

dialoghi

E se Dio esistesse?

Collana "Dialoghi"
Sezione Scienza e Tecnica

**Collana "Astronomia & Dintorni" in collaborazione
con l'UAI – Unione Astrofili Italiani**

Giuliano Romano
La complessità dell'universo

Luigi Prestinenza
La scoperta dei pianeti

Emiliano Ricci
Il cielo imperfetto

Emilio Sassone Corsi
Il Sole nero

Alfio Giuffrida – Girolamo Sansosti
Manuale di meteorologia

Philippe de La Cotardière
Dizionario di astronomia

Piero Tempesti
Il calendario e l'orologio

Italo Mazzitelli

E SE DIO ESISTESSE?

*I limiti della conoscenza scientifica
quando si indagano Dio e la religione*


GREMESE

In collaborazione con l'UAI – Unione Astrofili Italiani

Dedico questo libro a tre generazioni di miei familiari. Ma tanti hanno contribuito alla sua formazione ed evoluzione fino alla forma attuale. Alcuni mi hanno aiutato con spunti e suggerimenti, altri mi hanno fatto arrabbiare spingendomi a scrivere le mie riflessioni. Tutti sono stati concause di questo esito finale, e dunque dedico il libro anche a loro.

Copertina: Patrizia Marrocco

Stampa: C.S.R. – Roma

Copyright GREMESE
2008 © E.G.E. s.r.l. – Roma
www.gremese.com

Tutti i diritti riservati. Nessuna parte di questo libro può essere riprodotta, registrata o trasmessa, in qualsiasi modo o con qualsiasi mezzo, senza il preventivo consenso formale dell'Editore.

ISBN 978-88-8440-536-4

SOMMARIO

Premessa	<i>p.</i> 11
1. Introduzione e presentazione	13
1.1. Un "Enunciato" fondamentale	13
1.2. Chi è l'autore?	15
1.3. Altri quattro "Enunciati"	17
1.4. Ultimo avviso...	20
1.5. Prime nomenclature	22
1.6. Qualcosa è solido, altro è volatile	25
1.7. Ricapitolando	27
2. Le basi del metodo scientifico	29
2.1. Troppo ovvio per pensarci	29
2.2. Provando e riprovando	31
2.3. Prime variazioni	33
2.4. E senza esperimenti?	35
2.5. Fuori dell'universo	37
2.6. Ci saranno <i>mondi paralleli</i> ?	39
2.7. Stuzzichiamo la Divinità	40
2.8. Con le mani nel sacco	42
2.9. Preghiera e volontà	44
2.10. Ricapitolando	47
3. La modellistica nel metodo scientifico	49
3.1. Fabbricare un modello mentale senza farsi male	49
3.2. Attenzione al trucco	51
3.3. Arriva il primo <i>fantasma!</i>	53
3.4. Modello e realtà	55
3.5. Ora cominciano i guai	58
3.6. Impariamo a non esagerare, per favore	60
3.7. Dove s'incontra Belzebù in persona!	62
3.8. Ricapitolando	64

	<i>p.</i>
4. Conclusioni preliminari sul metodo scientifico	65
4.1. Un po' di turpiloquio	65
4.2. Siamo sicuri di poter capire?	66
4.3. Orrore, le equazioni... o no?	69
4.4. Limiti, sempre limiti	72
4.5. Questi non erano previsti	74
4.6. Viviamo nel <i>paradigma</i> della <i>falsificabilità</i>	75
4.7. Ricapitolando	81
5. Di cause ed effetti, di elefanti e tartarughe	83
5.1. Questa benedetta causalità	83
5.2. Vizi formali e sostanziali	85
5.3. Uno zio piuttosto indisponente	88
5.4. Giochiamo un po' con gli infiniti	91
5.5. Forse, l'universo è troppo grande	92
5.6. Ma Galileo non aveva niente di meglio... ..	94
5.7. Ricapitolando	97
6. L'età delle certezze assolute... o no?	99
6.1. Mi perderò nel bosco	99
6.2. Incenso e melodie gregoriane	101
6.3. Forse, però, la logica non basta	108
6.4. Ricapitolando	110
7. Prolegomeni, statistica e pescatori	111
7.1. Il mitico Immanuel!	111
7.2. Superficialità statistica	113
7.3. Due brevi digressioni	115
7.4. E ora, tutti in barca	116
7.5. La scienza non si fa senza rete!	118
7.6. Ricapitolando	120
8. Cos'è il meccanicismo	121
8.1. Tre leggi per tutto l'universo	121
8.2. Un piccolo gioco di logica	123
8.3. E allora, che fine fa il <i>libero arbitrio</i> ?	125
8.4. La <i>LEGGE</i> è <i>LEGGE</i> . In eterno	126
8.5. Ricapitolando	131

	<i>p.</i>
9. Il terribile caos deterministico	133
9.1. Qualche idea sul <i>determinismo</i>	133
9.2. Si richiede astrazione algebrica... ..	134
9.3. La favola del computer nel bosco	137
9.4. Di uova e farfalle	139
9.5. Un grafico truccato	143
9.6. Un meccanicismo all'acqua di rose... ..	145
9.7. Ricapitolando	148
10. Il primo impatto con la Meccanica Quantistica (MQ)	149
10.1. Questa è fisica, non metafisica	149
10.2. Caliamoci nell'abisso	151
10.3. La <i>realtà</i> si sta sgretolando	154
10.4. Dalle molecole in giù	156
10.5. Smembriamo il singolo atomo	159
10.6. Questo, però, è troppo!	161
10.7. Oltre la causalità? Non ha senso	162
10.8. Dove si dimostra (quasi) l'indimostrabile	163
10.9. Forse non siamo adeguati a capire	165
10.10. Ricapitolando	166
11. Onde, particelle, indeterminazione	167
11.1. Laghetti, paperelle e sassi	167
11.2. Ma neanche questo funziona, perbacco!	169
11.3. Probabilità, allora. Ma di cosa?	170
11.4. L' <i>esistenza</i> diventa <i>immaginar</i> a	172
11.5. L'atomo non è un batuffolo	174
11.6. La base di tutta la MQ	175
11.7. Il funerale del determinismo	177
11.8. Sempre un rospo dobbiamo mandar giù	178
11.9. Che non lo sappia Kant!	179
11.10. Ricapitolando	181
12. Il riduzionismo: quasi un dogma scientifico	183
12.1. Racconto il mio atto di fede	183
12.2. Partiamo dalla chimica	184
12.3. Ma c'è motivo di parlarne?	188
12.4. Arriviamo alla biochimica... con precauzione	189
12.5. Potrebbe esistere l'olismo?	193

	<i>p.</i>
12.6. Evoluzione e cervello umano	196
12.7. Il <i>libero arbitrio</i> non c'è	198
12.8. Ricapitolando	199
13. La teoria e il principio	201
13.1. Cause civili, energia e altro	201
13.2. Chi può negare un principio?	204
13.3. La <i>teoria</i> è più debole del <i>principio</i>	206
13.4. Precisione di linguaggio e funghi velenosi	207
13.5. Ricapitolando	209
14. Lo spaziotempo della Relatività	211
14.1. Tempo e causalità	211
14.2. Un problema di velocità eccessiva	212
14.3. Primo impatto con lo <i>spaziotempo</i>	216
14.4. Pitagora rivisitato	219
14.5. Relativismo o assolutismo?	221
14.6. Il Circolo dei Nemici di Einstein	224
14.7. Ricapitolando	226
15. Passato, presente, futuro e altrove	227
15.1. Il solo nome intimidisce	227
15.2. Cominciamo a ripartire il tempo	230
15.3. Ma non sarebbe comunque <i>futuro</i> ?	232
15.4. Giochiamo pure col passato	234
15.5. Ci serve un amico velocissimo	235
15.6. Basta un'analogia geometrica	237
15.7. Ah! Ecco perché... ..	239
15.8. Ricapitolando	242
16. La curvatura dello spaziotempo	243
16.1. Flettiamo i muscoli (e altro)	243
16.2. Primo dubbio: <i>modello</i> o vera geometria?	244
16.3. Aiutiamoci con un disegno	245
16.4. Niente righello, per favore	247
16.5. Non era poi così difficile, vero?	248
16.6. Non serve più l'elastico invisibile	251
16.7. Un buco nero c'intralcia il cammino	253
16.8. Viva la censura, in questo caso	254
16.9. Ricapitolando	256

	<i>p.</i>
17. L'irragionevole matematica	257
17.1. Ma è davvero così speciale?	257
17.2. L'algebra tipografica di Hilbert	258
17.3. S'inceppe tutto	260
17.4. Sembra illogico, ma è dimostrabile!	261
17.5. Però, non traiamone conclusioni esoteriche	262
17.6. Qualcuno sta litigando sul serio	265
17.7. Gli elettroni sono ottimi matematici	265
17.8. Matematici che non credono ai numeri	267
17.9. Ricapitolando	270
18. Mai inoltrarsi nella terra di nessuno!	271
18.1. Ripassiamo qualcosina sui limiti della scienza	271
18.2. Finalmente, l' <i>Enunciato Z</i>	274
18.3. Per favore, non sbirciate	276
18.4. I fisici e la causa prima	278
18.5. I biologi e il finalismo	280
18.6. Ancora un po' sull'olismo	283
18.7. L'Oriente <i>spirituale</i>	285
18.8. Ricapitolando	286
19. I miti della razionalità e dell'etica naturale	287
19.1. Come definire la razionalità	287
19.2. Non è solo un machiavello	289
19.3. Due punti di vista differenti... ..	291
19.4. ...di cui uno <i>rispettabile</i>	292
19.5. Un' <i>etica naturale</i>	294
19.6. Ricapitolando	296
20. Il cosiddetto principio antropico	297
20.1. Da dove vengono gli altri enunciati?	297
20.2. Siamo il centro dell'universo	298
20.3. Le costanti di natura	300
20.4. L'esempio del carbonio	302
20.5. Troppe coincidenze sospette	305
20.6. Il <i>finalismo</i> rialza la testa	306
20.7. Architetto o capomastro?	307
20.8. Ricapitolando	310

	<i>p.</i>
21. Spiegazioni per me indecorose	311
21.1. Una tripartizione	311
21.2. Le <i>misure quantistiche</i>	312
21.3. S'incontrano nuovi fantasmi	316
21.4. Infinite copie di me stesso	318
21.5. Passiamo a "costruire Dio"	321
21.6. Però, se a voi piace... ..	324
21.7. Ricapitolando	326
22. Queste, invece, mi paiono decorose	327
22.1. Forse è eccesso di pudore	327
22.2. Potrebbe non esserci spiegazione	329
22.3. Darwinismo cosmico	330
22.4. Dentro i buchi neri	331
22.5. Il tempo <i>rimbalza?</i>	333
22.6. Una nuova perversione: la <i>nerofilia</i>	335
22.7. Più sul concreto (si fa per dire...)	337
22.8. Il <i>multiverso</i>	339
22.9. Scienza, ma con qualche limitazione	340
22.10. Ricapitolando	342
23. Conclusioni	343
23.1. Richiami	343
23.2. Enunciati	345
23.3. Nozioni scientifiche principali	346
23.4. Limiti di conoscibilità scientifica	350
23.5. Ultima incombenza	352
Una confessione privatissima	354
Appendici	363
Glossario essenziale	363
Bibliografia ragionata	367

PREMESSA

Questo è un libro divulgativo, in cui si discute la domanda nel titolo dal solo punto di vista scientifico. Per capire le chiacchiere seguenti, non sono richieste conoscenze preliminari di matematica, fisica, chimica, filosofia, biologia eccetera, oltre quel poco o nulla imparato alle scuole medie superiori. Benché l'argomento sia molto serio, ne tratterò in termini più o meno scherzosi per non appesantire un percorso un po' a ostacoli, malgrado la mia buona volontà nel cercare di spianarlo al massimo. Userò frequenti ripetizioni e una serie di trucchi tipografici, biasimevoli in un diverso contesto, per richiamare l'attenzione. Ci saranno spesso parentesi (ma non troppo), s'incontreranno "virgolettati" e soprattutto molti, forse troppi *corsivi*, sia per i vocaboli non in lingua italiana, sia per quelli un po' specifici, magari già introdotti in precedenza e da rimarcare nel discorso a costo di rallentare un po' la lettura – a parte gli incisi fra tratti, ovviamente –, e MAIUSCOLE, e **grassetti**... Mi sforzerò, in primo luogo, affinché il lettore percepisca, a monte di ogni altro concetto, quanto gli argomenti sottoposti alla sua attenzione non siano banali sul piano intellettuale. Anzi: alcuni di essi potrebbero addirittura riuscirci sgraditi su quello ideologico. Desidero quindi scoraggiare l'eventuale utente dal procedere nella lettura, se non ritiene soddisfatti alcuni requisiti minimi sui quali ho bisogno di essere onesto fin dall'inizio, e fin dove mi riesce. Infatti, ho preso spunto dalla scrittura del libro per evidenziare in me stesso eventuali equivoci di cui potrei non essere del tutto cosciente, nei quali tendo forse ad adagiarmi per abitudine, per comodità di pensiero, e per ogni altro motivo non limpidissimo. Chiedo pertanto al lettore, giunto quasi al termine di questa premessa, pochi altri minuti d'attenzione: vada avanti ancora tre o quattro paragrafi, e decida d'impegnarsi nella lettura completa solo se e quando ne sarà convinto. Non si faccia ingannare dal titolo: magari, proseguendo per qualche centinaio di parole, potrebbe alla fine risparmiarne un po' di soldi e, in ogni caso, tempo prezioso.

Il titolo, per l'appunto. Parto da una constatazione, per me evidente. Il mondo – occidentale e orientale – economicamente sviluppato del XXI

secolo ha modellato e modella una frazione sempre crescente dei propri comportamenti, sulle conseguenze estreme deducibili dal più famoso enunciato del filosofo Protagora (circa 450 a.C.): «L'uomo è la misura di ogni cosa». Di sicuro, almeno l'Occidente è storicamente cristiano nel senso in cui lo intendeva Benedetto Croce. Ovvero: la cultura europea si è plasmata in secoli durante i quali il pensiero cristiano dominava, e dunque non c'è da meravigliarsi se oggi troviamo agganci tra la morale laica, la legislazione e l'etica cristiana. Ma non solo questi agganci tendono a diminuire statisticamente col passare degli anni; se ignoriamo residue enunciazioni di principio (*"In God we trust"* scritto sui dollari, *et similia*), mi sembra dirimente l'atteggiamento individuale: «Di quel che faccio, devo rendere conto solo a me stesso (e alla polizia, se disgraziatamente mi beccano)». Da questa concezione scaturisce la sostanziale laicità (a volte il *"laicismo"*) delle società occidentalizzate, qualunque sia la loro collocazione geopolitica, ed ecco il perché della domanda nel titolo. Si badi bene, però: non sto censurando o approvando il relativismo generalizzato, e il mio atteggiamento sarà tendenzialmente agnostico in molte circostanze laddove il lettore si aspetterebbe, forse, una presa di posizione. Aderisco alla metodologia scientifica, come sarà più chiaro andando avanti, e mi limito a prendere atto di quanto avviene come di una evidenza sperimentale; un punto di partenza per ogni successiva discussione. In tutto il libro, con le precisazioni da vedere in breve, e in coerenza con la mia formazione professionale di fisico, cercherò di basare le argomentazioni solo su dati di fatto. Purtroppo, non sempre riuscirò a ottemperare a un criterio così rigoroso, e in alcuni casi ciò non dipenderà neppure dal mio volere. Tra poche righe, e più estensivamente nell'ultimo capitolo, prometto di *raccontare* al lettore le mie scelte personali in merito al quesito nel titolo. Se, però, avrà la pazienza di procedere con calma, capitolo per capitolo, seguendo la struttura logica (almeno dal mio punto di vista) con cui si susseguono i concetti, alla fine capirà perché ho scritto *"raccontare"* e *"scelte personali"*. Ma attenzione a non sbirciare subito la fine, o a trarne conclusioni sul libro nel suo insieme: le mie scelte sono, per l'appunto, mie e basta; gli argomenti per il lettore sono costruiti in base all'obiettività scientifica.

Italo Mazzitelli

1. INTRODUZIONE E PRESENTAZIONE

1.1. Un "Enunciato" fondamentale

Inizio il discorso introducendo una prima affermazione, in linea con i moderni "manifesti dell'ateismo": «La scienza ha ormai dimostrato l'impossibilità dell'esistenza di un "Dio-persona", interagente con ciascun essere umano e con la storia». Si possono immaginare tanti enunciati, magari scritti da qualcuno molto più bravo di me, in cui il sapere moderno è invocato a testimoniare della non esistenza di un Dio di questo tipo. Finché sono equivalenti nella sostanza (delle sottigliezze formali m'interessa poco), li raccoglierò sotto la definizione collettiva di: "Enunciato A". A scanso d'equivoci, chiarisco fin d'ora: non ho alcuna velleità di dimostrare o confutare, nel seguito del libro, l'esistenza di Dio. Voglio solo analizzare la consistenza dell'affermazione di cui sopra, alla luce di quanto può dirci la scienza, dall'enunciato medesimo invocata.

Ora, il lettore presti bene attenzione a due aspetti della frase tra virgolette. In primo luogo essa è, come notato e ribadito, un'affermazione positiva e definitiva. Chi, per sbaglio, avesse aggiunto mentalmente un punto interrogativo in fondo, lo tolga. Inoltre, non vi si parla di un Dio generico, ma di un'entità più peculiare: un Dio dotato degli attributi da noi associati, nel modo corrente di usare il linguaggio, a un individuo pensante. Questo Dio, infatti, vuole interagire con gli esseri umani, proprio come si legge nei testi sui quali si fondano numerosissime religioni. Per comodità mnemonica, quando tratterò della divinità in termini così specifici, userò, in luogo di "Dio", la grafia "DIO", ove le maiuscole e il grassetto servono solo a ricordare il riferimento a un "Dio-persona, interagente con ciascun essere umano e con la storia". A completare i miei schemi tipografici, associo a DIO delle parentesi – stavolta solo virtuali, per non appesantire – in quanto contrazione di "(se esiste)". Perché? Bene: non sono affatto convinto dell'esistenza di DIO, e ci terrò a ricordarlo quanto più spesso possibile; dunque, prego il lettore di aggiungerle per mio conto, come automatismo, ogni qual volta incontrerà DIO (certo, se lo incontrasse faccia a

faccia, non sarebbe più una buona idea aggiungere proprio *queste* parentesi in sua presenza...). Laddove, invece, verranno usate le grafie "Dio" o addirittura "dio" con l'iniziale minuscola, gli argomenti trattati riguarderanno divinità più remote, meno impegnative in senso lato.

Siccome, in queste primissime righe, farei male a trascinarci più a lungo su dettagli di nomenclatura, al più metterò alla prova la pazienza del lettore ripresentando l'*Enunciato A* sotto la forma contratta: «La scienza ha ormai dimostrato l'impossibilità dell'esistenza di **DIO**». Altre specifiche sui vari concetti associabili a dio, Dio e **DIO** verranno nel discorso; per ora, mi limito a ribadire. La dicitura **DIO** andrà sempre letta: "Dio-persona (se esiste), interagente con ciascun essere umano e con la storia" e non "divinità in senso generale".

Credo di aver chiarito, almeno in prima battuta, il contesto in cui va inteso il titolo. Il passo successivo è offrire al lettore una nuova affermazione positiva, di cui mi accollo la piena responsabilità. Infatti, mettendo mano alla revisione definitiva della "Presentazione", non ho più dubbi in proposito: il concetto che sto per attestare è emerso a valle della stesura del testo completo, con tutti i suoi ripensamenti, e non l'avevo assunto come postulato di partenza. Dico perciò: l'*Enunciato A* si è rivelato gravemente inconsistente all'analisi scientifica, ed è dunque insostenibile in ogni sua variante; lo asserisco in veste di studioso professionista della fisica. Buona parte del libro sarà dedicata a dimostrare (non *mostrare*, ma *dimostrare*) al lettore in qual modo già la fisica di base nella prima metà del Novecento avesse condotto a un superamento di atteggiamenti, esemplificabili da quello del matematico Thomas Hardy il quale, a cavallo tra il XIX e il XX secolo, ancora scriveva tra i suoi propositi per il nuovo anno: «Trovare una dimostrazione semplice e comprensibile per tutti che Dio non esiste» intendendo, chiaramente, **DIO**. C'è e ci sarà sempre (ne sono convinto) una frazione, magari pure elevata, di scienziati i quali, se richiesti di un'opinione in merito a **DIO**, si esprimeranno in termini non lontani dall'*Enunciato A*. Ne conosco molti, e l'esempio più noto dei nostri giorni è forse il biologo Richard Dawkins, assai popolare grazie ai suoi interessanti libri di divulgazione scientifica. A domanda precisa, egli risponde: «Non considero l'esistenza di **DIO** impossibile, ma molto improbabile» (la divinità la cui esistenza nega è proprio **DIO**; su questo è esplicito). Di sicuro, il lettore più smaliziato sarà in grado di cogliere il punto debole in quest'affermazione: qual è il valore da attribuire al concetto di "improbabilità"? Essa deriva forse da un convincimento basato sulla scienza? Risposta: «No, è solo un'opinione personale». «Va bene», potrà ribattere lo stesso lettore, «ma è l'opinione di uno scienziato, e perciò conta

molto più di altre!». Un po' di pazienza: quanto segue riguarderà, per l'appunto, l'ausilio mutuabile dalla scienza nel formarsi un'opinione in merito a **DIO**. Al termine, emergerà il nulla. Supremi scienziati e illetterati, da questo punto di vista, condividono lo stesso pugno di mosche, e l'assegnazione di probabilità si riduce a un gioco di opinioni personali, nelle quali, magari, entra pure il pregiudizio. Lo scienziato, come chiunque altro, può avere un'opinione su **DIO**, la scienza, no!

1.2. Chi è l'autore?

Il lettore ha il pieno diritto di chiedere in qual modo io possa e voglia motivare la validità delle precedenti affermazioni; è vero: per il digiuno di scienza possono sembrare *forti*. Magari, vorrà pure sapere come io mi permetta di parlare in questi termini. Alla prima domanda troverà una risposta ragionevole, spero, seguitando a leggere il libro; alla seconda, penso sia giusto rispondere qui con un brevissimo autoritratto culturale. Parto dalla mia laurea in fisica di tanto, tantissimo tempo fa (erano i primi anni della cosiddetta "contestazione giovanile" iniziata nel 1968). Da allora, e fino al pensionamento, ho sempre operato nelle strutture del Consiglio Nazionale delle Ricerche, conducendo studi teorici e portando contributi originali di conoscenza (non certo da premio Nobel) in merito alla struttura fisica e chimica delle stelle, e agli accadimenti nel corso delle fasi vitali di queste ultime (tecnicamente: struttura ed evoluzione stellare). Mi sono anche interessato di cosmologia, ovvero della scienza relativa all'universo in quanto tale, nella sua interezza, e quindi non come banale catalogo delle sue parti costituenti, ma non ho mai dedicato a queste ricerche abbastanza tempo da potervi contribuire onorevolmente. Devo però spiegare al lettore quanto segue: il quadro della fisica fondamentale dei nostri giorni è profondamente mutato rispetto a quanto mi fu illustrato all'università. All'epoca della mia laurea, erano appena iniziati i lavori per la costruzione del cosiddetto Modello Standard (esso risponde, oggi, a quasi tutte le domande pensabili a quei tempi), e ne fornirò alcuni cenni più avanti. Da allora, gli orizzonti della fisica si sono spostati in direzioni impreviste, e sono sorte grandi quantità di nuove domande. In questo contesto mutevole, mi è sempre piaciuto trovarmi in prima fila, e seguire da vicino i progressi nella conoscenza delle strutture di base di madre natura (uso questa dizione non perché voglia personificare la natura stessa; la sua complessità e vastità, però, m'incutono soggezione), sebbene da puro e semplice spettatore. Non ambisco al titolo di Scienziato con l'iniziale

maiuscola; mi sembra, tra l'altro, un anacronismo troppo spesso usato dai *media* per enfatizzare l'*ipse dixit* del Solone o dell'Ipazia di turno. Sono cosciente di aver sempre operato a un livello professionale non superiore a quello di buon artigiano. D'altronde, come suggerisce la stessa definizione, un buon artigiano non è uno sprovveduto, un novellino o un dilettante nel proprio campo. Ragion per cui ritengo d'essere in diritto e in dovere d'assumermi la responsabilità completa della correttezza sostanziale (in ogni testo divulgativo è necessario distinguere con cura tra la forma, che sarà criticabile da chiunque, e la sostanza, su cui l'eventuale critico dovrà essere più avveduto) d'ogni idea scientifica esposta nel seguito, anche se non utilizzerò formule ed equazioni. Dovrò, quindi, fare molto assegnamento sulla *modellistica intuitiva* e questa, nel gergo professionale, non è un concetto generico, ma un modulo di pensiero piuttosto preciso, facendo parte del *metodo scientifico* il cui studio inizieremo nel prossimo capitolo. Se qualcuno insiste nell'assegnarmi la qualifica di scienziato (con la minuscola, s'intende), accetto, nei limiti in cui l'idea associata sia semplicemente quella di una persona come ogni altra, magari più fortunata della media, in quanto lavora le sue trentacinque (o quel che sono) ore settimanali studiando la natura, ed è pure pagata per divertirsi a farlo.

Tanto posso dire, per quanto concerne i miei rapporti con la fisica. Riguardo alla matematica (avrà parte nel discorso anch'essa), ci ho sempre trafficato per lavoro, ma solo come utente e non come ricercatore attivo. Sono, però, molto curioso delle sue basi logiche, e mi trovo in grado di comprenderle almeno in modo grossolano ma, forse, non di spiegarle con semplicità, e su questo sarà il lettore a giudicare.

In altri campi della scienza, come quelli della geologia, chimica, biochimica, biologia, paleontologia, antropologia, e più in generale della vita, al massimo posso definirmi un dilettante, informato ma non benissimo. Leggo volentieri libri e articoli a carattere divulgativo, mi mantengo aggiornato per quanto posso, ma non pretendo di sparare giudizi di merito o formulare ipotesi e teorie. Non considero, però, arrogante difendere la mia formazione culturale, poiché questa mi pone in condizioni, in alcuni casi specifici – per onestà, ne chiarisco senza indugio i limiti –, di esercitare almeno una critica, e prego il lettore di raggiungere la fine del paragrafo prima di bollarmi come presuntuoso. Infatti, come ho già anticipato parlando di "*modellistica*", esiste un modo di procedere intellettuale ed empirico dal nome, incontrato poche righe fa, di "*metodo scientifico*", enunciato per la prima volta con chiarezza da diversi secoli, quando Galileo, Cartesio e pochi altri dettero l'avvio alla costruzione dell'edificio della fisica. Le altre scienze esatte (dicitura, a mio avviso, un po' fuor-

viante) seguirono a rilento. Forse, in conseguenza di questo primato cronologico nell'adozione del "metodo", un fisico, anziché un biologo, ha più facilità, più fiuto nel percepire un eventuale accordo dissonante, nel momento in cui, sulla base di argomentazioni scientifiche, s'incontra chi fa il passo più lungo della gamba ed esula dai limiti stabiliti dalla scienza per se stessa, invadendo i territori in cui pascola **DIO** (se esiste; ricordate le parentesi). Lo ammetto: pure la storia della fisica è piena d'errori metodologici del genere, e nessuno ha il diritto di scagliare la prima pietra; altro, però, è condannare, altro è rilevare il peccato. In mezzo secolo durante il quale fisica e astronomia sono state al centro dei miei interessi, mi picco di aver ormai interiorizzato il metodo scientifico a sufficienza da saper cogliere in fallo chi ne travalica i bordi con troppa disinvoltura, sia questi un matematico, un biologo, un qualsiasi adepto d'altre scienze naturali. Con questo, spero di essermi presentato e giustificato a sufficienza, e aver chiarito il senso in cui mi permetto di rimbeccare chi afferma l'ovvia non esistenza di **DIO**, poiché in nessun sito d'interesse paleoantropologico è mai stato trovato il più minuscolo frammento d'anima fossile associato a un ominide qualsivoglia. Intendiamoci: non sempre ci si esprime in maniera così rozza, specie nell'ambiente accademico, ma spesso conclusioni del genere sono fra le righe. Porto un esempio lontano nel tempo, e perciò disinnescato da qualsiasi valenza polemica; il primo astronauta Yuri Gagarin buonanima, tornando dal suo viaggio in orbita attorno alla Terra nel 1961, affermò esplicitamente: «Sono stato in cielo, ma non ho incontrato Dio». Se ne doveva evincere una prova sperimentale della non esistenza di Dio? In una discussione, l'argomentazione non si sarebbe tenuta, ma il suggerimento implicito c'era...

Ceterum, il lettore paziente scoprirà altre curiosità sulle mie linee guida nell'interpretazione del mondo sensibile. E parlo d'interpretazione a ragion veduta, poiché perfino la fisica, per quanto possa sembrare strano, è parente lontana della Sfinge. Ma sto anticipando troppo. Meglio andare avanti con altri enunciati di cui si tratterà nel libro.

1.3. Altri quattro "Enunciati"

Ho affermato in modo positivo, e privo di dubbi: «Tutta la famiglia degli *Enunciati di tipo A* è insostenibile, e ogni scienziato moderno – a esclusione di chi nutra opinioni ferree di tipo ideologico classificabili come pregiudizi – se ne può rendere conto (se trova il tempo di ragionarci sopra, ma con i ritmi olimpionici richiesti per farsi strada nel mondo del-

la ricerca, ciò non è facile)». Ho poi promesso al lettore: «Il resto del libro non dovrebbe lasciare grossi dubbi sull'impossibilità di accettare un qualsiasi tipo di *Enunciato A*, se ci si vuole mantenere nei limiti, nelle finalità e nei risultati della scienza moderna». Ma non per questo il discorso terminerà con la prova di quanto affermo. Infatti, come succede spesso, risolto un problema ne sorge un altro, o una dozzina d'altri. Già da qualche tempo, i rapporti conflittuali tra **DIO** e la scienza stanno lentamente slittando verso direzioni più ambigue e mal definite, nelle quali non si trova più **DIO** in quanto tale al centro del discorso, e si va verso affermazioni il cui suono, quanto meno, è più originale rispetto al dilemma tradizionale: **DIO c'è/non c'è**. Per esempio, ho trovato spesso giri di parole sintetizzabili, più o meno, con quanto segue:

Enunciato B: «Oggi non è più possibile coltivare contemporaneamente una mentalità scientifica e una religiosa, poiché la prima si basa sulla razionalità, la seconda sull'irrazionalità».

Questo sembra radicalmente diverso dall'*Enunciato A*. Infatti, nell'*Enunciato B* non si afferma *positivamente* alcunché in merito all'esistenza di **DIO**. Si parla in modo generico, senza definire i termini con rigore ma restando nel vago, di "mentalità scientifica, mentalità religiosa, razionalità e irrazionalità". E badate: se ho appena inserito una frasetta decostruttivista, non sto per nulla sottovalutando la potenza dell'*Enunciato B*. Voglio solo cercare di chiarirlo un po' meglio, per gradi. Esso non vieta allo scienziato di mantener viva una propria idea di divinità in senso lato, o addirittura di ipotizzare davvero l'esistenza di un Dio somigliante, per qualche verso, a uno di quelli delle religioni storiche. Gli nega il diritto, se vuol mantenere la qualifica di professionista della scienza, di aderire *dichiaratamente* (fate ben caso all'avverbio in corsivo, poiché ha un contenuto minaccioso nei confronti di chi coltiva scienza e religione in modo pubblico) a sistemi codificati di carattere spirituale ed etico (anche questi due ultimi termini sono qui introdotti con una certa vaghezza, giusto per avvicinarci di un passetto al significato di: "mentalità religiosa"). Ebbene: una parte di questo libro sarà dedicata a dimostrare, in modo convincente per il lettore (spero...), in qual senso l'*Enunciato B*, pur essendo culturalmente molto più evoluto di quello *A*, al pari di quest'ultimo non possiede giustificazioni scientifiche, e non sia dunque sostenibile. Anzi: è letteralmente un *non sequitur*. Purtroppo, per giungere alla comprensione piena di questi risultati, non sarà sufficiente esporre le pure e semplici basi su cui è costruita la scienza, ma si rivelerà necessario scavare più in profondità. Potrebbe valerne la pena, ma occorrerà sorbettarsi qualche centinaio di pagine di fisica e altro.

Un passo avanti ancor più evoluto dell'*Enunciato B* potrebbe essere l'*Enunciato C*: «Le religioni, come ogni altra manifestazione del pensiero umano, dovrebbero accettare di mettersi in discussione in base ai risultati della scienza». La sua genesi, contrariamente ai casi *A* e *B*, non va ascritta per forza a una conflittualità di principio. Infatti, l'asserzione, talora, è sostenuta da persone le quali, pur lontane da ogni religiosità di tipo tradizionale, sono però preoccupate poiché la scienza, pur fornendo mezzi sempre crescenti per governare il mondo naturale, è del tutto muta per quanto riguarda le direttive di ordine morale da adottare in merito all'utilizzo pratico dei mezzi stessi. E, parlando di morale, appropito per ribadire un concetto già espresso poc'anzi. È frequentissimo (ma intellettualmente disonesto), specie da parte dei *media*, cercare d'ingenerare confusione tra l'opinione etica dello scienziato e l'opinione etica della scienza in quanto tale. Quest'ultima opinione, come emergerà chiaramente dai discorsi che verranno, *non può esistere* in senso stretto.

Dicevo: in certi casi, l'*Enunciato C* esprime un tentativo, da parte di un non credente, di recuperare dalle religioni alcune direttive non troppo contingenti di tipo etico, purché le religioni stesse siano disponibili a razionalizzarsi mediante una revisione scientifica, e porsi in condizione di superare le eventuali obiezioni derivanti dall'*Enunciato B*. Non ho però finito di elencare le relazioni illecite tra scienza e religione di cui voglio trattare.

Procedo con l'*Enunciato D*. Esso afferma, in contrapposizione ideale ai tre già visti finora: «La scienza dimostra come l'esistenza del mondo sensibile non possa prescindere dall'opera di un'Intelligenza Superiore, identificabile con **DIO**». In termini dialettici, parrebbe l'esatto contrario dell'*Enunciato A*. Un'applicazione ingenua del criterio aristotelico secondo cui *tertium non datur* potrebbe condurre uno spirito semplice ad affermare: «Bene, se *A* è falso, allora *D* deve essere vero!», ma, come vedremo, il discorso non funziona in questi termini. In alternativa, si potrebbe pensare a un crollo di *D* assieme ad *A*, appena giunti a concludere: «**DIO** e scienza sono concetti aventi nulla da spartire tra loro». Ciò sarebbe, dal mio punto di vista, corretto. Secondo altri, però, l'*Enunciato D* ha rivelato, al trascorrere del tempo, di possedere risvolti subdoli, ancor più tortuosi rispetto all'*Enunciato B* il quale, pure, non è affatto banale da discutere. Dunque, in questo libro non potrà mancare una breve trattazione dell'*Enunciato D*. Per onestà intellettuale, mi sento però costretto ad anticipare quanto segue: mi secca molto, ma non riuscirò a dimostrare in modo inequivocabile la totale non scientificità di una variante ancor più evoluta dell'*Enunciato D*, qui riportata col nome di *Enunciato D'*: «La scien-

za dimostra come l'esistenza del mondo sensibile non possa prescindere dall'opera di un'intelligenza *in senso lato*». Infatti, come vedremo, disinnescare *D* non finisce per respingere nell'ombra anche *D'*, poiché quest'ultimo pesca nelle sabbie mobili ai limiti del sapere umano, e le opinioni del lettore (e di un certo numero di scienziati) possono essere differenti. In fin dei conti, *l'Enunciato D'* non chiama in causa nessun genere di divinità trascendente, a livello qualsivoglia.

1.4. Ultimo avviso...

Da quanto ho anticipato, il lettore dovrebbe già aver compreso i motivi per i quali non tratterò, in questo libro, delle domande fondamentali (chi siamo, da dove veniamo, eccetera). Dunque, chi già per proprio conto non crede in **DIO** vi potrà trovare solo rassicuranti conferme all'impossibilità di dimostrare in termini scientifici la sua esistenza; chi crede si troverà in una situazione del tutto simmetrica e chi, come me, è nel dubbio, nel dubbio resterà. Infatti, dovrebbero saperlo tutti, e da diversi secoli: scienza e religione, vivendo ciascuna in un dominio di competenza non sovrapponibile in alcun modo a quello dell'altra, farebbero meglio a lasciarsi perdere a vicenda. Ma, all'atto pratico, non sempre riscontriamo una situazione di pace, per quanto armata. Tanto più c'è battaglia, anzi, da quando sono entrati in campo gli *Enunciati* da *B* a *D'*. Il problema è forse nella natura implacabilmente dialettica del genio umano; certo non giova a bloccare ogni disputa la caratteristica fondamentale dell'evanescente confine tra queste due manifestazioni del pensiero (scienza e religione, per l'appunto). Il bordo non è come la Grande Muraglia Cinese, ovvero una barriera distinguibile già da lunga distanza, il cui scopo è rendere totalmente impossibile (almeno negli intenti dei costruttori) sbirciare dall'altra parte nonché travalicare. Piuttosto, questa regione fluida e mutevole secondo il livello di sviluppo della scienza momento per momento dà l'impressione di configurarsi come un'ampia fascia, sfocata e mal definita, di "*terra di nessuno*" priva di paletti, steccati, segnaletica utile a capire fin dove è lecito spingersi da un lato e dall'altro. Non fa perciò tanta meraviglia se, chiunque si trovi a passeggiare nella zona, sia soggetto alla tentazione d'invadere il territorio altrui. Molti esempi d'interferenze illecite sono così noti al lettore da non valer la pena di parlarne, se non per notare una curiosità. Nell'arco storico di cui io sono testimone, le abbondanti espropriazioni tentate in passato dalla religione a danno della scienza sono pubblicizzate con molto più clamore

di quelle opposte le quali, pure, furono e si mantengono tuttora numerosissime, a volte di una violenza paragonabile o superiore a quella delle camere di tortura della non compianta Inquisizione, o dei roghi di streghe nei paesi in cui trionfò la Riforma (tanto per limitarci all'ambito del Cristianesimo). Di alcune, tra le quotidiane scaramucce di frontiera all'epoca della scrittura di questo libro, dovrò accennare nei capitoli a venire, anche perché già lo so: bisticci del genere, per quanto inutili, non sono destinati a estinguersi in un futuro vicino, come sarebbe invece auspicabile per semplici motivi d'igiene intellettuale. Forse in base a queste riflessioni, nasce la mia velleità di proporre una sorta di nuovo enunciato (lo definirò *Enunciato Z*, e sarà esplicitato molto più avanti), nella speranza di scoraggiare a priori un uso scorretto del ragionamento scientifico in direzioni proibite. Ripeto, dunque: scrivere queste righe è stato di certo utile a me per mettere ordine nelle mie stesse idee, e mi auguro che gioverà a chiunque sia curioso di valutare in modo spassionato quanto si possa dire sui rapporti tra scienza e **DIO** al volgere del millennio. Se, però, qualcuno vive nel radicato pregiudizio secondo il quale esiste un avversario da abbattere, non importa da quale delle due parti, per costui scrivo sul bagnasciuga.

E qui, un consiglio per la migliore fruizione del testo. Malgrado il libro sia stato scritto in base a una lunga esperienza divulgativa (gli argomenti sono spesso trattati a un livello così spinto di semplificazione da far storcere il naso agli esperti del settore, sebbene non siano presenti errori sostanziali così fuorvianti da compromettere la validità delle conclusioni), questo non è comunque un racconto giallo in cui sia sufficiente mantenere la contabilità approssimativa delle vittime *a futura memoria*. Al contrario, paragrafi e capitoli si succedono in modo tale da costruire una progressione logica di concetti, usati via via nel seguito; quindi, è necessario intendere e memorizzare buona parte del contenuto, passo per passo. Abbonderò nelle ripetizioni dei concetti, specie di quelli più complicati, sia durante l'esposizione dei medesimi, sia tornandoci su ogni qual volta se ne presenterà l'occasione, tanto da nauseare chi già li avesse incamerati la prima volta, ma neppure questa tecnica è sufficiente; ci vuole la buona volontà da parte del lettore. Procedere nella lettura in modo affrettato, pensando "Forse questo lo capirò meglio più avanti, quando se ne riparlerà", può essere un criterio valido, ma chi deciderà di adottarlo sappia fin d'ora: dovrà ripassare il libro un paio di volte, se vorrà intenderne davvero il contenuto. In alternativa, suggerisco di soffermarsi più a lungo sugli argomenti un po' ostici e, nei limiti del possibile, cercare di risolverli prima di tirare avanti.

1.5. Prime nomenclature

A questo punto, ritengo lecito addentrarmi in problemi di nomenclatura: una prima lezione tra le tante. Ma siccome è meglio evitare di litigare sulle parole, rassicuro i lettori sul mio intento: non voglio costringerli ad accettare come universalmente veri i significati nel seguito assegnati ad alcuni vocaboli. Però, chiedo di ricordare questo: per tutta la durata del libro, a quei vocaboli *io e solo io*, nel tentativo di spiegarmi in modo più chiaro, assegnerò sistematicamente dei significati precisi, nello stesso spirito in cui, nei testi di matematica, si conviene fin dall'inizio di sintetizzare, per mezzo di un certo simbolo, un ben determinato insieme di concetti o d'operazioni. Del resto, non mi frulla per la mente di dare lezioni di lingua a chicchessia; per questo, c'è già l'Accademia della Crusca.

Prima domanda. Quando una persona dichiara il proprio *ateismo*, quale idea ci creiamo del suo mondo razionale, delle sue gerarchie di valori e, perché no, del suo sistema di credenze? Dico la mia: per me, l'ateismo è congruente solo con l'affermazione assoluta, positiva, della non-esistenza di Dio/**DIO**, omettendo per ora un generico dio minuscolo di cui fornirò poi una definizione operativa. Infatti, mi pare gravemente scorretto mettere nello stesso calderone ateismo e *agnosticismo*; questa seconda posizione intellettuale non ha nulla da dire in merito a Dio/**DIO**, in base al convincimento, meditato, secondo cui nessuna prova scientifica (attenzione: non tiro in ballo "prove razionali" ma solo "scientifiche", coerentemente con gli *Enunciati A ÷ D'*) potrà mai essere prodotta, tale da condurre oggettivamente alla conoscenza certa della sua esistenza o non esistenza. La scienza, dunque, è radicalmente agnostica, come diverrà presto più chiaro. A-gnosis, dal greco: non-conoscenza. Ma potremmo parlare d'agnosticismo in un'accezione un po' più estensiva, traducibile come: "non essere interessati a conoscere". In quest'ultimo senso, riprendendo i concetti espressi all'inizio del capitolo, affermo: la società attuale è agnostica poiché non interessata a Dio/**DIO**, con conseguenze di *ateismo* pratico anche se non sempre ideologico. Magari, essa società pone sotto accusa le religioni storiche a causa della loro influenza culturale, politica, sociale e via discorrendo, nel passato e nel presente, ma, a parte casi sporadici, la divinità in quanto tale tende a restare fuori del discorso.

Un terzo caso (si dà più di rado, e solo tra persone di una certa cultura) è il *teismo*. Non si tratta della posizione opposta all'ateismo, ma dell'ordine d'idee secondo cui la pura e semplice esistenza di qualcosa da noi percepibile come "*mondo sensibile*", e la presenza di leggi o, comunque, regolarità a governarlo, non si spiegano in modo soddisfacente per l'intel-

letto se non s'ipotizza, alla base di tutto, un qualche principio che potrebbe – attenzione: potrebbe, non: dovrebbe per forza –, presentarsi alla ragione con alcune delle caratteristiche associate all'idea di soprannaturale in senso molto lato. Proprio a questo principio, a questa entità non meglio definita, può valer la pena di correlare il termine *dio* senza alcuna maiuscola. Un'entità non identificabile necessariamente con un Dio-persona di tipo tradizionale, come quelli proposti dalle religioni occidentali storiche. Badate: questo è solo l'inizio di un discorso da approfondire; per ora mi limito a sostenere una mia tesi, secondo cui si può benissimo essere teisti senza essere *credenti*. Molti scienziati i quali, in prima approssimazione, si proclamano agnostici, potrebbero approdare a un generico teismo se provassero un filo d'interesse per questo tipo di problematiche. Ma, come ho già rilevato, chi lavora seguendo un filone di ricerca specifico dedica tutte le sue energie mentali a dipanare la matassa depostagli tra le mani da madre natura, e raramente ha tempo e voglia di dedicarsi a ragionamenti filosofici e metafisici. In un certo senso, questo è lo scotto da pagare per chi, oggi, si trova impegnato in prima linea nella ricerca scientifica: essere un pessimo filosofo, ma venir sollecitato a dismisura dai *media* e dalla politica (quella c'è sempre) perché esprima opinioni molto più spesso etico-filosofico-teologiche piuttosto che scientifiche.

Un caso particolare può servire da esempio concreto per il lettore incuriosito da questi argomenti: quello, molto noto al pubblico, di Stephen Hawking. Un ingegno brillante, e una terribile malattia degenerativa. Una mente poderosa, costretta in un corpo vegetativo o poco altro. Hawking si arrabbia se qualcuno lo definisce ateo; si proclama "al massimo agnostico" o addirittura "teista se non di più", senza però specificare cosa possa essere questo *di più*. Ma, spesso, i suoi discorsi lo riconducono su un piano d'ateismo ideologico; in specie, quando fa affermazioni su alcuni dei suoi modelli teorici sulla genesi dell'universo: secondo lui, essi mostrano come si possa fare a meno della necessità di un creatore. Molto probabilmente, questo tipo di fraseologia è usato solo per enfatizzare il discorso, poiché Hawking stesso sa bene come un'inferenza del genere non possieda consistenza scientifica, ma l'esempio è indicativo di un'oscillazione della mentalità dei fisici tra posizioni apparentemente inconciliabili. Lo stesso Albert Einstein, pur con una serie di puntigliose distinzioni nei confronti di un *teismo-panteismo* sul tipo di quello proposto dal filosofo Baruch Spinoza (lo rifiutava, poiché non gli piaceva l'identificazione tra "tutto ciò che esiste" e "dio"), si trovava su posizioni non molto distanti da quelle di Hawking, e con lui altri grandissimi nomi della fisica, dalla fine del XIX secolo in poi.

Dobbiamo definire una quarta e ultima categoria, già entrata nel discorso: quella in cui inserire chi si proclama *credente* in senso stretto. Costui nutre un atteggiamento diametralmente opposto all'ateo: credere implica affermare positivamente l'esistenza di **DIO** con tutte le conseguenze sul piano spirituale, etico, comportamentale, perfino liturgico, e così via. E vi prego, prestate attenzione alla seguente frase: se si crede, non ci si può limitare a coltivare l'infatuazione di bearsi, poiché lassù qualcuno ci ama. Un minimo di congruenza logica richiede altresì una serie di risposte personali concrete, di natura esistenziale. Dal mio punto di vista, affermare d'essere credente, ma non praticante, è contraddittorio, anche se posso constatare come il 90% dei credenti auto-proclamati sia, nella vita d'ogni giorno, non praticante.

Ora abbiamo le definizioni: proviamo ad analizzare un caso particolare d'un certo interesse. Si può essere praticanti e non credenti (per esempio agnostici)? O sarebbe solo un'ipocrisia? Bene: uno dei padri fondatori della fisica, Blaise Pascal, ha trattato quest'argomento con un certo acume e, da lui in poi, una posizione pragmatica del genere ha diritto d'esistenza, e risulta perfino onesta sul piano intellettuale, al patto di stipulare in modo esplicito la cosiddetta "scommessa di Pascal". I cui termini racconto come segue.

Partiamo dalla constatazione di non poter sapere scientificamente se **DIO** esista o no. Siamo dunque agnostici o, in base a ragionamenti sulla presenza di un ordinamento apparente della natura – qualora non ci basti la pura e semplice esistenza di qualcosa –, ci sentiamo genericamente teisti e niente di più. Poi, però, cominciamo a riflettere: in fin dei conti, se ci fosse davvero **DIO**, ciò amplierebbe le nostre prospettive esistenziali e darebbe un significato (una profondità) molto maggiore alla vita e, in generale, al mondo. Di fatto, questa profondità sarebbe *trascendente*, e quindi, a ogni effetto pratico, infinita. In tale ordine d'idee, "scommettiamo" liberamente in favore dell'esistenza di **DIO**. Scommettiamo, ovvero: orientiamo la nostra vita in senso strettamente religioso. Se vinciamo, e **DIO** c'è, ne ricaveremo un beneficio incommensurabile con la vita eterna eccetera. Se invece **DIO** non c'è, e tutto finisce con la morte, non solo non potremo mai sapere di aver perso la scommessa, ma è addirittura possibile ricavarne in ogni caso un modesto beneficio durante la vita. Porto un esempio di questo ipotetico beneficio, ma non pretendo un accordo generalizzato. L'etica religiosa si è verosimilmente formata in epoche remotissime, proto-umane, accumulando l'esito d'esperienze vissute dai nostri antenati. Se ciò fosse vero (ed è almeno probabile), magari essa contiene pure norme basate sull'etica naturale (qualunque cosa sia), e quindi si approssima da lontano a una legge di

natura in senso molto lato. Ora, la violazione delle leggi di natura è spesso punita in qualche modo dalla natura stessa. Data la disponibilità ad accettare questo ragionamento, ne potremmo dedurre quanto segue. Conformandoci all'etica religiosa pure se **DIO** non c'è, dovremo magari rinunciare a qualcosa di cui, a priori, non sarebbe stato del tutto indispensabile fare a meno, ma in cambio eviteremo (statisticamente) errori, e alcuni di questi, in casi gravi, potrebbero pesare in modo negativo sulla qualità della nostra vita. «In sostanza», afferma Pascal, «se qualcuno scommette sull'esistenza di **DIO**, in termini probabilistici vincerà comunque».

Personalmente, ho sempre trovato molto squallida la scommessa di Pascal, perché mi pare una banale transazione economica e, se **DIO** esistesse davvero, da lui mi aspetterei qualcosa di più, rispetto a una contabilità da Ufficio delle Tasse. Ma bisogna ammetterlo: nella scommessa, una logica c'è (Pascal era un buon fisico), e qui aggiungo un'informazione autobiografica per aiutare il lettore a capire meglio cosa – e perché – penso e scrivo. In mancanza di meglio, in gioventù ho sottoscritto un po' controvoglia, e con tante riserve, la scommessa e, nel contesto, mi è parso utile approfondire i fondamenti della religione cattolica (solo questa, per la verità) da ogni versante a me accessibile, storico, sociale, culturale, etico, spirituale, alla ricerca di un qualche genere di conferma obiettiva alla mia scelta. Inutile dirlo: non ho mai trovato nessun appiglio scientificamente dirimente per quanto riguarda l'esistenza di **DIO**. Di fatto, però (e la cosa mi torna utile in questa circostanza), in conseguenza di questa carovana intellettuale, non solo la mia cultura scientifica, ma anche quella religiosa, è un po' lievitata rispetto allo zero assoluto. Senza potermi definire in alcun modo, neppure da lontano, uno specialista in teologia cattolica, posso ritenermi anche qui almeno un *dilettante*. Così come mi accade per le violazioni al metodo scientifico, ormai percepisco a naso i limiti più ovvi dell'ortodossia religiosa, e so riconoscere il momento in cui essi vengono travalicati, sia pure da seri professionisti. In modo simmetrico al disagio provato di fronte ad affermazioni fuori posto da parte scientifica, storco il naso quando incontro argomentazioni di tipo teologico e religioso – o presunto tale – sconfinanti in territorio altrui. L'espansione di questi concetti andrà nei capitoli seguenti, poiché ci sarà da parlarne in abbondanza.

1.6. Qualcosa è solido, altro è volatile

Dunque, conclusi i primi dodici lustri della mia esistenza, sono convinto di aver accumulato abbastanza chiarezza intellettuale e strumenti

culturali da poter dibattere scientificamente gli *Enunciati A ÷ D'* riportati all'inizio di questa presentazione. Ma attenzione: l'edificio della scienza non è un monumento fatto e finito, da conservare nei secoli con qualche restauro quando si rende necessario. Si tratta invece di un cantiere in perpetuo trambusto, in cui nuove e vecchie formazioni coesistono come possono, i lavori di costruzione vanno di pari passo con quelli di demolizione e le fondamenta stesse abbisognano, a volte, di ristrutturazioni massicce. Un edificio tendenziale, quindi, al contempo solido in quanto dispone di ambienti abitabili senza rischi di crollo imminente, ma incompleto proprio perché tendenziale. La parte già funzionante, lo è per sempre; un giorno potrebbe anche essere demolita e sostituita, ma già da oggi abbiamo una certezza: quanto sarà eventualmente ricostruito al suo posto dovrà presentarsi almeno con le stesse caratteristiche della parte demolita, e in più conterrà cose nuove, non presenti nella vecchia struttura. Il lettore, proseguendo nel libro, comprenderà meglio questo concetto per mezzo d'esempi concreti; mi preme piuttosto evidenziare alcune conseguenze di tale stato di cose. A rischio di ripetermi a oltranza, ribadisco: alcune conoscenze scientifiche sono ormai acquisite definitivamente, almeno in prima approssimazione, e resteranno patrimonio del sapere, in un futuro anche lontano, pur se potranno essere meglio comprese, formalizzate, inquadrare, precisate, in contesti più generali. Prima conseguenza di tutto ciò: almeno una frazione delle conclusioni cui giungerò in questo libro è destinata a sopravvivere alla prova dei secoli. Mi riferisco in particolare a concetti e idee già sopravvissuti a lungo, in quanto fondamenti del nostro modo d'intendere l'operato della natura. E, purtroppo, se ne trae un lemma: non c'è proprio nulla di mio nella parte più solida di quel che seguirà. Una seconda conseguenza, al contrario, riguarda altre idee (ma non so quali): queste, subiranno una rapida usura nel tempo. Per quanto sta a me capire, le conclusioni più vincolanti cui giunge il libro non dovrebbero essere toccate nella sostanza, ma su questo giudicherà il lettore. Io opero in un certo arco storico: è un dato di fatto le cui implicazioni non posso ignorare. So d'essere partecipe di tutte le contraddizioni e lacune intellettuali della mia epoca, e non chiedetemi quali potrebbero essere: se le conoscessi, riuscirei a svincolarmene, ma tale è il motivo per cui alcune parti del libro andranno soggette a invecchiamento veloce. È il prezzo pagato a priori nella letteratura scientifica: un poema dura millenni, un romanzo secoli, un saggio può essere spiazzato la settimana successiva alla sua pubblicazione. Se volessi avanzare previsioni in base all'esperienza passata, e sfogliando le statistiche attuariali di una compagnia assicurativa, mi tranquillizzerei: questo libro non perderà significato finché avrò vita. Per me, dunque, dovreb-

be bastare, ma badi bene l'eventuale lettore in età giovanile a non formarsi preconcetti in base a quanto scrivo oggi io: fra alcuni decenni, molto potrebbe essere stato rivisto, e forse proprio a lui spetterà l'onere dell'aggiornamento delle idee più volatili.

Come conseguenza finale dello stato dinamico in cui si trova perennemente la scienza, si può spesso incontrare polverone denso. Lo dico, tanto per ricordare un concetto da tenere a mente: non tutti gli scienziati vedono bene in quale direzione stiano andando i lavori, con la possibile esclusione – ma non sempre – di quelli in corso sotto il loro naso. Ancora di più: le esigenze tecniche del progresso scientifico comportano e richiedono disparità d'opinioni, tra i professionisti della scienza, sulla solidità delle fondamenta, sulla reale consistenza della struttura attuale e sui piani di sviluppo futuri di un edificio la cui complessità potenziale non è prevedibile. Perciò, mentre tutti sono d'accordo sui fatti sperimentali (si spera...), s'incontrano spesso importanti differenziazioni sulla loro interpretazione, e pure questo argomento sarà espanso e chiarito. Per dirne una, anche io ho le mie interpretazioni favorite e, su alcuni dei punti in discussione nel libro, una frazione dei miei colleghi si troverebbe d'accordo nelle conclusioni, mentre altri potrebbero sollevare dei "distinguo". In questi casi, cercherò di avvertire laddove bisogna prestare attenzione: così la vedo io, ma non tutti la pensano allo stesso modo. Onde rimediare parzialmente a questa lacuna, specie nella sintesi d'ogni capitolo cercherò di segnalare con chiarezza le affermazioni secondo me più ragionevoli, ma comunque non sostenibili in modo obiettivo e definitivo (e lo stesso vale per eventuali affermazioni contrarie, altrimenti le avrei già fatte mie). Di conseguenza, alla fine, l'assolutezza (sto usando un termine un po' gonfiato) delle conclusioni di questo libro sarà pregiudicata da un gruzzoletto di dubbi. Così è la vita: posso solo sperare nel progresso scientifico ulteriore per cancellarne alcuni, ma non ne ho la certezza a priori. Le certezze, con l'unica notevole esclusione delle tasse e, in minor misura, della morte, non sono di questo mondo né di questo autore.

1.7. Ricapitolando

Bene: se il lettore ha digerito gli enunciati con le loro sottili differenziazioni, la prima classificazione delle varie posizioni individuali riguardo al problema dell'esistenza di dio/Dio/**DIO** e gli avvertimenti sull'inevitabile incompletezza dei successivi capitoli, è tra i prescelti, e posso augurargli buon proseguimento. Voglio, però, terminare con un sommario

di quanto abbiamo visto in questo capitolo, e riepilogherò in ogni capitolo in cui varrà la pena. Il lettore troverà perciò riassunti i concetti principali da memorizzare, ed è invitato a rileggere il capitolo qualora abbia dimenticato la loro spiegazione dettagliata. Adotterò una suddivisione in numeri e lettere in cui non sarà difficile orientarsi per ritrovare i punti salienti. Le lettere si riferiranno agli elementi scientifici introdotti nel capitolo, i numeri in notazione araba (che in questa presentazione ancora non compaiono) alle eventuali limitazioni imposte, dagli elementi appena visti, alla possibilità di capire le scelte della natura in termini scientifici (in parole povere: ai *limiti della scienza*, perché ne incontreremo via via); i numeri in notazione romana dopo il trattino, invece, rinviano al capitolo in cui gli argomenti sono stati trattati.

A-I) **Enunciato A**: «La scienza ha ormai dimostrato l'impossibilità dell'esistenza di **DIO**».

B-I) **Enunciato B**: «Oggi non è più possibile coltivare contemporaneamente una mentalità scientifica e una religiosa, poiché la prima si basa sulla razionalità, la seconda sull'irrazionalità».

C-I) **Enunciato C**: «Le religioni, come ogni altra manifestazione del pensiero umano, dovrebbero accettare di mettersi in discussione in base ai risultati della scienza».

D-I) **Enunciato D**: «La scienza dimostra come l'esistenza del mondo sensibile non possa prescindere dall'opera di un'Intelligenza Superiore, identificabile con **DIO**».

E-I) **Enunciato D'**: «La scienza dimostra come l'esistenza del mondo sensibile non possa prescindere dall'opera di un'intelligenza in senso lato».

2. LE BASI DEL METODO SCIENTIFICO

2.1. Troppo ovvio per pensarci

Ho già citato il *metodo scientifico* nella presentazione, e sarà bene partire proprio da quest'argomento, come premessa fondamentale per entrare nel vivo della discussione degli enunciati, se vogliamo procedere in maniera ordinata. Il lettore sappia dunque: questo capitolo e i tre successivi sono concettualmente legati e si completano a vicenda, fornendo chiavi di lettura importanti l'uno dell'altro.

Passiamo dunque alle basi del metodo. Senza pretesa di enunciare grandi verità, e senza sbilanciarmi troppo, affermo quanto segue: tra le tante schematizzazioni possibili finora proposte (abbastanza equivalenti tra loro), a me – come a buona parte dei fisici – piace riconoscere, a fondamento del progresso delle scienze naturali dal Cinquecento-Seicento in poi, un insieme di tre principi enunciabili separatamente, ma dipendenti l'uno dall'altro in modo strettissimo. Comincio a illustrare quello basilare in ordine logico, ma badate: il primo a essere stato formulato in maniera esplicita verrà elencato in seguito, al terzo posto, mentre i due anteposti furono, in tempi remoti, accettati come impliciti, senza neppure pensarci direttamente.

Il principio basilare è definito: "*realismo*". Esso afferma quanto segue: qualunque siano gli strumenti in senso lato per mezzo dei quali si studia la natura (e non parlo solo di apparecchi meccanici, elettrici ecc. da laboratorio, ma includo pure la capacità intellettuale, umana, di capire), c'è qualcosa da descrivere. Detto in tal modo, e a questo punto del discorso, può sembrare una banalità superflua, ma così non è, e lo capiremo. In fin dei conti, il già ricordato Renato Cartesio, nel Seicento, ragionava su argomenti del genere, a fronte di meditazioni filosofiche antiche e meno antiche (alcune delle quali risalgono a Platone e al suo "*mondo delle idee*", su cui non mancherò di tornare parlando della matematica) riguardanti l'apparente realtà del cosmo, come conseguenza dell'illusione dei sensi. Il poveretto durò molta fatica a trovare un solido punto d'appoggio intellet-

tuale per nutrire fiducia nell'esistenza di qualcosa. Giungere al concetto di "*cogito, ergo sum*" (penso, dunque esisto) fu per lui un grande sollievo: si convinse almeno della sua propria esistenza (sto semplificando in modo abominevole). Ma altre ipoteche su come intendere la realtà vengono fuori pure da risultati sperimentali ottenuti dalla fisica del XX secolo, specie nel campo della meccanica quantistica, e andremo a impattarci duramente nei discorsi seguenti. Qui, anticipo solo il contesto: ci troveremo di fronte non già a modi di pensare, bensì a fatti concreti, conflittuali col buon senso e coll'intuizione. Fatti, tali da costringerci a rivedere *al ribasso* il significato, semplice e intuitivo, da noi spontaneamente attribuito al verbo "*esistere*". È, infatti, nostra abitudine mentale associare l'esistenza di un qualche oggetto in senso lato alla possibilità di maneggiarlo, pur se non insisto sul come. Purtroppo, in alcuni campi della scienza, spesso non si può maneggiare proprio nulla, e non per difficoltà pratiche, ma per motivi di principio sui quali il lettore verrà edotto a suo tempo. Di conseguenza, non tutti gli scienziati sono d'accordo sul significato esatto da assegnare alla definizione di *realismo*, e alcuni pongono l'enfasi su sottili distinzioni che comprenderemo in seguito. Per ora, mi limito a un paio d'esempi: i fisici attratti da sistemi filosofici basati sul materialismo propendono spesso verso il realismo *assoluto*, congruente con l'affermazione: «La realtà c'è, la vediamo e basta!». Chi, invece, ha tendenze idealiste preferisce qualche sorta di realismo *strumentale*, situato all'estremo opposto rispetto a quello assoluto, poiché suggerisce come unica realtà credibile il risultato della misurazione pratica e, per di più, soltanto dopo che l'esperimento sia stato eseguito davvero (da uno strumento, quindi). Ma, qualunque sia il concetto favorito dai singoli scienziati, sembra in ogni caso ragionevole affermare: «Qualcosa deve esistere in senso lato anche se, magari, il nostro modo di sperimentare, interpretare e conoscere questo "*qualcosa*" può essere carente e approssimato, talvolta addirittura fuorviante, e chi più ne ha più ne metta». In fin dei conti, se il mondo non ci fosse proprio per niente, avrebbe senso (pretendere di) studiarlo scientificamente? Il realismo, almeno inteso in tale accezione limitata, senza voler forzare le cose fino a una perfetta identità tra l'oggetto della ricerca e la nostra comprensione e descrizione dell'oggetto stesso, è dunque una delle basi concettuali necessarie del metodo scientifico.

Al secondo posto, viene la "*regolarità della natura*". Siamo, in altre parole, convinti di poter descrivere e classificare quanto si verifica nella frazione della realtà – finora imprecisata – ricadente nella percezione dei nostri strumenti (per l'appunto il *mondo sensibile* di cui si parlava in alcuni degli enunciati nella "Presentazione"). Il mondo sublunare non dev'essere del

tutto caotico e imperscrutabile, ma piuttosto ci aspettiamo d'incontrare fenomeni descrivibili in base a ricorrenze, almeno sul piano statistico, da noi definite "leggi di natura". Scopo della scienza è scoprire tali leggi. Anche questo principio sembra scontato per il senso comune occidentale moderno, ma per alcuni filosofi e fisici non lo è, o per lo meno non sembra loro così assoluto, e pure qui possiamo risalire molto all'indietro, a Eraclito, nel VI secolo a.C., scendendo poi la scala temporale fino al contemporaneo John Wheeler, uno dei fisici di maggior talento del XX secolo. Pare ragionevole affermare che, in completa assenza di leggi, e se ci fosse solo un caos generale, neppure noi esseri umani (dotati di una struttura biologica articolata e delicata, in cui basta un solo indicatore chimico – pensate alle analisi del sangue – fuori dell'intervallo di riferimento, e tutto va a pallino) potremmo esistere, e dunque, se ci siamo, ciò è già di per sé garanzia sufficiente di un esistere intrinseco delle leggi di natura; esse non sono un'invenzione della nostra mente. Purtroppo, vedremo come la meccanica quantistica – e non solo quella – sferrò un attacco devastante a tale convinzione. Pure se non la può del tutto cancellare, per lo meno vi aggiunge nuovi *distinguo* di proporzioni cosmiche. Il lettore, però, concorderà (ne sono convinto) nell'accettare l'idea secondo la quale, se non esistessero per nulla leggi di natura, non avrebbe senso fare scienza e, di conseguenza, la fiducia nella regolarità della natura dev'essere anch'essa, a buon diritto, un caposaldo del metodo scientifico. Einstein, chiamato in ballo di nuovo, era colpito proprio dall'esistenza di leggi al posto del caos, e ancor più dalla loro intelligibilità; ciò rappresentava per lui il mistero più grande, quello che lo costringeva a mantenere un atteggiamento religioso in senso lato verso la natura. Ma attenzione: *in senso lato...*

2.2. Provando e riprovando

Il terzo e ultimo principio fondante è il "*metodo sperimentale*". Si può sintetizzare con la seguente frase: «La scienza si occupa di scoprire come la natura è davvero, e non come a noi sembra, in base a un'occhiata superficiale». Il concetto dovrebbe spiegarsi da sé, e in ogni caso ci tornerò sopra diverse volte. Per inciso: spesso, quest'ultimo principio viene disatteso dai cosiddetti "scienziati non professionisti" (in omaggio alla correttezza politica, utilizzo una definizione per omissione), i quali amano costruire a tavolino teorie ingegnose ed eleganti per interpretare una sola, tra le innumerevoli sfaccettature messe a disposizione degli studiosi, dell'immenso *corpus* sperimentale della scienza, senza curarsi per nulla del

requisito secondo cui una teoria, per quanto possa essere bella e addirittura affascinante, deve spiegare tutti i fatti osservati, e non solamente una loro frazione selezionata con cura, magari facendo previsioni folli per altri aspetti – anch’essi osservati e conosciuti – della realtà. Con questo finisce l’inciso, e si torna al metodo sperimentale.

Malgrado già Aristotele osservasse la natura con diligenza, eseguisse prove pratiche e raccomandasse tale criterio, la prima applicazione esplicita e sistematica del metodo in quanto principio basilare e irrinunciabile si ascrive, correttamente, a Galileo, considerato dunque a buon diritto il fondatore della scienza moderna. È però singolare, e va notato, che cent’anni prima di Galileo lo stesso concetto era già stato espresso con chiarezza estrema (in uno degli scritti poi confluiti nel *Trattato della pittura*) da Leonardo da Vinci, assieme all’affermazione secondo cui le leggi di natura, una volta scoperte sperimentalmente, vanno espresse per mezzo di relazioni matematiche. Riporto la frase per esteso poiché, per essere stata scritta attorno al 1490, è davvero notevole: «*Nessuna umana investigazione si può dimandare vera scienza, se essa non passa per le matematiche dimostrazioni; e se tu dirai che le scienze, che principiano e finiscono nella mente, abbiano verità, questo non si concede, ma si nega per molte ragioni; e prima, che in tali discorsi mentali non accade esperienza, senza la quale nulla dà di sé certezza*».

Insisto sul metodo sperimentale con un esempio. All’epoca di Galileo era comune l’opinione secondo cui gli oggetti cadessero verso il suolo con accelerazione tanto maggiore quanto più fossero pesanti. Il Pisano, invece, aveva capito perfettamente il ruolo giocato dalla resistenza dell’aria, astraendo dalla quale ogni oggetto cade con la medesima accelerazione, uguale e costante nel tempo per tutti. Aveva pure escogitato un esperimento concettuale (oggi si usa in gergo il termine “*gedankenexperiment*”, dall’alemanno) per dimostrare, già sulla carta, l’errore di assumere un’accelerazione di gravità diversa per corpi di differente peso, e il lettore gusterà – spero – la forza cogente dell’idea, come ora gliela vado a illustrare. La racconto anche per spiegare cosa s’intende per esperimento concettuale, e l’importanza scientifica di questa singolare procedura: quasi la dimostrazione di un teorema, per cui non dovrebbe poi esservi necessità di riscontro materiale.

Supponiamo di avere una grossa palla da cannone, e di lasciarla cadere da una certa altezza ben precisa e misurata. La palla accelererà e giungerà a terra dopo un po’ di tempo, da noi cronometrato. Ora spacchiamo la palla in due pezzi, uno più leggero e uno più pesante, e agganiamo i pezzi tra loro con una catena. Il peso complessivo di questo nuovo oggetto composito supera un po’ quello della palla da cannone inizia-

le, poiché dobbiamo aggiungere anche il peso della catena. Lasciamo cadere l'oggetto sempre dalla stessa altezza di prima. Se l'accelerazione fosse davvero tanto minore quanto minore è il peso, come ritenevano gli aristotelici in opposizione a Galileo, il pezzo più piccolo della palla da cannone iniziale tenderebbe a cadere più lentamente del pezzo più grosso e, tirandolo per il tramite della catena, rallenterebbe un po' la caduta di quest'ultimo. Si giungerebbe dunque al paradosso secondo cui l'oggetto composto dovrebbe impiegare più tempo a giungere a terra, rispetto alla palla da cannone iniziale, malgrado il suo maggiore peso complessivo. Carino, vero?

