat», e l'autore biblico ha lasciato andare la sua immaginazione”. Internet è pieno di simili commenti fantasiosi; nella nota a piè di pagina ne citiamo qualcuno³⁴.

³³ ARISTOTELE, *De anima*, trad. G. Movia, Bompiani, Milano, 2014, 427a, 27 – 428a, 5.

³⁴ «Forse è una benedizione perché permette di evitare un'altra maledizione, cioè l'imperialismo universale e anche la sovrappopolazione, cioè la volontà di mantenere tutta la popolazione in una sola regione e obbligarla a partecipare a una “sola impresa”, cioè la costruzione di un solo impero, partecipare a un solo progetto politico.» Non riportiamo indirizzi internet di queste frasi perché non sono molto sensate.

Esiste qualche parentela tra le lingue del continente euroasiatico? Già all'inizio del XIX secolo fu individuato un ceppo "indo-europeo", ma diverse lingue, tra le quali l'albanese, il basco, il georgiano, non appartengono a questa famiglia. Viaggiando per il mondo, ci si accorge che alcune parole di uso basilare, per esempio "mamma", sono identiche, in polacco, italiano e coreano (con piccole sfumature della pronuncia). Questa idea è stata studiata nel dettaglio negli ultimi anni da un gruppo interdisciplinare costituito da un linguista, un biologo, uno psicologo e un informatico, provenienti dall'Inghilterra, dagli Stati Uniti e dalla Nuova Zelanda³⁵.

Il gruppo aveva analizzato delle parole simili, di antica radice, in diverse lingue, come *brother* in inglese, *frère* in francese, *fratello* in italiano, cercando delle parentele³⁶. Sono state confrontate 21 lingue appartenenti a 7 famiglie distinte, comprese le lingue degli eschimesi, dei popoli delle montagne dell'Asia (Altai) della remota penisola della Kamchatka. Di 3800 proto-parole ne sono state scelte 188 simili ed è stato ricostruito l'albero genealogico, mediante le procedure statistiche usate anche negli studi del patrimonio genetico.

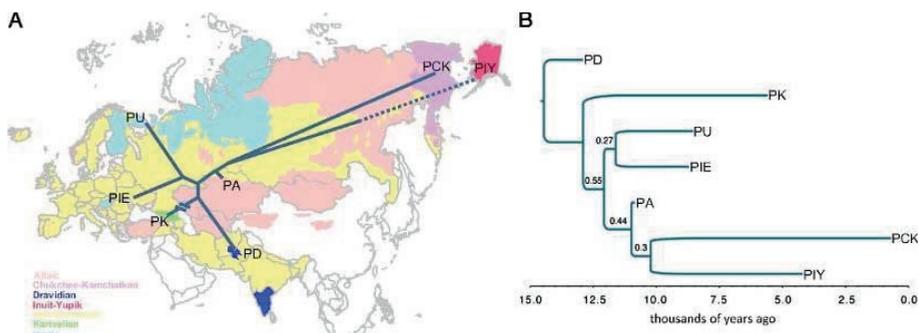


Fig. 6.16. La ricostruzione dell'albero genealogico di sette distinti gruppi di lingue del intero continente euro-asiatico: altaico, della Kamchatka, dravidano, eschimese, indoeuropeo, cartveliano, uralico. La lingua dravidana si è separata per prima, circa 14,500 anni fa, quella delle montagne di Caucaso (cartveliano) circa 12,500 anni fa. Le lingue indoeuropee sono le più "imparentate" con l'ugro-finnico. FONTE: PNAS.

³⁵ M. PAGEL *et al.*, *Ultraconserved words point to deep language ancestry cross Eurasia*, Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 110 (2013) p. 8471.

³⁶ «The English word *brother* and the French *frère* are related to the Sanskrit *bhrātr* and the Latin *frāter*, suggesting that words as mere sounds can remain associated with the same meaning for millennia. But how far back in time can traces of a word's genealogical history persist, and can we predict which words are likely to show deep ancestry?»

Ovviamente, il numero limitato di parole che si sono conservate in comune produce una barra di errore statistico. Ma il risultato è clamoroso: tutte le lingue del pancontinente euro-asiatico risalgono allo stesso ceppo, databile a circa 14,5 mila anni fa. Il centro geografico della comune derivazione (ricostruito sempre con i metodi usati nella genetica) è localizzabile nell’antica Mesopotamia: proprio lì dove furono costruiti gli ziqqurat, la torre di Babele del quadro di Bruegel (fig. 6.17a).

Come nel caso della creazione della materia e dell’Uomo, ancora una volta, la moderna ricerca scientifica, interdisciplinare, rigorosa e matematica, conferma (o, per meglio dire, non contraddice) il “racconto” biblico. D’altra parte, perché lo scriba antico avrebbe dovuto inventare le cose? Galileo definì la Bibbia come il libro scritto sotto l’ispirazione dello Spirito Santo.

6.12. La voglia di scienza

L’Uomo moderno o in breve l’Uomo si distingue dall’Uomo di Neanderthal, dall’*Homo ergaster*, dall’*Homo pekinensis* ecc. non solo per la creazione di opere d’arte, ma anche per l’irrefrenabile voglia di sapere, tanto cose utili per la caccia e la sussistenza quanto più in generale tutti i fenomeni del mondo intero.



Fig. 6.17. (a) I resti degli ziqqurat in Mesopotamia sono le testimonianze della torre di Babele (qui il quadro di Breughel, in mostra a Vienna) o di antichi osservatori astronomici? (b) Il complesso megalitico di Haġar Qim a Malta, risalente a circa 5,5 mila anni fa, era probabilmente un tempio, ma anche un calendario astronomico. FOTO: M. KARWASZ, 2018.

Già nella fig. 6.13 abbiamo visto un pezzo d'osso di circa 30 mila anni fa con una serie di segni che sembrano essere un calendario lunare. D'altra parte, un calendario di 12 mesi da 30 giorni, e la suddivisione del tempo in 12 ore e 60 minuti, per niente corrispondente a un sistema "naturale", cioè decimale, è stato sviluppato 5 mila anni fa dai Sumeri e sicuramente doveva avere delle basi preesistenti. Solo che è raro che fragili ossa si possano conservare per millenni.

I calendari monumentali, tipo Stonehenge, sono sparsi in diversi luoghi. Sembra che servissero per determinare il solstizio d'estate, cioè il giorno più lungo dell'anno. Ma a diverse latitudini la posizione del Sole sull'orizzonte è diversa in quel giorno. Così, le costruzioni richiedevano il lavoro non solo dei tagliapietra (e architetti) ma anche degli scrutatori del cielo. In verità, non sappiamo davvero a che cosa servivano queste grandi costruzioni: a Malta esistono persino due complessi, risalenti a 5–6 mila anni fa, posti a distanza di 500 metri, fig. 6.17b.

Sono conservati documenti (la tavoletta Mul.Apin d'argilla con le scritture cuneiformi, fig. 6.18a) che in Mesopotamia 3500 anni fa si osservavano le eclissi; anzi, le coincidenze geometriche delle orbite della Luna (e apparente) del Sole con periodicità di 18 anni vengono oggi chiamate con il nome caldeo "Saros". Gli Egizi, quasi tre mila anni fa sapevano calcolare il volume della piramide troncata, approssimare il numero irrazionale π , sommare le frazioni con denominatori dispari, come testimoniano i papiri di quel epoca (fig. 6.17c). La struttura interna³⁷ delle grandi piramidi egizie, costruite quasi cinque mila anni fa rimane ancora un mistero.

Per costruire i colossi che in altezza (145 metri per la piramide di Khufu, in greco Cheope) quasi superano le cattedrali medievali, servivano notevoli nozioni di matematica (furono usati 2,3 milioni di blocchi di pietra), di geologia (la maggior parte di blocchi sono in pietra arenaria, facile da tagliare, invece per le pareti della camera del re fu usato il granito, molto duro), di meccanica (sotto le slitte che trasportavano i blocchi veniva versata l'acqua, per compattare il terreno sabbioso, il blocco più grande di granito portato ad altezza di 70 metri pesa 80 tonnellate) e prima di tutto una eccezionale organizzazione.

³⁷ K. MORISHIMA *et al.*, *Discovery of a big void in Khufu's Pyramid my observation of cosmic muoon*, «Nature», 552, (2017), p. 386.

Dai tempi di Pitagora, la musica diventa un’armonia matematica: il flauto non ha più cinque fori (come sull’immagine nelle tombe etrusche) ma sette, come nell’armonia moderna (ma solo “occidentale”, la musica coreana ha ancora cinque toni). Le frequenze di toni “armoniosi” nella scala musicale di Pitagora formano i rapporti di numeri interi, 1:2, 2:3, 4:5. Ma il teorema di Pitagora sul triangolo rettangolo era conosciuto (e provato) mille anni prima di lui, come testimonia la tavoletta Babilonese YBC 7289 di circa 4 mila anni fa, v. fig. 6.18b. Così, i Babilonesi conoscevano anche i numeri irrazionali (la radice di 2), solo che usavano il sistema di calcolo in frazioni di 60.

Lo studio di questi artefatti così antichi fa sconfinare l’archeologia verso la matematica, o meglio verso il cognitivismo, cioè verso la ricerca delle modalità comuni del pensiero umano. Non solo la necessità pratica spingeva l’Uomo 5 mila anni fa verso le scoperte scientifiche, ma anche la gioia di trasmettere agli altri (cioè persino a noi) la bellezza e la razionalità del mondo esterno.

Il sistema copernicano, le leggi di Keplero, l’equazione delle relatività generale di Einstein colpiscono per la loro semplicità ed eleganza. Poi, in pratica, i modelli semplici si sviluppano attraverso una serie di correzioni: le orbite dei pianeti non sono perfettamente complanari, l’orbita di Mercurio non è esattamente ellittica, gli effetti “sottili” della relatività generale sono tantissimi, come il trascinarsi dello spazio-tempo (“frame-dragging”).



Fig. 6.18. (a) La tavoletta babilonese Mul.Apin del VII secolo a.C. costituisce il primo compendio di astronomia a noi noto; secondo gli astronomi moderni la tavoletta riporta le osservazioni risalenti al 1370 a.C. (b) La tavoletta YBC 7289, risalente al 1700 a.C. circa, potrebbe essere la prima dimostrazione del teorema di Pitagora; i caratteri cuneiformi descrivono lo sviluppo della radice di 2 (cioè 1,4142 nella notazione decimale) nelle frazioni con il denominatore 60. (c) Il papiro egizio di Rhind, risalente circa al 1550 a.C., riporta nozioni di geometria (il volume di un granaio cilindrico) e di algebra (sviluppo delle frazioni con il numeratore 2 in serie di frazioni con i denominatori dispari). FONTE: Wikipedia.

Nello stesso periodo in cui venivano documentati gli sviluppi della matematica, nasceva la poesia. Il celebre poema babilonese *Enuma Elish* (Come in alto), composto in versi e recitato nella festa del Capodanno, è databile alla prima metà del II millennio a.C. Il frammento sulla nascita del mondo e degli dei comincia così:

Quando in alto il cielo non ancora aveva avuto nome,
 e di sotto la terraferma non ancora era stata nominata,
 nulla vi era, se non l'Aapsu primordiale, loro generatore,
 e Mummu-Tiamat, colei che tutto generò,
 e le loro acque erano mecolate in un unico corpo.
 Non ancora una capanna di canne era stata coperta con stuoie,
 non ancora era emersa una terra paludosa,
 né dio alcuno era stato portato ad essere,
 i loro nomi non erano ancora stati nominati,
 i loro destini non ancora determinati.³⁸

Il libro della *Genesi* riporta un simile “racconto”? Fu copiato dai Babilonesi o viceversa? Oppure il racconto biblico e quello babilonese sono simili, perché la storia della creazione del mondo non poteva essere diversa?

La genetica moderna, la linguistica e la neuropsicologia insegnano che il cervello umano ha delle capacità sorprendenti. Ma il cervello o l'anima umana?

6.13. L'anima immortale

Il filosofo moderno John Searle lamenta che la «maggior parte delle persone alla domanda sulla loro identità afferma di essere costituita essenzialmente dal corpo e dall'anima, e alcuni aggiungono anche dallo spirito». Searle attribuisce «la colpa di questa confusione a Cartesio e ancora prima ad Aristotele, che per primo ha parlato di sostanza ed essenza»³⁹

Aristotele è stato, senza dubbio, un filosofo con “piedi per terra”. Da giovane nuotava, faceva immersioni, squarciava i pesci, scrutava il

³⁸ *Dal Nilo all'Eufrate. Letture dell'Egitto, dell'Assiria e di Babilonia*, a cura di Alfonso Di Noia, Edipem, Novara 1974, p. 73.

³⁹ J. R. SEATLE, *Mind. A Brief Introduction*, Oxford University Press, New York 2004.

cielo. Fu il maestro di Alessandro Magno; scrisse di poetica e di etica; i suoi libri sulla zoologia per la ricchezza dei dettagli rimangono validi ancora oggi; a lui si deve l'invenzione dell'etologia, cioè la scienza dei comportamenti degli animali.

Nel libro III del trattato *De Anima* Aristotele descrive i fenomeni che oggi sarebbero chiamati la fisiologia dei sensi e della percezione. Aristotele non poteva conoscere l'esistenza di due diversi ricettori nell'occhio umano, con i bastoncini, separatamente sensibili alla visione in bianco e nero (con poca illuminazione) e alla visione a colori. Scrisse però «la prima cosa che vediamo è il colore». Non poteva sapere che la luce è un'onda elettromagnetica emessa quando la temperatura del corpo raggiunge mille gradi, ma scrisse «la luce non è fuoco, né un corpo, ma qualcosa emesso dal fuoco».

Al giorno d'oggi diventa difficile individuare le differenze tra gli uomini e gli animali: anche i cani sentono le emozioni. Si è scoperto recentemente che persino le piante usano la comunicazione interna attraverso i segnali elettrici (vedi la fig. 6.19). L'elettrocardiogramma (6.19a) è una serie periodica di segnali elettrici, di pochi pochi mV e di diverse forme, chiamate P, Q, R. Nel cervello umano, uno stimolo, come per esempio un semaforo che scatte, provoca un impulso elettrico, di pochi μV , che segna la preparazione, la reazione e il rilassamento⁴⁰. I segnali sono molto veloci, al limite delle possibilità fisiche.

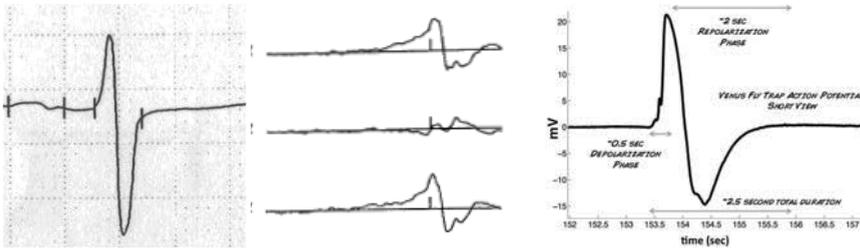


Fig. 6.19. I segnali elettrici negli organismi viventi. (a) L'elettrocardiogramma consiste in una serie di segnali di pochi mV di durata inferiore a un secondo. (b) Nel cervello umano, uno stimolo provoca un complesso impulso elettrico, di pochi μV e durata di circa 0,2 secondi. (c) Nelle piante i segnali elettrici emessi sono di mV ma molto più lenti: nella dionea, pianta carnivora, il segnale della chiusura della trappola dura 2 secondi. FONTE: MK; G.A. CHIARENZA, Backyard Brains.

⁴⁰ G.A. CHIARENZA *et al.*, *Brain activity associated with skilled finger movements: Multi-channel magnetic recordings*, «Brain Topography», 3 (1991), p. 433.

Ma anche le piante producono segnali elettrici, che però sono lenti. La dionea (*Dionaea muscipula*), detta anche venere acchiappa-mosche, una pianta carnivora che cattura gli insetti, chiude la trappola se due “baffi” sensori vengono toccati a distanza di non più di 20 secondi: il segnale elettrico generato dura 2 secondi⁴¹. La conclusione dei grafici nella fig. 6.19 potrebbe essere che non c'è differenza tra gli animali, l'uomo e le piante: ed è proprio una conclusione sbagliata!

Dall'osservazione del metabolismo e dei segnali elettrici sembrerebbe che non esistano differenze sostanziali tra le piante, gli animali e gli uomini. O forse esiste, a livello biologico, solo un diverso grado di complessità? Aristotele ha risolto la questione in modo geniale, definendo i tre *tipi* di anima: la vegetale, che assicura la mera esistenza (nutrizione, crescita), l'animale, che fornisce anche le sensazioni e la locomozione, e l'umana, che usa l'intelligenza e l'immaginazione⁴². Ogni tipo di anima incorpora la precedente, ma i tre tipi sono completamente diversi.

Sarebbe difficile attribuire ad Aristotele, appartenente al mondo razionale greco e pre-cristiano, l'etichetta di “idealista”. Ma sull'anima umana il Filosofo scrisse che “ha qualcosa di divino”. Il suo commentatore, Giancarlo Movia, scrive: «Se si legge il testo senza pregiudizi, e si tengono presenti i cc. 4 e 5 del III libro, non si può negare che esso concordi sostanzialmente con la dottrina professata da Aristotele nelle opere pubblicate, dell'immortalità dell'anima umana».⁴³

Le affermazioni sull'anima umana incorruttibile compaiono in vari punti dell'*Anima*:

Sembra poi che l'intelletto sopraggiunga come una sostanza e che non si corrompa. [...] Il pensiero quindi, e l'attività intellettuale, viene meno qualora un organo interno [cioè il cervello] si corrompa, ma in sé stesso è impassibile. Pensare, amare o odiare non sono proprietà dell'intelletto, ma di questo determinato soggetto che lo possiede, in quanto lo possiede. Perciò, quando questo soggetto si corrompe, l'intelletto non ricorda né ama, poiché queste funzioni non erano sue, ma del composto che è perito. L'intelletto invece è forse qualcosa di più divino e impassibile. (498b 18–30).

⁴¹ Backyard Brains, Neuroscience for Everyone, https://backyardbrains.com/experiments/Plants_VenusFlytrap (accesso 8/5/2017).

⁴² Vedi anche: G. KARWASZ, *Aristotle's three souls in modern science: Re-reading “De Anima”*, «Cauriensia» 13 (2018), pp. 429–448.

⁴³ G. MOVIA, in Aristotele, *De Anima*, Bompiani, Milano, 2014, p. 263.

E c'è un intelletto analogo alla materia perché diviene tutte le cose, ed un altro che corrisponde alla causa efficiente perché le produce tante. [...] E questo intelletto è separabile, impassibile e non mescolato, essendo atto per essenza, poiché sempre ciò che fa è superiore a ciò che subisce, ed il principio è superiore alla materia. [...] Quando è separato, è soltanto quello che è veramente, e questo solo è immortale ed eterno, ma non ricordiamo, perché questo intelletto è impassibile, mentre l'intelletto passivo è corrutibile, e senza questo non c'è nulla che pensi. (430a, 15–30).

Allora, seguendo papa Benedetto XVI, l'immortalità dell'anima potrebbe essere proprio la caratteristica decisiva dell'uomo.

L'argomento dell'anima immortale rientra nel libro sulla scienza? Sicuramente no! Ma anche nella fisica abbiamo diverse ipotesi non provate e/o non provabili. Una delle spiegazioni della massa e della carica dell'elettrone (ricordiamo, la particella più elementare di tutte) assume che l'elettrone sia un vortice di campo elettromagnetico, chiuso su sé stesso. Anche il cervello produce delle onde elettromagnetiche (che vengono captate con l'elettroencefalogramma). Un insieme di vortici elettromagnetici molto complessi si autosostiene? Si entrebbe nelle speculazioni della New Age. Abbiamo tanti argomenti per l'immortalità dell'anima umana (in primo luogo "la comunione dei santi", chi l'ha provata...) che non abbiamo bisogno delle ipotesi che sconfinano oltre la metodologia scientifica: la fisica di Galileo si applica al mondo materiale e non si estende sul mondo immateriale ("celeste", secondo le parole del libro della *Genesi*).

Infine si può citare Platone, che nel *Fedone* ha discusso la questione dell'immortalità dell'anima e ha tratto queste conclusioni etiche:

Ma anche a questo, amici, è giusto che voi volgiate la mente, che, se l'anima è immortale, ha bisogno di cura, non solo per questo tratto di tempo che noi chiamiamo vita, ma per l'eternità, e il pericolo, ora, può apparire assai grave, se qualcuno non se ne prende cura. Se infatti la morte fosse un distacco da tutto, sarebbe fortuna per i malvagi che sono morti distaccarsi dal corpo e dalla propria malvagità insieme con la loro anima. Ora invece, poiché è apparso chiaro che è immortale, non vi potrebbe essere per essa nessuna fuga dai mali, né salvezza, eccetto il fatto di divenire la migliore e la più assennata possibile. Giacché null'altro ha con sé l'anima quando giunge nell'Ade, se non la propria educazione e condotta di vita, le quali cose, si dice, giovano o nuocciono soprattutto e chi è morto, subito, all'inizio del viaggio laggiù⁴⁴.

⁴⁴ PLATONE, *Tutte le opere*. Vol. I, *Fedone*, trad. G. Giardini, Newton, Roma 1997, p. 241.

6.14. Né angelo né bestia⁴⁵

La questione se l'uomo sia un essere fatto solo dalla materia fisica, organizzata in un certo modo, oppure fatto da due "sostanze", per usare il vocabolario di Aristotele, ha un'importanza culturale, filosofica, politica essenziale: la questione del materialismo definisce tutta la civiltà umana. La negazione della "sostanza" spirituale ha portato nel XX secolo ai più grandi disastri al livello dell'umanità intera: centinaia di milioni di morti sotto i regimi totalitari.

Le neuroscienze moderne cercano di *localizzare* da qualche parte nel cervello le nostre funzioni mentali. Sinora si è arrivati solo a conclusioni molto semplificate: per esempio, se viene danneggiato il lobo frontale, il malato perde la capacità visiva. Questo non significa che per vedere basta un lobo frontale. Come ha precisato Stanley Yaki, domenicano e fisico, nel libro *Il cervello e il pensiero: l'unione più strana*⁴⁶, il pensiero risiede nel cervello contemporaneamente dappertutto e da nessuna parte. Come scriveva Aristotele, l'anima è la *forma* e lo *scopo* del corpo.

Ma perché c'è bisogno del cervello, di un groviglio di filamenti proteici, per "ospitare" lo spirito? In teoria, il pensiero potrebbe girare anche su un circuito fatto di silicio, come il computer. In ogni caso c'è bisogno di una sostanza materiale, non solo per il pensiero "puro", ma principalmente per la comunicazione con il mondo esterno, fisico. Così, nel *De Anima* Aristotele descrive il funzionamento della vista, dell'udito, del tatto.

Il già citato filosofo moderno John Searle si lamenta che «la gente comune nella cultura occidentale ritiene di possedere il corpo, l'anima e ancora qualcosa chiamato lo spirito» e che invece «la maggior parte degli esperti professa di essere materialista». Come mai l'opinione della "gente" (cioè della stragrande parte della società) è diversa da quella degli "esperti"? Di solito la colpa di questo divario viene attribuita a Cartesio, in particolare a una delle sue ultime opere, le *Meditazioni sulla filosofia prima*, cioè sulla teologia. In quest'opera Cartesio si è chiesto dove si trova nel cervello il *sensu comune* che coordina

⁴⁵ P. PREMOLI DE MARCHI, *Uomo, né angelo né bestia. Argomenti a favore dell'esistenza e dell'immortalità dell'anima*, I Quaderni del Timone, Edizioni Art, Novara 2005.

⁴⁶ S. YAKI, *The Brain Mind Unity: The Strangest Difference*, RVB, Pinckney 2004.

tutti i sensi. Oggi sappiamo che è dappertutto. Cartesio si è chiesto anche se l'anima umana fosse immortale. La sua risposta è stata: «Il buon Dio non ci inganna promettendo la vita eterna». Una conclusione simile fu elaborata dal suo contemporaneo, Blaise Pascal. Ne parleremo nel capitolo VII.

La relazione tra il corpo e l'anima è stata oggetto di ragionamenti più complessi nella storia della filosofia. Per Platone l'anima era indipendente dal corpo e in esso in un certo senso infusa. Aristotele, come già detto, aveva usato il concetto metafisico della forma: "l'anima è la forma e la fine del corpo". Ma con la distruzione di una scultura si disintegra la materia, ma sparisce anche la forma? Rispondendo, S. Tommaso sottolinea che l'anima viene *creata* da Dio, allora esiste come una *sostanza*. L'uomo è l'unità dell'anima e del corpo.

Paola Premoli de Marchi lo spiega così⁴⁷:

Grazie a questa particolare struttura, di sostanza costituita da essenza e atto dell'essere, l'anima può informare il corpo, ma può anche sussistere separatamente dal corpo, ha in sé una piena individualità e incomunicabilità, ed è semplice e incorruttibile. D'altra parte però, Tommaso sottolinea che il rapporto tra anima e corpo non è accidentale: al contrario, fa parte dell'essenza dell'anima il fatto di essere forma del corpo, di costituire un tutto sostanziale del corpo. Quindi l'uomo è pienamente tale nel composto di anima e corpo, e non come anima separata dal corpo.

Una domanda frequente è: che cosa succede all'anima quando il cervello si deteriora, con l'età, per esempio? Anche a questa domanda ha risposto Aristotele: l'anima temporaneamente si "ritira", in modo simile a quando uno si ubriaca: l'anima non è svanita, ma non trova un substrato, un sottosuolo sul quale "appoggiarsi".

Esiste allora l'anima umana dopo la morte? Tutte le culture dell'*Homo sapiens*, da quelle siberiane dei riti funerari di 40 mila anni fa e da quella delle piramidi dell'antico Egitto fino a Platone, hanno ritenuto di sì. E ricordiamo ancora una volta il *Fedone*: ciò che l'anima porta con sé quando passa all'altro mondo non è solo l'autocoscienza, ma tutte le esperienze, le azioni, i pensieri, le parole e le omissioni della vita terrena. E il *Credo* apostolico sottolinea che le anime non solo esistono dopo la morte, ma partecipano alla nostra vita

⁴⁷ P. PREMOLI DE MARCHI, *op. cit.*, pp. 54-55.

terrena: il concetto è racchiuso nel laconico “credo nella comunione dei santi”.

Così l’uomo, pur con tutti i suoi difetti e le sofferenze che porta la sua vita nel mondo materiale, si differenzia persino dagli angeli, che del mondo materiale, probabilmente, si godono poco⁴⁸.

6.15. Il mondo pieno di angeli

Nel *Credo* non si fa riferimento all’esistenza degli angeli, ma essi fanno parte di “tutte le cose invisibili”. Delle sette categorie di cori angelici (secondo papa Gregorio IV) solo quella sul gradino più basso, appunto degli angeli, partecipa alla nostra vita. Della seconda categoria, quella degli arcangeli, solo qualcuno (Michele, Gabriele) ogni tanto scende nel mondo materiale per portare dei messaggi importanti. L’arcangelo Michele viene inoltre invocato nella preghiera di papa Leone XIII: «San Michele Arcangelo difendici nella battaglia contro i mali e le insidie del maligno; sii nostro riparo [...]»⁴⁹.

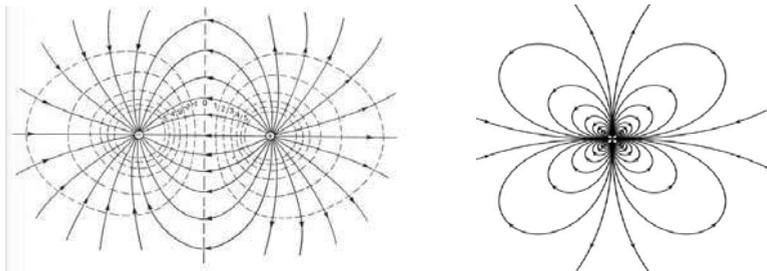


Fig. 6.20. La visualizzazione del campo elettrico (invisibile in natura) attorno alle cariche—modello: (a) due cariche opposte (un dipolo), (b) all’esterno di quattro cariche dello stesso segno. Oggi queste distribuzioni vengono calcolate dai computer; negli anni Sessanta, quando Feynmann scrisse le sue *Lezioni*, si doveva *presumere* una certa distribuzione, e poi verificarla punto per punto. FONTE: K. FEDUS.

⁴⁸ Paola Premoli de Marchi cita un’opinione diversa, quella di S. Tommaso sugli angeli: «Inoltre, l’affermazione che l’anima completa non ha in sé la specie completa dell’uomo, ma la possiede solo se unita al corpo, spiega secondo Tommaso la sua differenza, quanto a perfezione, rispetto agli angeli. Questi, infatti, sono più perfetti perché sono complessi, come specie, in sé stessi, come sostanze spirituali» (*op. cit.*, p. 55).

⁴⁹ GIOVANNI PAOLO II, *Regina Coeli*, 24/04/1994, http://w2.vatican.va/content/john-paul-ii/it/angelus/1994/documents/hf_jp-ii_reg_19940424.html

Richard Feynmann (1918–1988), uno dei più grandi fisici teorici del XX secolo (e un didattico geniale), descrivendo il concetto di campo elettrico ha scritto⁵⁰: «È molto più facile immaginarsi un angelo che il campo elettrico. Basta disegnare una figura alata e poi cancellarla, visto che è invisibile. Invece, per trovare la configurazione di un campo elettrico, anch’esso invisibile, bisogna prima trovare la distribuzione delle cariche elettriche e poi risolvere un’equazione adatta». Nella figura 6.20 si possono vedere le configurazioni del campo elettrico calcolato attorno delle distribuzioni delle cariche–modello.

Papa Gregorio Magno (540–601), santo della Chiesa Cattolica, aveva stabilito che esistono nove tipi di cori angelici, contando dal basso: angeli, arcangeli, sino ai cherubini e ai serafini. Edward Lucie-Smith in *The Glory of Angels* scrive così: «Secondo l’opinione più avvalorata, gli angeli si dividono in tre categorie. La prima consiste di cherubini, serafini e troni. Questi angeli, essendo i più vicini al trono di Dio, sono incomprensibili per la mente umana. [...] La terza sfera consiste degli angeli cui siamo più assimilati, dato che hanno contatti diretti con gli uomini»⁵¹.



Fig. 6.21. Oggi siamo abituati a immaginare gli angeli come figure con le ali bianche. Nel Medioevo, le ali degli angeli risplendevano dei colori dell’arcobaleno. È difficile trovare le rappresentazioni di cherubini e serafini⁵², che “dovrebbero” avere tre paia di ali. Qui riportiamo un frammento di *The Coronation of the Virgin with Adoring Saints* (1407–9) di Lorenzo Monaco (National Gallery, Londra) e *L’Annunciazione* di Fra Beato Angelico (Convento di San Marco, Firenze). FOTO: GK 2004.

⁵⁰ Il concetto di campo elettrico è un po’ bizzarro: è lo spazio in cui sulle cariche elettriche agiscono delle forze elettriche. Lo spazio di cui si parla, in teoria è vuoto, non contiene delle particelle materiali, ma vuoto non è, visto che è pervaso dal “campo elettrico”.

⁵¹ E. LUCIE-SMITH, *The Glory of Angels*, Harper Design, 2009.

⁵² Vedi per esempio, Pietro Cavallini (1240–1320), *Giudizio universale*, Chiesa S. Cecilia in Trastevere, Roma, http://www.frammentiarte.it/dal_Gotico.it/Cavallini_opere/05-04_cavallini_giudizio_universale.jpg (accesso 05/05/2016).