Bene: carino ma non risolutivo, se qualcuno volesse a tutti i costi impostarci sopra un sofisma. Cosa accadrebbe, invece, se l'esperimento fosse eseguito davvero? Non resterebbe spazio per troppe chiacchiere, suppongo. Infatti, alcuni, rifiutando a priori di credere alle scoperte astronomiche di Galileo, per precauzione evitavano con cura di porre l'occhio al cannocchiale, sapendo benissimo pur essi come le teorie si possano fare e disfare a piacere con giochini dialettici, ma i fatti sono dirimenti, e *loro* non intendevano correre il rischio di trovarsi di fronte a evidenze irrinunciabili.

Noti bene e ricordi sempre il lettore: nel metodo sperimentale troviamo non solo il perché della grande forza di tutte le scienze empiriche, ma anche il loro limite: un limite che esse scienze si impongono da sole per necessità. Senza sperimentazione, infatti, si ricadrebbe nella speculazione matematico-filosofica pura, e quattrocento anni di fisica (e chimica, e biologia...) hanno dimostrato come la logica, da sola, non basti a individuare quale strada, tra le tante ipotizzabili a priori, abbia scelto davvero la natura per comporre e far funzionare il mondo.

2.3. Prime variazioni

Ora siamo in possesso delle tre basi del metodo scientifico. Può essere utile discutere qualche esempio per chiarire meglio le idee, e trarre alcune conclusioni preliminari. O meglio: proviamo a elaborare sul solo metodo sperimentale, avendo già capito come e perché gli scienziati possano litigare sul significato recondito dei primi due principi, ma non dovrebbe essere loro concesso interpretare il terzo in base a gusti personali.

Ipotizziamo, perciò, una futura situazione, talmente avanzata, di sviluppo scientifico per cui, onde eseguire nuovi esperimenti e progredire nella conoscenza della natura in base ai canoni del metodo stesso, sia indispensabile costruire apparecchiature non realizzabili per motivi tecnici

e/o economici, o andare a osservare dove non è consentito farlo. E non mi riferisco solo a difficoltà pratiche: sto addirittura supponendo d'incontrare impossibilità di principio. Considerando quanto detto finora sul metodo sperimentale, dobbiamo forse giungere alla conclusione secondo cui, raggiunti questi limiti, la scienza non potrebbe procedere oltre?

Le opinioni correnti sono discordi. C'è per esempio chi, in base a un'illimitata e aprioristica fiducia nella natura, esclude di poter mai incappare in situazioni del genere, sperando di trovare sempre alternative per sperimentare in luoghi o condizioni differenti, da individuare di volta in volta, e ottenendo risultati che spianeranno comunque la strada a un ulteriore progresso della scienza. Taluni vanno oltre: secondo loro, perfino teorie così avanzate da non ricadere, almeno per il futuro prossimo, nei limiti dello sperimentabile vanno portate alle conseguenze estreme, in quanto, forse, alcune delle previsioni da loro desumibili finiranno (un giorno lontano) a portata dei nostri strumenti, sebbene oggi non si riesca assolutamente a immaginare quando e come. Se devo essere sincero, a me (e a molti altri fisici) quest'ultima posizione appare un po' ardita. Però, non può essere liquidata in quattro e quattr'otto, lo ammetto. Infatti, se davvero fossero esaurite le possibilità sperimentali, l'unica alternativa sarebbe quella di smettere di fare scienza, e non vorrei nemmeno prendere in considerazione un'idea del genere, almeno finché non ci fossi costretto da evidenze insormontabili. È dunque inopportuno vietare alla scienza di continuare a costruire teorie ragionevoli, ma ricordiamo pure l'esperienza passata: spesso, la ragionevolezza di una teoria non significa necessariamente che in quella teoria ci sia un aggancio a quanto avviene davvero in natura. Nell'ipotesi in cui ci trovassimo di fronte alla possibilità di costruire soltanto teorie, e magari queste fossero tutte ragionevoli nel senso appena precisato, ma conducessero a previsioni divergenti su quanto dovrebbero mostrare esperimenti eseguiti in condizioni troppo estreme perché ci fosse speranza di realizzarli davvero, cosa ne verrebbe fuori? La perdita di un elemento fondamentale della ricerca scientifica, ovvero la necessità di raggiungere, alla fine, un accordo generale tra tutti gli scienziati.

Quest'ultimo punto merita riflessione: dopo un periodo iniziale in cui ciascuno ha il diritto di dire la sua, e le liti possono raggiungere livelli furibondi (in quattro secoli di storia della scienza, si è giunti all'omicidio, e ancor più spesso al suicidio), ogni nuova scoperta finisce per trovare, prima o poi, una sistematizzazione più o meno definitiva, e l'accordo tra gli scienziati cresce progressivamente, fino a raggiungere l'unanimità. Magari, come sostengono i maligni, solo dopo la morte dell'ultimo rappresentante della vecchia scuola, il quale ancora si opponeva facendo valere il

peso del proprio prestigio accademico, ma l'unanimità si è sempre ottenuta, com'è giusto attendersi, se il metodo sperimentale deve servire proprio a farci conoscere e accettare l'andamento reale delle cose, uguale per tutti. E, affinché il lettore non cada in equivoco, gli ricordo un elemento di comprensione importante: gli esempi riportati in questo libro sono spesso tratti dalla storia della fisica, poiché quest'ultima, per il momento, è la più avanzata tra le scienze naturali nella comprensione dei meccanismi fondamentali all'opera nel motore cosmico.

2.4. E senza esperimenti?

Proseguiamo con elaborazioni sul tema. La fisica d'oggi è in possesso di una teoria generale aspirante allo status di "teoria del tutto"? No! Se vogliamo davvero spiegare ogni aspetto osservato della natura, in quest'arco storico, di teorie generali ne servono almeno due. Supponiamo, allora, che i fisici decidano di completare a tavolino, rendere compatibili tra loro, e unificare in un *corpus* onnicomprensivo, le due teorie di cui sono in possesso, una delle quali descrive il mondo a scale di distanza piccolissime, subatomiche, e l'altra si applica all'estremo opposto, a distanze cosmiche. In un tentativo del genere, s'incontrerebbero gravi difficoltà. Infatti, pur se solo in casi ancora non raggiungibili dalla sperimentazione, le due teorie di base della natura sono in contrasto logico tra loro. Ciascuna di esse descrive perfettamente, fino agli estremi limiti ben misurabili, le osservazioni relative agli oggetti ai quali si applica. Purtroppo, però, i fondamenti stessi dell'una escludono a priori quelli dell'altra. È una situazione non nuova in fisica, ma finora è sempre stata superata dal progresso delle conoscenze, almeno per quanto narra la storia della scienza, e quindi i fisici non sono (ancora) troppo preoccupati. In tale contesto, però, ripropongo al lettore la stessa domanda su cui sto battendo da un po': in che modo dovremmo comportarci, se il completamento e l'unificazione non si presentassero univoci, ma secondo possibilità diverse? Certo, si può sempre sperare che l'ingegno umano, e tecnologie più sofisticate, ci pongano, un giorno o l'altro, in grado di costruire apparecchiature sperimentali oggi neppure pensabili, con le quali eseguire le misure necessarie a discriminare tra le varie possibilità. Ma è solo una speranza. Potremmo finire in una situazione in cui si contendono il campo diverse teorie unificate rivali, del tutto equivalenti tra loro fin quando è possibile sperimentare, ma le cui previsioni siano opposte e inconciliabili laddove le misure non potranno giungere in un futuro ragionevole. In tal caso, l'unanimità finora

vantata dalla scienza finirebbe del tutto perduta, poiché i vari studiosi opterebbero per una teoria anziché per un'altra secondo preferenze personali. Magari qualcuno sceglierebbe la *simmetria* (in senso lato) della formulazione matematica, in base alla constatazione secondo cui, almeno finora, le teorie più avanzate verificate dagli esperimenti si presentano sempre più simmetriche, quando vengono espresse in equazioni. Altri si orienterebbero sulle teorie *eleganti* sul piano filosofico anziché matematico, e già si tratterebbe di una guida più vacillante. Di sicuro, qualcuno eleggerebbe di sostenere le teorie *semplici* e io, probabilmente, mi troverei tra questi ultimi, pur sapendo di non aderire a un criterio (storicamente) solido, e via dicendo. Ma sarebbe vera scienza, questa? Non del tutto. Anzi, diciamo francamente: non lo sarebbe. Uno stato di cose come quello appena ipotizzato segnerebbe, di fatto, la fine della possibilità di fare scienza, almeno finché non emergessero nuovi e diversi dati sperimentali, magari dopo molto, molto tempo. Da queste considerazioni nasce l'opinione di altri fisici (e filosofi), i quali sostengono l'inopportunità, per la scienza, di cimentarsi là dove gli esperimenti non riescano a starle dietro, mentre dovrebbe contentarsi di cercar di gettare un qualche minimo barlume di luce nelle regioni ancora sconosciute, ma solo immediatamente a ridosso di quanto si può misurare oggi, o si potrà nel giro di pochi anni. Una visione percepita, almeno da me, come troppo limitativa. Non è davvero facile decidere in qual modo convenga procedere, quando i dati empirici cominciano a scarseggiare!

Il lettore può chiedersi legittimamente: «Ha senso tutto questo parlare di possibili limitazioni sperimentali?». Ebbene: se l'ho fatto, avevo un motivo serio per approfondire il discorso sulle basi del metodo, sulle possibilità da esso aperte e sui limiti conseguenti. Proviamo, infatti, a illustrare il problema da due punti di vista diversi, con esempi di esperimenti non fattibili in pratica, e di esperimenti non fattibili in linea di principio. Cominciamo dai primi.

I fisici non conoscono ancora, con la precisione auspicata, le leggi agenti sui più minuscoli granelli di materia, detti "*particelle elementari*". Una delle difficoltà consiste nell'essere queste particelle troppo piccole nel senso letterale del termine. Per poterle esaminare bene, sarebbero necessari microscopi molto più potenti di quelli attualmente disponibili. Attenzione, però: quando parlo di *microscopi* intendo il termine in senso lato. Non pensiamo a quegli oggetti da laboratorio di biologia, ove si mette l'occhio per vedere bestiacce che si divorano a vicenda in una goccia d'acqua apparentemente pura. I microscopi usati per studiare le particelle elementari sono enormi, sofisticati e costosi: si chiamano "*acceleratori di par-*

ticelle", e sono tanto più potenti quanto più sono grandi, per una precisa relazione fisica tra gli ingrandimenti ottenibili (sempre in senso lato) e le dimensioni dell'apparecchiatura. Esempio: il più grande acceleratore al mondo oggi in esercizio ha 27 km di lunghezza (sì, esatto; un microscopio lungo 27 km, e se ne sta progettando uno lungo oltre 50 km), e costa cifre che si avvicinano a quelle di cui si sente favoleggiare nelle leggi finanziarie annuali. Esso permette di osservare oggetti fino alle dimensioni di un milionesimo di milionesimo di centimetro. Alcuni scienziati, però, hanno già messo in cantiere, ormai da decenni, una certa varietà di teorie (prendono il nome collettivo di "teorie del tutto") su quanto dovrebbe avvenire nell'ancora più piccolo, e ciascuna di esse potrebbe essere giusta e definitiva, e cioè quella scelta dalla natura per far funzionare il mondo a scala sub-microscopica e cosmica. O, magari, sono tutte sbagliate. Purtroppo, per sperimentare e capire quale tra queste possibili teorie alternative sia vera, occorrerebbe costruire acceleratori di particelle grandi quanto l'orbita della Terra attorno al Sole, e qualche pessimista dice: quanto l'intera nostra Galassia. Già al giorno d'oggi ci troviamo, perciò, di fronte a un primo esempio d'impossibilità pratica di sperimentare, e non è l'unico, pur se la ricerca potrà ancora avanzare per un buon tratto analizzando in modo capillare i dati provenienti dai più potenti acceleratori, e da altri strumenti che si chiamano "rivelatori di particelle", in esercizio o in costruzione.

2.5. Fuori dell'universo

Dunque, in questo settore della fisica, ma anche in altri, stiamo cominciando ad avvicinarci all'*orizzonte* oltre il quale non sarà più possibile fare scienza seria, almeno per un certo lasso di tempo, la cui durata non si può oggi prevedere. E approfitto per definire il termine "*orizzonte*" come si usa spesso in linguaggio scientifico. Un orizzonte è un luogo, un tempo, una condizione in genere per cui, in analogia a quanto avviene coll'orizzonte terrestre (esso nasconde al nostro sguardo ogni oggetto situato oltre la curvatura del pianeta), non ci è lecito vedere, percepire, conoscere proprio a causa di motivi pratici, o più spesso di principio.

Chiediamoci ora se gli scienziati abbiano anche pensato a osservazioni sperimentali già impossibili in via teorica, ma stavolta a causa di precise leggi di natura, e non solo per ragioni tecnico-economiche. Altroché! Porto solo un esempio tratto dalla cosmologia, perché è facile da capire, ma ne esistono altri. La domanda di partenza è quasi banale (si fa per di-

re): «L'universo nel suo insieme è spazialmente finito o infinito?». Per rispondere scientificamente a quest'interrogativo, sarebbe necessario eseguire misure e osservazioni astronomiche su oggetti sempre più distanti da noi, fino a trovare un qualche genere di bordo geometrico in senso lato dell'universo, nel qual caso esso risulterebbe spazialmente finito, e la scienza avrebbe risposto anche a questa domanda. Tanto per dire: ci sono teorie che prevedono un universo finito nemmeno troppo grande, un universo chiuso su se stesso in analogia, piuttosto grossolana, con la superficie di una sfera dove, se cerchiamo di allontanarci sempre di più da un punto prefissato, non ci riusciamo, perché raggiungiamo una distanza massima, ma poi ricominciamo ad avvicinarci. Magari, se siamo fortunati, basteranno pochi altri anni d'osservazioni astronomiche per dimostrare proprio la finitezza del cosmo. Ma se, al contrario, l'universo fosse spazialmente infinito, ci sono due motivi di principio per cui le osservazioni non potrebbero mai darcene la certezza scientifica. Il primo è ovvio. Per quanto lontano si riesca a osservare con strumenti sempre più potenti, il semplice fatto di non trovare un limite in senso lato non sarebbe una prova che, col prossimo e più grande (costoso) telescopio, non ci si possa arrivare, e scusatemi se ribadisco questo concetto logico, fondamentale per la scienza, ogni volta che mi è possibile: «Assenza di evidenza non è evidenza di assenza!» («L'altro calzino potrebbe essere in lavatrice. Se non l'ho trovato, forse ho cercato male»). Gli astronomi incontrano, però, un diverso e invalicabile limite per le osservazioni, a circa 13,7 miliardi di anni-luce di distanza (ricordate: un anno-luce è il tragitto percorso dalla luce in un anno, corrispondente a circa 9500 miliardi di km), per un banale motivo: l'universo nacque dal big bang 13,7 miliardi di anni fa. Di conseguenza, anche se l'universo nella sua globalità fosse appena un po' più grande di questo nuovo orizzonte osservativo di cui parlo, la luce proveniente da eventuali oggetti più lontani di 13,7 miliardi di anni-luce non avrebbe avuto il tempo materiale di giungere fino a noi. Quindi, nessun telescopio al mondo potrebbe scoprirli, e non servirebbe a nulla costruire telescopi più potenti e costosi, poiché non riusciremmo comunque a vedere oltre l'orizzonte, in analogia a chi si trovi su una nave in alto mare. Utilizzando un buon binocolo, può distinguere i dettagli di un'altra nave lontana se, però, questa si trova sopra l'orizzonte; neppure il più potente dei telescopi gli permetterebbe di scorgere alcunché sotto l'orizzonte. Ecco: questi due limiti alla nostra capacità di esplorare in modo empirico l'universo qualora esso fosse infinito, o semplicemente troppo esteso rispetto a quanto è consentito osservare, ci pongono di fronte a due veri e propri orizzonti di conoscibilità scientifici già in atto, e non solo come lonta-

ne ipotesi per un futuro più o meno indeterminato. Dobbiamo, di conseguenza, giungere alla conclusione secondo cui lo stesso metodo sperimentale, fondamento della scienza, pone limiti invalicabili a quanto sia lecito studiare e comprendere il mondo sensibile. La scienza può scoprire ogni cosa esistente in natura? *No, e per motivi di principio!* E ribatto fino alla nausea su quest'argomento, affinché il lettore prenda atto che esistono limiti della scienza, riferiti a banalissimi oggetti materiali del nostro mondo. Non *l'anima* o *Dio*, ma oggetti materiali!

2.6. Ci saranno mondi paralleli?

Nel seguito, tratterò con maggiore approfondimento i limiti sperimentali; per ora li ho solo accennati onde chiarire fin dall'inizio il discorso sul metodo, sull'enorme efficacia posseduta dalla scienza finché essa resta all'interno dei vincoli imposti dal metodo, e sul dato di fatto conclusivo: se qualcosa non rientra nelle possibilità del metodo, non riguarda la scienza. Ma esiste un altro limite, ben più stringente, alle possibilità d'indagine della scienza stessa. Anch'esso deriva dal metodo, ma stavolta l'orizzonte di conoscibilità non è imposto da problemi pratici o teorici: è inerente al metodo stesso. Per fissare definitivamente il concetto, domandiamoci un'ultima volta: «Può la scienza provare l'esistenza o la non esistenza di un mondo materiale parallelo, intendendo il *"parallelismo"* in quanto *"impossibilità d'interagire"* con il nostro mondo sensibile, il mondo indagato dalla scienza stessa?». Posta in questi termini, la domanda è una tautologia, ma anche volendo strizzare i significati oltre ogni limite, la risposta l'abbiamo appena data: è univoca, inalterabile, definitiva. «No, la scienza non può. Punto e basta!». Io lo so, e tutti dovrebbero saperlo: non ci sono, e non ci saranno mai, deroghe a quest'ultima conclusione, neppure nel più remoto futuro; è la situazione più vicina a un vero e proprio dogma di fede in campo scientifico. Se il mondo materiale parallelo, qualunque sia la sua natura, non interagisce con la materia (o con l'energia) del nostro mondo materiale, e poiché la scienza è sperimentale, qualunque cosa possa esistere di parallelo (badate bene: non sto affatto ipotizzando che questo mondo debba esserci davvero; sto solo piazzando delle segnaletiche utili a chi voglia coltivare l'igiene intellettuale), non sarà mai compito della scienza pronunciarsi in merito. Ma attenzione: non ho parlato di un mondo spirituale, inteso in senso religioso; ho parlato di volgare, brutale materia e, purché questa non interagisca con la nostra materia, non è compito della scienza occuparsene. Teniamo a mente questa precisazione, e andiamo avanti.

Ebbene: già a un livello così iniziale del libro, siamo entrati in possesso di alcuni strumenti concettuali utili a discutere più in profondità il problema dell'esistenza di "dio", "Dio" e "DIO", raggiungendo almeno alcune conclusioni definitive, mentre per altre bisognerà avere molta più pazienza. Cominciamo da "dio".

In questo caso, forse il lettore sarà già d'accordo con me: si tratta di nomenclatura. Infatti, i primi due principi fondanti della scienza (realismo e regolarità della natura) possono benissimo essere interpretati in base a un generico teismo, probabilmente parente stretto dei concetti nelle menti di Hawking e Einstein. Non c'è bisogno di pensare a nessun Dio con le caratteristiche di persona, di creatore o altro; basta identificare col termine "dio" la totalità della natura poiché essa, comunque, trascende l'essere umano (insisto: date le finalità del libro, parlo solo di conoscenza scientifica; non indago su quanto ci possano dire le arti, le discipline umanistiche, le altre manifestazioni dell'intelletto). Ammettere una situazione d'impossibilità nell'analisi e nella codifica dell'intero cosmo è la prima lezione d'umiltà della scienza. Estrapolare da ciò un atteggiamento religioso in senso lato nei confronti della natura e del suo studio è quindi una scelta ragionevole, ma non impegnativa in alcun modo per quanto riguarda il proprio stile di vita. Tutto sommato, in quest'ottica le inclinazioni personali hanno l'ultima parola. Se qualcuno mi chiedesse: «Come fisico, ti senti teista e religioso nel senso appena discusso?», la mia risposta sarebbe un sostanziale: «No». Per il mio modo di sentire, infatti, l'identificazione del cosmo con dio è quanto ho affermato all'inizio di questo paragrafo: un problema di terminologia e nient'altro. Non nego a chicchessia di potersi definire teista, ma non sono personalmente interessato a questa posizione filosofica. Come non provo alcun desiderio di mettermi a dibattere sui possibili motivi di somiglianza o differenza tra il dio appena discusso, il *tao* di Lao Tze, il panteismo di Spinoza e qualsiasi altro concetto assimilabile a dio con l'iniziale minuscola il lettore possa avere in mente. Tronco qui la discussione, ritenendo di essere stato abbastanza chiaro su dio. Tra l'altro, costui/ciò non è neppure tra gli argomenti di questo libro.

2.7. Stuzzichiamo la Divinità

Altro è il discorso per quanto riguarda "Dio", e altro ancora è per "DIO". Partiamo dal primo, nello spirito di quanto già discusso nel "Capitolo 1".

Come anticipato, l'iniziale maiuscola spetta, a mio avviso, solo a enti-

tà aventi almeno alcune caratteristiche fondamentali, vale a dire quelle da noi associate ai concetti di persona e intelligenza. Non sto necessariamente affermando «Dio è una persona intelligente» secondo l'uso corrente del linguaggio, ma il mio modo di mettere le cose è il seguente: se egli non si manifestasse almeno secondo queste modalità operative (e molto di più, anche se non ho i mezzi intellettuali per dire cosa o come), non vedo in qual modo differirebbe da "dio". Chiarito ciò, non ho difficoltà ad assegnargli altre qualità in senso lato ma, se il lettore preferisce, può considerarle opzionali. Dio può essere creatore in quanto *causa prima* (sono i fisici a spingere sul concetto di causa) o *motore immobile* (gli ingegneri, invece, sono più stimolati dall'idea di motore); magari è pure *onnisciente e onnipotente*. Insomma, non gli nego quasi nessuna delle caratteristiche associate alla divinità dalle religioni tradizionali. E quindi il lettore può chiedersi in cosa Dio differisca da **DIO**. Ma se ha digerito il capitolo precedente, deve avere almeno qualche idea in proposito. Infatti, la diversità fondamentale è questa: Dio non interagisce con la creazione se non per essere (forse) il garante dell'esistenza della natura e delle sue leggi. **DIO**, al contrario, non se ne sta su una nuvoletta a suonare l'organo senza altri ascoltatori oltre a se stesso e gli angioletti, ma interferisce col mondo in generale e con (per mezzo di) ogni essere umano. Dunque, per chiarezza intellettuale, qui manteniamo ancora il discorso su Dio e basta.

Chiediamoci se la scienza può avere qualcosa da dire su Dio. Possiamo fornire la risposta definitiva a questa domanda ora e per sempre: «No». Il ragionamento è semplice. Per come lo abbiamo definito, Dio non interagisce col mondo sensibile. Può esserne stato il creatore ma, a parte l'eventuale attimo della creazione stessa (per noi perduto un tempo finito o infinito fa; non fa differenza pratica, come capiremo meglio in un altro capitolo), non rientra nelle finalità o nelle possibilità della scienza esplorare Dio, in quanto egli non è, per definizione, soggetto al metodo sperimentale. Dunque, la scienza, per sua stessa natura, mai e poi mai potrà pronunciarsi sul dilemma se Dio (attenzione a come è stato definito) esista o no. Di questo argomento, ne sappiamo abbastanza da mettere il punto. La stragrande maggioranza, la quasi totalità (pur se con mezza manciata di notevoli eccezioni) delle argomentazioni sulla non interferenza tra scienza e religione si basa su questo dato di fatto evidentissimo: l'impossibilità di indagare su Dio, sempre inteso come colui che non interferisce, per mezzo del metodo scientifico. La conclusione è chiara a questo livello del discorso, e diventerà ancor più chiara procedendo nell'analisi del metodo nei capitoli seguenti, ma chi fosse interessato solo ai rapporti tra la scienza e il tipo di Dio discusso finora può considerarsi soddisfatto anche

fermandosi qui: le argomentazioni già adottate possono essergli sufficienti a chiudere la bocca a chiunque voglia portare la scienza a riprova dell'esistenza o della non esistenza di questo genere di Dio. Io, però, non sono ancora soddisfatto.

Per spiegare i miei motivi di perplessità, pongo anzitutto la seguente domanda: «È possibile che Dio, nell'atto stesso della creazione, abbia predeterminato ogni cosa nell'universo, onde quest'ultimo evolva secondo un *suo* piano ben preciso (*suo* di Dio, voglio dire), comprendente addirittura l'interazione tra Dio medesimo e ogni essere umano o, quanto meno, un qualcosa (non so di che si tratti né, tutto sommato, m'importa assai di sapere) da noi percepito come interazione con lui?». Per il tipo di definizione di Dio (onnipotente, onnisciente, eccetera), la risposta è: «Forse sì».

Passo, dunque, alla domanda successiva: «Se le cose andassero davvero in questo modo, sarebbe la scienza in grado di accorgersi dell'esistenza di Dio?». La risposta è: «Ovviamente no perché, in quest'ordine d'idee, qualunque fenomeno del mondo sensibile discende, di necessità, da una catena di eventi naturali non inquinati da alcuna traccia d'intervento divino, essendosi quest'ultimo limitato a una fase (la creazione in senso stretto) non accessibile alla scienza».

Infine, non sono io, ma il lettore, a chiedere: «Bene: e in cosa differirebbe un Dio definito in questo modo dal **DIO** nel titolo del libro, finché conveniamo di relegare l'azione di Dio/**DIO** al "Fiat lux"? Già a metà del primo capitolo, senza bisogno di leggere oltre, dovremmo aver raggiunto la conclusione definitiva: *l'Enunciato A* è scientificamente insostenibile».

Convegno: il problema *semberebbe* risolto. E forse, per qualche lettore, lo è davvero, poiché qui stiamo andando a toccare modi di sentire personali. Ma, per l'appunto, il mio modo di sentire non riesce ancora a chiudere la questione. Resta un punto di durezza, e questo ha bisogno di essere esplicitato e dissezionato per tutto il resto del libro. Avviciniamoci di un passo al nocciolo duro.

2.8. Con le mani nel sacco

Dio vuole interagire con me, e fin qui va tutto bene, poiché può farlo organizzando le cose fin dall'inizio, e nessuno (tranne me, ma questo è un fatto soggettivo e non oggettivo, e quindi invisibile alla scienza) sarebbe in grado di metterci bocca. Ma: e io? Se anch'io volessi interagire con Dio, la mia reazione sarebbe libera o predeterminata? Attenzione, perché il problema potrebbe nuovamente essere percepito come fittizio, del tutto

semantico. Per me, però, non lo è. L'eventuale obiezione: «Dio conoscerebbe comunque la mia risposta da sempre, e quindi avrebbe organizzato tutto di conseguenza» non mi piace affatto. Nulla in contrario, se lui già conosce tutto di me e del mio futuro, poiché, essendo creatore anche del tempo, ne è in qualche modo al di fuori e dunque, se a lui riferiti, i concetti di passato e futuro hanno un significato profondamente diverso da quello da noi usato in modo implicito nel linguaggio corrente. Però, io pretendo di essere libero in modo sostanziale, e non solo nella misura in cui, anche se Dio già sa come mi comporterò, io non lo so ancora, e quindi mi pare di essere libero. Di qui la mia insoddisfazione per il Dio di cui abbiamo parlato finora, pure se è quasi indistinguibile da quello delle principali religioni monoteiste. E allora, tiro fuori dal cappello un nuovo coniglio: prende il nome di **DIO**, e stavolta è sicuramente anche Dio, ma non solo. **DIO** mi dona la libertà sostanziale. Non so come lo faccia, ma di sicuro **DIO** non mi prende per i fondelli, facendomi credere di essere libero sul serio, mentre non lo sono. Di certo, conosce in anticipo la mia risposta, e può anche aver predeterminato tutto il resto in funzione di questa, ma non può, *non deve* aver predeterminato la mia risposta. Non so cosa ne pensi il lettore, ma per me questo concetto introduce una differenza qualitativa irriducibile tra Dio e **DIO**. In un modo da me non comprensibile né ora né mai (ma è un requisito indispensabile affinché il gioco possa interessarmi), **DIO** dev'essere presente all'interno del mondo momento per momento, perché io sono all'interno del tempo e dello spazio, e io pretendo di interagire liberamente con lui.

Ed è questo requisito a complicare le cose per quanto riguarda l'*Enunciato A*. Infatti, chiediamoci se, in conformità a quanto abbiamo finora imparato sul metodo, la scienza potrebbe essere in grado di pronunciarsi in merito all'esistenza o non esistenza di **DIO**, distinto da Dio, come ho spiegato nel paragrafo precedente. In teoria, la risposta è: «Sì, la scienza potrebbe!». Infatti, anche se la struttura o la natura di **DIO** (ricordi sempre, il lettore, di aggiungere la parentesi virtuale "*se esiste*") non è direttamente soggetta alla sperimentazione fisica per definizione, o per lo meno intendiamo questo allorché affermiamo la sua natura di *puro spirito*, l'esito di alcune sue azioni, almeno per quanto riguarda il suo donarci la libertà, potrebbe esserlo. Ripeto un'ultima volta: anche se lui non può essere pescato nella rete sperimentale, non è lecito escludere a priori che gli effetti delle sue azioni (in generale il suo agire dentro la storia) possano restare impigliati nella rete della conoscibilità umana, ed essere da noi individuati come violazioni alle leggi di natura.

D'altra parte, nella presentazione ho affermato il contrario: l'*Enuncia-*

to *A* è privo di riscontro scientifico. Come vanno le cose? Vanno, vanno; purtroppo non sono banalissime da raccontare. Ci vorrà un bel gruzzolo di capitoli per arrivare a capire come mai l'*Enunciato A* è scientificamente un nonsenso, poiché non basta prendere in esame le sole basi della scienza per dimostrarlo, come sarebbe invece sufficiente per il caso di Dio, anche nella più estensiva delle accezioni. Bisognerà sudare pure sui risultati della scienza moderna, e insisto: moderna, poiché solo nel XX secolo sono venuti alla luce in maniera incontrovertibile altri dati di fatto... non posso continuare ad anticipare disordinatamente. Se il lettore vuole entrare in possesso degli elementi culturali necessari a ribattere in maniera precisa e definitiva all'*Enunciato A*, deve ormai sottomettersi alla lettura dell'intero libro. Qui gli è concessa l'ultima possibilità di scelta: o contentarsi di tener testa a chi chiama in ballo presunti rapporti tra la scienza e Dio, oppure potersi permettere di dire a chiunque sostenga l'*Enunciato A*: «Non venirmi a seccare, chiunque tu sia e qualunque sia il tuo prestigio accademico, sociale, culturale, mediatico, politico e via discorrendo, perché hai torto marcio, e te lo dimostro!». Mi dispiace, ma per raggiungere questo scopo bisogna procedere con la lettura fino alla fine o poco prima (beh, ci sono anche gli altri enunciati, e pure loro vanno discussi prima del termine).

Infatti, voglio subito portare all'attenzione del lettore un paio d'esempi di come, sulla base del solo metodo scientifico, sia possibile (almeno a livello d'ipotesi) eseguire qualche tentativo di pescare **DIO** con le mani nel sacco. Tratterò due casi estremi: uno è di un'ingenuità da confinare col ridicolo, l'altro è di una complessità da far tremare le vene e i polsi.

2.9. Preghiera e volontà

Quello ingenuo riguarda l'efficacia della preghiera in situazioni difficili. Più di una volta mi è capitato – e ne sono certo: capiterà di nuovo – d'imbattermi in analisi statistiche di risultati sperimentali, rimbalzati dalle pagine di serie riviste scientifiche di prestigio internazionale, riguardanti le percentuali di guarigioni (o per lo meno di miglioramenti clinici) di malati, ripartiti in due categorie. Una è quella di coloro che pregano per la propria salute, o per i quali qualche congiunto, amico o altro prega: l'altra, ovviamente, è la classe di quelli per i quali nessuno prega. Le elaborazioni dei risultati mostrano come le percentuali di miglioramento clinico vengano fuori identiche nei due campioni, al netto di un leggero peggioramento (statistico e facilmente interpretabile) di chi viene a conoscen-

za della notizia sconvolgente: un intero gruppo di persone si è messo a pregare per la sua salute!

Ingenuamente, se ne potrebbe evincere: **DIO** non esiste; altrimenti darebbe ascolto alle preghiere e, in termini strettamente (e umanamente) economici, il suo intervento dovrebbe favorire la salute dei malati per i quali qualcuno prega. Ma, a parte ogni legittimo dubbio sul senso assegnato da un eventuale **DIO** al concetto umano d'economia (nel primo capitolo l'ho già dichiarato: non proverei un grande trasporto nei confronti di un Dio fanatico di un rigido *do ut des* calibrato su quello dell'Ufficio delle Tasse), chi può dire se davvero *nessuno* prega per alcuni malati? Forse, chi non è mai entrato in una chiesa incappando in preghiere per coloro per i quali nessun altro prega e vi supplico, non cominciate a costruire su questa frase un sofisma sul tipo di quelli che riguardano il "Dio degli hamburger". Chi è costui? Bene: brevissima digressione.

Nel Medioevo andavano di moda paradossi su Dio (non sempre, a quell'epoca, si faceva molta differenza tra Dio e **DIO**, e non sempre se ne fa adesso), tesi a dimostrare la sua esistenza o non esistenza. Un paradosso era: «Se Dio è onnipotente, può creare un macigno così pesante, tale per cui egli stesso non è poi capace di sollevarlo?». Più modernamente: «...può creare un hamburger così grande da non essere egli stesso capace di ingoiarlo in un solo boccone?». Sono giochini di parole, basati su un noto paradosso matematico sui numeri transfiniti, e spero non ne vogliate costruire uno sul concetto di "pregare per coloro per i quali nessun altro prega" anche se, in questo caso, si parla di numeri finiti, e l'analogia è imperfetta.

Fine della digressione, e torniamo all'esperimento sulla presunta efficacia o non efficacia delle preghiere. A parte l'ovvia ignoranza in campo religioso di chi esegue prove del genere (tutte le religioni insegnano, già fin da bambini, a pregare per coloro cui mancano i suffragi altrui), ci si chiede: quali sarebbero gli esiti delle misurazioni se qualcuno, nell'Aldilà (se esiste **DIO**, perché non un Aldilà?), pregasse? E ci tengo, come al solito, a rammentare: non sto affermando positivamente un'efficacia della preghiera o l'esistenza di un Aldilà; mi limito a mostrare come un esperimento del tipo di quello appena discusso già preveda la validità del risultato cui vuole giungere, e sia quindi metodologicamente scorretto sul piano scientifico, trascurando a priori tutta una serie di fattori sfuggenti per principio al metodo, ma determinanti nell'interpretazione dell'esito finale dell'esperimento stesso. In parole povere: il campione degli oranti non è comunque sotto il controllo degli sperimentatori, specie nel caso in cui **DIO** esista. E, di conseguenza, le conclusioni dedotte da un esperi-

mento del genere sono intrinsecamente errate in modo non conoscibile. Io, per esempio, in coerenza con la mia sottoscrizione della scommessa di Pascal, prego pur senza conoscere i malati, ma non sono stato contato. Conclusione dell'esperimento: «Se si parte dall'ipotesi che **DIO** non esista, si dimostra che **DIO** non esiste».

Avevo promesso un secondo esempio di come sarebbe possibile, in linea di principio, individuare un intervento diretto di **DIO**. È correlato col *libero arbitrio* di cui ho accennato qualche paragrafo fa. Questo argomento richiederà molto più di una citazione *en passant*, quindi non mi preoccupo di formulare una definizione precisa di un concetto così complicato, anche perché, nel procedere del libro, ci avvicineremo sempre di più a una comprensione di quel che il libero arbitrio non può essere. Per ora ci giro attorno con una descrizione (non definizione) di tipo operativo. Parto sempre dall'ipotesi di un **DIO** desideroso d'interagire personalmente, a livello anche individuale, con ogni essere umano, e insisto sulla libertà della risposta.

Ebbene: quando io mi metto a dialogare con un computer, tutto posso desiderare, tranne una risposta libera da parte del computer stesso. Infatti, se anche una sola delle operazioni eseguite dal computer in seguito a una mia precisa sollecitazione è, non dico libera, ma semplicemente *inattesa*, vado in bestia. Questo succede perché il computer è una macchina, progettata e costruita al solo scopo di obbedire in modo pedissequo. Il rapporto da me ipotizzato tra **DIO** e l'essere umano è esattamente l'opposto: se **DIO** sollecita una persona, lo fa solo perché desidera da quella persona una risposta libera. Altrimenti, tanto gli varrebbe sollecitare un computer. Se fin qui ci siamo capiti, torniamo alla scienza futura di alcuni paragrafi fa, più evoluta di quella oggi a noi disponibile, ma basata comunque sui principi del metodo e sull'analisi e codifica del mondo sensibile. Questa potrebbe essere in grado di costruire un'apparecchiatura la quale, ricevendo in ingresso gli stessi stimoli sensoriali cui è sottoposto un ben preciso essere umano (una macchina, dunque, simulante lo stato mentale di una *persona specifica*, includendo tutte le interazioni interne ed esterne, a partire da un certo istante, e funzionando più rapidamente dell'organismo biologico simulato), sia in grado di prevedere con esattezza assoluta quali saranno, da quel momento in poi, le risposte di *quella persona* a ogni tipo di stimolo, senza mai incorrere in un errore, senza mai ottenere una risposta inattesa dall'essere umano. Notiamo bene: il puro e semplice metodo scientifico non afferma, a priori, l'impossibilità di costruire una macchina del genere. Tutt'altro: se la persona è – in un senso molto generale, da precisare meglio in capitoli successivi – la somma delle sue parti costituenti, del loro funzionamento, e della loro interazione coll'ambiente esterno (volendo passare per

l'analogia – imprecisa – con un computer, quest'ultimo reagisce – o dovrebbe farlo – in maniera prevedibile all'insieme *hardware + software + input*), la costruzione di un simulatore umano del genere proposto non dovrebbe essere teoricamente preclusa.

A questo punto, io affermo quanto segue, e il lettore presti molta attenzione, poiché la frase contiene un'importante chiave di lettura dell'intero libro. **Il regolare funzionamento**, ma **non il solo progetto operativo sulla carta**, della macchina appena descritta costituirebbe, per me, una **prova scientifica irrefutabile della non esistenza di DIO**, e se ho usato tre volte corsivo e grassetto in una sola frase, ci sarà un motivo. Infatti, tutto ciò si presenterebbe come la dimostrazione sperimentale che la richiesta, da parte di **DIO**, di una risposta libera dall'essere umano sarebbe vana, poiché quest'ultimo è solo una macchina dagli output prevedibili. Di conseguenza, **DIO** verrebbe tutt'al più declassato al rango di Dio; quel Dio la cui eventuale esistenza vedrei come un'interessante curiosità culturale, ma non un motivo di orientamento profondo per la mia vita. Ecco un modo, molto più efficace delle statistiche sulla preghiera negli ospedali, in cui la scienza e **DIO** potrebbero interagire, e la scienza dire una parola definitiva sull'argomento.

Però, qui debbo concludere questo capitolo, sperando che il lettore sia un po' incuriosito dalle ultime argomentazioni e desideri approfondirle, anche perché ne ho parlato troppo di sfuggita. Uso un carattere tipografico mutuato dallo spagnolo per preannunciare una domanda lunga: ¿«Cosa vuole implicare l'insieme delle due affermazioni, e cioè da un lato la non validità scientifica dell'*Enunciato A*, e dall'altro l'ammissione: "sì, la realizzazione pratica di un simulatore umano di una ben precisa persona, funzionante perciò come quello descritto, e non in modo generico, sarebbe la prova scientifica della validità del medesimo enunciato"? Sto forse insinuando, tra le righe, una impossibilità di principio di costruire una macchina come quella ipotizzata?». Bene, alla fin fine, nei capitoli successivi, ci sarà una risposta ai quesiti di cui sopra, ma il discorso è molto più generale. Spero solo che le prime anticipazioni stimolino il lettore ad andare avanti... un bel po'... Ma ora riassumo rapidamente il capitolo.

2.10. Ricapitolando

A-II) La possibilità di studiare scientificamente la natura si basa sull'ipotesi dell'esistenza di qualcosa in realtà, pur se non entriamo in dettaglio su cosa sia la realtà stessa.

B-II) Un'altra condizione per poter fare scienza è la regolarità, almeno in media, della natura. Dunque, debbono esistere leggi di natura in senso lato.

C-II) Per conoscere queste leggi, non è possibile evitare di fondarsi sul metodo sperimentale. Detto in altro modo, non si può fare scienza senza osservare quanto succede davvero in natura.

D-II) Nel seguito, si conviene di definire **DIO** (se esiste) come "persona inserita nella storia, e garante della sostanziale libertà umana (se esiste)", a differenza di Dio (se esiste), il quale è "Artefice e predeterminatore di tutto".

Da queste condizioni, e in particolare dalla C-II e D-II, conseguono alcuni limiti invalicabili alla nostra possibilità di conoscere il mondo in modo scientifico. Sono conclusioni definitive, si badi bene.

1-II) Gli eventi naturali non studiabili, sia pure per motivi contingenti, in modo sperimentale non possono essere oggetto di ricerca da parte della scienza, se non provvisoriamente, e solo a livello d'ipotesi.

2-II) Esistono casi in cui l'osservazione sperimentale di eventi naturali è, e sarà sempre, impossibile per motivi di principio (orizzonti). In tali casi, alla scienza non sarà *mai* consentito dimostrare alcunché in modo incontrovertibile.

3-II) In base alla definizione stessa del metodo scientifico, è escluso a priori un pronunciamento della scienza su ipotetiche realtà esulanti, per loro stessa definizione, dal dominio della sperimentabilità. Per esempio, la scienza non potrà mai occuparsi di Dio, mentre il discorso relativo a **DIO** resta, a questo livello, ancora aperto.

3. LA MODELLISTICA NEL METODO SCIENTIFICO

3.1. Fabbricare un modello mentale senza farsi male

Concluse le primissime iterazioni sui rapporti tra scienza e **DIO**, e lasciato in sospeso l'*Enunciato A*, procediamo nell'illustrazione delle ulteriori basi del metodo scientifico. La fisica, molto più di altre scienze, è fin dal suo nascere il regno incontrastato della *modellistica*; proprio la modellistica aiuta a capire meglio il concetto di realismo, e non solo quello, nelle sue varie sfumature. Attenzione, però, perché la chimica, la biologia e le altre scienze empiriche sono anch'esse basate sulla modellistica, pur se in prima battuta può non sembrare e, a volte, alcuni professionisti della ricerca in questi settori, secondo l'argomento specifico che trattano, non hanno neppure bisogno di rendersene conto in modo esplicito. Vediamo dunque cos'è la modellistica: non solo bisogna capire il suo significato e la sua importanza, ma pure renderla patrimonio definitivo del modo di pensare, finché il richiamo del concetto diventi quasi un automatismo. Ci aiuterà in questo un breve percorso storico.

Mettiamoci anzitutto nei panni di Galileo. Lui era uno sperimentatore ingegnoso come ce ne sono stati pochi: finché consideriamo, come lui, piani inclinati, leve, pendoli e poco altro, identifichiamo spontaneamente quel che davvero succede in natura coi risultati dell'esperimento, così come li vediamo e raccontiamo. Di conseguenza, trovandoci per le mani sistemi molto semplici e oggetti d'uso quotidiano, spingiamo senza neanche pensarci il nostro concetto innato di realismo fino al livello di *assoluto*: terminologia già incontrata nel capitolo precedente. Identifichiamo, in altre parole, la realtà con la sua descrizione, e neppure ci viene in mente la domanda: «Un momento: quando affermo "la realtà è quella sperimentata e descritta", voglio proprio intendere questo, o magari sto introducendo implicitamente qualche riserva mentale, per cui il concetto sarebbe meglio espresso dalla frase "la realtà funziona come se io la potessi descrivere in questo modo"?». Ecco: quel "come se" fa un po' di differenza, ma lo vedremo meglio.

Il lettore, ovviamente, è già allertato e, da un momento all'altro, si aspetta qualche screpolatura: l'identificazione tra la realtà e la sua descrizione sarà destinata ad annacquare un po' a causa del progredire della conoscenza della natura, altrimenti non avrei tanto insistito sul realismo inteso come semplice necessità dell'esistenza di qualcosa. Ci arriverò fra breve; per il momento gli chiedo ancora di restare sintonizzato su Galileo e i suoi tempi, poiché lo sviluppo storico fa quasi toccare con mano il sorgere di nuovi problemi e nuove necessità d'interpretazione. Ci troviamo, perciò, a fianco del professore pisano: restiamo calmi e non facciamo come lui; aveva un caratteraccio e si accendeva come un cerino a ogni minima contraddizione (se il carattere di Galileo – e ovviamente pure quello di Maffeo Barberini – fossero stati appena più concilianti, probabilmente l'Inquisizione avrebbe lavorato di meno, e ciò non avrebbe fatto male né alla scienza né al cattolicesimo). Conduciamo un esperimento celebre nella storia della fisica, e cioè la realizzazione pratica di una variante di quello ideale, già dettagliato nel capitolo precedente, volto a mostrare l'invarianza dell'accelerazione di gravità per ogni corpo. Anche se non sappiamo con certezza se questo esperimento sia mai stato eseguito nella forma agiografica tradizionale: quella di lasciar cadere dalla Torre di Pisa due sfere di diverso peso, verificando che impieghino tempi uguali per giungere al suolo.

Vediamo dunque, cogli occhi dell'immaginazione, e permettendoci di scherzare un po', Galileo. Sta trafficando con una palla da cannone in pietra e una di legno, e le fa soppesare agli astanti dubbiosi. Ora le pone in un borsone a tracolla e, con una certa fatica, se le trascina su per diversi giri di scale (non è più un giovanotto, per la miseria!). Finalmente giunge in cima alla torre col fiatone, e si sporge appena dal lato inclinato verso terra, la qual cosa gli fa venire nausea e vertigini, sebbene quattrocento anni fa la torre pendesse meno di oggi. Con un sorriso condiscendente (e un po' maligno) a beneficio degli scettici accompagnatori, afferra la palla di pietra con la sinistra e quella di legno con la destra, le allunga fuori del parapetto, e il braccio sinistro comincia subito a tremargli perché i muscoli non ce la fanno a sostenere il peso. Lo sentiamo imprecare tra i denti, sottovoce: «Maledizione! Dovevo pensarci prima, a prendere la più pesante con la destra... ma ormai sono in ballo e, se cambio mano, questi sospettano qualche trucco! La prossima volta non mi faccio fregare: mando piuttosto quel pelandrone di Torricelli, così, intanto, non mi rompe un altro tubo di vetro provando a riempirlo di mercurio...». Conto alla rovescia: tre, due, uno... via! Fa notare a chi è venuto su con lui la contemporaneità nel rilascio delle palle. Dal basso si ode un "thump" ovattato. Il nostro si sporge di nuovo, tenendosi stretto alla balaustra, e urla a chi è rimasto giù di

confermare se davvero le palle sono arrivate a terra assieme, e così via. C'è bisogno di andare avanti? Sono tutte descrizioni di attività percepibili, da ciascuno di noi, estremamente reali, senza che ci siano tranelli logici e filosofici nascosti. Non abbiamo alcuna difficoltà a raffigurarci l'avvenimento: addirittura, lo abbiamo drammatizzato realizzando una breve sceneggiatura auto-esplicativa.

3.2. Attenzione al trucco

Ma è proprio vero? Non ci sono tranelli? In germe, già nell'esperimento di Galileo, c'è un risvolto nascosto. Non balza subito all'occhio, e dovrebbe, invece, lasciarci un po' perplessi. Infatti, quando arriviamo a Newton (per una buffa coincidenza, l'"Anglo che tanta ala vi stese" nacque nello stesso anno in cui morì Galileo), le cose procedono in maniera già meno intuitiva. Ragioniamo: la mela cade dall'albero e, secondo la tradizione, fa scattare nella mente del genio britannico l'idea secondo cui la forza attrattiva tra gli oggetti e il suolo è proprio la stessa operante nel cosmo, per tener legata la Terra e gli altri pianeti al Sole, la Luna al nostro pianeta, eccetera... Beh, bisogna distinguere. Finché parliamo della mela, ci pare di restare su un piano concreto: questa cade dal ramo dell'albero, così come cadevano le palle da cannone dalla Torre di Pisa, e poi siamo abituati a maneggiare e mangiare mele, e conosciamo per esperienza l'inopportunità di lasciarle cadere, altrimenti si ammaccano un po'. Il resto del discorso, quello su stelle, pianeti e satelliti, comincia invece a diventare nebuloso. In fin dei conti, stiamo parlando di esperimenti, e ci viene in mente quanto segue: mentre chiunque può giocare a piacimento con le mele, Newton non poteva di certo sperimentare sull'intero Sistema Solare portandoselo in laboratorio. Sì, siamo d'accordo: le osservazioni astronomiche sono pure esperimenti, proprio come tanti altri, e già da secoli anche molto precisi. Però, manca loro una caratteristica importante: la possibilità di *perturbare il sistema* per vedere come reagisce. Mi spiego meglio: se lascio cadere una biglia lungo un piano inclinato allo scopo di misurare quanto tempo impiegherà a raggiungere una certa posizione, e ripeto l'esperimento dopo aver spalmato colla a metà strada, così da verificare cosa succederà quando la biglia rallenterà e riaccelererà, ho appunto perturbato il sistema. Ma non posso rallentare un po' il pianeta Giove e controllare come riparte il suo movimento dopo la perturbazione. Proprio qui entra in ballo il concetto di *modello* in fisica. Infatti, anziché sperimentare sul Sistema Solare, Newton e chi dopo di lui hanno sempre speri-

mentato su un *modello concettuale* del medesimo, ponendo vincoli ideali, mentali a questo modello, servendosi delle osservazioni astronomiche degli oggetti reali solo come verifica a posteriori.

Ecco un primo approccio al concetto di modellistica. Invece di maneggiare roba in laboratorio, non mi sporco le mani e mi limito a immaginare, nel chiuso della mia testa, un insieme un po' complicato, composto di diversi oggetti. Supponendo, poi, di conoscere già le leggi di natura cui obbediscono i vari pezzi del sistema ideale, e servendomi di carta, penna, calamaio e soprattutto computer, deduco come dovrebbe evolvere nel tempo quell'insieme di oggetti. Ma qui bisogna prestare attenzione: quando parlo di modello non mi riferisco solo ai pezzi materiali immaginati, ma anche, e soprattutto, alle leggi di natura applicate ai pezzi stessi. Potrò così verificare se le mie previsioni saranno confermate, quando andrò a osservare i pianeti e controllerò se, in una certa data nel futuro, questi saranno nel punto esatto previsto dal mio modello. Oppure, magari, se ne staranno da un'altra parte, e allora potrò buttare il modello di legge di natura utilizzato, perché non funziona.

Per essere pignolo, insisto sul punto: il modello è fatto più di leggi di natura che di oggetti fisici. Infatti, lo stesso modello di legge può essere applicato a un'infinità di casi diversi d'insiemi di oggetti. Faccio un nuovo esempio per chiarire questo punto, segnalato al lettore come importante. Comincerò coll'immaginare soltanto il Sole e la Terra, e cercherò di prevedere come questi due corpi celesti si muoveranno al passare del tempo per effetto della reciproca forza di gravità, e di cui ho elaborato, per l'appunto, un modello mentale. Il modello, conformemente a quanto scoperto da Newton, afferma quanto segue: la forza attrattiva è proporzionale al prodotto delle masse dei due oggetti considerati, e inversamente proporzionale al quadrato della distanza tra loro; la formula matematica verrà tra un paragrafo. Verificate, dunque, le posizioni reali di Sole e Terra in momenti successivi, troverò un discreto accordo tra le previsioni del modello e l'esito delle misure, ma resteranno piccole differenze. Allora, magari, potrò dire: «Un momento, c'è pure la Luna! Essa attrae e viene attratta da Terra e Sole. Come cambierà il moto di questi corpi, se considero anche la forza di gravità dovuta alla Luna?». In effetti, con quest'aggiunta, a conti fatti, l'accordo tra le previsioni del modello e i dati osservativi migliorerà, anche se di poco. Poi seguirò: «Chissà se i pianeti, specie i più grossi come Giove e Saturno, esercitano qualche perturbazione sensibile sul sistema Sole-Terra-Luna? Vediamo cosa succede se aggiungo, nel calcolo, pure la loro forza di gravità». E potrò procedere con lo stesso criterio, aumentando sempre il numero di oggetti celesti di cui tener con-

to, migliorando ogni volta l'accordo tra teoria ed esperimento. In sostanza, il modello della forza di gravità utilizzato è sempre lo stesso, ma cambia il sistema di elementi cui lo applico. Tutto chiaro, non è vero? Magari fosse! Stiamo arrivando al tranello nascosto minacciato poco fa.

3.3. Arriva il primo fantasma!

In che modo si esercita la forza di gravità? Ragioniamoci su. Lo abbiamo già detto, no? Secondo la scoperta di Newton, due oggetti qualsiasi – le cui masse definiamo per esempio M_1 e M_2 –, quando si trovano a una distanza R tra loro (meglio dire piuttosto: « R è la distanza tra i loro "baricentri"»), si attirano con una forza F il cui valore si calcola grazie a: $F=G \times M_1 \times M_2 / R^2$, dove G è un fattore di proporzionalità avente il nome di "costante di gravitazione universale", sul cui significato, a questo punto del libro, ancora non serve interrogarsi, perché l'incontreremo di nuovo. Mi serve piuttosto evidenziare, sulla base di questa semplice formuletta, il seguente concetto: se davvero cercassi di essere preciso nel definire la forza di gravità, non dovrei dire: «Due oggetti si attirano con una forza, eccetera», ma qualcosa di leggermente diverso, anche se a prima vista può sembrare equivalente. La frase corretta suona così: «Due oggetti qualsiasi si comportano come se tra loro si esercitasse una forza attrattiva, eccetera». È ricomparso il "come se" già incontrato all'inizio del capitolo, perbacco! Cosa vuol dire?

Cerchiamo di arrivarci per gradi. Esiste davvero qualche differenza importante tra questi due modi di porre la legge di gravità? Lo ammetto, finora ce n'è poca; tutto sommato, ho solo aggiunto una nota dubitativa. Invece di affermare: "i due oggetti si attirano", mi sono cautelato dicendo: "si comportano come se si attirassero". È un bizantinismo inutile? No. Vediamo di trovare un modo per spiegare, prima dal punto di vista formale, e poi da quello sostanziale, per quale motivo la differenza c'è, ed è pure molto importante per capire l'intero edificio della fisica e, più in generale, della scienza.

Formalmente, se avessi affermato: "i due corpi si attirano" e basta, non ci sarebbe stato bisogno di alcun modello. Dicendo: «Esiste una forza attrattiva: la forza si calcola per mezzo di questa formula; sotto l'azione della forza gli oggetti reagiscono così e così, e non c'è nient'altro da capire o da immaginare. Se non posso spostare a piacimento i pianeti, come invece faccio con gli oggetti di laboratorio, è solo un dettaglio insignificante, perché le osservazioni astronomiche mi dicono quanto vale la pena

di sapere», avrei continuato a identificare la realtà con la sua descrizione. E, in effetti, molti studiosi del Settecento presero la cosa in termini di realismo assoluto, ovvero identificazione totale tra l'avvenimento e il suo modello. Molti, ma non lo stesso Newton.

Lui era disturbato dall'idea. Il lettore segua bene: sto per enunciare il problema che angustiò il grande fisico fino alla tomba, malgrado fosse una conseguenza diretta delle leggi di natura da lui stesso scoperte. Newton si chiedeva, infatti: «D'accordo: la forza di gravità è responsabile di tutti i moti osservati nel Sistema Solare, e la mia formula funziona bene. Ma come diavolo si trasmette questa forza attraverso il vuoto interposto tra i corpi celesti? C'è un *elastico fantasma*?». E noi potremmo aggiungere: «Oppure, come si trasmette l'attrazione fra la Terra e la palla di cannone in cima alla Torre di Pisa?». Eccolo, il tranello!

Può sembrare una domanda oziosa, ma solo finché non riflettiamo abbastanza. Insisto: concepire come si eserciti una forza a contatto diretto è, dal nostro punto di vista, semplice e intuitivo. Se spingiamo il mouse del computer, esso si sposta. Per *forza* in senso stretto; la nostra mano sta spingendo, sta cioè esercitando una forza sull'oggetto. Ma se volessimo spostarlo per *telecinesi*, vale a dire con la forza del pensiero, senza nessun contatto fisico, ci riusciremmo? Io sono convinto di no.

Certo: con un telecomando posso aprire da lontano un pesantissimo cancello senza toccarlo. Esaminiamo però in dettaglio cosa succede, dal momento in cui spingo il pulsantino col dito. Attivo un circuito elettrico il quale, a sua volta, spendendo una certa quantità di energia elettrica prelevata dalla batteria interna al telecomando (si tratta di tutti pezzi fisicamente in contatto tra loro), genera un'onda elettromagnetica perfettamente misurabile, e cioè un oggetto fisico il quale, anche se il mio occhio non riesce a vederlo, è parente stretto di quella stessa luce visibile di cui ho esperienza sensibile immediata. L'onda elettromagnetica è poi assorbita da un'antenna metallica posta in collegamento diretto col rivelatore del segnale, il quale pilota l'amplificatore e poi il motore; quest'ultimo, assorbendo energia elettrica dalla rete, fa girare una ruota dentata con cremagliera, o qualche altro marchingegno, esercitando una forza a contatto sul cancello, e infine lo fa aprire. L'unico passo forse un po' evanescente in questa catena di forze fisiche a contatto sembra, quindi, l'onda elettromagnetica, ma semplicemente perché gli occhi umani non riescono a catturarla. Possiamo eliminare anche questa sorgente residua di dubbio, se il telecomando accende una piccola lampadina, da cui deriva un fascio di luce visibile il quale, una volta ricevuto da una fotocellula, la faccia scattare, eccetera. Messa in questi termini, la catena di forze a partire dalla

pressione del dito sul telecomando e fino all'apertura del cancello non ha alcuna fase non percepibile dall'osservatore come a contatto. E, siccome il concetto fin qui è ancora facile da capire, approfitto subito per introdurre una nomenclatura nuova: anziché parlare di *forze*, i fisici preferiscono dire *interazioni*, e d'ora in poi così farò pure io, perché il termine evoca in modo più generale e intuitivo un'azione esercitata tra oggetti diversi. *Azione – inter.*

Sto tirando il discorso in lungo per evidenziare come, nel caso della gravità, manchi apparentemente il mediatore fisico diretto dell'interazione. La Terra si trova a 150 milioni di chilometri di distanza dal Sole; buona parte di questo spazio è vuoto quasi assoluto, eppure il Sole tiene avvinghiata a sé la Terra come se tra i due corpi esistesse un elastico fantasma per trasmettere l'interazione. Newton era talmente insoddisfatto da questa necessità logica di elastico cosmico, al punto di ritenere assurda (parola sua testuale) l'idea di interazione a distanza, e, in mancanza di meglio, lasciò esplicitamente in eredità ai posteri l'onere di sciogliere questo nodo. Bisogna ammetterlo; aveva le idee molto chiare: se qualcuno non ce lo avesse fatto notare esplicitamente, forse neanche a noi sarebbe parso strano il concetto secondo cui i corpi possano attirarsi fra loro senza un supporto fisico visibile, materiale, adeguato a trasmettere l'interazione come se fosse a contatto diretto.

3.4. Modello e realtà

Ma qual è il nesso con la modellistica? È immediato. Per secoli, i fisici non hanno saputo cosa fosse in realtà l'interazione gravitazionale. Sono dunque giunti a concludere: «La legge di Newton non descrive la realtà; tutt'al più essa può essere concepita come un modello della realtà». E le cose sono un po' cambiate solo dal 1916 in poi, quando Einstein pubblicò la teoria avente il nome di "*Relatività Generale*" la quale, sebbene risolva il problema dell'interazione a distanza solo sostituendolo con un altro, ancor più inosservato perché molto difficile da intendere, quanto meno introduce un modello diverso dell'interazione di gravità per cui, almeno in prima approssimazione, si comincia a intravedere la luce in fondo al tunnel... Ma il tunnel è curvo, come scopriremo più avanti.

Ora, forse, siamo arrivati a percepire in modo un po' più chiaro la differenza tra la dizione secondo cui "...gli oggetti si attirano con una forza..." e quella, alternativa: "...si comportano come se tra loro si esercitasse una forza attrattiva...". Non è più un bizantinismo; la differenza qualitativa è

enorme. In verità, fermandoci all'enunciato di Newton, noi non sappiamo affatto cosa succeda in realtà tra due oggetti dotati di massa, e dunque possiamo solo costruire un modello di funzionamento il quale, contenendo un'espressione matematica da risolvere volta per volta, ci permette di eseguire previsioni quantitativamente precise su quanto avverrà.

Scusate se insisto: il fisico newtoniano non pretende di sapere cosa sia la gravità; si limita a darne una descrizione matematica, modellistica. Egli afferma: «Non ne conosco la natura reale, ma so calcolare esattamente come si comporterà. Dunque, ne fornisco un modello semplice utilizzando l'immagine mentale di un elastico invisibile per trasmettere a distanza l'interazione attraverso il vuoto».

A questo punto, il concetto di modello chiarisce meglio quello di realismo, il quale non è più, di necessità, assoluto. Si è dunque sviluppata nel tempo la progressiva consapevolezza secondo cui l'idea di realtà intesa come: «Il modo scelto dalla natura per far funzionare le cose» non debba necessariamente coincidere col nostro modo di descriverla. Un po' come se la mente umana fosse limitata e, anziché riuscire a capire la realtà in quanto tale, dovesse contentarsi di stabilire relazioni del tipo: «Se avviene una certa cosa, e in una certa misura, allora mi aspetto, come conseguenza, il verificarsi (inevitabile) anche di una certa altra cosa, e in una misura prevedibile». Ripeto: la struttura intima degli eventi intermedi tra la causa e l'effetto non è per forza alla portata della nostra comprensione; per la scienza, conta solo la possibilità di prevedere l'effetto in termini quantitativi, e cioè riuscire a istituire una correlazione matematica precisa tra causa ed effetto, nel momento in cui la causa sia nota. Sembra strano riuscire a mettere in equazioni qualcosa la cui essenza vera ci sfugge, ma la faccenda va proprio in questo modo. Independentemente dalla corrente filosofica cui aderiscono (in genere senza neanche pensarci), gli scienziati lo fanno perfettamente: la fisica moderna, e in una certa misura pure quella antica, non è basata su una descrizione puntuale della realtà, ma solo su una modellistica in senso stretto, in cui le relazioni tra gli eventi naturali sono simulate, nella nostra mente, da semplici analogie di tipo intuitivo (leve, ingranaggi, tubi immateriali i quali, in analogia a quelli di cui abbiamo esperienza sensibile, non trasportano liquidi normali o forze a contatto, ma interazioni a distanza). Come fisici, parliamo di *particelle* sul cui grado di esistenza si può giungere a litigare ma, come bocce da biliardo, si urtano tra loro e rimbalzano seguendo certe regole conosciute, e via discorrendo.

Torno sul concetto fin quasi a disgustare il lettore (*quasi*, spero...), perché è alle fondamenta di quanto segue: i fisici, quando studiano le strutture basilari della natura, non pretendono di descriverla per come è, ma si

contentano di farlo per come si comporta. In altri termini, da tempo hanno rinunciato alla pretesa di sapere come le cose siano in realtà e, secondo quanto vedremo più avanti, hanno perfino rinunciato a capire in quale senso riposto la realtà esista, pur restando all'interno di un realismo un po' annacquato. È per loro sufficiente poter dire: «Le cose vanno come se il comportamento della natura fosse descrivibile in base a un modello intellettuale più o meno semplice, fondato su analogie con oggetti familiari; per mezzo di formule matematiche precise, il modello consente di prevedere in modo quantitativo il risultato di ogni eventuale esperimento». Alcuni fisici, come ho accennato nel capitolo precedente, vanno oltre e affermano: «L'unica cosa di cui abbia senso parlare è il risultato della misura, e per di più solo dopo l'effettiva esecuzione della misura stessa». Un realismo *strumentale*, basato cioè su quanto dicono gli strumenti e basta, ridotto ai minimi termini e di cui parlo qui solo un istante, perché anche su questo dovremo tornare. Comunque, il lettore ha ora ben compreso il concetto di modellistica, pensato come estensione, e completamento con una descrizione in formule matematiche, di quello di pura e semplice *analogia*.

Compio un'ultima iterazione sul modellismo richiamando alcuni concetti dal capitolo precedente. Ipotizziamo l'esistenza di una realtà della natura, ma ammettiamo pure che la sua essenza intrinseca possa sfuggirci in tutto o in parte, mantenendo quindi l'ipotesi del realismo, ma non assoluto. Non smetteremo per questo di costruire la scienza poiché, anche se non abbiamo accesso alla realtà in sé, possiamo in ogni caso esaminare le sue manifestazioni sensibili avvalendoci del metodo sperimentale. Per di più, la constatazione secondo la quale queste manifestazioni si ripetono in modo regolare ci permette di formulare in modo matematico, quindi inequivocabile, quantitativo, le leggi vigenti tra cause ed effetti, seguendo l'ipotesi di regolarità della natura. Tutto sembra funzionare bene. Sulla base di osservazioni di fatti alla nostra portata, siamo in grado di prevedere correttamente l'esito di nuove misure ancora non effettuate, le quali daranno luogo a nuovi accadimenti dello stesso tipo di quelli già conosciuti e codificati per mezzo di un modello. Questo, forse, non ci porta a sapere *com'è fatto il mondo in realtà*, ma ci dice *come funziona*, e ce lo dice in modo immediatamente utilizzabile per scopi pratici. Per esempio, serve a costruire la tecnologia. Se accettiamo di non porci domande sui *perché*, l'insieme costituito dal metodo sperimentale e dalla modellistica si rivela estremamente potente, pur considerando le difficoltà e i limiti del metodo portate all'attenzione del lettore al termine del capitolo precedente. Allora, mi posso fermare qui concludendo che va tutto bene, e siamo legittimati a utilizzare a nostro piacimento la modellistica?

3.5. Ora cominciano i guai

Solo *cum grano salis*. Infatti, sperimentando, possiamo costruire un modello, ma quel modello è valido finché viene applicato ai casi già sperimentati o a casi del tutto consimili. Scopo della scienza è progredire quanto più rapidamente possibile nel sostituire ogni modello con altri, sempre più aderenti al comportamento della natura, nella speranza – forse inespressa per pudore dagli scienziati, ma di sicuro presente – che un modello, perfezionato fino ai limiti estremi, finisca per essere così vicino a quanto succede in realtà, da fornirci indizi su come la natura si comporta davvero. Esemplifichiamo quest'ultima proprietà della modellistica tornando all'esempio della legge di Newton e chiedendoci: «Ma la formula richiamata poc'anzi permette davvero di calcolare quantitativamente, e con precisione assoluta, l'interazione gravitazionale esistente tra due qualsiasi corpi dotati di massa?». La risposta, purtroppo, è negativa.

Già dall'Ottocento, gli astronomi s'erano accaniti sul pianeta Mercurio, perché fa i capricci. Nel percorrere la propria orbita attorno al Sole, esso obbedisce quasi esattamente alla legge di Newton, ma, eseguendo misure dettagliate di posizione su tempi molto lunghi, ci si accorge, alla fine, di un piccolo scarto rispetto alle previsioni del modello stesso. Scarto non trovato mai per nessun altro corpo celeste del Sistema Solare, una volta tenuto conto delle perturbazioni esercitate da ciascun oggetto sugli altri. Un lavoro, tra l'altro, enormemente faticoso, fatto su misura per computer potentissimi, malgrado la semplicità apparente del modello matematico. Cosa ci sentiremmo di fare, posti di fronte a questa singola anomalia? Dire: «Il modello non è perfetto», e correggerlo? Non è un'ipotesi da scartare a priori, ma bisogna tenere conto di un altro fatto: modificando il modello, ne risulterebbero modificate le sue conseguenze non solo per Mercurio, ma anche per ogni altro pianeta e satellite conosciuto. Eppure, gli altri pianeti e satelliti obbediscono al modello newtoniano così com'è. E allora? Per esempio, ci può venire in mente questo: Mercurio è il pianeta più vicino al Sole, e quest'ultimo ha una massa enorme, per cui l'interazione gravitazionale tra Sole e Mercurio è più intensa rispetto a quella tra ogni altra coppia di corpi celesti, a eccezione del caso di saltuarie comete. Magari, il modello proposto da Newton va considerato valido solo quando l'interazione è relativamente debole, ma necessita di correzioni quando è più forte... Bene: abbiamo già accennato a Einstein il quale, attorno al 1916, al termine di un faticosissimo percorso intellettuale, sostituì l'intero edificio della gravità newtoniana con un modello radicalmente diverso. Questo produce risultati concordanti con quelli di Newton

quando lo si applichi, per l'appunto, a campi gravitazionali deboli, mentre i risultati stessi cominciano a divergere già nel caso di Mercurio, talché l'accordo tra (nuova) teoria e osservazione è stato ormai ripristinato. Il modello di Einstein è complicato da capire, molto sofisticato sul piano matematico, ma elimina il bisogno di un elastico invisibile (la qual cosa, probabilmente, sarebbe piaciuta a Newton) e spiega il moto dei corpi celesti in termini di proprietà geometriche dello spazio e del tempo. Prego il lettore di non esigere una descrizione immediata del nuovo modello di cui, peraltro, già abbiamo intuito qualche magagna, poiché non è del tutto adeguato a quantificare esattamente gli eventi in caso di interazione gravitazionale tendente all'infinito. Qualcosa dovrò dirne più avanti; ora mi preme rilevare come ogni modello non sia mai *del tutto sbagliato* in senso stretto, ma sempre e soltanto *approssimato*, poiché non coglie la realtà ma solo le sue manifestazioni misurabili, e cioè i risultati degli esperimenti, ed è sempre possibile che nuovi esperimenti – eseguiti in condizioni molto diverse dai vecchi – mostrino all'opera aspetti della realtà diversi da quelli dominanti la scena nelle misurazioni usate per costruire il modello precedente. Verificandosi la quale situazione, bisognerà passare a un nuovo modello il quale, però, non dovrà descrivere solo i nuovi risultati, ma anche quelli di prima. *Anche quelli di prima.*

Continuo a ribattere il ferro – caldo – della gravitazione per raggiungere (spero) maggiore chiarezza: quando si calcola in dettaglio la traiettoria di una sonda spaziale diretta verso pianeta Marte, azzeccando il bersaglio dopo aver percorso centinaia di milioni di chilometri, si può tranquillamente usare il modello dell'interazione gravitazionale newtoniana, poiché esso descrive con ottima approssimazione il moto dei corpi, almeno per quanto riguarda la sua capacità di condurre a previsioni quantitativamente soddisfacenti nel caso in cui l'interazione di gravità non sia troppo intensa. Se, però, la sonda spaziale deve transitare vicinissima al Sole, ed è necessario prevedere il suo percorso con precisione estrema (ovviamente sto ignorando altre influenze esterne, come il vento solare ecc.), bisogna eseguire i calcoli secondo il modello di Einstein. Ora, ed è questo il punto rilevante, i due modelli, sia dal punto di vista matematico, sia come meccanismo intuitivo suggerito dalla matematica stessa per descrivere l'interazione, sono quanto di più radicalmente diverso l'uno dall'altro si possa immaginare. Onde sembrerebbe lecito chiedersi: «Ma allora, quale dei due è quello giusto, quello più vicino alla realtà?». Bene: la risposta potrebbe essere: «Il modello einsteiniano fornisce le previsioni quantitative migliori, ma, in realtà, nessuno dei due descrive neanche lontanamente la realtà medesima». E mi scuso per il gioco di parole infelicissimo.