6.16. Da un soffio

Questo libro, e in particolare il capitolo VI, può sembrare eterogeneo: da un lato contiene affermazioni molto scientifiche sul genoma, il DNA, le proteine, i neurosegnali; d'altro canto divagazioni per niente verificabili sull'anima immortale e sugli angeli. Ma proprio a metà tra questi due opposti c'è l'uomo, creato a somiglianza di Dio, plasmato d'argilla, ma che ha ricevuto l'alito di Dio: l'unione tra il mondo materiale e spirituale. «Allora il Signore Iddio formò l'uomo dalla polvere della terra e alitò nelle sue narici un soffio vitale, e l'uomo divenne persona vivente» (*Gen*, 2, 7).

Nella versione polacca, la “polvere della terra” viene tradotta come “l'argilla”. Dovendo scegliere tra la sabbia (SiO_2) e l'argilla, quest'ultima contiene tutti elementi di cui siamo fatti: calcio, ossigeno, sodio, potassio, ferro, idrogeno, tranne il carbonio. Ma per diventare “vivente” è necessaria quella speciale organizzazione degli elementi chimici, che fa crescere e fiorire una pianta, mentre un'altra, nonostante tutti gli sforzi, si secca e diventa materia *inanime*. Già Aristotele distinse l'anima vegetale da quella animale. Ma nel caso dell'uomo era ancora necessario “un soffio di Dio”, per creare una *persona*.

Tutto il percorso dell'evoluzione delle diverse forme pre-umane ancora una volta sottolinea un distacco netto dell'uomo dal mondo degli animali. Già l'*Homo erectus*, un grande camminatore, era diverso dagli scimpanzé per il modo di occupare l'ambiente, di procurarsi il cibo, per l'uso degli attrezzi e del fuoco.



Fig. 6.22. Questa immagine illustra le parole «[Dio] alitò nelle sue narici un soffio vitale, e l'uomo divenne persona vivente.» La parola persona vuol dire più che “un essere”. Aristotele sottolineava la presenza nell'uomo dell'intelletto, che ha qualcosa di divino. Ma la differenza biologica tra le forme pre-umane e l'Uomo è davvero “un soffio”. FONTE: La Cappella Palatina, Palermo.

Ma in un milione di anni la sua evoluzione è rimasta ferma a quel punto. L'*Homo sapiens* in un decimo di questo tempo si è impadronito della complessa comunicazione vocale, ha riempito tutte le grotte della costa atlantica con alcuni disegni stupefacenti, ha costruito città, per non parlare dell'invenzione dell'opera lirica e dei computer. Non un soffio, ma un abisso ci separa sia dagli scimpanzé sia da tutte le forme pre-umane. Essere un Uomo, creato direttamente da Dio, è un motivo di orgoglio!

6.17. Per la mano di Dio

Nella termodinamica moderna e persino nella teologia è ormai diffuso il concetto dell'auto-organizzazione delle materia introdotto da Ilya Prigogine (premio Nobel 1977): i fiocchi di neve formano delle belle stelle. Sì, non è da escludere che nelle transizioni di fase le curve di stabilità raggiungano il massimo di ordine e non il minimo. Ma dalle leggi della termodinamica a una cella biologica funzionante la strada è infinitamente lunga; è lunga anche per singoli aminoacidi nella catena assolutamente logica di miliardi di bit del DNA. Non siamo quindi d'accordo con il concetto di *self-emergence*, cioè di autocreazione.

Non siamo d'accordo nemmeno con l'idea dell'*Intelligent Project*, secondo la quale nella natura furono incorporate le leggi tali da permettere l'autonoma comparsa della vita e dell'uomo con la sua anima immortale. Ricordiamo che i cosmologi, per spiegare una cosa talmente semplice come una (misteriosa) distribuzione delle galassie, hanno coniato l'espressione "il dito di Dio". A maggior titolo bisogna dare ragione alla *Scrittura*, che non attribuisce tutta la bellezza del mondo alla *self-emergence* né all'*Intelligent Project*, ma a Dio in persona.

E non è Dio che ogni tanto dà una spinta al mondo quando questo rallenta; come dice il Catechismo della Chiesa Cattolica (art. 302):

La creazione ha la sua propria bontà e perfezione, ma non è uscita dalle mani del Creatore interamente compiuta. È creata «in stato di via» («in statu viae») verso la perfezione ultima alla quale Dio l'ha destinata, ma che ancora deve essere raggiunta. Chiamiamo divina Provvidenza la disposizione per mezzo delle quali Dio conduce la creazione verso questa perfezione.

6.18. Dicono, che è risorto⁵³

Se per l'immortalità dell'anima umana si sono schierati nella storia della filosofia diversi autori, sulla risurrezione dei corpi insiste la sola religione cristiana. “Sì, Signore, lo so, al termine dei tempi tutti risorgeremo”, disse Marta, la sorella di Lazzaro, che non ci credeva ancora. Il Sepolcro vuoto, come sottolinea Messori, è la base più assoluta della nostra Fede. Ma il racconto del Vangelo di Giovanni scritto da colui che fu un testimone oculare, sorprende per la sua laconicità:

E, chinandosi, vide le bende per terra, tuttavia non entrò. Arrivò poi anche Simon Pietro, che lo seguiva; egli entrò nella tomba e vide le bende per terra, e il sudario, che era sul capo di Gesù, non per terra come le bende, ma ripiegato, in un angolo a parte. (*Gio, 20, 5-7*)

Sembra il resoconto di un'infermiera alla caposala: nessun Gloria, nessun Alleluia! La laconicità della descrizione riproduce lo stupore per ciò che Pietro e Giovanni videro dentro il sepolcro: la sindone afflosciata, il lino non srotolato, per terra, come se il corpo fosse evaporato. Scherzando, spesso racconto che nel mio laboratorio di antimateria facciamo esperimenti simili: un anti-elettrone quando si incontra con un elettrone semplicemente evapora, cioè si converte in due fotoni gamma che attraversano il contenitore; la materia è sparita. Ma è solo uno scherzo. I non credenti non hanno mai spiegato come mai le lenzuola furono trovate afflosciate per terra. E forse questa quasi assurda laconicità è la prova dell'autenticità del racconto evangelico.



Fot. 6.23. La Chiesa di S. Croce in Gerusalemme a Roma: la tavoletta “INRI”, e la Cattedrale di Oviedo: il sudario che copriva il capo di Cristo. FOTO: GK 2011, 2018.

⁵³ V. MESSORI, *Dicono che è risorto. Un'indagine sul sepolcro vuoto*, SEI, Torino 2000.

Pierluigi Baima Bollone ha identificato sulla Sindone le impronte di due monete romane, una del 27 d.C. e l'altra del 29 d.C., poste sugli occhi (come facevano i Greci con i morti). Persino la trama del tessuto è particolare: di un tipo fabbricato solo in Egitto due mila anni fa. L'unica prova contro l'autenticità della Sindone è stata prodotta dalla fisica, tramite l'esame del carbonio radioattivo ^{14}C . Questo isotopo si forma nell'atmosfera, viene assorbito dalle piante, e dopo decade (con un tempo caratteristico di 5600 anni). La datazione fatta in tre laboratori ha suggerito che la Sindone risale all'età medievale. Ma da fisico sperimentale nutro seri dubbi su questa conclusione.

È inspiegabile, in primo luogo, come si sia formata l'Immagine. Non è un colorante, non è una stampa; sembra che le fibre stesse del lino abbiano subito una variazione. A causa di che cosa? Di una potentissima radiazione nucleare, come nella trasformazione della materia nei raggi *gamma*? Ma gli elettroni con la carica positiva da dove provenivano? Un assurdo! Inoltre, la Sindone ha subito un incendio nella cappella in cui è conservata a Torino e altre complicatissime vicende storiche.

È difficile applicare il test del carbonio radioattivo alla datazione di qualcosa che già sfugge alla spiegazione fisica, a meno di non voler che nel caso del lino modificato con una radiazione sconosciuta i test scientifici non funzionano. Questa è una corretta deduzione, non una datazione fasulla prodotta nei laboratori di fisica.

Ma l'immagine sulla Sindone sembra pian piano svanire. Più prove scientifiche abbiamo, meno si vede a occhio nudo: bisogna credere. Come scrive sempre Vittorio Messori: "chiaro-scuro"; la religione *provata* scientificamente non avrebbe bisogno della *fede* individuale



Fot. 6.24. (a) Alcuni ulivi vivono centinaia di anni. Questo cresce nel giardino del Getsemani, alle porte di Gerusalemme. (b) La stella d'argento nella Basilica della Natività a Betlemme. FOTO: MK, 1999.

della persona⁵⁴. Le immagini, i fatti scientifici, le testimonianze personali possono rafforzare la Fede, mai sostituirla.

6.19. I due mondi

L'uomo, con il corpo fatto di materia biologica e la *psyche* sfuggente alla fisica, è un ponte tra due mondi. Ma i ponti possono essere diversi: uno poggia più sul cielo, l'altro è fermamente legato alla terra. I santi, i frati, le suore, i preti, la preghiera, il miracolo poggiano più dall'altra parte⁵⁵. Anche le nostre preghiere, la carità, il digiuno e tutte le opere di misericordia sono delle *scorciatoie* verso il mondo celeste. Ma questo sarebbe un argomento per un altro libro...



Fot. 6.25. Un'altra foto, testimonianza dei pellegrinaggi dell'autore e della moglie (Torino, 2010). L'impronta del volto di Cristo morto (e risorto): l'immagine centrale della Fede Cristiana, è appena visibile al centro del quadro. Le macchie intense sono dovute alle bruciature. FOTO: GK, 2000.

⁵⁴ I libri che hanno influenzato la mia convinzione sull'autenticità dei racconti evangelici della Passione sono: *Il giorno in cui Cristo morì* di Jim Bishop (1958); *Patì sotto Ponzio Pilato e Dicono che è risorto* di Vittorio Messori; 2015. *La Nuova indagine sulla Sindone. Duemila anni di storia e le ultime prove scientifiche* di Pierluigi Baima Bollone, professore di medicina legale a Torino e ancora di più il suo libro precedente *Sindone. Storia e Scienza*, Priuli e Verluca, 2010; S. Gaeta, *L'altra Sindone. La vera storia del volto di Gesù*, Mondadori, Milano, 2005. Rimane struggente nella sua realistica documentazione anche il film di Mel Gibson *Passion*.

⁵⁵ Si consiglia un altro libro di Vittorio Messori, *Il miracolo*, con la descrizione molto ben documentata del miracolo occorso a Miguel Juan Pellicer nell'anno 1640 a Saragozza: la "de-amputazione" di una gamba, che la versione italiana di Wikipedia definisce "un presunto miracolo".

Le testimonianze

7.1. Scienze umane e scienze “esatte”

Spesso, anzi quasi sempre, le due branche del sapere — scienze naturali e umane — vengono contrapposte. Non c'è un atteggiamento più sbagliato di questo, per molteplici motivi.

1) Le scienze naturali, matematiche, fisiche operano sulla natura, cioè su oggetti reali che esistono indipendentemente dalla presenza umana. Le scienze umane operano su artefatti umani: pensieri scritti (filosofia), comportamenti individuali (psicologia), comportamenti di gruppi (sociologia), sequenze di eventi umani (storia), artefatti estetici (arte, musica).

Sui gusti, si è detto, non si discute. E nelle scienze “esatte” sembra che ogni valutazione sia assoluta, cioè oggettiva, e non soggettiva. Si dice persino che “la matematica non è una opinione”. Poi, in pratica, si usa la statistica per *interpretare* fenomeni sia fisici¹ che sociali.

2) Così, nelle scienze umane ogni giudizio può essere *interpretativo*. Ma nelle scienze fisiche è uguale! Per Newton la luce erano particelle, *corpuschi*. Lui per primo aveva descritto in modo matematico il funzionamento delle lenti (quale focalizza, quale ingrandisce), usando la legge di rifrazione di Snelius: l'angolo di rifrazione (in vetro) è minore dell'angolo di incidenza. Questa legge si riesce a interpretare in modo molto didattico, assumendo che il vetro, più pesante dell'aria, “attira” le particelle della luce.

Sul dualismo ondulatorio–corpuscolare i fisici hanno trovato un consenso: in certi esperimenti la luce dimostra la natura fotonica, in

¹ Attribuire la certezza a un dato sperimentale è soggetto a una *convenzione*: diverse sono queste convenzioni nella fisica delle particelle elementari (“5 sigma”), diverse in misure multiple ripetibili (la distribuzione di Gauss), diverse in cosmologia (il Big Bang non è un'esperimento ripetibile), v. G. GIGERENZER, *Quando i numeri ingannano*, Raffaello Cortina, 2003.

altri l'onda elettromagnetica. Ma a questo punto sorge una domanda: possiamo interpretare altri fenomeni in modi duali e/o multipli? Sì!

Tutta la storia della fisica (e non solo) è una catena di diverse interpretazioni intrecciate. Per Copernico i dati di Tolomeo (e le sue osservazioni) erano un argomento per la teoria eliocentrica. Per Tycho Brahe, con le sue misure molto esatte, erano un argomento per un sistema misto (vedi la figura sotto).

Il gatto di Schrödinger è vivo o morto? Dipende dall'interpretazione, o meglio dal tipo di esperimento che verrà fatto: un oggetto, un elettrone per esempio, esiste in sé stesso, descritto con la sua funzione d'onda Ψ . Se l'esperimento misura la posizione x , la velocità sarà pressapoco indeterminata. Matematicamente si fa la *convoluzione* $\Psi * X \Psi$ dell'operatore X della misura della posizione con la funzione d'onda. In modo "visivo" possiamo dire che abbiamo fatto la "proiezione" della funzione d'onda sull'operatore di posizione (v. fig. 7.1).

Non vorrei essere accusato di relativismo scientifico: no! Noto solo che nelle scienze "esatte" ogni dato richiede sempre un'interpretazione, come nelle scienze umane.

3) Le scienze esatte si basano sui dati oggettivi e le scienze umanistiche sui giudizi? Sopra abbiamo discusso che i dati richiedono un'interpretazione, ma c'è di più: le scienze esatte cercano sempre un sostegno nei giudizi degli altri scienziati, cioè nelle opinioni. In altre parole, anche le scienze naturali chiedono dati umanistici.



Fig. 7.1. Due immagini per sottolineare che anche le scienze "esatte" sono soggetto all'interpretazione umana. (a) Il sistema di Tycho Brahe, misto tra tolemaico e copernicano: sbagliato, ma riproduceva bene i moti apparenti dei pianeti. (b) Il gatto "di Schrödinger" un po' di profilo, un po' *en face*: in fisica quantistica la misura consiste in una "proiezione" dello stato proprio del sistema, sconosciuto, con un determinato operatore matematico scelto per la misura. FOTO: GK.

Lo stesso Copernico è un esempio: prima di portare argomenti matematici (osservazioni e calcoli) chiama in causa Pitagora come sostenitore della teoria del moto della Terra. Egli scrisse infatti²:

Di più, come il cielo contiene e costituisce un luogo comune per tutte le cose, per quale motivo esso non dovrebbe essere statico ed il moto dovesse essere attribuito piuttosto alle cose contenute e non al contenitore? Di questa sana conclusione che il mondo terrestre ruota erano Eraclito e Effanto pitagorici e Niceto di Siracusa, secondo Cicerone.

E per giustificare la relatività di moti Copernico cita l'Eneide³: «sembra che la terra svanisce invece questa è la nave che si allontana».

4) Il relativo bilancio: dati ricavati dalla natura ↔ argomenti riportati da altri autori, con il passare del tempo si sposta verso l'umanistica — bisogna citare sempre più gli autori (e i loro dati sperimentali, fidandosi delle loro procedure). Allora, con il passare dei secoli anche le scienze esatte diventano umanistiche³.

5) L'ultimo argomento per l'unità metodologica delle due scienze è il soggetto autore: l'uomo. Se crediamo nell'unità (uguaglianza?) intellettuale e emotiva di tutti gli uomini, anche i risultati della loro attività mentale devono essere compatibili tra loro.

Riassumendo, tutte le opinioni su temi diversi sono equivalenti e tutte devono essere prese seriamente in considerazione.

7.2. Platone: l'anima immortale

Abbiamo già citato l'opinione, quasi certezza di Platone sull'immortalità dell'anima umana e le conseguenze che questa immortalità crea per l'etica. Citiamo ancora qualche frammento sull'anima di *Fedone* (XXIX):

Dunque, se questa è la sua condizione, non se ne andrà verso quel luogo che le si addice, verso l'invisibile, verso il divino, l'immortale, l'intelligibile, dove,

² «Cumque coelum sit quod continet et caelat omnia communis universorum locus, non statim apparet, cur non magis contento quam continenti, locato quam locanti motus attribuat. Erant sane huius sententiae Heraclides et Ecphantus Pythagorici, ac Nicetas Syracusanus apud Ciceronem, in medio mundi terram volventes.» Nicolaus Copernicus, *De Revolutionibus orbium coelestis*, Petronius Editions, Norimberga, 1543 Liber I, Caput 5.

³ Ma furono così anche nei tempi di Aristotele: dai suoi scritti conosciamo i quattro "elementi" di Empedocle.

una volta giunta, sarà felice, libera dall'errore, dalla malvagità, dalla paura, dalle selvagge passioni, da tutti gli altri mali dell'uomo e dove potrà trascorrere tutto il tempo avvenite, come si dice a proposito degli iniziati, veramente, in compagnia dei dei. E' così o no, Cebete?"

Questa tranquillità, quasi sicurezza sul proprio destino è assente in Marco Aurelio che, pur costruendo una valida (dal punto di vista umano), etica, sentiva il carattere passeggero di tutti gli eventi, il loro scomparire, fondersi, disintegrarsi senza tracce. Marco Aurelio ha scritto nei *Ricordi*⁴:

In perenne vicenda un'ansia di venire alla luce, un'ansia per mantenersi; e nella cosa venuta alla luce, subito ormai qualche parte si spegne. Un perenne fluire, un perenne tramutarsi rinovellano senza posa il mondo; come del resto l'incessante vicenda del tempo rende continuamente nuova l'infinita durata. (*In questa fiumana*, Libro VI, 15)

L'universale natura dall'universale sostanza come fosse cera ha plasmato un cavallo; poi lo ha rifiuto per formare un albero, valendosi della stessa materia che lo congegnava; poi un uomo, poi qualsiasi altra *cosa*⁵ ancora. E ciascuno di questi individui ebbe sussistenza per brevissimo tempo. Dal resto non è certo una brutta cosa per un cofano venir *disfatto*, come nemmeno essere stato congegnato (*Per brevissimo tempo*, L. VII, 23).

Il morto non cede fuori dal mondo. Se qui rimane, pure subisce trasformazione e si *dissolve* nei suoi propri elementi che sono gli *elementi del cosmo*⁶ e i tuoi. E questi elementi poi si vengono a loro volta trasformando e non se ne lagnano. (*Trasformazione*, Libro 8, 18).

Chiaramente, Marco Aurelio non *credeva* nell'immortalità dell'essere umano, né dell'anima né nella risurrezione dei corpi, così la sua etica barcamenava nell'insicurezza. La convinzione dell'Essere superiore, che ci protegge e sostiene toglie il pessimismo sia nel presente che nel futuro.

Tornando a Platone, il suo concetto dell'anima e corpo non era quello del "cofano" ma di un'integrità tra il corpo e l'anima. Un medico (e frate) polacco Jacek Norkowski⁷ sottolinea che secondo Platone l'anima risiede in tutto il corpo, e non solo nel cervello. Anzi, posizionare l'anima nel cervello apre pericolose strade dell'"ingegneria"

⁴ MARCO AURELIO ANTONINO, *Ricordi*, trad. Enrico Trolia, Fabri Editori, Milano 1995.

⁵ Sottolineato GK: il discorso sembra una premessa del materialismo del XIX secolo.

⁶ Qui abbiamo i pre-elementi delle odierne "religioni" cosmiche, tipo New Age.

⁷ J.M. NORKOWSKI, *Brain based criteria for death in the light of the Aristotelian-Scholastic anthropology*, «Scientia et Fides», 6/1 (2018), pp. 153–188.

del corpo umana. O l'unità del corpo e dell'anima (la dualità dell'essere umano come professato da Papa Ratzinger) oppure espresso con altri termini da Aristotele: l'anima che costituisce la *forma* dell'uomo.

7.3. Aristotele: le quattro cause

Per un fisico sperimentale la più significativa eredità di Aristotele dovrebbe essere la suddivisione di scienze fra la fisica e la meta-fisica. Però, paradossalmente, la sua *Fisica* viene criticata proprio da fisici. Infatti, è un libro un po' sorprendente. Oggi, dividiamo la fisica in meccanica, termodinamica, ottica, elettromagnetismo. Nei tempi di Aristotele appena furono definiti (da Empedocle) i quattro stati della materia (solidi, liquidi, gas e plasma). Ma la *Fisica* non tratta nessuno di questi argomenti — ma costituisce a tutti gli effetti un libro di filosofia, nei suoi principi profondi. Aristotele si occupa delle definizioni dello spazio, del tempo, e del moto nel suo senso generale.

Lo spazio per Aristotele era la distanza tra un corpo materiale ed altro. Così, lo spazio vuoto non ha senso. Come lo discutiamo in seguito, Galileo (e Cartesio) hanno introdotto il concetto di spazio matematico che è completamente vuoto. Ma per Albert Einstein (ad ancora di più per George Lemaitre), senza le masse (cioè i corpi) lo spazio non ha senso: dopo due mila anni la fisica torna a Aristotele.

Il tempo per Aristotele è un insieme continuo di momenti di “adesso”. Nonostante diversi tentativi i fisici non sono riusciti a trovare i “quanti” del tempo — esso rimane sempre continuo. Aristotele scriveva che il tempo è dappertutto lo stesso: anche se la relatività di Einstein definisce i sistemi di riferimento locali, essi possono essere coordinati nel momento “zero”. Ma il tempo “prima” ed “dopo”, come nota Aristotele, non sono gli stessi.

Sul moto Aristotele scrisse: «Allora il corpo o rimane in quiete o si muove in infinità, finché non si incontrerà con qualche corpo più forte» (*Fisica*, Libro IV, 215a). Nel linguaggio moderno, questa affermazione corrisponde alla prima legge di Newton, e in più al principio di conservazione di moto. Detto questo, con la maggior attenzione conviene leggere il Libro II di *Fisica*⁸, sulle cause di moti, e sui cambiamenti in genere.

⁸ ARISTOTELE, *La Fisica*, a cura di Luigi Ruggiu, Rusconi, Milano 1995, pp. 59–105.

Le quattro cause (la materia, la forma, l'esecutore e lo scopo) definite da Aristotele, di solito vengono associate alla *Metafisica*; in verità tutte le cause, compresa la quarta, teleologica, compaiono già in *Fisica*. «Insomma, causa, nel senso del fine, è 'ciò in vista di cui': ad esempio la salute è il fine del camminare». (194b, 35). Ma se nelle azioni umane è facile determinare la causa finale, la sua esistenza non è ovvia nella natura. Ma Aristotele insiste che anche nella natura agisce la causa finale: «Quindi, come avviene nell'agire, così accade in natura; e come avviene in natura, così accade anche in ogni azione, se niente lo impedisce. Ora l'agire è in vista di un fine; allora, anche il fine è per natura» (199a, 10).

E poi Aristotele prosegue (*Fisica* 199b, 16–18) e (200a, 33):

In effetti sono da natura tutte quelle cose che, mosse in modo continuo in se stesse da un qualche principio immanente, giungono ad un fine: e da ciascuna cosa non è conseguito il medesimo fine, né ciò che capita, ma la tendenza in ogni cosa è costante, a meno che non vi sia un qualche ostacolo.

E al fisico compete di trattare di entrambe le cause, e soprattutto di quella finale. Infatti questa è causa della materia, e non la materia del fine [...].

Nella *Fisica* Aristotele indica anche la necessità di esistenza di una causa *prima* di moto. “Nella luce di seguenti considerazioni risulterà che la causa prima del moto deve esser qualcosa che è uno ed eterno.” (259a) Citiamo Aristotele in modo così esteso, visto che lui rappresentava un puro ragionamento, ancora prima della fede cristiana. Gli stessi argomenti — sull'eternità del moto e sulla causa finale nella natura torneranno da San Tommaso, ma la testimonianza di Aristotele è particolarmente preziosa.

7.4. Tommaso e la materia

San Tommaso (1225–1274) come l'introduzione a tutte le altre questioni della teologia⁹ diede, in modo abbastanza laconico, cinque prove (o meglio “vie”) per dimostrare l'esistenza di Dio: 1) del primo motore, 2) della causa efficiente (la causa prima, cioè la radice di tutto l'infinito albero delle dipendenze causa-effetto), 3) dell'essere necessario, l'unico che non può essere contingente (cioè casuale), 4) dell'

⁹ TOMMASO D'AQUINO, *Summa theologiae*, I^a q. 2 a. 3.

essere perfetto — più razionale, più buono ecc., 5) della razionalità della natura.

La prima via, del moto, risale direttamente ad Aristotele. Nell'interpretazione ristretta, secondo i principi della fisica odierna, essa sarebbe chiamata “della sorgente prima del moto”. Ma non solo il moto fisico — anche la materia e l'energia, in quantità quasi infinite, dovevano avere la loro sorgente: non fu il Big Bang a creare la materia.

La prima “via”, come definita da San Tommaso, va oltre la fisica, usando i termini di Aristotele — della potenza e dell'atto (*energeion* in greco). San Tommaso si meraviglia sulla capacità della materia (e non solo della materia) di *diventare*. Lui cita la capacità del legno di ardere, ma tutti i “diventare” nella natura sono, a pensar bene, miracolosi: degli atomi di carbonio, ossigeno e azoto di formare le proteine, delle proteine a formare un codice sequenziale detto DNA, delle molecole chimiche a formare la cella biologica, dei neuroni a “creare” coscienza ecc. — sorprendente che tutto ciò c'è, piuttosto che non esserci. Ci deve essere il Motore primo. In fatti, il nome latino per la prima via è *ex motu et mutatione rerum* — dal moto e delle *mutazioni* delle cose. Poi, questo “diventare”, la continua transizione dal “posso” all'essere, non è casuale, ma come già notato da Aristotele, prosegue verso uno scopo, il fine e ha il suo ordine nascosto.

La quinta “via” scaturisce in continuazione il nostro meravigliarsi della natura. Come scrisse Eugenio Conti¹⁰, solo la vista di una farfalla colorata che si posa sulla sabbia di una trincea basta per “mostrare l'esistenza di Dio”. Nel medioevo, la voglia di cercare un ordine nelle cose permise la nascita della scienza moderna. Come nota Stanley Yaki, nessun'altra cultura — egizia, greca, cinese, islamica è riuscita a creare lo scambio libero di diverse opinioni, che prolifera non solo nella cerchia ristretta, ma influenza il modo di pensare delle società intere. Fu il francescano Roger Bacon (1214–1292) a porre la questione della precessione del giorno di equinozio e Jean Buridian (1300–1358), il rettore dell'università di Parigi e canonico ad Arras, a definire il concetto dell'*impeto* (i.e. d'inerzia, cioè formulare la prima legge di Newton). Da loro lavori partiva l'ultimo scienziato medioevale e il primo moderno — Nicolao Copernico, canonico a Frombork.

¹⁰ E. CONTI, *Gli ultimi soldati del re*, Ares, Milano, 1994, p. 204, citato da G. Samek Lodovici in *L'esistenza di Dio*, I Quaderni del Timone, Edizioni Art, Novara, 2004, p. 12.

Come detto da Newton: “abbiamo costruito il nostro sapere sulle spalle di giganti”.

San Tommaso, nel *Compendio di teologia* pone la domanda sulla materia e sulla sua diversità. Per Empedocle la materia era composta da quattro elementi (terra, acqua, aria, fuoco), per Democrito erano delle varianti di atomi identici.

Per J.J. Thompson, a cavallo tra il XIX e il XX secolo, la risposta sembrava facile: un budino di carica positiva con dentro dei pezzi di uva sultanina, cioè gli elettroni con la carica negativa. Il modello non resistette a lungo, già nel 1911 venne abolito dalla scoperta del nucleo, pressappoco puntiforme. Fino ai postulati di Bohr non si capiva come un sistema così potesse rimanere stabile.

Tutto il XX secolo ha accumulato dubbi crescenti sulla natura della materia: grazie a $E = mc^2$ una particella può essere convertita in un'altra, indipendentemente dalle loro masse (ma seguendo i precisi *principi* di conservazione, della carica elettrica, della carica leptonica, di spin, ecc.). Oggi, per il momento, l'elettrone (e i due quark leggeri) sembrano elementari, ma ci sono molte altre particelle necessarie per il cosiddetto *modello standard* di particelle. La domanda se esiste una materia prima, per esempio quella primordiale dell'era dell'inflazione, rimane aperta.

Aristotele non accettava né l'atomismo di Democrito né i quattro elementi, perciò per spiegare la diversità delle *sostanze* ebbe bisogno di tante materie diverse:

Per quanto concerne la sostanza materiale non bisogna ignorare che, anche se tutte le cose derivano da uno stesso elemento originario o dagli stessi elementi originari, e anche la medesima materia funge da punto di partenza nella loro generazione, tuttavia c'è una materia che è propria di ciascuna cosa. Per esempio: la materia prima della flemma sono gli elementi dolci i grassi, invece la materia prossima alla bile sono gli elementi amari o altri affini. E questi, certamente derivano da un medesimo elemento.¹¹

Per permettere delle trasformazioni, bisognava però accettare anche i mutamenti della materia, così il vino si trasforma in aceto, quello in acqua e acqua di nuovo in vino.

Dello stesso oggetto, poi, ci sono più materie, quando una materia sia a sua volta materia di un'altra: per esempio la flemma deriva dal grasso e dal dolce,

¹¹ ARISTOTELE, *Metafisica*, L VIII, 1044a, 15–20.

se il grasso deriva dal dolce; ma si può anche dire che deriva dalla bile, in quanto si può considerare la bile risolta nella materia prima. In effetti, una cosa deriva da un'altra in due modi: in quanto l'una deriva immediatamente dall'altra, oppure in quanto deriva degli elementi in cui si è risolta l'altra.¹²

Quelle di Aristotele sono spiegazioni abbastanza confuse. Sulla diversificazione della materia San Tommaso d'Aquino, nel "*Compendio teologico*" presenta un'idea rivoluzionaria, sia in confronto a Democrito che ad Aristotele. Infatti San Tommaso scrive che tutto il mondo (materiale) è fatto della stessa unica materia, *visto che l'azione creatrice di Dio* non richiedeva una materia precedente. Così, le differenze tra gli oggetti sono causate dalla diversa disposizione e/o organizzazione di questa materia in mano a Dio (*Compendio di teologia*, Capitolo 71: *La diversità della materia non è la causa della diversità delle cose*)

123. Da quanto detto in precedenza [cioè che la facoltà creativa appartiene solo a Dio] è chiaro che la diversità delle cose non è causata dalla diversità della materia. Si è detto infatti che la materia non è presupposta all'azione divina mediante la quale Dio produce nell'essere le cose. Ora, la causa della diversità delle cose non deriva dalla materia se non in quanto la materia è presupposta alla produzione delle cose, quando cioè secondo la diversità della materia sono immesse forme diverse: non è dunque la materia la causa delle diversità delle cose prodotte da Dio.