Dobbiamo dunque accettare l'idea secondo cui un modello è *un modello* e nient'altro. Personalmente, posso essere convinto della superiorità di quello di Einstein in quanto cattura molti più elementi di realtà rispetto a quello di Newton, ma sono pure sicuro che la realtà *vera* sia qualcosa di diverso rispetto a entrambi, e forse, per quanto la cosa possa seccarmi, le mie capacità intellettuali sono del tutto inadeguate a comprenderla. Ma badate: non mi riferisco solo al mio intelletto, e neppure al solo oggi, con l'attuale livello di sviluppo scientifico. Il problema di base è altrove. Le facoltà razionali umane sono il frutto dell'evoluzione, in termini darwiniani, dell'intero organismo dell'*homo sapiens*, il quale possiede dimensioni geometriche grandi rispetto a quelle atomiche, piccole rispetto a quelle cosmiche, e si è adattato per sopravvivere e moltiplicarsi sulla superficie di un pianeta ove le velocità degli oggetti interagenti coll'organismo (acqua, vento, altri esseri viventi eccetera) sono molto basse rispetto a quella della luce, e così via. I cervelli dei nostri antenati non avevano alcun bisogno di capire cosa avviene in natura a dimensioni inferiori a quelle dello spessore di un capello, o molto più grandi di quanto l'occhio umano possa spaziare dall'alto di una collina, o ancora a velocità così enormi per cui, in confronto, un ghepardo che salta a 120 km/h sembrerebbe fermo. Perché, dunque, dobbiamo presumere di poter *capire davvero* cosa succede nell'enormemente piccolo, grande, veloce, eccetera? È già un miracolo, e solleva non pochi interrogativi in chi si sofferma a ragionarci sopra, questa apparente incongruenza: per mezzo della matematica (la quale, in fin dei conti, dovrebbe essere un altro parto del cervello umano), siamo in grado di descrivere quantitativamente ogni evento naturale (almeno finora), senza bisogno di capire quale sia la realtà. L'atteggiamento religioso di Einstein, ricordate? Ma questo è solo un primo assaggio dell'argomento; per forza di cose, tutto ciò si ripercuoterà sui discorsi a venire, e ci torneremo.

3.6. Impariamo a non esagerare, per favore

Ho cercato di spiegare sia la potenza, sia i limiti della modellistica nelle scienze naturali. E, a costo di ripetermi un'altra volta, insisto sul punto: i modelli scientifici non sono mai sbagliati in senso stretto, ma tutt'al più approssimati, nel loro intervallo di validità. Ma già da un pezzo giro attorno ai limiti del modellismo, senza infilare il coltello nella piaga, come un medico pietoso, e dunque riprendo le ultime parole della frase precedente: "*nel loro intervallo di validità*".

Il lettore accorto avrà già previsto quanto sto per esporre in dettaglio.

In genere, il progresso delle scienze naturali ha luogo quando s'individuano contraddizioni sperimentali rispetto ai modelli conosciuti. Infatti, non coincidendo il modello con la realtà che esso pretende di descrivere, appena si scopre un pasticcio c'è la possibilità di un avanzamento scientifico, con la costruzione di modelli più potenti. Un esempio di questa procedura, familiare a chiunque, può essere quello del modello atomico. La descrizione di un atomo fornita a chi abbia cominciato a studiare dopo il 1920-1925 è quella di un sistema solare in miniatura. Al centro c'è il nucleo, pesante, quasi immobile, in analogia al Sole al centro del nostro Sistema Solare. Attorno ruotano, come pianeti nelle loro orbite, gli elettroni, molto più leggeri del nucleo. L'interazione (forza) responsabile della tenuta dell'atomo è quella elettrica la quale, tra l'altro, si esprime matematicamente con una formula molto somigliante alla gravitazionale. Ho forse preso le cose alla lontana, perché il modello atomico appena riassunto risulterà del tutto sbagliato? No di certo. Cioè, sì, è completamente fasullo: dipende da quali proprietà dell'atomo interessa mettere in evidenza.

Il modello va benissimo se ci limitiamo a considerare come la massa e la carica elettrica positiva in un atomo siano concentrate in un volume molto piccolo, correttamente definibile nucleo, mentre la carica elettrica negativa (gli elettroni sono, per l'appunto, negativi sotto il profilo elettrico) è distribuita in zone più esterne, a distanze anche centomila volte maggiori rispetto alle dimensioni del nucleo stesso. Fin qui il modello del *piccolo sistema solare* tiene bene. Il momento in cui crolla del tutto è quando cerchiamo di calcolare le proprietà quantitative delle orbite degli elettroni, come per esempio la loro distanza media dal nucleo, sulla base delle leggi (modelli), scoperte già nell'Ottocento, dell'interazione elettrica e magnetica. Infatti, ogni oggetto dotato di carica elettrica, se si trova in movimento lungo un'orbita circolare o ellittica, come si presume sia quella seguita dall'elettrone attorno al nucleo, deve per forza emettere luce. Se si muovesse di moto rettilineo uniforme non l'emetterebbe; in moto curvo o accelerato, invece, sì. Ma tutto ciò ha una conseguenza dirompente: siccome la luce porta via energia a scapito di quella posseduta dall'elettrone (quale energia? Ne parleremo dopo), quest'ultimo dovrebbe perderne, progressivamente scendendo su orbite sempre più vicine al nucleo. Equazioni alla mano, in una frazione di milionesimo di secondo tutti gli elettroni dovrebbero finire per cadere sui rispettivi nuclei, annientando di fatto ogni atomo dell'intero universo. Ora, tutto ciò è quanto meno un po' in contrasto coll'esperienza sensibile, e infatti gli atomi vivono per tempi molto lunghi. Lunghissimi, anzi: per quanto riguarda il nostro arco vitale, possiamo considerarli infiniti. Dov'è il baco nel ragionamento? Dob-

biamo cercarlo nel modello atomico in sé, oppure nel modello delle leggi dell'interazione elettrica e magnetica applicate al modello atomico?

In entrambi. Per quanto riguarda il modello dell'interazione elettrica, infatti, questo è stato precisato meglio attorno alla metà del Novecento, proprio per renderlo adeguato a trattare il caso atomico. Se però ci limitassimo ad applicare il nuovo modello a quello atomico, sempre pensato come piccolo sistema solare, troveremmo lo stesso risultati incongruenti. Dunque, pure il modello atomico intuitivo, descritto sopra, dev'essere inadeguato. E infatti i fisici, nel corso dei decenni, hanno elaborato altri modelli atomici in modo da renderli sempre più verosimili, e quelli utilizzati oggi sono compatibili con ogni legge di natura conosciuta, rendono ragione di qualsiasi dato sperimentale e conservano somiglianze solo superficiali col vecchio modello a sistema solare. Con questo esempio, il lettore dovrebbe ormai aver interiorizzato l'idea secondo cui nessun modello è assoluto o definitivo, e tutti hanno intervalli di applicabilità. Il paragrafo seguente va letto in quest'ordine d'idee.

3.7. Dove s'incontra Belzebù in persona!

Infatti, mi è finalmente lecito avviare il capitolo al proprio termine logico, facendo cenno al patto col diavolo che ho deciso di stipulare. No, non sono alla ricerca del principe delle tenebre, in analogia al cavaliere crociato nel *Settimo sigillo* di Ingmar Bergman, sperando di trovare – indirettamente – una prova assoluta dell'esistenza di Dio (anzi: **DIO**). Ma chiunque decida di scrivere in forma divulgativa un testo che tratta abbondantemente di scienza, e non voglia però usare la matematica, si trova in condizioni simili a chi voglia risalire di notte, in solitaria e senza ossigeno, magari a occhi bendati e una mano legata dietro la schiena, lo Sperone Abruzzi del K2. Magari, prima o poi qualche bello spirito ci riuscirà pure, ma la probabilità di farsi un chilometro in caduta libera è prossima al 100%. Analogamente, a parlare di fisica senza calcolo differenziale, di biologia senza stereochimica e statistica, eccetera, evitando di essere troppo banali o d'introdurre qualche grave errore o equivoco concettuale, ci si riesce solo dopo aver fatto un patto col diavolo, ed è costume del divulgatore onesto dichiarare al lettore le clausole del proprio. Il mio, guarda caso, è quello della *modellistica intuitiva* depurata dagli aspetti matematici, e debbo quindi chiedere al lettore di non abusare dei vari modelli già incontrati e ancora da venire, perché essi hanno qualcosa in comune coi polli: tirandogli troppo il collo, crepano. Però, a differenza dei polli morti, che possono essere interessanti sotto il pro-

filo alimentare, i modelli morti generano solo fantasmi, e questi ultimi non sono una bella cosa, anche perché gli scienziati non professionisti se ne servono spesso per organizzare sabba terrificanti.

Il concetto dovrebbe essere ormai chiaro: la modellistica ha il potere di tradurre in idee relativamente semplici il comportamento della natura, a patto di non pretendere dal modello più di quanto possa dare. Per quanto mi riguarda, cercherò ogni volta di introdurre il più semplice dei modelli possibili, purché mi consenta di giungere alle conclusioni cui aspiro di arrivare. Tutto sommato, l'onere imposto al lettore (digerire i modelli, ma non tirarli per il collo) non va oltre i limiti del tollerabile, o almeno spero. Tanto, non sempre si richiedono modelli troppo sofisticati per raggiungere obiettivi anche ambiziosi. Per esempio, la semplicissima gravitazione newtoniana consente il calcolo d'orbite spaziali complicatissime. Ma il lettore sta ora comprendendo pure il limite di questo libro, terminata la lettura del quale, non sarà aggiornato sull'ultimo grido riguardante la *gravità quantistica*, le *sei o sette dimensioni nascoste delle superstringhe*, la *Teoria di Grande Unificazione* e altre bagattelle del genere. Gli racconterò l'indispensabile, e in alcuni casi potrebbe essere poco.

Prima di concludere, un passo indietro, al capitolo precedente, per far sbattere il naso del lettore su un concetto ancora non del tutto chiarito a quel punto, mentre ora abbiamo qualche strumento per esplicitarlo in modo più conveniente. Parlando delle caratteristiche e prerogative di Dio/DIO, già stavo utilizzando estensivamente modelli, più o meno nello stesso spirito della modellistica trattata in questo capitolo. Per esempio: io non posso in alcun modo sapere se è vero che **DIO** *mi dona la libertà*, e tutto sommato neppure *cosa sia la libertà* in senso stretto. Posso, però, costruire un modello di **DIO**, tale per cui la sua interazione nei miei confronti viene da me percepita come se il modello di volontà umana non fosse vincolato nella scelta della (eventuale) risposta data dall'uomo a **DIO**. Dunque, oltre alle parentesi virtuali "(se esiste)", d'ora in poi chiedo al lettore di aggiungere virtualmente anche la dizione: "Il modello di". La scrittura **DIO** andrà perciò sempre letta: "Il modello di **DIO** (se esiste)". Tra l'altro, utilizzando questa tecnica, mi è perfino lecito aggirare (ma non risolvere) uno dei problemi tradizionali del discorso teologico, in base al quale si può definire **DIO** solo in termini di negazione (esempio: **DIO non è finito**). Per mezzo del modello di **DIO**, riesco a descrivere in positivo le sue *funzionalità equivalenti*, convenendo quanto segue: se affermo "**DIO** è... [e qui c'è una qualifica come "*persona*", oppure "*intelligente*", o altro]", intendo «Il modello di **DIO** è tale per cui, nella sua interazione nei miei confronti, io lo percepisco come se fosse... [e qui la qualifica]».

3.8. Ricapitolando

A-III) Lo scienziato non pretende di conoscere la realtà in sé, ma gliene basta un modello qualitativo e quantitativo, composto di semplici analogie intuitive, cui vanno sommate equazioni matematiche.

B-III) Nessun modello è intrinsecamente giusto o sbagliato, ma ciascuno ha un suo intervallo di applicazione, al di fuori del quale le sue previsioni sono errate.

C-III) Il progresso della scienza consiste nella costruzione di modelli in grado di rendere ragione di nuovi risultati sperimentali, sempre più ampi e precisi.

4-III) La scienza, per sua stessa natura, non ha il fine di dirci quale sia la realtà in sé, ma vuole solo cogliere in cifre in qual modo i vari aspetti osservabili della natura interagiscano tra loro.

4. CONCLUSIONI PRELIMINARI SUL METODO SCIENTIFICO

4.1. Un po' di turpiloquio

Nei due capitoli precedenti abbiamo mescolato l'impasto della torta (le basi) e l'abbiamo messa in forno (la modellistica). Ora è lievitata e cotta: abbiamo terminato con l'illustrazione del metodo scientifico? Non del tutto, e per diversi motivi, uno dei quali assolutamente fondamentale, poiché riguarda la nostra stessa capacità di trarre conclusioni scientifiche. Dovremo prima o poi affrontare il principio di causalità (non c'è effetto senza causa) il quale, nell'ordine logico, si trova a monte di ogni cosa, e ha già fatto ampiamente capolino nei discorsi precedenti. Ma è un problema grosso, e lo rinvio ancora un po', per non appesantire troppo i primi capitoli. Qui, invece, preferisco insistere su alcuni argomenti già trattati. Infatti, se non ci si abitua a usarli come filtro mentale automatico per ogni discorso che verrà, è inutile procedere nella lettura.

Il lettore attento al discorso avrà percepito il tentativo d'imporgli in modo sistematico un piccolo sforzo aggiuntivo per costringerlo ad ampliare la terminologia, quando introduco nuovi concetti. Non sempre ciò sarebbe del tutto indispensabile, ma se qualcuno decidesse d'approfondire su altri testi i temi qui discussi, probabilmente incontrerebbe un linguaggio un po' più specialistico. E poi, disporre di un numero di vocaboli ampio, ciascuno dei quali recante con sé una sfumatura leggermente diversa di un dato concetto, aiuta a ragionare meglio. Concentriamoci perciò sul termine *isomorfismo*. Vocabolo composito coniato sul greco: *iso* = stesso e *morfo* = forma. Due entità qualsiasi A e B sono *isomorfe* tra loro, se sono *ricalcate* in senso lato l'una sull'altra. L'esempio usato con più frequenza per illustrare il concetto è quello dell'analogia tra il territorio geografico e la sua mappa. Se quest'ultima è ben fatta, essa possiede un buon grado d'isomorfismo col territorio, ovvero: a ogni punto della mappa corrisponde una località reale, e per di più alcune caratteristiche della località possono essere previste (entro certi limiti) esaminando la sola mappa. La quota sul livello del mare, la pendenza del terreno, l'esposizione, in alcuni casi perfino le linee generali del panorama,

sono conoscibili per mezzo di un'analisi accurata della mappa stessa. Addirittura, esistono programmi di computer per costruire panorami artificiali, proprio da mappe topografiche e immagini da satellite. D'altronde, sebbene l'isomorfismo tra territorio e mappa possa essere di buon livello per alcuni scopi, sarà del tutto carente per altri: si riesce a far crescere alberi sul territorio, ma non sulla mappa. Esempio classico di come, tra territorio e mappa, esista un isomorfismo, ma imperfetto.

Con questo nuovo vocabolo, torniamo un attimo su alcune delle basi del metodo scientifico anche alla luce di quanto affermato nel capitolo dedicato alla modellistica, e riscriviamole con parole diverse:

A'-II) La possibilità di studiare scientificamente la natura si basa sull'ipotesi dell'esistenza di qualcosa in realtà, la cui descrizione scientifica non pretende però di essere totalmente isomorfa alla realtà stessa.

B'-II) Un'altra condizione per poter fare scienza è la regolarità, almeno in media, della natura. Scopo della scienza è costruire isomorfismi sempre migliori tra le regolarità osservate della natura e la loro descrizione scientifica, tenendo presente i limiti imposti da A'-II) al procedimento.

C'-II) Per conoscere queste leggi, non è possibile evitare di fondarsi sul metodo sperimentale, onde scoprire quale, tra le varie alternative teoriche possibili, presenta il maggior grado d'isomorfismo con le leggi di natura.

Alcune voci sono più espansive di prima perché, nel capitolo dedicato alla modellistica, abbiamo specificato qual è il modo per istituire correlazioni tra le leggi di natura e il nostro modo di descriverle, e abbiamo quindi usato queste nozioni nella riscrittura di A', B' e C'. Volendo essere pignoli, qui abbiamo fatto anche un altro passetto in avanti introducendo implicitamente una specifica ulteriore alla voce B'-II) pur se, magari, il lettore non ci ha fatto caso. Portiamo alla luce questa nuova specifica affermando: «Nella costruzione della scienza si dà per scontata non solo l'esistenza di regolarità nei fenomeni definiti leggi di natura, ma altresì l'adeguatezza del nostro intelletto a fornirne una descrizione almeno grossolanamente isomorfa». Einstein parlava di "*inspiegabile intelligibilità*" proprio riferendosi a quest'ultimo requisito. Di conseguenza, il punto B'-II) non si riferisce più soltanto alla "regolarità", ma d'ora in poi deve richiamare alla mente la somma di "regolarità e intelligibilità".

4.2. Siamo sicuri di poter capire?

Elaboriamo anche su questo tema, e cioè sull'assunzione a priori secondo la quale la nostra pretesa d'intelligibilità abbia qualche fonamen-

to. Partiremo dalla seguente considerazione: l'adeguatezza del nostro intelletto a confrontarsi con la natura potrebbe non essere garantita, per motivi correlati all'evoluzione, intesa in termini darwiniani (mi mantengo su territorio rigidamente scientifico), del cervello umano. Un discorso del genere rischia di confondere le idee al lettore, lo so; non posso però evitarlo perché, nel ragionamento in via di elaborazione, l'argomento è pertinente. Si tratta di un altro di quei casi in cui non si può giungere a una soluzione in senso stretto, ma almeno si chiarisce il problema, riportando pure le opinioni correnti nell'ambiente.

Abbiamo visto come lo sviluppo della scienza sia partito, all'epoca di Galileo, dando per scontata l'intelligibilità della realtà. Per secoli, la scienza è progredita seguendo questo stesso criterio, e scoprendo modelli isomorfi alla realtà quanto basta per consentirne una descrizione quantitativa soddisfacente. Tutto ciò è avvenuto per un numero sempre maggiore di comportamenti della natura, includendo perfino la possibilità di prevedere nuovi fenomeni non ancora osservati. Lungo tale percorso, in ogni caso in cui sia stata individuata una discordanza tra le previsioni e le osservazioni, si è proceduto al raffinamento dei modelli, o a una loro sostituzione globale con altri, e si è dunque migliorato l'isomorfismo tra i modelli e i dati sperimentali. Fino a questo punto, dunque, non abbiamo incontrato alcun elemento d'attrito, tale da suggerire una eventuale non intelligibilità della natura, e le regolarità e intelligibilità di cui al B'-II) sembrano reggere alla prova, pur con le debite cautele imposte da domande del genere di quella di Newton: «Per mezzo di quale tramite si esercita una forza a distanza?». Purtroppo, già da questo capitolo sono costretto a porre il lettore di fronte a un'ipotesi dirompente. L'intelligibilità (non dico nulla della regolarità) della natura potrebbe essere solo un nostro pregiudizio inconscio. Infatti, elaborando modelli sempre più isomorfi alla realtà, gli scienziati si sono imbattuti, da oltre cent'anni a questa parte, in un certo numero di problemi piuttosto singolari, e qualche sgradevole interrogativo ne è già sorto.

Il primo dei quali problemi è, a questo punto, quasi ovvio. Se, infatti, fino a un certo segno le cose sono andate bene, chi può garantire che, esaminando sempre più in profondità le leggi di natura, non si giunga a un livello così complesso da risultare per noi sostanzialmente non intelligibile? La domanda ha senso e, seppure sotto spoglie un po' mascherate, vi ho già accennato ragionando su esperimenti non fattibili e possibile crollo dell'unanimità tra scienziati. D'accordo, a quel punto mi riferivo solo a limiti ipotetici dovuti al metodo sperimentale, ma in tempi recenti non sono mancati allarmi per un eventuale arenarsi della scienza – principal-

mente della fisica – in un futuro non troppo lontano, non solo e non tanto a causa di una complessità eccessiva degli apparati sperimentali richiesti, ma anche perché la matematica, necessaria a descrivere i risultati, sembra cominci a lievitare oltre le umane possibilità di comprensione. Se dovessi azzardare un'opinione personale, lo stato dell'arte non mi pare ancora tale da giustificare timori immediati; non me la sento, però, di esorcizzare pessimismi riferiti a una eventuale situazione riscontrabile in tempi futuri, sui quali non mi è lecita alcuna previsione.

Ma il discorso è più articolato. Onestamente, non è questo tipo d'interrogativi, per il momento filosofici anziché scientifici, a catturare la mia immaginazione. Piuttosto, mi pare strano (e, forse, a tempo debito parrà strano anche al lettore) il modo in cui, almeno in un paio di circostanze verificatesi all'inizio del XX secolo, la fisica sia stata in grado di procedere nella costruzione di nuovi isomorfismi soddisfacenti (parzialmente?), malgrado si ponessero problemi concettuali in prima battuta insormontabili, come chiunque sarebbe stato tentato di giudicare. So di parlare in modo ancora nebuloso, e più avanti dovrò spiegarmi meglio, ma in questi primi capitoli dedicati al metodo scientifico non mi è lecito entrare nei dettagli dei due ostacoli appena adombrati, sebbene sia già indispensabile asserire almeno: *“alcuni ostacoli esistono”*. Sarà necessario, più avanti, dedicare interi capitoli alla Relatività e alla Meccanica Quantistica (meritano le maiuscole, perché i due spettri di tal nome hanno fatto tremare un paio di generazioni di fisici). Qui debbo limitarmi ad anticipare quale sia stato il percorso intellettuale in base al quale è stato possibile superare tali scogli mastodontici, incontrati nel momento in cui il mondo a scale di distanze molto grandi e molto piccole è cominciato a rientrare nei limiti imposti dalle possibilità sperimentali. Vale a dire: quando l'intelletto è stato messo alla prova in un intervallo di lunghezze estraneo a quello in cui i nostri antenati proto-umani si sono evoluti. Siamo al concetto da intendere oltre ogni possibile equivoco: «Quale garanzia a priori esiste, che i nostri cervelli siano adeguati al compito di confrontarsi anche coi fenomeni naturali a dimensioni enormemente diverse da quelle aventi per noi *“valenza evolutiva”*?». E, per quanto riguarda i problemi incontrati dai fisici, qualcuno potrebbe sostenere: anziché superati, essi sono stati solo aggirati. Forse ciò è vero: si tratta solo di aggiramento; il lettore deciderà per proprio conto. In effetti, il nostro *buon senso pratico* si trova a suo agio finché tratta concetti fisici ottocenteschi, laddove i modelli mentali e gli isomorfismi si servono di leve, cinghie di trasmissione, ingranaggi e così via. Non per caso, verso la fine dell'Ottocento, si stava facendo strada l'idea secondo cui la fisica fosse una disciplina ormai completa e conclusa. Ad-

dirittura, secondo il vecchio Lord Kelvin (al secolo William Thomson), il quale partecipò in prima linea all'edificazione di buona parte della fisica del XIX secolo, restavano all'orizzonte solo "due nuvolette" e queste ultime, guarda in po', si miscelevano coi comportamenti della natura nel *molto piccolo* e nel *molto grande*. Fenomeni fisici al di fuori dell'intervallo che – per comodità di discorso, e in omaggio al grande fisico il quale, però, si sbagliava platealmente – potremmo d'ora in poi definire: "*intervallo Kelvin*", coperto dalla nostra esperienza sensibile.

4.3. Orrore, le equazioni... o no?

Qual è stato, dunque, il preannunciato percorso intellettuale di superamento (o aggiramento) degli scogli? Prego il lettore di non scoraggiarsi nel giro delle prossime dieci righe. Sto, infatti, per introdurre il vocabolo più temuto in un testo divulgativo.

Ebbene sì, la matematica. Ho già promesso: non la userò, e mi considero uomo d'onore almeno quanto Bruto, ma spero non vogliate imporvi di non parlarne neppure! In fin dei conti, ci giro attorno da ben tre capitoli, le permetto di fare capolino senza scoprire le carte, ed è giunto il momento d'impostarci sopra un po' di pettegolezzi.

La matematica è, fino a prova contraria, un prodotto del cervello umano, e dovrebbe dividerne le limitazioni evolutive... o no? Bene: senza sbilanciarmi troppo, affermerò che, a volte, sembra succedere qualcosa di diverso. Il discorso seguente è preliminare, e molte cose saranno più chiare (sperabilmente...) quando avremo esaminato in maggior dettaglio il comportamento della natura fuori dell'intervallo Kelvin, ma posso anticipare questo: laddove anche i modelli mentali più sofisticati falliscono miseramente nel delineare un isomorfismo intuitivo della realtà (e da oltre un secolo questo tipo di fallimento, in fisica, è la norma anziché l'eccezione), la matematica sembra comunque in grado di superare le difficoltà, e rendere possibile la costruzione di potenti schemi teorici, utili a prevedere l'esito di ogni misurazione sperimentale con la precisione quantitativa desiderata. La matematica sembra dunque essere più isomorfa alla realtà di quanto lo siano il comune buon senso o l'intuizione. E chiariamo subito un punto di principio: per quanto il formalismo della matematica utilizzata nella fisica moderna possa apparire cabalistico, esso è comunque ridicolo a concetti semplici che la nostra percezione innata non fatica ad accettare; tutto può farsi risalire a $1+1=2$, e ciò non richiede poi un tremendo sforzo di rassegnazione fideistica. Magari non ci si arriva imme-

diatamente, certo, ma è un po' come in una ricetta culinaria: se si aggiunge zucchero, il composto può solo addolcirsi; se si aggiunge peperoncino diventa per forza più piccante, e così via. La bravura, in matematica, consiste non tanto nel capire l'effetto degli ingredienti, quanto nel saper dosare ciascuno di essi.

Cosa vuol dire tutto ciò? Non lo so; nessuno lo sa. È come se la matematica saltasse fuori da una "sfera d'esistenza più alta" di quella sensibile, e infatti diversi fisico-matematici di valore si gingillano col "mondo platonico delle idee". Rammento qualcosa su Platone: secondo lui, la realtà vera, quella esistente sul serio, è un mondo perfetto e inafferrabile delle "forme" o "idee", mentre le percezioni dei nostri sensi catturano solo una proiezione, imperfetta e illusoria, di questo mondo. La poltroncina su cui siedo mentre scrivo sarebbe dunque solo una manifestazione deformata dell'idea di poltroncina la quale, invece, è perfetta e, in quanto tale, non raggiungibile pienamente dai sensi e dall'intelletto umano. E il lettore di cultura umanistica non potrà fare a meno di notare come, coerentemente col mio personale patto col diavolo, io abbia presentato un modello semplificato e piuttosto grossolano delle idee di Platone.

In ogni caso, secondo questa concezione, appartenendo la matematica in sé al mondo delle idee, essa sarebbe adeguata a descrivere la realtà in maniera isomorfa (perfetta?); le nostre menti imperfette, invece, riuscirebbero tutt'al più a sfiorarla, ad acchiapparla per la coda o come vi pare, e pasticciarci un po' per fini pratici. La parola d'ordine, in questo ambito culturale, è: "l'irragionevole efficacia" della matematica nel manipolare, ordinare e rendere quantitativi concetti non esprimibili a parole, per mezzo del solo linguaggio.

Ovviamente non tutti sono d'accordo su un'interpretazione del genere; ad alcuni (tra i quali mi trovo anch'io) sembra troppo metafisica. Da qui contestazioni anche molto aspre, e tentativi di dimostrare come non ci sia nulla di strano nella maggior facilità della matematica a padroneggiare concetti non congruenti coll'intuizione pura e semplice, poiché, come ho già accennato nel capitolo precedente, la matematica è al servizio della modellistica, e anzi la modellistica è essenzialmente matematica. Dunque, come l'isomorfismo tra i modelli e le leggi di natura è imperfetto, così è probabilmente imperfetta anche la matematica, ma siccome ci si può lavorare a tavolino, si progredisce più velocemente di quanto sia possibile in laboratorio. In tale ordine d'idee, la matematica è più avanzata della fisica; i suoi isomorfismi sono ovviamente migliori, e non c'è nessun bisogno di invocare una sua qualità superiore comunque intesa.

Da quanto ho appena detto, io potrei sembrare totalmente allineato

con questa seconda visione filosofica, ma in verità propendo per una posizione più agnostica. M'infastidisce da morire la scorribanda metafisica nel mondo delle idee, e tendo a rifiutarla per principio, ma non mi convincono neppure le affermazioni (non "dimostrazioni", attenzione, perché non ce ne sono) in contrario. Per spiegare al lettore la mia posizione dubitativa, mi servirò di un oggetto matematico reso estremamente popolare, se non inflazionato, dalla computer-grafica: il cosiddetto "insieme di Mandelbrot". L'espressione algebrica, per il tramite della quale si associano ai punti sul piano dei numeri reali e immaginari (quelli ottenibili grazie alla radice quadrata di -1) le infinite ramificazioni e volute caratteristiche di questo insieme, è molto semplice. Sarebbe anzi sorprendente che nessuno ne avesse cavato fuori qualcosa già da un paio di secoli, se non fosse per la quantità enorme (milioni) di somme e prodotti necessari a delineare anche solo una traccia rudimentale dell'insieme, la qual cosa non era praticamente possibile prima dell'avvento del computer, che è stupido quanto volete, ma veloce. Pongo perciò la seguente domanda, pur essendo convinto della presenza di qualche tranello semantico nella terminologia (non so quale, però): «Mandelbrot ha scoperto l'insieme da lui battezzato, nello stesso senso in cui Colombo ha scoperto l'America, la quale già esisteva per conto suo, anche se in Europa nessuno lo sapeva, oppure l'ha inventato, così come Antonio Meucci ha inventato il telefono, il quale prima di lui non esisteva e dopo sì, anche se A.G. Bell gli ha fregato i diritti di sfruttamento?». Attenzione alla risposta, perché sostenere il concetto della *scoperta* e basta equivale, implicitamente, a schierarsi in favore dell'ipotesi della *realtà del mondo delle idee*, in cui l'insieme è sempre esistito in sé, ma noi non lo sapevamo. Affermare: «Mandelbrot l'ha inventato», senza mettersi a specificare puntigliosamente come intendere il termine *invenzione*, comporta aderire all'idea secondo cui, invece, l'insieme, in un certo senso, *non esistesse* prima, e quindi è solo un parto della mente umana e nulla di più. Personalmente, guardando le rappresentazioni grafiche degli insiemi di Mandelbrot, e di tanti altri venuti fuori grazie al computer, non trovo convincente l'assenza di un qualche grado di *esistenza autonoma*, pur se non so qualificare meglio l'uso del concetto di "esistere" in un contesto del genere. D'altronde, non riesco a vincere una forte ripugnanza nei confronti delle implicazioni metafisiche in senso lato discendenti da quest'ultima affermazione. Dunque, la mia risposta alla domanda di prima è molto precisa e dirimente: «Non lo so!». E il lettore non si arrabbi se l'ho costretto ad avventurarsi per i sentieri della matematica: mi sono limitato a tesserne un'apologia non del tutto convinta.

4.4. Limiti, sempre limiti

C'era un motivo per introdurre un argomento del genere? Sì. Sollevare problemi riguardanti un eventuale *status* privilegiato della matematica, pur senza poterli risolvere, è pertinente nel momento in cui si esamina il problema dell'intelligibilità della natura, specie qualora s'insista sui limiti posti dall'evoluzione biologica alla mente umana, e sulla rilevanza di questi limiti nella comprensione modellistica della realtà. Infatti, sempre anticipando quanto vedremo meglio più avanti, la situazione è ormai la seguente: la sperimentazione ci ha condotti oltre i bordi dell'intervallo Kelvin a medie dimensioni e basse velocità nel quale, verosimilmente, noi esseri umani saremmo stati adeguati "per costruzione" a comprendere la natura in modo immediato. Come vedremo meglio più avanti, i modelli oggi necessari a descrivere il mondo al di fuori dell'intervallo Kelvin ci sembrano contro-intuitivi e, in certi casi, assurdi, eppure riusciamo a utilizzare in modo pratico, per usi tecnologici quotidiani, tali apparenti assurdità, se prima le abbiamo filtrate per mezzo della matematica la quale, essendo essa medesima un esercizio di logica, non dovrebbe presentarsi assurda, per definizione. Dobbiamo, perciò, constatare come la matematica ampli notevolmente i limiti d'intelligibilità della natura, pur se non sappiamo perché e, soprattutto, se ciò sia destinato a perdurare, via via che crescerà la complessità dei fenomeni studiati. L'opinione di alcuni fisici riguardo alla profondità della natura la ipotizza limitata. Dovrebbe quindi esistere una legge ultima, cui i fisici riservano fin d'ora il nome, già incontrato, di "teoria del tutto" (altri preferiscono le iniziali maiuscole), pur senza avere le idee chiare su cosa possa essere e quale forma debba rivestire. Se così fosse, si ritiene possibile giungere a questa teoria in tempi relativamente brevi, magari un secolo o due. La teoria del tutto, poi, potrebbe forse mettere in ordine e chiarire tante idee confuse d'oggi, rendendo quindi più stretto (e forse assoluto?) l'isomorfismo finale tra la scienza e la natura stessa. Ma sarà vero, oppure questo ipotetico modello finale si presenterà ancor più ripugnante all'intuizione di quelli attuali? O, magari, non giungeremo mai a una codifica definitiva, perché la natura continuerà a mostrarci aspetti sempre nuovi? Nessuno lo sa, nessuno lo può sapere.

Ho continuato a buttar giù un rigo appresso all'altro perché voglio arrivare a fissare per sempre, nella memoria del lettore, un concetto già espresso fin dal capitolo precedente, da interiorizzare ora in modo definitivo. Cosa s'intende per "modello" in campo scientifico? «Come se non lo avessimo discusso finora», obietteranno molti. Beh, certo, ma forse, alla fine del paragrafo, qualcuno sarà d'accordo su quanto sto per dire, e con-

verrà con me: bisognava porre la domanda in modo diretto. Un modello scientifico è, come già sappiamo, composto di due parti: la prima è puramente matematica, e il suo isomorfismo quantitativo con quanto avviene in natura è piuttosto buono, anche se nuovi esperimenti possono condurre a un isomorfismo sempre migliore. Spesso, anzi, quando parliamo di modello scientifico di qualcosa, ci riferiamo proprio alla possibilità di rendere quantitative le nostre previsioni e interpretazioni dei fatti, per mezzo di equazioni matematiche. La seconda parte del modello, invece, è puramente intuitiva, e corrisponde alla analogia meccanica, qualitativa e semplice, di quanto avviene; analogia elaborata quasi visivamente dai nostri cervelli, avvalendoci di oggetti semplici, come sosteneva Lord Kelvin. Quest'ultima frazione del modello è, di sicuro, molto meno isomorfa alla realtà rispetto alla prima.

Insisto con un esempio. La legge di gravitazione di Newton, usata assieme alle altre leggi della meccanica, costituisce un modello matematico quasi esatto dei moti dei pianeti. La meccanica è – rammento al lettore – quel ramo della fisica usato per gestire le relazioni intercorrenti tra forze, masse, distanze, velocità, accelerazioni, tempi di percorrenza e traiettorie in generale. Ebbene: se utilizziamo il modello matematico della legge di gravitazione, e cioè la formula da cui si ricava la forza in funzione di masse e distanze, possiamo calcolare e prevedere con precisione sorprendente la posizione e il moto di ogni corpo celeste del Sistema Solare (a parte Mercurio) per tempi lunghissimi, dell'ordine di milioni di anni o più. Dunque, l'isomorfismo tra la formulazione matematica e quanto succede in natura dev'essere piuttosto buono. La cosa cambia aspetto, quando ci domandiamo "cosa sia" la forza di gravità in sé. La migliore immagine intuitiva, meccanica, elaborata dalla nostra mente, non va molto oltre un invisibile e impalpabile elastico cosmico, per costringere gli oggetti celesti ad attrarsi l'uno con l'altro. Va da sé: l'isomorfismo tra la parte intuitiva del modello e la realtà è quanto meno rudimentale, e potrebbe addirittura non esistere affatto, nel caso in cui una stessa formulazione matematica fosse spiegabile (sempre intuitivamente) in due o più modi completamente diversi tra loro. Pensiamo per gioco: se tutti gli oggetti dotati di massa venissero spinti l'uno contro l'altro da angeli invisibili i quali calcolano, istante per istante, la forza da applicare per mezzo della legge di Newton, il risultato pratico sarebbe lo stesso di quello dell'elastico cosmico, ma il modello intuitivo no di certo! Incontreremo casi del genere (non parlo di angeli, semmai di fantasmi) più avanti; per ora teniamo a mente il differente grado d'isomorfismo esistente tra l'aspetto quantitativo (matematico) e qualitativo (intuitivo) di un modello con la realtà.

Giunti a questo punto, abbiamo già evidenziato un certo numero di limitazioni al metodo scientifico e, quindi, alla possibilità di conoscere la natura da parte della scienza. Ripassiamole un attimo.

Un vincolo auto-imposto della scienza è quello dovuto al metodo sperimentale. Non tutto è sperimentabile, e non sempre. Possono esserci limiti contingenti, ma in ogni modo non eliminabili, di dimensioni, costo eccetera di apparati sperimentali. Altri limiti sono dettati da leggi di natura, perché, per esempio, non possiamo osservare l'universo oltre una certa distanza, e comunque esistono orizzonti invalicabili. Infine, s'incontrano limiti a priori al metodo poiché, se esistesse in senso lato qualcosa che non interagisce con la natura, il metodo sperimentale non se ne potrebbe accorgere.

Ci sono poi altri vincoli, dovuti a una non perfetta conoscibilità da parte del nostro intelletto, e questi emergono specialmente quando si discute di modellistica. Ho appena rilevato come la matematica permetta di quantificare il comportamento di entità fisiche del tutto sfuggenti alla nostra intuizione, e vedremo quanto e come ciò avvenga massicciamente in relatività e in meccanica quantistica. Resta però un fatto: l'umana possibilità di costruire modelli mentali intuitivi, il cui isomorfismo con la realtà (o, più banalmente, con la legge di natura che impone le regole secondo le quali gli oggetti fisici interagiscono tra loro) sia soddisfacente ai nostri stessi occhi, si ferma molto presto nella scala di distanze, velocità, energie, tempi eccetera. Insomma: anche ai livelli scientifici più elevati raggiungibili, l'aspetto intuitivo del modello non è mai isomorfo con la realtà, ma è sempre e solo la migliore descrizione visiva che ne riusciamo a dare. Alcuni lettori, forse, non si sentono a proprio agio con questa conclusione, ma mi è difficile pensare a una linea di difesa di un'opinione avversa, che non cozzi immediatamente con l'esperienza maturata in quattro secoli di storia della scienza. Altri, invece, potrebbero fare spallucce, considerando poco importante questa divaricazione tra mente umana e natura. Avrebbero torto.

4.5. Questi non erano previsti

Finora, infatti, abbiamo sempre insistito su limiti dovuti al metodo sperimentale; ora stiamo per affrontarne di un altro genere. Quelli causati da un comportamento illogico (?) della natura non erano stati previsti allorché si cominciò a costruire il metodo scientifico, ma sono già vincolanti per come è lecito fare scienza oggi. Da un secolo in qua, difficoltà di modellizzazione intuitiva stanno complicando la strada al progresso

scientifico in alcuni settori. Per quanto riguarda ipotesi per un futuro più o meno remoto, va poi considerata la possibilità d'incontrare altri tipi di limiti, al momento inconoscibili. Mi riferisco a eventuali vincoli dovuti all'intelligibilità della natura, talmente più formidabili di quelli già noti oggi, da non poter essere domati neppure per mezzo della matematica. Oppure, sempre con riferimento al punto B'-II) del metodo scientifico, all'ipotesi secondo cui, giunti a un certo livello (non chiedetemi quale), la natura smetta perfino di presentare quelle regolarità, almeno statistiche, finora sempre osservate. Da ultimo, dovrei accennare all'eventualità che perfino il punto A'-II) del metodo possa rivelarsi illusorio. Mi riferisco all'esistenza reale di qualcosa su cui, magari, i nostri esperimenti forniscono solo indicazioni imprecise, indirette, velate eccetera, in congruenza con l'ipotesi del realismo. A me non piace ragionare in questi termini, ma l'ho già premesso: ci sono, tra gli scienziati, correnti di pensiero ben radicate sulla necessità di limitarsi a descrivere correlazioni tra risultati sperimentali, chiarendo bene che anche quest'attività è lecita solo a valle dell'effettiva esecuzione degli esperimenti. In un certo senso, spingersi molto oltre su questa strada potrebbe condurre a dimostrare la non necessità del realismo, per quanto sotto forma attenuata, come requisito per fare scienza. Tutto sommato, se i risultati sperimentali fossero solo illusioni dei sensi prive di un substrato reale, ma si ripresentassero sempre in modo regolare, resterebbe comunque la possibilità di istituire correlazioni interne tra illusioni, ma insisto: come commento personale, non so se a questo punto il gioco mi potrebbe interessare ancora. Dunque, preferisco evitare di riflettere su un eventuale limite alla scienza dovuto al cadere di un qualche minimo residuo di realismo.

4.6. Viviamo nel *paradigma della falsificabilità*...

"Paradigma" e "falsificabilità". Niente paura. Potete saltare il resto di questo capitolo senza perdere nulla di fondamentale, ma se riuscite a mandarlo giù è meglio; aiuta a entrare nello spirito della ricerca scientifica e, in ultima analisi, a capire il metodo.

Cominciamo col *paradigma*. Il termine sta a indicare un modo di pensare generalizzato, molto spesso neanche del tutto cosciente, comune agli scienziati (anche alla società, ma qui mi riferisco preferenzialmente alla scienza) di una data epoca. Il "*paradigma corrente*" rappresenta molto spesso un ostacolo allo sviluppo intellettuale, e le grandi rivoluzioni scientifiche sono innescate, a volte, da qualche ragionamento teorico, o risultato

sperimentale, in base al quale si porta alla luce il paradigma fino a quel momento nascosto, e si comprende la necessità di svincolarsi da esso, magari sostituendolo con un altro, un po' più isomorfo alla realtà; solo allora si potrà andare avanti. Un esempio molto ovvio di paradigma può essere la piattezza della Terra, e questo ci porta a immaginarla come una specie di disco sostenuto da qualcosa ai quattro punti cardinali. Potrebbero andare bene quattro elefanti, però anche questi debbono appoggiarsi a qualcosa'altro, magari su una tartaruga, e così il problema è risolto... dite di no? Va bene, allora dedicherò un intero capitolo a quest'argomento. Comunque, prima o poi qualcuno finisce per riflettere sulla forma dell'ombra della Terra durante le eclissi di Luna. Se, infatti, la Terra fosse un disco, l'ombra dovrebbe apparire ellittica (a parte che manca quella degli elefanti), mentre è sempre circolare. A questo punto ci si libera dal paradigma della Terra piatta per passare a quello della Terra sferica, e diventa subito ovvio il motivo per cui esiste l'orizzonte, si compie una gran quantità di progressi in campo astronomico e geografico, non ultimo la misura delle dimensioni terrestri eseguita da Eratostene nel III secolo a.C., e così via.

Detto in questo modo, sembra di poter istituire un isomorfismo perfetto tra i due termini *paradigma* e *pregiudizio*, ma non è così: il pregiudizio ha una connotazione morale negativa, e questa non è condivisa dal paradigma. In fin dei conti, se una persona nasce in un certo luogo e in una certa epoca, non è colpa sua se condivide con i propri contemporanei una serie di luoghi comuni dei quali neppure si rende conto. Il pregiudizio può essere talora superato dall'individuo sulla base di una profonda riflessione, e della volontà, e in tal senso è sempre un po' colpevole; forse per questa ragione molti nutrono il pregiudizio di doversi dichiarare spregiudicati per forza. Al contrario, il superamento del paradigma molto spesso non è nei poteri del singolo. Occorrono dati sperimentali non disponibili in alcune condizioni, riflessioni di generazioni di filosofi o scienziati e così via, e solo alla fine di un lungo processo sarà possibile dire: «Bene: senza neanche rendercene conto, finora c'eravamo illusi e credevamo così e così. Ora, invece, c'illudiamo e crediamo così e così».

Non vorrei tediare il lettore, o suscitare le sue ire, ma ritengo necessario insistere sul concetto di paradigma, magari portandogli un esempio attuale di paradigma scientifico-sociale ben riconoscibile da chiunque. Citerò dunque un modo di porre alcuni problemi, destinato a cadere in tempi relativamente brevi: l'insieme di ragionamenti ruotanti attorno all'attuale fase di riscaldamento atmosferico correlato con l'effetto serra. Infatti, la temperatura media sulla superficie terrestre si aggira attorno a +18 °C mentre, se non ci fosse un effetto serra naturale dovuto principalmente ai

due gas CO₂ e H₂O presenti nell'atmosfera, la temperatura media sarebbe più bassa di almeno una trentina di gradi, e il nostro pianeta si presenterebbe stabilmente gelato. Una situazione di questo genere dura da miliardi di anni, come testimoniano i fossili di cellule e organismi viventi. Ma la storia scritta esiste solo dal 3000 a.C. nel migliore dei casi. Sappiamo qualcosa degli avvenimenti degli ultimi cinquemila anni, durante i quali il clima terrestre sembra essere stato più o meno stabile, pur con possibili derive di qualche grado verso il caldo o verso il freddo. Da questa documentazione, emerge il paradigma, inconscio o quasi, secondo cui le condizioni climatiche ottimali della Terra siano quelle conosciute oggi, e qualsiasi loro modifica debba per forza essere catastrofica. Siccome la moderna civiltà industriale riversa nell'atmosfera grandi quantità di gas serra (non soltanto CO₂ ma anche altri), ci si attende che la temperatura media della superficie del pianeta tenda ad aumentare e, in effetti, l'aumento delle temperature nell'ultimo paio di secoli è misurato sia direttamente, sia indirettamente. Da queste constatazioni, scaturiscono i tentativi di accordi internazionali per ridurre le emissioni di gas serra, e il lettore non potrà non ammettere di sentirsi virtuoso quando agisce in modo da diminuire la quantità di CO₂ liberata sotto il suo diretto controllo (minore cilindrata per il motore dell'auto, e poche altre cose). Ecco apparire il binomio inscindibile: è virtuoso operare in base al paradigma. Non sto facendo questo discorso per incitare alla produzione di maggiori quantità di CO₂, intendiamoci: anch'io mi sento virtuoso, quando ne riduco le emissioni. Però, questo è il tipico caso in cui il cambiamento di paradigma è già annunciato, e i più giovani dei miei lettori potranno seguire il suo evolvere. Infatti, i paleontologi, i geologi e non soltanto loro hanno ormai mostrato da secoli come il clima terrestre sia continuamente variabile, onde la sua fissazione ottimale agli standard dell'inizio del XIX secolo, prima dell'inquinante Rivoluzione industriale, è del tutto arbitraria, e dovuta al puro caso. Mi spiego in altro modo: se il concetto di clima ottimale fosse stato introdotto dai nostri antenati cacciatori di 20.000 anni fa, esso avrebbe previsto una temperatura media inferiore di almeno 6-7 °C a quella attuale, e un'Europa Centrale coperta da uno spessore di chilometri di calotta glaciale estesa fino all'Artico, altrimenti, dove le troviamo più le renne da cacciare? A chi obietti che un tale stato di cose non poteva essere considerato ottimale, ricordo un altro dettaglio importante: per converso, i deserti africani erano allora foreste e savane piovose, gremite di vita (anche umana). La nostra definizione di clima ottimale non sarà forse un po' eurocentrica? Ma, a parte questo dubbio geopolitico, la continua mutazione del clima terrestre è un fatto scientifico assodato, da tem-

pi nei quali l'umanità non aveva cominciato a inquinare perché ancora non esisteva. Dunque, i tentativi di mantenere il clima in condizioni pre-industriali è destinato, su lunga scala temporale, a fallire comunque, per cause naturali sfuggenti al nostro controllo e, in buona misura, alla nostra stessa conoscenza (almeno per il momento). Per questo motivo, molto probabilmente, nel giro di un secolo assisteremo a un cambiamento di paradigma. A quel punto, definiti in qualche modo dei climi generali e/o locali considerati *ragionevoli*, si passerà a eseguire opere di ingegneria planetaria (non ho idea di quali possano essere; io vivo ancora nel vecchio paradigma, però, di sicuro, la modifica genetica di specie vegetali vi giocherà un ruolo massiccio) per raggiungere e mantenere gli standard climatici desiderati, oppure per riuscire a seguire senza traumi le derive del clima. Quando il nuovo paradigma sarà stabilizzato, gli storici, analizzando i nostri comportamenti virtuosi di oggi, li considereranno risibili se non addirittura *superstiziosi*, nella stessa misura in cui noi bolliamo col marchio della superstizione l'uso dell'aglio e di altre erbe, da parte dei medici del Cinquecento, nel tentativo di proteggere se stessi e le popolazioni dalla peste. Esempio di come un comportamento percepito quale eticamente positivo all'interno di un certo paradigma, possa diventare eticamente negativo nel paradigma seguente. Pur avendolo capito, resta però il fatto: ai nostri giorni, ogni tentativo di diminuire l'emissione di gas serra, secondo chiunque (me compreso), è indispensabile e, per l'appunto, eticamente positivo.

Tutto questo discorso, specialmente quello sul paradigma sociale avente risvolti scientifici dai quali già traspare un suo prevedibile superamento, serve a ricordare al lettore quanto segue. Mentre io scrivo queste pagine, la scienza sta vivendo all'interno dei propri paradigmi e io, in media, li condivido senza saperlo o, al più, avendone solo una vaghissima idea. Dunque, di là dal suo preciso contenuto scientifico, quanto vado scrivendo è datato, anche se il mio sforzo è quello di renderlo il più indipendente possibile dal contesto in cui mi muovo, usando magari ragionamenti molto generali e così via. A volte, infatti, il mutamento di paradigma avviene quasi in sordina, attraverso i tempi, e abbiamo appena visto come ragionamenti che suonano assolutamente corretti in un'epoca, possono sollevare note stonate in un'altra.

E veniamo all'ultimo esempio di paradigma: quello direttamente correlato al titolo del libro. Fino a tutto il XVII secolo, credere in **DIO** era una cosa ovvia, e un eventuale ateo avrebbe avuto non poche difficoltà a giustificare la propria posizione. Badate: non mi riferisco solo alle difficoltà intellettuali, ma piuttosto a quelle sociali. Non mi pare sia stata fornita, tra allo-

ra e oggi, una dimostrazione convincente della non esistenza di **DIO**, ma chi desideri vivere la propria esistenza secondo i canoni (includendo non solo quelli etici, ma perfino quelli liturgici) di una delle principali religioni storiche, si trova, ai miei tempi, in una posizione d'imbarazzo sociale, almeno nel mondo occidentale. Il tutto avviene senza – lo ripeto – una precisa enunciazione ideologica convincente da parte di nessuno ma, tanto per dire, i ritmi di vita contemporanei sono di certo poco compatibili con le esigenze di un culto formale. Cosa è cambiato, allora, tra il XVII e il XXI secolo? Il paradigma, ovviamente. Una volta, qualsiasi evento naturale veniva attribuito a priori a una diretta influenza divina. Pian pianino, il progresso scientifico ha invece condotto le persone a ritenere implicitamente, spesso senza cesure apparenti, che le spiegazioni causali fornite dalla scienza per il succedersi degli eventi fossero anche una spiegazione per l'esistenza degli eventi stessi in quanto tali (e questo è un errore di logica). Dunque, il paradigma corrente è la non esistenza di **DIO**, e non ha alcun senso chiedere a chicchessia: «Perché ti comporti come se **DIO** non esistesse?». Infatti, abbiamo già visto come l'aderenza al paradigma sia vissuta in quanto emotivamente, culturalmente, intellettualmente virtuosa; semmai, chi non aderisce al paradigma viene sollecitato a motivare il proprio comportamento. Se il lettore ricorda, io stesso ho ritenuto di dover fornire proprio quest'ultima giustificazione, quando ho raccontato di aver sottoscritto la scommessa di Pascal. Non sto recriminando, o rimpiangendo il tempo degli antenati; mi sono già dichiarato assolutamente non in grado di dirimere scientificamente la questione se **DIO** esista o no. Mi limito a esplicitare il paradigma teologico odierno, molto diverso da quello della Terra piatta o del clima ottimale, e ciò mi è utile per spiegare al lettore quanto segue: non proverei alcuna meraviglia se un'occhiata nel futuro mi mostrasse qualcosa di tremendo (per me). Penso, per esempio, a un'umanità che rifiuti la scienza in quanto intrinsecamente *malvagia*, e non attribuisca più alcun valore a un ragionamento di tipo logico e scientifico. Sarebbe un nuovo mutamento di paradigma, per la verità già annunciato dalle correnti radicali dell'ambientalismo, dal relativismo pseudo-religioso proliferante all'ombra della variopinta foresta New Age, dal fondamentalismo biblico in cui si sta impegnando una frazione consistente dei culti cristiani usciti dalla Riforma, per non parlare di quello islamico, non interessato allo spirito, ma solo alla lettera, di un codice elaborato quindici secoli fa per le esigenze di una cultura pastorale. Un tale, eventuale e orribile (sempre per me) stato di cose renderebbe le argomentazioni qui discusse non già errate, ma inutili, non interessanti e incompatibili coi comportamenti sociali. Quale paradigma è più giusto? Io credo in quello della validità della scienza, ma non c'è dub-

bio: chi visse in una futura, deprecabile epoca in cui l'umanità avesse rinunciato alla scienza, difenderebbe con convinzione e con successo, almeno limitatamente ai propri tempi, il paradigma opposto.

Ultima annotazione. Tempo addietro, un lettore della famosa rivista scientifica «Nature» scriveva al direttore per chiedergli come mai il termine “paradigma” fosse scomparso, o quasi, dagli articoli pubblicati, mentre fino a pochi anni prima se ne faceva un uso così intenso da rasentare l'abuso. La risposta del direttore fu lapidaria: «Semplice: è cambiato il paradigma!».

È rimasta in ballo la *falsificabilità*. Per essere sincero, il percorso verso la falsificabilità l'ho già imboccato surrettiziamente parlando della modellistica, quando ho affermato essere scopo della scienza, almeno ai nostri tempi, quello di dimostrare più velocemente possibile in qual modo ogni modello in nostro possesso non faccia previsioni del tutto corrette (sia stato falsificato, per l'appunto), e debba quindi essere sostituito da un nuovo modello, per spiegare non solo le vecchie osservazioni, ma anche le nuove, migliorando perciò l'isomorfismo tra la scienza e la realtà. La falsificabilità è dunque considerata un requisito fondamentale; qualsiasi modello di legge di natura deve possederla, se vuole aspirare al rango di scientifico. Ma bisogna chiarire meglio.

Per falsificare scientificamente un certo modello, bisogna usarlo come segue. Si cerca di prevedere cosa dovrebbe succedere in un ipotetico esperimento, non ancora eseguito ma, in linea di principio, compatibile con quanto ci si aspetta – in termini di descrivibilità – dal modello stesso. Dopodiché si sperimenta e, quando va bene, si trova un risultato diverso da quello previsto. Se l'esperimento è ripetibile da chiunque, a patto di porsi nelle medesime condizioni, e tutte le ripetizioni dell'esperimento concordano nel trovare lo stesso risultato, incompatibile con le previsioni, allora il modello è stato falsificato, ossia dimostrato falso, in quanto esso non descrive correttamente la realtà. Va sostituito con un nuovo modello, il quale fornisca previsioni corrette per un ventaglio più ampio di casi, e sia quindi, sperabilmente, più isomorfo alla vera legge di natura. Ma, affinché questo percorso ideale possa essere seguito in realtà, è indispensabile il verificarsi di una condizione ben precisa. Sia il modello vecchio, da falsificare, che il nuovo devono essere in grado di eseguire previsioni quantitative univoche. Un modello del tipo: «Beh, succederà qualcosa, e potrebbe essere di un certo tipo, ma non ne possiamo essere sicuri, perché l'esito potrebbe anche essere diverso...» non è interessante per la scienza; il requisito di falsificabilità pretende una previsione numerica precisa, altrimenti, come si fa a sapere se il risultato sperimentale concorda o no col modello?

Sembra un criterio ragionevole. Molti scienziati concordano su questo: nel paradigma corrente, la *falsificabilità* è condizione quanto meno necessaria, anche se non sufficiente, per poter dichiarare scientifico un modello. In verità, questo criterio non è sempre usato in modo rigido. Quando ci si trova di fronte a situazioni teoriche o sperimentali troppo complesse, spesso le si descrive in base ad approssimazioni a volte eccessive, in modo da nascondere la spazzatura sotto il tappeto. Spiegare come ciò avvenga in dettaglio sarebbe troppo lungo, ma se paragoniamo il tappeto al modello, e la spazzatura ai risultati sperimentali non congruenti col modello, un tappeto molto grande, irregolare e corrugato, magari pure un tantino elastico e sfilacciato, può nascondere sotto di sé un bel po' di spazzatura. Prima o poi tutto va a posto, ma il percorso della scienza non è un'autostrada, bensì un intreccio di viottoli, alcuni dei quali nascosti e sdruciolevoli. Col tempo, le nuove acquisizioni vengono ampliate, rettificare, asfaltate, e si costruisce un altro tratto di autostrada (ma sempre su terreno sismico...)

Insomma, sebbene le limitazioni intrinseche nel metodo scientifico rendano la scienza non onnipotente, finché si resta nei limiti del metodo la scienza è una cosa seria, davvero molto seria, e non va presa alla leggera! E adesso, riassumiamo quel che abbiamo imparato.

4.7. Ricapitolando

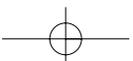
A-IV) Si definisce *isomorfismo* la sovrapposibilità tra l'oggetto (per esempio, la legge di natura) e la sua rappresentazione (per esempio, il modello della legge stessa).

B-IV) Il *paradigma* è il modo di pensare (anche scientifico) corrente, con le limitazioni culturali, sociali eccetera, che al momento non è facile (o addirittura impossibile) superare.

C-IV) La *falsificabilità* è un requisito fondamentale per qualsiasi modello scientifico, in mancanza del quale il modello, spiegando contemporaneamente tutto e nulla, si può buttare.

E gli eventuali limiti? Eccoli:

5-IV) L'aspetto quantitativo (matematico) del modello d'ogni legge di natura possiede probabilmente un certo grado d'isomorfismo con la realtà. Al contrario, l'aspetto qualitativo (intuitivo), probabilmente, non è mai isomorfo con quanto succede davvero in natura. Conclusione triste, ma inevitabile.



5. DI CAUSE ED EFFETTI, DI ELEFANTI E TARTARUGHE

5.1. Questa benedetta causalità

Il discorso sul metodo scientifico non si può considerare completo, e l'ho già anticipato, se non parliamo esplicitamente del principio di causalità. Si tratta di un concetto scontato a priori, ancor più del realismo, e neppure ci verrebbe in mente di discuterne. In effetti, la *causalità* è stata utilizzata per secoli, dagli scienziati, come paradigma inconscio, prima dell'emergere della necessità di trattarne con cognizione di causa.

Il telefono squilla. Istantaneamente pensiamo: qualcuno, fosse magari solo un robot pubblicitario, ha chiamato. Ma come facciamo ad anticiparlo con certezza? Si potrebbe rispondere: «Beh, l'esperienza lo afferma; succede sempre così». Sarà vero, ma quest'esperienza, accumulata lungo una vita durante la quale ci siamo sempre accorti di un motivo scatenante, quando succede qualcosa, non innesca forse un automatismo intellettuale secondo il quale non esiste effetto senza causa? O, più in generale, l'esperienza dei nostri antenati, almeno a partire da quelli proto-umani i quali, forse per primi, cominciarono a osservare il loro ambiente istituendo correlazioni un po' più elaborate di quella, banale, tra la presenza di un serpente e l'opportunità di fuggire dando l'allarme, non avrà fissato nelle nostre menti (non pretendo di sapere come), nei milioni di anni, percorsi preferenziali? Non farà parte del nostro *hardware*, o comunque si voglia chiamare l'insieme di neuroni e collegamenti sinaptici nella corteccia cerebrale, oppure del nostro *software*, e qui sono più in difficoltà a identificare un supporto fisico, una sorta di filtro per cui, ormai, la correlazione tra cause ed effetti costituisce un assioma dal quale non siamo in grado di svincolarci? Tutto lascia crederlo: dev'essere proprio così.

Per amor del vero, debbo rilevare qualcosa sui mistici occidentali e sui maestri zen orientali. Essi sono in grado di seguire percorsi mentali indipendenti (o così sembra, in prima istanza) dalla causalità, giungendo ugualmente a risultati di enorme valore soggettivo, come per esempio la percezione diretta del divino o dell'unità di tutte le cose e, non essendomi mai av-

viato per sentieri del genere, non ho alcun elemento e, più in generale, alcun motivo per sollevare obiezioni a quanto loro stessi affermano. Per chiarezza, esprimo qui la mia convinzione, secondo la quale una percezione di tipo soggettivo possiede valore cogente, assoluto, ma solo per chi ne beneficia, e questo valore non sia trasferibile ad altri. Inoltre, senza cercare in ambiti culturali molto diversi da quello occidentale in cui mi so muovere bene, ciascuno di noi ha esperienza concreta e frequente di un lavoro del cervello in cui la causalità sembra essere un *optional* di poca importanza, e questo accade ogni notte, mentre sogniamo. Ma il punto da rilevare è il seguente: il fattore comune per ogni tipo di esperienza mentale al di fuori della causalità è la soggettività, poiché il suo esito non può essere trasmesso a terzi. Perfino il maestro zen, malgrado si circonda d'allievi, non riesce a comunicare loro la propria illuminazione direttamente, ma deve seguire percorsi tortuosi; procedere per tentativi in modo da mettere in crisi le facoltà logiche di ogni studente, in modo individualizzato, elaborando per ciascuno un cammino adatto alla personalità del soggetto, finché lo studente medesimo non raggiunga il *satori* (tradotto con un modello rudimentale: lo stato di cognizione totale) per proprio conto e con le proprie forze.

Debbo ammetterlo: per il mio modo d'essere, tendo a storcere il naso, quando sento parlare di misticismo sotto ogni forma, non importa quale sia lo spettro di longitudini e latitudini in cui esso è diffuso. Non mi passa per l'anticamera del cervello, ovviamente, di negare a priori qualsiasi valore ad alcune manifestazioni dell'intelletto umano solo perché non mi ci sento portato. Ma la scienza non può procedere lungo questi binari, e il lettore lo comprenderà facilmente: se voglio limitarmi all'ambito scientifico, debbo rimanere ancorato alla causalità, perché solo le esperienze di tipo causale possono sperare d'essere oggettive, comunicabili pienamente, condivisibili da chiunque e, soprattutto, quantificabili. Mancando, infatti, alle esperienze soggettive la ripetitività richiesta dalla regolarità della natura (punto B-II o B'-II del metodo), tali esperienze, pur potendo appartenere legittimamente al mondo del pensiero umano, mancano di un requisito fondamentale per appartenere a quello della scienza. Quindi, punto e basta con ogni atteggiamento mentale in senso lato escludente il principio di causa ed effetto, senza esprimere alcun giudizio di merito in proposito. In questo libro, si parla di una cosa e di una sola: il modo di ragionare scientifico, e di quello seguiranno a discutere. Alla fine del presente capitolo, saranno ormai ben delineati tutti gli elementi di pensiero necessari a impostare brevissimamente un rapporto tra scienza e ragione (o, se si preferisce, intelletto). Poi, il problema non ci riguarderà più, almeno finché i dati sperimentali non ci faranno sbattere il muso... vedremo!

La causalità, dunque, è stata sin da principio alla base del metodo, e ciò risulta chiaro se riprendiamo i tre punti A-II), B-II) e C-II) o gli equivalenti del capitolo 4 in cui ci siamo serviti del termine *isomorfismo*. Il primo di questi punti può essere letto nel senso di: «...e come conseguenza (effetto) dell'esistenza della realtà (causa) noi possiamo studiare scientificamente la natura», e lascio al lettore l'esercizio di riscrivere in termini causali gli enunciati degli altri due. Ma fate bene attenzione: non è solo un gioco di parole. Ogni nostro ragionamento obbedisce rigorosamente alla causalità; sia essa diretta (deduzione) quando, dalle cause, prevediamo gli effetti, o inversa (induzione) quando, dagli effetti, risaliamo alle cause. Non siamo in grado di ragionare se non in questi termini, e la matematica stessa è pura e semplice logica deduttiva. Ma anche la fisica, se pretende di raccogliere l'unanimità degli studiosi del mondo naturale, non può fare a meno di basarsi sull'assoluta e puntuale applicazione della causalità in ogni suo passaggio. E cioè, partendo dalla constatazione: «Se l'esperimento mi dice questo, ne consegue logicamente tale (e non talaltro) modo di comportarsi della natura», si giunge ad affermare anche: «Se questo modello matematico e intuitivo descrive i risultati sperimentali, ne deduco logicamente l'esistenza di un isomorfismo di qualche livello tra il modello e la realtà, pur senza pretendere l'assoluta perfezione dell'isomorfismo stesso».

Dunque, a completamento del metodo scientifico, dobbiamo aggiungere il principio di causalità, operante all'interno del cervello a nostra insaputa, almeno finché qualcuno non ce lo faccia notare esplicitamente. E, sebbene sia troppo presto per addentrarci nelle limitazioni imposte dalla causalità al pensiero scientifico, possiamo introdurre un *break* un po' giocoso per illustrare un primo abuso, molto frequente, stranamente condiviso dagli antichi e dai moderni, basato su un utilizzo disinvoltato della causalità, quando venga applicata senza precauzioni ad alcuni concetti.

5.2. Vizi formali e sostanziali

Risale all'antica Cina e all'antica Grecia l'ipotesi d'infinità dell'universo, sia nello spazio, sia nel tempo. E si noti: le due infinità sembrano essere richieste entrambe dalla logica a giustificazione l'una dell'altra, poiché un universo finito nel tempo dovrebbe, in prima istanza, essere finito anche nello spazio, e viceversa, almeno ragionando per semplificazioni estreme per noi moderni, ormai, un po' ingenua. A ogni modo, già l'astronomo Ipparco di Nicea, due secoli prima dell'Era volgare, nell'or-

dine d'idee di un universo virtualmente infinito, misurava in dettaglio le posizioni delle stelle per verificare se queste si spostassero al passare degli anni e dei secoli, ipotizzando correttamente la loro natura di oggetti simili al Sole, ma a grandissima distanza da noi. Questo concetto – del moto delle stelle – fu quasi perduto in tempi successivi, e riscoperto in pratica da William Herschel allorché, a cavallo tra il Settecento e l'Ottocento, misurando anch'egli con cura la posizione d'alcune stelle, rilevò e pubblicizzò errori nei risultati d'Ipparco, e solo più tardi si rese conto di un fatto banale: in duemila anni, le stelle si erano un po' spostate, e il povero Ipparco aveva lavorato proprio affinché qualcuno come Herschel stesso potesse scoprire, a distanza di tanto tempo, il loro moto intrinseco. Tra l'altro, l'astronomo britannico era un ignorantello, perché Plinio aveva tramandato ai posteri le idee di Ipparco...

Sul versante opposto – quello della finitezza dell'universo – l'interpretazione letterale della Bibbia aveva condotto, dal IV secolo d.C. in poi, a fissare la data di creazione del mondo in tempi recenti: i calcoli precisi (somme delle età dei Patriarchi nella Genesi ecc.), annunciati nel 1654 dall'Arcivescovo Ussher, mostravano come l'evento si fosse verificato il 26 ottobre del 4004 a.C., verosimilmente tra le 9 e le 10 di mattina. Ne conseguì un modello d'universo il quale, per essere finito nel tempo, doveva per forza di logica esserlo pure nello spazio.

Comincio a puntare il dito su uno degli argomenti da sviscerare in questo capitolo. Tra i due modelli d'universo, di cui uno è infinito nel tempo e l'altro finito, per il paradigma dell'epoca esisteva una differenza qualitativa importante: l'origine fissata a un certo momento richiedeva infatti, per motivi connessi alla causalità, un intervento diretto di *creazione* da parte di un'entità convenzionalmente definita *causa prima*, mentre un rinvio all'indietro della creazione fino all'infinito dava l'impressione di aver esorcizzato la necessità logica di quest'evento. L'idea funzionava più o meno così: una *cosa* esistente da sempre possiede in se stessa la causa della propria esistenza, e ciò solleva l'intelletto dal dover postulare una causa prima, più o meno identificabile con una divinità in senso lato. Dal punto di vista del pensiero matematico moderno, conosciamo un modo di argomentare per qualche verso somigliante, prendente il nome di "*regresso all'infinito*". Si tratta di una tecnica di calcolo accettata, formalizzata in base a criteri rigorosi e, laddove tali criteri dichiarino lecita la sua applicazione, essa conduce a inequivocabili risultati quantitativi. Ma, per l'appunto, affinché le conclusioni di un regresso all'infinito siano logicamente accettabili, è necessario che siano verificate alcune condizioni esplicite. Nel tipo di ragionamento sull'infinità dei tempi e la causa prima, sopra ri-

portato, tali condizioni matematiche non sono espresse né esprimibili. Di conseguenza, è un errore logico (e questo sarà più chiaro nei capitoli seguenti) affermare: «Il regresso della creazione all'infinito rende non più necessaria la creazione stessa». Ragionare in questi termini conduce solo a una delle tante sfaccettature del cosiddetto paradosso di Russell (grandissimo matematico e logico della prima metà del XX secolo) cui ho già accennato implicitamente parlando del "Dio degli hamburger". Paradosso privo di qualsivoglia valenza logica se formulato in termini così semplicistici. A ogni modo, nei secoli successivi e fino al nostro, questa distinzione tra modelli cosmologici a età finita i quali, per conseguenza, sembrerebbero richiedere un creatore, e modelli a età infinita, per loro natura, (erroneamente) autosufficienti non richiedendo alcun intervento creativo (piacciono a chi voglia dichiararsi ateo), si è mantenuta. Infatti, come vedremo più avanti, perfino chi ammette il big bang in quanto possibile origine dell'universo fisico (modo di pensare confuso, dal mio punto di vista) subisce la tentazione di giocherellare col concetto stesso di "tempo" nei primi istanti di vita del cosmo, per non sentirsi gravato da una qualche incumbente causa prima. In verità, si tratta d'atteggiamenti frutto d'inerzia mentale millenaria, e non esiste giustificazione scientifica per mantenere accoppiati i concetti "età finita = religione" e "età infinita = ateismo". L'astrofisico George Gamov, definibile a buon titolo padre fondatore della teoria del big bang, si dichiarava assolutamente ateo, e al contempo metteva in berlina altri astrofisici (come Fred Hoyle) i quali, pur di non dover gestire l'impaccio di una creazione per quanto con l'iniziale minuscola, rifiutavano le interpretazioni più ovvie dei fatti sperimentali, e si arrampicavano sugli specchi con acrobazie (poco) logiche. Senza farla tanto lunga, infatti, è inevitabile ammettere come la pura e semplice esistenza di qualcosa, di qualsiasi cosa, sia motivo logico sufficiente per richiedere una causa per la sua esistenza, come afferma esplicitamente Stephen Hawking, e la possibilità di datare nel tempo l'inizio dello stato di esistere o il respingerlo indietro all'infinito non mutano i termini del problema. Come pure sarà più chiaro al lettore prima della fine del libro in qual modo il concetto di causa prima possa presentare sfaccettature impensabili a priori, e come ne esistano sue generalizzazioni scientifiche in senso molto lato (resta da vedere quanto credibili) non richiedenti necessariamente l'intervento di un Dio creatore. Non c'è, dunque, alcuna necessità scientifica di legare ateismo o religione preferenzialmente a un modello cosmologico anziché a un altro e, per spiegare i motivi di questo modo di porre le cose, scherzerò un po' col lettore, e gli fornirò un esempio di regresso all'infinito, assieme ad altre argomentazioni

utili a metterlo in guardia nei confronti di certi paradossi facili da incontrare, qualora si applichi con troppa spregiudicatezza la causalità a entità infinite, di cui l'universo materiale nella sua globalità potrebbe essere un buon esempio. Ma attenzione: se per qualche paragrafo mi permetterò un discorso burlesco, non vuol dire che vi tratterò di concetti scientificamente poco seri!

5.3. Uno zio piuttosto indisponente

Propongo quindi, a chi sta scorrendo queste pagine, la seguente avventura immaginaria: «Andiamo a visitare insieme un nostro antenato comune, vissuto circa cinquemila anni fa e cioè, contando una media di quaranta generazioni a millennio, circa duecento generazioni fa, nella regione compresa tra il Tigri e l'Eufrate». Come mi permetto tutta questa confidenza? Bene: il numero d'antenati posseduti da ciascuno di noi è uguale a 2 elevato al numero di generazioni all'indietro cui si rimanda. Una generazione fa, abbiamo due genitori (2^1) a meno di casi particolarissimi (mi riferisco a questioni d'ingegneria genetica, e non a problemi anagrafici correlati col più antico mestiere del mondo); due generazioni fa abbiamo 4 (2^2) nonni e così via, e questo sembra banale, ma se non ci si riflette abbastanza non se ne trae l'ovvia conseguenza: duecento generazioni fa, ciascuno di noi avrebbe dovuto possedere circa $1,6 \times 10^{60}$ antenati. Si tratta di una cifra così enorme (sessanta zeri!), talmente eccedente il numero di esseri umani viventi a quell'epoca (quantificabile attorno a qualche milione di persone in tutto il mondo), da dover concludere che la stragrande maggioranza di questi antenati fossero la stessa persona e, pertanto, in cinquemila anni i nostri progenitori devono essersi incrociati in modo sistematico tra parenti, sia pure abbastanza lontani da aver dimenticato i vincoli di sangue. Dunque, senza bisogno di risalire a Noè o al Padre Adamo, la virtuale certezza di una parentela tra il lettore e me si acquista già poche generazioni fa, e figuriamoci se ne vogliamo risalire la bellezza di duecento!

Non l'ho detto ancora, ma quest'antenato comune, vivente nella terra di Sumer, portava il nome "Urbaba": data l'enormità dei numeri di incroci in gioco, e le relativamente poche combinazioni di luoghi, razze e onomastica, ce ne saranno stati un bel po' corrispondenti a queste caratteristiche. C'interessa un serrato dibattito con Urbaba (per gentilezza, lo appelleremo *zio*), sui suoi modelli cosmologici. Possiamo farlo, perché la tradizione ha conservato il paradigma dell'epoca: come abbiamo già visto di

sfuggita nel capitolo precedente, era quello della terra piatta. Mi permetterò comunque di rimescolare un po' concetti mesopotamici e indiani perché, ai fini che ci interessano, questa modesta ibridazione è inessenziale.

Dopo i convenevoli di rito, cominciamo a discutere sull'argomento che ci ha condotti così lontano. Invece d'ingarbugliare le idee dello zio col big bang, gli chiediamo di raccontarci la sua. Lui ritiene di aver buoni motivi per sostenere che la Terra sia un disco piatto, pur se non ha certezze sull'esistenza di bordi esattamente circolari. Quando gli facciamo notare l'eccessiva semplicità e simmetria del modello, zio tira un sospiro di sconforto nello scoprire quanto sia duro il comprendonio dei suoi discendenti, e ci spiega con pazienza: non intende affatto terra *piatta* nel senso di *pianna*. Basta guardare a oriente dalla sommità del tempio di Enlil e, nei giorni di buona visibilità, s'intravedono le cime dei monti dello Zagros, dai quali scende un rivolo perenne di nomadi extrasumerici (e, accidenti a loro, non si riescono a bloccare con nessuna misura, giuridica o militare). «La terra è piatta in media, ma ci possono benissimo essere valli e montagne qua e là, no?».

Insistiamo con zio Urbaba cercando di non farlo innervosire: va bene, lo ammettiamo, la Terra è piatta nel senso da lui inteso. Ma allora, se tutte le cose sono attratte verso il basso, come fa la Terra nel suo insieme a non cadere? Zio gesticola esasperato. «Per la barba d'Inanna [veramente era femmina, ma lo zio non è mai stato un praticante assiduo, e di ciò la zia Istar si è sempre lamentata], lo sanno anche i ragazzini! La Terra è sorretta da quattro elefanti, dalle cui proboscidi spirano i quattro venti, no?».

Questo sembra un argomento convincente, atto a chiudere il discorso. Siamo tutti d'accordo? Beh, vediamo un po'.

«Scusa, zio, ma qualcosa non la capiamo ancora. Va bene per la Terra, ma i quattro elefanti chi li sostiene?».

La domanda pare sconcertarlo per un istante, ma si riprende in un batter d'occhio. Ricorda una faccenda appresa a catechismo, scoppia a ridere e rimpalla: «Nipoti miei, quanto siete ignoranti! In quale razza di mondo siete finiti a vivere? È così ovvio! Nemmeno ve lo dovrei dire; i quattro elefanti poggiano sul dorso di una gigantesca tartaruga, no?».

Seguita a chiedere approvazione. Stavolta ci dichiariamo convinti. O, forse, qualcuno ha ancora un dubbio residuo esprimibile come...

«Ascolta, zio: fin qui ci siamo, ma la tartaruga dove si appoggia?».

Ora, il povero zio Urbaba si trova in difficoltà. Tossisce un po', cava fuori un orcio di birra, ce ne offre, e chiede scusa un attimo. Mentre scogliamo la bevanda, deve fare un salto da qualche parte nota solo a lui, ma torna subito. E, infatti, va a confabulare con don Šulgi, il viceparroco del-

la ziggurat dietro l'angolo, quello che, anni addietro, si ruppe una gamba e fece perdere il torneo di "acchiappa il semita" alla squadra dello zio. Torna trionfante e, approfittando pure della nostra lieve ebbrezza alcolica, ci spiega perché la nostra obiezione non regge. «Le tartarughe sono infinite, avete capito? Il problema di dove poggia la tartaruga sotto gli elefanti non si pone, perché la tartaruga poggia su un'altra tartaruga, e così via fino all'infinito. C'è sempre un'altra tartaruga sotto, e quindi il problema è risolto. Mi meraviglio che non ci abbiate pensato da soli. È ovvio, no?». Veramente non ci aveva pensato neanche lui! E, comunque, adesso dobbiamo rischiare di far arrabbiare lo zio. Tiriamo la paglia: tocca a me, e il lettore ha licenza di defilarsi. E poi, per quanto mi costa...

Lettore: «Mmmmmhhhhh... Vabbè, zio; mi hai convinto. Se ci sono infinite tartarughe, il problema di dove poggiano dovrebbe essere risolto automaticamente, perché tanto non c'è mai un'ultima tartaruga. Ti saluto; vado a fare un giretto, e baciami la zia».

Io: «No, scusa, zio, ma non mi sembra del tutto giusto. Forse, le infinite tartarughe non risolvono automaticamente il problema. Ti faccio l'esempio di un caso particolare, in cui il ragionamento non funziona. Prendiamo la prima tartaruga, quella subito sotto gli elefanti. Poi facciamo così: quella successiva dev'essere appena appena un po' più piccola, diciamo che sia lunga, larga e spessa solo il 99% della prima. Questa troverebbe comunque abbastanza spazio da appoggiarsi, sei d'accordo?».

Lo zio ci pensa un po', e quindi annuisce: se la seconda fosse dell'1% più piccola della prima, la più grossa neanche se ne accorgerebbe, e potrebbe benissimo starci in piedi sopra.

«Benissimo», continuo io. «E se la terza è ancora solo il 99% della seconda, le cose continuano a funzionare?».

Zio Urbaba allunga la mano verso il manico di una scopa. È così banale! Una differenza dell'1% tra una tartaruga e l'altra è irrilevante, e perciò la pila di tartarughe seguirebbe a tenersi lo stesso, per cui mi merito una lezione.

«No, no, zio Urbaba. Fermo con la scopa. Se sei d'accordo fin qui, dobbiamo farci uno straccio di conto». E lo facciamo, mentre il lettore, avendo ritenuto prudente uscire dalla comune, sbircia dalla finestra per vedere dove andiamo a parare.

Il conto è il seguente: se definiamo **1** lo spessore della tartaruga immediatamente sotto gli elefanti, lo spessore di quella successiva sarà, nell'ipotesi prospettata allo zio, solo **0,99**. Sempre nelle stesse unità di misura, la terza sarà spessa **0,99²**, la centesima **0,99⁹⁹** e così via. Ma ricordo un risultato matematico semplice e importante: un numero minore di **1** (e

cioè **0,99**) elevato a una potenza maggiore di **1** (ovvero il numero progressivo della tartaruga nella serie infinita) fornisce un numero minore di quello di partenza. Così, lo spessore della terza tartaruga, se paragonato alla prima, sarà **0,9801**. Lo spessore della centesima sarà **0,366** e rotti, lo spessore della millesima circa **0,000436**. Se mi metto a sommare lo spessore di tutte le tartarughe, essendo ciascuna più piccola della precedente in proporzione all'esponente del suo numero progressivo, pur considerando infinite tartarughe, non si trova per nulla una lunghezza infinita. Tutt'altro: in questo particolare caso di regresso all'infinito, in uno spessore solo cento volte quello della prima tartaruga, si ammucciano infinite tartarughe e dunque, per quanto io continui a sommare spessori in eterno, non mi allontanerò mai dai quattro elefanti più di cento volte lo spessore della prima tartaruga. Nelle condizioni in cui mi sono messo, dunque, gli elefanti poggiano su una piramide rovesciata di tartarughe, il cui vertice poggia a sua volta sul nulla, malgrado le tartarughe impilate nella piramide siano infinite. Per il lettore versato nelle scienze occulte della divinazione per mezzo delle quattro operazioni: mi sono servito di un oggetto matematico definito "serie convergente".

Lo zio Urbaba mi butta fuori a calci dopo avermi malmenato col manico della scopa. Mi aspettavo di meglio da un gentiluomo del passato. Ora, comunque, il lettore non deve più sostenere il ruolo, e può rispondere francamente: è proprio convinto a priori della giustezza dell'assioma secondo cui seguitare ad aggiungere tartarughe finisca per risolvere il problema di dove poggiano? O, per metterla in termini più moderni, è totalmente sicuro che respingere all'indietro la creazione dell'universo fino all'infinito dimostri in maniera incontrovertibile l'inutilità della domanda: «Perché l'universo esiste?».

5.4. Giochiamo un po' con gli infiniti

Finito di scherzare, torniamo ai nostri tempi. Intendiamoci: con questo giochetto delle tartarughe non ho mica preteso di dimostrare matematicamente l'impossibilità di risolvere un problema del genere spingendolo all'infinito. Mi viene in mente, infatti, un controesempio immediato: se qualcuno si offrisse di prestarmi una somma enorme all'interesse del 100% annuo, c'è una condizione alla quale io accetterei il prestito pure se non ne avessi urgente bisogno. Sarebbe sufficiente poter prorogare la restituzione, sia della cifra, sia degli interessi, fino all'infinito. È vero: al termine (ma non giungerà mai) dovrei pagare una quantità infinita di soldi,

però ogni lettore converrebbe con me che a questi patti può valer la pena di impegnare la propria firma e il proprio onore. No: voglio solo far percepire come con gli infiniti sia necessario andarci cauti. Non basta proporre o anteporre un problema all'infinito, per poterlo considerare implicitamente risolto. Bisogna vedere il problema di volta in volta, e trattarlo per mezzo della matematica; magari, quella dei numeri più grandi dell'infinito. Sì, può sembrare strano, ma questa matematica esiste. Il primo a sollevare un paradosso formale in questo senso fu Galileo, nei suoi ultimi anni di vita agli arresti domiciliari di Arcetri, seguiti alla condanna da parte dell'Inquisizione, quando non poteva più sperimentare e, purtroppo, leggere o scrivere, perché la vista lo stava abbandonando. Dunque, cominciò a ragionare sui numeri infiniti, e per primo si rese conto di un paradosso: le quantità numeriche di tal genere non si comportano secondo le stesse leggi matematiche, intuitive, vigenti per i numeri coi quali siamo abituati a trattare. Dopo di lui, grandi progressi in questo campo furono ottenuti nell'Ottocento da Cantor, e nella prima metà del Novecento da Gödel, un matematico viennese da corteggiare più avanti, il cui lavoro gioca un ruolo di primo piano nel contesto affrontato in questo libro. Purtroppo, sia Cantor sia Gödel morirono pazzi: il primo dopo aver passato una ventina d'anni in manicomio, cercando di dimostrare come e qualmente Shakespeare non sia mai esistito; il secondo di fame, dopo aver smesso di mangiare per timore che qualcuno volesse avvelenarlo. Ma queste sono solo curiosità utili al lettore per rendersi conto di quale sforzo d'intuizione sia necessario per accostarsi ai numeri transfiniti, ed evitare di commettere ingenuità trattandone in modo disinvolto e senza la necessaria preparazione. Cantor e Gödel non trattarono i numeri transfiniti perché erano pazzi; al contrario, forse divennero pazzi in seguito allo sforzo intellettuale. Vittime del progresso scientifico, in senso stretto!

5.5. Forse, l'universo è troppo grande

Non ho ancora terminato con i problemi d'intuizione spesso incontrati nel trarre troppo facili conclusioni causali dall'applicazione del regresso all'infinito a un'entità complessa come l'universo. Se, infatti, il lettore volesse restare aderente all'idea secondo la quale una regressione perpetua nella creazione del mondo possa davvero eliminare il requisito logico di una causa prima, gli offro quest'ulteriore argomento di riflessione, pur senza minimamente cercare di convincerlo che la sua convinzione è arbitraria. In fin dei conti, come abbiamo già visto poc'anzi, molti scienziati di

gran valore hanno basato le loro opinioni cosmologiche su un rifiuto a priori, per motivi ideologici, del big bang. Ripeto: secondo Gamow (e pure secondo me), la non esistenza di Dio, e l'esistenza da sempre dell'universo, non sono concetti tali da dover essere necessariamente messi in relazione scientifica tra loro. Nei prossimi capitoli, il mio modo di pensare e la precedente affermazione dovrebbero diventare più chiari, ma credo di doverlo ribadire: non pretendo affatto di smuovere le convinzioni religiose o antireligiose di chicchessia; voglio solo evidenziare le difficoltà incontrate quando si applica una mentalità *finitistica* alla soluzione di problemi di tipo transfinito. Difficoltà, a un'occhiata superficiale, invisibili.

Torniamo dunque a un universo infinito nel tempo; questo non ha mai avuto inizio, né mai avrà fine. Il lettore converrà con me: immaginare un universo del genere, il quale, però, possieda anche il requisito di essere spazialmente finito, è quanto meno un po' ardito. Senza fondarci troppo sui metodi aristotelici di pensiero (vedremo qualcosa più avanti), sembra comunque ragionevole ammettere quanto segue: un qualsiasi atto di moto in un universo di dimensioni geometriche finite condurrebbe, dopo un tempo infinito, a una sua espansione fino a dimensioni geometriche infinite. Si potrebbe forse evitare tutto ciò, se il moto fosse un'oscillazione o una rotazione sintonizzate, a loro volta, con precisione infinita, o se l'universo si trovasse all'interno di una scatola rigida, ma a questo punto stiamo forse imponendo vincoli un po' troppo stretti. Va bene fin qui?

Adesso veniamo a un fatto sperimentale. Questo, almeno nella frazione di universo a noi accessibile, difficilmente può essere messo in dubbio: l'universo si espande. Diciamolo meglio: la distanza media tra gli oggetti contenuti nell'universo aumenta al passare del tempo, un po' come aumenta la distanza tra gli acini d'uva passa in un panettone, mentre quest'ultimo sta lievitando.

I due concetti, d'infinità spaziale già in atto dell'universo, e della sua ulteriore espansione da, e per, tempo infinito, sembrano cozzare tra loro, nella mente di chi non sia competente in matematica. E questo è il punto: in prima battuta, l'intuizione suggerisce che infinite tartarughe possano risolvere il problema di dove esse si appoggiano, ma la stessa intuizione si trova in difficoltà, nel considerare un universo infinito che seguita a dilatarsi, poiché esso già occupa tutto lo spazio possibile, e dunque non sembra fisicamente lecita una sua ulteriore espansione. Però, il fatto sperimentale della sua espansione non è negabile; si misura, e anche piuttosto bene. Cosa dobbiamo dedurne? Forse si sta espandendo solo la frazione d'universo da noi percepibile, e magari questo moto d'espansione sarà prima o poi destinato a invertirsi, onde possano esistere movimenti

locali anche su grande scala, ma l'universo nel suo insieme sia statisticamente fermo? Sarebbe una conclusione arbitraria, e opinabile sotto il profilo scientifico, sia in quanto non falsificabile (provate, se ci riuscite, a dimostrarla sperimentalmente, o a disprovarla), sia perché i modelli matematici di universo oggi disponibili mostrano, al contrario, come un universo già spazialmente infinito in atto, e non solo in potenza, possa benissimo continuare a espandersi in eterno. È uno di quei casi tipici in cui l'intuizione fa a pugni con la realtà matematica e fisica, proprio come nel paradosso proposto da Galileo, e lo vedremo tra breve. D'altra parte, finché ci fidiamo della pura e semplice intuizione di basso livello, non sostenuta dalla matematica, le due affermazioni secondo cui:

a) un universo esistente da sempre può fare a meno di una causa prima, e
 b) un universo spazialmente infinito non può espandersi ulteriormente
 non ci paiono così diverse tra loro per la qualità del ragionamento sottostante, da poter rinunciare alla seconda, ferma restando, però, la validità a tutti i costi della prima. Cerchiamo dunque di prestare attenzione più esplicita al nostro modo di ragionare intuitivo, e imponiamogli dei limiti quando ciò si riveli necessario sotto il profilo matematico. E attenzione: non sto per niente rinunciando alla causalità, perché la matematica è pura e semplice logica. Sto solo affermando un concetto utile: quando si gira attorno all'infinito, la causalità va applicata con rigore matematico e non secondo l'estro personale, comprendente una modellistica intuitiva basata su analogie con oggetti finiti.

Per il lettore interessato a sapere come va a finire la storia dell'universo infinito in ulteriore espansione eterna, mi limiterò a fornirgli una traccia parafrasando Orwell: «Tutti gli infiniti sono uguali, ma alcuni sono più uguali degli altri». Ma vediamo finalmente il ragionamento di Galileo. L'ho posposto e non anteposto (benché sia molto semplice), avendo preferito partire dai fatti sperimentali, sennò qualcuno avrebbe detto: «Sì, va bene, ma quella di Galileo è solo matematica, e ci sarà un trucco da qualche parte...».

5.6. Ma Galileo non aveva niente di meglio...

«Scriviamo su un foglio», diceva il Pisano, «la serie dei numeri interi da uno all'infinito (fermandoci prima della fine, ovviamente), e sulla riga sottostante scriviamo il quadrato di ciascun numero corrispondente della prima riga».

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11.....
1	4	9	16	25	36	49	64	81	100	121.....

«Ora, confrontiamo queste due serie di numeri tra loro. A ciascun numero della prima riga si può far corrispondere, in modo univoco, un numero della seconda riga; basta elevarlo al quadrato. Analogamente, a ciascun numero della seconda riga, prendendone la radice quadrata, si può far corrispondere univocamente un numero della prima riga. Dunque, siccome i numeri della prima riga sono infiniti, saranno infiniti pure quelli della seconda riga. Qui sorge il problema: dalla seconda riga mancano alcuni dei numeri della prima. Per esempio, nella seconda riga non ci sono il 2, il 3, il 5, il 6, il 7, l'8 e così via. Sembra, perciò, che nella seconda riga ci siano meno numeri rispetto alla prima. Ma le righe contengono infiniti numeri; lo abbiamo appena dimostrato. Come mai c'è questa contraddizione?».

La risposta del padre della scienza moderna era dubitativa; in un modo o nell'altro, prefigurava quanto riuscì a determinare Cantor alcuni secoli più tardi, e cioè che, effettivamente, le due serie contengono la stessa quantità di numeri (in termini moderni, si dice "potenza d'infinito"). Essenzialmente, però, Galileo si fermava quasi subito, riflettendo sulla necessità di andarci cauti, quando si lavora con gli infiniti. Pensandoci bene, l'analogia tra il problema posto da Galileo e l'espansione di un universo già infinito è abbastanza evidente: all'interno della seconda serie di numeri, malgrado pure questa sia infinita, c'è ancora posto per inserire infiniti altri numeri. E ripeto: ciò non dimostra nulla, a parte l'inutilità di ragionare sugli infiniti con la stessa mentalità con cui, all'osteria, ci si chiede se sia il caso di prendere il quattro di bastoni e il tre di spade col sette di coppe, o aspettare a giocare perché l'avversario deve per forza avere il settebello (chi lo desidera, può sostituire l'esempio con un problema di *bridge* di analoga difficoltà, in un ambiente socio-culturale più raffinato, mentre si prende il tè). In analogia, un universo esistente da sempre elimina scientificamente il requisito della causa prima? E chi lo dice?

Ora, però, debbo chiedere al lettore un ulteriore sforzo. Infatti, fino a questo punto, ben poche volte mi sono curato di distinguere esplicitamente tra scienza da un lato, e la ragione e/o l'intelletto dall'altro. Ma, chi ripercorresse quanto ho scritto, si renderebbe conto che, almeno implicitamente, questa distinzione è sempre stata presente. Torniamo agli *Enunciati A ÷ D'* nella presentazione, e rileggiamoli. In essi non si parla mai di prove razionali in merito a Dio/**DIO**, ma solo di prove scientifiche. Perché? La risposta a questa domanda non poteva essere fornita all'inizio del libro, ma ormai abbiamo accumulato abbastanza conoscenze da capire la sottile differenza. Forse la scienza non usa la ragione? Be', di

sicuro la scienza si basa sulla ragione o, se preferite, non può esistere scienza senza ragione. Ma la scienza, per sua natura, è costretta da limiti più stringenti di quelli della ragione. La scienza è vincolata dal metodo sperimentale e da quanto gli gira attorno, al punto di dover forzatamente accettare apparenti irragionevolezza della natura, qualora queste si presentassero. Detto in altro modo, lungi dall'esaurire le possibilità della ragione, la scienza si muove in un sottoinsieme della ragione stessa, e sarebbe sbagliato assumere a priori l'assioma secondo cui quanto la scienza può dire in merito a Dio/DIO coincida con quanto può affermare in proposito la ragione in senso lato. Nel momento in cui Beethoven componeva sinfonie, o Michelangelo affrescava la Sistina, di sicuro usavano entrambi la ragione, ma con altrettanta certezza non applicavano il metodo scientifico anche se l'osservazione (o sperimentazione) degli effetti del loro agire era tenuta presente (per Beethoven era più difficile, essendo sordo). Se il lettore avesse frainteso questo punto fondamentale, e avesse ritenuto che questo libro ha l'intento di pronunciarsi su ciò che la ragione, e non la scienza, può dire su Dio/DIO, posso solo rimproverargli di essere un cattivo lettore, perché gli *Enunciati A ÷ D'* non avrebbero dovuto essere suscettibili di equivoco. Ma, anche in caso di equivoco in buona fede, chiariamo questo concetto una volta per tutte. Ogni discorso precedente o seguente riguarda solo i rapporti tra scienza e Dio/DIO; non quelli tra ragione umana e Dio/DIO, perché questi ultimi sono ben altra cosa, e non ho certo io i mezzi culturali per indagarli. Comunque, nei capitoli immediatamente successivi, parleremo un po' di quanto succedeva allorché questa distinzione non era ancora emersa in modo chiaro, e c'era una certa confusione tra ragione e scienza.

Un lettore deve aver seguito molto bene il filo del discorso fino a questo punto (mi congratulo), perché ha alzato la mano per chiedere: «Un momento: la matematica fa parte della scienza, ma non è soggetta al metodo sperimentale. Non è lecito identificare la matematica con la ragione, senza limitazioni?». Bella domanda! Inevitabilmente, prima o poi, qualcuno l'avrebbe tirata fuori. Questo, infatti, è un discorso da non lasciar cadere. Più avanti dovremo tornarci, lo prometto (lo minaccio) formalmente fin d'ora. Ma non c'è nulla di ovvio, quando si mescolano alla rinfusa esperimenti, intuizione, matematica, infiniti, teologia e opinioni personali.

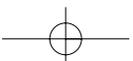
Con la causalità non abbiamo terminato, ma per ora è meglio prenderci una pausa. Cos'abbiamo imparato in questo capitolo?

5.7. Ricapitolando

A-V) La base fondamentale del metodo scientifico risiede nel principio di causalità.

B-V) Trarre conseguenze apparentemente logiche e intuitive da ragionamenti sull'universo nella sua globalità può condurre allo stesso tipo di contraddizioni incontrate in matematica, quando si usa scorrettamente il regresso all'infinito.

C-V) La scienza non coincide con la ragione, ma ne rappresenta solo un sottoinsieme, e in questo libro ci si manterrà all'interno della scienza, senza giungere a conclusioni che impegnano la ragione umana in generale.



6. L'ETÀ DELLE CERTEZZE ASSOLUTE... O NO?

6.1. Mi perderò nel bosco

Il metodo scientifico è ancora di più rispetto a quanto ne abbiamo visto finora, e resta da lavorare su concetti importanti quali il *meccanicismo*, il *riduzionismo* e altri, i quali, pur non potendo essere rigorosamente definiti elementi del metodo, forniscono indicazioni importanti sulla mentalità con cui esso viene applicato (ma forse sarebbe meglio dire "interiorizzato") dalla maggioranza degli scienziati. Poiché questo capitolo, come il successivo, conterrà digressioni di tipo filosofico tradizionale, ricordo al lettore: i concetti scientifici non sono esauriti.

Purtroppo, in campo filosofico io sono un *homo senza lettere*, in analogia a come Leonardo definiva se stesso nelle discipline umanistiche, essendo autodidatta in latino, e del tutto digiuno di greco. Ebbene: paragonarsi a un tale genio universale, anche solo in modo obliquo, potrebbe esser visto come una dichiarazione d'orgoglio provocatoria, se non addirittura di disprezzo, nei confronti di chi non sia illetterato in filosofia, e dunque specifico quanto segue. In sincerità, mi rendo conto del filo di rasoio su cui mi muovo, e non è dispregiativo il mio modo di pensare; tutt'altro! Ammetto una certa diffidenza spontanea, condivisa con diversi fisici, nei confronti d'alcuni filoni della filosofia, a causa d'antichi e recenti scivoloni di quest'ultima, quando si trattò d'antivedere in qual modo sarebbe stato possibile progredire nello studio della natura. A scanso di equivoci, ribadisco: mi sarebbe piaciuto godere di una visione sintetica della filosofia, paragonabile a quella da me posseduta nei confronti della fisica. In qualche modo, ancora rimpiango la divaricazione, secolare e non più sanabile, tra fisica e filosofia naturale. Non è solo una questione di nomenclatura; ne sono davvero convinto: mi sarei trovato a mio agio come studioso della branca della filosofia avente tra i propri obiettivi il metodo scientifico, per cui s'inserisce nei meandri dei rapporti tra teoria ed esperimento, ma possiede comunque l'intero bagaglio culturale della filosofia tradizionale e della fisica stessa. Approfitto del discorso per fornire qual-

che ulteriore chiave di lettura di questo libro, avendo già raccontato quali siano le mie competenze in ambito scientifico, ma non in altri settori in cui si espande l'intelletto umano, potenzialmente rilevanti nel seguito del discorso. Ho frequentato una scuola secondaria dalla quale ho tratto un ottimo inquadramento in campo tecnico-scientifico, e assai carente in altri. Risale a quei tempi la mia quasi onnicomprensiva ignoranza nelle discipline umanistiche, con la conseguente mancanza del gergo (terminologia specialistica) di questi rami dello scibile. Riesco a leggere e addirittura apprezzare, entro certi limiti e finché non mi annoio, un testo di filosofia, specie se orientata in senso scientifico, ma, quando vengo chiamato a riferirne il contenuto, non sono in grado di utilizzare correttamente il gergo, appunto, della filosofia. Nella mia testa è ormai in funzione da mezzo secolo una sorta di traduttore automatico – e non riesco più a disinserirlo – il quale assimila e ripete i concetti nel *mio* idioma culturale, quello della fisica, con tutte le differenze di sfumature e i fraintendimenti più o meno marginali nei quali s'inciampa quando si pretende di trasferire di peso una *summa* di pensiero da un paradigma a un altro. Chiedo perciò attenzione, specie al lettore più competente di me in scienze umane, perché gli occorrerà tener presente questa mia debolezza culturale, onde ripulire in terminologia filosofica più corretta quanto sto per illustrare. Filosofia e fisica si muovono ormai da troppi secoli in mondi diversi, e ciò provoca spesso equivoci sui concetti trattati, anche quando si usano gli stessi vocaboli in entrambi i campi.

Per essere più chiaro, e illustrare al lettore con un esempio scherzoso quasi visivo il mio timore di fraintendimento, torno un attimo da Leonardo. Gli chiedo se, per cortesia, e a pagamento, può dipingere per me il ritratto di una signora che ho conosciuto mezzo millennio fa. Il quadro è stato completato? Devo passare un attimo al Louvre per farmelo restituire, perché i soldi dell'anticipo ce li ho messi io. Poi mi reco da Picasso; lo supplico di dare un'occhiata al dipinto di Leonardo, e di eseguirne una sua interpretazione personale. Come! È morto senza aver avuto il tempo di farlo? Pazienza; il lettore può sforzarsi un po' con la fantasia, e mi resta comunque la possibilità di chiedere a Salvador Dalí... Nooooo! È morto anche lui? Ah, ma per lo meno ha lasciato qualche sua interpretazione di..., bene, bene... Eh? Con i baffi?

Certo, anche l'eventuale opera di un altro pittore, intitolata proprio *Monna Lisa*, conserverà, c'è da attendersi, qualche somiglianza con la leonardesca, ma, almeno come primo impatto per chi li osserva, è facilmente prevedibile: i due dipinti susciteranno emozioni e sensazioni radicalmente diverse. Alle brevi: il lettore confronti il ritratto di Innocenzo X di

Velasquez e le sue varie interpretazioni lasciate da Francis Bacon (il pittore, non il filosofo). Questo esempio dovrebbe chiarire un po' la fatica durata dal lettore umanista paragonando le mie interpretazioni della filosofia con gli originali, e purtroppo non sono neppure un Picasso o un Dalí...

6.2. Incenso e melodie gregoriane

Dunque, facciamoci coraggio e partiamo, anche se un po' a singhiozzo. Dovendo trattare faccende di fisica, non avrei avuto dubbi da dove cominciare. In questo caso, invece, c'è un ventaglio molto ampio di possibilità, essendo necessario introdurre argomenti legati tra loro da un vincolo molto tenue. Per non prendere il via da Adamo ed Eva, nessuno dei quali, a detta della Genesi, aveva dubbi in merito all'esistenza di **DIO**, salto non so quante decine o centinaia di millenni, e mi attesto attorno all'anno 1200 d.C., in pieno Medioevo.

Le invasioni barbariche sono ormai alle spalle, anche se i Normanni hanno da poco bruciato Roma per l'ennesima volta. L'Islam è in uno dei suoi cicli di stasi, e l'Occidente cristiano riprende fiato; si permette addirittura le Crociate. Anche se non c'è stabilità politica su larga scala, la circolazione delle idee diventa nuovamente possibile, e con essa un'economia non di pura e semplice sopravvivenza. La Chiesa detiene ancora il monopolio della cultura, e comincia a sentire il bisogno di organizzare, razionalizzare il bagaglio del sapere perché questo, rispetto ai tempi d'Aristotele, se qualcosa ha perso, ha pure compiuto innegabili progressi, però non inquadrati in un *corpus* sistematico. In campo teologico, Tommaso d'Aquino prende le redini della situazione ripartendo, come già i filosofi greci, dalla pura ragione. A fondamento della sua opera, pertanto, pone le cosiddette prove razionali dell'esistenza di Dio. Attenzione: sto parlando di prove razionali e non scientifiche, perché la scienza col suo metodo, perso il primo treno all'epoca ellenistica, era ancora quattrocento anni di là da venire. Solo trecento se contiamo il solito Leonardo, ma lui non ha lasciato nessuna scuola per seguitare il suo lavoro.

Intendiamoci: prima del *Doctor Angelicus*, alcuni si erano già preoccupati di dimostrare, in modo più o meno razionale, come e qualmente nei cieli fisici e metafisici, a quell'epoca concettualmente un po' rimescolati, dovesse regnare un Essere perfettissimo, ma francamente si trattava di argomentazioni che, a noi moderni, danno un po' l'impressione di complicati giochi di parole e nient'altro. In questo senso, possiamo con-

statare una volta di più come il crollo dell'Impero romano abbia comportato, per l'Europa, un prezzo culturale gravissimo. Chi legge gli scritti di Agostino d'Ippona, vissuto già ai tempi delle invasioni barbariche, ma ancora in clima culturale e sociale tardo-romano, ha quasi l'impressione di trattare un autore contemporaneo, almeno in quanto a organizzazione mentale e categorie di pensiero (vogliamo dire paradigmi?). A confronto, i Dottori della Chiesa medioevali sono praticamente illeggibili e appaiono... non mi viene un termine più descrittivo di *medioevali*, e chiedo scusa al lettore per la ripetizione, ma sono sicuro: ha capito benissimo cosa intendo. Per chiarire meglio, eluciderò queste percezioni di vecchio e ammuffito, avvalendomi d'un paio di dimostrazioni dell'esistenza di Dio molto popolari, a quei tempi. Una, per esempio, recita: «Poiché l'immaginazione procede dalla percezione, l'uomo non è in grado di immaginare il non-esistente. Se dunque è giunto al concetto di Dio, se ne conclude per forza che Dio esiste». Ragionamento del tutto inconcludente, a mio parere, avendo io stesso constatato come non solo l'essere umano sia perfettamente in grado di immaginare cose rigorosamente non esistenti, ma pure di scriverle sui giornali e di farci sopra soldi, e magari carriera politica, eliminando fisicamente gli avversari quando necessario. Vediamo, allora, un'altra prova, definita "*ontologica*" (capiremo il perché nei prossimi capitoli), e sostenuta nel XII secolo da Anselmo d'Aosta: «L'esistenza è una qualità della perfezione, poiché non potremmo definire perfetto qualcosa se, come minimo, non esistesse. Dunque, essendo Dio perfetto, se ne deduce che egli esiste». Anche questa seconda prova non suscita in me barlumi d'illuminazione; tutt'al più mi ricorda di quando, all'università, ci raccontavamo tra studenti per quale motivo un *gas perfetto* (un modello teorico molto semplice per descrivere il comportamento di un gas, usato spesso in termodinamica malgrado nessun gas reale si comporti esattamente secondo il modello stesso, che può tornare utile quando si vogliono fare un po' di conti in prima approssimazione) deve esistere per forza, in quanto perfetto. Ma, riguardo alla prova ontologica, la mia testimonianza non ha molto valore. Infatti, essa si è dimostrata resistente alla prova dei secoli, e ha sollecitato ingegni ben migliori del mio. Vi lavorarono sopra, per tirarne fuori un argomento logico cogente, niente meno che Cartesio e Leibniz. Da ultimo, lo stesso Gödel, già incontrato e da ritrovare, attorno al 1970 giunse a un vero e proprio teorema matematico dimostrante che Dio, definito come la somma di tutte le perfezioni (o verità matematiche?), non può non esistere. Il teorema è lì, scritto sulla carta, e nessun matematico è mai riuscito a trovarci errori formali; per quanto mi riguarda, però, resta solo un'altra curiosità intel-

lettuale. Infatti, secondo me (e altri) il problema con questo teorema non si riferisce ad aspetti logici in senso stretto, ma piuttosto semantici: cosa intende esattamente Gödel quando parla di "esistenza", di "perfezione" di "Dio" e così via? Sebbene i filosofi, nei secoli, si siano sforzati oltre ogni dire nel rendere logicamente consistenti questi concetti, in fin dei conti bisogna comunque partire dal linguaggio comune, con tutte le sue imprecisioni di significato. Se la prova matematica fosse davvero vincolante, non dovrebbero esistere matematici atei mentre, a mia esperienza, ce ne sono, eccome!

Non voglio insistere con altre prove dello stesso tenore. Il lettore ha capito da sé come, almeno in molti casi, si tratti di ragionamenti un po' circolari, i quali già assumono tra le righe quanto pretendono di dimostrare, non diversamente dalle prove scientifiche della non esistenza di Dio contemporanee, su almeno una delle quali il lettore è stato già reso edotto (la non efficacia della preghiera). Tommaso d'Aquino, di fronte a questo modo di procedere, che fa davvero pensare a quanto dicono gli atei della religione (un menù infinito senza niente da mangiare), ricondusse il pensiero teologico su una strada più lineare. Impostate le prove razionali, somiglianti solo formalmente e marginalmente ai due esempi appena illustrati, procedette nel costruire la *Summa Theologica* in cui vengono dedotte le caratteristiche di Dio e tutto il resto, aderendo sempre in modo rigido ai principi della logica. Non fa perciò meraviglia se la teologia cosiddetta "Scolastica", corrente filosofica prendente l'avvio proprio da Tommaso, è tuttora uno dei muri portanti (anche se non l'unico) del cattolicesimo.

Quali erano le prove razionali secondo l'Aquinate? Lui ne formulò diverse, ma, almeno dal mio punto di vista, ci conviene esaminare solo la cosiddetta prova causale, perché, come vedremo nel prossimo capitolo, se cade questa cadono anche tutte le altre. E qui ci vuole un momento di pazienza.

Chi abbia familiarità col pensiero d'Aristotele, sa come egli trattasse il principio di causa ed effetto in maniera molto articolata. L'esempio riportato da tutti i commentatori è quello della costruzione di una casa: l'effetto (e cioè la casa stessa, quando la sua costruzione sia stata completata) dipende da tanti tipi di cause. Attenzione: non semplicemente da tante cause, ma proprio *tipi diversi* di cause. Per esempio, c'è la causa materiale, la quale s'identifica coi mattoni e la calcina (il *materiale*, appunto) costituenti la casa. Poi abbiamo la causa agente o efficiente (il muratore *fa*, ovvero compie l'azione di mettere assieme i mattoni); quella formale, contenuta nel progetto (ove è prevista la *forma* della casa), e quella fina-

le, in relazione col *fine*, cioè la volontà di qualcuno di far sorgere la casa per abitarci. In particolare, per la filosofia aristotelica, il concetto di *finalità* entrava come parte integrante nella causalità, implicando sempre e comunque l'esistenza di una sorta di direzione privilegiata verso cui tende tutto l'esistente. È appena il caso di far notare come un orientamento del genere, a sua volta, adombri, per forza di cose, pure l'esistenza di un qualche direttore dei lavori più o meno occulto. Il lettore si ricordi di quest'inciso.

Il paradigma scientifico dei nostri giorni considera la causalità in modo più spartano. Il principio di causa ed effetto, motore della ragione, è stato enunciato in modo semplice nel precedente capitolo, e suona: «Ogni effetto presuppone una causa» senza implicare per forza l'unicità della causa stessa. Infatti, invece di classificare le cause a seconda del tipo, oggi diciamo: per ottenere un certo effetto c'è bisogno di più concause. Riprendiamo l'esempio della casa. Per ottenere l'effetto "casa", occorre il verificarsi di un certo numero di cause, e le potremmo elencare senza pretesa di essere esaustivi. La casa, per dirne una, non sarebbe stata costruita se qualcuno non avesse deciso di avviare le procedure burocratiche necessarie (o almeno sarebbe auspicabile...). Poi, difficilmente l'edificio starebbe in piedi senza un buon progetto. Di certo, va presa in considerazione la disponibilità di materiali da costruzione, così come la mano d'opera, e via di questo passo. Se rileggiamo l'elencazione, ci accorgiamo di non aver affatto eliminato i vari elementi presi in considerazione da Aristotele. Piuttosto, troviamo più vantaggioso non perderci nelle specifiche dettagliate del tipo di cause: le elenchiamo e basta. E, soprattutto, evitiamo con cura il discorso sulla causa finale. O per meglio dire: quando un essere umano, autocosciente (qualunque possa essere una definizione specifica ed esaustiva di quest'ultimo concetto al di là del suo significato intuitivo, come più avanti vedremo), prende in piena libertà (anche sulla libertà già lo sappiamo: ci sarà molto da dire, quindi procediamo con la riserva mentale di tornarci su prima o poi) una decisione, come quella di far costruire una casa, non abbiamo problemi a parlare di finalità. Stronchiamo invece senza pietà, e con l'ascia di pietra se necessario, qualunque discorso basato sul finalismo o cause finali, se riferito a soli fenomeni naturali: si tratti della sintesi nucleare degli elementi chimici all'interno delle stelle o dell'allungamento del collo delle giraffe nel corso dell'evoluzione biologica.

In conformità a queste considerazioni, rivediamo la prova causale fornita da Tommaso per l'esistenza di Dio, tradotta in linguaggio vicino al nostro; nel linguaggio della fisica, dovrei dire, poiché è l'unico da me

conosciuto davvero. Si parte dalla constatazione secondo cui tutto l'esistente è l'effetto di qualche causa o insieme di cause. Non faccio esempi; il lettore sarà già convinto da solo, penso, dell'universalità dell'asserzione: finché non si giunge alla speculazione metafisica più selvaggia, ogni cosa di questo mondo, si tratti d'oggetti o d'azioni, è effetto ascrivibile a una o più cause, anche se queste ultime, a volte, possono essere tantissime e difficili da dettagliare o addirittura enumerare. Ma, pure in questo modo, si tratterebbe solo di una difficoltà pratica, non di principio, e nulla toglierebbe alla generalità dell'argomento. Se, poi, qualcuno tira in ballo i limiti pratici del metodo scientifico dovuti all'impossibilità di costruire apparecchi troppo grandi, eccetera, gli faccio notare che nel Duecento eravamo ancora a monte di raffinatezze del genere. Sto solo usando un linguaggio appena più moderno per descrivere un ragionamento medioevale.

Il passo successivo è il riconoscimento che ciascuna delle cause, essendo essa stessa una cosa di questo mondo, deve per forza essere effetto di un'altra causa o insieme di cause, più remote. A questo punto non ho neppure bisogno di conoscere in dettaglio le cause precedenti: posso estendere all'indietro il ragionamento quanto mi pare, e ci sono due e due sole possibilità, di cui abbiamo già abbondantemente parlato, ma sulle quali ci conviene tornare un attimo.

La catena causale si arresta prima o poi.

La catena causale procede all'indietro senza fermarsi, all'infinito, come con le tartarughe che reggono i quattro elefanti.

Riflettiamo sul caso 1). La moderna cosmologia mostra come tutto l'universo conosciuto sia stato generato durante un evento, cui è stato assegnato il nome di "big bang". Non ci soffermiamo sulla natura di questo evento: pochi accenni verranno in altri capitoli, e poi ci sono i testi consigliati in bibliografia. Diciamo semplicemente: se le cose stanno davvero così (e i fisici sono in grado di elaborare scenari più articolati), dovrebbe essere scientificamente impossibile spingere la catena della causalità più indietro del big bang. Ma la necessità di mantenere il nesso causale ci costringe a pensare che il big bang stesso sia stato a sua volta l'effetto di un'altra causa. È questo il punto in cui potremmo far entrare in ballo una causa un po' anomala: la cosiddetta causa prima di cui abbiamo tanto parlato nel capitolo precedente.

Perché è anomala? Perché, per definizione, si tratta di una causa non-effetto di nessun'altra. La qual cosa, se non siamo troppo sofisticati sul piano logico e filosofico, ci porta a concludere: la causa prima dev'essere *causa non causata* o *causa di se stessa* (a ben vedere, è più o meno la stessa

cosa). Ecco: la pure e semplice esistenza di qualcosa non si spiega da sola per mezzo del principio di causalità, e bisogna ipotizzare la causa prima. Questa, per Tommaso d'Aquino, diventa la Causa Prima maiuscola, identificata con Dio. Badate: non con un'ipotetica Legge di Natura (maiuscola anch'essa) ancora sconosciuta, poiché tutta la natura – e quindi anche tutte le sue leggi – sottostanno alla causalità. La Causa Prima deve essere diversa qualitativamente da tutte le cause seconde, quelle normali, e, in particolare, ci si aspetta che sia di rango superiore. Da qui una serie di estrapolazioni del tipo: poiché tra le cause seconde ci siamo anche noi esseri umani, persone e intelligenti, la Causa Prima presenterà almeno le caratteristiche della *persona* e dell'*intelligenza*, se non addirittura qualcosa di più, e non chiedetemi cosa. Un criterio semplice per aggirare l'impossibilità d'essere troppo specifici in merito è infatti dire: l'aspetto fondamentale della Causa Prima è quello di possedere ogni attributo in misura infinita, con tutte le cautele di prammatica in qualsiasi genere di discorso sull'infinito, ma a quell'epoca nessuno lo sapeva. Insomma, applicando all'indietro il principio di causalità, si arriva non solo a dimostrare l'esistenza di Dio, ma pure le sue qualità di Persona con le maiuscole, eccetera, e, in ultima analisi, la conclusione è obbligatoria. Non stiamo parlando semplicemente di Dio, ma proprio di **DIO**.

Un momento: abbiamo lasciato appeso il caso 2), in cui la catena di causalità si estende all'indietro in eterno, senza mai interrompersi. Dobbiamo ragionare anche su questo, pur se molto lo abbiamo già detto nel capitolo precedente.

Quale può essere un esempio scientifico di una condizione del genere? Un caso molto semplice da individuare si trova nell'ipotesi secondo cui il big bang sia stato solo una sorta di rimbalzo da un preesistente universo il quale, anziché espandersi per sempre come sembra fare il nostro, si è contratto fino alla situazione singolare di *big crunch* o, secondo un'altra terminologia, *gnab gib* (è solo "big bang" scritto al contrario) in cui tutto cade su se stesso in un punto, annientando ogni struttura. Dunque, il big bang sarebbe stato l'effetto di un precedente gnab gib, e quest'ultimo l'effetto di una fase di contrazione di un universo più antico, e così via all'infinito. Un universo, cioè, esistente da sempre, e oscillante da un big bang all'espansione, al rallentamento fino a fermarsi, a una successiva fase di contrazione terminante con uno gnab gib, cui segue un rimbalzo-big bang dell'universo seguente, *per omnia saecula saeculorum*. Non chiediamoci se una visione del genere sia scientificamente difendibile (oggi come oggi, lo è solo con una lunga serie di "se" e "ma"), anche perché non è l'unica ipotesi compatibile con un universo esistente da prima del

big bang, con il conseguente regresso (all'infinito?) della causalità. Una situazione del genere eliminerebbe il problema di una causa prima?

Purtroppo, abbiamo visto come ragionare in questi termini non sempre sia dirimente. Soprattutto se ricordiamo l'esempio dell'espansione infinita di un universo già infinito, in cui l'applicazione rigorosa della matematica può far giungere a conclusioni opposte a quelle suggerite dal buon senso, con grave nocumento di quest'ultimo, come fanno fede le storie cliniche molto somiglianti di Cantor e Gödel. Vogliamo accordarci su quest'idea? La risposta alla domanda trascinata da due capitoli è un po' questione di opinioni. Io ribadisco la mia; non pretendo l'accordo del lettore, ma gli chiedo comunque di tornare a ragionarci ogni tanto per cinque minuti consecutivi in tutta semplicità, senza spremersi troppo le meningi (può essere pericoloso...). Per me, francamente, il regresso all'infinito non elimina la necessità logica di una causa prima. Ho già provato a elaborare il concetto servendomi di un gran numero di tartarughe e non vorrei diventare un rettile anch'io finendo per mordermi la coda. So che ogni ragionamento su questo punto non potrà mai giungere a conclusioni univoche e convincenti per chiunque. Pure, sono umanamente e scientificamente convinto di come il regresso all'infinito possa avere valore in quanto strumento matematico in circostanze ben specificabili, ma non in senso più generale, quando non sia possibile specificare proprio nulla. Non lo percepisco come il procrastinare abbastanza il pagamento delle tasse, da non doversene più occupare perché sarà problema degli eredi: l'insieme di ciò che esiste non ha, non dimostra (per me) scientificamente di possedere la qualità dell'esistenza senza causa, e spostare nel tempo il momento in cui si pone il problema, anche spostarlo all'infinito, non mi sembra possa risolvere un dilemma in cui si cerca di estrarre qualcosa di qualitativo per mezzo di un regresso quantitativo. Ma se il lettore non è d'accordo, pazienza! Non litigheremo per questo. Anche perché tutto il resto del libro mostrerà come io non mi senta affatto dogmatico su argomenti del genere. Forse, dunque, sarò più onesto se dirò che emotivamente il regresso all'infinito non mi convince.

Sia come sia, per la mentalità medioevale il problema sembrava ben posto e risolvibile. Pensandoci bene, se le cose erano semplificate così all'estremo, e l'eventuale regresso all'infinito non risolveva il problema qualitativo della causa prima, non si cadeva neppure nelle pastoie di dover ipotizzare a priori un qualche genere di finalismo. Assegnando un valore assoluto al principio di causalità, il ragionamento si reggeva da solo. E infatti, per diversi secoli, non fu possibile sollevare una critica logicamente ben fondata alla soluzione trovata da Tommaso. **DIO** esiste-

va senza ombra di dubbio. Intendiamoci: non che il paradigma dell'epoca prevedesse altrimenti, come ho già notato in precedenza. Nessuno s'interrogava davvero sull'esistenza di **DIO** in un'epoca così dominata dalla Chiesa, né i contadini né i dotti, e questo aveva probabilmente più forza cogente, rispetto a tutte le argomentazioni contenute nella *Summa Theologica*.

6.3. Forse, però, la logica non basta

Ma è proprio vero che non ci fossero problemi? Non del tutto. Certi indizi importanti suggeriscono come, almeno per quanto possiamo sospettare, qualcosa non andasse perfino a quei tempi. Altrimenti, l'Alighieri non avrebbe dedicato gli avelli infuocati della città di Dite a Epicuro e, più in generale, a coloro "...che l'anima col corpo morta fanno". Soprattutto, non ci avrebbe messo suoi contemporanei o quasi, come Farinata, messer Cavalcanti padre, il Secondo Federico, il Cardinale, e degli altri mi taccio. Si poteva benissimo essere atei pure a quell'epoca. Ma la spia secondo cui le prove di Tommaso erano meno vincolanti di quanto lui stesso pensasse viene forse dalla maretta insorgente, già all'epoca, tra Tommaso stesso e Bonaventura da Bagnoregio (quest'ultimo era denominato "*Doctor Seraphicus*"). Di cosa si trattava? Per chi non ci rifletta sopra, può sembrare la tipica bega fra pretonzoli di campagna, ma per il paradigma dei tempi non lo era e, come vedremo nel prossimo capitolo, forse non lo è neppure oggi. Elucidiamo, ultrasemplificato e trasportato in termini del mio povero glossario, l'argomento del contendere.

Una delle conseguenze della sistematizzazione tomistica era l'enunciato secondo cui: «La retta ragione può giungere alla prova dell'esistenza di **DIO**». Sembra inevitabile, no? Ma Bonaventura modificava la dizione come segue: «La retta ragione, con l'*illuminazione della Grazia*, può giungere alla prova dell'esistenza di **DIO**». Vale a dire: se **DIO** stesso non ci mette le mani, l'uomo, basandosi solo sulle proprie facoltà razionali, inquinate dalle conseguenze del peccato originale, non può affatto raggiungere la certezza della sua esistenza. Non era un dettaglio perché, di fatto, riportava a zero la situazione. Ma come mai a Bonaventura era venuta in mente una modifica così drastica? Personalmente ammetto di non saperlo, anche se sono certo che ottocento anni di studi religiosi avranno prodotto un gran numero d'ipotesi in merito, alcune senz'altro molto plausibili o dirimenti. Ma, come vedremo più avanti, il teologo di Bagnoregio (anzi: Civita di Bagnoregio; un posto da visitare senz'altro,

finché non rovina giù a valle) non sollevava il problema in modo del tutto arbitrario, almeno in vista di quanto sarebbe avvenuto di lì a qualche secolo.

Medioevo. Epoca di certezze religiose assolute... o no? Ma forse è il caso di aggiungere qualcosa. A questo punto del discorso, ormai dovrebbe essere chiaro al lettore il perché di un accorgimento da me già introdotto. Se Tommaso avesse posseduto un bagaglio culturale di tipo scientifico moderno, dopo la prova causale avrebbe probabilmente introdotto il concetto di *modello di DIO*, anche se, grazie al suo poderoso intelletto, gli sarebbe riuscita un'operazione di spessore culturale assai maggiore di quella da me tentata alla fine del precedente capitolo. Infatti, egli si rendeva ben conto dell'impossibilità, per la sola logica, di comprendere **DIO** in modo soddisfacente, in analogia all'attuale realismo fisico il quale, nonché **DIO**, non si pone neppure il problema di sapere come sia la natura in sé, ma solo quello di produrne dei modelli funzionali. Dunque, nella sua *Summa*, l'Aquinate avrebbe forse evitato di dedurre logicamente le caratteristiche di **DIO**, ma magari si sarebbe limitato a portare a compimento un'operazione un po' diversa: quella di definire operativamente alcune delle sue caratteristiche, così come le potrebbe interpretare il nostro intelletto per mezzo di modelli intuitivi semplici. Equivalenze funzionali, rispetto a comportamenti di tipo umano, ben comprensibili da noi, senza però domandarsi cosa vogliano significare realmente i concetti d'esistenza, persona, bontà eccetera, se applicati a **DIO**. Estrapolando, perciò, una possibile traduzione dei risultati di Tommaso nel mio linguaggio, diremmo forse questo: una rigida applicazione della causalità ci condurrebbe alla prova – per l'appunto causale – dell'esistenza di una causa prima. Dopodiché, il modello della causa prima ci convincerebbe che questa deve almeno comportarsi in base a specifiche funzionali da noi associate ai concetti di persona e intelligenza, meritando quindi le maiuscole, e via scorrendo. Si tratta di un ricamo ozioso su concetti medioevali, di nessun interesse al giorno d'oggi? Non ne sono sicuro; per lo meno, non al 100%.

Nel prossimo capitolo scopriremo come il ragionamento di base di Tommaso contenga un vizio formale, una sorta d'ipotesi a priori più o meno nascosta, sulla cui validità non è lecito pronunciarsi. Pertanto, le sue conclusioni diventano possibili ma non certe, senza per questo poter giungere ad affermare che siano sbagliate per forza. In vista di quanto seguirà, raccomando comunque al lettore di non trascurare il concetto di modello di **DIO**, perché potrebbe tornarci utile prima o poi.

6.4. Ricapitolando

Abbiamo appreso, da questo capitolo e da quello precedente, qualche lezione che valga la pena di sintetizzare in poche parole, per portarcela appresso? Se il lettore non è troppo contrario, forse possiamo buttare là il seguente punto:

A-VI) L'esistenza di qualcosa (l'universo e le leggi che lo governano) conduce spontaneamente al requisito logico dell'esistenza di una causa prima, senza però poter essere ancora molto specifici riguardo alla natura di quest'ultima.

7. PROLEGOMENI, STATISTICA E PESCATORI

7.1. Il mitico Immanuel!

Saltiamo a piè pari altri cinque secoli: siamo nel Settecento. Riforma e Controriforma sono alle spalle; diversi Stati europei si sono dotati della propria Chiesa nazionale svincolata da quella di Roma, l'unità culturale dell'Europa esiste ancora, ma è agli sgoccioli, si sta sfaldando. In mezzo millennio, Tommaso d'Aquino è stato criticato anche aspramente in ogni modo immaginabile, non nell'unico ragionevole. Ci pensa Immanuel Kant, detto, per la sua proverbiale precisione, "L'orologio di Königsberg" (non cercate su una carta geografica della Germania la città di Kant: ora è in Russia e si chiama Kaliningrad).

La filosofia non è una scienza esatta (empirica? meglio); dunque, non è necessariamente vero che ogni filosofo costruisca qualcosa di duraturo sulla base di quanto hanno detto i suoi predecessori così come, invece, avviene in matematica o, per fare un esempio più morbido ma comunque valido, in medicina. A volte, un certo numero d'idee introdotte dai vari filosofi inaridisce e muore con loro o con la loro scuola, mentre altre finiscono per affermarsi come traguardi indiscutibili, e restano patrimonio di tutta l'umanità. Quest'ultimo caso è ben illustrato da una parte del lavoro di Kant: *l'orologio*, infatti, ha portato alla luce un vincolo fondamentale cui deve obbedire il pensiero, un limite entro il quale è lecito applicare la logica, e al di fuori del quale non ha più senso farlo.

Nei capitoli precedenti mi sono dilungato sul principio di causa ed effetto, ma neanche troppo, perché il lettore – immagino – ha familiarità con questo strumento del pensiero. Qui mi preme d'insistere per l'ennesima volta su come la causalità sia molto più di un caposaldo della ragione: essa ne rappresenta la pura e semplice essenza. Abbiamo, infatti, visto la logica manifestarsi sempre come rigida applicazione di un nesso causale. Nelle situazioni cosiddette deduttive si è in possesso della causa o dell'insieme di cause, e se ne deduce l'effetto; il procedimento inverso si applica nelle situazioni induttive quando, in genere, ci si trova tra le mani un effetto, e si cerca di

risalire alle possibili cause di quest'ultimo. Non esistono situazioni diverse da queste o da una loro combinazione: di ciò vorrei convincere il lettore. Non con una prova inoppugnabile; non sarebbe nello spirito di questo libro. Gli chiedo solo di mettersi una mano sulla coscienza e rifletterci in onestà. Se, alla fine, sarà d'accordo con me, potremo proseguire il discorso; se non sarà d'accordo, si guardi un po' la mano...

Scherzi a parte: il fondamento della logica sulla causalità è particolarmente evidente in quella aristotelica, in cui una proposizione può essere solo vera o falsa, e *tertium non datur*. Ora, la logica moderna non è qualitativamente diversa, sebbene accetti proprio il famigerato *tertium* aborrito dai filosofi classici, vale a dire: la possibilità, per una proposizione, di essere indecidibile nel caso in cui, date le premesse, queste non siano sufficienti a ricavarne una conclusione unica. Scusate se insisto, ma è importante: spesso, le cause note sono compatibili con diversi effetti e, senza specificare un numero maggiore di cause, non si riesce a discriminare quale, tra i diversi effetti, tutti leciti, si darà per davvero. O viceversa, con un numero insufficiente d'effetti conosciuti. Mi sto riferendo a circostanze incontrate spesso nei film di fantascienza, quando il computer risponde, un po' seccato: «È inutile seguitare a chiedere cosa è successo all'astronave, perché non ci sono abbastanza dati per una risposta sicura!». È solo una generalizzazione della causalità aristotelica.

Qui s'innesta la critica di Kant a San Tommaso, riportata appunto nella *Critica della ragion pura* e ribadita nei *Prolegomeni a ogni futura metafisica* (ecco cos'è la parolaccia nel titolo del capitolo). Sempre traducendo, a beneficio mio e del lettore, in linguaggio e paradigma da praticante della fisica, l'argomentazione è la seguente.

La logica è l'applicazione rigida del principio di causalità. Dunque, come strumento, è adeguata a trattare solo le entità che obbediscano a questo principio. Orbene: la causa prima – maiuscola o minuscola, qui è irrilevante – non obbedisce per definizione alla causalità stessa, e infatti viene esplicitamente trattata come anomala poiché, in quanto *prima*, è un effetto senza causa o causa di se stessa. Ne consegue in modo semplice e, tutto sommato, convincente la scorrettezza metodologica commessa nell'applicare la causalità, e quindi la logica, alla causa prima. Per lo meno, io sono abbastanza convinto da questo modo di ragionare, e come me molti altri. Certo, la possibile infinità della causa prima complica il discorso, ma non nel senso di renderla più gestibile dalla logica.

Attenzione, però: l'argomento di Kant si ferma necessariamente a questo punto. Non è lecito andare oltre e trarne la conclusione: "...e perciò **DIO** non esiste" o, peggio ancora, "...e quindi la causa prima non esiste". Kant, re-

stando all'interno della logica e della causalità in modo corretto e rigoroso, afferma semmai: "...e quindi non è metodologicamente corretto affermare che la causa prima debba per forza avere certe caratteristiche, da noi apparentate al modo tradizionale di intendere **DIO**". Se preferite, in termini più moderni potremmo far concludere a Kant: "...ogni affermazione sulla causa prima è indecidibile".

Nella scuola superiore, alcuni insegnanti di filosofia amano dipingere Kant come un vendicatore della ragione contro l'oscurantismo di San Tommaso, e ne traggono la conclusione apparentemente ovvia: quindi Dio/**DIO** non esiste. Un tal modo di porre le cose è scorretto storicamente e logicamente. Kant non era affatto ateo; si limitava a essere agnostico, poiché riteneva di aver correttamente provato come, per mezzo della sola conoscenza logico-deduttiva, non sia possibile raggiungere alcuna sicurezza riguardo a Dio/**DIO** (tra l'altro, era pure un buon fisico, e quindi aveva le idee chiare sul metodo scientifico). Ma il suo famoso enunciato sulle uniche certezze assolute da lui possedute, e cioè: «Il cielo stellato sopra di me, e la legge morale dentro di me», è il tentativo estremo, stavolta meno convincente sul piano razionale, di raggiungere ugualmente la certezza dell'esistenza di **DIO**, non più come conseguenza logica della presenza di un cielo stellato, perché questa richiederebbe, appunto, una prova di tipo causale, ma piuttosto in base alla legge morale che **DIO** stesso avrebbe scritto nel cuore d'ogni essere umano, e quindi rappresenterebbe un contatto diretto con **DIO** al disopra di ogni necessità di dimostrazione. In fin dei conti, Kant si sarebbe potuto definire un sant'uomo, secondo ogni criterio.

Da Kant in poi, i filosofi (e tutti gli altri) sono dunque avvertiti: la prova causale di Tommaso si conclude con una serie di deduzioni arbitrarie e indecidibili. L'ipotesi nascosta a monte del ragionamento tomista, infatti, si potrebbe esplicitare come segue: "la logica è applicabile anche a una causa anomala come la causa prima". Kant afferma, invece, la scorrettezza metodologica commessa quando si cercano argomenti logici per sostenere la validità dell'ipotesi nascosta di Tommaso. Ripeto: non dimostra la necessaria erroneità delle conclusioni tratte in questo modo, per cui è vero l'opposto. Si limita a togliere forza cogente alle conclusioni stesse. Per quanto siamo autorizzati a dire, magari Tommaso aveva ragione. O, magari, aveva torto. Non lo sappiamo.

7.2. Superficialità statistica

E qui, qualche superficiale ha preteso d'innescare una prova statistica della non esistenza di **DIO** (o, meno ambiziosamente, di Dio?). Se poi que-

sto superficiale era pure uno scienziato, va solo a peggiorare la situazione, poiché l'argomentazione viaggia su un binario morto, e si schianta subito contro il muro della logica stessa. Ma in questo caso racconto solo il peccato, e non dico chi è il peccatore.

Prova, cosiddetta statistica, della non esistenza di Dio. Non sappiamo se la conclusione di Tommaso sia valida o no; diciamo allora così: c'è un 50% di probabilità che Dio esista, e un 50% per il caso opposto. Ma, pure se Dio esiste, con quale probabilità è proprio il Dio cui pensa Tommaso e non, per esempio, il Grande Spirito dei pellirossa? Per saperlo, dobbiamo dividere il numero 0,5 (e cioè il 50% di probabilità favorevole) per il numero totale di divinità alle quali l'essere umano è stato in grado di pensare in passato (o sarà, in futuro). Ora, siccome chiunque di noi è in grado di figurarsi un numero illimitato di divinità differenti, sostanzialmente o solo per dettagli, l'una dall'altra, il numero per cui dividere 0,5 è sconosciuto, ma in ogni caso è così alto, per cui la probabilità d'incappare proprio nel Dio dell'Antico e Nuovo Testamento (o qualsiasi altra divinità specifica) si rivela praticamente nulla. È come vendere un milione, un miliardo, un... pensate al numero più grande possibile e aumentatelo ancora di quanto volete, di biglietti della lotteria, ciascuno associato a una divinità diversa, e poi tirare una moneta per decidere se procedere all'estrazione o no. Viene testa? Non si estrae alcun numero, poiché testa corrisponde al 50% di probabilità per cui Dio non esiste affatto. Viene croce? Allora si estrae un numero, perché esiste un Dio, ma ancora non si sa quale. La probabilità di tirar fuori proprio il numero associato al Dio di cui si parla nel credo cattolico, o a Jahwé, o ad Allah, o a qualsiasi altra divinità identificabile, non sarà esattamente zero, ma ci siamo vicini. Magari, esce il numero corrispondente alla dea Kali... brutti tempi si preparano... In sostanza, aumentando il numero di divinità e di biglietti corrispondenti, si arriva a dimostrare come la probabilità di esistenza di un certo Dio, ben specificato in base alle sue note caratteristiche (al modello descrittivo), tende a zero, e come conseguenza pratica, qualunque sia il Dio cui stiamo pensando, egli non esiste comunque.

Dov'è l'errore logico nel ragionamento? Facilissimo: nell'assegnazione a priori delle probabilità, e uno scienziato dovrebbe saperlo bene. Spieghiamolo con un esempio. Un amico vi propone di giocare a dadi, tirando fuori dalla tasca i suoi. Accettate solo a condizione di porre le seguenti regole: voi scegliete per primi il numero su cui puntare, lui ne sceglie un altro e, se dal lancio non esce nessuno dei due numeri, la posta resta sul tavolo e si procede a un altro lancio. L'amico accetta e voi pensate di averlo fatto fesso, perché il calcolo è facile: sulle 36 combinazioni di facce possibili, il totale 7 uscirà con maggior frequenza, il 6 e l'8 un po' di meno, e sempre meno per to-

tali maggiori o minori (l'1 e il 12 usciranno ciascuno una sola volta su 36). Se, dunque, voi punterete sistematicamente sul 7, qualunque sia la scelta dell'amico, la statistica sarà comunque dalla vostra parte e finirete per vincere. Perciò, senza altre riflessioni, mettete sul tavolo una moneta da 1€ e il gioco inizia. Dopo una ventina di tiri, acchiappate l'amico per il bavero e gli dite: «Brutto disgraziato, io ti ammazzo!». Cosa è successo, per far mutare radicalmente il vostro stato d'animo? Semplice: sono bastati pochi lanci per capire una cosa semplicissima: i dadi sono truccati, ed esce più spesso il totale – diverso da 7 – scelto dall'amico.