124. Ancora. Allo stesso modo in cui le cose hanno l'essere, così hanno l'unità e la pluralità: infatti ogni cosa in quanto è ente è anche una. Ora, le forme non hanno l'essere a causa della materia, ma piuttosto il contrario: infatti l'atto è più eccellente della potenza, e ciò per cui una cosa è, necessariamente è più eccellente. Le forme dunque non sono diverse perché sono diverse le materie, ma piuttosto le materie sono costituite diversamente per essere adeguate alle diverse forme.¹³

La materia, essendo creata dal nulla, non poteva introdurre da sé la diversità delle forme; poi è la forma a determinare la diversità degli oggetti e la moltitudine (ma non l'infinità) degli oggetti rispecchia la perfezione (unica) di Dio.

Sulla diversità della materia la chimica moderna dà una risposta simile: gli elettroni in sé stessi sono indistinguibili. Ma un *principio*, quasi metafisico, detto "divieto di Pauli", che non permette agli elet-

¹² *Ibidem*, 1044a, 20-24

¹³ TOMMASO D'AQUINO, *Compendio di teologia*, trad. P. Agostino Selva, Ed. Studio Domenicano, Bologna (1995) p. 95

troni di occupare lo stesso stato quantico, crea dalla materia indifferenziata tutta la varietà degli oggetti di questo mondo.

Ricordiamo ancora, che la quinta via di San Tommaso non è solo “l’ordine delle cose” ma la teleologia intrinseca della natura (e dell’uomo). L’ordine da solo, cioè le leggi di fisica incorporate nella natura potrebbero degenerare in un concetto del “progetto intelligente”: la natura agisce in modo sensato perché fu *programmata* (nel remoto passato) da Dio. Ma dire che ogni azione della natura, compreso azioni dell’uomo, serve a uno scopo predeterminato (che è ovviamente chiaro solo nella mente divina) porta altre conseguenze: non è Dio che questo scopo definisce per ogni singolo individuo? Allora la creazione del mondo continua, come dice il Catechismo della Chiesa Cattolica (art. 302–303¹⁴):

302. La creazione ha la sua propria bontà e perfezione, ma non è uscita dalle mani del Creatore interamente compiuta. È creata «in stato di via» («in statu viae») verso una perfezione ultima alla quale Dio l’ha destinata, ma che ancora deve essere raggiunta. Chiamiamo divina provvidenza le disposizioni per mezzo delle quali Dio conduce la creazione verso questa perfezione.

303. La testimonianza della Scrittura è unanime: la sollecitudine della divina Provvidenza è concreta e immediata; essa si prende cura di tutto, dalle più piccole cose fino ai grandi eventi del mondo e della storia. Con forza, i Libri Sacri affermano la sovranità assoluta di Dio sul corso degli avvenimenti.

San Tommaso, insegnando a Parigi negli anni settanta del XIII secolo, si trovò in mezzo all’aspre dispute su certe tesi teologiche, fra quali l’eternità del mondo. Per difendere la Creazione, San Tommaso si basò sulla fede¹⁵: oggi possiamo usare la fisica e le evidenze cosmologiche di “Big Bang”. Ma per la diversità della materia, ancora oggi usiamo un concetto piuttosto metafisico. Così, i confini tra la fede e la scienza sono in continuo movimento, in diverse direzioni, con mutui vantaggi.

¹⁴ http://www.vatican.va/archive/ccc_it/documents/2663cat017-308.PDF, p. 100

¹⁵ „Respondeo dicendum quod mundum non semper fuisse, sola fide tenetur, et demonstrative probari non potest, sicut et supra de mysterio Trinitatis dictum est.” S. Tommaso, *Summa teologiae*, [30420] I^o q. 46 a. 2 co <http://www.carimo.it/somma-teologica/somma.htm>

7.5. Copernico: ci saranno stolti

Nicolao Copernico nacque a Toruń, città fondata dai Cavalieri Teutonici. Fu l'anno 1473, venti anni dopo la caduta di Costantinopoli. Studiò a Padova (1501–03), all'Università della Repubblica di Venezia, nel ambiente multiculturale. Prima ancora a Cracovia (1492–96), per trasferirsi poi a Bologna (1496–1500), in pieno fermento dopo la scoperta dell'America. Nell'Anno Giubilare Copernico soggiornò a Roma, e dopo pochi mesi in Polonia, in 1501 tornò in Italia. Il dottorato conseguì in diritto civile a Ferrara (1503).

A Padova Copernico ufficialmente studiava la medicina, ma comprava tutti libri possibili e con i colleghi italiani faceva osservazioni astronomiche. In Polonia non diventò ne vescovo ne professore universitario, ma si occupava dell'amministrazione della Curia di Frombork in Prussia (e continuava le sue osservazioni). Già nel 1515, un po' sulla spinta del papa Leone X che voleava la riforma del calendario, aveva preparato i punti cardinali della sua teoria: la Terra non solo si muove, ma compie tre moti — la rotazione, la rivoluzione attorno il Sole e la sua asse “dondola”, come una trottola, con il periodo che qualche decine di migliaia di anni (questo moto viene chiamato “la precessione dell'asse di rotazione”).

Fra tempo Martin Lutero spacca in due il mondo cristiano occidentale: la Prussia viene divisa nella zona cattolica, che faceva la parte del Regno di Polonia, e in parte protestante di principato di Hohenzolern. Frombork si trova sul confine di due zone. Paradossalmente, *De Revolutionibus orbium coelestis*, viene finito con l'aiuto di un giovane matematico tedesco, Johanes Retyk¹⁶, professore di Wittenberg, e stampato a Norimberga, il “covo” di protestantesimo, nonostante il parere negativo di Lutero¹⁷.

Copernico, il canonico della cattedrale a Frombork, capiva bene che la sua teoria spodestava il ruolo centrale della Terra e che per que-

¹⁶ Il nome di famiglia era Lauchen, ed era nato a Feldkirch in Austria. Il padre, medico, fu accusato di magia e decapitato. Il figlio era costretto di cambiare il nome.

¹⁷ «Nicolao Copernico ha provato di dimostrare che questa è la Terra non il cielo, il Sola e la Luna [...] che si muove e ruota. Questo stupido si è messo a rovesciare tutta la conoscenza astronomica. E invece la Scrittura dice che Josue ha ordinato al Sole di fermarsi non alla Terra» – libera traduzione dai diari di Martin Luther. Vedi anche: <http://www.astronomy.ohio-state.edu/~pogge/Ast161/Unit3/response.html>.

sto motivo poteva essere fortemente criticata. Nella lettera di dedica al papa Paolo III Copernico scrisse¹⁸:

Mi rendo ben conto, o Padre Santissimo, che, non appena alcuni saranno venuti a conoscenza del fatto che io, in questi miei libri che ho scritto sulle rivoluzioni delle sfere del mondo, attribuisco certi movimenti al globo terrestre, subito andranno gridando che sono da mettere al bando io e la mia opinione. Né d'altra parte sono così rigidamente attaccato alle mie idee da non prendere in considerazione il giudizio degli altri. Evbenché sappia che i pensieri del filosofo sono ben lontani dall'opinione comune, proprio perché suo primo compito è cercare la verità in ogni cosa, almeno nei limiti concessi da Dio alla ragione umana, penso tuttavia che siano da evitarsi le opinioni che si allontanano del tutto dalla retta via.

Il modello di Copernico, con pianeti che ruotano sui cerchi attorno il Sole è molto più semplice (ed elegante) che il modello di Tolomeo con cerchi concentrici e epicentrici che ruotano su di essi. Nella premessa di *Revolutionibus* Copernico esprime la sua ammirazione per l'opera di Dio:

Che cosa c'è, infatti, di più bello del cielo che contiene appunto tutte le cose belle? Il che del resto indicano gli stessi nomi Caelum e Mundus, questo riferendosi alla purezza e all'ornamento, quello alla cesellatura. La maggior parte dei filosofi, proprio per la sua eccezionale bellezza, l'ha chiamato Dio visibile.

La spiegazione della sua teoria (L. I, cap. X) Copernico finisce così¹⁹:

Dal Saturno, pianeta più alto, alla sfera fissa [di astri] la distanza è enorme, come mostra la luce scintillante [delle stelle]. Ciò indica la differenza essenziale tra pianeti che si muovono e le stelle che non si muovono. Così perfetta è la divina Opera Massima.

Su i limiti intrinseci della nostra conoscenza secondo Copernico abbiamo già scritto. Qui citiamo ancora una frase dell'introduzione di *De Revolutionibus*: «Così, con l'aiuto di Dio, senza il quale non pos-

¹⁸ Vedasi per esempio on-line: SAVERIO CANTONE, http://www.saveriocantone.net/prof-cantone/fisica/galileo/copernico_DE_RIVOLUTIONIBUS_sottolineato.pdf

¹⁹ «Quod enim a supremo errantium Saturno ad fixarum sphaeram adhuc plurimum inter-sit, scintillantia illorum lumina demonstrant. Quo indicio maxime discernuntur a planetis, quodque inter mota et non mota, maximam oportebat esse differentiam. Tanta nimirum est divina haec Opt[imi]. Max[imi]. fabrica.» https://la.wikisource.org/wiki/Pagina:Nicolai_Copernici_torinensis_De_revolutionibus_orbium_coelestium.djvu/33. Interpretazione: GK

siamo nulla, tenterò di fare indagini più dettagliate su ciò a proposito degli altri astri».

Sull'opera di Copernico è stato detto: “il libro meno letto nella storia”. È un libro pieno di osservazioni, tabelle numeriche, schemi. Infatti, la prima tiratura fu di 200 copie. Solo con Galileo, e il suo *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo tolemaico, e copernicano*²⁰ scritto in italiano, l'opera di Copernico focalizza l'attenzione di tutta l'Europa.

7.6. Galileo: il metodo scientifico

Parlare dei primi istanti dell'Universo, come nel paragrafo 4.9, è estremamente rischioso: la fisica esce dai limiti che essa stessa si è posta all'inizio dell'era moderna. Fu Galileo a formulare il canone della fisica. Aristotele, perfetto nelle osservazioni del mondo animale, non riporta resoconti di nessun esperimento fisico. Ockham, Bacon, San Tommaso rimanevano sempre sul piano metafisico. Solamente nel 1543 viene pubblicato il *De revolutionibus* di Copernico, un vero trattato sperimentale: un rapporto di infinite osservazioni, catalogazioni, calcoli e modelli. Ma fu ancora un libro sul cielo, non sugli oggetti terrestri.

Galileo fu il primo scienziato a non fare ragionamenti astratti ma a proporre degli esperimenti concreti, ben definiti, *ripetibili* in qualsiasi momento della storia (oggi, 400 anni dopo) e in qualsiasi posto: dalla torre di Pisa da qualche turista indisciplinato oppure sulla Luna, dagli astronauti curiosi²¹.

Possiamo scommettere che Galileo buttava sassi dalla torre di Pisa che era pendente²² già nella fase di costruzione. Galileo non descrisse i suoi esperimenti, ben consapevole che non era un esperimento con-

²⁰ G. GALILEI, *Dialogo dei Massimi Sistemi*, a cura di Ferdinando Flora, Oscar Mondadori, Milano 2004. Si consiglia la lettura della concisa (e precisa) introduzione.

²¹ Gli astronauti dell'Apollo 15 portarono sulla Luna una piuma e un martello: fu filmato e trasmesso sulla Terra che i due oggetti, in assenza di aria, cadono in tempi uguali.

²² La Torre per ben un secolo (fino al 1997) rischiava di cadere: inclinandosi costantemente dalla sua costruzione nel XII secolo (per questo motivo i lavori furono sospesi nel XIV secolo), nel XX secolo il suo baricentro era già fuori dalla base. Secondo le leggi della statica avrebbe dovuto essere già caduta. C'è stato un lungo dibattito sul come poterla raddrizzare: tirando, sostenendo, scavando? Alla fine ha vinto un progetto guidato da prof. Andrzej Jamiolkowski del Politecnico di Torino.

sigliabile (e oggi, con le videocamere di sorveglianza è severamente vietato!). Piuttosto propose un modo *verificabile* (anche se la descrizione rimane un po' confusa):

Avanti di ogni altra cosa, bisogna considerare come il movimento de i gravi discendenti non è uniforme, ma partendosi dalla quiete vanno continuamente accelerandosi; effetto conosciuto ed osservato da tutti, fuor che dal prefato autore moderno, il quale, non parlando di accelerazione, lo fa equabile. Ma questa general cognizione è di niun profitto, quando non si sappia secondo quale proporzione sia fatto questo accrescimento di velocità, conclusione stata sino ai tempi nostri ignorata a tutti i filosofi, e primieramente ritrovata e dimostrata dall'Accademico, nostro comun amico: il quale, in alcuni suoi scritti non ancora pubblicati, ma in confidenza mostrati a me e ad alcuni altri amici suoi, dimostra come l'accelerazione del moto retto de i gravi si fa secondo i numeri impari *ab unitate*, cioè che segnati quali e quanti si vogliano tempi eguali, se nel primo tempo, partendosi il mobile dalla quiete averà passato un tale spazio, come per esempio, un canna, nel secondo tempo passerà tre canne, nel terzo cinque, nel quarto sette, e così conseguentemente secondo i succedenti numeri caffì, che in somma è l'istesso che il dire che gli spazii passati dal mobile, partendosi dalla quiete, hanno tra di loro proporzione duplicata di quella che hanno i tempi ne' quali i tali spazii son misurati, o vogliam dire che gli spazii passati son tra di loro come i quadrati de' tempi.

Oggi scriviamo semplicemente

$$s = \frac{1}{2} at^2,$$

dove s è la strada percorsa dall'inizio del moto e t il tempo percorso. Poi, prendendo due successivi momenti t e $t + 1$ (e ponendo per sem-



Fig. 7.2. (a) I lavori, guidati dal professor Jamiolkowski, di “raddrizzamento” della Torre di Pisa; essa era pendente già ai tempi di Galileo. (b) L’idea del moto accelerato è stata ripresa dagli architetti coreani che hanno progettato la torre al Museo delle Scienze di Daejeon in Corea (c) Un bambino si meraviglia che il carrello pesante e leggero scendono con la stessa “velocità”. FOTO MK, lezione GK.

plificare 1 al posto di $\frac{1}{2} a$) si ottiene la distanza percorsa *fra* questi momenti $\Delta s = [(t+1)^2 - t^2] = (2t+1)$ che rimane un numero *dispari* (“caffo”, come scriveva Galileo).

Con Galileo, per la prima volta, alla fisica furono applicate delle leggi matematiche, diverse dagli epicicli di Tolomeo: ruote perfette che giravano a velocità costante. Galileo non usava ancora la simbologia aritmetica, ma aprì la strada verso *I principi matematici della filosofia naturale* di Newton (1688). Citiamo di nuovo E.M. Rogers: «La fisica discese dal cielo sulla terra lungo il piano inclinato di Galileo».

Nel contesto di Galileo, possiamo definire un secondo “rasoio”. Il primo, attribuito a Ockham (anche se non fu espresso direttamente) afferma che non bisogna moltiplicare i concetti al di fuori di quelli necessari. Possiamo esprimere così il “rasoio di Galileo”:

Tutto ciò che non è stato verificato (con un esperimento o con una teoria provata e applicata ad altri fenomeni) non è ancora verificato.

Non meno importanti dalle parole sulla fisica (e astronomia) sono le idee di Galileo sulla *convergenza* tra la scienza e la fede; sia la scienza (immutabile) che la Sacra Scrittura provengono dallo stesso Dio. Nella lettera a don Benedetto Castelli (datata 27/12/1613) scrisse²³:

Stante, dunque, che la Scrittura in molti luoghi è non solamente capace, ma necessariamente bisognosa d'esposizioni diverse dall'apparente significato delle parole, mi par che nelle dispute naturali ella dovrebbe esser riserbata nell'ultimo luogo: perché, procedendo di pari dal verbo divino la Scrittura Sacra e la natura, quella come dettatura dello Spirito Santo, e questa come osservantissima esecutrice de' gli ordini di Dio; ed essendo, di più, convenuto nelle Scritture, per accomodarsi all'intendimento dell'universale, dir molte cose diverse, in aspetto e quanto al significato delle parole, dal vero assoluto; ma, all'incontro, essendo la natura inoscrutabile e immutabile e nulla curante che le sue recondite ragioni e modi d'operare sieno o non sieno esposti alla capacità de' gli uomini, per lo che ella non trasgredisce mai i termini delle leggi imposteli; pare che quello de' gli effetti naturali che o la sensata esperienza ci pone innanzi a' gli occhi o le necessarie dimostrazioni ci concludono, non debba in conto alcuno esser revocato in dubbi per luoghi della Scrittura ch'avesser nelle parole diverso sembiante, poi che non ogni detto della Scrittura è legato a' obblighi così severi com'ogni effetto di natura. Anzi, se per questo solo rispetto, d'accomodarsi alla capacità de' popoli rozzi e indisciplinati, non s'è astenuta la Scrittura d'adombrare di' suoi principalissimi dogmi.

²³ G. GALILEI, *Opere*, Biblioteca Treccani e Il Sole 24 ORE, Milano 2006, p. 594.

Il “processo”²⁴ di Galileo è diventato un caso “bandiera” per tutti i movimenti anti–ecclesiastici, in particolare in paesi non–cattolici. Si dimentica, che nello stesso periodo, un’altro filosofo, scrittore (ed ex–cancelliere dello stato), Tommaso Moro, fu in Inghilterra decapitato per non aver prestato il giuramento alla fede riformata.

7.7. Cartesio: *sensus communis*

Se nei tempi di Cartesio (Renè Descartes, 1596–1650) esistessero gli avvocati di *copyright*, lui sarebbe l’uomo più ricco del mondo: nessun articolo scientifico, nessun paragone statistico, nessuna previsione economica può fare meno del grafico con due assi ortogonali. La matematica è nata in Babilonia e in Egitto nella forma della geometria, poi con matematici arabi, italiani (Fibonacci), francesi (Viète) si formò il calcolo numerico (algebra); con Cartesio le due branche si sono riunite.

Ma Cartesio fu anche un grande fisico e prima di tutto un filosofo. In fisica, prima di Newton formulò le tre leggi di dinamica — anzi, la sua terza legge, sulla quantità di moto che corpi perdono o acquisiscono nelle collisioni, è più chiara che la medesima legge di Newton. In ottica — spiegò l’arcobaleno con principi di rifrazione della luce. Nell’epistemologia Cartesio sviluppò il moderno (cioè occidentale) modello analitico di procedure scientifiche: non fenomeni tutto insieme, ma individuare i problemi particolari e risolverli passo per passo, con dei ragionamenti conclusivi — sì o no.

Cartesio le volte viene associato con la filosofia materialista. In uno di suoi ultimi lavori si domandò sulla “filosofia prima”, cioè sulla teologia. Li pose anche le domande sulla relazione tra l’anima umana e il cervello. In particolare cercava, dov’è nel cervello è posizionato il *sensus comune*, usando la terminologia di Alberto il Magno, cioè le funzioni di ragionamento: Cartesio aveva ipotizzato che nell’amigdala; recentissimi studi²⁵ indicano, che l’amigdala è una specie della centralina del cervello, dove passano non solo i pensieri ma anche le

²⁴ La pena che subì Galileo dopo il processo di 1616 (nb. mancano le firme di certi giudici sul protocollo) era di recitare sette salmi tre volte alla settimana; a causa della cecità dell’astronomo, i salmi potevano essere recitati dalla sua figlia, suora.

²⁵ L. PESSOA, *The Cognitive–emotional Brain. From Interactions to Integration*. MIT Press, 2013.

emozioni. Ma il senso comune non è l'anima: quell'ultima è molto più complessa — governa il corpo, ma lo lascia, quando il calore del corpo svanisce²⁶.

Il detto forse più famoso di Cartesio è: “*Cogito, ergo sum*”. Il suo coetaneo, Pascal scrisse che l'uomo è una canna pensante. Tutti e due come la condizione specifica umana hanno identificato la nostra auto-coscienza: l'unica in tutto il mondo animato.

Il dialogo scritto attorno 1641 e pubblicato postumo, *La ricerca della verità tramite la luce naturale* comincia così: “L'uomo non è tenuto di leggere tutti i libri e imparare tutto quello che si insegna a scuola; anzi, sarebbe persino una mancanza della sua educazione” perché “non avrebbe tempo di compiere delle buone azioni.”

Nella terza delle *Meditazioni Metafisiche* Cartesio parla dell'esistenza di Dio²⁷

22. E quindi rimane la sola idea di Dio, nella quale si deve considerare se vi sia qualcosa che non abbia potuto procedere da me. Col nome di Dio intendo una sostanza infinita, indipendente, sommamente intelligente, sommamente potente, dalla quale sia io stesso, sia ogni altra cosa esistente — se pure c'è qualcos'altro — siamo stati creati. Tutte queste cose sono tali che, quanto più diligentemente le esamino, tanto meno mi sembrano partire da me solo. E quindi in base a ciò che si è detto prima si deve necessariamente concludere che Dio esiste.

Lungi è allora Cartesio dall'ateismo. Come un altro suo connazionale, della stessa epoca di guerre fratricide in Europa, Blaise Pascal.

7.8. Pascal: il mondo immenso

Leonardo da Vinci, Michelangelo, Bramante, artisti rinascimentali vengono definiti come uomini “universali” — con interessi molto ampi, dal genio militare alla pittura. Ma in tutte le epoche i grandi cervelli sono universali. Così fu anche Blaise Pascal (1623–1662). Un giocatore accanito di dadi posò le basi del calcolo di probabilità (che come sappiamo, governano il mondo di meccanica quantistica). Un matematico, filosofo, costruttore del primo calcolatore, scopritore delle leggi di idrostatica.

²⁶ R. CARTESIO, *Passioni dell'anima*, Bonpiani, 2003 (prima edizione francese 1649).

²⁷ R. CARTESIO, *Meditazioni metafisiche*, <http://www.ousia.it/SitoOusia/SitoOusia/TestiDiFilosofia/TestiPDF/Cartesio/CartesioMeditazioni/MeditazioniMetafisiche.pdf>.

Famosi sono due sue riflessioni — sull'uomo che non è che una canna sottile ma una canna pensante, e “la scommessa di Pascal” basata un po' sul calcolo di probabilità: visto la grandezza della possibile ricompensa negli cieli conviene credere. Pascal dedicò diversi di *Pensieri* a questioni religiose. In particolare, si rese conto che l'uomo sta in mezzo tra l'infinitamente piccolo e l'infinitamente grande, e che i limiti dell'universo non sono per noi raggiungibili:

72. Sproporzione dell'uomo

L'uomo contempi dunque tutta la natura nella sua sublime e piena maestà; distolga la vista dagli oggetti che lo circondano. Miri a quella sfolgorante luce che è posta come una lampada eterna per illuminare l'universo; e la terra gli appaia come un punto rispetto al vasto giro che quell'astro descrive, e si stupisca che quel vasto giro non è che una piccolissima parte rispetto a quello descritto da tutti gli astri che ruotano nel firmamento²⁸.

Ma se la nostra vista si ferna lì, l'immaginazione deve procedere oltre; e si stancherà prima lei di immaginare che la natura di darle esca. Tutto questo mondo visibile non è che un impercettibile segmento dell'ampio cerchio della natura. Nessuna idea li si avvicina. Abbiamo voglia di gonfiare le nostre immaginazioni al di là degli spazi immaginabili; riusciamo soltanto a partorire atomi rispetto alla realtà delle cose. E' una sfera infinita in cui centro è dappertutto e la cui circonferenza è in nessuna parte²⁹. Infine, il maggior carattere sensibile della onnipotenza di Dio è il fatto che la nostra immaginazione si perde in questo pensiero.³⁰

Pascal, lo scienziato, si rese conto di limiti di conoscere Dio tramite il ragionamento — serve anche il cuore, cioè la fede.

144. Noi conosciamo la Verità non soltanto con la ragione, ma anche con il cuore. In quest'ultimo modo conosciamo i princípi primi; e invano il ragionamento, che non vi ha parte, cerca d'impugnare la certezza. [...] Infatti, la cognizione dei primi princípi — come l'esistenza dello spazio, del tempo, del movimento, dei numeri — è altrettanto salda di qualsiasi di quelle procurateci dal ragionamento. [...]

Questa impotenza deve, dunque, servire solamente a umiliare la ragione, che vorrebbe tutto giudicare, e non a impugnare la nostra certezza, come se solo la ragione fosse capace d'istruirci. Piacesse a Dio, che, all'opposto, non ne avessimo mai bisogno e conoscessimo ogni cosa per istinto e per sentimento.

²⁸ Nei tempi di Pascal la teoria copernicana era ufficialmente bandita dall'Accademia Francese.

²⁹ Ricordiamo che secondo la cosmologia moderna non possiamo definire né il centro né i limiti dell'universo.

³⁰ B. PASCAL, *Dio o il mondo. I tratti da Pensieri*, a cura di C. Lamparelli, Oscar Mondadori, Milano 2008, p.18.

Ecco perché coloro ai quali Dio ha dato la religione per sentimento del cuore sono ben fortunati e ben legittimamente persuasi. Ma a coloro che non l'hanno, noi possiamo darla solo per mezzo del ragionamento, in attesa che Dio la doni loro per sentimento del cuore: senza di che la fede è puramente umana, e inutile per la salvezza.”

Pascal si rese conto anche di una specie di “principio di indeterminazione” del nostro conoscere Dio: chi vuole credere trova argomentazioni sufficienti, chi non vuole credere, non è costretto di farlo. Vittorio Messori chiama questo principio “chiaro–scuro.” In una fede “forzata” l'uomo non avrebbe bisogno della grazia individuale.

183. La condotta di Dio, il quale dispone tutte le cose con dolcezza, sta nell'introdurre la religione nell'intelletto mediante argomentazioni e nel cuore mediante la grazia. Chi volesse introdurla nell'intelletto e nel cuore con la forza e con le minacce, non vi introdurrebbe la religione ma il terrore, «piuttosto il terrore che la religione».

Dopo la morte di Pascal fu ritrovata una lettera cucita nella fodera del vestito: «Dio d'Abramo, Dio d'Isacco, Dio di Giacobbe, non dei filosofi e dei dotti. Certezza. Certezza, Sentimento, Gioia, Pace. Dio di Gesù Cristo»³¹. Ma questa dichiarazione di fede è ancora debole rispetto a quella pubblicata da Newton nell'appendice al suo rivoluzionario trattato di fisica: *In principi matematici della filosofia naturale*.

7.9. Newton: Dio onnipotente e onnisciente

Isaac Newton è stato uno dei geni indiscussi di tutta la storia dell'umanità. Anche se i suoi interessi non sono stati così ampi come quelli di Aristotele, il suo contributo alla fisica è paragonabile solo a quello di Albert Einstein.

Newton, nato il giorno di Natale 1643 (l'anno di morte di Galileo) era semi-orfano (il padre morto prima della nascita di Isaaco). Incapace di badare alla gregge (leggeva i libri o faceva modelli in legno di mulini e carri) fu mandato a scuola e poi ammesso al Trinity College di Cambridge. In 1667 vinse la posizione del socio minore (*minor fellow*) promettendo di studiare teologia e di prendere i voti sacerdotali³².

³¹ *Ibidem*, p. 11.

³² ROB ILIFFE, *Newton. A Very Short Introduction*, Oxford University Press, 2007, p. 19.

In età adulta lavorò come il capo della zecca dello stato: è stato lui a inventare le rigature sul bordo delle monete, per evitare le rasature sulla circonferenza (cosiddette “tangenti”).

Newton, con la sua straordinaria capacità di osservazione e deduzione, chiarì il sistema copernicano, derivò le leggi di Keplero e predispose il moto delle comete. Fu lui a dare alla fisica, ancora da Galileo una scienza da dialogo, una precisa formulazione matematica — unendo la geometria di Euclide, l’aritmetica e la filosofia naturale, come veniva chiamata la fisica. Ma pur dando una formulazione matematica alla legge di gravità, non spiegò la *natura* dell’interazione gravitazionale. Sicuramente per questo motivo venne criticato. Era in circolazione la teoria di Cartesio, che attribuiva il moto di pianeti a dei giganteschi vortici di una materia invisibile che pervade tutto lo spazio.

La teoria di gravità di Newton si basa sulle forze che agiscono a distanza, nel vuoto cosmico. Allora, alla seconda edizione dei *Principi matematici della Philosophia Naturale* Newton aggiunse una postilla, *Scholium Generale* chiarendo, che la teoria di vortici di Cartesio è un passo indietro rispetto a Copernico e Galileo, che non avevano bisogno di nessuna materia celeste. Ma poi, nel *Scholium*, scritto in latino, fece importanti chiarimenti, rispondendo “perché tutto questo”. In quarto secondo paragrafo dello *Scholium* Newton riassume il moto di sei pianeti, della Luna e delle comete, concludendo in modo simile a Copernico — sull’immensità dell’universo e la logica della sua costruzione³³:

Questa elegantissima compagine del Sole, dei pianeti e delle comete non poté nascere senza il disegno di un ente intelligente e potente. E se le stelle fisse sono centri di analoghi sistemi, tutti questi, essendo costruiti con un identico disegno, saranno soggetti alla potenza dell’Uno.³⁴

È Dio l’origine di questo ordine cosmico, ma non solo l’origine. Diverse filosofie, anche moderne, associano Dio con la natura. Newton risponde: no! Dio è il Signore dell’universo intero — lui lo governa e stabilisce le leggi. Dio, dice Newton in accordo con San Tommaso, è

³³ ISAAC NEWTON, *Principi Matematici della Filosofia Naturale*, a cura di A. Pala, UTET, Torino 1965, p. 793–4.

³⁴ «Elegantissima hæcce solis, planetarum & cometarum compages non nisi consilio & dominio entis intelligentis & potentis oriri potuit. Et si stallæ fixæ sint centra similium systematum, hæc omnia simili consilio constructa suberunt *Unius* dominio: præsertim cum lux fixarum sit ejusdem naturæ ac lux solis, & systemata omnia lucem in omnia invicem distantiam posuerit. Et ne fixarum systemata per gravitatem suam in se mutuo cadant, hic eadem immensam ab invicem distantiam posuerit.» *Ibidem*.

un Essere massimo — perfetto, onnisciente. E anche onnipotente — l’inizio di tutto il succedersi, la causa di transizione tra la potenza è l’atto. Dio non appartiene allo spazio ne al tempo ma lui aveva creato questo spazio e tempo.

Egli regge tutte le cose on come anima del mondo, ma come Signore dell’universo.[...]

E a causa del suo dominio vuole essere chiamato Signore–Dio, pantocratore Παντοκράτωρ. Dio infatti è una parola relativa e si riferisce ai servi: a la divinità è la signoria [dominatio] di Dio, non sul proprio corpo, come vien ritenuto da coloro per i quali Dio è l’anima del mondo, ma sui servi. Dio è il sommo ente eterno, infinito, assolutamente perfetto: ma un ente senza dominio, benché perfetto, non è il Signore Dio. [...]

È eterno e infinito, onnipotente e onnisciente, ossia dura dall’eternità in eterno e dall’infinito è presente nell’infinito: reggo ogni cosa e conosce ogni cose che è o può essere. Non è l’eternità o l’infinità, ma è eterno e infinito; non è la durata e lo spazio, ma dura ed è presente. Dura sempre ed è presente ovunque, ed esistendo sempre e ovunque fonda la duratura e lo spazio.³⁵

Newton dedicò ultimi anni della vita alle questioni teologiche: questo suo interesse non è ben visto da suoi biografi; in fatti, una grande quantità delle sue lettere non sono state ancora pubblicate³⁶. Visto che sulle leggi di Newton — dell’ottica, meccanica, termodinamica si basa tutta la fisica, diamo qui sotto la versione originale in latino di frammenti più importanti dello *Scholium*³⁷: tutto l’insistere di Newton sugli attributi di Dio (che coincidono con quei dati da San Tommaso e da San Paolo, come indica la tesi di Anna Corazza già citata) costituisce una *testimonianza* personale del grande scienziato.