Dunque, avete sbagliato nell'accettare la scommessa, ma dov'è stato il vostro errore? Nel ritenere verificata a priori un'ipotesi di cui neppure vi siete resi conto: secondo voi, i dadi erano perfettamente simmetrici e omogenei, per cui ogni esito sarebbe stato equiprobabile. Ma i dadi non lo erano; un pesetto di piombo interno, asimmetrico, rendeva certi esiti più probabili di altri. Ecco il problema di base: le leggi della probabilità si possono applicare solo nei casi in cui le condizioni del sistema siano già perfettamente note. La statistica, cioè, va applicata a posteriori e non a priori, e quindi non ha alcun valore per i casi di cui non si conosce nulla. Il ragionamento, rapportato all'esempio di Dio, richiederebbe, pertanto, di conoscere già da prima di impostare l'analisi statistica se Dio esista o no, e addirittura quale Dio esista. Non sapendolo, e non potendolo sapere per principio (come afferma giustamente Kant), qualsiasi assegnazione arbitraria di probabilità, per esempio una equiprobabilità come nella dimostrazione appena elucidata, rappresenta una violazione assoluta e globale della logica e della causalità, del tutto equivalente, come irrazionalità scientifica, all'affermazione alternativa: «Di conseguenza esiste un DIO, ed è proprio quello di Tommaso». Chiaro l'equivoco?

7.3. Due brevi digressioni

Prima di arrivare al discorso sul *pescatore di Eddington* (abbastanza divertente) vorrei tirare di nuovo in ballo Bonaventura di Bagnoregio. In fin dei conti, è come se lui avesse, in qualche modo, intuito le difficoltà della *retta ragione* nel giungere alla prova convincente dell'esistenza di Dio. Il suo codicillo "con l'aiuto della Grazia" va forse interpretato in questo contesto? Non me la sento, ovviamente, di affermarlo, ma è come se Bonaventura intendesse qualcosa traducibile, da noi moderni, più o meno, come segue: «Sì, la logica deve sospendere il giudizio quando arriva alla causa prima. O, per meglio dire, può definire l'esigenza di una causa prima, ma non può pro-

nunciarsi in merito a questa, e non è in grado di provare con certezza quanto servirebbe alla religione. Non può, cioè, dimostrare l'identificazione tra la causa prima, magari scritta con le maiuscole, e **DIO**. Ma, se la Grazia divina intervenisse, per esempio rassicurando il credente sulla liceità dell'uso della logica anche quando viene applicata alla causa prima (in fin dei conti, Kant non può dimostrare l'inapplicabilità della logica; si limita ad affermare: "non si può sapere se è applicabile o no"), allora ne conseguirebbero tutte le conclusioni di Tommaso, e le cose tornerebbero a posto, poiché potremmo costruire un modello di **DIO** contenente la descrizione di tutte le sue funzionalità nei nostri confronti». Beh, sicuramente Bonaventura non aveva in mente questo discorsetto così puntuale ma, forse, noi potremmo rifletterci. Tutto sommato, invocare l'intervento di **DIO** per convincerci che **DIO** esista è una procedura ammissibile perfino nell'ottica di Kant... dite di no? Ma questa è metafisica; basta di divagare.

Però, il pescatore le cui vicissitudini sto per rendere note al lettore deve aspettare ancora un attimo nella sua barchetta. Questo è, infatti, il momento di far mente locale su un aspetto del principio di causalità spesso implicito, nascosto tra le parole. Lo vedremo molto meglio più avanti, ma dobbiamo gustarne un assaggio fin d'ora. L'esistenza stessa della causalità implica un qualche genere di ordinamento temporale degli eventi. Deve, cioè, esistere il concetto di "tempo", anche se non è indispensabile che il tempo sia proprio quello con cui abbiamo familiarità o, per meglio dire, con cui crediamo di avere familiarità, poiché vale anche per noi quanto diceva Agostino d'Ipbona (ne abbiamo parlato, ricordate?): «Se ragioniamo, dando il concetto di tempo come scontato, non abbiamo difficoltà; se invece qualcuno ci chiede di spiegargli cosa intendiamo parlando di tempo, andiamo subito nel pallone» (traduzione *molto* libera). In sostanza, un'applicazione valida della causalità, e quindi pure della logica, deve partire necessariamente da una causa precedente l'effetto. Provate a rifletterci sopra per credere. Logica, causalità e ordinamento temporale sono tre amici, e vanno a braccetto. Se uno dei tre inciampa, cascano tutti e tre. Ma lasciamo l'argomento in sospeso e veniamo al pescatore.

7.4. E ora, tutti in barca

In campo scientifico, è molto popolare un apologo, immaginato dall'astronomo Eddington all'inizio del Novecento. Si tratta di una trasposizione in termini pseudo-scientifici dell'argomento di Kant, esteso, però, non solo alle circostanze in cui la causalità non sia applicabile, ma a qualsiasi caso in

cui il metodo scientifico si trovi in difficoltà di principio. Benché, essendo l'apologo del tutto generale, sia applicabile anche a eventuali entità naturali non causali di cui, grazie a Dio/**DIO**, ancora non abbiamo dovuto parlare, ma... lasciamo perdere. Dunque: c'è un pescatore...

Veramente, sarebbe più appropriato definirlo un ittologo sperimentale. Infatti, si presume che il pescatore mangi o venda i pesci tirati su; quello dell'apologo, invece, li studia. E, per poterli studiare, in primo luogo deve procurarsene. Parte dunque con la barca e, giunto al largo, butta la rete. È fortunato; quando la recupera, tira su un bel po' di pesci di diversi tipi. Se li porta vivi in laboratorio, in una grande vasca, e comincia a esaminarli uno per uno, in ogni dettaglio. Quando ha esaurito il suo studio (trascurando gamberetti, pinguini, foche, seppie, conchiglie, ricci...), ritiene di poter enunciare tre leggi di natura di tipo sperimentale:

Tutti i pesci hanno branchie.

Il pesce più grande mangia il più piccolo.

Non esistono pesci più corti di 5 cm.

Un momento: cosa succede? Ah, è chiaro! L'ittologo si è appena reso conto di un problema sperimentale: stava pescando con una rete dalle maglie larghe 5 cm. I lattarini, e la minutaglia in genere, sono colati dalla rete, e lui non ne ha trovato nessun campione. Dunque, delle tre leggi testé enunciate, le prime due sono *buone*, ovvero corrispondono a isomorfismi con la natura; l'ultima è *falsa*, e riflette solo l'inadeguatezza dei mezzi usati per studiare la natura stessa.

Ma siamo proprio sicuri di poter liquidare la questione così facilmente? Mica tanto! Poniamoci, infatti, la seguente domanda: se il nostro tornerà a pescare sempre con lo stesso equipaggiamento, potrà, un giorno, individuare una violazione a qualcuna delle tre leggi? Alle prime due, certamente sì. Se tirerà su un delfino (si tratta di un esperimento ipotetico, nessun animalista deve allarmarsi), troverà qualcosa avente le apparenze esterne di un pesce, pinne e tutto, a parte la coda per traverso ma, trattandosi di un mammifero, non avrà le branchie. In parole povere, il suo primo modello "tutti i pesci hanno branchie" conteneva un isomorfismo discreto, ma non perfetto, della legge di natura sottostante. E noi sappiamo come e perché, quando un modello è stato falsificato, esso vada sostituito con un nuovo modello in cui, nella fattispecie, si faccia distinzione fra osteitti (sono i pesci ossei), condroititi (gli squali, per esempo) e mammiferi marini. Oppure, pescherà un osteitto vegetariano; questo si nutrirà solo di alghe e non di pesci più piccoli. Tutto ciò, in fin dei conti, confermerebbe le prime due leggi in quanto isomorfismi, anche se piuttosto imperfetti, di principi operanti in natura; dire: «L'eccezione conferma la regola» è forse un po' troppo semplicistico, ma il proverbio contiene un fondo di verità.

Troverà mai, l'ittiologo, violazioni alla terza legge? No. Più proverà, più la troverà confermata, ma non per questo potrà giungere alla conclusione che si tratta di un fondamentale principio, cui la natura si conforma senza eccezioni. Infatti, l'insieme delle tre leggi si presenta contraddittorio. I pesci di appena 5 cm, i più corti mai pescati, quando sono stati immessi in vasca erano in perfetta buona salute, ma al passare dei giorni cominciano a mostrare segni di denutrizione fino a morire di fame.

«Benissimo», penserà l'ittiologo, in queste condizioni. «Anzi: malissimo! Infatti, tutto ciò mi fa sospettare l'esistenza di un mondo sottomarino a dimensioni inferiori ai 5 cm, laddove i pesci di questa misura mangiano quelli ancora più piccoli. Se disponessi di una rete a maglie più strette, potrei dimostrarlo sperimentalmente. Purtroppo, però, motivi contingenti, così formidabili da essere, all'atto pratico, quasi di principio, m'impediscono questo tipo di pesca e, di conseguenza, le mie congetture sono destinate a restare tali, perché la scienza m'impone l'obbligo della prova sperimentale. Peccato! Chissà qual è la scala di lunghezze più piccola per l'esistenza di pesci, e chissà... ho tante altre domande, la cui risposta non potrò mai sapere con certezza, ma solo come ipotesi!».

7.5. La scienza non si fa senza rete!

Andiamo per ordine: l'apologo di Eddington insegna diverse cose sul metodo scientifico, ma ci riporta pure a Kant. Qual è la rete ultima di cui disponiamo noi umani? L'intelletto, funzionante in base alla causalità. Ne dobbiamo forse concludere che, se dovessimo imbatterci, in natura, in qualche entità non causale, questa sfuggirebbe inevitabilmente alle maglie del nostro intelletto? Il discorso è forse un po' più complesso, e ci arriveremo per gradi, ma di sicuro l'apologo ci dice almeno una cosa: per fare scienza, è meglio mantenere la ricerca nell'ambito delle cause seconde senza indulgere alla tentazione di dire la nostra sulla causa prima. Non solo: il racconto è, più in generale, un importante pro-memoria per gli sperimentatori, in merito all'eventuale inadeguatezza dei mezzi sperimentali usati, rispetto agli scopi prefissi. Troppo spesso, si scambia l'assenza d'evidenza per evidenza d'assenza (e scusate se su certe cose mi ripeto, ma sono importanti) affermando: «Non l'ho trovato, quindi non esiste». È un'altra puntualizzazione basilare, ma mi costringe a torturare il lettore con una parolaccia nuova, come ho già fatto in passato. Il tipo di ragionamento ora sotto mano si chiama: *epistemologia*. Ha il suono di una malattia tropicale contratta in seguito alla puntura di un insetto lungo un metro e venti, ma la sua natura è molto più benigna. A volte.

In greco, *epistème* = *conoscenza*. Attenzione ora, perché il termine viene usato con sfumature leggermente diverse in differenti discipline scientifiche. Ma il nocciolo duro del concetto non cambia: un discorso epistemologico è un discorso riguardante il modo in cui è possibile acquisire conoscenza. Con questa premessa, forse nessuno si meraviglierà se definirò "di tipo epistemologico" alcune apparenti leggi di natura (mi riferisco al pescatore, e ai pesci più corti di 5 cm). Ora lo ripeto in parole povere.

Si dice "*epistemologico*" un certo aspetto di una legge di natura (meglio: del modello della legge stessa), quando le cose si presentano in un modo anziché in un altro a causa del particolare strumento usato per acquisire la conoscenza sperimentale necessaria a ricavare la legge stessa. Se, dunque, il mio patrimonio di conoscenza (e ciò vale sia per quella teorica, sia per quella sperimentale) fosse stato diverso, molto probabilmente sarei giunto a un'enunciazione diversa del modello della stessa legge, se non addirittura a un altro modello. Quindi, nel momento in cui uno scienziato si mette a parlare d'epistemologia, sotto sotto dev'esserci qualche problema di conoscibilità. Ma attenzione: deve trattarsi di un problema non indifferente, perché la scienza è abituata a trovarsi di fronte a casi in cui bisogna rinnovare il bagaglio di conoscenze e, quando arriva a prendersela con l'epistemologia, nove volte su dieci s'è già fatta male sbattendo contro un muro, perché a tale rinnovamento ostano gravi problemi, a volte di principio. Così grossi, da simulare la presenza di una vera e propria legge di natura, laddove c'è solo una lacuna nel nostro modo di recuperare o interpretare i dati sperimentali, e ciò pregiudica la conoscenza, se non addirittura la conoscibilità a priori, di quanto accade davvero nel mondo. Incontreremo casi del genere, specie trattando di... vedremo; non sperate di passarla liscia.

Dunque, delle tre leggi trovate dall'ittiologo, le prime due sono di natura ontologica, la terza epistemologica... come dite? Ah, non ho definito l'"*ontologia*".

Si può fare in modo semplice: è il contrario di epistemologia. Oppure, diciamolo in modo diverso: parliamo di ontologia, o di un aspetto ontologico della natura, nel momento in cui abbiamo sufficienti certezze sulla nostra base di conoscenza. Essa non è carente, e la nostra interpretazione è abbastanza isomorfa; dunque, è proprio la natura in sé a comportarsi in quel modo. In tal senso, le prime due leggi trovate dall'ittiologo sono leggi ontologiche, di natura. E il lettore noti: sto cominciando a usare indifferentemente due diciture come se fossero la stessa; *legge di natura* e *modello*. Infatti, chi ormai avrà acquisito abbastanza familiarità col metodo scientifico saprà che, anche quando non lo scrivo esplicitamente, il modello è sempre implicito laddove parlo di legge di natura. Per il momento non dico altro su questi ar-

gomenti; quando dovrò utilizzare i concetti in modo più estensivo, farò uno sforzo per richiamare gli elementi di linguaggio introdotti finora. Ora, comunque, dovrebbe anche essere più chiaro il significato della denominazione: “prova ontologica dell’esistenza di Dio”.

Avviandomi a concludere il capitolo, sento però di dover insistere sulle difficoltà incontrate dalla scienza, quando si trova di fronte a una miscela di leggi ontologiche ed epistemologiche. Prima o poi, almeno finora, è sempre stato possibile rendersi conto, magari al termine di un lungo processo intellettuale, che il *corpus* sotto esame conteneva contraddizioni interne non risolvibili e, pertanto, uno degli strumenti utilizzati per fare scienza aveva raggiunto i propri limiti. Ma badate: non sto parlando solo di strumenti sperimentali. In questo contesto, infatti, sottopongo di nuovo al lettore una questione già sollevata prima: «Se in natura esistessero fenomeni non congruenti con la causalità, la scienza se ne potrebbe accorgere?». Bella domanda, vero? E non è neanche tanto campata per aria, quanto potrebbe sembrare in questa fase del discorso. Purtroppo, per la risposta dobbiamo aspettare ancora un po’ di pagine.

7.6. Ricapitolando

Questo capitolo, anche se non lunghissimo, ci ha condotti attraverso un certo numero di concetti importanti. Riassumiamoli.

A-VII) Non tutte le affermazioni possono essere dichiarate vere o false. Molte sono semplicemente indecidibili.

B-VII) La causalità implica un ordinamento temporale, e le cause debbono precedere gli effetti.

C-VII) Parliamo di problemi epistemologici quando incontriamo difficoltà di principio, e non solo contingenti, nel descrivere un aspetto della natura.

Poi ci sono le limitazioni imposte alla scienza da queste considerazioni e conclusioni.

6-VII) La scienza non può, per la natura causale della logica, affrontare problemi connessi con la causa prima.

7-VII) In caso di fenomeni naturali in cui si dovesse presentare un’inversione della direzione in cui scorre il tempo, la causalità cadrebbe, e ogni conclusione scientifica diventerebbe ipotetica.

8-VII) Nel caso di problemi epistemologici, la scienza non può raggiungere certezze neppure su fatti riguardanti il gioco delle cause seconde.

8. COS'È IL MECCANICISMO

8.1. Tre leggi per tutto l'universo

Per due capitoli ho annaspato in un campo dello scibile, la filosofia, a me purtroppo quasi del tutto estraneo, nel tentativo di tradurre in un linguaggio più confacente al mio concetti con i quali ho poca dimestichezza. Una puntata così breve non basterà, e sarò costretto prima o poi a tornare in immersione; per il momento, ho bisogno di prendere una boccata d'ossigeno e aggrapparmi a una zattera di salvezza più maneggevole, ripercorrendo un po' di storia della scienza.

Come già sappiamo, all'inizio del Seicento Galileo cominciò ad applicare in maniera sistematica il metodo sperimentale e a descrivere matematicamente i propri risultati. Vivendo in un'epoca in cui la scienza doveva partire quasi da zero, il Pisano trascorse l'intera sua vita a edificare le basi della fisica. Non disponeva neppure di orologi dignitosi, poiché quelli a pendolo vennero a valle, e non a monte, della sua opera, ed escogitò modi di misurare il tempo per noi quanto meno originali. Figlio di un musicista (Vincenzo), e possedendo come dote genetica un orecchio ben congegnato per il ritmo, creò improbabili strumenti musicali da usare come cronometri. Faceva rotolare palline giù per i piani inclinati, e queste andavano a sollecitare campanelle, da spostare avanti e indietro finché il suono non avesse il ritmo giusto. In questo modo, Galileo ricavava indicazioni piuttosto precise sulla temporizzazione dei passaggi delle palline per traguardi posti a distanze fissate. Tanto per dire quante cose doveva inventarsi. In sostanza: pure se i suoi risultati scientifici presuppongono una comprensione totale di almeno due delle tre leggi fondamentali cui obbedisce il moto di qualsiasi oggetto (anche se in quiete), in assenza o in presenza di forze esterne, non giunse mai a scrivere una enunciazione organica e matematica per la seconda legge della dinamica (la prima gli appartiene), pure se ci andò molto vicino.

Solo assai più tardi, tra la fine del Seicento e l'inizio del Settecento, Newton formalizzò definitivamente queste tre leggi, e andò ben oltre, scoprendo l'espressione matematica per la forza di gravità. Inoltre, poiché la velocità,

l'accelerazione e molte altre grandezze fisiche non si mantengono costanti nel tempo, ma possono variare, fece ancor di meglio. Gli strumenti matematici della sua epoca, infatti, erano insufficienti a trattare i casi più generali incontrati in natura, e Newton risolse perfino quest'ultimo problema. Inventò il cosiddetto "*calcolo delle flussioni*", poi "*calcolo infinitesimale*" (oggi "*calcolo differenziale*"), per mezzo del quale è possibile formalizzare le circostanze in cui una quantità fisica si modifica al passare del tempo (e molto più di questo). In tale scoperta, dichiarò a gran voce di aver preceduto Leibniz il quale, siccome Newton ancora non aveva pubblicato nulla di quanto trovava, non era al corrente dei suoi risultati, e li aveva comunque scoperti da sé (con ogni probabilità prima di Newton). Infatti, negli anni successivi, ci fu gran polemica tra i due per la priorità dell'invenzione (il lettore noti come, parlando di innovazioni matematiche, utilizzo indifferentemente i due termini *invenzione* e *scoperta*, in coerenza con quanto dissi qualche capitolo fa riguardo alla mia incapacità di decidere se la matematica esista in sé, o sia invece un parto dell'umano intelletto). Noi moderni abbiamo riconosciuto, nel modo di procedere di Leibniz, un'impostazione più corretta sul piano formale e lo poniamo, infatti, alla base del calcolo differenziale di oggi, ma pure le flussioni di Newton andavano grosso modo bene per i casi d'interesse fisico trattabili ai suoi tempi.

Per tutto il XVIII secolo, la fisica procedette trionfalmente lungo i binari tracciati da Newton (e Leibniz). Questo poté avvenire perché, se ci si limita a considerare il moto degli oggetti sotto l'azione della forza di gravità o di altre forze di tipo meccanico (molle, ecc.), le tre leggi newtoniane, la cui denominazione ufficiale è "*principi della dinamica*", descrivono la totalità dei casi conosciuti a quell'epoca, e il calcolo differenziale, talvolta definito semplicemente Calcolo con la maiuscola per la sua enorme importanza in fisica, è adeguato a trattarli in ogni loro varietà (almeno in linea di principio). Dunque, oltre alla sperimentazione (la quale, però, per un certo periodo servì essenzialmente a confermare e migliorare sul piano quantitativo la comprensione di comportamenti della natura già noti, anziché a scoprirne di radicalmente nuovi), si svilupparono gli aspetti formali, matematici e simbolici, di quel ramo della fisica oggi definito "*meccanica razionale*". Il Calcolo venne liberato da residui angolini bui, e reso di più rapido e generale utilizzo mediante notazioni compatte; il terrore e la maledizione di chi si accosta alla matematica laddove, in realtà, esse rappresentano potenti semplificazioni quando uno ci abbia fatto un minimo d'abitudine. Altri fenomeni fisici, come quelli riferibili al calore, all'elettricità e al magnetismo, erano invece, all'epoca, piuttosto mal compresi sotto il profilo teorico, e ci si dedicava un gruppo ristretto di sperimentatori, spesso in modo disordinato, non tanto

nella speranza di teorizzare qualcosa di definitivo, ma cercando almeno di mettere assieme un *corpus* osservativo il più ampio possibile, nella ragionevole persuasione secondo cui i posteri, col tempo, ne avrebbero cavato fuori un modello generale, sensato. Come, in effetti, avvenne poi.

A mio modo di vedere, se saltassimo all'indietro nel tempo e ci ponessimo nell'ottica di uno scienziato della fine del Settecento, ragionevolmente saremmo tentati pure noi di accettare la meccanica razionale come scienza onnicomprensiva e definitiva, cui nessun fenomeno naturale può sfuggire. Una sorta di piccola "teoria del tutto". Date le conoscenze dell'epoca, era abbastanza ovvio assumere istintivamente la descrivibilità completa dell'intero universo conosciuto in base alle leggi di Newton, e un sapientissimo e importantissimo fisico e matematico dell'epoca della Rivoluzione francese, Pierre Simon de Laplace, dette voce al concetto nascente di *meccanicismo* con parole da me tradotte (interpretate) liberamente come segue: «Se qualcuno potesse conoscere esattamente la posizione e la velocità di ogni particella costituente l'universo in un dato istante, avrebbe la possibilità teorica di prevedere ogni avvenimento futuro fino all'infinito, e di ricostruire ogni avvenimento passato risalendo all'origine dei tempi (o all'infinito)». Lo stesso Laplace, rispondendo a Napoleone, il quale gli aveva chiesto perché, nei suoi scritti, non menzionasse Dio, affermava: «Vostra Maestà: non ho avuto bisogno di quest'ipotesi». E aveva perfettamente ragione, perché si deve fare scienza senza mescolarci Dio. Poi, a qualcuno piace interpretare la frase come una dimostrazione della non esistenza di Dio... ma sono fatti suoi.

Questa è l'essenza del meccanicismo: la certezza secondo cui le leggi della meccanica razionale contengono una descrizione potenzialmente totale dell'universo nel suo divenire. E si noti: ho usato la dizione "potenzialmente" per chiarire che nessuno, a partire dallo stesso Laplace, pretendeva di tradurre in realtà tale descrizione, a causa delle difficoltà insormontabili sul piano pratico nel cercare di misurare posizione e velocità di ogni particella dell'universo. Anzi: a tal proposito, vale la pena di richiamare l'attenzione su difficoltà di principio, non superabili. Giusto per interrompere la monotonia del discorso, racconto una curiosità, una specie di piccolo sofisma.

8.2. Un piccolo gioco di logica

Oggi, abbiamo familiarità col mondo dell'informatica, e ci verrebbe spontaneo identificare l'ipotetico *qualcuno* di Laplace con un computer, in grado di eseguire calcoli a velocità fantastica, applicando le leggi della

meccanica razionale a un insieme sempre più ampio di oggetti, per prevedere il corso futuro del loro moto. Ma questo sistema d'elaborazione dovrebbe contenere, come minimo, abbastanza memoria da immagazzinare, per ogni particella considerata, almeno sette dati numerici in senso lato: le tre coordinate della posizione lungo i tre assi dello spazio tridimensionale, le tre componenti corrispondenti della velocità, e infine la massa. Sono queste le quantità fisiche rilevanti. Quindi, volendo estendere il criterio all'intero universo, la memoria del computer dovrebbe contenere più unità di memoria di quanti oggetti ci siano nell'universo stesso (se quest'ultimo è finito, perché in caso contrario si può dimostrare la fattibilità dell'operazione... lasciamo perdere!), poiché ogni unità di memoria immagazzina, per definizione, una sola informazione e, per essere precisi, una sola cifra binaria, ma su questo torneremo più avanti. Dunque, pur supponendo che una cifra binaria sia sufficiente (e non lo è) alla bisogna in esame, un universo contenente N particelle dovrebbe contenere $7N$ unità di memoria per incamerare i dati necessari a eseguire i calcoli di cui parlava Laplace, e già a questo punto saremmo di fronte alla prima impossibilità di principio, a un paradosso ben chiaro già lavorando con un numero finito di oggetti. Ma anche volendo ignorare il paradosso, avvalendoci delle possibilità virtualmente illimitate di un ipotetico computer quantistico (un oggetto di cui faccio il nome a questo punto, senza però poter accennare a cosa si tratti), ne incontriamo immediatamente un altro, e cioè il vero e proprio sofisma preannunciato. Infatti, il computer nel suo insieme non potrebbe evitare di interagire col resto dell'universo, magari semplicemente scambiando calore per esigenze di raffreddamento dei propri componenti interni. Per di più, tale interazione sarebbe diversa per differenti configurazioni interne del computer stesso, influenzando un po' gli altri oggetti: proprio quelli dei quali il computer sta calcolando le proprietà dinamiche future. Giungiamo dunque al secondo paradosso: affinché il sistema di calcolo sia in grado di prevedere lo stato dell'universo in un determinato istante del futuro, esso dovrebbe poter calcolare non solo posizione e velocità di ogni particella esterna, ma anche conoscere in anticipo la sua propria configurazione interna in quello stesso istante. La chiave del paradosso è qui, e la ripeto pari pari: in ogni istante del presente, il sistema dovrebbe aver già calcolato la propria configurazione interna anche per ciascun istante del futuro. Detto in modo ancora diverso: se, in un momento a nostra scelta, definito adesso, il computer deve prevedere come sarà l'universo tra un secondo, dovrebbe anche riuscire a calcolare già adesso come sarà il proprio stato interno tra un secondo, quando però ci si attenderà da lui la

previsione di cosa dovrebbe avvenire a due secondi da adesso. E, per poterlo fare, il computer dovrebbe già conoscere adesso il proprio stato interno tra due secondi, mentre starà calcolando lo stato dell'universo a tre secondi da adesso, e per fare ciò dovrebbe già conoscere il proprio stato interno... e così via all'infinito. Insomma, per prevedere lo stato dell'universo in un qualsiasi istante futuro, il sistema di calcolo dovrebbe aver già calcolato adesso il proprio stato interno per tutto l'infinito futuro, e da tale problema logico irrisolvibile si potrebbe uscire (forse) solo ipotizzando una velocità di calcolo infinita per il computer; la qual cosa, ovviamente, ci riporta ai paradossi sull'infinito, cui possiamo sommare anche questo.

8.3. E allora, che fine fa il *libero arbitrio*?

Concluso il sofisma, torniamo al meccanicismo, insistendo perché il lettore noti come l'essenza di questo paradigma non sia nella possibilità concreta di utilizzarlo per scopi pratici, ma piuttosto nell'affermazione secondo cui tutto, nell'universo, è predeterminato da sempre. Per intenderci: meccanicismo e libero arbitrio si escludono a vicenda. Nel caso in cui la natura avesse adottato il meccanicismo a proprio fondamento, la nostra percezione di essere liberi di decidere sarebbe solo una conseguenza dell'impossibilità pratica di prevedere le nostre mosse future, ma ciò non vorrebbe dire che queste non siano già predeterminate, anche se non sappiamo ancora in qual modo lo sono, e lo scopriremo via via, al passare del tempo.

Il lettore può obiettare: «Dal Settecento in poi, il progresso scientifico è stato enorme, e dunque non ha senso restare ancorati al meccanicismo». Ha ragione e torto. Discutiamone in prima approssimazione, anche se dovremo tornarci su.

È vero: il meccanicismo è sorto alla fine del Settecento sulla base dei successi della sola meccanica razionale, intesa come una branca ben precisa della scienza fisica, mentre, all'epoca, l'elettromagnetismo e la termodinamica erano ancora molto lontani dall'aver raggiunto una formalizzazione altrettanto soddisfacente. Cosa è avvenuto nei secoli successivi? Si sono scoperti nuovi fenomeni fisici, e questi hanno modificato sostanzialmente il paradigma del meccanicismo? Vediamo: sarà lo stesso lettore (quello dell'obiezione) a decidere, sulla base delle informazioni fornite in questa breve digressione sulle *unificazioni*.

8.4. La LEGGE è LEGGE. In eterno

La fisica ha svelato oggi molte delle leggi cui la natura obbedisce, sia pure sotto forma modellistica, come già chiarito nei capitoli precedenti, e altre ne svelerà ancora in futuro. Come primo esempio, resto per il momento sull'interazione gravitazionale fra tutti gli oggetti dotati di massa. Ciascuno di noi ne ha esperienza diretta e, sebbene alcuni possano non conoscerne il modello matematico più avanzato, contenuto nella teoria della relatività generale (prima o poi salterà fuori), è ovvia per ciascuno di noi la relazione tra la gravità e, per dirne una, le scaffalature: l'esistenza di queste ultime si giustifica in base alla tendenza dei libri, e dei ninnoli in genere, a non restare al loro posto qualora vengano depositati a mezz'aria. Tanto basterebbe per capire il ragionamento venturo, ma preferisco portare come esempio anche un'altra interazione (o forza) diversa dalla gravità.

Sempre lo stesso lettore è soggetto (ipotizzo) alla fatturazione periodica dell'energia elettrica consumata nella propria abitazione. Potrà forse sollevare lamentele in merito all'ammontare delle cifre richieste dall'ente erogatore, ma non sull'esistenza della fatturazione in quanto tale. La cultura tecnologica in questo arco storico, infatti, è profondamente radicata nell'uso dell'elettricità, e tutti ne siamo utenti, per far funzionare molte apparecchiature e rendere la vita più confortevole se non, semplicemente, possibile. Un tipo di percezione immediata e sensibile dell'elettricità sarà pure occorsa a qualcuno, toccando un filo elettrico spellato, anche se in questo caso l'esperienza diretta non sarà stata un bene in sé. La *scossa* riportata avrà suffragato la convinzione secondo cui, al di là di ogni discussione filosofica concepibile, la qualità scorrente nei fili può ben essere capace di azionare un motore, a sua volta in grado di esercitare forze non trascurabili.

Ebbene: già sappiamo come Newton ed Einstein abbiano matematicamente formalizzato il modello descrivente l'interazione di gravità. Aggiungiamo pure questo: Maxwell, negli anni attorno al 1870, riuscì a ricavare le equazioni descriventi in modo esaustivo tutti i fenomeni elettrici e magnetici noti, mentre Boltzmann, più o meno nello stesso periodo di tempo, fu in grado di ricondurre i fondamenti della scienza del calore (termodinamica) alla meccanica newtoniana.

Possediamo dunque, oltre alle tre leggi della dinamica per descrivere il moto di ogni oggetto sotto l'azione di una forza qualsiasi, altre due leggi di natura, in forma modellistica, una per la forza di gravità e l'altra per l'interazione elettromagnetica, e altre leggi ancora, costituenti un model-

lo ben funzionante della termodinamica e delle forze attivabili per mezzo di questa. Grazie a questo insieme di leggi siamo in grado di prevedere l'esito quantitativo di ogni esperimento gravitazionale, elettromagnetico, termodinamico o misto in senso lato, realizzabile in pratica con le tecnologie di cui disponiamo oggi e, verosimilmente, pure con quelle più sofisticate di cui disporremo in tempi a venire. Insisto su questo punto: le leggi di forza non si limitano a fornire indicazioni generiche su quanto dovrebbe accadere, ma ne fanno previsioni quantitative assolutamente precise, nei limiti delle incertezze sperimentali. Non c'è solo il modello intuitivo, ma anche quello matematico, e quest'ultimo è, per l'appunto, quantitativo.

Avendo appreso un po' del passato, cerchiamo d'indovinare cosa avverrà in futuro, sempre tenendo presenti i limiti imposti dal metodo scientifico (attenzione: da parte mia, questo è solo un modo di tirare le sorti; non sto cercando di applicare davvero il meccanicismo, per inciampare subito nelle stringhe delle mie scarpe). Lungo quali, tra tutte le possibili direzioni, ci aspettiamo lo sviluppo della fisica dei prossimi secoli? Anche questo paragrafo fa parte della digressione: in realtà sto sempre puntando verso il meccanicismo e voglio chiarirne ulteriormente la portata, ma occorre basare le proiezioni, di volta in volta, su idee già introdotte e ormai consolidate e assimilate. Affermo, perciò, la mia incapacità di antivedere in dettaglio dove condurrà la fisica tra un secolo o due, poiché i risultati sperimentali inattesi rappresentano la norma invece dell'eccezione, ma di certo è possibile individuare, fin da oggi, alcune linee secondo le quali i fisici si attendono un progresso sostanziale, almeno in termini di probabilità e speranza. La più gettonata di queste linee tende alla unificazione delle interazioni.

Non c'è nulla che debba far rizzare i capelli: un minimo di pazienza e sarà tutto più semplice. Ripartiamo dal momento in cui abbiamo parlato della forza di gravità, e abbiamo poi sostituito il termine *forza* con quello di *interazione*. Per il momento, come ho anticipato, il lettore può assumere questo secondo termine in quanto del tutto equivalente al primo, ma si capirà pian piano come esso sia rivestito di sfumature più generali. Comunque, di due interazioni d'esperienza comune abbiamo appena detto: gravitazionale ed elettromagnetica. Aggiungiamone altre due, poiché sono state finora scoperte almeno le interazioni fondamentali della natura cosiddette "*debole*" e "*forte*", definita quest'ultima anche "*di colore*". Purtroppo, per le interazioni di più recente scoperta, non possiamo sperare in alcuna esperienza sensibile immediata a parte l'esplosione di una bomba atomica (non è del tutto vero, perché consumiamo energia elettrica pro-

dotta da centrali nucleari nelle quali si sfruttano praticamente queste due interazioni), non essendo queste percepibili nel mondo macroscopico cui siamo abituati, mentre dispiegano tutta la loro potenza nei nuclei atomici, e giocano quindi un ruolo per nulla indifferente nell'esistenza dell'universo così com'è. Non fa quindi meraviglia che lo studio sperimentale di queste interazioni abbia dovuto attendere lo sviluppo di supermicroscopi (gli acceleratori di particelle), e la nostra conoscenza quantitativa delle loro leggi descrittive è, in qualche caso, ancora non del tutto soddisfacente, sebbene sia già talmente progredita da riuscire a prevedere fenomeni che perfino gli acceleratori più potenti dei nostri giorni non sono ancora in grado di produrre. Ma esistono altre interazioni fondamentali di natura? Oggi come oggi posso rispondere solo *ni*. Infatti, proprio al volgere del millennio, è sorto il dibattito, ancora non risolto con soddisfazione unanime al momento in cui scrivo, se l'accelerazione osservata nel movimento di espansione generale dell'universo sia da addebitarsi a una quinta interazione fondamentale della natura (per il momento, ad alcuni piace definirla "*quintessenza*" per il gusto di una reminiscenza medievale), o si debba considerare soltanto come un caso particolare, repulsivo, della interazione di gravità, descrivibile quindi per mezzo di un modello ormai noto, e cioè le equazioni della relatività generale di Einstein. Tra l'altro, proprio lo stesso Einstein aveva da tempo introdotto nelle sue equazioni un termine repulsivo, per cercare di risolvere un problema dimostrato poi inesistente, dovuto a un paradigma allora di moda. Siano dunque quattro, cinque, o ancora di più le interazioni in base alle quali la natura ha deciso di far funzionare l'universo, esistono tali somiglianze tra le loro formulazioni matematiche oggi conosciute (potremmo dire: tra i loro modelli) da far sospettare l'esistenza di una legge fisica generale, comprendente e descrivente tutte le interazioni assieme, di cui le leggi conosciute ai nostri giorni dovrebbero essere solo casi particolari. Per chiarire questo punto, occorre di nuovo tornare indietro nel tempo di qualche secolo.

A noi moderni non sembra strana l'idea secondo cui il cadere di una mela dall'albero, e il moto della Luna attorno alla Terra, siano due diverse manifestazioni della stessa interazione. Ma, prima di Newton, la cosa non era ovvia per nulla. In particolare, gli sperimentatori avrebbero potuto, e in una certa misura lo avevano fatto, ricavare leggi di natura diverse e indipendenti per i due fenomeni. Galileo, lavorando sui piani inclinati, aveva già formulato la relazione tra i tempi di caduta e gli spazi percorsi in un campo gravitazionale: lo spazio è proporzionale al tempo di caduta elevato al quadrato. Più o meno negli stessi anni, Keplero ricavava, in base a osservazioni astronomiche, tre leggi relative a tempi, spazi, velocità

di percorrenza ed ellitticità per le orbite dei pianeti attorno al Sole. Dopo le scoperte di Newton, fu però possibile dimostrare come, sia le leggi di Galileo, sia quelle di Keplero, siano conseguenze dirette dell'unica legge d'interazione gravitazionale in casi particolari. Le prime si riferiscono alla caduta di un oggetto con accelerazione costante, le seconde al moto orbitale di un pianeta nel campo gravitazionale del Sole. Dunque, la teoria di Newton consentì di giungere a una prima unificazione tra due interazioni apparentemente scorrelate tra loro.

Veniamo a un esempio diverso di unificazione. Gli antichi greci avevano notato come una bacchetta di ambra (*elektron*), sfregata contro la lana, poteva attrarre oggetti leggerissimi, per esempio palline di sambuco disseccate. Allo stesso tempo, si erano accorti di alcune strane proprietà di un minerale di ferro, definito "*magnetite*" per esserne i principali giacimenti nei pressi della città di Magnesia in Asia Minore. Due pezzetti di magnetite si attraggono tra loro ma, se uno dei due viene ribaltato, i due frammenti si respingono. Quale relazione poteva esistere tra l'ambra e la magnetite? A priori nessuna. E le cose non progredirono molto fino a tutto il Settecento, quando le prime macchine elettrostatiche a strofinio, con le loro piccole scintille, già facevano pensare a una sorta di relazione tra l'elettricità e i fulmini e, del tutto indipendentemente, qualcuno aveva notato come, durante le tempeste, quando scocca il fulmine, l'orientamento dell'ago della bussola (vale a dire un oggetto magnetizzato) tende a scartare all'improvviso. Elettricità e magnetismo sono correlati? Solo dopo Alessandro Volta, il quale inventò e riuscì a rendere di uso pratico la sua famosa pila (il primo, efficiente generatore di corrente elettrica), gli sperimentatori poterono dimostrare in modo definitivo, e senza più dubbi, l'esistenza di una relazione sistematica tra l'elettricità e il magnetismo. Da ultimo, abbiamo già visto come Maxwell riuscisse a rendere in forma matematica il modo in cui le due interazioni sono solo manifestazioni diverse di un'unica caratteristica della natura. Tra l'altro, le sue equazioni descrivono anche il fenomeno fisico definito *luce*, come un intersecarsi di onde di elettricità e magnetismo. Altra unificazione, e stavolta fra tre aspetti della natura. Poi, circa un secolo dopo, nei decenni 1960-80, si riuscì a dimostrare, teoricamente e sperimentalmente, qualcosa di già più oscuro per i non specialisti: l'interazione nucleare debole, e quella elettromagnetica, sono in realtà governate da un'unica legge, detta dell'interazione "*elettrodebole*", di cui le equazioni di Maxwell, e quelle dell'interazione debole prese separatamente, sono solo casi particolari. Nell'intervallo Kelvin (ricordate?), ovvero nelle condizioni ambientali cui siamo abituati sulla superficie terrestre, elettricità e interazione debole si manifestano in

modo profondamente diverso tra loro; ad altissime densità e temperature, invece, sono la stessa cosa. Altra unificazione. Con uno sforzo ulteriore, i fisici hanno anche costruito il cosiddetto Modello Standard: un *corpus* semiempirico talmente importante per cui, a volte, gli vengono riservate le iniziali maiuscole. Questo modello ancora non può definirsi una teoria completa, ma è la punta più avanzata della fisica al volgere del millennio, e almeno fornisce un unico contesto di riferimento per le tre interazioni: elettromagnetica, debole e forte (o di colore). L'espansione e il completamento del Modello Standard sono già stati battezzati preventivamente col nome: "Teoria di Grande Unificazione" (TGU o GUT, all'inglese, e ne ripareremo). Questa ipotetica teoria descriverà in modo completo e unificato le tre interazioni di cui sopra. Seguirà, in tempi forse molto più lunghi (e, per essere onesti, non siamo neppure certi in modo assoluto della fattibilità dell'impresa), l'unificazione tra la GUT e la Relatività Generale (per l'interazione gravitazionale). A quel punto, dovremmo avvicinarci – ma qui annaspiano nelle sabbie mobili – alla Teoria unificata del Tutto (TdT). Succederà mai? Mi piacerebbe; se però mi ci dovessi giocare qualcosa, non abbonderei troppo, nel timore che qualche mio lontano erede imprechi contro di me nel dover pagare gli scommettitori vincenti. Infatti, a seconda di come si presenterà, quest'ultima teoria potrà pretendere le iniziali maiuscole o, più verosimilmente, dovrà contentarsi di essere una teoria del tutto minuscola, vale a dire: una teoria di molto, ma non proprio tutto...

Abbiamo percorso un lungo giro, ma la digressione è finita e sto tornando al meccanicismo. Comunque vadano le cose, supponiamo di poterci finalmente trovare in possesso di questo benedetto modello unificato di tutte le interazioni di natura. Ricordiamo pure altre cose importanti: esso avrà le caratteristiche, per l'appunto, di un modello del comportamento del mondo, senza pretesa di descrivere esattamente la realtà, ma, come modello, sarà comunque soddisfacente, in quanto consentirà previsioni quantitative, magari solo in termini statistici, come vedremo più avanti. Per gli scopi proposti qui, definiamo questo modello generale come **LEGGE** tutta maiuscola, se lo meriti o no, e cerchiamo di capire se, in base ai progressi già realizzati e a quelli ancora *in fieri*, sarà lecito quel giorno considerare valido il meccanicismo, o se tale paradigma dovrà essere superato e/o sostituito da qualcos'altro. Il prossimo capitolo sarà dedicato a questo tipo di problema; per ora limitiamoci a ragionare come segue.

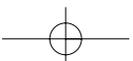
Le leggi della dinamica newtoniana mettono in relazione, come già detto, il moto dei corpi con le forze agenti su di essi. Ai tempi di Newton

e di Laplace, solo la forza gravitazionale era stata compresa abbastanza bene; oggi sono comprese più o meno bene la bellezza di quattro (o cinque?) leggi di forza, e si pensa addirittura in termini di una sola **LEGGE** per riassumere tutte le interazioni conosciute. Ma, alla fin fine, sempre di forze o interazioni si tratta. Che si debba considerare solo quella gravitazionale, oppure aggiungere il contributo di quella elettrica, magnetica e via discorrendo, il sistema di equazioni da risolvere per ridurre tutta la realtà in termini meccanicistici diventerà sempre più complicato dal punto di vista matematico, ma non sembra siano state finora introdotte nel nostro gioco concettuale delle nuove *qualità*, onde la natura generale del problema ne venga radicalmente modificata. È d'accordo il lettore, almeno fino a questo punto? Dunque, per il momento ci teniamo ben stretto il meccanicismo e concludiamo il capitolo.

8.5. Ricapitolando

A-VIII) Il *meccanicismo* è il paradigma secondo cui, qualsiasi fenomeno si verifichi nell'universo, esso è conseguenza inevitabile e, soprattutto, prevedibile (in teoria) delle leggi della meccanica e, più in generale, della **LEGGE** descrivente le varie interazioni (forze) esistenti.

B-VIII) Pur non potendosi realizzare in pratica alcuna prevedibilità, in base al meccanicismo, tutto è predeterminato da sempre. Il Dio predeterminatore si serve forse del meccanicismo?



9. IL TERRIBILE CAOS DETERMINISTICO

9.1. Qualche idea sul *determinismo*

Abbiamo concluso l'ultimo capitolo generalizzando un po' il meccanicismo, ma comunque presentandolo sotto una forma ragionevole anche per Laplace: lui l'avrebbe riconosciuto perfino in questi termini. Accettati i principi della dinamica newtoniana in quanto necessari e sufficienti a descrivere ogni movimento, e conosciute posizioni, velocità e masse di ogni oggetto nell'universo, l'applicazione della **LEGGE** di forza (o interazione), già nota o da trovare, di cui stiamo via via scoprendo sempre nuovi aspetti, dovrebbe consentire in modo rigido, e senza scappatoie, il calcolo del passato e del futuro, da sempre e per sempre, dell'intero universo. Chi abbia letto qualcosa sul meccanicismo, ha forse trovato nello stesso contesto il vocabolo *determinismo*. Diciamo preliminarmente così: fin qui i due termini sono in pratica equivalenti, poiché il concetto alla base del determinismo è, appunto, quello secondo cui ogni evento futuro è determinato in modo rigido da quelli passati, conformemente al paradigma del meccanicismo. E, sebbene io abbia già rilevato l'assoluta impossibilità di fatto di utilizzare il meccanicismo per scopi pratici, non l'ho ancora gettato nel cestino, come sembrerebbe richiedere una stretta aderenza al metodo sperimentale (se non lo puoi usare per principio, è come se non ci fosse, e dunque non fa parte della scienza). Perché? Il motivo è semplice: in questa fase sto ancora elaborando sull'aspetto filosofico del meccanicismo. Non m'interessa applicarlo a qualcosa; voglio solo capire se, in base agli elementi di conoscenza scientifica accumulati fino a questo momento, sia possibile affermare in maniera definitiva il determinismo assoluto come conseguenza della rigorosa causalità cui obbediscono le leggi di Newton, e la **LEGGE** in generale. E lo ripeto ancora, perché bisogna mettersi d'accordo sulla terminologia: lo stato attuale dell'universo è determinato, senza eccezioni, dal suo stato nel passato, non importa quanto remoto, e sempre determinato sarà il suo stato in ogni momento del futuro, almeno in linea di principio. Pur se difficoltà insormontabili rendono impossibile

dimostrare sperimentalmente la veridicità di questa asserzione per qualsiasi sottosistema non banale dell'universo stesso. Siamo d'accordo? Per come ho messo le cose, non dovrebbero esistere eccezioni al meccanicismo o determinismo assoluto.

Però, il gioco si ripete. Se ho chiesto esplicitamente al lettore di esprimere una sua opinione di principio su questo argomento, ciò non può non averlo messo in allerta. Se mi ha dato ragione, come minimo si aspetta che gli dimostri per quale motivo ha torto. Non lo deluderò. Qui, per l'appunto, comincerò a distinguere sottilmente tra il meccanicismo e il determinismo. Occupiamoci del primo.

Ebbene, il meccanicismo è crollato davvero, in seguito ad almeno due conquiste scientifiche del XX secolo: in ordine cronologico viene prima la Meccanica Quantistica (d'ora in avanti sempre abbreviata con la sigla MQ) nei primi tre decenni, e poi il "*caos deterministico*" negli anni Sessanta-Settanta. In ordine logico, però, il caos viene prima della MQ, poiché esso si basa ancora sull'antica meccanica newtoniana, mentre la MQ ne rappresenta già un superamento globale. Per amor di semplicità, seguirò dunque l'ordine logico anziché storico. Tanto, come succede in aritmetica per l'addizione e la moltiplicazione, anche in questa discussione vale la proprietà commutativa: invertendo l'ordine dei fattori, il risultato non cambia.

9.2. Si richiede astrazione algebrica...

Restiamo dunque aderenti alla meccanica razionale, senza nessun bisogno di aggiungerci elettricità, forze atomiche, complicazioni successive. Sto parlando proprio delle leggi di Newton dell'inizio del Settecento, riscritte solo formalmente in modo ordinato e ripulito, con il calcolo differenziale, come le conosceva Laplace alla fine del Settecento quando enunciò il paradigma del meccanicismo. Null'altro. O meglio: aggiungendo la *termodinamica* o scienza del calore la quale, come ho già anticipato, è solo un aspetto particolare della meccanica, utile quando si debbano trattare contemporaneamente una gran quantità di particelle in modo statistico.

Debbo chiedere al lettore uno sforzo di astrazione algebrica superiore... non esageriamo... Per cominciare, gli basterà ricordare una nozione di matematica elementare: si definiscono "*equazioni di primo grado*" le formulette del tipo $ax = b$ dove a e b sono numeri conosciuti, e si chiede di trovare il valore dell'incognita x . La soluzione è semplicissima e nota a tutti: $x = b/a$.

Il lettore potrebbe invece non ricordare a memoria la regola per mezzo della quale si risolvono le equazioni definite “*di secondo grado*”; quelle in cui l’incognita x compare elevata al quadrato (alla seconda potenza), come per esempio in $ax^2 + bx = c$. Ma niente paura: non è necessario saperla. Voglio solo rammentare la nomenclatura. Di primo grado significa: nell’equazione l’incognita x compare elevata alla prima potenza, quindi c’è l’incognita e basta. Tra l’altro, le equazioni di primo grado si dicono pure “*lineari*” perché, sul piano cartesiano, una linea retta viene descritta proprio da un’equazione di primo grado. L’equazione di secondo grado, invece, conterrà la x elevata alla seconda potenza, e cioè al quadrato; di terzo grado la conterrà elevata al cubo e... devo continuare? Non è necessario, anche perché l’unica cosa utile al lettore è imparare a distinguere tra le equazioni lineari, e cioè di primo grado, e quelle non lineari, laddove l’incognita x è elevata a una potenza diversa da 1.

Riportata alla luce questa distinzione, ecco lo sforzo supremo d’astrazione richiesto. Il calcolo differenziale si basa su quell’entità matematica definita “*derivata*”, il cui significato molti hanno appreso ma pochi ricordano, e fa tremar le vene e i polsi a quasi tutti. Calma e sangue freddo, non scriverò altre formule, ma chiedo ai più coraggiosi di abituarsi all’idea seguente: se Newton sentì il bisogno di inventare il Calcolo, non si trattò di un momentaneo arrendersi da parte sua alle più torbide perversioni dell’animo (umanamente parlando, il personaggio era un po’ torbido), ma lo fece perché lo aveva constatato; l’applicazione dei principi della dinamica ai casi pratici, di ogni giorno, richiedeva la scrittura delle sue equazioni in modo tale, per cui vi comparissero anche le derivate. Tutto qui. E aggiungo un banale fatto di nomenclatura: a differenza delle equazioni che abbiamo appena visto, le quali prendono il nome di equazioni “*algebriche*”, quelle in cui compaiono le derivate vengono definite equazioni “*differenziali*”. Il nome può sembrare orribile ma, per restare al parere del Sommo Poeta: “*Temer si dee di sole quelle cose / c’hanno potenza di fare altrui male; / de l’altre no, ché non son paurose*”. Su questo, impegno la mia parola: per quanto io sia ricco d’anni e d’esperienza, non mi torna a mente nessun fatto di sangue commesso a colpi di equazioni differenziali, “*e questo sia suggel ch’ogn’omo sganni*”.

I fenomeni naturali di cui sto per trattare (più in generale: ogni fenomeno naturale) sono dunque descritti in modo quantitativo (modelli) per mezzo di equazioni differenziali, le quali compendiano matematicamente le leggi della meccanica razionale. Null’altro chiedo al lettore di capire o ricordare, poiché tanto basta per andare avanti. O meglio: richiamo la sua attenzione su una conseguenza implicita di quanto ho già detto. Se, nel-

l'equazione differenziale, l'incognita compare elevata alla prima potenza, l'equazione differenziale sarà lineare; se compare elevata a una qualsiasi altra potenza, ci troveremo di fronte a un'equazione differenziale non lineare. Finora siamo rimasti alla nomenclatura, anche se stiamo per scoprire in qual modo sottile questi due tipi di equazioni differenziali presentino comportamenti matematici diversi tra loro. Ma il grosso dello sforzo di astrazione algebrica lo abbiamo già alle spalle.

Prima di proseguire verso il caos deterministico, serve un'altra nozione, ma questa è intuitiva e non mi pare richieda acrobazie di comprensione. Supponiamo di aver messo dell'acqua a bollire in un pentolino, e di volerci cuocere un uovo *à la coque* (occorrono da tre a quattro minuti, mettendolo giù quando l'acqua già bolle). Sposteremo perciò l'uovo dal frigo fin sulla verticale del pentolino, e lo lasceremo cadere nell'acqua da un'altezza di pochi centimetri: la distanza minima per non scottarci le dita con gli schizzi. Non serve richiamare grandi concetti di fisica: ovviamente, durante la caduta, l'uovo sarà soggetto alla sola forza di gravità, almeno se ignoriamo l'attrito con l'aria, e quindi ci sembrerà ragionevole descrivere il suo moto per mezzo di una equazione differenziale tra le più banali. Questa è infatti la procedura.

Supponiamo, però, di nutrire un timore eccessivo di scottarci. Invece di lasciar cadere l'uovo da soli due centimetri, lo lasciamo dunque cadere da un'altezza di circa un metro. Probabilmente, in conseguenza di questa precauzione, l'attrito con l'aria (basterebbe una minima corrente) comincerà a farsi sentire, e dovremo modificare il menù da "uovo *à la coque*" in "poltiglia semilessa di uovo con frammenti di guscio". Ma, dal punto di vista fisico, qual è la differenza tra i due casi? Vediamo: l'equazione descrivente la forza di attrazione terrestre, grazie alla quale l'uovo cade verso il pentolino, è certamente la stessa, no? Aggiungiamoci quella della resistenza offerta dall'aria e, soprattutto, notiamo bene quest'ultimo punto: la posizione dell'uovo all'inizio dei due esperimenti culinari non è identica. In termini semplici, potremmo dire di aver variato la *condizione iniziale* e, guarda caso, anche in linguaggio matematico si dice proprio così: *condizione iniziale*. Dunque, scopriamo una novità: non bastano le sole equazioni differenziali per prevedere l'esito di un qualsiasi esperimento (non solo culinario, ma scientifico in generale), serve anche sapere quali siano le condizioni iniziali. Oppure, pensiamo a un pendolo: se è fermo, fermo resterà; se invece gli diamo una bottarella e lo lasciamo andare, continuerà a oscillare. Anche qui, le equazioni costitutive del sistema sono le stesse, ma le condizioni iniziali sono diverse. Insomma: le condizioni iniziali sono importanti per determinare il futuro di un sistema, almeno quanto le equazioni differenziali usate per descriverlo.

9.3. La favola del computer nel bosco

Il lettore sta borbottando: «È così ovvio! Non valeva la pena di perdersi una pagina sopra!». Bravo, questo è l'atteggiamento giusto. Ora possiamo cominciare a inoltrarci per la strada diretta verso il caos. Una strada perduta nel bosco, come in un'antica favola.

C'era una volta, tanti e tanti anni fa (e c'è ancora), un'università americana chiamata "Massachusetts Institute of Technology" (gli edifici si trovano appunto in mezzo a un bosco) in cui era stato installato un computer. Siccome la storia si svolge a cavallo del 1960, quello era uno dei primi computer, e la sua potenza non era molto grande né come quantità di memoria, né come numero di operazioni o di bit trasferiti per ogni secondo. Però, già riusciva a suddividere il proprio tempo fra diversi utenti, secondo il criterio definito *time sharing*. Ovviamente, gli utenti più importanti avevano un'alta priorità e il computer riservava loro la maggior parte del tempo ma, se avanzava qualcosa, la macchina era autorizzata a dedicare una frazione di tempo anche all'esecuzione dei calcoli degli utenti che avevano meno fretta. Tra i quali c'era un meteorologo di nome Lorenz; lui aveva una priorità bassa ma, siccome lasciava girare il suo programma per settimane e mesi, alla fine otteneva comunque risultati interessanti.

Date le limitazioni del computer, a quei tempi non era ancora possibile eseguire conti raffinati per le previsioni del tempo, ma se ne potevano cominciare a impostare le prime basi. Dunque, il meteorologo aveva costruito un modello matematico, grossolano e rudimentale, di atmosfera terrestre, per mezzo del quale calcolava la variazione della pressione barometrica al suolo al passare dei giorni, mesi e anni, in un luogo fittizio, altrettanto idealizzato. Gli studenti avevano addirittura preso l'abitudine di andare a guardare ogni mattina il tracciato della pressione calcolata e, quando questa era alta, dicevano scherzando: «Oggi tempo bello», anche se magari fuori c'era una bufera di neve. Per completare gli antefatti, debbo aggiungere questo: le semplici leggi fisiche usate dal meteorologo per costruire il suo modello si presentavano sotto forma di un sistemino composto da tre equazioni differenziali non lineari, facenti capo sempre alla meccanica newtoniana attraverso la termodinamica e altre piccole faccende (viscosità dell'aria, eccetera).

Un brutto giorno arrivò un lupo... no, peggio: se ne andò la corrente e il computer si fermò nel bel mezzo del calcolo. Pazienza, può capitare. Anzi: i guasti e gli stop impreveduti sono molto comuni, e i gestori di sistemi informatici, a quei tempi, prendevano la precauzione di memorizzare

su un nastro magnetico lo stato interno della macchina a intervalli regolari di tempo (il cosiddetto “*check point*”). Oggi, per esempio, ciascuno di noi esegue periodicamente il *backup* e, se non ne avete uno recente, vi suggerisco di lasciare un momento il libro in sospeso e farlo subito.

L’ovvio scopo della memorizzazione su nastro dello stato interno del computer è il seguente: dopo un qualsiasi incidente, si può almeno ripartire dalla situazione registrata poco tempo prima, e non si perdono giorni o mesi di calcolo. Il nostro Lorenz, per esempio, disponeva del grafico della pressione fino all’ultimo istante di calcolo, ma non aveva tutti i numeri necessari per riprendere i conti dal momento esatto di spegnimento. Ripeto: il grafico su carta sì, le cifre no, almeno con la precisione richiesta. Gli ultimi dati numerici utili per poter ricominciare a calcolare si riferivano a un po’ di tempo prima della caduta di alimentazione elettrica, non so più se ore, o addirittura qualche giorno. In ogni caso, da quei dati si poteva effettivamente ripartire, e così fece Lorenz, aspettandosi quanto ciascuno di noi si sarebbe atteso: il computer avrebbe dovuto ribattere puntualmente i conti già fatti fino al momento dello spegnimento, e poi continuare a calcolare i successivi andamenti della pressione. Figurarsi lo stupore del nostro, quando si rese conto che i nuovi risultati cominciavano, sì, ribattendo i vecchi, ma se ne discostavano presto; l’andamento della pressione calcolata non si sovrapponeva affatto al precedente tracciato e, al contrario, se ne andava su e giù in modo impreveduto.

In circostanze del genere, la prima cosa cui si pensa è un errore commesso quando sono stati reinseriti i dati: quelli memorizzati prima dell’incidente, intendo. Purtroppo, nel caso di cui stiamo parlando, non era così: il controllo successivo mostrò come il programma fosse stato riavviato con i dati corretti. Inoltre, facendo ripartire più e più volte il calcolo sempre da quel punto, l’evoluzione temporale della pressione ribatteva esattamente quella ottenuta dopo l’interruzione di corrente. Come se il grafico della pressione prima del fermo macchina fosse in qualche modo sbagliato, e solo dopo la ripartenza il computer avesse cominciato a produrre dati corretti, ripetibili. O, alternativamente, come se dopo la ripartenza il sistema di calcolo non funzionasse più alla perfezione, e fossero i nuovi risultati a essere sistematicamente sbagliati. Vai a capire! Una foto di Edward Lorenz, scattata una quarantina d’anni dopo l’evento di cui sto narrando, lo ritrae con una bella, lunga chioma bianca. Per alcuni versi ciò è sorprendente, poiché chiunque abbia trafficato con un computer e si sia trovato in un caso analogo sa, per triste esperienza personale, come la prima reazione istintiva dell’utente sia proprio quella di strapparsi i capelli.

Ci volle molto tempo prima che la verità si facesse strada. Semplifico

in modo estremo a beneficio del lettore: quel particolare computer, al proprio interno, eseguiva le operazioni aritmetiche arrotondando i risultati di ciascuna operazione alla sesta cifra decimale ma, per risparmiare tempo, nastro magnetico e carta, nella stampa dei numeri coi quali la macchina stava lavorando al momento della memorizzazione periodica, comparivano solo le prime tre cifre decimali. Dunque, riprendendo il calcolo dopo il fermo macchina con questi ultimi numeri, il computer, in realtà, ripartiva da una situazione leggermente diversa da quella attraversata prima del fermo. Fornendogli solo le prime tre cifre decimali, gli erano state poste implicitamente uguali a zero le ultime tre e, di conseguenza, le condizioni iniziali del nuovo calcolo differivano di meno dell'un per mille rispetto a quelle del vecchio calcolo. Questa piccola differenza all'inizio si ripercuoteva solo dalla quarta cifra decimale in poi, però si amplificava al procedere del calcolo, interessando dopo un po' la terza cifra decimale, poi raggiungendo la seconda, la prima, e a quel punto i risultati s'incanalavano visibilmente per un tracciato del tutto diverso rispetto a quello ottenuto in precedenza.

Proprio in quegli anni, Lorenz cominciò a capire una verità di cui, in linea di principio, lo stesso Newton si sarebbe potuto rendere conto. Ma essa non balzò evidente agli occhi di tutti finché non fu possibile disporre di computer abbastanza potenti, i quali si accollassero tutto il lavoro sporco, e cioè l'esecuzione materiale del calcolo aritmetico, presentando i soli risultati finali per l'elaborazione intellettuale da parte dello scienziato. La verità è la seguente: le equazioni differenziali non lineari come quelle usate da Lorenz, a differenza di quelle lineari, possono avere soluzioni dipendenti in modo spaventosamente critico dalle condizioni iniziali.

9.4. Di uova e farfalle

Per costruire un modello intuitivo semplice di quanto potrebbe succedere in un ipotetico caso non lineare, torniamo un attimo all'esempio dell'uovo *à la coque*, e supponiamo di sperimentare la sua caduta nel pentolino mentre una piccola tromba d'aria spazza la cucina. In circostanze del genere, chiunque tenderebbe a posporre la cottura e preoccuparsi di altre cose ma, se Benjamin Franklin si divertiva a sperimentare sui fulmini lanciando aquiloni durante i temporali, e alcuni dei suoi emuli ci rimisero la pelle ripetendo il giochetto, non sarebbe troppo da meravigliarsi qualora un fisico trovasse la presenza di una tromba d'aria in cucina una condizione ambientale irresistibile per sperimentare un po' sulla *non linearità* della

caduta dell'uovo, in conseguenza dell'interazione tra l'uovo stesso e l'aria in moto vorticoso. Lasciamolo fare e seguiamo da lontano cosa succede.

Se si fa cadere l'uovo da cinque centimetri, quest'ultimo, subendo un po' l'influenza del vento, devia, supponiamo, verso destra, ma finisce ugualmente nel pentolino. Facendolo invece cadere da venti centimetri, se il vento è davvero furibondo, la deviazione verso destra già osservata in precedenza si accentua così tanto negli ultimi centimetri di caduta, per cui l'uovo manca il pentolino clamorosamente e finisce sul fornello. Lasciandolo cadere da cinquanta centimetri, non solo manca il pentolino, ma un vortice lo spinge verso l'alto, fino a farlo schiantare sulla faccia del fisico. Il quale pulisce gli occhiali (quale scienziato rispettabile non porta gli occhiali?), annota, e riprova con un altro uovo, stavolta partendo da settanta centimetri... perché ridete? La fisica sperimentale si fa pure così!

Niente paura, la vostra cucina è sicura, la caduta di un uovo è un fenomeno quasi del tutto lineare in assenza di trombe d'aria, e non succederà mai nulla di tanto imprevedibile. Ma più o meno tutti i fenomeni naturali sono governati da leggi aventi qualche non linearità. Di conseguenza, nel momento in cui scriviamo le equazioni non lineari governanti l'evoluzione temporale del particolare sistema sotto esame, e forniamo anche le condizioni iniziali da cui esso muove, la dipendenza critica da queste ultime impedisce, molto spesso, di eseguire una previsione intuitiva semplice sull'esito finale, e per avere un'idea di quanto succederà è necessario attendere finché il calcolo giunga a termine. Non solo, ma anche a quel punto sarà bene ripetere i conti con un metodo differente, in modo da arrotondare ciascuna operazione aritmetica con un numero maggiore di cifre decimali, finché non si sia certi che i risultati sono proprio quelli. Un oggetto inizia il suo moto verso sinistra? Non c'è nessuna garanzia di seguitare a trovarlo, alla fine del moto, a sinistra del punto di partenza; magari gira e se ne va verso l'alto proprio come l'uovo ipotetico. Questa imprevedibilità rappresenta il cuore del caos deterministico.

Forse il lettore ha sentito parlare del cosiddetto "*effetto farfalla*". Lo si può esprimere così: «Se una farfalla batte le ali a Lhasa, può esserci un uragano a New York un mese dopo». Debbo rilevare di aver trovato questo esempio in moltissimi testi sul caos, ma le località iniziali e terminali sono sempre diverse, come se anch'esse andassero soggette a una qualche forma di caos geografico. A volte si tratta di Bombay e Parigi, oppure di Città del Capo e Londra, Bogotà e Berlino (Lorenz lo usò per primo parlando di Brasile e Texas). L'unica regolarità da me riscontrata consiste nella constatazione secondo cui, alla fine, l'uragano si scatena sempre sulla capitale di una nazione industrializzata occidentale. Non so se tutto ciò

abbia una morale (è *politically correct?*) e, nel dubbio, mi conformo all'uso, ma qui m'interessa evidenziare solo gli aspetti scientifici dell'effetto. La farfalla batte le ali, e crea un minuscolo mulinello d'aria. Siccome la descrizione di un vortice richiede un insieme di equazioni differenziali non lineari, uno dei possibili esiti finali sarà, magari, uno spegnimento quasi immediato della perturbazione o, in alternativa, variando appena la forza con cui vengono battute le ali e la situazione ambientale circostante, un'amplificazione progressiva del mulinello, lungo il suo irregolare spostamento, fino a un esito catastrofico in un luogo distante migliaia di chilometri. E si noti bene: non esiste correlazione tra l'esito catastrofico e un battito d'ali più forte. Può benissimo avvenire il contrario: a seconda dei casi, un battito d'ali intenso genera un mulinello impetuoso ma troppo sensibile alla viscosità dell'aria per cui, magari, si spegne subito; un battito più debole si può amplificare fino all'uragano. O viceversa, a seconda, appunto, del caso.

L'enfasi va proprio sul termine "*impredicibilità*". Se ripetiamo un gran numero di volte il calcolo teorico dell'evoluzione di un fenomeno non lineare, variando ogni volta di pochissimo le condizioni iniziali, troveremo esiti senza correlazione l'uno con l'altro e, soprattutto, essi non mostreranno alcun legame apparente col variare delle condizioni iniziali. E quale termine è più adeguato di *caos* per una tale impredicibilità a priori (non a posteriori poiché, a calcoli completati, sappiamo con certezza come andrà) indirizzata verso finali completamente differenti a partire da condizioni quasi identiche?

Ma attenzione! Questo fenomeno fisico-matematico non si definisce "*caos tout court*". È caos, sì, ma deterministico. Cosa vuol dire? Quanto segue: sotto sotto, c'è comunque un rapporto causale assoluto tra la condizione di partenza e quella di arrivo. È vero, basta modificare di quasi niente l'inizio, e la fine è impredicibile. Ma se, dopo aver calcolato la fine, ripetiamo il conto senza variare per niente l'inizio, giungiamo alla stessa fine già trovata in precedenza. Ricordate: Lorenz otteneva grosse differenze tra i risultati di prima e dopo il fermo computer, ma quando ripeteva i calcoli a partire dalle condizioni di dopo, arrivava sempre al medesimo risultato. E le differenze erano dovute alla sua impossibilità pratica di dare in pasto al computer i numeri esatti di prima, fino all'ultima cifra. Quando gli dava in pasto gli stessi numeri di dopo, le differenze tra risultati sparivano.

Dunque, il caos deterministico è un caos apparente, in cui il determinismo presente nella meccanica razionale classica non è violato e, di conseguenza, non è violato in linea di principio neppure il meccanicismo in

senso stretto. Insisto su questo punto: il risultato è sempre determinato in modo rigido, meccanicistico, dalle condizioni iniziali. Siamo solo noi a meravigliarci se condizioni quasi identiche conducono a esiti diversissimi. D'altra parte, chi l'aveva mai detto che la natura dovesse comportarsi in modo lineare? Solo il nostro pregiudizio (paradigma) inconscio di epoca pre-computer. In effetti, esiste un motivo preciso per cui questo paradigma ha potuto dominare le menti degli scienziati per secoli, ed è il seguente. I matematici hanno scoperto soluzioni generali per tutti i tipi di equazioni differenziali lineari, e queste soluzioni si comportano in modo regolare, con dipendenze ragionevoli dalle condizioni iniziali. Dunque, finché la natura è descrivibile, in prima approssimazione, in modo lineare, le cose vanno come ci aspetteremmo. Per molti tipi di equazioni differenziali non lineari, invece, non esistono soluzioni matematiche conosciute, e l'unico modo di risolverle è spezzettarle in innumerevoli tocchetti quasi lineari, metterle nella pancia di un computer, e farlo ruminare abbastanza. Intendiamoci però: sebbene non esistano soluzioni matematiche, quelle fisiche ci sono eccome! Madre natura non ha alcun bisogno di chiedere la nostra consulenza, nel momento in cui si trova a dover sbrogliare casi da noi descritti per mezzo di equazioni differenziali non lineari. Ogni oggetto reale imbecca immediatamente, e senza incertezze, il cammino giusto; è solo la nostra matematica a trovarsi in difficoltà. O forse la matematica comprende anche queste soluzioni, e i nostri matematici ancora non sono stati in grado di scoprirle? Non sembra; ci sono prove matematiche dell'impossibilità di risolvere, per mezzo di formule, almeno alcune famiglie di equazioni differenziali non lineari. Ad ogni modo, per secoli, i fisici, non disponendo né di computer né di metodi matematici adatti a risolvere i casi non lineari, non hanno saputo far di meglio che approssimare questi ultimi per mezzo di equazioni lineari le quali, fortunatamente, sono risolvibili, e quindi nessuno era preparato all'esplosione del quasi-caos conseguente al primo avvento degli elaboratori elettronici.

Ma, per quanto riguarda il problema da noi inseguito, il caos deterministico ha fatto saltare il meccanicismo almeno in linea di principio? Ripeto il concetto più e più volte poiché è molto importante: no, il meccanicismo di principio non ne è stato inficiato. Le leggi di natura, deterministiche erano, e tali sono rimaste. Il nesso causale tra avvio e completamento di ogni fenomeno fisico non è venuto a cadere; si è solo complicato il modo di calcolare questo nesso, per cui ci troviamo a volte in difficoltà pratiche nel disegnare grafici nei quali si cerchino di mostrare correlazioni tra inizio e fine. Ma non per questo motivo le correlazioni non esistono, e infatti le possiamo calcolare. Anzi: adesso, conoscendo il problema, stiamo anche in-

ventando un sacco di trucchi per essere sicuri della correttezza dei risultati dei nostri calcoli. Il meccanicismo come paradigma generale non è affatto crollato di fronte ai colpi del caos deterministico.

9.5. Un grafico truccato

O forse sì? Per la verità, c'è un caso limite in cui si potrebbe... Debbo pregare il lettore il quale, per sua disavventura, si ritrovi a essere anche un matematico (disavventura, perché non è previsto per lui il premio Nobel, e rammento come, per vincere il premio equivalente, la Fields Medal, sia necessario aver compiuto una grande scoperta matematica prima dei quarant'anni), di saltare subito al prossimo capitolo. Applicherò, infatti, la modellistica perfino alla matematica e, mentre i fisici ormai tollerano lo strame della loro disciplina nei testi divulgativi pur di renderla intuitiva, in matematica questo criterio non è mai invalso.

Immaginiamo una funzione matematica descritta da un'equazione differenziale non lineare. Non dobbiamo immaginare l'equazione, grazie al cielo, ma solo il grafico, su assi cartesiani, dove si disegna la sua soluzione. Questo grafico sarà una curva la quale, partendo da un punto *a* del piano (il lettore può sceglierlo a piacere, e nel contesto di riferimento di questo capitolo tale punto rappresenta la condizione iniziale), scenderà verso destra e verso il basso, raggiungerà un punto di minimo, e risalirà verso destra e verso l'alto, magari sempre più ripida. La figura in questa pagina (**fig. 1**) illustra il tracciato di tale curva, definita come caso **A**. Ora, cambiamo di

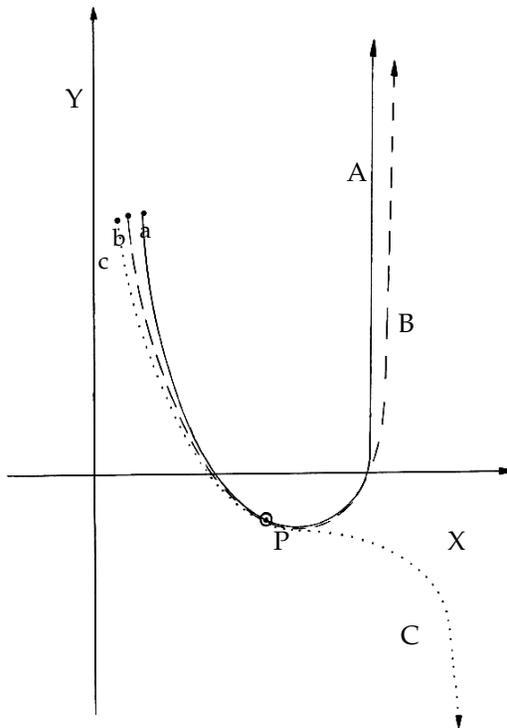


Figura 1

pochissimo la condizione iniziale spostandola in **b**, appena un briciolo a sinistra di **a**, e disegniamo la curva **B**, corrispondente alla nuova soluzione della stessa equazione differenziale. Viene fuori molto simile alla curva **A** già tracciata in precedenza, e anzi: nel punto di minimo sembra quasi sovrapporsi all'altra. Due curve con un punto in comune o quasi, e anche la seconda se ne va verso l'alto con piccole differenze rispetto alla prima. Ripeto: l'equazione è la stessa, la condizione iniziale è cambiata.

Disegniamo ora un terzo punto **c** di partenza, ancora a sinistra, ma più vicino a quello di prima. La nuova soluzione, stavolta definita **C**, scende pur essa verso il minimo già attraversato dalle prime due, lo sfiora anch'essa e risale... macché! Non risale affatto e anzi, dopo essere stata quasi orizzontale per un breve tratto, si precipita a perdifiato verso la parte negativa del piano, giù in basso a destra. Cosa succede? In buona parte, già lo abbiamo capito: la soluzione di ogni equazione differenziale non lineare può dipendere in modo molto critico dalle condizioni iniziali. Se le due prime condizioni **a** e **b** conducono a soluzioni somiglianti, ciò non vuol dire che anche una nuova condizione iniziale **c**, sia pur vicinissima alle prime due, debba condurre a una soluzione simile. In effetti, la terza curva parte molto vicina alle precedenti ma, dopo aver raggiunto un quasi-contatto con le prime due, cambia completamente il proprio andamento. D'altra parte, le curve relative a equazioni non lineari risultano veramente imprevedibili, e ciò rientra nella normalità; non potevamo prevedere un esito così differenziato, ma a posteriori la cosa non ci meraviglia più di tanto.

Un momento! Ho girato le frasi a modo mio, mettendo l'enfasi su alcuni aspetti anziché su altri. Ho distinto chiaramente le tre condizioni iniziali **a**, **b** e **c**, definendole *vicine tra loro*, ma in ogni caso diverse, e fin qui niente di male. Ma quando ho mostrato come tutte le curve raggiungano lo stesso punto di *quasi-contatto*, ho giocato sulle parole. Non ho enfatizzato abbastanza, per esempio, la cosa più importante: in prossimità di questo punto, definito **P**, la differenza tra le tre curve è veramente piccola. Così piccola, da tendere a zero o, per meglio dire, da essere infinitesima. Da quest'ultima considerazione si può immediatamente evincere quanto segue: se invece d'iniziare a calcolare le tre curve dai tre punti **a**, **b** e **c** in alto a sinistra, avessimo cominciato a calcolarle dal punto **P** quasi in comune, sarebbe bastata una differenza infinitesima tra le condizioni iniziali per condurre a esiti del tutto diversi. Un punto dotato di tali caratteristiche prende il nome matematico di "*punto di biforcazione*".

Ci stiamo avvicinando a un modello semplice, ma un po' più completo, di caos deterministico. Cosa dovremmo fare, se volessimo individuare

una soluzione di confine dell'equazione per cui, invece di scodinzolare in su e in giù nella parte destra del grafico, questa si comporti come un compromesso tra due andamenti diversi? La risposta è: dovremmo anzitutto individuare le due condizioni iniziali corrispondenti all'ultima curva che va in su, e alla prima che va in giù. Purtroppo, ci accorgeremmo che i numeri esprimenti le due condizioni iniziali sono identici per infinite cifre decimali, e solo l'infinitesima è diversa. È un modo di dire orribile, sul piano della correttezza scientifica, ma adombra un fatto determinante ai fini del nostro discorso: in un certo senso, la soluzione di confine non esiste! Si passa da una zona del grafico all'altra, da una curva in su a una in giù, con discontinuità.

Attenzione: ho *raccontato* un'entità matematica complicata, ma definita senza equivoci, come se fosse un pettegolezzo. Pure, credo di aver inquadrato il concetto in un modo o nell'altro, e me ne servirò per completare il discorso. Infatti, altro è dire: «Basta una piccola differenza nelle condizioni iniziali per ottenere esiti completamente diversi», altro è affermare: «Questa differenza può essere infinitesima». A trafficare con gli infiniti, o con gli infinitesimi (più o meno è lo stesso gioco), le carte in tavola si cambiano sempre, e non c'è modo d'immaginare facilmente in qual modo. Ma poniamoci la domanda: esistono davvero in natura sistemi fisici descritti da equazioni aventi caratteristiche originali come quelle appena elucidate? Eccome se ne esistono! In linea di massima, sono la regola, e non l'eccezione. E allora, la presenza di un infinito (infinitesimo) rende un po' meno vincolante il rapporto tra cause ed effetti?

9.6. Un meccanicismo all'acqua di rose...

Bella domanda! Potrei cavarmela affermando che, comunque, la probabilità, per un sistema fisico reale, di passare esattamente per un punto di biforcazione come quello avente le caratteristiche di P è a sua volta infinitesima, e quindi non vale la pena di porsi il problema: il nesso causale in pratica non si perde mai, e quindi il meccanicismo continua a valere. È però ben vero: la presenza del caos deterministico ci fa percepire un po' meno digeribile il meccanicismo alla Laplace. Non solo bisogna conoscere tutte le velocità, posizioni e masse di ogni particella dell'universo, ma è pure indispensabile conoscerle con precisione infinita.

Prima di riassumere le conclusioni di questo capitolo, vale la pena di tornare su un concetto cui avevo accennato di sfuggita nel secondo, quello sulle basi del metodo scientifico. Là, avevo introdotto un'affermazione,

a quel momento ancora un po' forte. Parlando del libero arbitrio, mi ero espresso in modo definitivo, e per la precisione negativo, sull'esistenza di **DIO**, a patto di verificare una condizione ben specifica: la possibilità di costruire realmente (e non solo sulla carta) un simulatore umano in grado di prevedere con esattezza assoluta il comportamento di un essere pensante scelto a piacimento; una persona bene individuata, comunque, e non un umano in senso lato. Già sapevo di giocare sul sicuro, come apparirà chiaro se si medita un attimo sul caos deterministico.

Cos'è un cervello umano, dal punto di vista *hardware*? Non lo sappiamo con precisione, ma lo possiamo schematizzare come una rete di decine di miliardi di neuroni, ciascuno dei quali possiede a sua volta decine o centinaia di collegamenti con altri neuroni. L'immagazzinamento e l'elaborazione dei dati provenienti dagli organi di senso, e la produzione del pensiero (sto sempre usando modellistiche molto rozze, ma una maggiore precisione scientifica del discorso non cambierebbe le conclusioni filosofiche), hanno luogo all'interno di tale rete, di complessità inimmaginabile. In questo arco storico, varie branche della medicina, biologia, scienze cognitive, scienza dell'informazione e altre (tra cui anche la fisica) stanno studiando la funzionalità cerebrale con metodi sempre più raffinati, e si prospetta la possibilità di venire a capo, in tempi non spaventosamente lunghi, quanto meno di una parte delle patologie che affliggono questo organo. Alcune aree dedicate allo svolgimento di funzioni specifiche sono state già individuate; problemi biochimici correlati alla migliore o peggiore esecuzione di funzionalità complesse sono in via di chiarimento, e così via. Condurrà, tutto questo, alla creazione di un modello funzionante del cervello umano, almeno su basi statistiche? Penso di sì, anche se non riesco a prevedere i tempi necessari per raggiungere questo traguardo; sono abbastanza convinto della realizzabilità di un simulatore umano generico. Per me, essa non giace al di fuori della portata di una scienza e tecnologia ragionevolmente futuribile. E allora? Mi sto contraddicendo da solo?

No. Il problema è dovuto all'estrema non linearità del cervello. Quando sarà possibile costruirne uno artificiale, avente la stessa complessità di quello umano, anche "lui" (attenzione: non più "esso", ma "egli") comincerà a comportarsi in modo imprevedibile, né più né meno dell'oggetto ospitato nella nostra scatola cranica. Farà le proprie scelte, ma non sempre sarà in grado di renderne ragione in modo deterministico, o addirittura di accorgersi di averle fatte: più o meno come noi, quando scegliamo la squadra di calcio e/o il partito politico del cuore. Infatti, anche se il cervello artificiale disporrà di strumenti contenenti descrizioni della propria

rete di processo dell'informazione, dello stato iniziale della memoria, delle condizioni di accensione, dei diagrammi di flusso interno ed elaborazione delle interazioni coll'esterno, e di quanto più ne volete (sono tutti termini usati in senso lato, poiché ancora non ci è dato di sapere quando e come una macchina del genere potrà essere realizzata), la previsione, da parte della macchina stessa, delle proprie future azioni, e la ricostruzione del percorso deterministico per quelle passate, richiederebbero comunque – nei casi non banali – la conoscenza del proprio stato interno con una precisione infinita, e ciò non rientra nelle possibilità di una struttura materiale qualsivoglia, né oggi né mai. Dunque, a causa della non linearità e del caos deterministico derivante, non solo nessun simulatore umano potrà prevedere un giorno il mio comportamento (e neanche il tuo, caro lettore), ma la cosa buffa è questa: non potrà né prevedere né rendere ragione del proprio. Se sarà onesto con se stesso (e dovrebbe, se non verrà esplicitamente programmato per non esserlo, riempiendolo di blocchi di malfunzionamento in zone strategiche), il simulatore umano, riflettendo sul proprio funzionamento, potrebbe e dovrebbe giungere alla conclusione di possedere il libero arbitrio, malgrado il suo *hardware* e *software* siano stati progettati secondo criteri rigidamente deterministici. E, guarda un po' quale caso strano, nessuno potrebbe dimostrargli sperimentalmente (e quindi scientificamente) di aver torto poiché, per farlo, bisognerebbe costruire un simulatore di simulatore ancora più potente il quale, a sua volta, affermerebbe di possedere egli stesso il libero arbitrio.

Quando sono incappato per la prima volta in questo ragionamento, non ho potuto fare a meno di trovarci un'ironia di sottofondo. Perfino nell'universo meccanicistico di Laplace il quale, da buon rivoluzionario francese (fu ministro di Napoleone, e l'accompagnò nella spedizione in Egitto), escludeva l'esistenza di Dio in quanto «...ipotesi non necessaria...» (ne abbiamo già parlato), le leggi di natura, dallo stesso Laplace chiarite e formalizzate in modo così cospicuo, permetterebbero a **DIO** (se esistesse) di interagire con ogni essere umano a livello individuale, e senza la minima possibilità di coglierlo con le mani nel sacco. Gli basterebbe lavorare sull'infinitesima cifra decimale, nel flusso d'informazione all'interno (o all'esterno) del cervello. Oppure, su una cifra decimale così avanzata da non rientrare nella sperimentabilità. Bisogna ammetterlo: da parte di **DIO**, aver creato la non linearità sarebbe stata una furbata tremenda!

«Altolà», mi sta imponendo il lettore pignolo. «Un conto è accettare l'idea secondo cui l'infinitesima cifra decimale sarà per sempre irraggiungibile; un conto parlare genericamente di "una cifra decimale così avanzata...". Per quale motivo dovrebbero esistere limiti scientifici a quanto, un

giorno, potrebbe essere precisa una misura?».

Ebbene, lettore pignolo: anche se ti sei salvato in angolo, sul piano strettamente formale non posso affermare che tu abbia torto. Ancora non siamo arrivati a dimostrare in qual modo, all'interno del cervello umano, a un ipotetico **DIO** sarebbe sufficiente agire su una grandezza fisica (un potenziale elettrico, per esempio) così da spostarne il valore numerico per una cifra a distanza finita dalla virgola, allo scopo di far incontrare al pensiero un punto di biforcazione anziché un altro, senza che nessuno abbia mai – oggi, come in un futuro non importa quanto remoto – la possibilità di constatare in maniera obiettiva la presenza di una manipolazione. Infatti, per provare quest'ultima affermazione, dobbiamo introdurre la MQ (ricordo: sto parlando della Meccanica Quantistica), non prima di aver riassunto le conclusioni di questo lungo capitolo.

9.7. Ricapitolando

A-IX) La non linearità della natura non fa cadere il concetto filosofico di meccanicismo (determinismo) in teoria, ma in pratica lo annacqua molto.

Ne consegue pure un limite alla conoscibilità scientifica? Sì:

9-IX) La previsione dell'evoluzione esatta di sistemi materiali in senso lato, descritti da equazioni differenziali non lineari, è impraticabile per motivi tecnici, così insormontabili da potersi considerare, a tutti gli effetti, di principio (conoscenza di infinite cifre decimali).

10. IL PRIMO IMPATTO CON LA MECCANICA QUANTISTICA (MQ)

10.1. Questa è fisica, non metafisica

Abbiamo appena mostrato come, paradossalmente, le stesse equazioni di Newton invocate da Laplace a fondamento del meccanicismo contengano, in forma piuttosto celata, e solo in tempi moderni rivelata agli occhi di tutti, i germi del disfacimento del meccanicismo stesso, almeno inteso in senso rigido. Una qualche forma di determinismo è ancora sostenibile in termini filosofici, ma bisogna cominciare a tirare in ballo quantità infinite (il numero di cifre decimali su cui bisogna lavorare) e questo è, sul piano pratico, impossibile a priori, onde cominciamo ad allontanarci dalla scienza. Ma aspettiamo a tirare le somme; stiamo per affrontare il discorso finale. Esso ci mostrerà come la meccanica newtoniana rappresenti solo una grossolana approssimazione del comportamento reale della natura per cui, a livello profondo, non resta alcuna possibilità di sopravvivenza a una visione deterministica del mondo, neppure nel senso molto lato lasciato ancora in vita (precaria) dal caos deterministico. Decenni prima dell'insorgere del problema di computer di Lorenz, infatti, i fisici avevano suonato la marcia funebre per il determinismo ottocentesco, passato a miglior vita in modo assai più radicale e definitivo grazie alla MQ, di cui non posso evitare di parlare, poiché non c'è altra strada che questa per la quale i' mi son messo.

Secondo alcuni scrittori di divulgazione scientifica, la MQ rappresenta la perla nello scrigno, in quanto essi hanno poca fiducia nei lettori, e sperano di trarli in equivoco, affinché restino a bocca aperta e siano corroborati nelle loro fantasie New Age riguardanti la spiritualità delle particelle elementari. Per i fisici, invece, la MQ è ormai uno strumento di lavoro come altri, almeno finché non ci riflettono sopra abbastanza. Bisogna però ammettere che alcuni dei padri fondatori di questa disciplina sono sempre stati molto critici, insoddisfatti dei loro stessi sforzi e, finché hanno avuto vita, non hanno accettato pienamente il quadro finale della MQ, emerso al termine di una gestazione trentennale. Altri hanno deciso d'ingoiare il rospo velenoso (e cioè la durissima transizione di paradigma richiesta dalla MQ all'intelletto umano),

a occhi chiusi e trattenendo il fiato. Avendo vinto la sanguinosa guerra questi ultimi, e in maniera definitiva per quanto ci è dato oggi di capire, si è presentato un problema di revisionismo ideologico. Infatti, parte dei diadoci ed epigoni dei trionfatori assunse per decenni un atteggiamento inteso a scoraggiare i tentativi di costruire un modello mentale, intuitivo, della MQ, dovendo bastare per tutti il modello matematico, e cioè le equazioni costitutive. Si può anzi dire così: dagli anni Trenta agli Ottanta del XX secolo, era considerato sconveniente e dilettesco rifiutare l'accettazione acritica dei paradossi logici aggiunti, dalla MQ, al menù della fisica, sin dai suoi primi albori. Perfino quel genio, dalla levatura indiscussa, di Richard Feynman (chi ne abbia letto qualcosa sa bene come non si facesse certo condizionare dalle mode di pensiero) si barcamenava, raccomandando ai suoi studenti di non preoccuparsi se non capivano la MQ, tanto *non la capiva neanche lui*.

Nelle poche (ma non pochissime) pagine con le quali mi è sembrato lecito intrattenere il lettore su tali argomenti, non avrò lo spazio per delineare il processo storico in seguito al quale è emerso questo ramo della scienza moderna, e aggiungo: purtroppo! Il racconto delle prime interpretazioni di rudimentali, ancora un po' equivoci dati sperimentali, con i tentennamenti del pensiero scientifico in direzione della MQ, delle reazioni suscitate da queste interpretazioni tra i fisici e i filosofi, e delle lotte verbali (e non solo) in accompagnamento al lento processo di elaborazione di questo aspetto della fisica moderna, fornirebbe spunti interessanti in sé, e aiuterebbe a capire in modo più approfondito i problemi concettuali sottostanti. Esistono, però, molti libri divulgativi per chi volesse approfondire l'argomento e, nel contesto in cui scrivo, sono pochi gli elementi di MQ realmente utili; sarebbe quindi un sovraccarico discuterla in dettaglio, ma mi permetto di raccomandare al lettore di non contentarsi delle miserie raccontate nel seguito, e leggersi anche qualcos'altro.

Su una cosa, ritengo indispensabile insistere fin da prima di ogni spiegazione, e ci ribatterò di continuo: quanto sto per raccontare si basa ormai su fatti concreti e solidissimi fondamenti sperimentali. La MQ rappresenta forse il trionfo del metodo scientifico, nei confronti della capacità dello stesso sperimentatore di capire davvero l'oggetto del suo studio. Benché il mondo quantistico possa apparire estraneo, e addirittura ripugnante all'intelletto, il funzionamento delle moderne apparecchiature elettroniche è basato su queste apparenti incongruenze logiche, sul tipo dell'*effetto tunnel* di cui farò nuovamente cenno più avanti. Nessuno può costringerci ad amare la visione quantistica della natura, ma quest'ultima si comporta coerentemente con le previsioni deducibili dal formalismo matematico della MQ. Non c'è più discussione, punto e basta. Ripeto: ormai anche il più umile elettrodomesti-

co contiene qualche transistor, così come l'automobile, il telefonino, ogni apparecchio di controllo per l'afflusso nella nostra abitazione delle utenze principali (gas, elettricità, acqua, rete dati) e così via. Attenzione, dunque, a quando esclamerete: «A questo non ci credo!» (perché succederà). Potranno non piacervi le interpretazioni correnti, ma in tal caso provate voi a produrre uno schema intuitivo migliore, il quale sia però compatibile con ogni risultato sperimentale.

10.2. Caliamoci nell'abisso

Abbiamo girato molto attorno alla pozzanghera e, prima di tuffarci, gonfiamo almeno una ciambella di salvataggio per evitare l'affogamento: l'aspetto matematico della modellistica. Come abbiamo visto, parlandone in generale nei primi capitoli, questo riveste un ruolo fondamentale in ogni campo della fisica, ma per la MQ è l'unico punto di riferimento solido. Le equazioni funzionano alla perfezione, anche se bisogna comunque cambiare un po' mentalità; il problema irrisolvibile, invece, si pone col quadro ideale, intuitivo, suggerito proprio da queste equazioni, e qui ci tappiamo le nari e saltiamo nella melma. Scusate: non è evitabile, se vogliamo capire in che modo la MQ, sovrascrivendo quella newtoniana, muti completamente ogni paradigma fin qui elaborato.

Il modo più comune d'interpretare la MQ è congruente coll'affermazione secondo cui (badate, attenzione!) ogni oggetto fisico, non importa quale sia la sua dimensione, non possiede una precisa localizzazione nello spazio. Associamo dunque, a un elefante come a un elettrone, un *intervallo di confusione* all'interno del quale è praticamente certo trovare, in un esperimento designato a tale scopo, l'oggetto cercato. Quanto sia grande quest'intervallo dipende da diverse cose ma, primariamente, va coll'inverso della massa. Per un elefante, dal peso di qualche tonnellata, la confusione è così piccola da non valer la pena di calcolarla; il bestione sta lì, e non ci sono ambiguità nella sua localizzazione spaziale. Se ne vogliamo calcolare il moto, le leggi di Newton vanno benissimo. Per un elettrone, il cui peso è quasi niente, l'intervallo di confusione è talmente grande, da superare enormemente qualsiasi dimensione intrinseca associabile all'elettrone stesso (forse, la particella in sé è addirittura puntiforme). Di conseguenza, non solo le leggi della meccanica razionale falliranno clamorosamente se applicate all'elettrone, ma in qualsiasi esperimento in cui si cerchi d'individuare la posizione esatta di una particella così minuscola, dovremo contentarci di un risultato grossolanamente approssimato.

Con questo primo viatico, da zoomare in seguito, ribadiamo il concetto già esposto: le equazioni della MQ riscrivono e sostituiscono quelle della meccanica newtoniana, quando si manipolano strutture molto piccole, mediamente dalla dimensione di un atomo in giù. La meccanica newtoniana emerge poi in modo statistico, come applicazione della MQ a grandi quantità di particelle, e quindi negli oggetti grandi con cui siamo abituati a giostrare nel famigerato intervallo Kelvin. Non esiste una transizione precisa tra meccanica newtoniana e quantistica. Al crescere delle dimensioni e, soprattutto, delle masse degli oggetti presi in esame, i risultati quantistici tendono però a diventare praticamente identici a quelli newtoniani. Ora, siccome la MQ richiede metodi matematici complicati, diventa conveniente passare appena possibile alla meccanica newtoniana *tout court*. Ma ogni oggetto fisico, anche se enorme, in ultima analisi obbedisce alla MQ la quale, dunque, rappresenta la *legge ultima della natura*. Questo è il punto: ogni paradigma basato sulle leggi fisiche discusse nei capitoli precedenti va abbandonato, e sostituito dal nuovo paradigma quantistico.

Saltiamo nuovamente (il sentiero è pieno di frane) ai modelli matematici della MQ. Ne parlo al plurale perché ne sono stati sviluppati diversi, ma si può dimostrare, sempre in modo incontrovertibile, che questi modelli sono equivalenti tra loro. Dunque, all'atto pratico essi sono considerati come un modello unico, anche se ci sono dei sottili "distinguo", ma in questo contesto non c'interessano; basti sapere questo: la scelta di quale descrizione matematica applicare si fa scegliendo, di volta in volta, la più semplice per il caso analizzato. Altra informazione pertinente: si ritiene ormai completa e definitiva la struttura matematica, e concettuale, della MQ. Il vero problema, sorge nel momento in cui si cerca, in base ai suggerimenti impliciti nei vari modelli matematici, di passare a modelli intuitivi, per fornire un supporto al nostro desiderio innato di formarci un quadro mentale degli eventi. Infatti, come conseguenza dell'esistenza di un intervallo di confusione ineliminabile, la MQ è talmente refrattaria al senso comune, da aver generato una grande varietà d'interpretazioni radicalmente diverse tra loro e, in fin dei conti, nessuna di queste è del tutto soddisfacente. Ogni modello intuitivo conserva l'equivalente di un mucchietto di spazzatura da nascondere sotto il tappeto, e le varie interpretazioni differiscono tra loro solo per la zona di tappeto dove s'inciampa. In qualsiasi altro settore della fisica, i modelli intuitivi si presentano più o meno difficili da padroneggiare solo per il diverso grado di complessità dei fenomeni descritti e, al loro rispettivo livello di approssimazione, sono accettati da chiunque (salvo possibilità di futuri miglioramenti). Viceversa, nella MQ tutti si piazzano allo stesso livello traballante. E i diversi fisici propendono per un'interpretazione anziché per un'altra, senza raziona-

lizzare troppo le proprie tendenze, lasciando perciò lievitare una gran disparità di opinioni su quanto *significa davvero* l'esito di un certo esperimento, o addirittura di un certo calcolo. Questo procedimento un po' schizofrenico si è diffuso a tal punto, da essere prassi comune, per gli scienziati raggruppati allo scopo di studiare assieme un certo aspetto della MQ, limitarsi a calcolare ciascuno la parte di sua spettanza, per poi mettere assieme i vari pezzi al termine dei conti, conoscendo il rischio di cominciare a discutere sul significato di quanto si sta trovando. Faccio un esempio: cinque collaboratori si occupano dello stesso esperimento; s'incontrano, e cominciano a parlare di lavoro. Uno di loro esordisce: «Stamattina ho calcolato il percorso dell'elettrone [l'esperimento prevederà l'uso di un elettrone, oltre a tante altre cose in senso lato] mentre passa attraverso il campo del primo magnete. Siccome le linee di forza lo fanno deviare verso sinistra...».

«Come sarebbe a dire? Quali linee di forza lo fanno deviare? Non esiste una cosa simile!», interrompe il secondo. «Tu intendi dire che l'elettrone, nel campo magnetico, emette fotoni virtuali [sto usando il linguaggio corrente, ma non è necessario, per il lettore, comprendere il significato dei vocaboli; conta solo il sapore della discussione] e, per conservazione della quantità di moto, devia verso sinistra...».

«Un momento!», esclama il terzo. «L'elettrone non percorre nessuna traiettoria precisa, ma le percorre tutte contemporaneamente. Perché state supponendo entrambi l'esistenza di un percorso definito seguito dall'elettrone? Alla fine dell'esperimento, quasi tutte le traiettorie possibili si annulleranno a vicenda, e solo quelle relative alla deviazione verso sinistra si rinforzeranno...».

«Mi sembrate chirurghi paleolitici; invece del bisturi laser, usate ancora scalpello e mazza ferrata. In realtà, la supermembrana corrispondente all'elettrone s'incanala per la curvatura delle sei dimensioni nascoste...», esclama, disgustato, il quarto.

Il quinto sgrana gli occhi. «Ma in quale mondo vivete? L'elettrone è una particella assolutamente reale e puntiforme, segue il percorso predeterminato dalla sua onda guida, e...».

A questo punto, i cinque prenderanno atto del fallimento della discussione. Ciascuno di loro, pur condividendo totalmente la modellistica matematica, aderisce a una diversa corrente di pensiero per quanto riguarda quella intuitiva. Smetteranno perciò di litigare su quanto avviene in realtà; seguiranno a calcolare ciascuno per conto proprio, magari anche usando modelli matematici diversi, e mettendo assieme i risultati alla fine. Infatti, come ho già dichiarato, ma preferisco ripetere comunque, tutti i modelli matematici sono equivalenti tra loro, poiché prevedono lo stesso esito finale sul piano

quantitativo, ma differiscono in modo profondo nel suggerire all'immaginazione quale sia l'elemento controverso del modello intuitivo, e a noi, poveri umani, sembra indispensabile poter descrivere mentalmente la catena di eventi, in successione logica e causale, dall'inizio alla fine dell'esperimento. Nessuno dei modelli matematici disponibili finora è stato dunque mai falsificato, poiché tutti descrivono in modo identico i risultati sperimentali. I modelli intuitivi... beh, sappiamo con certezza solo questo: *sono tutti falsi*.

10.3. La realtà si sta sgretolando

Ho tirato in ballo la parola chiave: la realtà. Il lettore ricorderà quanto già visto, nel capitolo dedicato alla modellistica, sui limiti della scienza nella descrizione della realtà. La scienza non pretende di raggiungere la realtà stessa in sé, accontentandosi invece di un suo modello. Ora dobbiamo fare il passo successivo; quello imposto dalla MQ, malgrado una percentuale dei fisici non riesca a mandarlo giù. Il problema della mancanza di una vera e propria localizzazione spaziale finisce per gettare ombre sinistre sul concetto di "esistenza" in quanto tale.

Ribadisco: ogni idea da me insinuata e/o affermata dall'inizio del capitolo è basata su fior di esperimenti perfettamente ripetibili, e ripetuti innumerevoli volte da chiunque. E l'esperimento deve essere la base per la costruzione della nostra conoscenza della natura. Ebbene: ogni qual volta l'esperimento coinvolga oggetti fisici molto piccoli, le cose vanno come se il nostro concetto istintivo di *esistenza* fosse inadeguato. Ciò è molto grave, poiché possiamo anche accettare il non completo isomorfismo di un modello scientifico con la realtà (ricordo: isomorfismo come corrispondenza; la mappa geografica col territorio che essa descrive), ma siamo impreparati a mettere in discussione i fondamenti dell'esistere. Frase sibillina. Cercherò di spiegarmi con altri giri di parole.

Per la nostra mentalità, la differenza tra esistere e non esistere è talmente chiara a priori che neppure ci poniamo il problema in termini espliciti. Anche un nevrotico pazzo, come il principe che si aggira per la reggia di Elsinore fiutando del marcio in Danimarca, non si chiede se le due condizioni (rammento: "essere o non essere") siano identiche, ma solo quale delle due sia più desiderabile. Il rubinetto del lavandino del bagno esiste, anche se in bagno non c'è nessuno a osservarlo, e infatti, se Amleto lo scorda aperto, rischia di allagare la reggia; su questo non ha dubbi neanche lui. Alcune filosofie affermano: «Se una quercia cade, mentre nessuno è nei dintorni a sentirne il suo schianto, in realtà la quercia non fa rumore», ma enunciati del gene-

re ci lasciano del tutto freddi. Dimostrare il contrario è impossibile in base al metodo scientifico, poiché anche un rivelatore di rumore meccanico o elettronico sarebbe comunque assimilabile a *qualcuno*. Dunque, il semplice fatto di poter eseguire l'esperimento condurrebbe come conseguenza inevitabile a percepire il rumore. L'enunciato filosofico prevede invece l'assenza di rumore solo in assenza di osservatore; dunque, la validazione o falsificazione dell'enunciato non ricade nelle competenze della scienza. D'altronde, al contrario di quanto avviene con le problematiche riguardanti l'esistenza di Dio, la nostra fantasia non è granché stimolata dal verificarsi o meno di fenomeni come quello sopra citato, anche perché nel nostro cervello funziona un certo automatismo di pensiero. Nel caso in esame, per esempio, tendiamo a considerare esistente il rumore, anche se non ci sono ascoltatori. Nella MQ, invece, le cose sembrano andare come se dovessimo ammettere almeno tre livelli distinti di esistenza, e quello riconosciuto tranquillamente dal buon senso di ogni giorno (l'esistenza dell'elefante con la sua posizione precisa, per intenderci) è solo il primo livello. Nel resto di questo capitolo cercherò di illustrare gli altri due, non pretendendo che il lettore assorba ogni mia parola come una ghiottissima goccia di verità. In fin dei conti, sto trattando di modelli. Però, non possiamo ignorare un dato di fatto: quanto vado a raccontare finirà per avere qualche ripercussione sul concetto di realismo.

Un oggetto sensibile, anche il più piccolo da noi distinguibile a occhio nudo (diciamo un pezzettino cortissimo di peluzzo di cincillà), è composto di atomi in quantità enorme. Per dare un ordine di grandezza: ai nostri sensi è impossibile percepire un frammento di materia non contenente almeno diversi miliardi di miliardi di atomi, vale a dire qualche milionesimo di grammo, e già sto esagerando con la piccolezza. Oggetti del genere si comportano come se esistessero nel senso intuitivo del termine, obbedendo anche alle leggi della dinamica di Newton, e non vale la pena a nessun titolo di cercare stranezze sulla loro localizzazione spaziale. La loro massa è così grande da non richiedere, all'atto pratico, una trattazione quantistica.

Prendiamo adesso un potente microscopio ottico, e osserviamo il più piccolo brandello di materia visibile a mille ingrandimenti. Quest'oggetto ha le dimensioni di un po' meno di 1 micron, cioè un millesimo di millimetro, e contiene qualche decina di miliardi di atomi. Va ancora soggetto alle leggi di Newton, ma a volte lo vediamo muoversi a scatti, senza causa apparente. Ciò accade quando è urtato da una singola molecola molto più energetica della media: non possiamo vedere la molecola urtante perché è troppo piccola, ma vediamo un effetto della sua azione. Tra l'altro, questo è proprio l'esperimento grazie al quale Einstein riuscì a dimostrare per la prima volta l'esistenza degli atomi i quali, all'inizio del Novecento, da alcuni

fisici erano considerati ancora come oggetti ideali; puri e semplici modelli di pensiero: utili, ma non sperimentalmente afferrabili.

Ci stiamo perciò avvicinando al livello atomico, ma notiamo come, ai fini pratici, perfino l'urto di un oggettino microscopico quale una molecola sia ancora descrivibile in modo quasi esatto dalla meccanica newtoniana. I più minuscoli frammenti di materia visibili a un microscopio ottico mantengono (quasi) la stessa dignità di *esistenza reale* di un elefante. Dove comincia a intervenire la MQ? Da nessuna parte e dovunque. Infatti, ho già spiegato come le leggi newtoniane siano solo il caso limite di quelle della MQ, quando vengano applicate a oggetti di massa piuttosto grande, e cioè nell'intervallo Kelvin; pertanto, la vera legge di natura non è la meccanica razionale come la conosceva Laplace, ma la MQ. La quale, però, non comincia a fare capolino finché non scendiamo a livello atomico.

Sto bluffando un po'. Chi già ne conosce qualcosa, sa che la MQ domina in modo assoluto le forze definite "di stato solido". In altri termini, i normali solidi del mondo ordinario non esisterebbero in assenza di effetti quantistici, ma, siccome non ce ne possiamo rendere conto finché non scendiamo all'esame dei singoli atomi, nessuno c'impedisce di seguitare a ipotizzare, come faceva Democrito assieme ad altri filosofi greci, che gli atomi possiedano particolari forme geometriche per cui, pur obbedendo strettamente alle leggi di Newton (questo lo aggiungiamo noi, s'intende), sono in grado d'incastarsi l'uno nell'altro originando in modo *classico* i corpi solidi. Ecco: ho usato per la prima volta il termine "classico" contrapposto a "quantistico", coerentemente con la tradizione scientifica. Definiamo *classica* un'entità fisica quando in essa non si manifestano apertamente gli aspetti quantistici, ma solo i tradizionali, e intuitivamente comprensibili, comportamenti della natura formalizzati da Galileo a Newton, da Laplace a Boltzmann e Maxwell e, per alcuni versi, fino a Einstein.

10.4. Dalle molecole in giù

Il passo successivo nella scala discendente delle dimensioni è perciò quello molecolare. Modalità d'esistenza quantistica in senso lato sono state messe in rilievo, da esperimenti un po' delicati, anche per molecole così grosse come quella di *fullerene* (possiamo raffigurarcela come una specie di sfera geodetica avente atomi di carbonio ai vertici, per un totale di sessanta). Gli esperimenti sono più semplici se ci limitiamo a singoli atomi di idrogeno, laddove i costituenti dell'atomo stesso – in questo caso protoni ed elettroni – esibiscono in modo lampante le caratteristiche di esistenza qui defi-

nite, a beneficio del lettore, “quantistiche reali” (il secondo dei tre livelli di esistenza già preannunciati) senza prendere troppi impegni sulla realtà delle entità trattate. Provo a fornire un modello intuitivo di questo tipo di realtà, già piuttosto annacquata.

Supponiamo di disporre di un'apparecchiatura sperimentale, in grado di sparare una particella quantistica alla volta (attenzione: sto applicando la dizione “particella quantistica” a ogni frammento di materia/energia abbastanza piccolo da violare clamorosamente la meccanica newtoniana). Se questa particella è un elettrone, oppure una molecola di fullerene, i risultati dell'esperimento saranno diversi sotto il profilo quantitativo, ma non sotto quello qualitativo; l'unico importante, a questo punto. Colgo l'occasione per ricordare un dato di fatto spesso trascurato: perfino la luce, pur essendo descritta dalle equazioni di Maxwell sotto forma di onda elettromagnetica, si comporta come se fosse composta da un flusso di particelle quantistiche, battezzate “fotoni”. Aggiungiamo perciò i fotoni, o particelle di luce, al nostro armamentario di proiettili, poiché in MQ se ne fa uso continuo.

La particella è stata sparata in direzione orizzontale; seguiamone la traiettoria e poniamo lungo il suo percorso un oggetto agente sulla particella stessa nel seguente modo: con il 50% di probabilità la particella, dopo averlo incontrato, devierà dal suo percorso verso l'alto; con il 50% verso il basso. Al lettore non deve interessare quali siano la particella e il deviatore; gli basti sapere questo: per ogni tipo di particella, è facile inventare qualche genere di deviatore in grado di assolvere al compito indicato.

Ora ci si domanda: quale percorso starà seguendo la particella dopo aver incontrato il deviatore? La logica dice: «O sta andando su, o giù, e con uguali probabilità». Fin qui, l'esperimento non presenta difficoltà concettuali. Lo completiamo come segue: la particella, sia andata essa su o giù, terminerà il suo percorso in qualche rivelatore in grado di segnalarne l'arrivo, e di fornire indicazioni in merito a quale dei due percorsi la particella abbia seguito; se quello su o giù. Attenzione: sto mantenendomi sulle generali, perché prenderebbe troppe pagine spiegare in dettaglio come si eseguono esperimenti di questo tipo, e l'unica cosa davvero interessante è sapere che, proprio al termine dell'esperimento, si presenta il problema. Infatti, se i rivelatori sono piazzati a valle dei due percorsi attraversabili dalla particella con uguale probabilità, il risultato è del tutto incredibile. È perfino difficile esprimerlo a parole, perché suona come segue: «È come se la particella fosse passata attraverso entrambi i percorsi». Badate, non «attraverso l'uno o attraverso l'altro» e nemmeno, come ci potrebbe venire in mente con un salvataggio in angolo: «si è divisa in due mezze particelle, di cui una è andata su e l'altra giù», ma è proprio «come se fosse passata tutta intera sia su che

giù». Forse scattano tutti e due i rivelatori? No, è più complicato, ma per i dettagli devo rinviare il lettore a un testo specifico; qui gli chiedo fiducia.

Non per scherzare coi santi, ma era Sant'Antonio da Padova a possedere il dono dell'ubiquità, per cui poteva trovarsi in due luoghi diversi allo stesso tempo. Ebbene: a livello quantistico, è come se ogni oggetto materiale condividesse lo stesso dono. Scusate l'insistenza, ma al lettore dovrebbe far piacere trovare una descrizione più precisa, ma non troppo seriosa, di un esperimento come quello appena accennato; ci sono buoni libri divulgativi segnalati in bibliografia. Qui, vale la pena d'insistere solo sull'interpretazione dell'esito finale: quel famoso "come se"...

Chiunque abbia digerito le pagine precedenti, ha capito benissimo in qual senso interpretare, in prima battuta, il "come se": si tratta di modellistica senza pretesa di isomorfismo troppo spinto con la realtà, la quale può essere qualsiasi, e sfuggirci del tutto. Però, dobbiamo ammetterlo: ci stiamo imbattendo in una modellistica un po' diversa, rispetto a quelle con cui siamo abituati a batterci. Noi concepiamo una particella come un oggetto materiale, e non riusciamo a raffigurarci nessun oggetto il quale, senza dividersi in due pezzi, esista contemporaneamente in due posti diversi. Al contrario, l'evidenza sperimentale mostra in qual modo le particelle, quando viene evidenziato il loro aspetto quantistico, si comportano proprio come se potessero esistere in più luoghi allo stesso tempo. E, se il lettore rifiuta a priori di crederci, ricordi quanto segue: l'effetto tunnel, su cui si basa ogni moderna apparecchiatura elettronica, è solo un altro modo di manifestarsi dello stesso paradosso; in un certo istante, un elettrone si trova dentro una scatola (una buca di campo elettrico così profonda da non poter sfuggirne, per chi proprio volesse sapere di cosa si tratta) e, contemporaneamente, si trova fuori, come se potesse servirsi di una scorciatoia tra le due località attraversando un tunnel. Ma il tunnel, purtroppo, non c'è.

Come può venire in mente, a uno scienziato, un concetto così strano e, per certi versi, ripugnante? Solo al termine di un lungo processo di eliminazione di altre ipotesi. E ricordo: non tutti i fisici, al primo apparire di queste idee, ne furono contenti. Perfino alcuni degli indiscussi geni che per primi escogitarono la MQ, tra i più importanti dei quali posso citare Planck, Einstein e infine Schrödinger (ritroveremo quest'ultimo nel prossimo capitolo), finirono per essere letteralmente disgustati, non dai modelli matematici, ma dalle descrizioni intuitive emergenti. Secondo le loro dichiarazioni dell'epoca, ci doveva essere qualcosa di non ancora compreso. Fanno da contraltare Bohr, Heisenberg, Dirac e altri, i quali accettarono supinamente l'idea secondo cui il concetto umano, intuitivo, di "esistenza" diventa inadeguato, quando si riferisce a realtà materiali al di fuori della percezione sensibile di-

retta. E la generazione dei loro allievi forzò le cose con un: «Embè? Non c'è da ragionarci. È così, e basta!» bloccando, per decenni, ogni ulteriore discussione in merito.

Nel prossimo capitolo vedremo qualche interpretazione della MQ, il cui scopo dovrebbe essere quello di mantenerne il modello concettuale quanto più aderente possibile al comune buon senso, ma il lettore sta ormai sospettando che il problema sia destinato a rimanere con noi. Si potrà spostare qua e là, ma, nel momento in cui sembrerà risolto, eccolo riproposto da paradossi inattesi. Io, per esempio, in queste righe sto insistendo sul concetto di esistenza, e lamentandomi di quella quantistica perché è più sfumata di quella classica, in quanto consente a un oggetto fisico di coesistere in luoghi diversi allo stesso tempo. Ma non vorrei essere equivocado: ho scelto solo uno tra i modelli possibili e, per essere sincero, non mi sento più attratto da questo rispetto ad altri, cui accennerò nel prossimo capitolo. Coerentemente col mio modo di pensare, sono agnostico rispetto alle varie interpretazioni della MQ, e mi limito ad accettare i risultati del calcolo e dell'esperimento. Al contrario di alcuni fisici, però, non giudico questo stato di cose soddisfacente; mi irrita la caratteristica della MQ per cui nessun modello intuitivo va esente da incongruenze logiche. Ovviamente, da questo non posso trarre la conclusione secondo cui, prima o poi, tali incongruenze finiranno coll'essere eliminate; temo anzi un peggioramento del desolante stato di cose ora descritto. Esso potrebbe rivelarsi solo l'inizio di un procedere della fisica verso livelli di astrazione sempre più elevati, e sempre meno modellizzabili in termini intuitivi. Pazienza.

10.5. Smembriamo il singolo atomo

Torniamo, perciò, all'esistenza quantistica di primo livello, quello in cui agiscono le particelle definite reali. Come ho già fatto molte volte, debbo cercare di chiarire meglio il concetto, usando vocaboli con diverse sfumature di significato. Nei capitoli precedenti ho parlato di realtà come di qualcosa che probabilmente ci sfugge, e ne stiamo vedendo qui un esempio clamoroso. Nel caso quantistico, si è però consolidata una nomenclatura in cui l'aggettivo "reale" acquista una valenza diversa. Diremo dunque: una certa particella è reale quando è possibile eseguire su di essa un qualsiasi esperimento, teso a rivelarne una certa proprietà (posizione, massa, carica elettrica, eccetera). Per capirci meglio, immaginiamo di trovarci in un laboratorio chimico con tanti oggetti che, istintivamente, definiremmo reali nel senso intuitivo del termine, perché si possono maneggiare, aprire, chiudere, accen-

dere, spegnere e via di questo passo. Tra gli oggetti, in particolare, c'è un costosissimo alambicco in quarzo, contenente un gas composto di puro idrogeno. Supponiamo di sistemare l'alambicco sotto una cappa in cui sia ottenibile il vuoto pneumatico. Anzi: un livello di vuoto così perfetto per cui, fuori dell'alambicco, non ci sia nemmeno un atomo libero in giro. A vuoto realizzato, avviciniamo una provetta, anch'essa vuota, al beccuccio sottilissimo dell'alambicco, e spilliamone una molecola d'idrogeno, ovvero due atomi d'idrogeno debolmente legati l'uno all'altro, richiudendo subito dopo il rubinetto a spina. Nella provetta dev'esserci una molecola sola, mi raccomando. Ecco, ora posiamo l'alambicco e lavoriamo sulla molecola; anzi: spezziamola in due, illuminandola con potenti raggi ultravioletti, e tirandone via uno dei due atomi venuti fuori. Siccome vogliamo concentrarci sull'unico atomo d'idrogeno rimasto nella provetta, la tappiamo accuratamente. Fin qui stiamo eseguendo tutte manovre reali, su oggetti altrettanto reali, dall'alambicco all'atomo d'idrogeno compreso... o non è del tutto vero?

Domandiamoci ora: «Com'è fatto l'atomo sotto osservazione?». Per quanto ne sappiamo, esso contiene un elettrone orbitante attorno a un nucleo e, trattandosi d'idrogeno, quest'ultimo è composto di un semplice protone. Anzi, diremo meglio: l'elettrone *esiste attorno* al nucleo, come sarà chiaro (per modo di dire) nel prossimo capitolo. Infatti, la localizzazione spaziale quantistica è, come già notato, più sfumata di quella cui siamo abituati nel mondo macroscopico. Siccome la localizzazione sfumata ci confonde le idee, proviamo a lavorare per gradi aiutandoci con una classificazione, e definiamo "esistenza reale e basta" quella dell'apparecchiatura chimica (alambicco e altro) con cui stiamo lavorando, perché possiamo manipolarla a nostro gusto, sapendo (e vedendo) dove si trovano i vari oggetti. Quella dell'elettrone nell'atomo d'idrogeno, la definiremo invece: "esistenza quantistica reale". Perché? Bene: una definizione del genere sottintende che ci sia davvero un elettrone da qualche parte, in prossimità del nucleo atomico. Però, se cerchiamo di specificare esattamente la sua posizione, non ci riusciamo. Potremo anche eseguire tutta una serie di esperimenti sull'elettrone, per esempio allontanandolo dal nucleo e misurandone la carica elettrica o la massa, per mezzo di apparecchiature sperimentali adeguate (non mi metto a descriverle). I risultati di queste misure confermeranno la presenza di un elettrone oltre ogni dubbio, anche se, al contrario di quanto avviene con le apparecchiature chimiche di cui sopra (dotate di esistenza reale), incontriamo limiti, propri della MQ, alla precisione con cui possiamo eseguire alcune misure su di esso (in specie, quelle richiedenti una determinazione della posizione). L'elettrone c'è, ma tenta di sfuggirci tra le mani come un'anguilla. Il lettore abbia pazienza fino al prossimo capitolo: là qualificheremo meglio la

natura da fuoco fatuo degli oggetti quantistici reali i quali, per quanto non possano sottrarsi del tutto agli esperimenti e alla manipolazione, tendono a mantenere un riserbo sulle loro proprietà, mentre gli oggetti “reali e basta” non mostrano alcun pudore nel farci sapere dove trovarli all’occorrenza. Gli oggetti quantistici non sono semplicemente piccoli e perciò difficili da acchiappare; sono piuttosto intrinsecamente evanescenti. Il lettore comincia a intuire la differenza tra la nostra realtà e la realtà quantistica? No? Allora va tutto bene perché, come Feynman, neanche io la capisco. Ne prendo nota e, forzato dagli esperimenti, l’ammetto: c’è una differenza, ma la sua natura esatta sfugge alla mia intuizione.

Domanda: «E il protone al centro dell’atomo?». Ah, certo: pure la sua esistenza è sfumata e poco localizzata ma, essendo la sua massa duemila volte maggiore rispetto a quella dell’elettrone, il suo intervallo di confusione è, proporzionalmente, più piccolo. Per certi versi, è più facile applicare il concetto classico di realtà al protone anziché all’elettrone, benché, strettamente parlando, siano quantistici reali tutti e due.

10.6. Questo, però, è troppo!

La natura, comunque, presenta una terza modalità di esistenza delle particelle, ancora più eterea dell’esistenza quantistica reale, a sua volta ben più sfumata rispetto all’esistenza reale classica. Potremmo definire questo terzo e ultimo caso (è l’ultimo davvero, per quanto possiamo capirne): “esistenza quantistica virtuale”. La “realtà” neppure compare più nella dicitura! Per spiegare di cosa si tratta, dovrò usare un paio di frasi che faranno venire a molti la voglia di piantare tutto. Calma, ricordate sempre: sto parlando di un modello e nient’altro, ma il lettore non è libero di rifiutarlo con una scrollata di spalle, poiché esso possiede precisi riscontri sperimentali. E, comunque, non sto esibendo cultura per mistificare il lettore. Il titolo del libro è ancora al centro della discussione, pur se in questo momento può non sembrare.

Paragrafo incriminato, con molti corsivi su cui soffermarsi. Le regole quantistiche permettono a una particella *non esistente* di farsi *prestare dell’energia dal vuoto*, a patto di *restituirlo* dopo un *tempo brevissimo*. La particella, tra il prestito e la restituzione, vive un’esistenza *effimera* definita *virtuale*, non essendo rivelabile dai nostri strumenti *per motivi di principio*.

Qualcuno dovrebbe, a questo punto, insorgere obiettando: «Se i nostri strumenti non possono cogliere la particella sul fatto per motivi di principio, l’esistenza di questa particella non appartiene al dominio della scienza, nep-

pure sotto la forma evanescente sottintesa dall'aggettivo "virtuale". È come se colasse tra le maglie della rete del pescatore di Eddington. Siamo d'accordo su questo?». No, i fisici la pensano diversamente. Ammetto, però, di aver ciurlato un tantino nel manico; non per la prima volta, è vero, ma questi argomenti si costruiscono solo per passi successivi. In fin dei conti, così va il metodo scientifico della modellistica. Adesso, per esempio, dobbiamo saltare un'altra frana lungo il sentiero, ma per fortuna abbiamo accumulato la rincorsa sufficiente a farlo senza rischi.

Riprendiamo la seconda, tra le leggi di natura trovate dal pescatore-ittiologo di Eddington: "Il pesce più grande mangia il più piccolo". Ma i pesci lunghi 5 cm sono in buona salute. Di cosa si nutrono? All'ittiologo, già lo sappiamo, viene in mente un'ipotesi piuttosto semplice: debbono esistere per forza pesci più corti di 5 cm per esser loro di nutrimento, anche se la rete non consente di catturarli. L'ipotesi si basa su un indizio indiretto e, in stretta legittimità, il pescatore sarebbe autorizzato solo a sospettare l'esistenza di questi ipotetici pesci, ma non a ritenerla provata. Incuriosito, potrebbe desiderare una rete a maglie più strette, onde verificare sperimentalmente se ci ha azzeccato o no. Purtroppo, la rete usata finora è già quella con le maglie più strette possibili, per principio. Non sto introducendo nulla di nuovo, si badi bene. Tutt'altro: sto tornando al vecchio Immanuel Kant e ripetendo un ragionamento ormai familiare al lettore. Qual è la maglia più stretta oltre la quale il nostro intelletto non può andare? Ne abbiamo parlato a non finire: la causalità.

10.7. Oltre la causalità? Non ha senso

«Ma come!», obietterà il lettore. «I problemi con la causalità s'incontrano solo quando si parla di entità non causali, entità appartenenti al regno della metafisica e della teologia, come per esempio Dio. Cosa c'entra, questo discorso, con le particelle virtuali e con lo studio del mondo fisico?».

Scusate, ma qualcuno l'ha mai detto a priori? Solo Dio può essere non causale? Io, per esempio, non l'ho mai affermato. E se, tanto per ipotesi, anche la natura si comportasse, in alcuni dei suoi aspetti, in modo non causale, cosa succederebbe? Beh, lo abbiamo già accennato tra le righe qualche capitolo fa: gli scienziati, sperimentando, s'imbatterebbero in qualche genere d'incongruenza logica, in situazioni non descrivibili in modo globale da nessun modello intuitivo esente da paradossi.

Sto forse insinuando proprio questo? La MQ è *non causale*? Sinceramente, non me la sento di sostenere l'affermazione in modo assoluto, poiché lo

farei con mentalità causale, ed entrerei in rotta di collisione con Kant. Ma sfido chiunque a dimostrarmi in modo incontrovertibile che non sia così. In verità, abbiamo non già la certezza logica (quella, temo ci sfuggirà in eterno), ma almeno il fondato sospetto di esserci imbattuti, con la MQ, in una caratteristica basilare della natura, riconducibile alla causalità solo in modo statistico, e cioè quando si considerano un numero enorme di eventi dello stesso tipo. Il singolo evento, invece, si comporta in modo del tutto *casuale*. Badate: non è colpa mia se due vocaboli di significato opposto si somigliano. Rileggete bene la penultima frase: c'è scritto "casuale" e non "causale". Tutto sommato, come vedremo meglio tra poco, i modelli matematici della MQ (le equazioni, per intenderci) sono efficacissimi nel prevedere l'esito, per l'appunto, statistico di un gran numero di misure, ma non hanno alcun potere predittivo quando si tratta di una misura singola. Però, è meglio se aspettiamo ancora qualche paragrafo, prima di tuffarci in quest'idea, mentre la teniamo a scaldare nel sottofondo della nostra mente.

Tornando per ora all'ittologo, le argomentazioni addotte dai fisici riguardo all'esistenza quantistica virtuale sono un po' somiglianti a quelle su eventuali pesci più corti di 5 cm, e quindi, almeno apparentemente, non scientifiche. Non è così; per nostra fortuna possediamo indizi sperimentali *quasi* concreti e, soprattutto, coerenti tra loro. Posso rassicurare il lettore su questo punto: non solo gli indizi sono di genere diverso, ma tutti concordano. Vediamone alcuni: solo un paio tra tanti.

10.8. Dove si dimostra (quasi) l'indimostrabile

È ben vero, e l'ho ammesso: a noi è impedito a priori qualsiasi esperimento diretto sulle particelle virtuali, ma caliamoci solo per un attimo nei panni di un elettrone quantisticamente reale. Tanto per dirne una, ci accorgiamo subito di ruotare attorno a un asse (attenzione, perché il modello quantistico della rotazione è molto, molto contorto, ma ormai dobbiamo cominciare ad accontentarci di quanto passa il convento) in analogia, molto imperfetta, alla rotazione di un corpo celeste. Eseguita questa prima constatazione, possiamo tornare in laboratorio (senza perdere di vista l'elettrone: tra qualche capitolo, ci troveremo imbullonati sulla sua schiena!) e misurare alcune proprietà della rotazione dell'elettrone stesso, avvalendoci di un campo magnetico e altre apparecchiature. Così pure, le medesime proprietà si potranno prevedere in base alla teoria, per mezzo delle leggi della MQ. A conti fatti, troveremo un'ottima concordanza tra i due risultati, lo sperimentale diretto e il teorico calcolato, poiché essi differiscono tra loro di circa lo

0,1%. È poco, vero? Macché! È tantissimo, e inspiegabile. Se una teoria è precisa, deve fornire risposte quantitativamente esatte, almeno fin dove si riesce a misurare. Allora, perché c'è tutta questa differenza? È sbagliata la teoria? O la misura? Nessuna delle due.

Per capire cosa non va, dobbiamo assumere nuovamente il punto di vista dell'elettrone quantisticamente reale, e ruotare con lui. Osservando i nostri (suoi) dintorni, ci accorgiamo di essere immersi in un oceano fluttuante di particelle virtuali; queste sprizzano fuori dal nulla, e prestissimo vi ritornano. Non riusciamo ad afferrare saldamente per la coda nessuna di queste particelle, ma c'è un minimo di *attrito elettromagnetico* – per usare un altro modello grossolano – tra noi e loro, perché anch'esse ruotano. Risultato finale: la nostra rotazione è un po' influenzata da questo marasma di particelle virtuali che sorgono e spariscono attorno a noi. Di quanto è influenzata? Di circa lo 0,1%. Ripetendo il calcolo teorico della rotazione dell'elettrone, ma tenendo anche presente quanto afferma la MQ riguardo alle particelle virtuali, il risultato coincide con quello sperimentale entro dodici cifre decimali di precisione. Ovvero, fin dove arrivano le misurazioni più accurate oggi eseguibili. Può essere un caso? Quanto meno, è un indizio forte sulla presenza, in qualche modo, delle particelle virtuali stesse.

Altro indizio sperimentale. La MQ specifica molto chiaramente la regola del prestito di energia da parte del vuoto: l'energia stessa deve essere restituita in un tempo tanto più breve, quanto più sono massicce le particelle virtuali e, se nessuno (in senso lato) provvede al rimborso del prestito, queste ultime cessano di esistere allo scadere del tempo. Ma, in circostanze particolari, un qualche genere d'istituto di credito si accolla l'onere di risarcire in contanti il vuoto alla scadenza del prestito, e allora le particelle possono continuare a esistere quanto vogliono, essendo state promosse al livello più elevato di esistenza quantistica reale. Ora: qual è la banca adibita a questo genere di transazioni? Meglio saperlo perché, se scopriamo di essere suoi clienti, ci conviene correre a chiudere il nostro conto corrente e trasferire i soldi altrove.

La banca è un *acceleratore di particelle*. Nel suo interno, alle particelle quantisticamente reali viene fornito un ammontare gigantesco di energia di moto, detta *cinetica*, spingendole fin quasi alla velocità della luce. A quel punto, le particelle si fanno scontrare fra loro frontalmente, e tutta l'energia cinetica da loro posseduta è scaricata... dove? Nel vuoto circostante la zona di collisione. Nello stesso vuoto in cui esistono (al più basso livello di esistenza), in quel momento, innumerevoli particelle quantistiche virtuali. Queste ultime se ne approfittano: succhiano l'energia necessaria e, siccome l'acceleratore è in gestione ai fisici, e sono loro a saldare il debito col vuoto

(e coll'ente erogatore di elettricità), diventano quantistiche reali. Infatti, nelle immagini riprese da rivelatori disposti in modo opportuno, si vedono grandi quantità di nuovi oggetti crearsi apparentemente dal nulla, in un improvviso fuoco d'artificio scaturente dal punto in cui le particelle reali accelerate dall'apparecchiatura si sono scontrate. I nuovi oggetti rivelati in tali condizioni sono proprio le ex particelle virtuali le quali, nell'istante dell'urto, guizzavano per un istante nella quasi-esistenza. Lo dice la loro distribuzione in massa, carica elettrica e altro, coincidente con quella prevista per le particelle virtuali dalla teoria quantistica, e soprattutto un fatto dirimente: durante la collisione, si possono *materializzare* particelle enormemente più pesanti di quelle scontratesi tra loro; quindi non possono essere in alcun modo frammenti dovuti alla frantumazione di queste ultime. Altro indizio forte. E ce ne sono ancora diversi, ma mi fermo a questi; mi paiono sufficienti a fare entrare il lettore nella mentalità dei fisici.

In sostanza, anche se non potremo mai eseguire misurazioni dirette sulle particelle virtuali, gli effetti indiretti dovuti alla loro esistenza sono una gran quantità, e tutti perfettamente congruenti col modello matematico. Dunque, la condizione di esistenza quantistica virtuale non può essere solo un artefatto delle nostre menti, ma deve corrispondere a qualcosa presente sul serio in natura, almeno come isomorfismo. Cosa ci sia davvero sfugge del tutto ai nostri modelli e ai nostri esperimenti, ma qualcosa c'è, sebbene a un livello di esistenza meno vigoroso rispetto all'esistenza quantistica reale la quale, a sua volta, è molto più *debole* della normale esistenza reale, come la definiamo in termini intuitivi.

10.9. Forse non siamo adeguati a capire

Il discorso sulla MQ non può terminare qui; lo riprenderò nel prossimo capitolo. Per il momento, voglio far gravare sul lettore la dura lezione inflitta, dal comportamento della natura, alla pretesa, da parte della scienza (e soprattutto degli scienziati, anche quelli con la "S" maiuscola), di capire per lo meno tutto il mondo sensibile. Appena siamo stati chiamati a investigare un po' nel regno degli atomi, il nostro intelletto si è rivelato inadeguato alla bisogna di costruire rappresentazioni ideali dei processi in corso. Forse, usando tecniche di training autogeno, meditazione trascendentale, o annusando fiori di Bach, qualcuno tenterà di convincersi davvero che una particella diretta verso l'alto non abbia, tutto sommato, grossi problemi ad andare anche verso il basso, trovandosi in due luoghi diversi nello stesso istante. Ma ne dubito. Una percezione del genere, al massimo, si può provare du-

rante un sogno, o sotto l'effetto della *cannabis indica*, mentre il cervello si prende grosse libertà. Riusciamo, al più, ad accettare *obtorto collo* l'idea secondo cui la natura funziona in base a un andamento diverso da quanto a noi sarebbe piaciuto. E convivere con questo stato di fatto, senza meravigliarci troppo se siamo inadeguati a capire fino in fondo. Tutto sommato non esiste alcuna contraddizione tra il modello darwiniano di evoluzione biologica e la nostra inadeguatezza intellettuale nell'addentrarci in ambienti troppo diversi da quelli familiari nell'intervallo Kelvin da cui siamo emersi. Anzi, in quest'ordine d'idee dovrebbe essere un'altra cosa a stupirci: non siamo in grado di rappresentare intuitivamente quanto avviene, eppure ci è ugualmente concesso costruire modelli matematici descrittivi (statisticamente) fin troppo bene i risultati di ogni tipo d'esperimento quantistico. Al punto di poter fondare tutta la moderna tecnologia sull'utilizzo pratico di paradossi quantistici. Se devo essere sincero, anche questa considerazione mi sembra un po' incongruente, e non manco di stupirmi quando mi capita per la mente. Cosa diavolo c'è sotto la matematica, sempre se c'è sotto qualcosa? Ma riassumiamo questo capitolo, pur esso molto lungo.

10.10. Ricapitolando

A-X) Le leggi di natura operanti a livello di base, atomico e subatomico, non hanno nulla d'intuitivo.

B-X) Sempre a livello di base, lo stesso concetto di "esistenza" assume connotati diversi rispetto a quello a noi familiare e comprensibile.

C-X) In conseguenza, pure il concetto di "realismo" va rivisto a un pesantissimo ribasso.

Se teniamo conto di questi presupposti (fatti sperimentali e non ipotesi), capiamo perché la MQ limita la conoscibilità scientifica con nuovi vincoli, non inclusi tra quelli già incontrati finora, ma anch'essi di natura fondamentale, e non valicabili. Vincoli non imposti a priori dalle stesse basi del metodo scientifico; questi sorgono inaspettatamente, a un certo punto dello sviluppo delle nostre conoscenze, da esperimenti pratici.

10-X) La scienza non è in grado di fornire una descrizione intuitiva del comportamento basilare della natura, e questo ci fa sospettare che la natura stessa non obbedisca alla causalità.

11-X) Addirittura, il concetto intuitivo di realtà è inadeguato a descrivere i fenomeni naturali fondamentali.

11. ONDE, PARTICELLE, INDETERMINAZIONE

11.1. Laghetti, paperelle e sassi

Ho promesso al lettore di farlo entrare un po' più nello specifico dei modelli fisici, intuitivi, della MQ, e così sarà, ma le cose non diventeranno definitivamente chiare per questo. Ne verrà fuori un concetto comunque utile, ora e in futuro: il Principio d'Indeterminazione (PdI), per mezzo del quale seppelliremo con tanto di funerale il meccanicismo (col conseguente determinismo assoluto) e lo potremo dimenticare. D'altra parte, se la natura ha deciso d'imboccare una strada lungo la quale dobbiamo orientarci col bastone bianco della matematica, senza pretendere di "vedere" con l'intuizione, tanto ci deve bastare. Partiamo dal cosiddetto "dualismo onda-particella". È una spiegazione dovuta al lettore, poiché ho già parlato della luce come di onda (elettromagnetica) e di particella (il fotone) al tempo stesso.

In mezzo al giardinetto c'è un laghetto su cui le coppiette vanno in barchetta e si danno i bacetti. Utilizzo questa immagine perché è un modo efficace di evocare l'idea di una distesa d'acqua abbastanza tranquilla, magari un po' stagnante, la cui superficie non è increspata da onde vistose, a parte quelle che possono crearvi le paperelle col codazzo di paperotoli. Se, per il momento, prescindiamo dalle sgranature quantistiche della realtà a livello base, evidenziate nel capitolo precedente, nulla osta a immaginare di raccogliere un bel sasso, reale, in riva al laghetto. Un ciottolo solido, concreto, dai bordi ben delimitati, da associare intuitivamente al concetto di particella reale, anche se un automatismo mentale ci porta subito a distinguere tra una particella, come per esempio l'elettrone, perché questa sarà di sicuro molto piccola mentre, all'opposto, il sasso è ovviamente grande: centinaia di centimetri cubi. Non importa: per ora ci contenteremo di un modello di particella anche così impreciso.

Lanciamo il sasso nel laghetto. "Splash": dal luogo d'impatto parte un'onda circolare e, via via, si diffonde con velocità uniforme, perfettamente simmetrica attorno al punto in cui il sasso è affondato. Un esperi-

mento concettuale (o pratico, se troviamo il laghetto) di nessuna difficoltà: almeno finora, non dice nulla di quanto già non sapessimo. Ma proviamo a chiederci: dov'è localizzato esattamente il sasso? Facile: prima di lanciarlo era nella nostra mano; dopo il lancio ha compiuto una ben precisa traiettoria, e solo quella; l'abbiamo potuta seguire con lo sguardo. Il sasso ha raggiunto la superficie dell'acqua ed è affondato nel torbido sfuggendo alla vista, ma non abbiamo alcun dubbio: si trova nel fango del fondo, poco distante dalla verticale del punto in cui è entrato in acqua. E abbiamo di certo ragione: benché il sasso, come ogni oggetto di questo mondo, obbedisca in senso stretto alle regole di esistenza quantistica reale, esso è composto da trilioni di atomi, e gli effetti quantistici sulla sua traiettoria sono microscopici, non misurabili neppure con le apparecchiature più sofisticate oggi disponibili. Di conseguenza, il concetto di esistenza reale in termini classici è un'approssimazione talmente precisa del suo comportamento, da non valere la pena di perderci altro tempo. Il sasso sarà dove ci aspettiamo, in base alle leggi intuitive della meccanica classica (ricordo: "classico", in fisica, significa "pre-quantistico") di Newton, e, se dragassimo il fondo del laghetto in prossimità dello "splash", lo troveremo senza troppe storie.

Adesso poniamoci una domanda diversa: dov'è l'onda generata dal sasso? Beh, anche qui ci sembra di poter rispondere semplicemente: è sulla superficie del laghetto, centrata rispetto a dove il sasso ha toccato l'acqua, e si sta dilatando con velocità costante mentre, allo stesso tempo, le ondulazioni dell'acqua tendono a smorzarsi.