Purtroppo, queste testimonianze vengono messe in discussione, ma non da grandi scienziati, ma di gente comune, “di poca fede”. In Febbraio 2018 un noto professore di fisica dell’Univeristà di York scrisse, sulla rivista prestigiosa di diffusione mondiale “Physics Today” che il conflitto tra la fede e la scienza nuoce in primo luogo la scienza, dando l’esempio proprio di Newton. Uno di lettori, visibilmente un acca-

³⁵ I. NEWTON, *op. cit.*

³⁶ Per una trattazione dettagliata di questioni della fede e della scienza negli scritti di Newton si consiglia una tesi di laurea di ANNA CORAZZA, *Newton. Uno sguardo scientifico su Dio*, Università Ca’ Foscari, Venezia, 2013, <http://dspace.unive.it/bitstream/handle/10579/4099/817428-1165177.pdf?sequence=2>.

³⁷ *The General Scholium to Isaac Newton’s Principia*, 3rd edition (1726), <https://newtonprojectca.files.wordpress.com/2013/06/newton-general-scholium-1726-latin-text-letter-size1.pdf>.

nito contestatore della fede commentò che tutti i grandi, compreso Pascal, Leibniz e Newton, a un certo punto “sono impazziti” dedicandosi alle questioni di teologia. Che strana coincidenza! Proprio i più grandi sono “impazziti”?

absolute perfectum: sed ens utcunque perfectum sine dominio non est dominus deus. Dicimus enim deus meus, deus vester, deus *Israelis*, deus deorum, & dominus dominorum: sed non dicimus æternus meus, æternus vester, æternus *Israelis*, æternus deorum; non dicimus infinitus meus, vel perfectus

^b *Pocockus* noster vocem *dei* deducit a voce *Arabica du*, (& in casu obliquo *di*,) quæ dominum significat. Et hoc sensu principes vocantur dii, *Psalm. lxxxiv. 6.* & *Joan. x. 45.* Et *Moses* dicitur deus fratris *Aaron*, & deus regis *Pharaoh* (*Exod. iv. 16.* & vii 1.) Et eodem sensu animæ principum mortuorum olim a gentibus vocabantur dii, sed falso propter defectum domini.

meus. Hæ appellationes relationem non habent ad servos. Vox deus passim ^b significat dominum: sed omnis dominus non est deus. Dominatio entis spritualis deum constituit, vera verum, summa summum, ficta fictum. Et ex dominatione vera sequitur deum verum esse vivum, intelligentem & potentem; ex reliquis perfectionibus summum esse, vel summe perfectum. Æternus est & infinitus, omnipotens & omnisciens, id est, durat ab æterno in æternum & adest ab infinito in infinitum: omnia regit; & omnia cognoscit, quæ fiunt aut fieri possunt. Non est æternitas & infinitas, sed æternus & infinitus; non est duratio & spatium, sed durat & adest. Durat semper, & adest ubique, & existendo semper & ubique, durationem & spatium constituit. Cum unaquæque spatii particula sit *semper*, & unumquodque durationis indivisibile momentum *ubique*; certe rerum omnium fabricator ac dominus non erit *nunquam, nusquam*. Omnis anima sentiens diversis temporibus, & in diversis sensuum, & motuum organis eadem est persona indivisibilis. Partes dantur successivæ in duratione, coexistentes in spatio, neutræ in persona hominis seu principio ejus cogitante; & multo minus in substantia cogitante dei. Omnis homo, quatenus res sentiens, est unus & idem homo durante vita sua in omnibus & singulis sensuum organis. Deus est unus & idem deus semper & ubique. Omnipræsens est non per *virtutem* solam, sed etiam per *substantiam*: nam virtus sine substantia subsistere non potest. In ipso ^c continentur & moventur universa, sed sine mutua passione. Deus nihil patitur ex corporum motibus: illa nullam sentiunt resistantiam ex omnipræsencia dei. Deum summum necessario existere in confesso est: Et eadem necessitate *semper* est & *ubique*. Unde etiam totus est sui similis, totus oculus, totus auris, totus cerebrum, totus brachium, totus vis sentiendi, intelligendi, & agendi, sed more minime humano, more minime corporeo, more nobis prorsus incognito. Ut cæcus non habet ideam colorum, sic nos ideam non habemus modorum, quibus deus sapientissimus sentit & intelligit omnia. Corpore omni & figura corporea prorsus destituitur, ideoque videri non potest, nec audiri, nec tangi, nec sub specie rei alicujus corporei coli debet. Ideas habemus attributorum ejus, sed quid sit rei alicujus substantia minime cognoscimus. Videmus tantum corporum figuras & colores, audimus tantum sonos, tangimus tantum superficies externas, olfacimus odores solos, & gustamus sapes: intimas substantias nullo sensu, nulla actione reflexa cognoscimus; & multo minus ideam habemus substantiæ dei. Hunc cognoscimus solummodo per proprietates ejus & attributa, & per sapientissimas & optimas rerum structuræ & causas finales, & admiramur ob perfectiones; veneramur autem & colimus ob dominum. Colimus enim ut servi, & deus sine dominio, providentia, & causis finalibus nihil aliud est quam fatum & natura. A cæca necessitate metaphysica,

^c Ita sentiebant veteres, ut *Pythagoras* apud *Ciceronem*, de *Natura deorum, lib. 1.* *Thales, Anaxagoras, Virgilius Georgic. lib. iv. v. 220.* & *Æneid. lib. 6. v. 721.* *Philo Allegor. lib. 1. sub initio.* *Aratus in Phænom. sub initio.* Ita etiam scriptores sacri ut *Paulus* in *Act. xvii. 27, 28.* *Johannes* in *Evang. xiv. 2.* *Moses* in *Deut. iv. 39. & x. 14.* *David* *Psalm. cxxxix. 7, 8, 9.* *Solomon* *1 Reg. viii. 27.* *Job* *xxii. 12, 13, 14.* *Jeremias* *xxiii. 23, 24.* Fingebant autem idolatræ solem, lunam, & astra, animas hominum & alias mundi partes esse partes dei summi & ideo colendas sed falso.

Fig. 7.3. Riproduzione della seconda pagina dello *Scholium generale* nella terza edizione di *Principi* di Newton. FONTE: newton projectca.files.wordpress.com

Oggi, trecento anni dopo lo *Scholium*, non sappiamo ancora qual'è la causa della forza di gravità che agisce a distanze infinite e tiene il mondo insieme. Si potrebbe dire: lo scambio di gravitoni, cioè delle particelle elementari oppure la curvatura dello spazio-tempo, secondo l'equazione di Einstein, ma questo sposta solo la domanda. Di più: non sappiamo, che cos'è la materia oscura, quattro volte di più della materia visibile, che previene che le galassie si "smembrassero" sotto la forza centrifuga. Ancora di più: non sappiamo che cos'è l'energia oscura, quattro volte di più la materia oscura, che previene che l'universo collassasse su se stesso a causa della gravità. Possiamo solo ripetere dopo Albert Einstein: "Sottile è il Signore".

7.10. Laplace: Universo orologio

Le dichiarazioni di Copernico, Galileo e Newton, sul grande disegno di Dio che ritroviamo nell'ordine matematico della natura dovrebbero servire per rafforzare la fede. Ma in certi casi non fu così: Dio che ha progettato il mondo, magari, non si interessa più della sua opera. Una volta il mondo avviato, come un perfetto orologio, va per conto suo? Lo stereotipo comune (*a common belief*, come lo chiama Stephen Snobelen³⁸) attribuisce questa opinione a Newton, ma abbiamo mostrato sopra, che è una semplificazione, che non corrisponde ai contenuti di *Principia*. Fu il fisico e matematico francese, Pierre-Simon de la Place chi ha detto a Napoleone che non ha bisogno della ipotesi chiamata Dio.

Il marchese Laplace (1749–1827) fu prima un sostenitore della Rivoluzione e poi della monarchia assoluta. Portò contributi importanti alla meccanica celeste, alla matematica e fisica teorica.

L'affermazione attribuita a Laplace è: «Datemi le condizioni iniziali e posso prevedere le sorti del mondo intero». Un detto similmente assurdo come quello di Archimede sul punto d'appoggio e la leva che muoverà la terra. La leva di Archimede dovrebbe avere la lunghezza paragonabile alla distanza Terra-Luna, non parlando del punto d'appoggio, che dovrebbe essere più pesante del Giove. Le condizioni iniziali di Laplace, vuol dire le posizioni e le velocità (entram-

³⁸ S. D. SNOBELEN, *The Theology of Isaac Newton's Principia Mathematica: A Preliminary Survey*. Neue Zeitr. Systematische Theologie und Religionphilosophie, Jan.2010, 377.

bi vettori con tre coordinate) di tutti gli atomi del universo. Dove vogliamo registrare queste posizioni per poter eseguire i calcoli? Su tutti atomi dell'altro universo? Non siamo in grado d'identificare neanche i corpi che vagano nel sistema solare: i milioni di asteroidi, di cui il primo, Ceres, fu scoperto da prete siciliano, coetaneo di Laplace, Giuseppe Piazzi.

In verità, neanche Laplace si può giudicare come ateo. Il suo padre voleva che lui diventasse un prete, ma il suo talento matematico prevalse. La riproduzione letteraria del suo detto sul determinismo del mondo non dice “noi” potremmo sapere ma “*Une intelligence qui*” — che potrebbe essere la stessa intelligenza superiore di cui parlava Tommaso nella terza “via”. La domanda di Napoleone non era se esiste Dio, ma se Dio ogni tanto interviene nella macchina dell'universo (*l'intervention de Dieu pour raccommoder de temps en temps la machine du monde*³⁹). La risposta di Laplace fu «non ho bisogno di tale supposizione». Dio non è un orologiaio.

L'universo intero potrebbe andare come un orologio, ma non lo sapremo mai in che direzione. Ma l'esperienza quotidiana, chi la vuole vedere, mostra che Dio si interessa della sua opera, minuto per minuto: magari non di moto di atomi e di pianeti, perché questi non sono molto complessi, descritti dalle *semplici equazioni*, ma dell'uomo, cioè *la sua creatura* più completa, la più sensibile e per questo anche la più fragile. Una creatura, che pure per ragionare ha bisogno della grazia divina, come scrisse un altro “ateo” del *common belief*, cioè Immanuel Kant.

7.11. Kant: un cielo stellato

Nei testi di teologia e filosofia⁴⁰ Immanuel Kant viene associato con la sua confutazione di “prove” dell'esistenza di Dio, come elaborate, per esempio, da San Tommaso. Come con altri pensatori, anche in caso di Kant conviene consultare i suoi testi originali. Per posizionare Kant (e poi anche Einstein) nel quadro scienza ↔ fede abbiamo bisogno di una parentesi personale.

³⁹ https://fr.wikipedia.org/wiki/Pierre-Simon_de_Laplace , citato il lavoro di Hervé Faye del 1884.

⁴⁰ G. SAMEK LODOVICI, *Esistenza di Dio*, Quaderni del Timone, 2004.

La mia prima laurea fu in economia, che comprendeva quella politica. Era fine di anni settanta, quando in Polonia il sistema chiamato socialista si frantumava, di più per l'insufficienza economica che per ragioni politiche. Studiando Marx (e Lenin) ho imparato poco. Molto di più istruttivo fu lo svolgersi di fatti durante questa caduta. I ripetuti, ragionati ma fallimentari tentativi di riformare il sistema comunista di matrice sovietica mi hanno fatto capire, che l'uomo singolo è sempre inserito nel suo ambiente storico, culturale, religioso. In questo ambito un singolo contribuisce al progresso di tutta l'umanità, ma la sua impronta, e ancora di più le sue limitazioni sono determinate dal suo ambiente spazio-temporale. Questa nota riguarda tutti — da Aristotele pre-cristiano ad Albert Einstein, modernissimo.

Kant aveva la cattedra universitaria a Königsberg, che nei tempi di Copernico si staccò dal Regno polacco, visto che l'Ordine Teutonico si convertì alla religione protestante. Nei tempi di Kant, l'Impero di Prussia guadagnava, nel corso di guerre napoleoniche, la sua identità ed importanza, anche quella religiosa, visto che per esempio la Baviera era cattolica.

Lavorando spesso in America, Inghilterra, Corea ho una grande stima per la religione protestante, specie per la sua instancabile forza di portare il messaggio di Cristo a tutti popoli. Ma tornando a Kant, alle spalle del qualsiasi filosofo francese, che sia Cartesio, Pascal o Laplace, si trova il cosiddetto Magistero della Chiesa. Quando esso manca, la ragione deve, per forza, dominare sulla fede, nonostante che la fede rimane presente.

Così dobbiamo anche valutare le tre confutazioni di Kant — della prova cosmologica e della prova fisica, nella *Critica del Ragion Puro*. Fu proprio Immanuel Kant, che nel suo lavoro pre-filosofico (del 1772) lanciò l'ipotesi della formazione del Sistema Solare da un disco di gas (non sapendo ancora, che le nebulose planetarie sono proprio la prova di sistemi simili). Fu anche lui a portare la prova termodinamica, cioè della morte termica dell'universo (in accordo con il tempo "che corrode" di Aristotele) per la Creazione.

Ma in tema dell'esistenza di Dio, Kant viene chiamato con i suoi tre argomentazioni sull'impossibilità di *provare* l'esistenza di Dio tramite "una ragione pura". Semplificando molto, le due prove esaminate, cioè l'ontologica è cosmologica possono essere ricondotte al ragionamento di S. Tommaso sull'essere massimo e sul motore primo delle mutazioni (non solo moto) del mondo. Kant, con il suo rigore di

razionalità, sfruttando le sue categorie di giudizi “sintetici e “analogici” mostra, che i due “prove”, se le riteniamo di essere “prove”, sono mere supposizioni.

La quinta via di S. Tommaso viene da Kant chiamata “la prova fisico-teologica”; anche essa non catalogabile nei schemi rigidi di ragionamento preciso. Ma l’introduzione alla questione recita così:

Il mondo presente si apre un sì immenso teatro di varietà, ordine, *finalità* e bellezza, sia che lo si persegua nella infinità dello spazio, nella sua divisione senza limite, che, anche dopo le conoscenze che il nostro debole intelletto ne ha potuto acquistare, ogni lingua, a tante e incalcolabilmente grandi meraviglie, perde la sue energia, tutti i numeri la loro capacità di misura e i nostri stessi pensieri ogni limitazione, sì che il nostro giudizio sul tutto deve risolversi in un muto, ma appunto perciò tanto più eloquente *stupore*. D’altra parte, noi vediamo una *catena* di effetti e di cause, di *fini* e di mezzi, regolarità nel nascere e nel perire; a poiché nulla è pervenuto da sé nello stato in cui si trova, questo rimanda sempre più in là a un’altra cosa come la sua causa; la quale, a sua volta, rende necessaria precisamente la stessa ricerca, sicché in tal modo l’intero universo dovrebbe sprofondarsi nell’*abisso del nulla*, se non si ammettesse qualche cosa che, fuori di questo infinito contingente, sussistendo per sé originariamente e indipendentemente, sostenga questo contingente e insieme, come causa della sua origine, ne assicuri la durata. Questa *causa suprema* (rispetto a tutte le cause del mondo in tutto il suo contenuto, e tanto meno sappiamo calcolare la sua *grandezza* del paragone con tutto ciò che è possibile. Ma che cosa ci impedisce poiché per la causalità abbiamo bisogno di un Essere ultimo e supremo, di porlo insieme, per grado di perfezione, al di sopra di ogni altro possibile?⁴¹ (sottolineature GK)

Abbiamo già discusso nella parte scientifica che senza il continuo susseguirsi di eventi, senza le forze che ancora oggi sono a noi misteriose, l’intero universo avrebbe sprofondato nel nulla in un battibaleno: Kant arrivò alla stessa conclusione in via di puro ragionamento. Nel brano di Kant (del filosofo) risuona sia la quinta via di S. Tommaso (del teologo) che lo stupore di Copernico (dell’astronomo). Evidentemente, tutto ciò non può essere per caso: diverse sono le vie ma lo stesso punto d’arrivo. Come sottolineato da S. Giovanni Paolo II nell’enciclica “Fede e ragione”: la verità è solo Una.

Ovviamente, Kant non poteva fare riferimenti estesi a Tommaso, dottore e santo della Chiesa Cattolica, ma anche la mente geniale di

⁴¹ I. KANT, *Critica della ragion pura*, II edizione, Riga, 1787, http://www.unife.it/lettere/filosofia/filo.edu/insegnamenti/storia_filosofia/materiale-didattico/a.a.-2010-2011/Kant-critica-della-ragion-pura.pdf, p. 395.

Immanuel contribuisce a un “concordato” tra la scienza e fede. Uno di suoi ultimi lavori, *La religione nei limiti di pura ragione* fu bandito dalla censura del Regno di Prussia, non essendo abbastanza ortodosso con la religione protestante. Sulla grazia divina Kant scrisse così:

Qualsiasi sia il bene, che l’uomo è capace di fare in accordo con i principi della libertà, può essere chiamato Natura, in differenza con quello bene che sgorga dal aiuto pre-eterno, chiamato Grazia. Quell’ultimo epiteto non significa comunque una proprietà fisica diversa dalla Libertà; esso viene usato perché noi sappiamo che è soggetta alle leggi di causalità, mentre succede anche che le prime portano alle ordinate sequenze nei sistemi fisici, la Ragione possiede una bussola semplice e visibile per la guida: e invece toccando qualsiasi effetto della Grazia rimaniamo lasciati nell’ombra; con La Ragione che è completamente ignorante delle leggi di questa operazione. Infatti, tutto che è il sopra-fisico evita lo sguardo della nostra conoscenza, e tra loro ci sono punti trascendentali della cognizione classificati come Moralità, oppure la Santità assoluta.⁴²

E anche nel brano della *Critica della ragion pura* (p. 393) Kant sottolinea, che non sono possibili le “prove” scientifiche, ma solo un’umile fede, che non ha le pretese di essere approvata da tutti e sostenuta dalla grazia (sottolineature GK):

Ma, quantunque noi non abbiamo nulla da opporre alla razionalità e utilità di questo procedere, che anzi abbiamo piuttosto da raccomandarlo e da incoraggiarlo, non per questo, tuttavia, possiamo approvare le pretese che questa specie di prova potrebbe avanzare a una *certezza apodittica* e a un’adesione non bisognosa punto di *grazia* e di *estrinseco* appoggio; né può in alcun modo recar pregiudizio alla buona causa abbassare il linguaggio *dogmatico* di un baldanzoso argomentare fino a tono della moderazione e discrezione proprio di una *fede sufficiente alla pace*, benché appunto non imponente una *sottomissione* incondizionata.

Tenendo conto delle difficoltà di traduzione (e del specifico stile letterario di Kant), il frammento citato rispecchia la già citata opinione di Pascal, che la cognizione di misteri della Fede avviene sia con la Ragione che con la Grazia.

Le parole più famose di Kant sono quelle scritte sulla sua tomba: «Il cielo stellato sopra di me e la legge morale dentro di me».

⁴² I. KANT, *Religion within the boundary of pure reason*, transl. J.W. Semple, ed. Clark, Edinburgh, 1838, p. 272 <https://archive.org/details/religionwithinb00kantgoog/page/n271>.

7.12. La parte mancante

Come descrive la versione inglese della wikipedia, ormai più dettagliata della rinomata *British Encyclopedia*, Kant ha avuto “una maggiore influenza sulla filosofia contemporanea, particolarmente nel campo di metafisica, epistemologia, etica, teoria politica ed estetica”. La stessa voce *Immanuel_Kant* dice che “la natura esatta delle idee religiose di Kant continua ad essere soggetto della disputa filosofica, con punti di vista che spaziano dall’impressione che lui era inizialmente l’avvocato del ateismo che a certo punto aveva sviluppato un argomento ontologico per Dio, alla visione più critica che Nietzsche aveva epitetato come ‘il sangue teologico’ ed era solo un sofisticato apologeta della tradizionale fede Cristiana.”

Fatto sta, che la filosofia di Kant viene evocata anche dalle interpretazioni che hanno rimosso Dio dall’universo. Presto, in corso della storia si è verificato che queste ideologie hanno mostrato il maggior disprezzo per l’Uomo, mai visto in tutto il corso dell’umanità. Per questo motivo lasciamo questi nomi assenti.



Fig. 7.4. Il “socialismo reale” (e altre ideologie atee) ha portato a uno disprezzo dell’Uomo mai visto nella corso della storia. Sul monumento d’avanti i cantieri navali di Danzica (dov’è nato il sindacato “Solidarność”, sulla foto), e dedicato agli operai caduti, il poeta, premio Nobel, Czesław Miłosz scrisse: “Tu, che hai colpito un uomo povero, col riso scoppiando sulla disgrazia, non essere sicuro: il poeta ricorda! Iscritti saranno le parole e opere” ed in aggiunta le parole del salmista: “Il Signore darà la forza al suo popolo; il Signore li darà la benedizione di pace”. FOTO: T. WIERZEJSKI.

7.13. Darwin: l'alito della vita

Il nome di Charles Darwin viene spesso usato come una bandiera del materialismo. Infatti, in una delle sue lettere della tarda età, richiesto con insistenza sulla propria posizione, aveva risposto che si sentiva ateo. Ma l'attenta lettura della sua biografia non lo conferma. Bisogna distinguere chi è ateo, cioè chi non ammette l'esistenza di Dio, da chi sull'esistenza di Dio *non ha dubbi*, ma ragiona sulla Sua natura.

Nell'autobiografia di Darwin troviamo le stesse parole usate da Newton nello *Scholium* sul Dio benevolo, creatore dell'universo immenso e meraviglioso, Dio onnipotente e onnisciente rispetto alle nostre menti limitate⁴³.

Un'essere così potente e pieno di sapienza come Dio che ha potuto creare l'Universo, per le nostre menti finite è onnipotente e onnisciente, e che volta il nostro capire a supporre che la sua benevolenza è incondizionata, per quale vantaggio fa soffrire milioni di animali inferiori attraverso il tempo quasi infinito? Questo vecchio argomento dell'esistenza della sofferenza contro l'esistenza della causa prima intelligente mi sembra forte; invece, come già notato, la presenza di tante sofferenze concorda bene con la visione che tutti gli organismi esistenti si sono sviluppati attraverso la variazione e selezione naturale.

Darwin, nella sua autobiografia usava il termine "prima causa" ed "anima immortale": come Pascal ed Einstein si stupiva della capacità e del volere dell'uomo di guardare lontano e nel futuro: «Quando rifletto così mi sento obbligato a cercare la Causa Prima che abbia la mente intelligente in qualche maniera analoga come l'uomo: allora merito di essere chiamato teista».

In precedenza era guidato da una sensazione come quelle appena descritte (anche se non penso che il sentimento religioso si è sviluppato fortemente in me), a una convinzione forte sull'esistenza di Dio e l'immortalità dall'anima.⁴⁴

⁴³ «A being so powerful and so full of knowledge as a God who could create the universe, is to our finite minds omnipotent and omniscient, and it revolts our understanding to suppose that his benevolence is not unbounded, for what advantage can there be in the sufferings of millions of the lower animals throughout almost endless time? This very old argument from the existence of suffering against the existence of an intelligent first cause seems to me a strong one; whereas, as just remarked, the presence of much suffering agrees well with the view that all organic beings have been developed through variation and natural selection.»
 FONTE: CH. DARWIN, *Autobiografia*, ed. Nora Barrow, Collins, London 1958, p. 90.

⁴⁴ «Formerly I was led by feelings such as those just referred to, (although I do not think that the religious sentiment was ever strongly developed in me), to the firm conviction of the existence of God, and of the immortality of the soul.» *Ibidem*, p. 94.

Un'altra sorgente della convinzione sull'esistenza di Dio, legata alla ragione e non alla sensazione, mi ha colpito, come avente più peso. Questa proviene da una difficoltà estrema, o piuttosto dall'impossibilità di concepire questo universo immenso e meraviglioso, compreso l'uomo con la sua capacità di guardare lontano nel passato e lontano nel futuro, come un risultato di *ceco caso* (*blind chance*) o di necessità. Quando allora rifletto mi sento forzato a guardare la Prima Causa che ha una mente intelligente in qualche grado analoga a quella dell'uomo; e merito di essere chiamato un Teista.⁴⁵

Come nell'anima di ogni uomo (e come nella valutazione di qualsiasi fenomeno), diversi punti di vista si intrecciano. È sbagliato attribuire a Darwin, che (forse involontariamente) scatenò il materialismo nella biologia, una personale visione atea del mondo. E neanche si può definire Darwin un "creazionista".

Lui stesso conclude l'*Origine delle specie* con parole che sembrano copiate dalla *Genesi*:

C'è grandezza in questa visione di vita, con le sue potenzialità, che fu all'inizio *soffiata* in poche o una forma; e quando questo pianeta girava secondo la legge fissa della gravità, da così semplice l'inizio infinite forme bellissime e meravigliose si sono evolute e si stanno evolvendo.⁴⁶

7.14. Einstein: la cosa più difficile

Einstein, dopo aver scritto "al tavolino" (cioè senza dover utilizzare i dati sperimentali) le equazioni che governano l'intero universo, si meravigliò sulle nostre, cioè umane, capacità conoscitive. Disse: "Nell'universo la cosa più difficile da capire è che possiamo capirlo".

Di Albert Einstein bisogna sottolineare che la sua giovinezza che non fu senza qualche difficoltà. Nato nel 1879 a Ulm, nel Regno di

⁴⁵ «Another source of conviction in the existence of God, connected with the reason and not with the feelings, impresses me as having much more weight. This follows from the extreme difficulty or rather impossibility of conceiving this immense and wonderful universe, including man with his capacity of looking far backwards and far into futurity, as the result of blind chance or necessity. When thus reflecting I feel compelled to look to a First Cause having an intelligent mind in some degree analogous to that of man; and I deserve to be called a Theist». *Ibidem*, p. 93.

⁴⁶ «There is grandeur in this view of life, with its several powers, having been originally breathed into a few forms or into one; and that, whilst this planet has gone cycling on according to the fixed law of gravity, from so simple a beginning endless forms most beautiful and most wonderful have been, and are being evolved.» Last words of *Origin of Species*, 1st Edition, Charles Darwin (1859) <http://www.fossilmuseum.net/>.

Baviera che da qualche anno faceva parte dell'impero prussiano. Il padre, un israelita praticante, possedeva una piccola fabbrica di attrezzi elettrici. Viste le difficoltà economiche, si trasferì a Pavia, lasciando il figlio al liceo a Monaco di Baviera. Albert lasciò la scuola, ma non poté ottenere la maturità in Italia. Contro la volontà del padre si iscrisse a Fisica e non a Ingegneria elettrica. In più, si legò a una profuga serba in Svizzera, Mileva, da cui ha avuto la figlia. Solo dopo la morte del padre poté sposarsi, ottenne un posto da impiegato a Berna (la sede accademica a cui mirava fu assegnata a un suo collega), acquisì la cittadinanza svizzera e divenne padre di due maschi. In un anno, il 1905, scrisse quattro articoli che hanno rivoluzionato il nostro mondo.

Albert Einstein fu un uomo credente, anche se fortemente condizionato dalle sue radici culturali: non accettava l'“ingerenza umana” nella religione. Di conseguenza professava una specie di “religione cosmica”, basata sulla sapienza individuale e sulla responsabilità umana.

«Già nei primi gradi dell'evoluzione della religione (per esempio in parecchi salmi di David e di qualche Profeta), si trovano i primi inizi della religione cosmica; ma gli elementi di questa religione sono più forti nel buddismo, come abbiamo imparato in particolare negli scritti ammirabili di Schopenhauer» (*Come io vedo il mondo*⁴⁷, p. 25)

Vediamo nella posizione di Einstein i simili vincoli psicologici che mostrava Kant — della religione acquisita con la nascita oppure “fornita” dallo stato — ma nello stesso tempo vediamo una chiara dichiarazione di fede in Dio. La fede è indispensabile non solo per una nazione, ma prima di tutto per dare un significato alla vita ad ogni singolo individuo. La vita senza fede significa una incapacità di vivere.

Significato della vita

Qual è il senso della nostra esistenza, qual è il significato dell'esistenza di tutti gli esseri viventi in generale? Saper rispondere a una siffatta domanda significa avere sentimenti religiosi. Voi direte: ma ha dunque un senso porre questa domanda. Io vi rispondo: chiunque crede che la sua vita e quella dei suoi simili sia priva di significato è *non soltanto infelice, ma appena capace di vivere*.

⁴⁷ A. EINSTEIN, *Come io vedo il mondo*, trad. R. Valori, Newton Compton Editori, Roma 1975.

Religione cosmica

La più bella sensazione è il lato misterioso della vita. È il sentimento profondo che si trova sempre nella culla dell'arte e della scienza pura. Chi non è più in grado di provare né stupore né sorpresa è per così dire morto; *i suoi occhi sono spenti*. L'impressione del misterioso, sia pure misto a timore, ha suscitato, tra l'altro, la religione. Sapere che esiste qualcosa di *impenetrabile*, conoscere le manifestazioni *dell'intelletto più profondo* e della *bellezza più luminosa*, che sono accessibili alla nostra ragione sotto le forme più primitive, questa coscienza e questo sentimento, ecco la vera devozione: in questo senso, e soltanto in questo senso, *io sono fra gli uomini più profondamente religiosi*. (p. 22, sottolineature GK)

Einstein, come il suo connazionale dello stesso periodo, Max Planck, distingue la fede dalle diverse forme di religioni, tutte basate sulla nostra immagine. Ma Dio risiede nel cosmo intero; noi aggiungiamo: ritroviamo la mente di Dio anche nella bellezza matematica delle equazioni scoperte da Albert.

Dei di forma umana

Tutte queste religioni hanno comunque un punto comune, che è il carattere antropomorfo dell'idea di Dio: oltre questo livello non si trovano che individualità particolarmente nobili. Ma in ogni caso vi è ancora un terzo grado della vita religiosa, sebbene sia assai raro nella sua espressione pura, che è quello della religiosità cosmica. Essa non può essere pienamente compresa da chi non la sente poiché non vi corrisponde nessuna idea di Dio antropomorfo. (p. 25)

Concludiamo con l'affermazione di Albert, che gli scienziati sono profondamente religiosi — non solo nei suoi tempi, ma sembra che sempre: «Non è senza ragione che un autore contemporaneo ha detto che nella nostra epoca, votata in generale al materialismo, gli scienziati sono i soli uomini profondamente religiosi». (p. 28)

7.15. Planck: Un mondo senza religione sarebbe la fine

Kant, nei tempi della Rivoluzione e guerre napoleoniche proponeva la pace globale tra i popoli, Einstein pochi giorni prima della valanga di reciproche dichiarazioni di guerra (in Luglio 1914) fece circolare all'Università di Berlino un manifesto pacifista (firmato solo da un'altro collega). Ma fu il fondatore della meccanica quantistica, Max Planck, a vivere i tempi più duri e soffrire tragedie personali (un figlio morto

in Prima Guerra Mondiale, un altro fucilato per l'attentato del 1944). Ed è proprio Max Planck a diventare l'icona della scienza post-bellica in Germania (prestando il nome all'ente nazionale di ricerca): non solo per le sue scoperte scientifiche, ma prima di tutto per aver mostrato la fede ferrea nell'epoca più buia dell'umanità.