Sì, ma noi vogliamo sapere dov'è l'onda *di preciso*. Per il sasso, abbiamo ottenuto una risposta intuitiva soddisfacente; per l'onda, appena ci riflettiamo, viene fuori che non solo questa è distribuita in uno spazio piuttosto ampio ma, addirittura, la sua dimensione varia nel tempo. Cresce sempre allo stesso ritmo e, se non si stesse smorzando via via coll'espansione, tra un tempo infinito anche la sua larghezza sarebbe infinita, almeno se semplificassimo abbastanza le cose da ignorare l'attrito, la finitezza del laghetto nel giardinetto, gli impatti con le barchette sulle quali... eccetera. Questo ci fa venire in mente qualcosa, a parte le paperelle che segano l'onda?

Dovrebbe. Un'onda è un oggetto fisico ben preciso: non facciamo fatica a immaginarla e, di sicuro, essa ha un comportamento perfettamente descrivibile e prevedibile dalla meccanica newtoniana, ma non possiede la caratteristica di una localizzazione spaziale precisa. L'onda è su, ma anche giù, è a destra e a sinistra contemporaneamente, eppure ciò non turba affatto la nostra intuizione. Il salto logico immediato è: «Allora, forse,

a livello quantistico le particelle possiedono alcune caratteristiche delle onde, per cui l'esperimento del capitolo precedente, dove una particella si trova ubiquitariamente lungo il percorso su e lungo quello giù, è interpretabile in base al comportamento di un'onda. Magari, il nostro modello mentale può riacquistare piena realtà intuitiva in senso classico? Esiste, forse, un qualche genere di dualismo, e a una particella si può associare anche un'onda, e viceversa?». La risposta è, almeno in parte, affermativa. Purtroppo, però, stiamo per urtare contro un primo ostacolo, e anche quest'idea non ci condurrà fin dove avremmo sperato.

11.2. Ma neanche questo funziona, perbacco!

Tra la fine del 1925 e l'inizio del 1926, un fisico di genio, Erwin Schrödinger, pensò per breve tempo di aver riconciliato la MQ con quella classica per mezzo di una trattazione di tipo ondulatorio. Scrisse, infatti, un'equazione, ampiamente usata anche oggi, per descrivere correttamente l'esito di ogni esperimento pensabile in MQ (e perciò questo particolare modello matematico della situazione vigente in natura a scale di distanza molto piccole deve essere abbastanza isomorfo alla realtà), assimilando il comportamento di una particella proprio a quello di un'onda. Per di più l'equazione di Schrödinger, benché differenziale, è lineare, ovvero l'incognita compare solo elevata alla prima potenza, ed è quindi risolvibile in modo semplice. Noti bene il lettore: non ci sono neanche problemi di caos deterministico! Si tratta di una normale equazione delle onde, di un tipo già noto in fisica da oltre un secolo. In effetti, Schrödinger era convinto di aver tirato fuori la MQ dal pantano modellistico in cui sembrava affondare, ma ci vollero pochi mesi perché il poveretto si ricredesse, e gettasse la spugna, lamentandosi con frasi traducibili come: «Se avessi saputo in quale letamaio mi andavo a cacciare, mai e poi mai ci avrei ficcato il naso!». E tutto ciò, nonostante la sua equazione si fosse rivelata la chiave matematica in grado di aprire ogni scrigno della fisica del mondo atomico e subatomico. Ma il punto di discordia era un altro: lui, da buon fisico classico, cercava il modello intuitivo, e il modello matematico gli serviva solo come strumento per delinearne chiaramente un'immagine mentale (e a renderlo quantitativo, s'intende). Alla fine, il modello matematico risultò essere l'unica cosa utilizzabile...

Perché tutto ciò? Qualche paragrafo fa, non ci sembrava forse che, in prima approssimazione, un'onda potesse risolvere il problema sperimentale della ubiquità incontrata in MQ, essendo l'onda diffusa dovunque?

Purtroppo, ragionavamo in modo superficiale. Precisiamo dunque il modello dell'onda, ma niente paura: non userò la matematica.

Mettiamo le cose in questo modo: nello "splash", il sasso all'origine dell'onda scambia coll'acqua una certa quantità di energia cinetica, e chiamiamo E_0 questa energia. Il moto innescato nell'acqua diffonderà attorno a sé l'energia per cui, se non ci sono perdite per attrito, l'onda nel suo insieme continuerà a possedere energia E_0 costante nel tempo. Ma attenzione alle parole: mi riferisco all'onda nel suo insieme. Ritagliamo, adesso, due spicchietti opposti dell'onda, perfettamente simmetrici, sull'acqua del laghetto, e identifichiamo con la direzione *su* uno dei due spicchietti, mentre l'opposto è *giù*. Quanta energia conterrà ciascuno spicchietto? Una quantità che potremo chiamare E_i , il cui ammontare dovremo calcolare di volta in volta secondo la geometria della situazione, ma una cosa sarà sicura: E_i è minore di E_0 !

Regge ancora il confronto con l'esperimento sull'ubiquità della particella? Non del tutto. Tiene, ma solo finché la particella può biforcarsi lungo due percorsi differenti; crolla, invece, nel momento in cui l'intera particella deve percorrere contemporaneamente i due percorsi. Infatti, dire "l'intera particella" è un po' come dire "l'intera onda con l'intera energia". Ora, nell'onda sul laghetto, l'energia si disperde in uno spazio (in un volume, poiché l'onda possiede anche un certo spessore) sempre più ampio, mentre la rappresentazione mentale della particella non può essere disgiunta da un'energia sempre concentrata, in analogia al sasso dal quale ha preso origine l'onda stessa. Se, dunque, volessimo interpretare l'esperimento sull'ubiquità della particella in base al semplice diffondersi di una tradizionale onda rappresentante la particella, dovremmo ammettere quanto segue. Sì, è vero: c'è qualcosa sia nel percorso definito *su*, sia in quello *giù*, ma non può trattarsi certo dell'intera particella, semmai solo di una sua percentuale, pensabile come la frazione di energia dell'onda incanalata nei due percorsi, rispetto all'energia posseduta dall'intera onda. Dunque, limitarsi ad assimilare onde e particelle senza una buona ricetta per dosare gli ingredienti non porta lontano, poiché i risultati del ragionamento sono ben diversi da quanto rileviamo come esito degli esperimenti in laboratorio.

11.3. Probabilità, allora. Ma di cosa?

Stando così le cose, sarà necessario compiere un nuovo sforzo d'astrazione servendoci del modello fisico della particella, pochissimo intui-

tivo, fornitoci dall'equazione di Schrödinger. Ripensiamo e raccontiamo con parole diverse l'esperimento sull'ubiquità descritto nel capitolo precedente. Una particella, nel momento in cui attraversa l'oggetto che la costringe a scegliere se andare verso l'alto con una probabilità del 50% o verso il basso per il restante 50%, comincia a somigliare in prima approssimazione a un'onda, ma attenzione: non nel senso di un'espansione della particella. Anzi: è il concetto di posizione della particella a diventare sfumato, come se essa non possedesse più la caratteristica di avere una localizzazione precisa nello spazio. La qual cosa non è affatto intuitiva, mi permetto di aggiungere subito. Piuttosto, la qualità in espansione lungo i due rami dell'esperimento è una specie di "onda di probabilità" che la particella si trovi da una parte anziché da un'altra. Ma non una *probabilità*, badate bene, perché, in qualche modo, questa farebbe ancora un debole appello all'intuizione: un'onda di probabilità, invece, è un concetto puramente matematico. E anche un po' esoterico, tanto da mandare in bestia il povero Schrödinger, quando Bohr e i suoi lo costrinsero a digerirlo, formule alla mano. Ma non si riesce a spiegare l'esito dell'esperimento, senza diluire fino a questo livello il concetto di esistenza. Chiedersi se la particella in sé si trovi da qualche parte non ha più alcun significato, anche sul piano pratico: esiste solo un'onda di probabilità di esistenza percorrente, al contempo, tutte le traiettorie possibili. E attenzione: al contrario di quanto suggerito dall'intuizione, quest'onda non è interpretabile affatto come un'esistenza, sia pur diffusa, della particella stessa. Infatti, nella descrizione matematica di questa onda di probabilità di esistenza, compare a moltiplicatore la radice quadrata di -1 , ovvero un numero immaginario. Ora, la fisica classica, quella intuitiva, non ha alcuna esperienza di una quantità immaginaria associata a qualcosa di palpabile. Solamente quando si eleva al quadrato il valore numerico dell'onda di probabilità di esistenza, la parte immaginaria finalmente scompare, e il numero risultante rappresenta la genuina probabilità che, eseguendo un esperimento per individuare quale percorso la particella segua, questa si trovi in una certa posizione. Ma attenzione, ricordiamo bene: perfino dopo ogni manipolazione, tutt'al più abbiamo trasformato un'onda di probabilità *complessa* in una probabilità; tutto qui. La particella quantisticamente reale continua a essere un'astrazione. Non esiste, se non come distribuzione di probabilità di trovare la particella stessa da qualche parte. Come Schrödinger non aveva capito subito, forse perché nutriva il pregiudizio secondo cui il mondo dev'essere reale e basta (ma poveretto, qualcuno pensa davvero di potergli fare una colpa se il suo intelletto non era contorto come quello di Bohr?), avremo tra le mani una particella quantisticamente

reale solo dopo l'esito finale dell'esperimento. Solo quando la particella abbia fatto scattare un contatore, o lasciato il segno visibile su una lastra fotografica, o attivato qualsiasi apparecchiatura di rivelazione il lettore voglia inventare. Potremo affermare di trovarci di fronte a una particella reale (quantisticamente) solo quando potremo dire: «Ecco, ora è qui e, in base alla meccanica dell'esperimento, abbiamo avuto la prova di come sia passata per tutt'e due le strade contemporaneamente». Non molto soddisfacente.

Manca un'informazione per finire di chiarire (oppure di confondere) le idee al lettore. La particella finirà per materializzarsi solo in uno, tra i tanti – spesso infiniti – luoghi nei quali la distribuzione di probabilità le avrebbe consentito di arrivare. Di conseguenza, eseguendo più volte lo stesso esperimento in maniera identica, alla fine le centinaia o migliaia di particelle utilizzate l'una dopo l'altra, materializzandosi ora qui e ora là, confermeranno statisticamente le previsioni ricavate dall'equazione di Schrödinger. Infatti, pure l'equazione ha potere solo se applicata a un gran numero di casi e, per quanto riguarda la singola particella, può al massimo prevedere l'intervallo in cui essa probabilmente finirà. Ripeto: le particelle si materializzeranno in maggior parte nella zona dove la distribuzione di probabilità prevede il massimo, e sempre meno se ne troveranno dove la probabilità teorica scende. Tutto ciò è semplicemente orribile, ma il modello matematico della MQ (vale la pena di ricordarlo per l'ennesima volta) descrive esattamente ogni statistica di risultati sperimentali quantistici, e quindi deve pur possedere un qualche isomorfismo con la realtà, qualunque essa sia!

11.4. *L'esistenza diventa immaginaria*

Se, nel capitolo precedente, avevamo incrinato il concetto classico di esistenza introducendo l'esistenza quantistica reale, sgradevole al palato, perché la particella tutta intera deve percorrere contemporaneamente due (o più) traiettorie diverse, avendo ora introdotto pure il modello matematico per descrivere in modo esatto, quantitativo, l'esito statistico degli esperimenti, sentiamo l'obbligo di adattare il modello intuitivo a quello matematico. Ma ci si apre un baratro sotto i piedi. La vera e propria esistenza fisica diventa un dettaglio trascurabile, anzi un ingombro fastidioso, retaggio del passato, di cui è meglio liberarsi subito. Quel che esiste davvero, e si propaga nello spazio in quanto descritto dalle equazioni, non è la particella, neppure in forma diffusa, e non è neanche la distribuzione

di probabilità di trovare la particella stessa da qualche parte. Si tratta piuttosto dell'onda di probabilità, espressa per mezzo di numeri immaginari. E ci permettiamo ancora di definire esistenza quantistica reale una situazione del genere? Cosa sarà, allora, l'esistenza quantistica virtuale di cui abbiamo trattato nel capitolo precedente? Meglio non pensarci neppure; a questo punto non serve complicare ulteriormente il quadro, per toccare con mano quanto l'intuizione e il buon senso falliscano nel più miserevole dei modi, appena usciamo dall'intervallo Kelvin: il limite che la natura stessa ha imposto alla nostra evoluzione intellettuale (cerebrale?).

Non so se il lettore ha colto appieno un passaggio di qualche paragrafo fa; nel dubbio, ci torno sopra. L'interpretazione del modello matematico, ma anche degli esperimenti di laboratorio, afferma quanto segue: la particella emerge come misurabile solo dopo l'esecuzione della misura stessa, e nulla si può dire sull'esistenza della particella qualora, invece, la misura non venga eseguita. Posso fornire al lettore un'analogia un po' estemporanea su come la realtà sembra presentarsi ai nostri sguardi. Accuso, dunque, madre natura di essere turchia fino all'inverosimile: non elargisce la proprietà dell'esistenza in senso lato, finché questa non sia davvero indispensabile, e cioè finché la particella non vada soggetta a un qualche tipo di misurazione. Poi, appena eseguito l'esperimento, la particella rientra nel limbo del "ci-sono-ma-non-ci-sono" benché, a denti stretti, la natura si appunti su un foglietto volante, da appiccicare chissà dove (sul frigorifero?), quale sia la caratteristica della particella appena misurata. E lo fa solo perché un eventuale, nuovo test sperimentale eseguito in tempi brevi sulla stessa particella deve fornire, per lo meno entro certi limiti, un risultato compatibile con quello precedente. Ma, siccome il frigorifero di madre natura non deve essere sommerso dalle cartacce, dopo un tempo abbastanza breve il foglietto cade e si butta. In quest'ordine d'idee Einstein, disgustato dai modelli intuitivi della MQ già precisati ai suoi tempi, indicava la Luna al collega Pais, fervente quantistico, e gli chiedeva: «Ma lei è davvero convinto che, quando non la guardiamo, non ci sia?». In sostanza, secondo la MQ, se una quercia cade, e nessuno è lì per sentire il rumore, la quercia non fa rumore!

Queste argomentazioni dovrebbero essere utili al lettore per liberarlo da ogni residuo pregiudizio sull'onnipotenza della scienza, non già se applicata a concetti tali da trascenderla a priori (come quello di Dio), ma perfino quando si applica terra terra, a faccende che ci aspetteremmo dovessero ricadere nell'ambito delle sue capacità, come il comportamento della materia a dimensioni microscopiche. E si noti: ho detto *pregiudizio* e non *paradigma*. Fino all'inizio del Novecento, infatti, questo senso di potere

aveva diritto allo status di paradigma, pur se molti fisici già lo respingevano; oggi sarebbe solo un pregiudizio incrostato d'ideologia. Insomma, come abbiamo rilevato nel precedente capitolo, e ora abbiamo constatato in modo un po' più pregnante: con lo sviluppo della MQ emerge una nuova limitazione alla nostra possibilità di conoscere il mondo sensibile in maniera scientifica. Una limitazione – scusate se lo ripeto, ma mi sembra importante – non compresa tra quelle che la scienza s'impone da sé, tutte dovute alle basi del metodo scientifico, ma completamente inaspettata. D'altra parte, sta lì, e ci resterà in eterno.

11.5. L'atomo non è un batuffolo

Prima di passare oltre, ripensiamo un attimo al modello dell'atomo, inteso come un sistema solare in miniatura. Ora dovremmo aver capito: né il nucleo centrale né gli elettroni sono localizzati in modo preciso, ma l'imprecisione è tanto maggiore quanto più piccola è la massa e, pertanto, essendo il nucleo migliaia di volte più massiccio degli elettroni, la centralità della sua posizione nell'atomo è abbastanza ben definita. Ma cosa dire degli elettroni stessi? Vediamo un po': il famoso atomo d'idrogeno, che nel capitolo precedente avevamo spillato dall'alambicco, si trova ancora nella provetta. Osserviamolo di nuovo: si tratta del più semplice atomo tra tutti; un oggetto nelle cui parti centrali si trova qualcosa di più o meno localizzato, cui associamo il concetto di protone. Per quanto invece riguarda l'elettrone, di certo non orbiterà attorno al protone come un pianeta attorno al proprio sole. Piuttosto, ci sarà una distribuzione diffusa centrata attorno al nucleo, ma una distribuzione di cosa? Di materia elettronica come se l'elettrone fosse un batuffolo d'ovatta dai bordi un po' sfrangiati? Neanche per idea. Allora, sarà forse una nuvoletta di probabilità di trovare l'elettrone? Magari fosse così facile! Guardate bene anche voi l'atomo, rigiratelo da tutte le parti, e scoprirete la verità con vostro scorno! Si tratta, purtroppo, di una nuvoletta d'onda di probabilità, nella cui espressione matematica entrano numeri immaginari, e quindi non corrisponde a nulla di cui abbiamo esperienza intuitiva. Solo elevando al quadrato l'onda di probabilità si ottiene la distribuzione di probabilità, e solo eseguendo sul serio l'esperimento di individuare la posizione dell'elettrone, questo si materializza per il tempo necessario. E dove? Può farlo dovunque ma, come abbiamo visto, ripetendo l'esperimento più e più volte, troveremo l'elettrone più frequentemente nella zona in cui la distribuzione di probabilità è vicina al massimo. Ecco: perfino gli atomi ci si sgretolano tra le mani...

11.6. La base di tutta la MQ

Siamo finalmente al Principio d'Indeterminazione (PdI), enunciato nel 1927 da Werner Heisenberg. Esso afferma quanto segue, e state attenti. Se eseguiamo una misura sperimentale per identificare *allo stesso tempo* la posizione e la velocità di una particella (le quantità che servivano a Laplace per fondare il meccanicismo), più alta è la precisione con cui riusciamo a individuare il valore numerico di una di queste due quantità, minore è la precisione con cui possiamo conoscere l'altra.

Il modo tradizionale di spiegarlo è per mezzo di un microscopio. Volendo misurare la posizione di una particella, sarà necessario bombardare la particella stessa con un fascio di luce sufficiente a produrre, passando attraverso le lenti del microscopio, un'immagine abbastanza nitida della particella stessa. Quando, però, avremo visto dove si trovava la particella all'inizio dell'osservazione, essa sarà già schizzata via con velocità e direzione imprevedibili, proprio a causa degli urti con i raggi di luce (fotoni) utilizzati proprio per vederla. Infatti, per un altro scherzo di madre natura, le onde luminose più corte (più piccole in senso lato) sono anche le più energetiche. E mi dispiace: anche qui dovete credermi per fede, o leggere un libro tra quelli consigliati alla fine. Ma, come conseguenza di questa correlazione inversa tra dimensione ed energia, se vogliamo misurare la posizione di una particella con una precisione migliore di, poniamo, un miliardesimo di millimetro (non si può fare con un microscopio ottico, ma non è questo il problema fisico di base), dovremo usare onde luminose di lunghezza più breve di un miliardesimo di millimetro, altrimenti il rimbalzo della luce fino all'occhio produrrà un'immagine sfocata. Ripensiamoci: se la dimensione tipica dell'onda (in fisica si definisce "lunghezza d'onda") è molto maggiore della dimensione dell'oggetto analizzato, l'onda ci passerà attraverso senza nemmeno accorgersene, come un elefante (l'onda luminosa grande) calpesta una pulce (la particella piccola), non per cattiveria, ma perché non la percepisce. Se, invece, la lunghezza d'onda della luce sarà abbastanza piccola, l'onda luminosa interagirà con la particella (se sostituiamo l'elefante con un virus, quest'ultimo si accorgerà della pulce, le salterà addosso e le infetterà una cellula), e il microscopio ce la mostrerà. Ma la luce avente un miliardesimo di millimetro di lunghezza d'onda possiede energia sufficiente a far schizzare la particella a casaccio, chissà dove, e chissà con quale velocità. In alternativa, se vorrò misurare con precisione la velocità della particella, dovrò illuminarla usando luce di bassissima energia per non perturbare il suo moto. Ma questa luce avrà una lunghezza d'onda enorme, e l'immagine

della particella sarà talmente sfocata da non permettermi di sapere dov'è di preciso.

Volendo vedere il problema da un'angolazione più generale, ripensiamo il PdI in questo modo. Le particelle non sono localizzate ma esistono (a modo loro) in un intervallo di confusione, e questo già lo sappiamo. Di conseguenza, nessuna misura di posizione potrà mai essere del tutto precisa. Peggio ancora, per misurare la velocità di un oggetto, dobbiamo eseguire ben due misure della sua posizione a tempi diversi. Il PdI mette in formule quant'è il prodotto tra la confusione (ineliminabile) quando si misura la posizione e la confusione (ineliminabile) quando si vuole anche misurare, contemporaneamente, la velocità. Ponendo la cosa in questi termini, forse ci sembra più accettabile come l'esistenza di un intervallo di confusione abbia, come conseguenza, anche la non misurabilità contemporanea di posizione e velocità. È un modellino così stringato da essere inesatto, ma può aiutare l'intuizione.

D'altronde, sempre secondo il PdI, maggiore è la massa dell'oggetto su cui si esegue la misura, minore è l'indeterminazione. Dunque, se il guidatore di un'auto riceve una multa per eccesso di velocità, non potrà tirare in ballo Heisenberg, e dire ai poliziotti: «La mia auto si trovava a grande distanza dal luogo in cui è stata rilevata l'infrazione, perché la MQ afferma...». Tra l'altro, gli toglierebbero dalla patente punti supplementari per ubriachezza. Ma un elettrone potrebbe farlo benissimo, e mai nessun giudice riuscirebbe a condannarlo.

Enunciato il principio, bisogna fornirne il modello intuitivo adeguato. Infatti, l'esempio appena addotto come modello grossolano (quello del microscopio e della luce) è un po' fuorviante. L'ho raccontato come se la particella esistesse realmente, secondo criteri classici e non quantistici, e a confondere le acque ci fosse soltanto la perturbazione dovuta alla collisione con la luce, a noi necessaria per vederla. Se però abbiamo digerito i discorsi sulla MQ, e il ragionamento sull'intervallo di confusione, dovremmo già avere un sospetto: forse, le cose non stanno precisamente in questo modo. Infatti, ripetiamo il discorso utilizzando i vocaboli con sfumature di significato diverse: l'indeterminazione non ha carattere epistemologico, ovvero non è dovuta a problemi pratici, sperimentali. La natura non si comporta come se la particella possedesse *realmente* posizione e velocità, ma ci fosse una difficoltà sperimentale nel misurare esattamente questi due valori. No: la particella non possiede *realmente* posizione e velocità, e dunque la difficoltà è di tipo ontologico. Non c'è difficoltà di conoscere, ma vera e propria non-esistenza di quanto vorremmo conoscere.

11.7. Il funerale del determinismo

Per riprendere un modello magari poco felice – ma in MQ nessun modello può essere del tutto accettabile –, madre natura consente alla particella di localizzarsi un attimo sia in posizione, sia in velocità, nel momento in cui eseguiamo la misura. Ma, turchia com'è, sorveglia il nostro apparato sperimentale e, appena si accorge che siamo interessati molto alla posizione, e di meno alla velocità, spende molto sull'esistenza della posizione, e perciò possiamo misurarla con la precisione che ci pare, anche enorme. La natura va invece a risparmiare quanto possibile, il massimo consentito dal PdI, sull'esistenza della velocità, e perciò quest'ultima rimane tanto più nel vago, quanto più è precisa la misura della posizione. Scusate: a ogni piè sospinto sto continuando ad antropomorfizzare la natura, ma sono sicuro della vostra intelligenza; non equivocherete sui miei intenti.

Come ho esordito, questo è un libro divulgativo, ma non di divulgazione scientifica in senso stretto. Dunque, non metto troppa carne al fuoco fornendo al lettore informazioni dettagliate sulla moderna rappresentazione scientifica del mondo quantistico, poiché altri libri già si occupano di ciò. Mi soffermo solo sugli aspetti attinenti all'argomento principale, e comincio subito a trarre una conclusione dal PdI. Con la MQ, ogni forma di determinismo è defunta per definizione. Di conseguenza, cade pure ogni forma di meccanicismo residuo. Ma facciamo un passo ulteriore.

Ci pensi bene, il lettore: già la MQ è indeterministica di per sé; figuriamoci cosa succede quando la applichiamo a un mondo in cui vige, in modo indipendente, il caos deterministico. La posizione e la velocità di ogni particella, ovvero le condizioni iniziali da applicare al sistema di equazioni differenziali non lineari descrittive di un generico sistema, non soltanto non sono conoscibili con infinite cifre decimali, ma addirittura *non esistono* se non in modo vago, approssimato, statistico. Di conseguenza, non è neppure pensabile innescare un calcolo il quale, per quanto complicato e richiedente un numero esorbitante di cifre di precisione numerica, possa condurre a una previsione esatta di come evolverà nel tempo il sistema in questione. Torneremo su questo argomento, ma il lettore non dovrebbe faticare a capire come, da Heisenberg in poi, determinismo e meccanicismo siano stati cancellati dal vocabolario della fisica. Nulla è predeterminato, ma il caso quantistico fornisce, istante per istante, sempre nuove condizioni iniziali, e il caos deterministico amplifica poi le differenze, fino a livello macroscopico e cosmico.

11.8. Sempre un rospo dobbiamo mandar giù

Avevo promesso al lettore qualche modello intuitivo della MQ, e finora ne ho raccontato uno solo, quello definito “*interpretazione di Copenhagen*” poiché in quella città tesseva la sua tela Bohr, cui risale appunto il modo di vedere le cose discusso finora. Tra i molti modelli mentali alternativi i quali, come già affermato in precedenza, si limitano a nascondere il mucchietto di spazzatura sotto un angolo diverso del tappeto, vale forse la pena di fare un brevissimo cenno a uno piuttosto singolare, proposto attorno al 1950 da David Böhm. Ricordo comunque al lettore un fatto ormai chiarito in abbondanza. Il modello intuitivo di cui dirò ora possiede anche un suo modello matematico corrispondente il quale, dovendo per necessità di metodo scientifico eseguire previsioni compatibili con le osservazioni, è del tutto equivalente all’equazione di Schrödinger, pur implicando formule diverse. Si tratta del cosiddetto “*modello a variabili nascoste*” (sarebbe più corretto dire: una famiglia di modelli), in cui le particelle possiedono esistenza reale nel senso tradizionale del termine. No, non l’avevo celato fin qui per far dispetto al lettore; tanto la MQ non si smentisce mai. Se si prende a martellate un problema emergente da qualche parte fino a spianarlo, se ne può stare certi: da qualche altra parte salterà fuori un nuovo problema, non meno formidabile. Ma vediamo: il modello proposto da Böhm considera le particelle sempre classicamente reali. Come i sassi e gli elefanti, insomma. Così stando le cose, l’indeterminazione nella loro posizione e velocità è una conseguenza dei problemi epistemologici dovuti alla lunghezza d’onda-energia della luce, e cioè al problema dell’urto inevitabile tra particella e luce sotto la lente del microscopio, proprio come abbiamo visto prima, e non è inerente alla natura stessa della posizione e velocità della particella, ribaltando in tal modo i ruoli di ontologia ed epistemologia rispetto all’interpretazione di Copenhagen. All’apparenza sarebbe tutto più semplice e intuitivo, ma il rospo velenoso salta fuori altrove. Esso si cela nella conclusione, necessaria per interpretare gli esperimenti, secondo cui le *onde guida* (non meglio specificate da Böhm, e quindi un po’ esoteriche, a parere di molti fisici) presenti in questo modello allo scopo di dirigere il percorso delle particelle, devono potersi propagare nel tempo sia verso il futuro, sia verso il passato. Infatti, il problema dell’ubiquità della particella nei due percorsi viene in qualche modo eliminato affermando (*relata refero*, non prendetevela con me) che l’onda guida, già fin dall’inizio di ogni evento di misurazione si propaga nel futuro fino all’infinito, e poi è riflessa verso il passato fino a tornare indietro allo stesso istante iniziale. In tal modo, avendo esplorato

l'intero futuro, l'onda fornisce alla particella su cui stiamo per sperimentare tutte le informazioni su quanto le accadrà durante l'esperimento stesso, e quindi la particella già sa come imbrogliare le carte all'osservatore. In sostanza, ogni nostra azione di oggi dovrebbe avere conseguenze non solo future, ma anche passate, e queste conseguenze, raggiunti l'inizio e la fine dei tempi, rimbalzano per tornare indietro fino a ora. Questo mi pare un rospo che non ha nulla da invidiare a quello della cosiddetta esistenza quantistica. Tra l'altro, poiché nell'ipotesi di Böhm compare esplicitamente un'inversione temporale del percorso dell'informazione, ciò equivale ad affermare senza mezzi termini la caduta del principio di causalità, con quanto ne consegue. Scegliere la rappresentazione preferita è privilegio di ogni fisico e, di conseguenza, di ogni lettore. Ma notate: sempre un grosso batrace tossico bisogna mandar giù. Su questo posso tranquillizzare chiunque: si parli di Böhm o di Wigner, di Everett o di Feynman, di Bohr o di chiunque altro (i modelli intuitivi della MQ sono tanti, sebbene il modello matematico sia sostanzialmente univoco), il rospo da ingoiare è sempre e comunque velenoso.

11.9. Che non lo sappia Kant!

Il modello di Böhm è stato però molto utile da un punto di vista logico, poiché ha aiutato i fisici a evidenziare un importante aspetto della MQ, indipendentemente da quale interpretazione se ne preferisca. Si tratta della *non località*, e questa può essere espressa in modo rudimentale, illustrandone un caso particolare molto notevole: il cosiddetto "*entanglement*" ("legame", ma il vocabolo in lingua inglese ha valenze più specifiche, e dunque non si usa tradurlo). Due particelle le quali, nel passato, abbiano interagito tra loro secondo alcune modalità ben precise, dettagliate dalla teoria, possono, a un certo momento, scambiare tra loro un'informazione in modo istantaneo, non importa quanto sia grande la distanza tra di loro nel momento dello scambio. E non sto parlando di millesimi di millimetro, ma di miliardi di anni luce. Come, però, vedremo tra qualche capitolo (e perciò anticipo qui il concetto senza ancora spiegarvi meglio), un trasferimento d'informazione a velocità maggiore di quella della luce comporta una violazione del principio di causa-effetto. Dunque, non solo la violazione della causalità è esplicita nel modello a variabili nascoste, ma, studiando bene quest'ultimo modello e paragonandolo a tutti gli altri, i fisici si sono resi conto di un problema ineliminabile. Questa non località è uno degli aspetti intrinseci, definitivi, della MQ in generale, e ciò

sottintende quanto meno una grossa forzatura della causalità. E noi cosa avevamo visto, in un capitolo precedente, riguardo al limite causale alla possibilità di fare scienza? Il lettore sarà quindi deliziato nell'apprendere una vera e propria chicca intellettuale. Questa ulteriore incongruenza logica è ormai sfruttata commercialmente nella costruzione di reti di trasmissione dati a sicurezza totale, in cui esiste la garanzia che si possa sapere se qualcuno sta rubando dati e, comunque, i dati rubati non sono in alcun modo decodificabili. Come si fa? Sarebbe piuttosto lungo... leggete qualche libro; ve lo ripeto in continuazione!

Cerchiamo di dipanare un po' la matassa, ripetendo argomenti già discussi ma, forse, in un momento in cui potevano sembrare bizantinismi non realmente importanti. Sto riproponendo un problema di consistenza tra la MQ e il principio di causa ed effetto, nel contesto di viaggi all'indietro nel tempo. Le due cose sono correlate? Sì, certo: il principio di causalità non è intelligibile e praticabile se la causa non precede temporalmente l'effetto e, gira che ti rigira, stiamo arrivando a capire per quale motivo il vero rospo velenoso da ingoiare è forse la non causalità della natura a livello quantistico. Per cui, riusciamo a interpretarla solo grazie a contorsioni mentali basate sulla probabilità e sulla statistica. Bel problema, non vi pare? Anche qui, ovviamente, le opinioni dei fisici divergono, perché il discorso finisce per urtare contro lo scoglio imposto da Kant sull'impossibilità di giungere a conclusioni causalmente certe su entità non causali. Bisogna contentarsi di affermazioni morbide del tipo: «Forse la natura potrebbe essere davvero non causale, quando venga considerata al livello fondamentale della MQ...», come abbiamo fatto nelle conclusioni del capitolo precedente.

Dovremo tornare a discutere del tempo. Voglio dire: del tempo in senso cronologico; non meteorologico, come quello su cui tribolava il povero Lorenz dopo lo spegnimento del computer. Bisognerà per forza parlare della Teoria della Relatività. Ma, prima di riassumere, lasciatemi dire ancora due parole sul mio pallino fisso: il libero arbitrio. Basta sommare l'effetto qualitativo del caos deterministico, che per utilizzare a scopi predittivi la meccanica newtoniana richiede la conoscenza d'infinito cifre decimali sulle condizioni iniziali, e quello della MQ, dalla quale proviene un limite a quanto queste condizioni possano essere determinate (o addirittura esistenti). Ci renderemo conto che **DIO**, se esistesse, già si sarebbe riservato uno spazio estremamente ampio per fare quanto gli pare nelle nostre menti (e altrove – detto per inciso) senza nessuna possibilità, per la scienza, di arrivare mai a coglierlo sul fatto. **DIO** non avrebbe bisogno d'influire sull'infinitesima cifra decimale; gli basterebbe spostare la prima

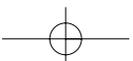
cifra decimale non misurabile in base al PdI. È ben vero, ed è stato calcolato da alcuni: l'effetto della MQ in ogni transazione neuronale avente luogo nel nostro cervello è meno di una parte su un milione. Ne concludiamo, forse, essere il cervello una macchina deterministica? Sarebbe errato. Proviamo a ribaltare il ragionamento: quante transazioni si svolgono nel cervello, al fine di eseguire una scelta volontaria? Migliaia di miliardi, a dir poco. Se anche una su un milione fosse influenzata (non so come)... traetene voi le conclusioni.

Curiosità finale. Sulla lapide tombale di Heisenberg è inciso: "Qui giace Heisenberg. Da qualche parte". Ecco, ora riassumiamo.

11.10. Ricapitolando

A-XI) Qualunque sia il modello intuitivo preferito della MQ, il PdI limita la possibilità di misurare contemporaneamente velocità e posizione degli oggetti. Dunque, meccanicismo e determinismo, i quali richiedono per principio la conoscenza esatta di tali parametri, non appartengono più alla scienza.

12-XI) I modelli matematici della MQ, sebbene non soffrano delle difficoltà dei modelli intuitivi, forniscono solo distribuzioni di probabilità, e non certezze, relativamente a se, dove e come si verificheranno alcuni avvenimenti.



12. IL RIDUZIONISMO: QUASI UN DOGMA SCIENTIFICO

12.1. Racconto il mio atto di fede

Al termine del capitolo precedente ho risposto in modo negativo, e definitivo, alla domanda sulla possibilità di mantenere in vita ancor oggi una visione meccanicistica e deterministica del mondo, e spero che almeno di questo fatto il lettore sia convinto. È un discorso chiuso; non una mia interpretazione, ma un modo di esistere della natura, piaccia o no, punto e basta. Ma le vie della scienza sono numerose (anche se non coprono tutto), e i concetti si presentano spesso più articolati di quanto sembrerebbe a prima vista. Il capitolo presente è dedicato per intero a una qualche sorta di pseudo-meccanicismo in senso molto lato (ci vado giù pesante coi giri di parole) sopravvissuto a tanti sconvolgimenti di paradigma: prende il nome di “*riduzionismo*”. Introduco, perciò, una nuova informazione sul mio mondo intellettuale, da mantenere concettualmente distinta dai fatti, dati scientifici obiettivi, di cui ho discusso finora. Ricordate: qui parlerò del mio strumento personale per interpretare i fatti stessi. Affermazione: «Possiedo una sola certezza scientifica virtualmente assoluta. Si tratta del riduzionismo». Questo vocabolo, per me, meriterebbe la maiuscola.

Il termine ha un suono un po' sinistro, e forse non a torto, ma adombra una guida sicura, finora mai colta in errore, per chi voglia discutere di scienza o, almeno, io ne sono convinto. I miei colleghi sanno a cosa mi riferisco, e non tutti condividono la mia scelta (poiché di scelta si tratta) pur se mi trovo in compagnia della stragrande maggioranza degli scienziati. Ma l'unanimità non conta: lo scopo di questo libro non è convincere chiunque, solo fornire elementi di ragionamento. Imposterò quindi una difesa del riduzionismo, senza la minima pretesa di dimostrarne la validità a fronte di ogni possibile eccezione: per me basta che io ci creda. Debbo però aggiungere un avvertimento per il lettore abituato a fidarsi dei *media*: a mia esperienza, un'alta percentuale di scienziati professionisti non si preoccupa affatto di questo problema; chiedere a un fisico se si senta riduzionista o no è spesso come chiedere a un bonzo tibetano se faccia

il tifo per il Real Madrid o per la Dinamo Kiev. Infatti, ci si può benissimo occupare di ricerca scientifica senza preoccuparsi troppo dei suoi fondamenti e risvolti filosofici. A molti dei lettori, comunque, il significato del termine sfugge, e quindi va chiarito con pazienza e soprattutto oltre ogni equivoco, perché giocherà un ruolo primario nel seguito di questo libro.

Parto da una considerazione già familiare ai più attenti: nei precedenti capitoli, quando ho parlato di meccanicismo, ho fatto esplicito utilizzo di una sola scienza ben precisa, la fisica, e ho tenuto conto pure della matematica, giacché ogni legge deve essere espressa come formula o equazione. Ho dedicato ben pochi cenni ad altre scienze naturali, come per esempio chimica, biologia, medicina e, senza porre alcun limite, paleontologia, antropologia, psicologia, sociologia e via discorrendo. Perché?

Proprio qui interviene il riduzionismo, come estensione logica, intellettualmente quasi automatica, di una specie di pseudo-meccanicismo, sopravvissuto sia al caos deterministico, sia alla MQ. L'opinione più o meno dichiarata dei fisici (ma non di tutti), alla quale mi conformo, è questa: soltanto matematica e fisica sono le due scienze veramente fondamentali, mentre chimica, biologia e via discorrendo ne discendono come corollari logici, anche se, prima di mettere il punto a questa lunga frase, voglio correggere ogni falsa impressione; non sto negando affatto il valore delle altre scienze naturali, né mi sogno di poterle, un giorno sia pur lontano, assorbire da parte di matematica e fisica, e sono anzi convinto dell'inopportunità di ragionare in tali termini. Sto però affermando quanto segue (attenzione!): i fondamenti di ogni altra scienza empirica sono conseguenze di quelli della fisica. Ma la stessa esposizione del riduzionismo chiarirà meglio il concetto, e placherà eventuali ire, mostrando come ogni possibile elemento di contrasto sulla precedente definizione del riduzionismo possa essere dovuto solo a un fraseggio infelice da parte mia, di cui mi scuso a priori.

12.2. Partiamo dalla chimica

Il primo passo di questa esposizione richiede di prendere in esame la chimica. Molecole semplici, come quella dell'acqua (H_2O), possono servire a esemplificare il concetto. L'atomo d'idrogeno (il cui simbolo è H) ha una struttura quasi banale su cui abbiamo già discusso diverse volte: il nucleo è composto di un protone e basta, ossia una particella dotata di una certa massa e di una carica elettrica positiva, mentre la nube elettronica che circonda il nucleo si riduce a un solo elettrone, la cui carica elet-

trica negativa bilancia esattamente quella del protone, e la cui massa è quasi duemila volte inferiore a quella del protone stesso. Ci siamo?

In conseguenza di un risultato importante della MQ, in un atomo ci sono orbite elettroniche permesse e altre non consentite, al contrario di quanto avviene in un sistema planetario, laddove il pianeta può girare attorno al sole a una distanza qualsiasi. Ne conseguono anche regole precise, riguardanti le energie degli elettroni e soprattutto, almeno per quanto interessa la chimica, una serie di vincoli riguardanti la popolazione d'elettroni consentita per ogni orbita. Su quest'ultimo punto, forse molti ricorderanno dai tempi della scuola come, per l'orbita più vicina al nucleo, in qualsiasi atomo si parli sempre di due elettroni al massimo; otto elettroni per quella immediatamente successiva, e non importa quanti per le altre. Comunque, la popolazione segue un ordinamento ben preciso, e questo rende ragione di alcune regolarità nelle proprietà chimiche osservate in laboratorio, onde Mendeleev prese spunto per costruire la famosa tavola periodica degli elementi. Ebbene: da quanto appena affermato, si evince come la struttura elettronica di un atomo sia calcolabile in base alle proprietà fisiche delle particelle costituenti, laddove non si prenda più a fondamento la sola meccanica classica di Newton e Laplace, ma si tenga presente quella quantistica e, come il lettore dovrebbe aver già intuito, l'interazione elettromagnetica. Ovvero, si consideri l'opportuno sottoinsieme della **LEGGE** poiché questa, nel caso di qualsiasi elemento chimico, modula le orbite elettroniche permesse, la loro popolazione e l'energia necessaria a spostare gli elettroni da un'orbita all'altra, o da un atomo all'altro. E, siccome qui non mi aspetto ancora un grosso disaccordo di principio, approfitto per trarre subito qualche conseguenza da quanto ho appena raccontato: se le proprietà chimiche di un elemento dipendono da quelle fisiche degli atomi, e in particolare degli elettroni nelle orbite più esterne i quali, essendo meno legati al nucleo, risultano più facilmente spostabili (in senso lato) da un atomo all'altro, ne potremo dedurre che, almeno per un atomo semplice come quello d'idrogeno, tali proprietà chimiche non dovranno essere molto difficili da prevedere a tavolino. Dunque, allo stesso modo delle proprietà fisiche, pure quelle chimiche dell'idrogeno derivano in modo diretto e calcolabile dalla **LEGGE**. Mi si obietterà: «La **LEGGE**, però, non la conosciamo ancora, nella sua interezza». Risposta: «Vero. Ma, come vedremo tra poco, per il discorso filosofico sul riduzionismo, ciò è irrilevante».

Più faticosa si presenterà la previsione, sempre in base alla **LEGGE**, delle proprietà chimiche per il gas conosciuto col nome di elio, ovvero l'elemento successivo all'idrogeno in quanto a livello di complessità. Infatti,

nel suo nucleo sono presenti non solo due protoni, ma anche due neutroni, e gli elettroni in orbita sono (ovviamente) due, poiché servono tanti elettroni quanti protoni per assicurare la neutralità elettrica globale dell'atomo stesso. Chi già conosce la chimica si metterà a ridere sentendo parlare di proprietà chimiche dell'elio, perché esso è definito "*gas nobile*" in quanto non si combina con nessun altro elemento, ed è questa la sua unica proprietà chimica saliente, ma restiamo nel discorso. La presenza di due elettroni rende un po' più laboriosa l'applicazione dell'equazione di Schrödinger, poiché queste due particelle si perturbano a vicenda dal punto di vista elettrico. Ce la sentiremo, però, di negare, a causa di questa complicazione matematica, la *riducibilità* (ho appena usato il corsivo: fate attenzione) dello studio delle proprietà chimiche dell'atomo di elio alla **LEGGE**? Non ci sfuggirà la maggior difficoltà quantitativa del problema da risolvere nel caso dell'elio, se raffrontato a quello dell'idrogeno, ma la struttura formale delle equazioni si potrà sempre scrivere, e questo dovrebbe essere intuitivamente chiaro per chiunque. Poi, mentre, per ricavare qualche informazione sulle reattività chimiche dell'idrogeno, basteranno carta e matita, e magari anche un matematico o un fisico e una calcolatrice da tavolino, per ricavare in modo dettagliato le proprietà chimiche dell'elio già sarà opportuno passare a un buon computer il quale, se le equazioni descrittive del sistema saranno tradotte in un programma adeguato scritto in un linguaggio formale (faccio l'esempio del "C++", ma ce ne sono tanti altri), fornirà i risultati desiderati in tempo ragionevole, e con un buon numero di cifre significative. In effetti, a conti terminati, si troverà appunto quanto già noto: l'elio tende a non combinarsi con nulla, poiché la sua prima orbita elettronica è completa, e non ci sono elettroni da coinvolgere in reazioni chimiche nella seconda orbita. «La chimica se n'era accorta prima!», dirà qualcuno. Beh, ha ragione. L'ho detto: non ho certo in mente di negare l'importanza della chimica in quanto scienza; m'interessa solo rilevare un fatto di principio. Pur se con difficoltà pratiche, è almeno teoricamente possibile ricavare le leggi chimiche anche a partire dalla fisica, poiché ogni aspetto della natura è, in fin dei conti, una conseguenza della **LEGGE**. E chiedo ancora: «Siamo d'accordo?».

Avevo introdotto il discorso parlando della molecola dell'acqua, in cui è presente non solo l'idrogeno, ma anche l'ossigeno, il cui simbolo chimico è O. L'atomo di ossigeno è molto più complesso di quello dell'elio: dispone di otto protoni e otto neutroni nel nucleo, e l'orbita elettronica più interna è completa come nel caso dell'elio, perché contiene due elettroni. Il grosso della difficoltà di calcolo deriva dall'incompletezza della successiva orbita, perché essa contiene la bellezza di sei elettroni, ma non gli ot-

to richiesti, secondo la MQ, per stabilizzarla in senso lato. Le equazioni da usare per la previsione delle proprietà chimiche dell'ossigeno sono, dunque, le stesse già usate nel caso dell'idrogeno e dell'elio, ma sarà necessario tenere in conto un numero di termini molto maggiore e, purtroppo, questo numero non cresce linearmente con il numero di elettroni, ma assai più in fretta. Qui comincia a entrare in scena il riduzionismo, il quale contiene implicitamente un'ipotesi aggiuntiva, un po' nascosta, da tirare fuori subito in modo esplicito. Per far ciò, poniamoci la seguente domanda: «A causa della maggiore complessità dell'atomo di ossigeno rispetto a quelli d'idrogeno ed elio, potrebbe comparirvi all'improvviso qualche nuova qualità, rispetto a quelle già descritte dalla *LEGGE*? Un nuovo ordinamento di natura, sempre di livello fondamentale, non presente nella *LEGGE* la quale, per come è stata definita, descrive il mondo sensibile al suo livello più basso, quello elementare? Un ordinamento il cui entrare in gioco non sia prevedibile in linea di principio, e non solo per difficoltà pratiche, in base alla *LEGGE* stessa?». Attenzione, prima di rispondere; l'ossigeno è solo un esempio. Quanto sto prospettando in senso molto più estensivo è un paragone tra sistemi molto semplici e altri molto complessi. Non fossilizziamoci sull'atomo di ossigeno e basta; lo uso solo come pretesto per innescare il ragionamento. Quel che distingue un sistema complesso da uno semplice è la presenza di tanti pezzi in senso lato, di cui non solo vanno individuati i comportamenti singoli, ma anche le mutue interazioni le quali, finché i pezzi non ci sono tutti, non compaiono. Sono in particolare queste ultime a dare l'illusione di trascendere la *LEGGE*, mentre il riduzionismo afferma: "la *LEGGE* tiene implicitamente conto anche di loro".

Ma riprendiamo la domanda, lunga e complicata, «A causa... eccetera» nel precedente paragrafo. Forse, il lettore farebbe bene a rileggerla un paio di volte prima di procedere, anche perché il suo significato potrebbe sembrare strano, perfino a chi l'abbia capita fin dalla prima lettura. Però, ha un senso ben preciso, come vedremo in breve. Riletta? Digerita? Perfetto! La mia risposta personale è un «No!» secco. Dichiaro perciò, senza mezzi termini, il mio punto di vista: la differenza tra il caso dell'idrogeno e quello dell'ossigeno è solo nella quantità dei termini matematici da usare, e non nell'apparire di nuovi ordinamenti di base della natura i quali, nei casi più semplici, sono assenti. Dunque, aumentando la potenza del computer e facendo attenzione a programmarlo senza commettere errori, avrò la certezza di ottenere la descrizione corretta delle proprietà chimiche anche per l'atomo di ossigeno, benché ci vorrà molto più tempo di calcolo rispetto al caso dell'elio e, ovviamente, dell'idrogeno.

Andiamo avanti e complichiamo ulteriormente il sistema. Salto i passi intermedi, e arrivo subito all'atomo di uranio, il quale possiede novantadue elettroni e duecentotrentotto tra protoni e neutroni. Dopo aver scritto le equazioni costitutive della struttura, bisognerà rivederne l'algebra almeno quattro volte, o forse è meglio quaranta, per essere sicuri di non aver commesso errori, e lo stesso bisognerà fare dopo aver costruito il programma in C++. Poi, però, si potrà passare il tutto al computer, con piena fiducia sui risultati: essi conterranno previsioni corrette di quanto si osserverebbe sperimentando con l'uranio in un laboratorio di chimica. Nel momento in cui scrivo, nessun computer è ancora del tutto adeguato a trattare un problema così mastodontico, e ci si sta provando solo marginalmente, ma non importa; sto solo affermando questo: in linea di principio ritengo la cosa fattibile, ecco tutto. E, più in generale, qualsiasi struttura naturale, non importa quanto complessa, secondo me avrà un comportamento, almeno sul piano teorico, riducibile alla *LEGGE* che regola le interazioni tra i costituenti elementari del mondo fisico.

12.3. Ma c'è motivo di parlarne?

Si noti bene: questa convinzione era troppo ovvia, quando abbiamo enunciato il principio del meccanicismo secondo Laplace, e nemmeno vi abbiamo accennato. Ma ora siamo passati a leggi di natura più articolate e subdole, e siamo stati costretti a rimuginare a lungo. Chissà? Magari, aggiungendo il caos deterministico o la MQ, è opportuno tirare in ballo qualche dubbio su un punto di vista così semplicistico. Specie se prendiamo in considerazione uno tra i sistemi più complessi esistenti in natura, e cioè il cervello umano. Il pensiero è riducibile alla *LEGGE*, ovvero ne è deducibile almeno in linea teorica, oppure rappresenta una nuova qualità, un nuovo fenomeno, *emergente* letteralmente dal nulla, al di sopra di un certo livello di complessità? Alla fine del precedente capitolo ho trattato del libero arbitrio ancora in termini implicitamente riduzionistici. Ora, di certo, il lettore ha compreso perché ho evidenziato un interrogativo dal sapore un po' esoterico, tirato fuori in maniera artificiosa dal cappello a cilindro del prestigiatore, per lo meno finché manipoliamo puri e semplici atomi.

Ma ecco: si sta sollevando qualcuno, particolarmente pignolo. Ha una nuova obiezione: diamo spazio alla sua voce. «Tra i limiti del metodo scientifico, abbiamo visto pure quelli di tipo pratico. Essi impediscono di eseguire esperimenti per l'eccessivo onere tecnologico, economico e così via. La necessità di fare conti così complessi per cui, alla fine, nessun com-

puter reale è sufficiente non rappresenta forse un limite di conoscibilità dello stesso genere?».

Sì, è vero, l'obiezione è pertinente. E lo ammetto subito: questo limite ha come conseguenza l'indimostrabilità pratica del riduzionismo. Ma insisto sul punto di principio. Non pretendo di fornire prove; voglio solo spiegare bene in cosa ho fede, e non a caso sto usando il termine "fede" perché ne sono cosciente: da parte mia, si tratta di fede cieca e basta. Ma il punto chiave è il seguente: non m'interessa eseguire in pratica l'esperimento numerico di ridurre tutta la chimica a fisica; la chimica mi va bene così com'è. Mi sembra però importante riflettere, ciascuno con la propria testa, su quanto sia ragionevole accettare, o negare, l'affermazione già enunciata sotto forma di domanda, e qui ripetuta. «Al crescere della complessità quantitativa di un sistema di oggetti materiali, può emergere qualche nuova manifestazione qualitativa, non scritta nella *LEGGE* neppure implicitamente, specie allorché cominciano a dominare le interazioni tra parti diverse?». Io, per esempio, nego quest'affermazione. Per me, anche le interazioni tra parti diverse sono solo un altro aspetto della *LEGGE*.

Ecco in qual modo si sta chiarendo il concetto di riduzionismo, per il momento nel solo caso della previsione delle caratteristiche chimiche delle specie atomiche. Cosa sono le valenze chimiche dei vari elementi, per utilizzare un termine desueto, ma indicativo dei significati, in una discussione così rudimentale come quella portata avanti nel capitolo presente? Le valenze sono descrizioni quantitative delle tendenze d'ogni specie atomica a collegarsi con altre specie, formando composti come le molecole. Conoscendo, dunque, in modo riduzionistico, e cioè esclusivamente in base a leggi della fisica espresse sotto forma matematica, le caratteristiche esatte delle nubi elettroniche degli elementi chimici, se ne possono determinare le valenze, e da queste ultime seguono alcune delle leggi più elementari della chimica. Concludo, pertanto, col mio convincimento: almeno in linea di principio, le modalità di combinazione tra idrogeno e ossigeno, e di conseguenza le caratteristiche fisiche e chimiche del composto che ne emerge (H_2O), sono calcolabili e prevedibili in base a matematica e fisica. "Riduzionismo", in quanto riduzione concettuale, anche se non pratica, della chimica alla *LEGGE*.

12.4. Arriviamo alla biochimica... con precauzione

Approfondisco il concetto, compiendo un ulteriore passo in avanti. Forse non tutti i lettori ne sono al corrente, ma l'industria farmaceutica applica

già da tempo metodologie riduzionistiche allo studio di nuovi medicinali. Infatti, quel complesso fenomeno naturale cui diamo il nome di "vita" si basa moltissimo su proprietà cosiddette "stereochimiche" della materia, e cioè correlate alla struttura geometrica tridimensionale delle molecole. Con questa affermazione sto già, di fatto, estendendo il riduzionismo alla vita, ma mi ritengo giustificato dall'argomento ora in procinto di emergere. Supponiamo di conoscere la struttura chimica di una determinata proteina (la possiamo considerare, in senso molto lato, come l'unità funzionale della cellula vivente – e quindi dell'organismo – per quanto riguarda l'esecuzione di una certa, ben specifica, operazione d'interesse biologico). Abbiamo pure scoperto come i vari gruppi d'atomi costituenti si distribuiscano nello spazio tridimensionale, formando veri e propri tasselli d'incastro utili a fornire punti di aggancio geometrici ed elettrici ad altre molecole, allo scopo di attivare determinati processi biochimici. Ebbene: è possibile progettare a tavolino farmaci agenti sulla funzionalità di quella proteina, di solito deprimendola. Ciò si realizza simulando al computer le strutture spaziali di proteina e farmaco, a partire dalle leggi di base della fisica (la *LEGGE*), e modificando, sempre al computer, la composizione del farmaco, finché la sua molecola s'incastri esattamente nella proteina. In tal modo, quando il farmaco sintetizzato in laboratorio in base a questi criteri sarà immesso davvero nell'organismo, le sue molecole andranno a bloccare la reattività della proteina considerata, perché il sito attivo, ossia l'incastro, appunto, della proteina, sarà saturato dal farmaco stesso, e la proteina non potrà più svolgere la sua funzione biologica. A seconda dei casi, ciò condurrà a una maggiore o minore attività di altre proteine, coi conseguenti effetti farmaceutici, eccetera.

Ovviamente, non ho difficoltà ad ammetterlo: un conto è simulare molecole semplici al computer, un conto iniettare direttamente il farmaco a un essere umano. La sperimentazione pratica deve comunque restare il passo fondamentale, con tutte le riserve per quanto riguarda l'efficacia reale e gli effetti secondari ai quali, durante la progettazione teorica, non si è pensato. Ma il semplice fatto che una tecnologia del genere, anche se in fase embrionale, sia possibile, e addirittura si sia in grado di procedere a iterazioni successive, confermando al computer gli effetti indesiderati osservati in pratica, e talvolta correggendoli, sempre in prima approssimazione, per mezzo di ulteriori calcoli teorici, è per me di grosso supporto all'idea secondo cui anche la vita è, in sostanza, assimilabile a un fenomeno riduzionistico.

Per l'ennesima volta (insisto all'infinito perché so, per esperienza, quanto questo tipo d'argomentazione infastidisca gli scienziati non fisici): non voglio con questo eliminare, un giorno o l'altro, la chimica o la biologia in quanto scienze, per farle assorbire dalla fisica. Sono, anzi, convinto del con-

trario: la cosa non sarà mai proponibile in pratica, né necessaria. Oltretutto, non mi sembrerebbe affatto comodo. In primo luogo, se certi risultati si ottengono più facilmente sperimentando in laboratorio, anziché simulando su un computer, sarebbe stupido accanirsi a volerli calcolare a tutti i costi. In secondo luogo, la complessità dell'elaborazione numerica, e il tempo necessario a raggiungere un risultato quantitativo, crescono in modo spropositato, come ho già accennato, al crescere anche di poco della complessità del fenomeno simulato. Specialmente nel campo della chimica organica, più è complessa la molecola da trattare, più è necessario ricorrere ad approssimazioni (ovvero semplificare i modelli intuitivi e matematici) affinché la simulazione del processo resti entro le possibilità del computer. A un certo punto, se si vuole mantenere accettabile il tempo di calcolo, oppure la quantità di memoria necessaria, le approssimazioni possono diventare troppo grossolane, e il risultato teorico comincia a somigliare sempre di meno a quello sperimentale. Quindi, da una certa complessità in poi, oggi bisogna, e sempre bisognerà, ricorrere a metodologie di laboratorio anche se, al crescere della potenza dell'elaborazione automatica, la frontiera tra il simulabile e lo sperimentabile si sposterà verso strutture più complesse. Ma insisto: non è importante la fattibilità pratica, perché in questo specifico capitolo non sto esaminando un eventuale limite della scienza; solo chiarificando un problema concettuale, e qualche elemento di linguaggio. Per me, conta solo fornire una qualche argomentazione plausibile per giustificare il mio convincimento secondo il quale, almeno in linea di principio, non esistono fenomeni chimico-biologici qualitativamente nuovi, non scritti nella *LEGGE*. Al massimo, la fantasia umana può essere così limitata, per cui non ci vengono in mente alcuni dei casi presenti in natura (specie quando le interazioni tra oggetti sono più importanti di come sono fatti gli oggetti stessi). Comunque, a posteriori, dopo averli constatati, riusciremo a interpretare pure questi casi all'interno di quanto già conosciamo o stiamo imparando a conoscere. I fenomeni in cui le parti in gioco sono talmente tante (per non parlare delle loro interazioni) onde, per motivi quantitativi, è impraticabile la riduzione ai principi primi, sono enormemente più comuni, rispetto a quelli riducibili, ma il concetto di riduzionismo di principio, per me, non ne è inficiato.

Mi ripeto ancora: in genere i fenomeni troppo intricati per essere trattati quantitativamente sono, da un certo livello di complessità in poi, così ostici, non solo da trascendere le nostre capacità pratiche d'interpretazione in termini riduzionistici semplici ma, addirittura, da *simulare* l'apparizione di vere e proprie leggi di natura, non prevedibili in base alla *LEGGE* fondamentale. In circostanze del genere (sono la norma e non l'eccezione), a noi sembra davvero di poter constatare la comparsa di fenomeni che saremmo

tentati di interpretare come nuove leggi di base, la cui esistenza prende vita solo al di sopra del livello di complessità esaminato. Io credo il contrario: queste leggi non sono di base ma, per l'appunto, apparenti. Se è troppo difficile, umanamente parlando, prevedere l'esistenza di comportamenti percepibili solo quando i giochi interni tra le parti costituenti il sistema in questione sono così numerosi da sfuggire del tutto a una descrizione quantitativa praticabile, è inevitabile aver l'impressione di trovarsi di fronte all'entrata in ballo di nuove leggi. Almeno finora, però, l'esperienza ha sempre mostrato (spesso a posteriori) in qual modo, almeno alle più semplici tra queste nuove leggi, gli scienziati sarebbero potuti arrivare anche in termini riduzionistici, a patto di spremere abbastanza la *LEGGE* e le loro meningi (o i computer). Di qui, la mia fiducia in questa possibilità di riduzione che, secondo me, seguiterà a presentarsi anche in futuro, in quanto principio basilare cui la natura stessa ha deciso di aderire.

Ora, però, sento la necessità d'introdurre una nuova, breve digressione, per rassicurare almeno una certa categoria di lettori sul mio modo d'intendere l'onnipotenza del riduzionismo. Supponiamo che io mi rechi da un analista per tentare di risolvere, col suo aiuto, una nevrosi a causa della quale sono soggetto a gravi sofferenze. L'analista risponde: «Beh, bisognerà scavar nell'inconscio, ricordare episodi dell'infanzia, circostanze traumatiche, elaborare sogni e così via, per capire anzitutto come è insorta questa sua nevrosi, e poi...». Questo va bene, perché sono andato dall'analista proprio per sentirmi dire qualcosa del genere. Ma se l'analista, anziché seguire la scuola freudiana, quella junghiana, l'analisi transazionale o altro, fosse di stretta osservanza riduzionistica e mi dicesse: «Non c'è problema. Ora codifico per un computer il sistema d'equazioni di Schrödinger descrivente lo stato d'ogni atomo del suo cervello e, dalla soluzione matematica, sarà banale risalire ai perché di questa ossessione, e trovare il modo di curarla!», quale pensate sarebbe la mia reazione, benché anche la mia osservanza riduzionistica sia altrettanto inossidabile? Ecco: sono riduzionista, sì, ma non mi sognerei mai di applicare il riduzionismo laddove non fosse utile farlo, e quindi non mi salta in mente di negare legittimità a scienze naturali diverse dalla fisica. Ci siamo capiti? Altro esempio: pensiamo alla paleontologia; come fare ad applicarvi in pratica il riduzionismo? Fine della digressione.

Per onestà intellettuale, dico tutta la verità. Alcuni fisici (pochissimi) sospettano di aver già individuato, in alcuni settori della pura e semplice meccanica newtoniana come per esempio in quello relativo alla turbolenza (ebollizione furiosa), aspetti della natura non riduzionistici. Spingendo apparecchiature di laboratorio a limiti di gran lunga eccedenti le possibilità di simulazione numerica dei più potenti computer di oggi, si osservano, infat-

ti, aggregazioni semi-regolari di fluidi turbolenti e queste, a priori, non sembrano scritte nelle equazioni. Di qui, l'idea dell'emergere di nuove proprietà e leggi di base ad alti livelli di complessità. Ma bisogna anche notare: chi ritiene che il riduzionismo non valga più al di sopra di una certa complessità, non può dimostrarlo scientificamente. Al contrario, magari, un giorno o l'altro, computer molto più potenti di quelli moderni riusciranno a dimostrare come queste strane aggregazioni di fluidi siano prevedibili in base alle leggi conosciute (in parte, è già successo). Io non posso provare la validità assoluta del riduzionismo; chi non ci crede, non può mostrarmi per quale motivo dovrei avere torto. Ma, come spiega bene Galileo nella sua *Lettera a Cristina di Lorena*, appoggiare la propria fede (di qualsiasi genere, aggiungo io) su qualcosa non ancora spiegato dalla scienza (in questo caso particolare, dalla fisica, aggiungo sempre io) è rischioso. Se, un giorno, la scienza riuscisse a spiegare quella particolare faccenda, dove andrebbe a finire la fede? Per esempio, quella nel crollo del riduzionismo, il giorno in cui un computer, di potenza adeguata, dimostrasse in qual modo gli strani comportamenti della turbolenza sono già scritti nelle equazioni di Newton? Mentre il riduzionismo, per sua natura, non va soggetto a questo tipo d'incerti. Se ci pensate bene, capirete anche il perché.

D'altronde, la scuola del riduzionismo assoluto è molto ben sviluppata, al punto da coniare un termine apposito per indicare le leggi apparenti di livello superiore, già scritte nella *LEGGE* di base, ma di cui nessuno è stato ancora abbastanza bravo da prevedere il dispiegarsi, da un certo grado di complessità del sistema fisico in su, perché è troppo complicato. Tali manifestazioni della natura prendono il nome di "epifenomeni", e cioè "fenomeni che stanno sopra" per intendere "fenomeni emergenti ad alto livello". In questo senso: solo da una certa complessità in poi cominciano a diventare molto evidenti aspetti della natura sempre presenti, all'inizio in modo impercettibile, in leggi già note le quali, di conseguenza, rappresentano comunque il livello basilare di descrizione anche per gli epifenomeni stessi.

12.5. Potrebbe esistere l'olismo?

Dunque, io coltivo il più plateale riduzionismo inteso come principio, opposto al cosiddetto *olismo*: altro vocabolo che meriterebbe la maiuscola, se si desse in natura, e il lettore potrebbe averlo incontrato in qualche testo. Riduzionismo è, detto in parole povere, il punto di vista secondo il quale "il tutto è solo la somma delle parti" (includendo, ovviamente, i fenomeni derivanti dalle interazioni tra le parti). L'olismo, all'opposto, affer-

ma: "il tutto è qualitativamente superiore alla somma delle parti". Ovvero, per l'appunto, ad alti livelli di organizzazione possono insorgere *ex abrupto* fenomeni qualitativamente non contenuti per principio nei livelli più semplici. Qui potrebbe tornare utile un nuovo esempio, anche se, di sicuro, il lettore ha già capito le linee portanti del discorso.

Un vecchio orologio meccanico "a cipolla", basato su ruote dentate, bilanciere, molla, scappamento e lancette, può andare bene. Si potrebbe pensare alla capacità dell'orologio di segnare il tempo come a una manifestazione olistica, emergente solo al livello di complessità dell'orologio intero, poiché nessuno dei componenti, preso singolarmente, mostra tale caratteristica. Se, però, analizziamo l'orologio in maniera riduzionistica, con un po' di pazienza ci rendiamo conto di come il bilanciere dispieghi un comportamento somigliante a quello di un pendolo, e già nelle leggi di base della natura c'è scritto da qualche parte: "le oscillazioni del pendolo sono isocrone", e quindi possono servire a misurare il tempo. A questo punto, l'operatività della molla si fa più chiara in quanto essa amplifica meccanicamente l'energia associata al moto del bilanciere, e pure gli ingranaggi vanno al loro posto, in quanto diminuiscono l'angolo associato a ogni oscillazione del bilanciere e lo traducono in indicazioni comprensibili a un essere umano, quando vengano ricondotte dalle lancette sul quadrante. Certo, un orologio è un meccanismo semplice, e la sua analisi riduzionistica, tesa a mostrare come la sua capacità di segnare il tempo sia solo un epifenomeno, è banale per chiunque. Ho già ammesso come, in natura, i sistemi molto più complessi, che nessuno è in grado di ridurre alla *LEGGE*, siano la norma e non l'eccezione. Di qui, la tentazione dell'olismo, anche perché è abbastanza chiaro fin d'ora in qual modo certi sistemi, di complessità enorme, potrebbero sfuggire per sempre, per motivi pratici, a un'analisi riduzionistica. Ma torniamo al discorso generale.

Bisogna tenere la guardia alzata: è facile sentirsi olisti se non si sta bene attenti. In fin dei conti immagino siano ben pochi i lettori disposti a negare alla chimica, magari semplicemente a quella inorganica, caratteristiche di tipo riduzionistico. Ma, di sicuro, altrettanto pochi saranno coloro i quali non si porranno alcun problema di tipo olistico nei confronti della biologia, per non parlare delle scienze che riguardano più da vicino l'essere umano, come la psicologia, la sociologia e via discorrendo. E perciò, sempre senza pretendere di convincere nessuno, vado avanti per gradi, ampliando un po' il discorso già avviato allorché dissi della vita in quanto possibile epifenomeno.

Nel momento in cui scrivo, non solo non è stato possibile sintetizzare in laboratorio una forma vivente in senso stretto a partire da materia ina-

nimata, ma, perfino sul piano teorico, le ipotesi sull'origine della vita sono discordanti. Al passare del tempo, però, certi indizi cominciano ad assumere un ruolo chiave. Non essendo un biologo, non cercherò di confondere le idee al lettore con le mie interpretazioni. Racconterò solo questo: i concetti legati all'immagazzinamento dell'energia, alla trasmissione dell'informazione genetica, alla catalisi per accelerare grandemente le reazioni biochimiche, alla protezione della regione in cui hanno luogo i processi vitali, e così via, pongono restrizioni sempre più chiare ai percorsi che la natura avrebbe potuto seguire per produrre un proto-organismo vivente. Dunque, pure se non possediamo ancora le istruzioni per il montaggio dei pezzi, abbiamo almeno una vaga idea di quali debbano essere i pezzi stessi o, per lo meno, di quali non possano essere. Se, perciò, il lettore volesse a tutti i costi aggrapparsi a una visione olistica della vita, ora come ora non sarebbe possibile dimostrare, almeno dal punto di vista sperimentale, l'illegittimità di un tale atteggiamento, ma le cose sono suscettibili di cambiamento in tempi brevi. Le strade verso la più semplice unità vitale potrebbero essere numerose, e non abbiamo garanzie in merito alla possibilità di riuscire in pratica a discriminare quale, tra i vari percorsi, la natura abbia seguito davvero sul nostro pianeta. Molto probabilmente, però, in tempi non troppo lontani da oggi, saranno chiariti in modo definitivo i meccanismi fisico-chimici alla base della formazione dei primi organismi viventi, pur se – ripeto – non sapremo mai se l'esito delle nostre manipolazioni in provetta corrisponderà esattamente all'esito delle prime elaborazioni di madre natura, chissà dove e quando. Se, dunque, diventasse un giorno possibile la produzione in laboratorio di una forma di vita, per quanto elementare e non commensurabile con una vita complessa come quella di oggi (avente dietro di sé quasi quattro miliardi di anni di evoluzione), dal mio punto di vista ne conseguirebbe il crollo di qualsiasi possibilità di mantenere un punto di vista olistico riguardo alla vita in quanto tale. E attenzione: questo sarebbe vero qualora si sintetizzasse una nuova vita partendo da materia inanimata (approccio di tipo *bottom-up*), ma pure se si riuscisse a far funzionare la più semplice unità vitale possibile smontandone una più complessa (approccio *top-down*). Con tali prospettive, vale davvero la pena di puntare molto sull'olismo nei fenomeni vitali? Ci pensi bene, il lettore: non voglio affatto convincerlo della validità assoluta del riduzionismo, ma solo spiegarli perché io ritengo di avere argomenti per crederci. Se insiste, nessun problema: gli lascio in mano la patata olistica mentre si sta scaldando (tra poco potrebbe essere bollente), e procedo.