Fu la lezione di Planck, giovedì 14 Dicembre 1900, a Berlino a iniziare l'era la fisica moderna. Lord Kelvin ancora pochi anni prima sosteneva che la fisica del XX secolo avrà l'unico compito di perfezionare la precisione della fisica precedente: come si è visto ben presto — niente più sbagliato. La meccanica quantistica e la relatività di Einstein hanno mostrato che fisica classica è solo un'approssimazione del mondo reale. A metà del XX secolo anche l'elettromagnetismo di Maxwell fu corretto per fenomeni quantistici. Oggi, noi fisici, sappiamo, per esperienza, che «il disegno di Dio è impossibile da capire con la nostra mente limitata», come diceva Kant. Ma Planck fu non solo lo scienziato, ma anche filosofo della scienza⁴⁸.

Planck, all'apice di nazismo (in Maggio 1937, dopo "l'Anschluss" di Austria) tenne una lezione pubblica intitolata "La religione e le scienze naturali", spiegando tra altri argomenti le scoperte recenti di fisica. Ma le più significative sono i suoi giudizi sull'importanza della fede, sia per l'uomo singolo che per le società intere. Per Planck, la Religione è in legame, un'unione, un colante dell'Uomo a Dio. «Religion ist die Bindung des Menschen an Gott». La religione è sì, la „cosa“ privata dell'uomo, ma è ugualmente importante per la società, anzi, l'umanità intera. E Dio è eterno ed onnipresente, come fu per S. Tommaso, Newton e Kant.

Non solo ogni uomo ha la sua propria religione, ma la religione presenta un valore e l'importanza per una comunità più grande, per un popolo, per una razza, e nello stesso modo per l'intera umanità.

Un uomo credente trova la risposta alla domanda se Dio esiste, prima che comparve l'uomo sulla terra, che è Lui a tenere tutto il mondo dall'eternità, credenti e non credenti, nella sua mano onnipotente, e che è immutabile sul Suo trono inaccessibile, e sarà, anche quando la terra con il tutto che contiene, non esisterà più.⁴⁹

⁴⁸ Per una biografia concisa e interdisciplinare di Max Planck si consiglia *Planck. La teoria quantistica. La rivoluzione dell'infinitamente piccolo*, di A.T. PÉREZ IZQUIERDO, RBA, Milano 2014.

⁴⁹ «Nicht etwa hat jeder Mensch seine eigene Religion, vielmehr beansprucht die Religion Gültigkeit und Bedeutung für eine größere Gemeinschaft, für ein Volk, für eine Rasse, ja in letzter Linie für die gesamte Menschheit. [...] Der religiöse Mensch beantwortet die Frage

Nel libro stampato in 1932 negli Stati Uniti *Dove va la scienza* Planck discute sia il progresso scientifico, sia le questioni filosofiche, specie il principio di causalità, determinismo e il libero arbitrio dell'uomo. A metà del volume (p. 168) Max Planck afferma l'importanza delle religioni per l'uomo, per la società, e anche per la scienza:

Però l'uomo ha bisogno di indicazioni fondamentali per condurre l'esistenza quotidiana, e questo bisogno è molto più pressante che la fame delle conoscenze scientifiche. Un'azione singola è spesso molto più significativa per un essere umano che tutta la sapienza del mondo messa insieme. [...]

La religione appartiene alla realtà che è inviolabile di fronte alla legge di causalità e per questo rimane vicina alla scienza. Lo scienziato deve riconoscere il valore della religione in se stessa [...]. Penso che maggior parte di scienziati sarà d'accordo e alzerà loro mani contro il nichilismo religioso come distruttivo anche per la scienza.

Non può essere mai una reale opposizione tra la scienza e religione: perché uno è complemento dell'altro. Ogni persona seria e riflessiva si rende conto, penso, che l'elemento religioso nella sua natura deve essere riconosciuto e coltivato se tutte le capacità dell'anima umana dovessero agire insieme nel perfetto equilibrio e armonia. E, davvero, è non per caso che i maggiori pensatori in tutte le epoche erano anche le anime profondamente religiose, anche se non hanno mostrato pubblicamente i loro sentimenti religiosi.”⁵⁰

Ma la religione, anzi — il sopruso del nome di Dio (come dice Roberto Begnini nel suo memorabile monologo televisivo *Il Decalogo*) fu la causa di conflitti sanguinosi? Sì, ma la mancanza di fede nella società è un male ancora peggiore. Planck, nel discorso del 1937, dopo aver spiegato l'importanza della religione e il contributo (non contraddittorio con essa) della fisica moderna, si scaglia contro il dogmatismo, contro l'ateismo, contro la superstizione — che arrivano quando manca la fede.

Parole conclusive del fondatore della fisica moderna, Max Planck, sono una specie di manifesto: «In una guerra infinita contro lo scet-

dahin, daß Gott existiert, ehe es überhaupt Menschen auf der Erde gab, daß er von Ewigkeit her die ganze Welt, Gläubige und Ungläubige, in seiner allmächtigen Hand hält und daß er auf seiner aller menschlichen Fassungskraft unzugänglichen Höhe unveränderlich thronen bleibt, auch wenn die Erde mit allem, was auf ihr ist, längst in Trümmer gegangen sein wird.» M. PLANCK, *Religion und Naturwissenschaft*, Vortrag gehalten im Baltikum (Mai 1937), p. 8. <https://psychomedizin.com/medien/pdf/max-planck.pdf>.

⁵⁰ M. PLANCK, *Where Science Is Going?* W. W. Norton, New York 1932. https://archive.org/stream/whereissciencego00plan_0#page/2/mode/2up, vedi anche: M. PLANCK, *The Universe in the Light of Modern Physics*, G. Allen & Unwin, London 1931, <https://archive.org/details/universeinthelig032967mbp/page/n9>.

ticismo e contro il dogmatismo, contro la malafede e la superstizione, la religione e scienza agiscono insieme, e la parola d'ordine in questa lotta è e sarà sempre la stessa: Vai da Dio! ».⁵¹

7.16. Barrow & Tipler: Il principio antropico

Il principio antropico è una formulazione filosofica (e scientifica) del meravigliarsi sull'esistenza dell'universo e del nostro posto in esso. È lo stupore che abbiamo letto in opere di S. Tommaso, Copernico, Pascal e Darwin. È una strana "coincidenza" tra le leggi della cosmologia, fisica, chimica e biologia è il nostro "accomodarsi" in questo mondo esterno.

Il libro intitolato "Il principio antropico" pubblicato nel 1986 da due eminenti fisici teorici, John Barrow e Frank Tipler costituisce una base scientifica per la comprensione moderna del posto dell'uomo nell'universo. Partendo dalla tradizione filosofica (Aristotele, San Tommaso), gli autori si lanciano su un percorso molto dettagliato di fisica (e molto difficile per i non addetti ai lavori)

Gli argomenti portati spaziano da fisica nucleare, fisica atomica, cosmologia, chimica. Per primo, Barrow e Tipler calcolano l'età dell'universo giusta per avere l'abbondanza di carbonio. Come abbiamo ricordato, il carbonio con suoi quattro elettroni (di "valenza") permette la costruzione di quasi un'infinità di composti organici, che a sua volta possono svolgere tante diverse funzioni biologiche. Ma le caratteristiche chimiche e nucleari di carbonio appartengono a due rami di scienza che non sono per niente "coordinati". Sembra, che per "puro caso" il carbonio viene sintetizzato in abbondanza nelle stelle, che però non possono essere troppo giovani (in quelle viene sintetizzato solo l'elio) né troppo vecchie, piene di ferro.

Così, da una semplice formula matematica che contiene la massa di protone, costante gravitazionale, la costante di Planck e la velocità di luce (Barrow, Tipler, p. 42), si ottiene l'età dell'universo "ospitabile" per la vita — che sono circa 10 miliardi d'anni: esattamente l'età del "nostro" Universo.

⁵¹ «Es ist der stetig fortgesetzte, nie erlahmende Kampf gegen Skeptizismus und Genge Dogmatismus, gegen Unglaube und gegen Aberglaube, den Religion und Naturwissenschaft gemeinsam führen, und das richtungweisende Losungswort in diesem Kampf lautet von jeher und in alle Zukunft: Hin zu Gott!» M. PLANCK, *Religion und Naturwissenschaft*, op. cit.

Però per sintetizzare il carbonio dentro le stelle non basta un ammasso di materia stellare — servono anche dei processi particolari: il carbonio (massa nucleare 12) equivale a tre nuclei di elio (massa 4). Collisioni a tre corpi sono estremamente poco probabili. Ma la “natura” ha inventato uno stato di transizione — nucleo di berillio (massa 8) che per una “coincidenza” vive abbastanza lungo (e ha dei livelli energetici opportuni) per permettere la sintesi di carbonio.

Il libro di Barrow e Tipler, sicuramente uno di più importanti dopo Copernico, è pieno di formule fisiche e descrizioni di processi, che tutti insieme formano un principio antropico — non filosofico o teologico ma scientificamente argomentato (non “provato” perché questo andrebbe contro il principio di Pascal e Messori di “chiaro-scuro”).

Barrow e Tipler hanno formulato anche il loro Principio Antropico Ultimo, oltre a ben identificati in filosofia principio debole (l’Universo è fatto così che *era possibile* la comparsa dell’uomo⁵²) e il principio forte⁵³ (l’Universo è fatto così per *permettere* la comparsa dell’uomo). Il principio antropico ultimo (PAU) dice, che la comparsa dell’uomo cambia la sorte dell’Universo per sempre.

«Principio antropico ultimo: Nell’universo deve necessariamente svilupparsi elaborazione intelligente dell’informazione, e una volta apparsa essa non si estinguerà mai.» (p. 47)

Scrivono Giancarlo Cavallieri nel «Timone», la rivista di informazione e formazione apologetica nel articolo “L’universo? È progettato a misura d’uomo” scrive⁵⁴: «La teoria fisica del principio antropico mostra che i valori delle costanti fisiche fondamentali sono gli uniche consentono la vita e l’origine dell’uomo ed esigono l’esistenza di un Progettista. Le teorie alternative incorrono in assurdità».

Barrow e Tipler, essendo due scienziati, devono rimanere un po’ di più a “disparte”. Così precisano:

⁵² «Principio antropico debole: I valori osservati di qualunque grandezza fisica e cosmologica non sono tutti ugualmente probabili, ma sono soggetti alla restrizione che esistano luoghi dove possa evolversi una vita basata sul carbonio e che l’universo sia vecchio abbastanza perché ciò sia già avvenuto.» J.D. BARROW, F.J. TIPLER, *Il principio antropico*, Adelphi Edizioni, Milano 2002, p. 40.

⁵³ «Principio antropico forte: L’universo deve avere quelle proprietà che consentono lo sviluppo della vita al suo interno, a qualche stadio della sua storia», *Ibidem*, p. 46.

⁵⁴ G. CAVALLIERI, *L’universo? È progettato a misura d’uomo*, «Il Timone», Maggio 2004, p. 50–51.

Ci sembra opportuno ripetere che tanto il PAU quanto il PAF sono mere congetture: nessuno dei due va considerato come un principio fisico ben stabilito. Al contrario il PAD è una riformulazione, sia pure in forma più sottile, di uno dei principi scientifici più importanti a consolidati: è importante tener conto delle limitazioni del proprio apparato di misura quando si valutano i risultati delle proprie osservazioni. (p. 48)

Le affermazioni su qualsiasi formulazione del principio antropico richiede molto ampia a profonda base scientifica, interdisciplinare. Tuttavia, con l'accumularsi di nuove evidenze l'argomento viene ripreso, non solo nei tesi filosofici, ma nelle riviste strettamente scientifiche. Un recente esempio è un articolo di rassegna pubblicato da Luke Barnes, fisico e astronomo presso la prestigiosa ETH di Zurigo e l'Università di Sydney.

Un grafico, riportato in quell'articolo (e citato su diversi siti internet⁵⁵), mostra un intervallo molto stretto di costanti atomiche che unicamente permettono l'esistenza del nostro universo. Variando un po' il rapporto della massa di protone rispetto a quella dell'elettrone (che ammonta nel nostro universo a 1837) e della forza elettrostatica di due

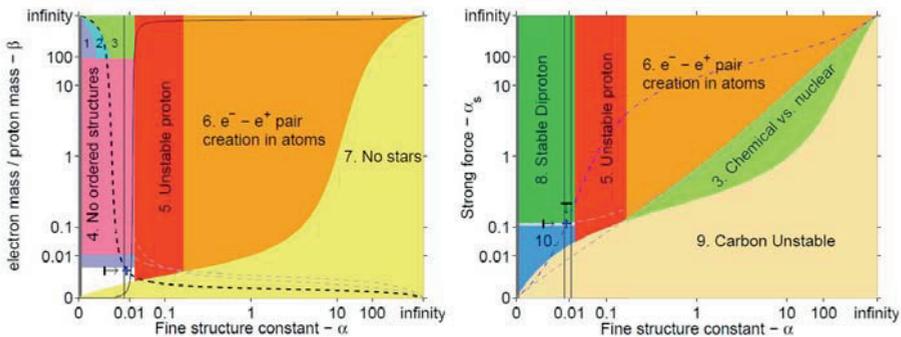


Fig. 7.5. Le coordinate fisiche di universi possibili (diversi colori) e le zone “abitabili”, cioè “antropiche” (colore bianco). (a) Le coordinate di fisica atomica — la massa di protone e elettrone vs. la forza di loro interazione: giallo — non esistono stelle, arancione — non esistono atomi, rosso — non esiste il protone ecc. (b) Le coordinate di fisica nucleare — la forza di interazione tra neutrone e protone vs. la forza elettromagnetica (semplificando): beige — non esiste carbonio, verde — non si forma elio, ecc. FONTE: L.A. BARNES “The Fine-Tuning of the Universe for Intelligent Life”, *Astronomical Society of Australia*, 29 (2012) 529–564.

⁵⁵ Per esempio: <https://crossexamined.org/fine-tuning-particles-support-life>, il grafico proviene dall'articolo di L.A. BARNES “The Fine-Tuning of the Universe for Intelligent Life”, *Astronomical Society of Australia*, 29 (2012) 529–564, <https://arxiv.org/pdf/1112.4647.pdf>. Quell'articolo porta altre “coincidence” che permisero la vita intelligente nell'Universo.

elettroni ($1/137$ in unità di $\hbar c$) si entra nelle zone di “impossibilità”: diventa impossibile l’esistenza di atomi o l’esistenza delle stelle, o l’esistenza delle strutture ordinate (cioè biologiche). La condizione per l’esistenza di sistemi planetari attorno le stelle pone ulteriori limiti sulle due costanti fisiche. Tutto sommato, il grafico di stabilità atomica non tiene ancora il conto delle costanti cosmologiche: della forza di gravità e della velocità di espansione dell’ universo (cioè dell’energia oscura). Come sono legate le costanti cosmologiche con quelle atomiche, i fisici non sanno ancora rispondere.

Antonino Zichichi⁵⁶, fisico nucleare, già direttore del CERN, usa un’altro linguaggio per descrivere la fisica “antropica” — per spiegare la differenza tra il campo elettrico (che lega elettroni e protoni in un atomo) e campi all’interno del protone.

Ecco dove interviene Colui che ha fatto il mondo. Un protone consta di tre particelle, dette quark. Queste sono incollate a un tipo di forza che è radicalmente diversa da quella elettromagnetica. La forza tra particelle elettricamente cariche diminuisce all’aumentare del quadrato della distanza tra le cariche elettriche. La forza che agisce tra quark non diminuisce, aumenta all’aumentare la distanza tra i quark. Quando i quark si trovano a una distanza pari a un decimo di millesimo di miliardesimo di centimetro la forza di attrazione tra i quark diventa enorme (quasi infinita). Ecco una proprietà delle forze *non-abeliane*⁵⁷. Se atomi e molecole fossero legati da forze *non-abeliane* una pietra presa a martellate non potrebbe rompersi. Né potrebbe esistere il sugo di pomodoro, essendo questo sugo il risultato della rottura di legami atomico-molecolari. Per fortuna Chi ha fatto il mondo ha dato alle Forze Elettromagnetiche proprietà abeliane. Ecco perché esistono colori, sapori, tatto, gusto, olfatto, vista. E ha dato a quark e gluoni proprietà *non-abeliane*. Ed ecco perché protoni e neutroni sono materia fortemente compatta: esattamente come a noi serve per essere come siamo. (p.62)

Il libro di *Genesis* racconta non solo i fatti avvenuti ma anche la loro valutazione: «E Dio vide che era una cosa buona». L’esistere (la ontologia) è legato al volere morale (l’etica). Tippler e Barrow, il fisico e il matematico fanno un commento simile:

⁵⁶ A. ZICHICHI, *Perché io creo in Colui che ha fatto il mondo. Tra Fede e Scienza*. il Saggiatore, Milano 1999.

⁵⁷ Zichichi usa l’aggettivo che si riferisce alle proprietà matematiche piuttosto che alle proprietà fisiche. Un gruppo non-abeliano è costituito dalle operazioni matematiche di cui ordine non si può cambiare.

Il PAU è un'affermazione sul mondo fisico e per ciò stesso non ha contenuto etico o morale. Tuttavia è strettamente collegato ai valori morali, poiché la sua validità costituisce la preconditione fisica perché tali valori possano sorgere e permanere nell'universo: in un universo privo di vita non potrebbe esistere nessun valore morale. Il PAU sembra inoltre implicare un cosmo miglioristico. (p.47)

Nel corso del tutta loro opera, i due scienziati non fanno riferimenti specifici alla religione (salvo la discussione al livello filosofico), ma l'ultima frase della citazione sopra ha chiari connotati cristiani. *Il principio antropico* è un libro estremamente difficile. Ma costituisce una pietra miliare, che racchiude il nostro sapere scientifico presente, discusso in un ampio contesto filosofico.

7.17. Davies: Dio e la Nuova Fisica

Appellarsi a Dio in un libro sulla fisica senza dubbio allarga il cerchio di possibili lettori incuriositi. Così abbiamo diversi titoli che invocano Dio: *Dio e la Nuova Fisica* dello scienziato inglese Paul Davies, *Perché credo in Colui che ha creato la terra e i cieli* del fisico nucleare italiano Antonino Zichichi, *Capire la Bibbia con la Fisica*, del neozelandese Stedman⁵⁸ e tanti altri⁵⁹.

Come il lettore vede anche da questo testo, è molto difficile scrivere un libro che seriamente spieghi sia i problemi della scienza che quelli della filosofia. Altrettanto difficile è separare e/o coniugare nella vita privata e professionale la fede e il lavoro scientifico.

Ian Barbour nel libro *Le vie di relazione tra scienza e religione*⁶⁰ ha elencato quattro possibili relazioni tra la scienza e la religione: i) conflitto, ii) confronto, iii) parallelismo, iv) sinergia.

Ma questo elenco non coglie le possibili sfumature di relazioni che un singolo scienziato sviluppa sotto la propria calotta cranica. Senza dubbio, come già mostrato, Copernico, Galileo e Newton, i fondatori

⁵⁸ GEOFFREY ERNEST STEDMAN, "An Orthodox Understanding of the Bible with Physical Science", Eloquent Books, Durham 2012.

⁵⁹ Altri titoli, come "The Physics of God: Unifying Quantum Physics, Consciousness, M-Theory, Heaven, Neuroscience and Transcendence" by J. SELBIE (2017) sono ancora più affascinanti. Purtroppo, non sempre il fascino del titolo coincide con la precisione di narrazione.

⁶⁰ I. BARBOUR, *Ways of Relating Science and Religion*, in: I. Barbour, *Religion in an Age of Science*, Harper, San Francisco, 1990; per una discussione ampia vedi anche MARIANO ARTIGAS, *La mente del Universo*, Fundacion Universitaria de Navarra, Navarra 1998.

della fisica come materia scientifica furono uomini di profonda, sincera fede. Gli doleva un possibile danno che una lettura superficiale di loro trattati possa recare alla solidità del dogma cristiano.

Ma partendo dall'Illuminismo non fu così: tanti di scienziati e filosofi, per un o un altro, spesso non dichiarato motivo, combattevano contro Chiesa. "Il Candido" di Voltaire, in cui si narra di gesuiti i cannibali è un esempio eclatante. Così, verso la fine del XVIII secolo comparve una fila di filosofi, partendo da Hegel, che si dichiaravano, chi di più chi di meno, antagonisti della fede. Si intuisce chiaramente il loro atteggiamento dal modo di scrivere.

Paul Davies, che non si dichiarò mai non-credente (ma neanche credente), sulla questione dell'inizio del mondo mette la fede in una luce ridicola: «L'idea di un Dio creatore che con un atto di volontà ha fatto sì che l'universo esistesse è profondamente radicata nella cultura giudaico-cristiana. Però si è visto che questa convinzione pone più problemi di quanti ne risolva, come è dimostrato dalle secolari controverse dei teologi». (p. 69)

Sulle simile posizioni fu, recentemente scomparso, Stephen Hawking, molto mediatico: dichiarava che la (sua) fisica non ha bisogno di Dio. Da questa convinzione nascono le ricerche, fuori dalla metodologia di scienza galileana (che può essere sperimentale o teorica, ma sempre verificabile) sugli universi paralleli, su Big Crunch (la fine dell'universo in una implosione), sull'esistenza del mondo prima del Big Bang ecc. Nessuna di queste invenzioni fu verificata — anzi, l'universo si espanderà almeno per altri centinaia di miliardi d'anni, il Big Bang è posizionato con grande certezza a 13,78 miliardi di anni fa, ecc. Dal punto di vista del fisico sperimentale, e usando il cosiddetto "rasoio di Ockham" — Big Crunch, universi paralleli ecc. semplicemente non esistono, perchè non esiste la ricetta, come verificarli in modo sperimentale. «È l'esperimento la prova conclusiva di qualsiasi teoria» — diceva Einstein.

Lo stile di tanti "divulgatori" scientifici segue in simile paradigma: presentiamo un insieme complesso di fatti scientifici, quelli meno intuitivi, aggiungiamo qualche nome di scienziato, non necessariamente di prima fila, ma meglio se di qualche università prestigiosa. Non risulta nessuna idea chiara da questi discorsi, ma è importante concludere: «Infatti, abbiamo detto proprio così». Citando Davies:

La difficoltà principale rimane la natura del tempo. Oggi sappiamo che il tempo è inestricabilmente collegato allo spazio, e che lo spaziotempo fa parte dell'universo così come ne fa parte la materia. Come si vedrà nel capitolo IX, anche il tempo ha le sue leggi che lo governano: il tempo fa parte della fisica. Se il tempo appartiene all'universo fisico e obbedisce alle leggi di fisica, ne consegue che il tempo è compreso in quell'universo che Dio dovrebbe avere creato. Ma ha senso dire che Dio è *causa* del tempo quando l'esperienza ordinaria ci insegna che la causa precede sempre l'effetto?

Tali affermazioni sembrano corrette (se anche tra lo spazio e il tempo non c'è piena simmetria, come abbiamo detto, il tempo con difficoltà si percorre all'indietro): il tempo, lo spazio, la materia fanno parte della fisica. Ma nessun teologo ha mai affermato che anche Dio fa parte della fisica (come potrebbe suggerire il titolo del libro...).

Gli stessi ragionamenti nella *Città di Dio* di San Agostino danno l'esito opposto: Dio esiste al di fuori del tempo e dello spazio, così non ha senso dire che Dio ha deciso a un certo punto creare il mondo:

4.2. Ma perché Dio eterno ha voluto a un certo punto creare il cielo e la terra che prima non aveva creato? Coloro che pensano così, se intendono che il mondo è eterno senza alcun inizio e che quindi non è stato creato da Dio, sono molto lontani dalla verità e sragionano a causa della funesta malattia della irreligiosità. A parte le parole della Scrittura, il mondo stesso con l'ordinato divenire e movimento e con la grande bellezza di tutte le cose visibili in certo senso afferma tacitamente che è stato creato e che poteva esser creato soltanto da un Dio di grandezza e bellezza inesprimibile e invisibile. Altri invece sostengono che il mondo è stato creato da Dio, ma che non ha avuto l'inizio del tempo ma della sua esistenza. Direbbero con un concetto appena comprensibile che è stato creato nell'eternità. Costoro, è vero, esprimono una teoria con cui ritengono di difendere Dio da un atto di fatale sconsideratezza. Non si dovrebbe credere, cioè, che gli sia venuta all'improvviso in mente l'idea, che prima non aveva, di fare il mondo e gli si sia presentata incidentalmente la decisione mai avuta, giacché è del tutto immutabile. [...] Credano dunque che il mondo ha potuto esser creato nel tempo e che non per questo tuttavia Dio, nel crearlo, ha mutato l'eterno ordinamento del suo volere. [...] Se poi dicono che sono insensati i pensieri umani con cui si immaginano spazi infiniti, giacché non esiste spazio fuori del mondo, si risponde loro che per la stessa ragione insensatamente gli uomini pensano ai tempi passati di un'inattività di Dio, giacché non esiste tempo prima del mondo. [...] Dio, nella cui eternità non si ha alcun divenire, è creatore e ordinatore del tempo. [...] Dunque senza dubbio il mondo non è stato creato nel tempo ma col tempo.

7.17.1. Ancora sulla “morte termica” dell’Universo

Abbiamo cominciato il discorso sull’eternità del mondo dagli argomenti di Aristotele sulla “freccia” del tempo (“il tempo da sé porta alla corruzione”) e di Kant (“un universo eterno sarebbe già morto”). In termini moderni queste osservazioni rientrano nelle leggi della termodinamica: l’entropia dell’universo aumenta in continuazione.

Ma nello stesso tempo in cui si completava la termodinamica (ad opera di Boltzmann a Graz), a Berna nasceva $E=mc^2$ con le sue conseguenze: gli astri, che da una materia inanimata producono la radiazione elettromagnetica, che poi esseri viventi usano per loro costruzioni (biologiche, architettoniche ecc.). Con l’azione di fiori, formiche, filosofi l’entropia diminuisce: vengono prodotti artefatti belli, utili, logici.

Tanti fisici (e informatici) si sono dati da fare per rispondere alla domanda sulla freccia termodinamica del tempo. Gell–Mann, che completò il quadro di particelle elementari con suoi quark, nel libro *Il giaguaro e quark* si domanda⁶¹ come l’informazione acquisita influisca sull’entropia, e cita i lavori del famoso fisico quantistico Charles Bennett:

Il dispositivo può effettivamente usare l’informazione registrata per far passare calore da un oggetto freddo a uno caldo [invertendo in questo modo la freccia di tempo], purché il dispositivo abbia a disposizione carta bianca o nastro libero. L’entropia del sistema composto dagli oggetti caldo e freddo viene così diminuita, ma la prezzo di consumare la carta o il nastro. [...] Infine il dispositivo esaurirà lo spazio di registrazione, cosicché a lungo termine, quando le registrazioni saranno cancellate per lasciar posto ad altre, il secondo principio della termodinamica verrà ripristinato. (p. 237–8).

Qui Gell–Man tocca un argomento importante: l’informazione. Il principio di “indeterminazione” di Heisenberg non è altro che il principio di mancata informazione: l’elettrone “sa” dove andare, siamo noi a non poter prevedere dove andrà. La “relatività” di Einstein non toglie il determinismo, ma limita il nostro accesso all’informazione lontana

⁶¹ Notiamo che il linguaggio di Gell–Mann rimane estremamente ermetico: «Data una grana grossa appropriata, possiamo ricondurre la freccia termodinamica del tempo alla condizione iniziale semplice dell’universo e alla condizione finale di indifferenza implicita nella formula quantomeccanica per le probabilità di storie a grana grossa decorrenti dell’universo». M. GELL–MANN, *Il quark e il giaguaro*, Bollati Boringhieri, Torino 2000, p. 261.

nello spazio e tempo. Esperimenti degli ultimi anni⁶² hanno mostrato che disponendo dell'informazione è possibile invertire il secondo principio di termodinamica. Ma! sempre “disponendo d'informazione”, cioè acquisendola e elaborandola. Nel mondo materiale presto mancheranno gli atomi volendo saper tutto. La mente Divina invece non fa parte del mondo fisico...

7.18. Messori: Qualche ragione per credere

Diverse persone mi hanno indotto alla stesura di questo libro — tra quali dott. Vittorio Messori, a cui avevo rivolto la domanda, ormai ventanni fa, perchè non scrivere un libro sulla scienza e fede. Mi aveva riposto: “Sì! ma come si fa”. Infatti, la scienza è diventata ermetica, come sottolinea un altro Italiano, già citato prof. Antonino Zicchichi⁶³:

Le torri d'avorio dei nostri laboratori scientifici sono stracolme di affascinanti opere: capolavori straordinari di incredibile potenza intellettuale. Le conquiste delle Scienze sono però rimaste, quasi sempre, privilegio esclusivo di una cerchia ristrettissima di specialisti. [...] Quando una conquista intellettuale — sia di natura rigorosamente scientifica, sia di origine esclusivamente non scientifica — rimane nel mondo delle cose sconosciute ai più, essa, pur essendo nota a un gruppo di specialisti, non entra a far parte di ciò che si chiama cultura.

D'altra parte, a causa del timore di non essere capiti, le scoperte scientifiche nelle divulgazioni vengono banalizzate, i dubbi degli scienziati accuratamente nascosti, i ponti con il pensiero precedente — sia fisico che filosofico — bruciati.

Convieni allora, finendo la lettura del libro scientifico, attingere alla cultura umanistica, che non solo completa quella scientifica, ma la rende meno materiale, mirata più verso il cielo. La Fede aiuta il fisico come persona. Ma se uno insiste, la Fede non è necessaria per la congruenza matematica della fisica come scienza.

⁶² E. LUTZ, S. CILIBERTO, *Information: From Maxwell's demon to Landauer's eraser*, «Physics Today» 68/9 (2015) p. 30.

⁶³ A. ZICCHICHI, *Perché io credo in Colui che ha fatto il mondo. Tra Scienza e Fede*, Il Saggiatore, Milano 1999, p. 98.

Sulla domanda dell'eternità del mondo risponde Vittorio Messori nel *Qualche ragione per credere* (p. 272):

La soluzione dell'enigma sta nel nostro essere «impriogionati nel tempo e nello spazio». È in queste dimensioni, infatti (e in queste soltanto), che si dipana la catena causa–effetto. La «Causa Prima» ne è fuori: Dio è l'Eterno e l'Infinito per eccellenza. È, per definizione, «il Fuori–Serie»: non è il primo anello della serie lineare delle creature di cui è lui il Creatore.

Sul Dio–mondo (i.e. il panteismo) continua così: «Per noi, invece, Dio è nel mondo, fino a punto di esservi incarnato come uomo; ma al contempo, è fuori dal mondo, è radicalmente distinto da esso. La creazione non coincide con il Creatore».

Molti di argomenti trattati in presente libro sono i frutti di riflessione su libri di grandi autori cristiani su questioni di fede e scienza, come Dominique Lambert, Jean Guitton, Adolphe Gesché, Thierry Magnin ed altri. La questione dell'uniformità genetica, mentale e culturale di tutti gli esser umani, trattata così in dettaglio qui fu risultato delle parole di allora Cardinale Ratzinger nella sua intervista concessa a Vittorio Messori⁶⁴:

In un'ipotesi evuzionista del mondo (quella alla quale in teologia corrisponde un certo «theillardismo») non c'è ovviamente posto per alcun «peccato originale». Questo, al massimo non è che un'espressione simpolica, mitica, per indicare le mancanze naturali di una creatura come l'uomo che, da origini imperfettissime, va verso la perfezione, va verso la sua realizzazione completa. Accettare questa visione significa però rovesciare la struttura del cristianesimo: Cristo è trasferito dal passato al futuro; redenzione significa semplicemente camminare verso l'avvenire come necessaria evoluzione verso il meglio. L'uomo non è che un prodotto non ancora del tutto perfezionato dal tempo, non c'è stata una 'redenzione' perché nessun peccato originale da riparare ma solo una mancanza che, ripeto, sarebbe naturale.

Rimane fuori le nostre possibilità di ragionamento se il peccato fu commesso da Adamo o da Eva: il peccato e la Redenzione si estendono aldilà, oltre il mondo fisico.

Chiudiamo con altre parole di Messori (e del salmista), sull'immenosità dell'Universo e la piccolezza dell'uomo⁶⁵:

⁶⁴ V. MESSORI a colloquio con Joseph Ratzinger, *Rapporto sulla fede*, San Paolo, 1985.

⁶⁵ V. MESSORI con A. TORNIELLI, *Perché credo. Una vita per rendere ragione della fede*, Piemme, Casale Monferrato 2008, p. 346.

Dunque, l'immensità dell'Universo non è in contrasto con l'attenzione divina a un puntino di questo. Così volle. E così poté e può. Quella del cristiano non è presunzione: è la constatazione di una realtà misteriosa, di cui proprio la scienza moderna ci ha confermato la verità. L'Universo è immenso, più ne sfioriamo il mistero e più ci sbalordiscono le sue dimensioni. Ma proprio questo non fa che confermare l'ottavo salmo (significativamente ripreso anche nella *Lettera agli Ebrei*): «O Signore, nostro Dio, quanto è grande il tuo nome su tutta la Terra! Sopra i Cieli si innalza la tua magnificenza... Se guardo il tuo cielo, opera delle tue dita, la luna e le stelle che tu hai fissate, che cosa è l'uomo perché te ne ricordi, il figlio dell'uomo perché tu ne curi?» Eppure, prosegue il salmista, «eppure hai fatto l'uomo poco meno degli angeli, di gloria e di onore lo hai coronato, gli hai dato potere sulle opere delle tue mani, tutto hai posto sotto i suoi piedi...»

7.19. Separare il grano dalla pula

Il compito più difficile nella lettura delle notizie scientifiche è il saper distinguere le notizie importanti, che rimarranno tali anche tra un anno, dieci, cento, dalle pseudo-notizie che fanno titolo oggi (e aumentano l'indice d'ascolto) ma creano un danno sia alla credibilità della scienza che all'immaginario collettivo. Una notizia di questa seconda serie è per esempio il terrore del buco nero, che può inghiottire la Terra intera: creato ipoteticamente (ma impossibile in pratica) durante gli esperimenti su particelle elementari a CERN. Una delle cause di questo tipo di ignoranza del "pubblico" è l'incapacità di scienziati di dire "per il momento non lo so ancora".⁶⁶

1° Ci sono diverse forme di "pula": a volte sono semplicemente errori (o meglio i limiti) degli scienziati, a volte sono quasi provocazioni per attirare l'attenzione del lettore. Nessuno è immune da queste aberrazioni, nemmeno gli scienziati più grandi. Lo stesso Einstein, che ha preso il premio Nobel per l'effetto fotovoltaico (spiegando così anche la visione dei colori), si oppose alla moderna meccanica quantistica, dicendo a Niels Bohr: "Dio non gioca a dadi". E Bohr rispose: «Non sarà Einstein a dire a Dio che cosa deve fare».

⁶⁶ Facciamo l'esempio della recente scoperta (o piuttosto una conferma sperimentale) del bosone di Higgs. Nel libro divulgativo di L. Lederman il bosone viene chiamato "la particella di Dio", nelle interpretazioni giornalistiche una particella che fornisce la massa a tutte le altre, nella risposta di un fisico teorico, se la particella esiste, "esiste, perché esiste la sua *lagrangiana*" e la commissione per l'educazione fisica di laboratori di CERN "sta ancora lavorando sull'interpretazione".

Una delle obiezioni di Einstein contro le leggi di correlazione degli oggetti quantici, il cosiddetto paradosso di Rosen–Podolsky–Einstein, si rivelò non fondata, ma portò alla nascita della crittografia quantistica. Gli scienziati invano creano versioni della meccanica quantistica alternative a quella di Heisenberg e Schrödinger, cercando qualche variabile nascosta che governi i fenomeni che a noi sembrano casuali. Decenni di esperimenti per verificare il dubbio di Einstein che gli stati quantici di due fotoni rimangono correlati anche a grandi distanze dovrebbe chiudere gli ultimi dubbi tra poco⁶⁷: senza dubbio porterà al premio Nobel.

Un'altra idea di Einstein, che potrebbe scavalcare il limite della velocità della luce nei viaggi intergalattici, risulta tuttora falsa. Nel 1935, cercando di unificare la teoria della gravità con l'elettromagnetismo, Einstein coniò l'idea che lo spazio–tempo potrebbe formare delle pieghe come un tappeto non del tutto esteso e che sarebbe possibile viaggiare istantaneamente attraversando queste pieghe come una tarma. Fu inventato un nome per i tunnel di questo tipo: *wormholes* (buchi da vermi). Come commenta il sito web della Società Americana di Fisica, la relatività generale pose delle difficoltà matematiche e concettuali tali che persino il suo creatore si piegò⁶⁸. I *wormholes* tuttora si rivelano inesistenti⁶⁹: uno scienziato messicano, Michele Alcubierre lavorando ulteriormente su queste (ipotetiche) pieghe (e tunnel), arrivò alla conclusione che sì, sono possibili, ma richiedono grandi quantità di energia. In altre parole, scherzando, si può raggiungere la stella prossima servirebbe l'energia equivalente alla massa di Giove. Vale la pena privare il cielo di un pianeta luminoso e bello come Giove?

2° Ma se Einstein in ogni sua teoria proponeva delle verifiche sperimentali, certe idee sono del tutto fantascientifiche e, mancando i requisiti per poter essere verificate, sono dannose per la serietà della scienza. Se accettate, sarebbero delle pure *credenze*. Anzi, si distin-

⁶⁷ Vedi: ALAIN ASPECT, *Viewpoint: Closing the Door on Einstein and Bohr's Quantum Debate*, «Physics», 8 (2015) 123, <https://physics.aps.org/articles/v8/123>.

⁶⁸ «The paper also illustrates how general relativity posed mathematical and conceptual difficulties that foxed even its creator», *Phys. Rev. Focus* 15, March 25, 2005, p. 11.

⁶⁹ «Further theoretical work showed that the Einstein–Rosen 'wormhole' is not, contrary to outward appearances, a stable structure. For an observer trying to pass through, the wormhole opens up and closes too quickly for even a photon to get through. Later work suggested that exotic forms of energy threaded through a wormhole might keep it open but it remains unclear whether such arrangements are physically feasible.» <https://physics.aps.org/story/v15/st11>.

guono dalla fede religiosa per la mancanza di altri significati, per esempio etici. Un caso emblematico di una idea non verificabile (e pericolosa concettualmente perchè priva l'uomo della sua individualità) è il concetto degli universi paralleli (titolo forse ripreso dal libro di Plutarco su Cesare e Alessandro). Max Tegmark, un noto cosmologo, ipotizzò che esistono altri universi, o tutti chiusi come bolle di sapone o paralleli al nostro, nei quali dovremmo avere dei gemelli, che rispecchiano le nostre vite.

Gli universi di Tegmark non sono da escludere dal punto di vista della fisica, ma nel senso del rasoio di Ochkam non possono esistere. E somigliano un po' alle idee cosmologiche di Giordano Bruno⁷⁰.

3° Il terzo livello di pseudoscienza sono "i riformatori" dilettanti. Esistono infiniti lavori per declassare la teoria della relatività: non è vero che la luce viaggia (nel vuoto) sempre con la stessa velocità, c'erano errori sperimentali nella misura fatta da Albert Michelson e pure errori concettuali nelle interpretazioni. Vengono proposte teorie alternative, talmente piene di formule matematiche che diventa impossibile seguirle. Il difetto basilare di questi lavori rimane sempre lo stesso: oltre a denigrare la teoria di Einstein, non riescono a prevedere altri, nuovi fatti sperimentali che potrebbero dare delle risposte conclusive. Si tratta di lunghi ma inutili tentativi, di cervelli anche fini, ma che rimangono inutili. Un caro amico matematico, prematuramente scomparso, Giuseppe Vigna Suria commentava così trecento anni di lavori inconcludenti per verificare l'equazione di Fermat ($a^3+b^3=c^3$): «Se questi sforzi fossero stati dedicati alla medicina, dove sarebbe arrivata oggi l'umanità?»

4° Il quarto metodo di criticare la scienza attuale ha ragioni sociali e/o etiche. L'indiscriminato progresso scientifico, o ancora meglio — spesso settoriali interessi economici — portano allo sfruttamento (ed esaurimento) delle risorse naturali, all'inquinamento ambientale, alla crescente povertà di vasta parte dell'umanità. Su questi aspetti negativi concordano pressapoco tutti. Ma il progresso tecnico e scientifico ha permesso anche la clonazione di animali, la crescita di organi arti-

⁷⁰ Giordano Bruno, un domenicano, non fu condannato per le sue idee cosmologiche ma per la negazione della divinità di Gesù. Rimane comunque deplorabile il fatto della sua esecuzione: la Chiesa è un'istituzione divina, ma formata da uomini.

ficiali, e degli ibridi biologici snaturati⁷¹. Anche in questo caso la perplessità etica rimane chiara.

Più complessi sono i giudizi sulle azioni che portano un beneficio alla “società” ma possono essere dannosi per singoli individui. All’inizio dell’era dei telefonini si è discusso molto sulla loro pericolosità. Lo scienziato dovrebbe dire che le onde elettromagnetiche nell’intervallo usato dai telefonini portano l’energia troppo bassa per provocare danni al DNA. Ma dovrebbe anche aggiungere che non ci sono dati clinici per l’esposizione del cervello per ore intere di telefonate. Le norme vigenti per i lavoratori esposti a microonde definiscono il pericolo al livello di 10 mW (per un corpo intero). I segnali emessi dai telefonini moderni sono al di sotto di questo limite. E nessuno metta la testa propria all’interno del forno a microonde.

Nel caso delle vaccinazioni — un altro tema largamente discusso — gli interessi dei produttori sono, ovviamente, di ampliare possibilmente il numero delle malattie trattate. Anche dal punto di vista collettivo, una malattia contagiosa nella classe scolastica reca gravi danni a tanti bambini, compreso l’importatore dell’infezione. Ma singolarmente, troppi vaccini potrebbero essere rischiosi: un po’ come andare in aereo nuoce all’ambiente, nuoce ai vicini dell’aeroporto, porta un certo rischio di incidente, ma in totale permette enormi flussi di persone e merci in breve tempo. I vaccini sono indispensabili.

Un po’ simile è il caso dei trapianti. Serve che il corpo del donatore sia in uno stato di salute abbastanza buono. Ma come decidere, se il corpo è “defunto” e non solo in stato di morte cerebrale? Platone considerava l’anima infusa in tutto il corpo, non solo nel cervello. Chiamante, sarebbe meglio avere i reni (o il cuore) artificiali. La speranza è di arrivare presto a questo livello di progresso tecnico.

5° Realmente dannoso per la società, in particolare per i giovani, rimane il quinto tipo di pseudo-propaganda scientifica: basato su teorie e fenomeni ben esistenti ma mescolati in modo tale da ottenere pure fantasie: le correnti cosmiche che influenzano la nostra vita, i vegeti televisivi, gli spiriti che parlano, ecc. Sì, la fisica non esclude i segnali che si propagano dal futuro verso il presente, non esclude la telepatia, ma tutto indica che non si può cambiare il principio di causalità: la causa della fortuna nella vita rimane un lavoro lungo e onesto

⁷¹ Per esempio, modificando i geni, si può far crescere degli occhi sulle gambe dei moscerini. Finché si tratta di moscerini, la notizia non fa impressione, ma un cane...

e non una casuale telefonata al mago della TV. La Fede cristiana professa la comunione dei santi, cioè la loro presenza nella nostra vita terrena, ma non toglie la responsabilità delle nostre azioni.

7.20. Sottile è il Signore

Abbiamo discusso come anche sulle questioni “semplici”, come i telefonini e vaccini, ognuno porta la sua idea personale. Il ragionamento, nella mente umana, è convogliato con le emozioni. Non è possibile “provare” l’esistenza di Dio, seppure rimane lecito di provarlo. Senza dubbio, chi crede in Dio, ha nella vita un sostegno in più.

Parlando di Marco Aurelio e di Platone abbiamo fatto vedere come credere nel Transcendentale aiuti a costruire l’etica. Ma c’è di più: la convinzione sull’esistenza di Dio arricchisce la nostra veduta della natura, compresa la fisica. Carlo Rovelli, fisico e cosmologo, che per tanti anni cercava di unire la teoria quantistica con la relatività, scrive riguardo alla meccanica quantistica e al principio di indeterminazione di Heisenberg: «È come se Dio non avesse disegnato la realtà con una linea pesante, ma si fosse limitato a un tratteggio lieve»⁷². Invece Albert Einstein diceva: «Sottile è il Signore».



Fig. 7.6. La venuta del Cristo, come narrato nel Prologo del Vangelo di San Marco (e nella lettera prima di San Paolo ai Corinzi) racchiude un’arco tra la Creazione e la Redenzione, Qui: l’Uomo che è venuto a salvare l’uomo, dal peccato originale, nelle rappresentazioni al Convento di San Marco a Firenze (Beato Angelico, 1442) e alla cattedrale di Santa Maria Assunta di Volterra (gruppo ligneo, autore ignoto, 1228). FOTO: M. KARWASZ, 2004.

⁷² C. ROVELLI, *Sette breve lezioni di fisica*, Adelphi, Milano 2014, p. 27.

Rileggiamo ancora

Tra tante traduzioni diverse, anche in italiano, abbiamo cercato una via di mezzo: un testo descrive l'operato di Dio come "bello", un altro come "buono". In una versione "un vento impetuoso soffiava sopra le acque", in un'altra "sulle acque aleggiava lo Spirito di Dio". Senza dubbio, sia l'originale ebraico sia le traduzioni si trovano in difficoltà a *verbalizzare* i concetti nascosti. Proviamo a riassumere, in quanto il testo biblico concorda (oppure non concorda) con le scoperte scientifiche.

8.1. "Un vento impetuoso"

Le prime parole della *Genesi*¹ parlano del «cielo e la terra».

¹In principio Dio creò il cielo e la terra. ²La terra era vuota e deserta, le tenebre coprivano gli abissi e un vento impetuoso soffiava su tutte le acque.

Qui il testo sembra molto confuso. Dio crea la "terra" almeno due volte, all'inizio e la seconda volta dopo la separazione delle acque "di sotto" in un solo luogo. Forse la parola "terra" ha significati diversi? E "il cielo"? In italiano (e polacco) la stessa parola viene usata per il cielo nel significato del paradiso (in inglese *heaven*) e dello spazio atmosferico e cosmico sopra la nostra testa (inglese *sky*). Potrebbe avere "il cielo" ancora un altro significato?

Senza dubbio, come insegnano la fisica e la cosmologia moderna, oltre alle cose visibili esiste una infinità di "cose" invisibili. Le onde elettromagnetiche — quelle televisive, dei telefonini, i raggi X — sono invisibili. I neutrini, provenienti dal Sole, che in ogni secondo attraversano il nostro corpo in quantità a miliardi per centimetro quadra-

¹ Se non specificato diversamente, usiamo: *La Bibbia. Traduzione Interconfessionale in Lingua Corrente*. Chiesa Italiana, <http://www.lachiesa.it/bibbia/tilc/index.htm>.

to, non sono rilevabili. Le onde gravitazionali: solo nel 2015 ne è stata registrata la prima, debolissima, che ha dilatato la nostra Galassia di un metro appena (e per 0,12 secondi); ma anche di queste arriva probabilmente una alla settimana, a nostra insaputa; per non parlare della materia e dell'energia scura, che non è detto che pervade galassie lontane: può essere in mezzo a noi, in una quantità 25 volte più massiccia di tutta la materia conosciuta (cioè visibile + invisibile).

La convinzione o meno sull'esistenza del mondo non materiale è una caratteristica personale: dipende dalla propria esperienza e/o sensibilità. L'autore di questo libro è più che convinto dell'esistenza del mondo non-materiale, intrecciato in modo non-separabile al nostro normale mondo spazio-temporale. Si potrebbero fornire tanti esempi, ma sarebbero sempre personali. Piuttosto invito i lettori a richiamare alla memoria qualche "coincidenza" che ha cambiato la loro vita.

Quando nelle prime parole Dio creò la terra e il cielo si parla, senza dubbio, del mondo *materiale*, immerso nello spazio-tempo, e del mondo extra-materiale, del quale possiamo avere solo qualche intuizione e mai una misura fisica.

La descrizione della materia primordiale — melassa di quark più pesanti (*top* e *bottom*) di cui presumibilmente consisteva il mondo nei primi 10^{-12} secondi (più, da non escludere, delle particelle ancora più esotiche) — come "una massa senza forma e vuota" *non è meno precisa* delle divagazioni scientifiche; e prima di tutto molto *più facile da capire*, ancora oggi.

«Lo Spirito di Dio» che compare nella traduzione alternativa potrebbe essere un'aggiunta importante: a materia infinitamente disordinata, estremamente calda, totalmente instabile — l'auto-organizzazione nella materia "normale", cioè gli atomi composti di protoni, neutroni, elettroni — non era per niente scontata.



Fig. 8.1. L'ignoto autore dei mosaici della Cattedrale di S. Marco a Venezia (XIII secolo) ha colto molto bene il significato dei versi 1-2 della *Genesis*: delle infinite onde scuotono un abisso — né mare né terra — e lo Spirito Santo vola sopra di esse. FOTO: Edizioni Kino, immagine riprodotta con il gentile permesso del Patriarca di Venezia.

Questa auto-organizzazione della pre-materia è una delle questioni più intriganti della fisica delle particelle elementari: nessun *tuning* sottile è predisposto dalle leggi della fisica (cioè della *materia*). La Creazione *ex nihilo* non è solo un dogma della fede, ma anche la più ragionevole ipotesi scientifica (parola di un fisico sperimentale). Dio onnipotente e onnisciente, quello di Newton e Zichichi, è Colui che sapeva come fare il mondo fiorente dalle tenebre degli abissi. Allora, non “il vento impetuoso” ma lo “Spirito che aleggiava”.

¹In principio Dio creò il cielo e la terra. ²La terra era una massa senza forma e vuota; le tenebre ricoprivano l'abisso, e sulle acque aleggiava lo Spirito di Dio.²

La bellezza straordinaria (e l'intuizione teologica) del mosaico medioevale dalla Cattedrale di San Marco di Venezia, fig. 8.1, consiste non solo nella rappresentazione unica degli “abissi” ma nella presenza dello Spirito Santo prima ancora che il mondo fosse plasmato.

8.2. “E separò la luce dalle tenebre”

Come già detto, un po' serio un po' scherzando, la prima “impronta” dell'Universo materiale è la radiazione “di fondo”, oggi a microonde ma inizialmente circa la luce di colore oro, che si separò dalla materia dopo il Big Bang. Ma il significato teologico di questa frase del libro di *Genesis* è tutt'altra: «la luce era buona».

Vi sia la luce! E apparve la luce.⁴ Dio vide che la luce era buona e separò la luce dalle tenebre.

Risolvere il mistero dell'inizio dell'Universo è una delle essenziali conquiste congiunte della fisica, della chimica e dell'astrofisica del XX secolo. La data di 13,78 miliardi d'anni fa pone la cesura temporale e spaziale sul nostro mondo. La comparsa della radiazione disaccoppiata dalla materia circa 300 mila anni dopo fu un evento cruciale per la cosmologia fisica. L'universo iniziale era molto caldo, la radiazione si convertiva continuamente in materia e la materia in radiazione. L'universo espandendosi si raffreddava, e anche la radiazione,

² *La Sacra Bibbia*, Edizioni Paoline, Roma 1966.

prima molto energetica (di miliardi di eV), perdeva l'energia. La radiazione non era più in grado di convertirsi in materia. D'altra parte, l'universo era pervaso dalla radiazione, ma questa non era ancora separabile dalla materia.

Scriva Steven Weinberg:

Tale condizione sussisteva quando la temperatura era di circa 4000 K. Questa temperatura segna la transizione da un'era «dominata dalla radiazione», in cui la massima parte dell'energia dell'universo esisteva sotto la forma di radiazione, e l'era presente, «dominata dalla materia», in cui la massima parte dell'energia risiede nelle masse delle particelle nucleari.

E poi Weinberg, che non si dichiara credente, prosegue:

È sorprendente che il trapasso da un universo dominato dalla radiazione a un universo dominato dalla materia sia avvenuto esattamente nello stesso periodo in cui i contenuti dell'universo stavano diventando trasparenti alla radiazione, a circa 3000 K. Nessuno conosce le ragioni reali di tale fenomeno, anche se sono state avanzate ipotesi interessanti. In realtà non sappiamo neppure quale transizione sia avvenuta per prima.³

Ma nel primo minuto dell'universo era la materia, senza la radiazione, a pervaderlo.



Fig. 8.2. Un'altra interpretazione della separazione della luce dalle tenebre, non secondo la fisica sperimentale, ma secondo i canoni della Fede: due angeli, uno bianco e uno nero, sono immagini del bene e del male. Affresco del XVII secolo, nella chiesa della Dormizione Della Theotokos, di Asklepio a Rodi. FONTE: Catalogo della chiesa, con la gentile concessione del Metropolita di Rodi, Mons. Kyrillos (22/05/2019).

³ S. WEINBERG, *op. cit.* p. 89.

L'era della radiazione pura ebbe concretamente inizio solo alla fine dei primissimi minuti, dopo che la temperatura scese sotto il livello di alcuni miliardi di gradi Kelvin. In *principio* la materia era importante, ma si trattava di una materia di tipo molto *diverso* rispetto a quello di cui è composto il nostro attuale universo.⁴

In poche parole, persino Steven Weinberg, un eccezionale fisico teorico e cosmologo, nel XX secolo si è trovato in difficoltà ad immaginare (e descrivere a parole) l'inizio dell'universo. Figuriamoci i proverbiali “pastori di Palestina”...

D'altra parte, neanche gli scienziati volevano credere in un inizio dell'universo. Come scrisse Weinberg, «era estremamente difficile per i fisici prendere sul serio *qualsiasi* teoria sulle origini dell'universo».⁵ Oggi, il “Big Bang” fa parte dell'educazione di bambini. Ma bisogna ricordarsi che è stata la *fisica* a portare gli argomenti per la teologia. Una convivenza con il mutuo fiorire.

Ma lasciando a parte la cosmologia, un affresco del XVII secolo in una chiesetta sperduta a sud dell'isola di Rodi, fig. 8.2, ripropone la separazione della luce dalle tenebre in un'altra visione: due angeli, molto simili, uno bianco e un altro scuro stanno sottomessi a Dio: il bene e il male. E qui si ripropone la domanda molto più difficile che sulla radiazione cosmica, di Leibniz: come mai il buon Dio permette il male⁶? La risposta data da Vittorio Messori (e Pascal) è: per non *costringere* tutti a credere nella Redenzione. Per separare il grano dalla pula; per far «passare il cammello» per una porta stretta nella mura di Gerusalemme, detto “cruna d'un ago”.

8.3. “Tutto quel che vive e guizza”

Il mondo esterno, con fiori, farfalle, tramonti del Sole, paesaggi montani ispirano il senso della bellezza: non si ripetono mai due visioni uguali. Invece il mondo fisico da solo, una dozzina di particelle in totale potrebbe dare luogo a monotonia e ripetizione. Un'evoluzione? No! Sembra, che il Creatore trovasse piacere nel fare l'universo bello (e buono), creando tutto che guizza e che ciò vola:

⁴ Ibidem, p. 92.

⁵ Ibidem, p. 147

⁶ G.W. LEIBNIZ, *Saggi di teodicea sulla bontà di Dio, la libertà dell'uomo e l'origine del male*, Bompiani, 2005.

Dio disse: 'Le acque producano animali che guizzano, e sulla terra e nel cielo volino gli uccelli'.²¹ Dio creò i grandi mostri del mare e tutto quel che vive e guizza nelle acque. E Dio vide che era bello.²² Dio li benedisse: 'Siate fecondi, diventate numerosi e popolate le acque dei mari. E anche gli uccelli si riproducano sulla terra'. (*Gen.*, 1, 20–22)

La Chiesa poi, in particolare quella Protestante, fu molto scettica in rapporto alla teoria dell'evoluzione. Non perché la Bibbia non la ammette: anzi, il racconto dei sei giorni della creazione ispira proprio l'idea dello sviluppo graduale. Il problema essenziale fu, come sottolineato da S. Giovanni Paolo II, la conclusione affrettata che una parte dell'opinione scientifica traeva dall'evoluzione: la vita si è creata da sola. Volendo, tutto si può ridurre ai processi materiali: la materia ha in sé stessa un senso di auto-organizzazione, oppure una strana capacità di attingere, a distanza di miliardi di anni, alle stesse soluzioni "evolutive"⁷. Da qui la popolarità, persino tra i credenti (per non parlare dei filosofi) della teoria termodinamica di Ilya Prigogine; anche se lui stesso si poneva le domande sul significato filosofico della scienza e "se il mondo si è creato tutto da solo"⁸.

Come abbiamo già detto, l'evoluzione, un processo con basi materiali, sembra essere guidato da una "Sapienza". Senza dubbio, attribuire alla materia la capacità di autocreazione è come credere che il *Cielo stellato* di van Gogh possa riprodursi da solo...



Fig. 8.3. La cupola dorata del Battistero di S. Giovanni a Firenze (XIII sec.): l'autore di mosaici unì la creazione degli astri, del Sistema Solare, di oceani, di pesci e mammiferi, sino ad Adamo ed Eva. Su tutto il creato governa Gesù Cristo. FOTO: M KARWASZ, 2004.

⁷ Ricordiamo l'esempio dei microbi, che usano il "flagello" per muoversi nelle pozzanghere e gli stessi flagelli che servono per rimuovere il muco dai bronchi umani (v. fig. 5.10).

⁸ Nel libro *Una nuova alleanza* (1986, con Isabelle Stengers) Prigogine poneva domande sull'unità di scienze sperimentali e filosofiche, e il suo ultimo libro-intervista con lui e altri famosi scienziati (astrofisici, genetisti, botanici, medici) si intitola *Le Monde s'est-il créé tout seul?*, Albin Michel 2008. <https://www.agoravox.fr/actualites/technologies/article/le-monde-s'est-il-cree-tout-seul-39843> (accesso 26/05/2019).

8.4. “Una creatura vivente”

La terza tappa della creazione, dopo quella fisica e biologica, è la nascita dell’Uomo. La questione se l’uomo sia frutto di un’evoluzione che ha avuto luogo in diverse regioni della Terra oppure sia una “creatura”, cioè è comparso all’improvviso da un *soffio divino*, non è per niente secondaria. La genetica e l’antropologia non escludono la creazione, istantanea e localizzata della “razza” umana. Due distribuzioni statistiche del genoma che abbiamo mostrato nella fig. 6.12 si sovrappongono: rimane possibile che quel particolare popolo studiato abbia avuto la stessa coppia di genitori. E non solo loro, come abbiamo discusso nel cap. VI. Ma l’apologetica mostra ancora la diffidenza.

Allora Dio, il Signore, prese dal suolo un po' di terra e, con quella, plasmò l'uomo. Gli soffiò nelle narici un alito vitale e l'uomo diventò una creatura vivente. (*Gen. 2, 7*)

Un sottile gioco di parole distingue una creatura “viva” dalla creatura “vivente”. Una differenza invisibile distingue un’anima dell’*animale* da un «soffio vitale» che Dio «alito nelle narici» del primo uomo. Come abbiamo discusso in un articolo sulla rivista ecclesiastica spagnola⁹, l’unica differenza da proporre, purtroppo non verificabile con i mezzi di fisica, è quella dell’*immortalità* dell’anima umana. Ma questa anima immortale non significa solo “vivere per sempre”, come spiega Joseph Ratzinger:

In effetti, avere “un’anima spirituale” vuol dire proprio essere voluti in maniera speciale, essere conosciuti e amati da Dio in modo particolare; avere un’anima spirituale significa essere una creatura chiamata da Dio a un dialogo eterno con lui, una creatura quindi capace a sua volta di conoscere Dio e di risponderli.¹⁰

Allora, “un soffio vitale”, mandato nelle narici dell’Adamo vuol dire un’anima immortale: donata al primo *Uomo* come tale, a anche ad ogni uomo singolo nel grembo della sua madre¹¹. Accettare la creazione dell’uomo risolve ancora altri dilemmi moderni: l’identità dell’uomo e della donna e il nostro rapporto con la natura.

⁹ G. KARWASZ, *Aristotle's three souls in modern science: Re-reading "De Anima"*, «Causa» 13 (2018) pp. 429–458.

¹⁰ J. RATZINGER, *Introduzione al Cristianesimo*, Queriniana, Brescia 2010, p. 345.

¹¹ Non entriamo in questo argomento, che fu difficile persino per San Tommaso.

Dio creò l'uomo simile a sé, lo creò a immagine di Dio, maschio e femmina li creò. Li benedisse con queste parole: 'Siate fecondi, diventate numerosi, popolate la terra. Governatela e dominate sui pesci del mare, sugli uccelli del cielo e su tutti gli animali che si muovono sulla terra'. (*Gen.*, 2, 27–28)

La somiglianza a Dio assegna ad ogni singolo uomo dei «diritti inviolabili e ineliniabili»¹², che non hanno bisogno di nessuna conferma istituzionale. Diceva Maria Montessori: «Cerca Iddio prima di tutto, e il resto verrà da sé con frutto abbondante»¹³. Con gli stessi versi del *Genesi* l'uomo viene obbligato a rispettare il creato come tale: è un tema molto caro al Papa Francesco.

La domanda venuta a diversi pensatori, compreso Albert Einstein, è: come mai Dio creò l'uomo a Sua immagine? Non c'erano altre possibilità? Einstein dalla constatazione sul Dio antropomorfo arriva persino a delle pericolose proposte su una religione universale, cosmica, e sulla morale, che potrebbe non provenire da Dio ma essere un frutto dei buoni propositi dell'uomo¹⁴. Ovviamente, i totalitarismi del XX secolo hanno provato, a decine di milioni di vittime, dove porta una morale non basata su una religione. Sottoscriviamo con convinzione le parole di Vittorio Messori: “prima la Fede, poi l'etica”.



Fig. 8.4. Usiamo ancora una volta l'immagine dalla Cattedrale di San Marco a Venezia, del XIII secolo, quando in mancanza di conoscenze genetiche e di canoni ufficiali teologici, gli artisti dovevano usare il loro individuale, intrinseco *intuito* religioso: l'Adamo sulla cupola di *Genesi* è un africano. Una apertura culturale tipica dei Veneziani o un colpo di genio? FONTE: Kina Edizioni, per gentile concessione del Patriarca di Venezia.

¹² Parole del preambolo della Costituzione Europea, vedi: https://europa.eu/european-union/sites/europaeu/files/docs/body/treaty_establishing_a_constitution_for_europe_it.pdf.

¹³ M. MONTESSORI, *Educare alla libertà*, Oscar Mondadori, Milano 2008, p. 50.

¹⁴ «La condotta etica dell'uomo deve basarsi effettivamente sulla compassione, la educazione e i legami sociali, senza ricorrere ad alcun principio religioso». A. Einstein, *Come io vedo il mondo*, op. cit., p. 27.

8.5. L'albero della conoscenza

Dio ha creato l'uomo non solo con "un'anima razionale" come già notava Aristotele, ma ci ha fornito anche l'etica. E a differenza dei codici "civili" come quello di Hammurabi, l'etica della Bibbia insegna non sola la paura ma prima di tutto l'amore. La giustificazione è sempre la stessa: «Io sono il Signore, tuo Dio»:

¹⁵Non commettete ingiustizie nei vostri giudizi: non avvantaggiate il debole, non favorite un potente, ma rendete giustizia in modo equo verso i vostri connazionali. ¹⁶Non diffondete calunnie sulla vostra parentela. Non spargete contro il vostro prossimo accuse che Io facciano condannare a morte. Io sono il Signore.

¹⁷Non covate odio contro un fratello, ma non esitate a rimproverarlo, per non caricarvi di un peccato nei suoi riguardi. ¹⁸Non vendicatevi e non conservate rancore contro i vostri connazionali. Ciascuno di voi deve amare il suo prossimo come se stesso. Io sono il Signore. (*Lv*, 15–19)

Il peccato originale fu una trasgressione: la disobbedienza a Dio. Ma una trasgressione particolare: la voglia di poter distinguere da soli il bene dal male; in altre parole costruire l'etica alla misura dell'uomo. Non solo Marco Aurelio si mostrò pieno di dubbi nella creazione della sua etica; persino nel XX secolo non si riesce, con il solo uso del pensiero filosofico, a definire il bene individuale e comune¹⁵.

⁹Nel mezzo del giardino piantò due alberi: uno per dare la vita e l'altro per infondere la conoscenza di tutto. ¹⁶E gli ordinò: "Puoi mangiare il frutto di qual-siasi albero del giardino, ma non quello dell'albero che infonde la conoscenza di tutto. Se ne mangerai sarai destinato a morire!". (*Gen*. 2)

L'uomo del XXI secolo tenta di raccogliere i frutti di entrambi gli alberi: mantenere la bellezza e il vigore infiniti nel tempo e la sapienza immisurabile. Tutti siamo convinti che non è possibile avere tutti beni materiali. Ma nessuno, tranne qualche grande scienziato, è conscio, che anche voler sapere tutto costituisce un peccato di superbia.

Così siamo arrivati al "nocciolo" del discorso Scienza–e–Fede: non abbiamo bisogno di conoscere le masse di quark per poter vivere con una sana bussola morale interiore. Fa bene sapere che esistono scien-

¹⁵ Un esempio di vani tentativi di definire il bene etico è il lavoro di George Edward Moore (1873–1958): dovrebbe essere l'azione che porti la felicità, possibilmente a tutti. Ma come si fa a sapere a chi e quando? Vedi G.E. MOORE, *Principia Ethica*, Bompiani, Milano 1964.

ziati che misurano quelle masse, fa piacere incontrarli, ma la Fede radicata è superior alla fredda scienza. L'importante però è che la Fede sia sentita e meditata. Una fede superficiale è solo un costume oppure una superstizione.

Il castigo per la disobbedienza del Adamo e Eva fu tremendo: la fatica e la morte. E per non poter accedere all'albero della vita, furono cacciati via dal Eden. Ma Dio onnipotente deve essere anche infinitamente misericordioso: il mondo sarebbe già collassato su sé stesso sotto il peso del male. Così, Dio ha “delegato” il proprio Figlio, a espriare le colpe non solo di Adamo e Eva ma di tutti gli uomini, fino alla fine dei tempi. E il Figlio divenne l'uomo, a tutti gli effetti del mondo materiale¹⁶, uguale a noi nei pensieri e sentimenti, salvo il peccato.

Le risposte a perché Dio ci plasmò a Sua immagine possono essere tante. Forse la più importante è per poter partecipare alle nostre umane aspirazioni, desideri, tentativi, fallimenti. Un eccezionale scrittore di fantascienza polacco, Stanislaw Lem, persona di grande cultura umanistica, ma diventato ateo dopo le dolorose esperienze come medico sotto l'occupazione nazista, affrontò questa domanda in uno dei suoi racconti. La sua risposta fu: per poter capire noi stessi, cioè condividere le nostre vicende umane. Dio è fra noi: Emmanuele!



Fig. 8.5. (a) Il gesto di Dio fu molto chiaro: un divieto. Cappella Palatina, Palermo, XIII secolo. (b) S. Dorotea, Cattedrale Danzica (vedi nota).



¹⁶ Fino al Concilio di Firenze (1439) vigea la tradizione di presentare, nell'Annunciazione, il soffio dello Spirito Santo che manda anche il piccolo corpo umano. Un'immagine così si trova al Duomo di Danzica (altare di S. Dorotea, Inghilterra, 1435). Fu vietata questa interpretazione: un corpo arrivato dal cielo non avrebbe potuto soffrire sulla Croce (si ringrazia la dott.ssa Maria Teresa Lezzi Gorga per queste spiegazioni).

8.6. Emmanuele, cioè Dio tra noi

Dovendo difendere la Fede, la prima domanda da porsi è in che cosa il Cristianesimo rimane particolare rispetto alle altre religioni. In tutti i culti sono esistiti i martiri, in tutte le religioni certi individui come faraoni hanno goduto dell'adorazione divina. Cristo fu dichiarato il re, ma solo da Pilato, nella descrizione della condanna. L'Angelo lo chiamò Gesù:

Ci stava ancora pensando, quando una notte in sogno gli apparve un angelo del Signore e gli disse: 'Giuseppe, discendente di Davide, non devi aver paura di sposare Maria, la tua fidanzata: il bambino che lei aspetta è opera dello Spirito Santo. ²¹Essa partorerà un figlio e tu gli metterai nome Gesù, perché lui salverà il suo popolo da tutti i suoi peccati'.

²²E così si realizzò quel che il Signore aveva detto per mezzo del profeta Isaia: ²³Ecco, la vergine sarà incinta, partorerà un figlio ed egli sarà chiamato Emmanuele. Questo nome significa: 'Dio è con noi'. (*Mt*, 1)

La dogmatica cattolica sembra poco sensata: un Figlio di Dio, incarnatosi per l'opera dello Spirito Santo, cresciuto nel grembo della Immacolata Maria Vergine, morto crocifisso e poi risorto. È un puro ragionamento difficile da spiegare. Rimane la Fede, la seconda "ala dello spirito umano", per citare S. Giovanni Paolo II.

Il suo successore Joseph Ratzinger, uno dei più grandi teologi di tutti i tempi scrisse in 1968: «La persona di Gesù è la sua dottrina, e la sua dottrina è lui stesso, Pertanto, la fede cristiana, ossia la fede in Gesù in quanto il Cristo, è davvero 'fede personale'»¹⁷.

È proprio questa la caratteristica della Fede Cristiana, e Cattolica in particolare: essere personale. A tu-per-tu, nel semi-buio del confessionale, con il sacerdote come un mediatore, ma solo grazie a un esplicito incarico datogli da Gesù. Per il resto — nessuna responsabilità collettiva, nessuna guerra santa, nessun imperatore dietro un patriarca. Nessuna certezza né "scorciatoia" — ci dispiace — neanche dalla parte della scienza. Il cristianesimo è una religione di scelte libere.

Continuando con le spiegazioni del Papa Benedetto XVI e del suo libro del 1968, si può paragonare la nascita di Gesù all'ulteriore creazione:

¹⁷ J. RATZINGER, *Introduzione al Cristianesimo*, op. cit., p. 197. Prima edizione (in tedesco) 1968.

Il concepimento di Gesù è una nuova creazione, non una procreazione da parte di Dio. Dio non diventa così il padre biologico di Gesù e tanto il Nuovo Testamento quanto la teologia della Chiesa non hanno in sostanza mai visto in questo racconto, e nell'evento ivi narrato, il fondamento per la vera divinità di Gesù, per la sua 'figliolanza divina'. Questa, infatti, non significa assolutamente che Gesù è mezzo Dio e mezzo uomo, ma per la fede è sempre stato fondamentale il fatto che Gesù è *interamente* Dio e *interamente* uomo. Il Suo essere Dio non comporta una sottrazione al suo essere uomo [...] Infatti, la figliolanza divina, di cui parla la fede, non è un fatto biologico, bensì ontologico; non è un processo avvenuto nel tempo, bensì nell'eternità di Dio: Dio è sempre Padre, Figlio e Spirito; il concepimento di Gesù significa che nasce un nuovo Dio-Figlio, ma che Dio, in quanto Figlio nell'uomo Gesù, attrae a sé la creatura uomo tanto di *essere* lui stesso uomo.

Parole difficili, vero? La teologia, supera di gran lunga la fisica. La Fede, per un credente, costituisce un'ancora, un porto sicuro. La scienza aiuta a ragionare ma fa solo da sostegno. E tutti i papi degli ultimi tempi, partendo da Giovanni XXIII, hanno insistito ancora su un terzo "sostegno": l'amore. Furono preceduti da giovani sante (S. Teresa del Bambino Gesù, S. Faustyna Kowalska) che hanno voluto essere martiri per l'amore di Cristo. E la prima di amarLo (e meditare) fu Maria.

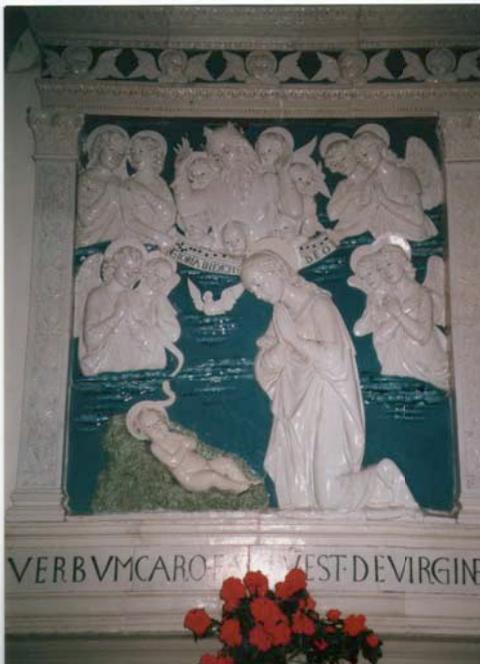


Fig. 8.6. L'amore materno è l'archetipo di tutti gli amori. Ma infinito è solo l'amore di Dio verso il suo creato. Non è la bellezza del quadro che ci colpisce, ma i fiori sempre freschi sotto, il segno d'amore dei pellegrini verso la Madonna. AUTORE: ANDREA DELLA ROBBIA (ca. 1500), Basilica Maggiore della Verona, foto M. KARWASZ, 2005.

Conclusioni

9.1. Sul costante progredire delle frontiere

Nel corso di tutto il libro abbiamo visto come diverse terminologie, argomenti, ragionamenti cambiavano il loro significato nel corso dei millenni della storia della cultura. Per i Greci presocratici il più urgente era il concetto della materia — così invocavano “aria”, “acqua” ecc., cioè “gli stati” della materia come vengono chiamati in italiano oppure “gli stati di condensazione” traducendo letteralmente dal polacco.

Per un breve periodo storico — qualche decina di anni a cavallo tra il XIX e il XX secolo sembrò che la questione della materia fosse stata risolta: sono gli atomi, diversamente disposti (cioè con diverse distanze tra loro), che formano lo stato solido, liquido o gassoso. Poi, tutti gli atomi sono fatti di elettroni, protoni e neutroni. Il numero di elettroni (uguale al numero di protoni) determina tutte le proprietà chimiche di un elemento. Il concetto di “materia” passò definitivamente dal dominio della filosofia a quello della fisica e della chimica.

Con $E = mc^2$ di Einstein di nuovo è venuta meno la chiarezza: in teoria, da qualsiasi forma di energia si può formare qualsiasi, anche molto strana, forma della materia. Nei termini di Aristotele, la realtà della materia, visibile, palpabile, diventa una *potenzialità* della materia: due fasci di elettroni ultraveloci viaggiano in infinito, ma scontrandoli *possiamo* produrre una nuova materia. Così, la chiarezza fisica della “materia” di nuovo acquistò dei connotati *metafisici*: non siamo in grado di spiegare con delle regole della fisica (cioè della matematica) le esatte probabilità che nello scontro vengono create queste e non altre particelle elementari. “Crediamo” in queste regole, senza saper spiegare perché.

Il concetto della materia è solo uno dei tantissimi esempi di termini, di cui il dominio concettuale si sposta tra la fisica e la metafisica — su

e giù, in continuazione. *Spazio* e *tempo* sono un caso simile, anzi opposto. Da Aristotele furono inseriti nella sua *Fisica*, e hanno creato non poche difficoltà concettuali. L'esito di diverse considerazioni sul tempo fu solo la definizione del momento "adesso" (come su un punto sull'asse cartesiano) e del passato (come il semiasse a sinistra) e del futuro. Nella questione dello spazio Aristotele fu un po' più conclusivo: lo spazio è la distanza tra un bordo di un corpo e un altro. In altre parole: lo spazio fa parte della materia, e senza materia quasi non esisterebbe.

Con le geniali considerazioni di Galileo, lo spazio acquistò dei connotati astratti — matematici: il sistema di riferimento viene preventivamente definito in ogni esercizio fisico svolto. Gli oggetti fisici vengono "inseriti" in questo sistema solo in seguito. Continuando questo ragionamento (e vedendo le difficoltà con cui Newton dovette trattare l'azione gravitazionale a distanza senza un chiaro mezzo fisico), Kant attribuì allo spazio e al tempo un'esistenza "trascendentale" — entrambi sono diventate categorie della ragione pura. Fino ai tempi di Einstein, che con la relatività generale riportò sia lo spazio che il tempo alla materia.

E nella nostra (cioè dell'autore) interpretazione "teologica", sia lo spazio e a maggior titolo il tempo sono modi in cui il buon Dio ci ha ancorato: l'anima umana, fatta a Sua somiglianza, in un corpo (nello stragrande numero di casi) mortale.

Gli intrecci continui in questo libro tra la filosofia, la scienze e la fede sono la conseguenza di una parziale sovrapposizione di certi concetti e immaginazioni. Le frontiere tra le "tre scienze" di San Tommaso sono in continuo progredire — non in una direzione, ma in continuo cambiamento, come la Terra illuminata in continuazione nelle sue diverse regioni.

L'idea delle frontiere in movimento non è nuova — risale a San Tommaso, se non a Sant'Agostino. San Tommaso distingueva tre scienze: la matematica, che si occupa degli oggetti nello spazio, la fisica che si occupa degli oggetti nello spazio e nella materia, e teologia, che si occupa degli oggetti fuori lo spazio e la materia.

Nella prefazione ai "Commenti a Boezio" di S. Tommaso, Pasquale Porro scrive:

Ad ogni modo, Tommaso non interpreta la griglia boeziana [di tre scienze] in maniera rigida: ciascun modo di procedere, in altri termini, non deve essere

considerato esclusivo della scienza a cui viene assegnato, ma come particolarmente appropriato o conveniente ad essa. Ad esempio, la fisica non è l'unica scienza a servirsi del modo di procedere razionale, ma è quella che meglio risponde alla stessa dinamica interna della nostra ragione: è proprio infatti della ragione muovere dalle realtà sensibili per passare a quelle intelligibili e procedere discorsivamente (e non con un semplice atto intuitivo) da una cosa all'altra, e entrambe queste caratteristiche si ritrovano in modo precipuo nei procedimenti della scienza naturale.

Quanto alla matematica, essa rappresenta per Tommaso — come in parte già anticipato — la scienza capace di assicurare in assoluto maggiore certezza: più della scienza naturale, perché astrae dalla materia e dal movimento, che comportano sempre una certa componente di instabilità e contingenza; ma anche più della scienza divina, nella misura in cui essa offre il vantaggio, rispetto a quest'ultima, di considerare realtà meno lontane dai sensi e dall'immaginazione.¹

Tornando all'ammonimento del cardinale Joseph Ratzinger: non c'è nessuna "ritirata" dai dogmi della fede. Semplicemente, c'è un costante *progredire delle frontiere* tra la fisica, la metafisica e la teologia: le tre scienze teoriche, definite come tali da Aristotele e San Tommaso. E progredire (su una sfera rotonda) non implica nessuna direzione.

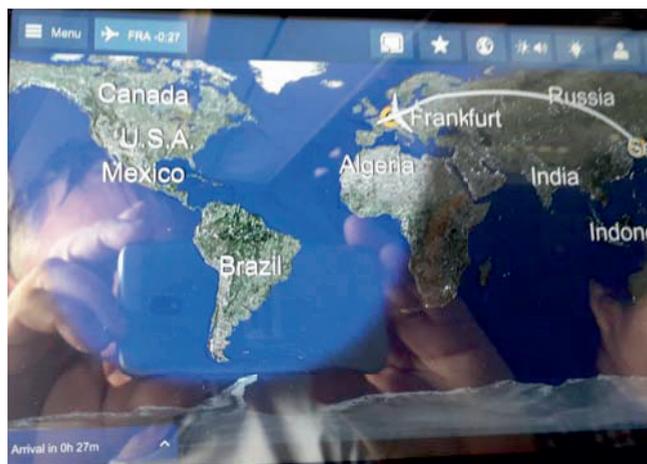


Fig. 9.1. Volando da Seoul a Francoforte sembra che siano le zone d'ombra (la notte) e di luce (il giorno) a spostarsi in continuazione sulla superficie di Terra. Invece, dai tempi di Copernico sappiamo che è proprio la Terra che ruota. In modo simile, le parti del conoscere umano diventano, in alternanza, il dominio della scienza, della filosofia o della teologia — in un continuo intercambio. FOTO: GK.

¹ TOMMASO D'AQUINO, *Commenti a Boezio*, Rusconi, Milano 1997, p. 28–29.

9.2. Perché Dio non ha fatto tutto in un click?

All'inizio di questo libro abbiamo discusso come una catena di eventi: materia/ spirito → idrogeno/ elio → galassie/ stelle → pianeti/ lune → mari/ terre vivibili, non è banale. Il disegno “naïve” dovrebbe cominciare subito con il Sole, la terra e gli alberi. In una simile visione neanche l'evoluzione biologica sembra necessaria. Ma sapendo che lo stesso ambiente “Terra” è sorto in condizioni vulcaniche, acide e anaerobiche, l'evoluzione biologica costituisce un meccanismo necessario.

Poi, le considerazioni sui primi istanti della vita, inizialmente molto semplice, anaerobica, con codoni di DNA probabilmente a solo 2 lettere (e meno aminoacidi usati), senza organelle specializzate (solo la funzione di produzione d'ossigeno, per un paio di miliardi di anni): anche questo poteva avere una “scorciatoia”: subito i dinosauri e poi l'uomo? L'atmosfera d'ossigeno nata in modo chimico avrebbe violato le leggi stesse della chimica: l'ossigeno deve legarsi al ferro per fare la ruggine come su Marte.

Ma Dio (se crediamo) al di fuori dello spazio e tempo (spazio e tempo sono nati con la materia) poteva creare immediatamente anche la vita. Ma a questo punto Lui avrebbe scavalcato lo spazio e il tempo che ha creato Lui stesso. Ma servono lo spazio e tempo? Sì! Per vedere le bellezze del mondo.



Fig. 9.2. L'uomo aggiunge la sua opera alle bellezze del mondo creato da Dio: antichi Greci costruivano i teatri in posti più belli del Mediterraneo come Taormina, con lo sfondo del mare e del vulcano. FOTO: MARIA KARWASZ, 2003.

Poi c'è un fatto antropico. Dio ha creato (se crediamo) l'uomo a sua immagine e somiglianza (la *Genesi* lo ripete tre volte, se non quattro)². La nostra mente può viaggiare in un istante fino alle galassie più lontane, dove però non possiamo spedire né una sonda spaziale e nemmeno un messaggio: è stato Einstein (o Dio?) a impedircelo. In altre parole, lo spazio e il tempo non sono categorie della ragione pura, come riteneva Kant, ma sono delle *ancore*, molto, molto reali (cioè fisiche) che ci fissano. Altrimenti non saremmo “a Sua immagine”, ma “come Lui”.

9.3. In principio c'era il Logos

Abbiamo fatto vedere, come tutto il mondo (materiale, perché solo questo è soggetto alla scienza galileana) è sensato: molto complicato, difficile da capire (come i termini della teoria generale della relatività), anzi in certi versi impossibile persino da intuire (come la meccanica quantistica), ma senza dubbio logico. Numerosi libri usano l'espressione “Mente dell'Universo” e anche i detti dei colleghi matematici, secondo cui Dio senza dubbio è un matematico.

Capire la biologia vuol dire fare l'ordine nelle infinite reazioni rese possibili dalla chimica organica. Ma anche l'umanistica richiede di poter confrontare numerosi testi, in diverse lingue, di pensatori atei e credenti, in diversi sistemi politici ed epoche storiche. Serve *ordine*, cioè logos (diverso da caos).

Nota bene che non usiamo la parola “Verbo”, come viene tradotto “Logos” (con la maiuscola): «In principio era il Verbo, e il Verbo era presso Dio, e il Verbo era Dio» (*Gv*, 1, 1).

Semplicemente, il ragionamento sui dogmi della Fede, paragonando le parole della Bibbia alle scienze moderne, è un tipo di “gioco” mentale, in musica un'opera così si sarebbe chiamata “scherzo”. Dopo aver scherzato, si riapre la Parola e si medita di nuovo.

Egli era in principio presso Dio. Tutto è stato fatto per mezzo di lui, e senza di lui neppure una delle cose create è stata fatta. In lui era la vita, e la vita era la luce degli uomini. E la luce risplende fra le tenebre; ma le tenebre non l'hanno ricevuta. (*Gv* 1, 2–4).

² «Poi Iddio disse: ‘Facciamo l'uomo a nostra immagine, secondo la nostra somiglianza: domini sopra i pesci del mare e sugli uccelli del mare, sugli animali domestici, su tutte le fiere della terra e sopra tutti i rettili che strisciano sopra la sua superficie’. Iddio creò l'uomo sua immagine, a immagine di Dio lo creò; tali creò l'uomo e la donna.» (*Gen.* 1,26–27).

Questa volta le tenebre non sono quelle fisiche, ma morali, come sull'affresco della chiesa di Asklepio, v. fig. 8.2. La *Bibbia*, lo diceva il grande Galileo, non è un libro che spiega come fatto il cielo, ma come si arriva al Cielo.

9.4. Cinque “prove” dell’esistenza di Dio

San Tommaso, probabilmente il più grande pensatore, filosofo e teologo cristiano definì cinque “prove” dell’esistenza di Dio. Queste prove in parte si basavano su argomenti oggi appartenenti alla fisica. La loro descrizione è concisa, e costituisce la base di tutta la “Somma teologica”.

Oggi — dopo sette secoli di una verticale crescita della cultura umana: architettura, arte, fisica, antropologia, ecc. — possiamo definire altre prove.

- 1) Esiste il mondo bello e immenso.
Esiste il mondo, e sappiamo che è fisicamente ed estremamente complicato: con le costanti universali “aggiustate” all’infinito e le leggi che in gran parte non siamo in grado di capire. Un mondo fatto come un’orologio meccanico sarebbe molto più semplice.
- 2) Esiste l’Uomo, molto complesso.
Esiste l’Uomo, che si differenzia in tutti gli aspetti (salvo la biologia del corpo) da tutte le bestie, e che culturalmente è molto, molto complicato. L’uomo, per vivere, non avrebbe bisogno di tutta questa complessità filosofica.
- 3) Esistono scienziati credenti.
Esistono gli scienziati, gente che per la gran parte del tempo libero medita, inventa, scrive. La maggior parte di questi pensatori, dopo aver contribuito in modo incredibile al progresso scientifico (i grafici di Cartesio, la gravità di Newton, la matematica di Leibniz), si sbilanciano per discutere l’esistenza di Dio. Per errore? O per certezza?
- 4) Esiste la cultura, per secoli cristiana.
Dai tempi di San Tommaso, nonostante la mancanza di mezzi tecnici e le carestie, le società si sono “sbizzarrite” nel costruire cattedrali, una più impossibile dell’altra, spendendo fortune e milioni di anni di lavoro. Gli artisti più dotati, in tutti i tempi,

hanno dedicato i loro talenti più preziosi per proclamare la gloria di Dio. Perché?

5) Esistono i santi e i miracoli.

Dagli albori della cristianità, enormi folle di giovani, adulti, anziani hanno dedicato il dono della loro vita (biologica) al martirio. Migliaia sono le testimonianze di miracoli. Infinite sono le file dei fedeli. Tutto per una pazzia collettiva? O per un reale Essere trascendentale? Chiamato Dio?

Per noi non sono le prove, ma solamente gli indizi — seguendo Vittorio Messori (e Blaise Pascal) — sufficienti per convincere chi vuole, e non opprimenti, chi non vuole.

9.5. Sapiamo già tutto?

No, non sappiamo. Lo ammettevano tutti grandi scienziati: qualsiasi scoperta essenziale apre un mare d'ignoto d'avanti. Kepler aveva scoperto le leggi matematiche di rivoluzione dei pianeti ma cercare delle spiegazioni quasi magiche. Newton spiegò le leggi di Keplero, ma introdusse una azione tra corpi a distanza, tutto inspiegabile, fino all'equazione di relatività generale di Einstein. E di conseguenze cosmologiche di quell'ultima sappiamo meno di 1%.

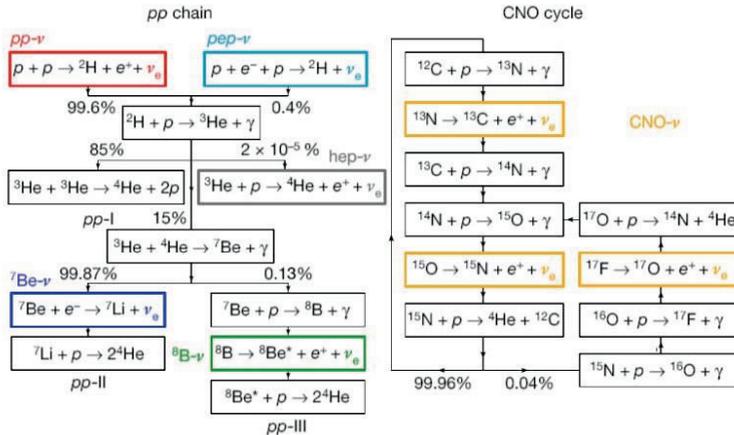


Fig. 9.4. Il grafico di due catene di sintesi termonucleare nel Sole. Le due catene sono collegate da una reazione poco probabile, da berillio ${}^8\text{Be}^*$ (casella verde) una reazione di cattura della particella *alfa* ${}^4\text{He}$. Risultati di misure di Gran Sasso (collaborazione Borexino) di anni 2012–2016. FONTE: «Nature», 25.10. 2018

I recentissimi (Ottobre 2018) risultati di lunghe misure di neutrini provenienti dal Sole, fatte in Laboratorio di Gran Sasso in Italia, hanno permesso di stimare le singole reazioni nelle catene di sintesi termonucleare. Il grafico dell'energia di legame di nuclidi (fig. 3.15c) mostra che il nucleo dell'elio è particolarmente stabile. Ma sino a che punto?

I risultati di Gran Sasso hanno confermato, che le due catene di processi — la sintesi che parte da idrogeno (e porta a berillio) e quella che parte da carbonio verso l'ossigeno, formano delle due isole distinte, v. fig. 9.4 In altre parole, il passaggio tra due catene è talmente stretto (cioè poco probabile) che non si è visto il segnale nelle lunghe misure di quattro anni.

Di più: il passaggio tra due isole è quasi un miracolo di fisica. Si basa su uno stato di vita estremamente breve del nucleo di berillio eccitato. Senza di esso non potrebbe esistere né carbonio né ossigeno. E poi, tutte le catene potrebbero ricadere di nuovo su elio, come mostra il grafico in fig. 9.4. Un mondo eterno che consuma l'energia ma non produce niente. E il Sole è una stella "furba", che esplodendo si è liberata delle ceneri pesanti come solfo e ferro, che a sua volta sono utili per noi sulla Terra...

9.6. San Giovanni Paolo II: le due ali

Tutti i papi del XX secolo sono stati coinvolti nella discussione (scontro?) tra la Fede e la scienza. Abbiamo cominciato dal discorso del Cardinale Ratzinger. Ma anche Pio XII, quando ha conosciuto la teoria di Lemaître, con i dettagli sui modi con cui si può valutare l'età dell'Universo si è espresso³:

È innegabile che una mente illuminata ed arricchita dalle moderne conoscenze scientifiche, la quale valuti serenamente questo problema, è portata a rompere il cerchio di una materia del tutto indipendente e autoctona, o perché increata, o perché creata da sé, e a risalire ad uno Spirito creatore. Con medesimo sguardo limpido e critico, con cui esamina e giudica i fatti, vi intravede e riconosce l'opera della onnipotenza creatrice, la cui virtù, agiata dal potente «fiat» pronunziato miliardi di anni fa dallo Spirito creatore, si dispiegò nell'universo,

³ *Discorso di Sua Santità Pio XII del 22 novembre 1951 per la Sessione plenaria e la Settimana di studio sul Problema di microsismi*, in: *Discorsi indirizzati dai Sommi Pontefici Pio XI, Pio XII, Giovanni XXIII, Paolo VI, Giovanni Paolo II alla Pontificia Accademia delle Scienze dal 1936 al 1986*, Pontificia Accademia Scientiarum, Città del Vaticano, 1986, p. 80.

chiamando all'esistenza con un gesto d'amore generoso la materia esuberante di energia. Pare davvero cge la scienza odierna, risalendo d'un tratto milioni di secoli, sia riuscita a farsi testimone di quel primordiale 'Fiat lux', allorché dal nulla proruppe con la materia un mare di luce e di radiazioni mentre le particelle degli elementi chimici si scissero e si riunirono in milioni di galassie.

Non è l'immutabilità dell'Universo il segno di grandezza di Dio, ma proprio il dinamismo del mondo — fisico, atomico, chimico, stellare. Questa mutabilità comprende anche il mondo biologico, che conosciamo con minor precisione del mondo fisico: non perché la mancanza di capacità, ma perché il mondo biologico (e anche il chimico) è per la natura di processi molto meno prevedibile che la fisica, almeno quella classica. Se nella fisica eravamo in grado di definire dei principi, affermazioni semplici non sono possibili (almeno adesso) in biologia. Così, la teoria di evoluzione biologica rimane ancora la scienza molto frammentata. Non è da escludere, che essa sia governata dalle leggi ancora superiori a quelle di fisica, vol dire di metafisica, compreso la causa teleologica.

Uso ancora le spiegazioni⁴ di S. Giovanni Paolo II:

Nella sua Enciclica *Humani Generis* il mio predecessore Pio XII aveva già affermato che non vi era opposizione fra l'evoluzione e la dottrina della fede sull'uomo e sulla sua vocazione, purché non si perdessero di vista alcuni punti fermi (cf. Pio XII, *Humani Generis*, 1950: AAS 42 [1950] 575–576). Da parte mia, nel ricevere il 31 ottobre 1992 i partecipanti all'Assemblea plenaria della vostra Accademia, ho avuto l'occasione, a proposito di Galileo, di richiamare l'attenzione sulla necessità, per l'interpretazione corretta della parola ispirata, di una ermeneutica rigorosa. Occorre definire bene il senso proprio della Scrittura, scartando le interpretazioni indotte che le fanno dire ciò che non è nelle sue intenzioni dire. Per delimitare bene il campo del loro oggetto di studio, l'esegeta e il teologo devono tenersi informati circa i risultati ai quali conducono le scienze della natura.

La quantità d'informazione scientifica con quale siamo bersagliati ogni giorno è imponente. Queste informazioni, presentate in modo frammentato sembrano di essere auto-consistenti, cioè non aventi bisogno di spiegazioni al di fuori del mondo materiale. Gli scienziati stessi nascondono i loro dubbi e problemi aperti. Per questo motivo servono proprio i

⁴ https://w2.vatican.va/content/john-paul-ii/it/messages/pont_messages/1996/documents/hf_jp-ii_mes_19961022_evoluzione.pdf.

discorsi dettagliati ma inseriti nel panorama filosofico più ampio. Che sono estremamente difficili da fare...

Rimane essenziale il dialogo tra le scienze naturali e quelle umanistiche, compreso la teologia (chiamata le volte una scienza “divina”). Questo scambio di sapienza e di pareri deve essere bidirezionale: la fisica deve attingere continuamente alle sue basi filosofiche (come faceva Einstein, formulando teorie di spazio-tempo) e anche “il teologo” deve tenersi informato in continuazione sugli sviluppi di scienza, per non rimanere ignorante nella discussione con “il matematico” (come diceva San Agostino) e per “non mettere in luce ridicola la fede” a causa della propria ignoranza.

Tutto il discorso sulle ragioni scientifiche per credere in Dio concludiamo con le parole di San Giovanni Paolo II dall’Enciclica “Fides et Ratio”:

La fede e la ragione sono come le due ali con le quali lo spirito umano s’innalza verso la contemplazione della verità. È Dio ad aver posto nel cuore dell’uomo il desiderio di conoscere la verità e, in definitiva, di conoscere Lui perché, conoscendolo e amandolo, possa giungere anche alla piena verità su se stesso⁵. La ricerca della verità, anche quando riguarda una realtà limitata del mondo o dell’uomo, non termina mai; rinvia sempre verso qualcosa che è al di sopra dell’immediato oggetto degli studi, verso gli interrogativi che aprono l’accesso al Mistero.⁶



Fig. 9.5. S. Giovanni Paolo II al Golfo di Danzica. Foto: Wojciech Kryński.

⁵ GIOVANNI PAOLO II, *Fides et ratio*. L’Osservatore Romano, Vaticano 1998, p.3.

⁶ *Ibidem*, p. 153.

9.7. Un riassunto

Il riassunto di tutta questa storia è breve:

- 1) L'Universo, come ha scritto Sant'Agostino, è la struttura materiale più grande che possiamo conoscere. Copernico ha aggiunto che probabilmente non possiamo conoscere i limiti dell'universo e Einstein l'ha dimostrato con la teoria della relatività.
- 2) Dio, secondo Sant'Agostino, è l'essere immateriale ("celeste") più grande che esista. Questa affermazione va precisata con le parole di Newton: Dio è onnipotente e onnisciente.
- 3) Il tempo e lo spazio, secondo Sant'Agostino, furono creati da Dio con il mondo. La teoria del Big Bang (più che la teoria, visti tutti i dati sperimentali), intuiva da Lemaître (un prete cattolico), prova, che lo spazio e il tempo sono nati con la materia. La teoria generale della relatività di Einstein conferma le intuizioni di Aristotele (contro Kant) che lo spazio e il tempo fanno parte della materia.
- 4) La teoria della relatività pone limiti alla nostra conoscenza dell'infinitamente grande. Il principio di Heisenberg (e tutta la meccanica quantistica, partendo dall'equazione di Schrödinger) ci impedisce di conoscere l'infinitamente piccolo. La teoria della relatività ci impedisce di conoscere l'infinitamente grande.
- 5) Sembra che possiamo conoscere tutte le dimensioni "in mezzo": tra l'infinitamente grande e l'infinitamente piccolo, non solo della nostra statura. E la nostra calotta riesce a racchiudere dentro tutto l'Universo, in un pensiero sempre diverso, individuale e non paragonabile a niente altro.
- 6) Questa calotta, e magari tutto il corpo, come ritiene San Tommaso, è impregnata dall'anima umana, che secondo Platone è immortale. Lo conferma anche Aristotele, secondo cui l'anima intelligente (e immortale) è un presupposto solo degli esseri umani, dell'*Homo sapiens sapiens*, come viene chiamato oggi dai biologi.
- 7) La genetica moderna, con l'antropologia e l'archeologia della cultura confermano che l'*Homo sapiens sapiens* possa avere avuto inizio in un luogo ben determinato e in un preciso momento di tempo, intorno a 120 mila anni fa, da qualche parte nel giardino africano.

- 8) La meccanica quantistica, con la teoria speciale della relatività, ci indica che il principio di causalità, più volte studiato da San Tommaso, è una relazione ferrea, assolutamente intransigente, probabilmente molto di più che tutti gli altri “principi” della fisica. Questo è un vincolo morale per esseri umani che possono influenzare il mondo.
- 9) Nasce però un problema: se Dio esiste al di fuori dello spazio e del tempo, conosce anche il futuro. Anzi, per Lui il futuro è già successo. Come possiamo modificare il futuro? Qui San Tommaso risponde che Dio, con il nostro libero arbitrio, ci permette di modificare il futuro, in particolare con la preghiera.
- 10) Il principio di causalità non ha solo conseguenze per la fisica, ma prima di tutto per l’etica: qualsiasi nostra azione avrà un risultato. D’altra parte, anche il buon Dio creando il mondo non guardò che fosse perfetto matematicamente, ma che fosse buono.
- 11) Allora perché esiste il male, come chiedeva Leibniz? Egli rispondeva che Dio ha creato il mondo che non è perfetto, ma è il migliore dei mondi possibili. Sì? Un mondo perfetto non avrebbe bisogno delle nostre buone azioni. Come ha scritto Cartesio, l’uomo può studiare tutti i libri, ma questo sarebbe uno spreco di tempo se nella sua vita non facesse anche buone azioni.

In fine, il sottoscritto, professore ordinario di Fisica sperimentale⁷, laureato anche in Economia, specialista della fisica atomica, dell’antimateria, della fisica dello stato solido, della divulgazione e della didattica della fisica, crede non solo nella Creazione del mondo, nel peccato originale, nella Redenzione dell’uomo, ma anche nell’azione permanente dello Spirito Santo, nella forza della preghiera di invertire le sorti del mondo, in comunione con i santi e nei compiti (talenti) che il buon Dio ha assegnato a tutte le sue creature, *in primis* all’Uomo.

⁷ Oltre numerose pubblicazioni scientifiche (maggior parte in inglese), si consiglia la lettura di due testi in italiano: KARWASZ, G., *Il costante progredire della frontiera tra teologia e scienza: “Fisica”*, «Scientia et Fides», 3, 1 (2015) 61; KARWASZ, G., *Il costante progredire della frontiera tra teologia e scienza: “Metafisica”*, «Scientia et Fides», 4, 1 (2016) 151.

Dieci domande

Come in un manuale, dobbiamo fornire le risposte alle domande più importanti. Eccole!

1) All'inizio del mondo c'è stato davvero il Big Bang?

Sì, possiamo spiegare l'inizio del mondo con il Big Bang, un'esplosione cosmica. Ma sapendo che l'energia e la materia non possono essere create dal nulla, non possiamo spiegare da dove sono pervenute tutta l'immensa energia e la materia dell'Universo esistente.

2) C'è stata davvero l'evoluzione?

Sì, c'è stata l'evoluzione biologica, che nel giro di 4,5 miliardi dalla comparsa della vita sulla Terra (o "nel sesto giorno") ha portato alla formazione dell'*Homo sapiens*. D'altra parte, l'evoluzione non è nient'altro che il susseguirsi delle leggi della natura, che, come ha detto Galileo, "è la più fedele eseguitrice degli ordini di Dio".

3) Adamo ed Eva sono esistiti davvero?

Sì, la genetica moderna riconduce l'intera umanità oggi vivente sulla Terra a un singolo padre e a una singola madre, risalenti a circa 120 mila anni fa, in Africa. La differenza genetica tra le scimmie e l'uomo sembra minima, ma è assolutamente decisiva per tutte le caratteristiche umane.

4) C'è stato davvero il peccato originale?

Dio ha espulso Adamo ed Eva dal Paradiso quando essi hanno voluto acquisire la conoscenza del Bene e del Male per conto proprio. È un grande peccato voler stabilire da soli dei giudizi etici e ancora peggio è cercare di imporli agli altri.

5) Esiste la vita oltre Terra?

Allo stato della nostra conoscenza (e in accordo con il professor George Coyne dell'Osservatorio Astronomico del Vaticano), non c'è trattato teologico che lo vieti. Tuttora, di migliaia di pianeti che abbiamo scoperto, nessuno somiglia a Terra.

6) C'è stata davvero la Resurrezione?

Sì, con tutti i possibili indizi che fornisce sia il laconico (quasi assurdo) racconto di S. Giovanni "e vide e credette" (20,9), sia l'immagine sulla Sacra Sindone, la Resurrezione di Cristo, prima crocifisso e poi morto, è avvenuta davvero. Ma di nuovo, essendo il punto cardinale della Fede Cristiana, la Resurrezione non può essere provata scientificamente.

7) Dobbiamo morire tutti?

No, se Cristo arriva per il Giudizio Universale durante la nostra vita, saremo giudicati "vivi". La Madonna è stata accolta nel Cielo in carne e ossa, mentre dormiva.

8) Possiamo conoscere Dio con la ragione?

No, tutti i filosofi, anche quelli in grande considerazione tra i non credenti, come Kant, hanno ammesso che senza la *grazia divina* non è possibile conoscere Dio. Cercare Dio solo con la ragione significa commettere un peccato di superbia.

9) Qual'è il tratto più significativo dell'anima umana?

Il tratto più significativo non sono le emozioni (perché alcune di queste si possono attribuire anche agli animali), né l'intelligenza (per lo stesso motivo), ma l'immortalità dell'anima. Abbiamo delle prove? Oggettive no, altrimenti non ci sarebbe bisogno della scommessa di Pascal. E le singole persone? Ognuno consideri la propria esperienza personale.

10) Perché Dio permette il male?

Come scrisse un filosofo e fisico, Leibniz, il peccato o il male morale esiste per impedire un male peggiore o per indurre il bene. «Per questo esiste un peccato oppure un male morale, qualunque cosa accada così spesso da poter servire come mezzo per ottenere un bene o per prevenire un altro male».

Ringraziamenti

Il libro è nato dalle domande che ci si faceva durante le piacevoli sedute sul divano verde con il carissimo amico avvocato Mario Fedrizzi, con la bellissima vista sui monti trentini. Spero, dopo anni, di poter fornire parziali risposte da parte mia, cioè dello scienziato. Grazie Mario! per queste domande.

Innumerevoli sono i discorsi e lezioni che ho avuto la grazia di prendere, sia da scienziati (prof. Lev Pitaevski), scrittori (dott. Vittorio Messori), teologi (prof. Piotr Roszak) e gente di profonda Fede (come dott. Romano Cainelli, Giusi Cagol, Elia Serafini, Mariella e Marco Visintainer, Glorianna Frisinghelli, Alda Anastasi e tanti, tanti altri). Un ringraziamento speciale va alla Dr.ssa Mariateresa Lezzi Gorga, per avermi aperto alla bellezza delle immagini sulla Creazione. Il libro non sarebbe ultimato senza un'attenta lettura dalla parte del caro amico, Dr Luca Morlino.

E infine, i ringraziamenti più importanti vanno alla mia amata sposa, Maria, silenziosa e fedelissima in tutto questo che invento.



L'Annunciazione è il più grande mistero della Fede. Due mondi, questo fisico e quello Divino si sono riuniti nel Corpo di Cristo. Riuniti, sulla parola di Dio. Che una pia ragazza aveva ascoltato e creduto. Hotel de Cluny, Paris, foto GK, 2003.

Bibliografia

- AGOSTINO, A., *Città di Dio*, Edizione Acrobat, cura di Patrizio Sanasi, www.ousia.it/SitoOusia/SitoOusia/TestiDiFilosofia/TestiPDF/Agostino/CittàDiDio.pdf.
- ARISTOTELE, *L'Anima*, trad. G. Movia, Bompiani, Milano 2014.
- , *Fisica*, trad. A. Russo, Laterza, Roma-Bari 1991.
- , *Del cielo*, trad. O. Longo, Mondadori, Milano 2008.
- , *Metafisica*, trad. G. Reale, RCS Libri, Milano 2000.
- ARTIGAS, M., *La mente del Universo*, Fundacion Universitaria de Navarra, Navarra 1998.
- AURELIO, M.A., *Ricordi*, trad. Enrico Trolla, Fabri Editori, Milano 1995.
- BAIMA BOLLONE, P., 2015. *La Nuova Indagine sulla Sindone. Due mila anni di storia e le ultime prove scientifiche*, Priuli & Verlucca, Ivrea 2015.
- BARBOUR, I., *Ways of Relating Science and Religion*, in: I. Barbour, *Religion in an Age of Science*, Harper, San Francisco 1990.
- BARROW, J.D., TIPLER, F.J., *Il principio antropico*, Adelphi Edizioni, Milano 2002.
- BARROW, J., *I numeri dell'universo. Le costanti della natura e la teoria del tutto*, Oscar Saggi, Milano 2004.
- BENZ, A., *Il futuro dell'universo: caso, chaos, Dio?* (in tedesco), Patmos Verlag, Düsseldorf 1997.
- BIBBIA, *Traduzione Interconfessionale in Lingua Corrente*, Chiesa Italiana.
- BIBLIA, *La Sacra Bibbia*, Edizioni Paoline, Roma 1966.
- CAVALLO SFORZA, L.L., PIEVANI, T., *Homo sapiens. La grande storia della diversità umana*. Mostra scientifica, Museo delle Scienze di Trento, Catalogo, Codice Edizioni, Torino 2012.
- COPERNICUS, N., *De Revolutionibus orbium coelestis*, Petronius Editions, Norimberga 1543.
- CORAZZA, A., *Newton. Uno sguardo scientifico su Dio*, Tesi di Dottorato, Università Ca' Foscari, Venezia 2013.

- Dal Nilo all'Eufrate. Letture dell'Egitto, dell'Assiria e di Babilonia*, a cura di A. Di Noia, Edipem, Novara 1974.
- DARWIN, CH., *Autobiografia*, ed. Nora Barrow, Collins, London 1958.
- DAVIES, P., *Dio e la nuova fisica*, Mondadori, Milano 2005.
- DESCARTES, R., *Meditazioni metafisiche*, a cura di G. Cantelli, La Nuova Italia, 1982.
- , *Passioni dell'anima*, Bompiani, Milano 2003.
- DISCORSI indirizzati dai Sommi Pontefici Pio XI, Pio XII, Giovanni XXIII, Paolo VI, Giovanni Paolo II alla Pontifica Accademia delle Scienze dal 1936 al 1986, Pontifica Academia Scientiarum, Città del Vaticano 1986.
- EINSTEIN, A., *Come io vedo il mondo*, trad. Remo Valori, Newton Compton Editori, Roma 1975.
- FRIZZI, G., FRIZZI G., *Breve storia della biologia*, in: “Le basi della vita”, La Scienza, La biblioteca di Repubblica, UTET, Roma 2005.
- GAETA, S., *L'altra Sindone. La vera storia del volto di Gesù*, Mondadori, Milano 2005.
- GALILEI, G., *Dialogo dei Massimi Sistemi*, a cura di F. Flora, Oscar Mondadori, Milano 2004.
- GELL-MANN, M., *Il quark e il giaguaro. Avventura nel semplice e nel complesso*, Bollati Boringhieri, Torino 2000.
- GIGERENZER, G., *Quando i numeri ingannano*, Raffaello Cortina, 2003.
- GIOVANNI PAOLO II, *Fides et ratio*. L'Osservatore Romano, Vaticano 1998.
- GUBSER, S.S., PRETORIUM, F., *I buchi neri*, Le Scienze, Roma 2018
- ILIFFE, R., *Newton. A Very Short Introduction*, Oxford University Press, 2007.
- KANT, I., *Religion within the boundary of pure reason*, transl. J.W. Semple, Thomas Clark, Edinburgh 1838.
- , *Critica della ragion pura*, Parte II (Logica trascendentale); trad. di G. Colli, Einaudi, Torino 1957.
- LANE, N., *Le invenzioni della vita. Le dieci grandi tappe dell'evoluzione*, il Saggiatore, Milano 2012.
- LEIBNIZ, G.W., *Saggi di teodicea sulla bontà di Dio, la libertà dell'uomo e l'origine del male*, Bompiani, Milano 2005.
- LUCIE-SMITH, E., *The Glory of Angels*, Harper Design, 2009.
- MESSORI, V., *Dicono che è risorto. Un'indagine sul sepolcro vuoto*, SEI, Torino 2000.

- , *Il miracolo*, Rizzoli, Milano 1998.
- , *Inchiesta sul Cristianesimo. Quarantasette voci sul mistero della fede*. Oscar Mondadori, Milano 2003.
- MESSORI, V., con TORNIELLI, A., *Perché credo. Una vita per rendere ragione della fede*, Piemme, Casale Monferrato 2008.
- MOORE, G.E., *Principia Etica*, Bompiani, Milano 1964.
- MONTESSORI, M., *Educare alla libertà*, Oscar Mondadori, Milano 2008
- NEWTON, I., *Principi Matematici della Filosofia Naturale*, a cura di A. Pala, UTET, Torino 1965.
- PASCAL, B., *Dio o il mondo. I tratti da Pensieri*, a cura di C. Lamparelli, Oscar Mondadori, Milano 2008.
- PÉREZ IZQUIERDO, A.T., *Planck. La teoria quantistica. La rivoluzione dell'infinitamente piccolo*, RBA, Milano 2014.
- PESSOA, L., *The Cognitive-emotional Brain. From Interactions to Integration*. MIT Press 2013.
- PLANCK, M., *Religion und Naturwissenschaft*, Vortrag gehalten im Baltikum (Mai 1937).
- , *Where Science Is Going?* W. W. Norton, New York 1932.
- , *The Universe in the Light of Modern Physics*, G. Allen & Unwin, London 1931.
- PLATONE, *Timeo*, trad. E. Pegone, Newton and Compton, Roma 1997.
- , *L'Apologia di Socrate*, <http://archiviomarini.sp.unipi.it/347/>.
- PREMOLI DE MARCHI, P., *Uomo, né angelo né bestia. Argomenti a favore dell'esistenza e dell'immortalità dell'anima*, I Quaderni del Timone, Edizioni Art, Novara 2005.
- RATZINGER, J., *In principio Dio creò il cielo e la terra. Riflessioni sulla creazione e il peccato*, «I Pellicani» - religione, cristianesimo, spiritualità, Edizioni Lindau, Torino 2006.
- , *Introduzione al Cristianesimo*, Queriniana, Brescia 1997.
- ROVELLI, C., *Sette brevi lezioni di fisica*, Adelphi, Milano 2017.
- SAMEK LODOVICI, G., *L'Esistenza di Dio*, I quaderni del Timone, Edizioni Art, Novara 2004.
- SEATLE, J.R., *Mind. A Brief Introduction*, Oxford University Press, New York 2004.
- STEDMAN, G.E., *An Orthodox Understanding of the Bible with Physical Science*, Eloquent Books, Durham 2012.
- SYKES, B., *Le sette figlie di Eva. Le comuni origini genetiche dell'umanità*, Mondadori, Milano, 2003.

- TOMMASO D'AQUINO, *Commenti a Boezio*, Rusconi, Milano 1997.
 ———, *Somma Teologica*, trad. Frati Domenicani, Edi-zioni Studio Domenicano, 2014.
- VIALOU, D., *Au cœur de la préhistoire. Chasseurs et artistes*. Gallimard, Paris 1996.
- WEINBERG, S., *I primi tre minuti. L'affascinante storia dell'origine dell'universo*. Mondadori-DeAgostini, Novara 1994.
- YAKI, S., *The Brain Mind Unity: The Strangest Difference*, Real View Books, Pinckney (MI) 2004.
- ZICHICHI, A., *Perché io creo in Colui che ha fatto il mondo. Tra Fede e Scienza*. il Saggiatore, Milano 1999.

Articoli scientifici

- ALLWOOD, A.C., *Evidence of life in Earth's oldest rocks*, «Nature» 535 (2016) 500.
- ASPECT, A., *Viewpoint: Closing the Door on Einstein and Bohr's Quantum Debate*, «Physics», 8 (2015) 12.
- BARNES, L.A., *The Fine-Tuning of the Universe for Intelligent Life*, «Astronomical Society of Australia», 29 (2012) 529.
- BERNA, F., *et al. Microstratigraphus evidence of in situ fire in the Acheulean strata of Wonderwerk Cave, Northern Cape province, South Africa*, «Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.» 109 (2012) 1220.
- BOYET, M., CARLSON, R.W., *¹⁴²Nd Evidence for Early(>4.53Ga) Global Differentiation of the Silicate Earth*, «Science» 309 (2005) 576.
- CAVALLI-SFORZA, L.L., FELDMAN, M.W., *The application of molecular genetic approaches to the study of human evolution*, «Nature Genetics Supplement», 33 (2003) 266.
- CAVALLIERI, G., *L'universo? E' progettato a misura d'uomo*, «Il Timone», Maggio 2004, 50.
- CHEN, J.-Y. *et al.*, *An early Cambrian craniate-like chordate*, «Nature» 402 (1999) 518.
- CHIARENZA, G.A. *et al.*, *Brain activity associated with skilled finger movements: Multi-channel magnetic recordings*, «Brain Topography», 3 (1991) 433.
- DUCH, W., *Why minds cannot be received, but are created by brains*, «Scientia et Fides», 5 (2017) 171.

- GIOVANNI PAOLO II, *Messaggio di Giovanni Paolo II ai partecipanti alla Plenaria della Pontificia Accademia delle Scienze*, Editrice Vaticana, 22.10.1996.
- KARWASZ, G., *Il costante progredire della frontiera tra teologia e scienza: "Fisica"*, «Scientia et Fides», 3, 1 (2015) 61.
- , *Il costante progredire della frontiera tra teologia e scienza: "Metafisica"*, «Scientia et Fides», 4, 1 (2016) 151.
- , *Aristotle's three souls in modern science: Re-reading "De Anima"*, «Cauriensia» 13 (2018) 429.
- LASKAR, J. *et al.*, *Stabilization of the Earth's obliquity by the Moon*, «Nature» 361 (1993) 615.
- LUTZ, E., CILIBERTO, S., *Information: From Maxwell's demon to Landauer's eraser*, «Physics Today» 68/9 (2015) 30.
- LEMAÎTRE, G., *The Beginning of the World from the Point of View of Quantum Theory*. «Nature» 127 (1931) 706.
- LUND., M., UGGERHØJ, U.J., *Experimental special relativity with a meter stick and a clock*, «Am. J. Phys.» 77 (1982) 757.
- MARSHACK, A., *Notation dans les gravures du paléolithique supérieur*, Publications de l'institut de Préhistoire de l'Université de Bordeaux. Mémoire No. 8, Bordeaux, Imprimeries Delmas, 1970.
- MITURA, S., *et al.*, *Nanocrystalline diamond, its synthesis, properties and applications*, «J. Achiev. Mat. Manufact. Eng», 16 (2006) 1.244.
- MORISHIMA, K., *et al.*, *Discovery of a big void in Khufu's Pyramid my observation of cosmic muon*, «Nature», 552 (2017) 386.
- NORKOWSKI, J.M., *Brain based criteria for death in the light of the Aristotelian-Scholastic anthropology*, «Scientia et Fides», 6/1 (2018), 153.
- OLIVIERI, A. *et al.*, *The mtDNA legacy of the Levantine early Upper Paleolithic in Africa*, «Science», 314 (2006) 1767.
- O'NEIL, J.O. *et al.*, *Neodmium-142 Evidence for Hadean Mafic Crust*, «Science» 321 (2008) 1828.
- PENNISI, E., *Supergenes' drive evolution*, «Science» 357 (2017) 1083.
- PERLMUTTER, S., *Measuring the Acceleration of the Cosmic Expansion Using Supernovae*, Nobel Lecture, Nobel Foundation 2011.
- , *Supernovae, Dark Energy and Accelerating Universe*, «Physics Today» 56, 4 (2003) 53.
- PAMMER, K., *Temporal sampling in vision and the implications for dyslexia*, «Frontiers in Human Neuroscience», 7 (2014) 933.

- POZNIK, G.D. *et al.*, *Sequencing Y Chromosomes Resolves Discrepancy in Time to Common Ancestor of Males Versus Females*, «Science», 341 (2013) 562.
- ROACH, N.T. *et al.*, *Elastic energy storage in the shoulder and the evolution of high-speed throwing in Homo*, «Nature» 498 (2013) 483.
- ROSSI, B., HALL, D.B., *Variation of the Rate of Decay of Mesotrons with Momentum*, «Phys. Rev. » 59 (1941) 223.
- SILVA, H. S., *Intelligent design endangers education*, «Science» 6354 (2017) 880.
- SNOBELEN, S.D., *The Theology of Isaac Newton's Principia Mathematica: A Preliminary Survey*. Neue Zeitr. Systematische Theologie und Religionsphilosophie, January 2010, p. 377.
- SOZAŃSKI, K. *et al.*, *Small Crowders Slow Down Kinesin Stepping by Hindering Motor Domain Diffusion*, «Phys. Rev. Lett.», 115 (2015) 218102.
- SZETELA, M., OSIŃSKI, G., *The concept of "dialogical soul" by Joseph Ratzinger against the latest concepts of neurosciences*, «Scientia et Fides», 5 (2017) 199.
- TATTERSALL, I., *Le migrazioni degli ominidi*, «Le Scienze», 346 (1997) 88.
- THE BOREXINO COLLABORATION, *Comprehensive measurements of pp chain solar neutrinos*, «Nature» 562 (2018) 505.
- WATANABE, H., *et al.*, *DNA sequence and comparative analysis of chimpanzee chromo-some 22*, «Nature» 429 (2004) 348.

Materiale internet

- ALBIN, M., *Le Monde s'est-il créé tout seul?*, 2008. <https://www.agoravox.fr/actualites/technologies/article/le-monde-s-est-il-cree-tout-seul-39843>.
- AMIAUD, L., *Electron induced processes on mixed molecular ices*, Institut des Sciences Moléculaires, Orsay 2015, <http://www.ismo.u-psud.fr/spip.php?rubrique65&lang=fr>.
- Arte dell'era della pietra*, https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_Stone_Age_art.

- Arte preistorica*, https://fr.wikipedia.org/wiki/Art_pr%C3%A9historique.
- LA BIBBIA. *Traduzione Interconfessionale in Lingua Corrente*, Chiesa Italiana <http://www.lachiesa.it/bibbia/tilc/index.htm>.
- BERNARDINI, P., *Condanne di Aristotele*, Università di Siena, <http://www3.unisi.it/ricerca/prog/fil-med-online/temi/htm/condanne.htm>.
- Discorso* di Giovanni Paolo II ai partecipanti al Simposio Internazionale su «Fede Cristiana e teoria dell'evoluzione». https://w2.vatican.va/content/john-paul-ii/it/speeches/1985/april/documents/hf_jp-ii_spe_19850426_studiosi-evoluzione.html.
- Documentazione Interdisciplinare di Scienza e Fede*, <http://disf.org>.
- Fingers of God*, https://en.wikipedia.org/wiki/Redshift-space_distortion
- GIOVANNI PAOLO II, *Regina Coeli*, 24/04/1994, http://w2.vatican.va/content/john-paul-ii/it/angelus/1994/documents/hf_jp-ii_reg_19940424.html.
- Hominid Fossil Repository*, University of Michigan, http://projects.leadr.msu.edu/hominid_fossils/items/show/84.
- JIANG, K., *Tiktaalik*, The University of Chicago, <https://tiktaalik.uchicago.edu/press/>.
- KARWASZ, G., *Tartarughe magnetiche*, in: On the Track of Modern Physics, dydaktyka.fizyka.umk.pl/Physics_is_fun/html/turtle.html
 ———, *Intelligent Design can be misleading*, «Science e-letters», 02.11.2017, <https://science.sciencemag.org/content/357/6354/880.1/tab-e-letters>.
- MORAES, M, *Reconstruções Faciais da Evolução Humana*, http://www.cicero.moraes.com.br/doc/pt_br/Moraes/RFF_Evolucao.Html.
- Macchina del tempo*, Ottobre 2002, <http://www.cinquantamila.it/storyTellerArticolo.php?storyId=0000000084712>.
- Primate: comportamenti*. Focus, 22/02/2018 <https://www.focus.it/ambiente/animali/comportamenti-di-primati-tipicamente-umani>.
- Pufferfish DNA Yields Clues to Human Biology*, Joint Genome Institute, University of California, https://jgi.doe.gov/news_7_25_02/.
- Vénus de Laussel*, https://fr.wikipedia.org/wiki/V%C3%A9nus_de_Laussel.

AREE SCIENTIFICO–DISCIPLINARI

AREA 01 – Scienze matematiche e informatiche

AREA 02 – **Scienze fisiche**

AREA 03 – Scienze chimiche

AREA 04 – Scienze della terra

AREA 05 – Scienze biologiche

AREA 06 – Scienze mediche

AREA 07 – Scienze agrarie e veterinarie

AREA 08 – Ingegneria civile e architettura

AREA 09 – Ingegneria industriale e dell'informazione

AREA 10 – Scienze dell'antichità, filologico–letterarie e storico–artistiche

AREA 11 – Scienze storiche, filosofiche, pedagogiche e psicologiche

AREA 12 – Scienze giuridiche

AREA 13 – Scienze economiche e statistiche

AREA 14 – Scienze politiche e sociali

AREA 15 – Scienze teologico–religiose

AREA 16 – Discipline musicali

Il catalogo delle pubblicazioni di Aracne editrice è su

www.aracneeditrice.it

Finito di stampare nel mese di dicembre del 2019
dalla tipografia «The Factory S.r.l.»
00156 Roma – via Tiburtina, 912
per conto della «Giacchino Onorati editore S.r.l. – unipersonale» di Canterano (RM)

Scienza e fede

Il mondo umanistico e quello scientifico sembrano da sempre vivere vite separate. Cercare la mente divina nella natura collide con il rigore scientifico. *Scienza e fede* inizia con le parole di Galileo sulla Natura fedele osservatrice degli ordini divini. Lo scopo è d'identificare l'ordine della Natura – tramite le leggi della fisica, dell'astronomia, della chimica, della biologia, della genetica e dell'antropologia – per verificare se sia in accordo o in contrasto con le Scritture. Il volume descrive la complessa struttura della scienza moderna, con particolare attenzione agli aspetti interdisciplinari e filosofici. È un “manuale” di scienze, rivolto non solo agli insegnanti di religione ma anche a tutti i credenti.

Grzegorz P. Karwasz è professore ordinario di Fisica sperimentale presso la facoltà di Fisica e Astronomia della Uniwersytet Mikołaja Kopernika di Toruń in Polonia. Ha conseguito la laurea in Economia presso la Uniwersytet Gdański e in Fisica presso la Politechnika Gdańska nel 1982. Nel periodo tra il 1986 e il 2006 è stato ricercatore (e professore a contratto) presso Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Trento. Dal 2006 dirige il Dipartimento della Didattica della Uniwersytet Mikołaja Kopernika di Toruń. È esperto scientifico dell'Unione Europea e dell'Agenzia Internazionale dell'Energia Atomica ONU a Vienna. Insegna Fisica moderna, Fisica atomica, Pedagogia, Didattica ed è autore di oltre 200 articoli e comunicazioni sulle riviste internazionali. Pubblica anche monografie e articoli scientifici in materia di astronomia, filosofia e teologia.