12.6. Evoluzione e cervello umano

L'evoluzione degli esseri viventi, in senso darwiniano, o con tutte le correzioni del caso, secondo me segue uno schema riduzionistico, anche se è chiara una nuova complicazione: qui entra a giocare un ruolo determinante il concetto di probabilità (o, meglio, casualità). Se le mutazioni genetiche da una generazione all'altra obbediscono al caso, infatti, non per questo dobbiamo chiamare in ballo qualche nuova qualità olistica. Sappiamo, per esempio, come i raggi cosmici, consistenti in particelle e onde provenienti dallo spazio dove e quando capita, possano spezzare molecole nelle cellule viventi e dar luogo a casuali modificazioni genetiche. Altrettanto fanno i raggi ultravioletti, con cui abbiamo molta più dimestichezza. In egual modo, durante la trascrizione del DNA possono avvenire, sempre a casaccio, errori di copiatura. Sono tutti fenomeni, in buona misura, sfuggenti all'analisi scientifica diretta, non perché non seguano le leggi fisico-matematiche riduzionistiche della natura, ma per motivi di ordine pratico. In sostanza, in situazioni del genere tendiamo a coprire la nostra ignoranza col mantello del caso. Se poi un organismo geneticamente modificato dalla natura stessa (ebbene sì: non ho mai sentito un ambientalista parlarne, ma la natura compie quotidianamente un'enorme quantità di esperimenti genetici a occhi chiusi, incrociando alla rinfusa vegetali, animali, funghi, batteri e addirittura materia inanimata) ha avuto maggior successo riproduttivo rispetto ad altri, in funzione di un'infinità di parametri ambientali e intrinseci casuali, non per questo il paradigma riduzionistico è violato. Un meteorite ha urtato la Terra conducendo i dinosauri all'estinzione? Non era prevedibile per motivi di ignoranza pratica, e non di conoscibilità a priori. Si è verificata una glaciazione, e questa ha costretto le specie sopravvissute a fissare preferenzialmente meccanismi di resistenza al freddo? O magari un risveglio di attività tettonica ha separato tra loro grandi masse continentali con gli organismi ivi residenti, consentendo una differenziazione nel tempo di questi ultimi? Il campo magnetico della Terra si è indebolito, e particelle elettricamente cariche del vento solare hanno prodotto mutazioni genetiche a ritmo accelerato? Non vedo alcun evento in grado di spezzare la catena del riduzionismo. Il caso, per lo meno, non la spezza, pur se uccide il determinismo. Ci siamo?

Parliamo dell'evoluzione umana. Certo, non lo nego: questa presenta aspetti non ancora ben compresi. I fossili sono rari e comunque, data la natura stessa dei processi evolutivi, è poco probabile trarre dai soli reperti scheletrici un albero genealogico definitivo, se non con un aiuto consistente da parte della genetica, grazie all'analisi del DNA. Un grosso problema di

principio, sul quale si sono sempre innestate idee creazioniste e finaliste, tendenzialmente olistiche, è quello riguardante le dimensioni del cervello umano rispetto al resto del corpo. Il cervello è, infatti, un organo a elevato consumo energetico. Nel nostro caso, brucia circa il 20% delle calorie totali consumate dal metabolismo di base, mentre rappresenta solo il 4% del peso dell'intero organismo. Questo conto banalissimo ci condurrebbe a escludere la probabilità di un suo accrescersi al di là delle dimensioni necessarie a gestire le sole funzionalità biologiche, poiché ciò dovrebbe rappresentare un aggravio, e uno svantaggio in termini evolutivi, se non ne conseguissero immediati vantaggi di altro genere. L'intelligenza è di sicuro un vantaggio, ma l'evolversi di un cervello circa tre volte più pesante del minimo indispensabile ha richiesto milioni di anni, con modifiche strutturali non indifferenti, di certo non direttamente favorevoli, per quanto riguarda la locomozione femminile (per dirne una), e le testimonianze paleontologiche non sempre sono convincenti riguardo a un vantaggio immediato di ordine intellettuale, almeno per le fasi più antiche. D'altro canto, anche se l'ominazione (l'evoluzione umana) è avvenuta per un accumulo di casi improbabili, non riesco a vedere la nostra presenza qui e ora come una confutazione del riduzionismo. Qualcuno potrebbe obiettare: si tratta di un argomento circolare e di un atto di fede da parte mia; sì, certo, l'ho già ammesso esplicitamente. E, come continuo a ripetere, non mi propongo lo scopo di convincere il lettore. Per le conclusioni cui intendo giungere, l'unica cosa importante è fornire un quadro chiaro del mio modo di ragionare, e non perché sia più valido di altri; solo per fornire al lettore il grimaldello giusto per interpretare le mie affermazioni. Dunque, affermo senza remore: l'essere umano, e il suo cervello, sono per me scritti nelle equazioni di Newton, di Maxwell, in quelle di Schrödinger e di Einstein e, insomma, nella *LEGGE* fondamentale di natura, qualunque essa sia.

Ma qui occorre un'altra brevissima digressione. Attenzione, infatti: il lettore desideroso di farsi una cultura sull'evoluzionismo rischierebbe d'inciampare su un'affermazione da intendere bene nel suo contesto. Spesso, i biologi evoluzionisti affermano che nel loro settore di studio occorre una visione di tipo olistico. Ciò è dovuto, generalmente, a un piccolo equivoco semantico nell'uso del termine. L'evoluzione biologica è un fenomeno di tale complessità, e in cui le relazioni reciproche tra un'infinità di elementi interni ed esterni all'organismo giocano un ruolo preminente, per cui, pur senza negare esplicitamente il riduzionismo, si pone l'accento sull'aspetto olistico in senso molto lato, solo come comodità di pensiero, a enfatizzare l'interdipendenza tra l'essere vivente e l'ambiente: un'interdipendenza così determinante da simulare aspetti olistici. Digressione terminata.

12.7. Il libero arbitrio non c'è

Andiamo avanti: ho parlato del cervello in quanto organo sovradimensionato. Applico il riduzionismo anche al suo funzionamento per trarne un'inferenza logica alla quale non è possibile sfuggire, date certe premesse, e infatti, l'ho già anticipata qualche pagina fa. Anche qui non ho prove sperimentali o teoriche, e con ogni probabilità nessuno potrà mai averle, ma il paradigma del riduzionismo mi permette di giungere a conclusioni valide, senza bisogno di sapere in dettaglio come si concatenano davvero le varie parti interagenti tra loro, in un sistema così complesso qual è il cervello umano.

Come mia usanza, ammetto subito un problema potenzialmente devastante su quanto sto affermando. Volendo indagare in modo scientifico il gioco in atto all'interno della nostra capiente scatola cranica, potrebbe sorgere un problema di conoscibilità anche sul piano di principio, diverso da quelli già affrontati quando abbiamo discusso le probabili capacità di un simulatore umano: un problema epistemologico in senso stretto. Infatti, studiare il funzionamento del cervello significa usare un certo strumento (il cervello, guarda caso) per individuare le modalità operative dello strumento stesso. Tutto ciò è fattibile, o la semplice enunciazione del concetto si risolve in un ossimoro (una contraddizione in termini)? Il pescatore di Eddington si chiederebbe: «Il cervello cola, o no, attraverso le maglie del cervello?». Non lo so. Forse, la risposta a una domanda del genere sarà preclusa per molto tempo alla scienza. Non solo le cellule costituenti la corteccia cerebrale, e cioè i neuroni, sono già la bellezza di un centinaio di miliardi; bisogna pure considerare la gran quantità di connessioni posseduta da ciascuno di essi (di certo almeno le sinapsi, ma forse ogni segmento della parete cellulare), grazie alle quali avviene lo scambio di scariche di ioni, veicolo del trasferimento delle informazioni, con gli altri neuroni. Per di più, queste connessioni non sono neanche fisse, ma si modificano in continuazione in base al fenomeno noto come "*plasticità del cervello*". Ma resta un fatto per me importante: difficoltà pratiche o teoriche a parte, se accetto il riduzionismo, riesco ad aggirare globalmente problemi del genere, e giungo dritto filato alla conclusione qui rilevante. E cioè: se il cervello è, e resta, una macchina funzionante in base alla **LEGGE** fisico-matematica di base, non rimane alcuno spazio per il libero arbitrio inteso come espressione di una volontà la quale, posta di fronte a un bivio, scelga una direzione anziché un'altra senza essere vincolata, anzi obbligata, dalla **LEGGE** e dalle condizioni circostanti, imposte in parte dalla **LEGGE** stessa, in parte dal caso, il quale rappresenta solo un altro

modo più complicato (per noi) di manifestarsi della **LEGGE**. Qui la faccenda si fa più dura da accettare, perché noi ci sentiamo liberi di scegliere, ma nel paradigma del riduzionismo si deduce inevitabilmente questo: il libero arbitrio è solo un epifenomeno, un'apparenza e nulla più. Tornerò sull'argomento, ma ormai il lettore dovrebbe aver compreso il mio modo di pensare.

È tempo di concludere. Cos'abbiamo imparato stavolta?

12.8. Ricapitolando

A-XII) Il concetto di *riduzionismo* ingloba e sostituisce quelli di semplice meccanicismo e determinismo laddove le leggi di natura siano complesse, indeterministiche, e intervenga anche il caso.

B-XII) Finora, ogni progresso scientifico, almeno nelle scienze che studiano i fenomeni di base, si è sempre fondato su un'interpretazione riduzionistica della natura.

C-XII) Nel paradigma del riduzionismo, il libero arbitrio non può esistere.

Per quanto la cosa mi disturbi sul piano filosofico, sono però costretto a esplicitare anche un nuovo problema di conoscibilità scientifica, e questo ce lo porteremo avanti per tutto il resto del libro.

13-XII) Non è, e non sarà mai, scientificamente dimostrabile il comportamento riduzionistico o, in alternativa, olistico della natura.



13. LA TEORIA E IL PRINCIPIO

13.1. Cause civili, energia e altro

Prima di affrontare la Teoria della Relatività (sempre maiuscola), e i suoi inquietanti risvolti su cosa è davvero il tempo, faccio respirare il lettore con un capitolo breve. Torniamo alla MQ e, più in particolare, al Principio d'Indeterminazione (PdI) di Heisenberg. Chiediamoci: «Il PdI è una normale legge fisica come tutte le altre? E perché abbiamo usato il termine *principio*, anziché *legge* come, invece, per la legge di gravità?». Oppure: perché io utilizzo il riduzionismo come principio, e ne traggo deduzioni su sistemi complessi come il cervello umano, senza neppure bisogno di conoscere com'è fatto? Ebbene: in fisica e, in generale, in gergo scientifico, il principio è considerato qualcosa in più di una legge. Ne avevo accennato all'inizio del libro, ma è tempo di entrare in maggiori dettagli, perché il concetto servirà.

Nel linguaggio d'ogni giorno, il vocabolo è usato in contesti quali: «Ne faccio una questione di principio!». O più spesso: «In linea di principio sarei contrario...», e così andando. Nel primo caso, la valenza del termine è assai più stringente, rispetto al secondo: si tratta dell'enunciato in base al quale le cause civili vanno avanti fino alla settima generazione, poiché si trova sempre qualcuno che non vuole cedere il proprio mezzo mattone in uno stabile in comproprietà, anche se è impossibile determinare di quale mezzo mattone si tratti. Il secondo enunciato è più debole, poiché contiene già i semi della negazione nell'uso del condizionale: i tradimenti coniugali, di solito, prendono il via così. Nella scienza, l'uso del termine *principio* è molto più ristretto e vincolante, rispetto ai casi discorsivi appena accennati.

Prendiamo il caso dell'energia. Il lettore già sa qualcosa su di essa: tanto per dirne una, si conserva, pur se ancora non ho chiarito il significato preciso di questa affermazione. Mettiamola così: a un certo punto dello sviluppo della fisica, tornò conveniente coniare il vocabolo "*energia*" per intendere la capacità di compiere un lavoro. Lasciamo perdere cosa si-

gnificchi in dettaglio “*lavoro*”, poiché ne basta un modello intuitivo semplice: per trasportare quattro buste del supermercato e due di sabbietta per il gatto fino al settimo piano, quando l’ascensore è guasto, serve energia, e questo rende l’idea. Se, dunque, un certo sistema fisico non meglio specificato possiede energia, è ragionevole quantificare quest’ultima, almeno approssimativamente, in termini di numero di buste del supermercato trasportate da quel sistema fino al settimo piano, prima di scaricarsi. Inoltre, l’energia si può presentare sotto diverse forme: quella responsabile delle vittime in autostrada prende il nome di energia *cinetica*; poi c’è l’energia *potenziale* in base alla quale è specificato, nei regolamenti condominiali, il divieto di far sporgere vasi di fiori dai davanzali. C’è l’energia *termica*, quella *chimica*, *l’elettrica* e altre. C’è perfino quella *nucleare* e, sebbene pochi sappiano davvero cosa sia, come si presenti, come possa essere utilizzata e quali siano i rischi reali nel suo utilizzo, è avversata da molti. Sta nascosta nella formula più famosa della fisica: $E = mc^2$, il cui significato è raccontabile come segue. Una massa m può essere considerata come un accumulo di energia E , pari al valore della massa stessa, moltiplicato per la velocità della luce elevata al quadrato. Queste varie forme di energia possono trasformarsi l’una nell’altra e, facendo conti sempre più precisi sul risultato di ogni esperimento compiuto finora, se ne trova la conservazione. Ovvero: se un determinato sistema possiede inizialmente una certa quantità di energia, e alla fine di una serie di azioni questa energia è stata distribuita a sistemi diversi e/o sotto forme diverse, la somma totale delle energie finali è pari all’energia iniziale. In questo senso, l’energia totale si conserva.

Constatando la validità generalizzata di questa conclusione in ogni condizione a tutt’oggi suscettibile d’esame in laboratorio, già fin dalla metà del XIX secolo i fisici si convinsero di come, con ogni probabilità, è la natura stessa ad aver deciso di usare la conservazione dell’energia in quanto base del proprio comportamento. Le motivazioni di questa decisione non riguardano la scienza né tanto meno gli scienziati. Nasce, comunque, dall’insieme dei dati sperimentali, il principio di conservazione dell’energia il quale, rispetto ad altri tipi di legge fisica, si presenta più vigoroso. Si potrebbe dire così: un principio può essere pensato come un modello matematico e concettuale dotato di un elevatissimo isomorfismo con la realtà. La legge di Newton per la gravità è dunque un modello normale, così come sono modelli normali le leggi di Maxwell per i fenomeni elettromagnetici, e via discorrendo. I fisici adoperano comunemente questi modelli nei loro calcoli, ma tengono in considerazione la possibilità che nuovi dati sperimentali conducano a una falsificazione dei modelli stessi.

Anzi: come abbiamo visto, la falsificazione è desiderabile, almeno in una certa misura, poiché essa comporta un progresso nella conoscenza scientifica, con la costruzione di nuovi modelli, sperabilmente più isomorfi al comportamento della natura. Quando lo scienziato applica a cuor leggero un principio, invece, va più sul sicuro, poiché il principio possiede uno *status* speciale, e non ci si aspetta davvero una sua falsificazione, anche se non si può mai escludere in modo assoluto. La potenza logica di questa procedura è tale per cui, a volte, senza nemmeno eseguire calcoli dettagliati o misure sperimentali, il principio fornisce già una risposta a priori a domande scientifiche importanti. Come sul libero arbitrio nel capitolo precedente. Ma esemplifico ancora, sempre restando sulle generali: in base a un principio, a volte è possibile fornire valutazioni immediate per quanto riguarda l'attendibilità di nuovi modelli proposti in via ipotetica. Se un ragionamento abbastanza approfondito rivela che un certo modello di legge fisica comporterebbe violazioni di qualche principio ben stabilito, di solito il modello si butta via senza perderci altro tempo, poiché il principio assume, nella scienza, un ruolo tutto sommato somigliante a quello del dogma in campo religioso. Un modello in violazione a un principio rappresenta, per la scienza, più o meno l'analogo di un'eresia, e il proponente è scomunicato *ipso facto*. E una scomunica scientifica comporta effetti pratici devastanti, come l'impossibilità pratica di pubblicare i propri risultati su riviste ufficiali, il mancato invito ai congressi, e via discorrendo.

Dunque, nella mente degli scienziati, un principio rappresenta un modello così isomorfo con la realtà da confondersi praticamente con essa, al contrario di una qualunque legge la quale è considerata, nel migliore dei casi, un modello approssimativo, soggetto a possibili modifiche. Si può quasi affermare che la scoperta di un nuovo principio rappresenti un passo avanti assoluto della scienza, da cui non si tornerà più indietro. Il PdI di Heisenberg va inteso in questo senso: da quando è stato enunciato, non ci sarebbe più stato bisogno di eseguire alcuna misura per verificare, in pratica, come le incertezze nella determinazione contemporanea della posizione e della velocità di un sistema qualsiasi siano correlate dalla formula matematica esprime il principio stesso. Di più: ogni tanto, il povero Einstein suggeriva un esperimento immaginario il quale, se eseguito in realtà, avrebbe potuto condurre a ricavare posizione e velocità di una particella meglio di quanto consentito dal PdI. In tutte queste circostanze, Bohr aveva gioco facile (si fa per dire, perché Einstein era assai ingegnoso) nello smontare quell'esperimento già sulla carta. Infatti, essendo Bohr convinto a priori della validità del PdI, gli bastava cercare il punto debo-

le nella proposta di Einstein, poiché era certo dell'esistenza di un punto debole; doveva esserci per forza. Magari era difficile da trovare, ma sicuramente c'era, e prima o poi Bohr riusciva a evidenziarlo. Infatti andò così in ogni caso, pur se, spesso, Einstein metteva in luce aspetti sempre meno intuitivi della MQ, ai quali lo stesso Bohr non aveva ancora pensato.

13.2. Chi può negare un principio?

Ribadisco un concetto già espresso: qualsiasi principio è comunque basato su fatti sperimentali. Perciò, è sempre teoricamente possibile ricavare nuovi dati, quantitativamente più accurati dei precedenti, per mostrare come il principio sia violato dalla natura, al pari di ogni altra legge fisica. In effetti, a volte, scienziati di grido e molto affermati, di cui gli altri hanno soggezione (se non appartengono a questa categoria, di solito non provano neanche lontanamente a fare quanto sto per raccontare), mettono in discussione anche qualche principio. L'esempio di un caso del genere si può trovare in un modello cosmologico, proposto tanto tempo fa da Fred Hoyle, per spiegare l'aspetto dell'universo: tra i tanti nomi affibbiati al modello, esso era noto pure come "modello della *creazione continua*". Infatti, una delle ipotesi su cui si fondava è quella secondo la quale, al progressivo invecchiamento e allontanamento tra loro delle galassie nel moto generale di espansione osservato nell'universo, nuova materia fresca venga creata *ex nihilo* negli spazi lasciati vuoti. Come conseguenza, al passare degli eoni, l'aspetto dell'universo dovrebbe restare statisticamente immutato, poiché tanta materia si perde nell'espansione, e diventa comunque inutilizzabile a causa del suo invecchiamento, tanta se ne crea di nuova, e pronta a entrare in circolo, nelle regioni di spazio lasciate libere. Questo modello, malgrado fosse basato sulla non conservazione dell'energia (della materia), non poteva essere falsificato grazie a esperimenti eseguibili in laboratorio, poiché richiedeva la creazione di non più di un atomo d'idrogeno per metro cubo ogni milione di anni, e da nessuna parte sarebbe stato possibile eseguire misure così precise. Alla fine, il modello di Hoyle fu abbandonato sulla base di altri esperimenti, di carattere puramente astronomico, e il principio di conservazione dell'energia fu vendicato. Ma, nella scienza, anche un principio ben consolidato può essere messo in dubbio e, se gli esperimenti così decidono, risultare falsificato.

Comunque, insisto per aiutare il lettore a impossessarsi di questo concetto come un automatismo di pensiero. Un principio è ritenuto qualcosa di più di una normale legge fisica, un modello ritenuto dagli scienziati

virtualmente inattaccabile, e quando ne assumono a priori la validità, è loro consentito giungere, per mezzo del solo ragionamento, così lontano da enunciare nuove teorie, magari ancora prive di riscontro sperimentale. Va da sé: queste ultime teorie avranno poi bisogno, a loro volta, di essere confermate da misure dirette; così è sempre successo e succederà. Ma, per la loro prima elaborazione concettuale, già bastano i risultati sperimentali vecchi, in base ai quali si è stati condotti alla formulazione del principio. La qual cosa, tra l'altro, ci fa pensare a una conseguenza ovvia: tante più teorie di verificato successo sono state elaborate sulla base di un certo principio, tanto maggiore è la fiducia da riporre nel principio stesso, in quanto espressione di uno dei fondamenti sui quali la natura in sé ha deciso di costruire il mondo. Ciò vale per quello d'indeterminazione, per la conservazione dell'energia (forse...), per il riduzionismo, e per il principio assunto alla base della relatività, come vedremo nel prossimo capitolo. Ma il ragionamento può essere ribaltato in negativo, e anche di questo ho accennato. Se un'ipotesi scientifica contraddice un principio ben associato, la si butta a priori, almeno se non è stata prodotta da un laureato Nobel, o da qualcuno della cui preminenza culturale o accademica si ha paura (magari, costui non ha al proprio attivo grandi risultati intellettuali, ma è presente in una quantità enorme di commissioni politiche giudicanti sui finanziamenti da assegnare alla ricerca scientifica). In quest'ultimo caso, l'ipotesi è mantenuta in salamoia aspettando, per liberarsene, il passaggio a miglior vita del proponente (l'ho già raccontato: la storia della scienza contempla diversi casi del genere).

Il metodo concettuale di assegnare a certe leggi la valenza di principio, dunque, è di estrema potenza. Ipotesi complicatissime, con apparati matematici formidabili, e dotate di conseguenze difficilmente verificabili, possono talvolta essere respinte senza fatica, quando si evidenzia come esse finiscano per violare un principio. Il lettore è dunque avvisato e, di conseguenza, mezzo salvato: d'ora in poi, quando si imbatte in qualcosa in contraddizione, sia pur implicita, di un principio scientifico ben noto (o anche filosofico, attenzione, come quelli di Kant ed Eddington sui limiti entro i quali è lecito trarre deduzioni logiche o scientifiche), potrà fare a meno di perdersi tempo. È spazzatura, con una probabilità superiore al 99,999%. Ricordiamo dunque: le leggi della meccanica enunciate da Newton sono definite principi, in quanto non se ne considera possibile la violazione in alcun caso (a parte la loro sostituzione con la MQ, ma nel mondo macroscopico seguitano a valere indisturbate). La legge di gravità dello stesso Newton è solo una legge, in quanto è già stata falsificata dagli esperimenti, come vedremo nel prossimo capitolo. Non solo: anche

prima della sua falsificazione, era considerata comunque una legge e non un principio. Per analogia, siccome la MQ sostituisce i principi della dinamica in quanto vera legge di base della natura, pur essa è fondata su un principio: per l'appunto il PdI. Questo inciso potrebbe aiutare il lettore ad assimilare in qual modo il meccanicismo, conseguenza dei principi della meccanica newtoniana, possa cadere solo grazie a un principio sostitutivo, come quello di Heisenberg.

13.3. La teoria è più debole del principio

Passo all'argomento successivo di questo capitolo, già introdotto accennando alle due Teorie della Relatività di Einstein. Perché sono due e non una sola, ma questo lo vedremo più avanti: ora, mi farebbe piacere se il lettore mi chiedesse la ragione per cui, sia qui, sia all'inizio del capitolo, ho usato le maiuscole per la Relatività. Risposta: è stato un trucco tipografico per richiamare la sua attenzione sul termine *teoria*. Ma anche perché, nel seguito, userò le iniziali TdR come sigla, così come già faccio per la MQ.

Cos'è una teoria, in senso scientifico? Ne ho parlato già molto, ma non farà male ripeterlo con parole diverse. Così come per il principio, introduco anzitutto un paio d'utilizzi del vocabolo nel linguaggio corrente. Si dice a volte: «Ho una mia teoria circa...», oppure: «In teoria non dovrei farlo...». In entrambi i casi, il vocabolo è usato in senso molto elastico. La prima frase ricorre quando ci si chiede perché una squadra di calcio perda sistematicamente dopo un cambiamento di allenatore. Magari, nella testa del proponente, potrebbe pure esserci qualcosa di vero, magari no, ma sarebbe comunque più corretto affermare: «Ho una mia ipotesi circa...», poiché l'ipotesi è solo un primo tentativo di spiegare un insieme, ancora troppo ristretto e poco significativo, di dati sperimentali. Quindi non ha (non dovrebbe avere) la pretesa di essere vincolante, e può essere buttata via in qualsiasi momento, per sostituirla con un insieme di ragionamenti più meditato. Troppo poco per dire teoria in senso scientifico, insomma. La seconda frase, invece, s'incontra sempre nei tradimenti coniugali, e sarà chiara al lettore l'estrema vaghezza dell'utilizzo del termine teoria in queste circostanze.

In linguaggio scientifico, anche stavolta, teoria significa qualcosa di molto più preciso. Si potrebbe dire così: una teoria è l'insieme del modello matematico e di quello fisico, intuitivo, descrittivi la totalità dei fenomeni di un certo tipo conosciuti. Dunque, non può aspirare al livello di

teoria (almeno in fisica; in altre scienze le cose possono essere meno rigide) un modello non ancora reso quantitativo per mezzo delle adeguate equazioni, e non applicabile a tutti i dati sperimentali conosciuti fino a quel momento. In questo senso, la teoria classica dell'elettromagnetismo, con le equazioni di Maxwell, è una teoria vera e propria, come pure lo sono le due di Einstein sulla relatività, la *Speciale* e la *Generale*. In alternativa, il grosso contenitore elastico e un po' deforme di modelli matematici e fisici utilizzato oggi per descrivere, per il tramite della MQ, le tre interazioni, elettrica, nucleare debole e nucleare forte, non aspira ancora al rango di teoria, poiché include troppe ipotesi, per il momento non giustificabili se non mettendoci una quantità di zeppe infilate a mano dove sembrano servire. Questo scatolone, infatti, prende il nome, già incontrato, di Modello Standard, anche se, spesso, si tiene molto a indicare, per mezzo delle maiuscole, la sua elevata precisione in praticamente tutte le previsioni quantitative. Per quanto mi riguarda, in questo caso specifico uso indifferentemente maiuscole e minuscole. Anche perché i fisici stanno lavorando con accanimento per trasformare questo modello nella futura, prevista Teoria di Grande Unificazione. E quella sarà (sperabilmente) una teoria vera, in cui le varie parti si terranno salde tra loro, e non saranno appiccicate provvisoriamente col nastro adesivo, e puntellate alla meglio, come nel Modello Standard.

13.4. Precisione di linguaggio e funghi velenosi

La premessa serve a giungere a un chiarimento definitivo, per il lettore, su un punto importante, spesso fonte di equivoci. Quando si fa scienza, bisogna prestare attenzione a come si parla e, in particolare, a come parlano i fisici. Se qualcuno, scienziati inclusi, dice: «Ho una mia teoria sull'andamento ciclico del prezzo dei funghi velenosi alla Borsa di Francoforte», molto probabilmente costui ha in testa una serie di connessioni più o meno labili tra faccende eterogenee come la presenza di qualcuno più o meno simpatico o antipatico in un certo ruolo politico nazionale o internazionale, le più recenti regole del Parlamento Europeo sulla classificazione dell'inquinamento dei veicoli a motore di uso privato, l'economia aziendale nel suo posto di lavoro, le riunioni cui deve partecipare per impedire l'eliminazione del distributore di caffè e merendine alla soia transgenica in corridoio in fondo a sinistra, l'orario condominiale di accensione dell'impianto centralizzato di riscaldamento, il proprio stato di salute, il più recente litigio col coniuge, il tappeto del salotto da mandare

in tintoria perché il gatto ci ha vomitato sopra, eccetera. Una teoria piuttosto vaga, dunque, e infatti, se chi parla ne possedesse una più precisa, in grado di eseguire previsioni quantitative corrette, potrebbe guadagnare una tale barca di soldi in borsa da non doversi affatto preoccupare del prezzo dei funghi velenosi.

Se invece un fisico afferma «Ho una teoria sull'interazione gravitazionale», si può esserne certi: quella teoria sarà in grado di prevedere, con un'approssimazione paragonabile a quella con cui si possono ricavare risultati sperimentali, quanto la Luna influirà, momento per momento, nel determinare il peso (misurato da una bilancia a molla) dei principali titoli (cartacei) trattati a Francoforte, Wall Street, Hong Kong, domani e dopodomani, e così via per un periodo piuttosto lungo. Magari, tutto ciò non sarà utile al fine d'immediati realizzi di capitale, ma il lettore ha comunque capito come, tra scienziati, teoria non significa un vago assieme di considerazioni personali, bensì un modello molto preciso, di dimostrata efficacia, avente almeno un certo grado d'isomorfismo con la realtà, al punto da non essere stato ancora falsificato dagli esperimenti. Un modello applicabile non soltanto a un minuscolo rivoltello della natura, ma qualcosa da cui venga fuori un'unificazione tra realtà apparentemente diverse, anziché uno sminuzzamento.

Secondo me, questo chiarimento era del tutto necessario. Infatti, già parlando di MQ, sono emersi modelli in base ai quali si potrebbe sospettare qualche lacuna nelle capacità d'intendere e di volere di chi li ha promossi. La MQ è invece una solida teoria in senso scientifico, e la sua visione del mondo, per la verità non univoca, è basata su fatti da accettare così come sono, senza discuterli. Avviso i lettori perché, nei prossimi capitoli, dovremo trattare il concetto di spazio, e ancor più quello di tempo, in maniera forse sgradita a chi avesse appena mandato giù il rospo quantistico, con o senza bicarbonato. Ma così va il mondo: Einstein non si è sognato la relatività (o Bohr la MQ) durante una notte di coliche, dopo aver bevuto e gozzovigliato tra le ballerine, e con sullo stomaco sei piatti di trippa coi peperoni e il gorgonzola (e i funghi velenosi comprati a Francoforte). Quando si dice *Teoria della Relatività di Einstein*, nessuno è autorizzato a pensare: «Ah! Si tratta di un insieme di incubi e deliri collazionati dal pover'uomo in un momento di debolezza mentale» e, di conseguenza, chiunque può sentirsi autorizzato a metterci le mani sopra secondo l'estro personale, per rivedere, censurare, demolire e ricostruire, dicendo «Tanto, è solo una teoria...». Le due Relatività formano un *corpus* solidissimo di modelli intuitivi e matematici, e finora hanno retto a qualsiasi assedio teorico o sperimentale. Per di più, rispetto alla MQ, hanno addirittura il pregio di mantenere in vita il

concetto di esistenza reale classica. Certo, accettando la relatività einsteiniana, qualcosa si deve pagare comunque, e qualche batrace da deglutire lo troveremo, ma occorre pazienza.

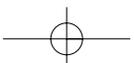
Einstein: bersaglio preferito dai dilettanti. Perché? Il motivo va cercato nel fatto seguente (almeno dal mio punto di vista): con un po' di buona volontà, qualunque persona dotata di un intelletto normale, e istruzione media, riesce ad afferrare un minimo brandello di Relatività, se ci dedica abbastanza tempo e forze. Nessuno mi toglie dalla testa che Bohr sia stato bersagliato molto meno dai dilettanti, e molto più dai professionisti, solo perché quasi nessuno capisce la MQ. E forse mi potevo risparmiare l'ultimo *quasi*.

Prima di riassumere questo breve capitolo, desidero tornare su un argomento già discusso qui stesso e altrove, per rivederlo in termini espliciti in chiave di applicazione di un principio, onde ribadire la potenza del metodo. Se qualcuno mi chiede: «Dimostrami scientificamente perché il libero arbitrio non può esistere», non ho bisogno d'inseguire i diagrammi di flusso delle informazioni in un cervello reale. Mi basta affermare: «Io accetto il riduzionismo in quanto principio. Non m'importa quali siano gli assi portanti del pensiero umano; il riduzionismo m'induce a concludere la rigida determinazione (attenzione: non pre-determinazione, ma solo determinazione) di ogni espressione della volontà da parte della **LEGGE**, incluso pure l'intervento del caso, nelle sue varie manifestazioni. Dunque, per quanto complicato possa essere il problema di un'analisi cerebrale dettagliata, e per quanto potente sia la sensazione di libertà da me provata nel prendere decisioni, la semplice applicazione di un principio mi permette di rispondere in modo definitivo a una domanda formidabile. La volontà e il libero arbitrio sono solo epifenomeni». Così funziona la scienza. E siamo in chiusura.

13.5. Ricapitolando

A-XIII) Un principio scientifico può essere inteso come una legge di natura più assoluta, più isomorfa nei confronti della realtà, rispetto alle normali leggi ricavate dalla scienza, anche se non si assume a priori l'impossibilità di falsificarlo.

B-XIII) Una teoria scientifica è molto più di un'opinione o anche di un'ipotesi, in quanto si basa su un modello intuitivo e matematico, e questo deve rendere ragione, in misura quantitativa, di ogni risultato sperimentale finora conosciuto.



14. LO SPAZIOTEMPO DELLA RELATIVITÀ

14.1. Tempo e causalità

Nell'ultimo capitolo, il lettore ha avuto un po' di respiro dopo le bizzarrie della MQ. D'ora in poi la strada si fa di nuovo in salita, e toccherà alzarsi sui pedali ansimando. Sarà, infatti, necessario digerire alcuni fondamenti delle due Teorie della Relatività, e cioè quella definita "*Speciale*", e la "*Generale*", intervenendo su idee conflittuali con le basi del nostro modo di pensare al livello più profondo. Verranno tirati in ballo, e schiaffeggiati, lo spazio e, ancor peggio, il tempo, e alla fine resterà ben poco di questi capisaldi del buon senso innato. Purtroppo, la fatica da durare non è evitabile. Non per nulla, abbiamo già visto come il principio di causalità richieda l'esistenza di un ordinamento temporale di cause ed effetti, nel quale la causa deve occorrere prima dell'effetto. Ebbene: abbiamo già incontrato nella MQ, e cioè nel mondo molto piccolo, situazioni in cui la natura sembra rispettare la causalità solo in modo statistico, e a ogni causa non corrisponde affatto sempre e solo lo stesso effetto. Se ora giungessimo a scoprire la natura mentre si comporta in modo un tantino disinvolto, addirittura per quanto riguarda l'ordinamento temporale di cause ed effetti, anche all'estremo opposto, e cioè nel mondo molto grande, cosa ne resterebbe della nostra idolatrata logica? Non dovremmo concluderne che, per quanto potente e affidabile (insisto sul concetto di "affidabilità"; entro i suoi limiti di validità, e li stiamo scoprendo mentre procediamo, io me ne fido ciecamente, e incoraggio il lettore a nutrire lo stesso atteggiamento), essa debba talvolta gettare la spugna nel tentativo di dirci proprio tutto su come funziona l'universo materiale? Sto dunque preannunciando qualche ventina di pagine sulla connessione tra spazio, tempo e causalità, e il lettore, ormai, è abituato: non tutto filerà liscio.

Tanto per far chiasso, qualcuno potrebbe esordire chiedendo ad alta voce: «Un momento. Perché la causa deve per forza aver luogo prima dell'effetto? Quale fastidio ci darebbe un ordinamento inverso?». Ma è, per l'appunto, un modo di far chiasso e basta, come in politica, dove è più importante il volume della voce rispetto al contenuto (se ce n'è uno) della que-

stione dibattuta. Nell'intimo della nostra coscienza (sto parlando di coscienza e non d'intelletto, perché a sputare sentenze sapendosi nel torto è capace chiunque), immaginiamo di chiudere, nel momento da noi deciso, un circuito elettrico per consentire a una batteria di alimentare una lampadina la quale, in conseguenza, si accenderà. La "causa finale" di aristotelica memoria è la nostra volontà di chiudere il circuito, e l'effetto è l'accensione della lampadina. Andrebbe ugualmente tutto bene, se la lampadina si accendesse prima della chiusura del circuito, e noi stabilissimo solo dopo di evitare orrori logici, decidendoci a chiudere il circuito? E cosa succederebbe, in alternativa, se ci piacesse lasciarlo aperto dopo l'accensione della lampadina?

Il discorso sulla causalità, però, è più ampio. Scordiamo per ora i problemi con la MQ; riflettiamo, invece, su quanto segue: l'ordinamento temporale consecutivo di cause ed effetti contiene un'ipotesi implicita, per noi così naturale da non valere la pena di ragionarci su. Si tratta di questo: il modo di pensare, o paradigma istintivo, di ogni essere umano contempla il tempo in quanto entità assoluta. Il tempo esiste di per sé, indipendentemente da come – o addirittura da se – lo misuriamo. Dichiarare il tempo una mera illusione dei sensi c'impedisce nuovamente di studiare il mondo in modo scientifico, e non è tale il mio atteggiamento; se il lettore vuole litigare con me su questo punto di vista, provi a omettere di presentare la dichiarazione dei redditi alla prossima scadenza temporale; mi dirà poi chi aveva ragione. Tutt'al più, sono disponibile a qualche distinzione tra la nostra percezione del tempo psicologico e quello segnato dalle lancette dell'orologio quando, al novantesimo minuto, la squadra del cuore sta faticosamente vincendo per uno a zero e l'arbitro concede una quantità spropositata di minuti di recupero che sembra non passino mai. Lo spazio e il tempo vengono da noi percepiti così basilari nel modo scientifico d'intendere il mondo, da convincere molti filosofi a trattare tempo e spazio come due categorie separate, ed entrambe *a priori*, della mente umana. Un esempio per tutti: ho raccontato come, alla fine del IV secolo d.C., il già citato Agostino d'Ippona affermasse di sapere benissimo cos'è il tempo, ma ammettesse di trovarsi in difficoltà, quando qualcuno gli chiedeva di spiegarlielo a parole.

14.2. Un problema di velocità eccessiva

Ebbene: noi poveri moderni siamo incappati nella situazione in cui la scienza, ancor prima d'ingarbugliarci con il principio di causalità, c'impone semplicemente di rivedere il concetto innato di tempo (e di spazio),

in conseguenza di non eludibili risultati sperimentali. Purtroppo, non è una minaccia ipotetica buttata lì per far preoccupare qualcuno, ma proprio quanto si è verificato a partire dall'inizio del XX secolo coll'apparire della teoria della Relatività Speciale (RS, d'ora in poi) nel 1905, e di quella Generale (d'ora in poi RG) un decennio dopo, entrambe scaturite dal cervello di Einstein, e il cui principale argomento è la trattazione del cosiddetto *spaziotempo*. Ma compatitemi se insisto, perché succede, in particolare con la Relatività: quando si dice "teoria", qualcuno si sente in diritto di affermare «Beh, tutto sommato è solo una teoria, e chissà come vanno le cose, invece, in realtà...». Ed entriamo in argomento.

Per la MQ, non ho affogato il lettore con una storia dettagliata delle motivazioni sperimentali dalle quali i fisici sono stati condotti a escogitare una modellistica così ripugnante sul piano intuitivo. Queste motivazioni, infatti, vengono da lontano, richiederebbero una discussione lunga e minuziosa oltre alla conoscenza di diversi elementi di fisica di base, e avrebbero spezzato e complicato inutilmente il discorso. Per la RS (l'argomento di questo capitolo e del prossimo), c'è un'indicazione sperimentale facile da capire, anche se non da interpretare, e questo è il motivo principale per cui sono in tanti ad avercela con Einstein: trovandosi in grado d'intuire il problema, ritengono pure di essere in grado di criticare la sua soluzione.

Nel mondo macroscopico, quello soggetto alla nostra esperienza diretta, ci sono diversi modi per misurare la velocità di un oggetto in moto, e la polizia stradale ne conosce un bel po'. Nessuno si stupirà, dunque, venendo a conoscere come, già alla fine dell'Ottocento, esistessero misure molto precise della velocità della luce, indicata di solito con la lettera c (la sottolineatura è mia, per aiutare il riconoscimento del simbolo nel testo). Anzi: le prime misure di una certa qualità risalgono addirittura all'inizio dell'Ottocento. Pure il valore numerico di c sarà familiare al lettore: approssimativamente 300.000 km/s, e d'ora in poi assumerò questa cifra come esatta, all'unico scopo di semplificare i conti. Dunque, alla fine del XIX secolo, era ormai misurabile con accuratezza non solo c ma, per dirne una, la velocità della Terra rispetto a... vediamo con calma.

Prego anzitutto il lettore di far appello ancora per un po' all'intuizione e al buon senso, nonostante il duro martellamento subito nei capitoli precedenti da queste sue doti intellettuali, e di rispondere in modo esplicito alla seguente domanda: «Se due veicoli su autostrada si dirigono l'uno verso l'altro, ciascuno con una velocità di 100 km/h rispetto a chi è fermo al bordo dell'autostrada, quale sarà la loro velocità relativa?». Non bisogna possedere un Ph.D. in fisica per trovare il risultato giusto: 200

km/h, e cioè la pura e semplice somma delle velocità dei veicoli. Se siamo d'accordo, ripetiamo un ragionamento simile su scala astronomica.

La Terra, per esempio, ruota attorno al Sole con una velocità media di circa 30 km/s. In base ai nostri standard quotidiani sembra tanto, ma è solo un decimillesimo di c . Immaginiamo di disegnare l'orbita terrestre come un'ellissi su un piano, definito "piano dell'orbita". Scegliamo, poi, una stella a grande distanza da noi e questa giaccia sul prolungamento del piano dell'orbita. Supponiamo pure che la stella rimanga ferma (rispetto al piano) dove l'abbiamo piazzata. Nel corso di un anno, ci saranno alcuni giorni durante i quali il "vettore velocità" della Terra punterà verso quella stella, e altri (sei mesi dopo) durante i quali punterà in direzione opposta. Quindi, a volte la Terra andrà incontro alla luce proveniente dalla stella in questione, e la velocità relativa della luce rispetto alla Terra dovrebbe essere 300.030 km/s; a volte succederà l'opposto, e la luce dovrebbe raggiungere la Terra a soli 299.970 km/s. Ci siamo fin qui? Ebbene: è sbagliato, accidenti!

Pazienza: ripartiamo dai due veicoli su autostrada (nel qual caso il risultato della somma delle velocità è giusto), e sostituiamoli con due oggetti molto più veloci. In particolare, al posto dell'autostrada ci sarà un laboratorio scientifico; una delle due auto sarà sostituita da un raggio di luce e, se preferite, possiamo anche chiamarlo fotone. Quest'ultimo, per definizione, viaggia a velocità c . Infine, la seconda auto verrà rimpiazzata da un elettrone, preventivamente accelerato fino a 100.000 km/s, e cioè a un terzo di c . Analogamente al caso autostradale, ci chiediamo quale sarà la velocità relativa fotone-elettrone. Il buon senso direbbe: 400.000 km/s, o ci sfugge qualcosa?

Purtroppo, quando trattiamo velocità elevate, il buon senso c'inganna (o s'inganna). Ogni misura eseguita dalla fine dell'Ottocento a stamattina (mettete la data voi, ma statene certi: sarà la stessa cosa anche domattina, e dovete ovviamente escludere le misure fatte male, perché ce ne sono) ha sempre dimostrato quanto segue: se già uno solo dei due oggetti viaggia alla velocità della luce, la velocità relativa è sempre uguale a c e basta, non importa quale sia la velocità dell'altro oggetto. Quest'affermazione può sembrare contro-intuitiva, e magari il lettore avrà l'impressione di non aver capito bene, o forse c'è un trucco sotto. No, nessun trucco. E sì, la Relatività in tutte le sue manifestazioni è contro-intuitiva; non nello stesso modo della MQ, ma secondo un'accezione più subdola, perché alla fine può sembrare di aver più o meno capito, ma non è del tutto vero. Ripetiamo il ragionamento, spezzandolo in diverse parti, e semplificandolo coll'ausilio di qualche concetto più familiare. Torniamo, perciò, alle due

automobili. Poniamo un misuratore di velocità su un cavalcavia dell'autostrada, proprio dove sta passando il primo veicolo, e non chiediamoci come sia fatto questo misuratore, altrimenti ci prepariamo grane per il futuro prossimo; si tratta di una macchinetta sul cui *display* è visualizzata la velocità, e basta. Il risultato della misura sarà 100 km/h verso sud, va bene? Nel frattempo, un amico ha piazzato un altro misuratore identico, dove sta transitando il secondo veicolo. Anche il suo *display* mostrerà 100 km/h, ma stavolta in direzione nord. L'ultimo passo dell'esperimento sarà quello di porre un terzo misuratore sul tettuccio del secondo veicolo. Stavolta, il misuratore è fermo rispetto alla seconda auto, dal momento che ne è trasportato. Se lo puntiamo verso la prima auto per misurare la velocità con cui questa si sta avvicinando, cosa indicherà il *display*? Ovviamente, i 200 km/h da noi attesi, ovvero la somma delle velocità relative. Proprio in base a un ragionamento analogo, ho scritto poc'anzi come la luce proveniente da una stella dovrebbe possedere una velocità di 300.030 km/s nei confronti della Terra se quest'ultima si muove verso la stella medesima, di soli 299.970 km/s se la Terra se ne sta allontanando.

Ora ci spostiamo per l'ultima volta in laboratorio dove, in luogo del primo veicolo, c'è il fotone diretto pure lui verso sud, e l'elettrone al posto del secondo veicolo, viaggiante verso nord. Il misuratore di velocità, inizialmente, è piazzato in un luogo tale per cui il fotone gli sfreccia davanti. Risultato della misura: 300.000 km/s. Come è giusto, d'altronde, poiché già lo sappiamo: il fotone viaggia sempre e solo a velocità c . Fin qui, l'analogia tiene. Utilizziamo ora un misuratore identico dove sta correndo l'elettrone. Troveremo, per quest'ultimo, una velocità di 100.000 km/s rispetto al laboratorio, mentre sta andando incontro al fotone. Ancora va tutto bene. Come completamento, supponiamo pure qui di aver piazzato un terzo misuratore a bordo dell'elettrone, cosicché ne sia trascinato verso il fotone. Esito della misura della velocità del fotone rispetto all'elettrone: 400.000 km/s? No: soltanto 300.000 km/s.

Avviso il lettore: l'esperimento appena descritto non è realizzabile nei termini, un po' troppo semplificati, in cui l'ho proposto, ma se ne possono eseguire altri, più complicati da spiegare, ma concettualmente del tutto equivalenti, e tutti forniscono, per l'appunto, lo strano risultato appena riportato. In tal modo, tra la fine del XIX e l'inizio del XX secolo, i fisici scoprirono con orrore come la velocità della luce proveniente da una stella rimanga sempre esattamente c , sia mentre la Terra si muove verso la stella, sia mentre se ne allontana.

Tutto ciò è contrario all'intuizione, ma Einstein, essendo un buon fisico, non si mise a questionare sui risultati sperimentali dicendo che dove-

vano per forza essere sbagliati. Al contrario, decise di accettarli a priori in quanto fatti da non discutere e, anzi, di elevarli addirittura al livello di un vero e proprio “*principio d’invarianza della velocità della luce*”. Principio esprime quanto abbiamo appena visto: rispetto a qualsiasi osservatore, la velocità della luce è sempre uguale a c e, quel che più conta, non si compone con la velocità di chi esegue la misura, o di chiunque altro. Lo ha deciso la natura, e noi dobbiamo solo prenderne atto. La velocità della luce è un invariante assoluto e, come conseguenza logica, non è valicabile da nessun oggetto materiale. Il perché dettagliato di quest’ultima affermazione, lo capiremo meglio nel prossimo capitolo. Ma un principio è una legge molto speciale, se ricordate il concetto enumerato come “A-XIII” e, una volta accettato, se ne possono trarre deduzioni non banali. Il problema è accettarlo, e Einstein lo fece a scorno dei suoi detrattori, ricavandone per l’appunto conseguenze importantissime. Se, dunque, ingoiamo il nuovo rospo, e fondiamo quanto segue su questo principio derivato dagli esperimenti, possiamo saltare un sacco di matematica e arrivare alle inferenze logiche veramente interessanti. Attenzione, però, perché, sebbene queste inferenze siano del tutto logiche, non sono facilmente accettabili dall’intuito, il quale non riesce a costruirsi un modello mentale semplice. Leggiamo dunque con pazienza il prossimo paragrafo, magari due o tre volte.

14.3. Primo impatto con lo spaziotempo

Una velocità è, notoriamente, il rapporto tra la distanza (lo spazio) percorsa da un oggetto e il tempo impiegato dall’oggetto stesso a percorrerla; concordiamo su questo concetto abbastanza banale. Lo impieghiamo senza neanche rendercene conto quando siamo in viaggio, per fare i conti su quando arriveremo. Se, dunque, incontriamo difficoltà di qualche genere con le velocità, come succede con la somma d’una velocità qualsiasi e c , debbono esserci problemi col nostro modo d’intendere lo spazio o il tempo. Più probabilmente, con tutti e due. Così avviene, e ciò non può fare a meno d’infastidirci, ma è solo un altro degli esempi di come la natura ignori bellamente i vincoli dell’intelletto umano. La realtà o, per meglio dire, il modello intuitivo che ce ne possiamo costruire si descrive come segue: lo spazio e il tempo non sono più due qualità del tutto separate tra loro, da pensare, o addirittura misurare, ciascuna per conto proprio, indipendentemente dall’altra, ma dobbiamo cominciare a immaginarli come due facce di una sola medaglia la quale, nel suo insieme, prende il nome di “*spaziotempo*”.

Fin qui, forse, non ci sarebbe ancora nulla da noi percepito come inaccettabile, se non fosse per la banale considerazione secondo cui, quando utilizziamo due paia di pinze per piegare una medaglia riproponendoci di deformarne una faccia (magari ci sta antipatico il tizio raffigurato), molto difficilmente riusciremo a non deformare anche l'altra faccia. E cioè, non possiamo più lavorare separatamente sullo spazio e sul tempo: appena tocchiamo l'uno, viene per ciò stesso toccato anche l'altro. Il resto di questo capitolo dovrebbe aiutarci a mandar giù il concetto.

Come appare, a noi, lo spaziotempo? Non certo come un oggetto unico. La percezione umana è tale, per cui ci pare di osservare o una faccia della medaglia o l'altra, e proviamo la sensazione di trovarci di fronte a due oggetti in senso lato del tutto scorrelati tra loro, come già abbiamo detto all'inizio del capitolo. Lo spazio e il tempo, infatti, mostrano a noi umani qualità diverse. Ci sentiamo, in qualche modo, immersi sia nello spazio, sia nel tempo ma, se nello spazio possiamo muoverci in qualsiasi direzione e, volendo, ci è pure consentito restare fermi o tornare sui nostri passi, per quanto riguarda il tempo la situazione è diversa. Nel tempo, ci sentiamo tutti trascinati, e quindi in movimento (in senso lato), nella stessa direzione, dal passato verso il futuro. In più, usando un termine improprio, percepiamo una velocità di trascinamento nel tempo uguale per chiunque. È vero: al trascorrere degli anni noi mettiamo i capelli bianchi (o biondi) ma, per i nostri amici, le cose non sembrano andare meglio, pur se ci sembra di trovarli più invecchiati di noi quando è tanto tempo che non li vediamo.

Volendo fare un salto di comprensione, dobbiamo cambiare paradigma, per quanto ciò possa costarci in termini di esperienza sensibile. Ma la MQ ci ha abituati a queste apparenti stranezze del mondo fisico, e ad accettare l'idea secondo cui, in verità, dal punto di vista di madre natura è il nostro modo di pensare tradizionale a essere campato per aria, e del tutto arbitrario.

Ricominciamo, perciò, con l'immaginare un nuovo esperimento senza automobili o elettroni. Ci troviamo in poltrona (ecco: per lo meno questo *gedankenexperiment* è comodo), seduti dietro la scrivania, sul piano della quale, alla nostra destra, si trova una lampada tascabile spenta. Ora l'accendiamo e, nello stesso istante, compiamo le due seguenti azioni: facciamo scattare un cronometro e cominciamo a spostare la lampada verso sinistra. Coordiniamo perfettamente le azioni in modo tale per cui, quando il cronometro segna dieci secondi esatti, la lampada deve trovarsi a un metro di distanza preciso rispetto a dove si trovava all'inizio. Non è difficile ottenere questo risultato, perché nessuno c'impone di spostare la lampada a velocità costante. Allo scoccare del decimo secondo, poi, spegniamo la lampada

e fermiamo tutto. Misure molto precise di spazio e tempo, mi raccomando! Si tratta di un esperimento di nessuna difficoltà concettuale il quale fornirà – ovviamente – i seguenti risultati: la distanza spaziale tra il luogo di accensione e di spegnimento della lampada è pari a un metro, mentre la distanza temporale tra l'accensione e lo spegnimento è dieci secondi.

Adesso, però, ripetiamo l'esperimento con l'aiuto di un amico il quale, al contrario di noi, sta camminando nella stanza a passetti lenti, regolari per quanto gli riesce. Se siamo pronti, possiamo cominciare. L'amico entra dalla porta nell'istante in cui accendiamo la lampada, e fa scattare anche lui il proprio cronometro. Seguita a camminare pian pianino mentre spostiamo la lampada e, nell'istante in cui la spegniamo e fermiamo il cronometro, pure lui ferma il suo. Dopodiché, misura di quanto abbiamo spostato la lampada sulla scrivania. Attenzione, però: tutte le operazioni dell'amico, incluse queste ultime misure, debbono essere compiute seguendo a muoversi rispetto a noi e, come ho già raccomandato, procedendo sempre alla medesima velocità, senza fermarsi neanche dopo il termine dell'esperimento. Ci si chiede a questo punto: anche il cronometro dell'amico segnerà dieci secondi esatti? E quale distanza misurerà lui, tra il punto d'accensione e quello di spegnimento della lampada? Un metro preciso? Per quanto ciò possa urtare la nostra intuizione, la risposta a entrambe le domande è negativa. Il comportamento della natura è tale, per cui le misure di distanze e di tempi eseguite da due sperimentatori in moto l'uno rispetto all'altro (rammento: noi eravamo fermi dietro la scrivania, mentre l'amico si spostava nei confronti del piano su cui accendevamo, spostavamo e spegnevamo la lampada) forniscono risultati diversi.

Calma, ci tornerò tra poco. Per il momento, sconsiglio chiunque dal mettere in pratica l'esperimento appena descritto. Infatti, molto probabilmente, tra l'amico e lo sperimentatore ci sarebbe disaccordo su distanze e tempi, ma essenzialmente a causa di errori di misura, e diverse velocità nei riflessi quando si pigia il pulsante del cronometro. D'altra parte, se la natura fosse strutturata in modo tale da esibire chiaramente differenze del genere nel quotidiano, il nostro cervello si sarebbe evoluto tenendo conto di tali percezioni, e la RS ci sembrerebbe ovvia e intuitiva. In analogia con la MQ, la quale comincia a emergere solo quando trattiamo oggetti sub-microscopici e assolutamente invisibili a occhio nudo, il mondo relativistico è evanescente, finché non ci avviciniamo alla velocità della luce, per cui è inutile sperare di evidenziarlo mentre si traffica con le cose di ogni giorno. Però esiste, e vediamo come.

Seguendo l'uso in fisica, definiamo il termine "evento" in modo specifico, come "qualcosa che avviene in un certo punto dello spazio e in un certo istan-

te". Dunque, la determinazione completa della collocazione spaziotemporale di un evento richiederà quattro numeri: tre coordinate geometriche per definire il punto nello spazio a tre dimensioni in cui l'evento si verifica, e una coordinata temporale per posizionarlo nel tempo. Lo stesso tipo di coordinate fornite quando si dà appuntamento a qualcuno: non basta dire dove ci si vedrà, ma bisogna pure dire quando. In quest'ottica, definiremo perciò l'accensione della lampada tascabile come l'evento *A*, e il suo spegnimento là e tra un po' come l'evento *B*, ciascuno dei due eventi essendo specificato da quattro coordinate secondo quanto abbiamo appena discusso. Se poi qualcuno ci chiedesse qual è la distanza in senso lato tra i due eventi *A* e *B*, istintivamente saremmo tentati di misurare la differenza tra le coordinate spaziali, la differenza tra quelle temporali, e rispondere: «I due eventi sono separati da un metro nello spazio, e da dieci secondi nel tempo» (il nostro amico darebbe valori diversi). Bene: dal punto di vista relativistico, questa sarebbe una risposta sbagliata a una domanda sbagliata. Infatti, nella domanda si dovrebbe sottintendere: «Qual è la distanza *spaziotemporale* tra gli eventi *A* e *B*?».

14.4. Pitagora rivisitato

Seguiamo bene il discorso: un passo importante della RS consiste proprio nella definizione di intervallo spaziotemporale tra due eventi, espresso da un numero solo, comprendente sia la distanza spaziale, sia quella temporale, e non da due numeri (e cioè un intervallo per lo spazio e uno per il tempo). Se il lettore sta intuendo dove vado a parare, il suo dubbio ovvio dovrebbe essere: «Come si fa a mettere assieme in un numero solo misure di spazio e tempo? Non è come sommare pere e mele, patate e carote?». Ecco: è una domanda giusta, ma c'è un trucco. Per giungere a questo notevole risultato, Einstein notò come, avendo assunto c in quanto costante assoluta della natura dal punto di vista di chiunque, non importa quale sia la velocità del misuratore, un tempo può essere reso omogeneo a uno spazio (una mela trasformata in pera) moltiplicandolo proprio per c . Infatti, il prodotto di una velocità per un tempo fornisce una distanza; quanti chilometri si percorrono viaggiando a 100 km/h per un'ora? Attenzione a questo punto, però: per ottenere la misura assoluta di spaziotempo-equivalente-a-un-tempo, non basta moltiplicare il tempo per una qualsiasi velocità. Si ottiene qualcosa di sensato solo introducendo, nelle misure eseguite da ciascuno sperimentatore, qualcosa di invariante rispetto a ogni sperimentatore, proprio come c . In altri termini, nel calcolo dell'*in-*

tervallo bisogna sommare: 1) la vera e propria distanza spaziale tra *A* e *B*, e 2) la distanza percorsa da un qualsiasi raggio di luce mentre spostiamo l'oggetto da *A* a *B*.

Quest'ultimo concetto ci confonde: se abbiamo spostato la lampada tascabile di un metro in dieci secondi, dobbiamo forse sommare un metro a tre milioni di chilometri, e cioè, appunto, la distanza percorsa dalla luce durante i dieci secondi? Sì, esatto. Anzi: bisogna farlo elevando al quadrato tutte le distanze in senso lato, e prendendo poi la radice quadrata della loro somma, come vedremo nel prossimo paragrafo. E questo ci aiuta a intuire quanto poco sia significativo, dal nostro punto di vista, un intervallo spaziotemporale definito in questo modo, finché le velocità degli oggetti considerati non cominciano ad avvicinarsi a c . Per noi, una distanza di un metro è ragionevolmente raffrontabile a una distanza temporale di qualche secondo o, se viaggiamo ad alta velocità su un aereo, a qualche centesimo di secondo; per la scala di velocità assoluta della natura, fondata su c , un metro è ragionevolmente raffrontabile a un trecentomillesimo di secondo. Nessuna meraviglia se, nella nostra normale esperienza umana a bassa velocità, spazio e tempo appaiono diversi. Solo a $v \approx c$ potremmo cominciare ad accorgerci della loro somiglianza in senso lato.

Procediamo. Dopo essere riuscito a ricondurre le misure di tempo a quelle di distanza, Einstein definì finalmente l'intervallo spaziotemporale tra due eventi. Scrivo di seguito la formula matematica dell'intervallo nella RS, ma non pretendo, da parte del lettore, di digerirla del tutto. Se dunque chiamo dx , dy e dz le componenti della distanza spaziale tra gli eventi *A* e *B* lungo i tre assi coordinati x , y e z , che scandiscono il normale spazio a tre dimensioni in cui ci muoviamo, e chiamo invece dt la distanza temporale tra il primo e il secondo evento, questa nuova quantità definita intervallo spaziotemporale ds tra *A* e *B*, la devo calcolare come segue: $ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2 + (icdt)^2$.

Il lettore riconoscerà nella formula precedente un banalissimo teorema di Pitagora a quattro dimensioni, in cui ds ha il significato di ipotenuusa molto in generale, dx ecc. sono cateti, pure loro intesi in senso lato, e il tempo compare nella definizione del quarto cateto, più o meno come se fosse una quarta dimensione spaziale. Badate, ho detto: compare "più o meno" come quarta dimensione, non che "sia" la quarta dimensione spaziale e basta. Infatti, se ci facciamo caso, non è il valore numerico di $icdt$ (comunque una distanza) a essere elevato al quadrato, come ci aspetteremmo in un'estensione quadridimensionale del più noto teorema della geometria euclidea, ma dobbiamo elevare al quadrato il prodotto tra i

(l'unità immaginaria, e cioè la radice quadrata di -1), c (sempre la velocità della luce) e dt . In quest'ottica, dunque, non è appropriato assimilare il tempo misurato da un cronometro, sia pure dopo averlo moltiplicato per c , a una dimensione spaziale in senso stretto; se proprio volessimo mantenere l'analogia, dovremmo piuttosto dire: " ict è una dimensione spaziale", ma quest'affermazione, dal punto di vista intuitivo, non ci porta molto lontano. Se, infatti, il prodotto ct è una distanza spaziale pura e semplice, proprio come lo è dx , nessuno riesce a farsi un'idea intuitiva di cosa diavolo possa essere una distanza moltiplicata per un numero immaginario.

Come curiosità per il lettore, gli racconto della mia abitudine a figurarmi in modo vago, a chiacchiere, il tempo immaginario come perpendicolare allo spazio tridimensionale, ma, per essere onesti, la mia è un'affermazione di tipo matematico, non intuitivo. Ci si arriva grazie a una particolare rappresentazione geometrica, molto comune, dei numeri immaginari, in cui si traccia su un foglio di carta la retta dei numeri reali. Una semplice retta, e quindi un oggetto geometrico a una sola dimensione, ma, con un ardito sforzo d'ingegno, potremmo pensarla come l'insieme di tutte e tre le dimensioni spaziali. Dopodiché, si traccia pure una seconda retta perpendicolare alla prima, associata ai numeri immaginari, e quindi al tempo, componendo così il cosiddetto "*piano complesso*". Debbo insistere su questo: sebbene abbia parlato in termini figurativi, la mia è un'astrazione matematica, e non un modello mentale. Ma provi il lettore a far meglio di così, se gli riesce: ne dubito fortemente, e non perché io non abbia stima del suo intelletto. Se la rappresentazione intuitiva non fosse complicata, Einstein non avrebbe tanti nemici.

La RS associa dunque il concetto di intervallo spaziotemporale a questa commistione di spazio e tempo. Ricordate, perciò: quando utilizzerò solo il termine intervallo, sia stato evidenziato in corsivo o meno, mi riferirò sempre all'intervallo spaziotemporale, quello a quattro dimensioni, relativo sia alla distanza spaziale, sia a quella temporale messe insieme.

14.5. Relativismo o assolutismo?

Adesso vediamo il motivo fisico, sperimentale, per cui è giocoforza arrivare a questo rimescolamento tra mele e pere, patate e carote, spazio e tempo. Torniamo al giochino con la lampada tascabile, l'amico, i cronometri, eccetera. Secondo la RS, ci saranno differenze tra le nostre misure di distanza e di tempo, e quelle eseguite dall'amico, a causa della veloci-

tà relativa (noi stavamo fermi rispetto alla scrivania, lui no), e tali differenze saranno tanto maggiori quanto più elevata è la velocità. Ma la RS dice pure un'altra cosa molto interessante. Per quanto siano diverse le misure separate di spazio e tempo tra i due eventi *A* e *B* (gli stessi eventi, intendiamoci), eseguite da due qualsiasi sperimentatori in moto reciproco, se ciascuno dei due calcolerà l'intervallo *ds* tra i due eventi in base alle proprie misure, il risultato finale sarà lo stesso per entrambi.

Da numerose pagine tengo il lettore sulla corda: si starà chiedendo cosa significhi tutto ciò, e quale relazione possa esistere tra un'eventuale violazione del principio di causalità (l'argomento introdotto all'inizio del capitolo) e l'invarianza della velocità della luce. Pazienza ancora un po', ci sto arrivando o, per lo meno, sto per arrivare a un qualche genere di nesso più o meno intuitivo. Per il momento, dovremmo almeno aver capito perché la teoria di Einstein sia stata definita "della relatività". Il motivo si trova proprio nel fatto che le misure di distanza e tempo non sono assolute come nella fisica galileiana e newtoniana, ma dipendono dalla velocità dell'osservatore rispetto agli oggetti sui quali egli esegue misurazioni. Ma c'è di più. In queste condizioni, chiunque sarebbe tentato di domandarsi «Chi, tra i vari osservatori, ha ragione?» e probabilmente concluderebbe: «Le misure vere sono quelle di chi è in quiete, e cioè non si muove nei confronti degli eventi». Nel caso visto prima, le nostre misure sulla scrivania sarebbero vere, quelle dell'amico, invece, false. No, sarebbe falsa questa conclusione. Alla base della relatività c'è proprio l'idea secondo cui tutte le misure sono vere. Noi, presentando i nostri risultati, abbiamo ragione, ma anche l'amico ha ragione per quanto riguarda i propri risultati. Sono invece lo spazio e il tempo in sé a presentare una specie di plasticità, per cui si contraggono, si dilatano, si manifestano in modo diverso a osservatori in moto a diverse velocità. Per l'amico, il suo tempo è veramente trascorso in modo differente rispetto al nostro, e quindi è giusto se il suo cronometro segna qualcosa di diverso da dieci secondi. Qualora il lettore preferisse non credere a quanto sto affermando, gli raccomando di iscriversi al Circolo dei Nemici di Einstein: sarà in compagnia numerosa, se non propriamente buona. Non incontrerà molti fisici, però. E non è detto sia un male...

Insisto sul concetto: spazio e tempo, anziché essere assoluti come a noi sembra a priori, sono flessibili e – scusate la frase, ma è molto usata – «un po' di tempo può trasformarsi in un po' di spazio, e viceversa». Dunque: relatività, poiché i risultati di misure separate di spazi e tempi sono relative alla velocità di chi le esegue, e non esiste nessun misuratore che possa definirsi assoluto. Galileo lo aveva già affermato per le misure spaziali; bisognò arrivare a Einstein per rendersi conto di come ciò valesse pure

per le misure temporali. Chi è fermo, lo è rispetto a qualcosa e non a qualcos'altro. Mentre siamo fermi in poltrona a leggere queste righe, ci muoviamo con la Terra attorno al Sole a 30 km/s, e col Sole a circa 250 km/s rispetto al centro della nostra galassia.

Qui è obbligatoria una breve digressione. Il XX secolo nascente s'entusiasmò venendo a sapere un'audace novità: la scienza ha dimostrato che tutto è relativo. In verità, lo stesso Einstein dichiarò ai suoi biografi qualcosa di diverso: lui avrebbe scelto, per la RS, un nome che esaltasse il concetto di invarianza, poiché la struttura filosofica della teoria poggia su invarianti o assoluti quali la velocità della luce e la misura di spaziotempo. Ma, chiaramente, i tempi erano propizi a enfatizzare più l'aspetto relativo al posto di quello assoluto, perché tale era il paradigma in campo sociale, politico, etico e così via. Specialmente dopo la fine della Grande guerra, i mezzi di comunicazione s'impadronirono della denominazione della Teoria senza occuparsi del suo reale significato fisico, e ne inferirono importanti conseguenze scientifiche. Non essendo solo le opinioni e i gusti a essere relativi, ma anche le misure separate di spazio e tempo, se ne poteva dedurre: ogni cosa al mondo è relativa. La Scienza, cui fu riconosciuta la maiuscola per l'occasione, aveva finalmente confermato in modo matematico e preciso quest'intuizione di Protagora. Curiosamente, l'idea di cui sopra, per quanto esoterica dal punto di vista strettamente fisico, circola ancora. Come al solito, non è mio intento appoggiarla o confutarla; lascio la scelta alle inclinazioni personali del lettore. È però giusto e necessario notare esplicitamente quanto sia scorretto tirare in ballo la scienza in un contesto del genere, poiché la stessa Relatività potrebbe essere utilizzata, in un paradigma sociale diverso, per giustificare con altrettanta forza cogente l'*assolutismo* (quello politico di un governante? Oppure quello etico? Non lo so; probabilmente entrambi) in contrapposizione al relativismo. La digressione è finita; dobbiamo riprendere il discorso dall'elettrone, mentre si precipita verso il fotone.

Ricordo come, restando fermi rispetto al laboratorio in cui abbiamo eseguito le due misure di velocità, abbiamo trovato rispettivamente 300.000 km/s per il fotone e 100.000 km/s per l'elettrone. Però, nel momento in cui siamo saltati in groppa all'elettrone, abbiamo modificato il nostro stato di moto. Ora, infatti, il misuratore di velocità imbullonato sul dorso dell'elettrone (ammesso che quest'ultimo abbia un dorso, e la MQ dice di no...) è ovviamente fermo rispetto a noi, mentre il laboratorio da cui avevamo eseguito le prime misure apparirà scorrere, sempre rispetto a noi, alla bellezza di 100.000 km/s. Se abbiamo digerito un po' il concetto fondamentale della RS, dovremo concludere che, correndo assieme al-

l'elettrone, eventuali nostre misure di distanze e tempi riferite a coppie di eventi consecutivi forniranno intervalli spaziali e temporali differenti, se presi separatamente, rispetto a quelli ottenibili da chi esegue le misure stando fermo in laboratorio. Per fortuna, Einstein ci ha pure insegnato come comporre spazi e tempi in modo tale da ottenere lo stesso valore per l'intervallo spaziotemporale tra le stesse coppie di eventi, qualunque sia il nostro stato di moto. Il ds finale è uguale, sia per chi resta immobile rispetto al laboratorio, sia per chi si muove assieme all'elettrone, ma i $dx... dt$ saranno diversi; solo la loro composizione per mezzo del teorema di Pitagora a quattro dimensioni fornirà un identico intervallo a quattro dimensioni in entrambi i casi. Relatività o assolutismo?

Qui è la chiave per accettare, anche se non capire in senso stretto, il motivo per cui le somme di velocità non riescono mai a superare c . Siccome le velocità sono rapporti tra spazi percorsi e tempi impiegati a percorrerli, e né gli spazi né i tempi sono assoluti se presi da soli, neppure le velocità potranno essere assolute ma, a seconda di come ci muoviamo, le misureremo in modo differente. Perciò, dall'istante in cui balziamo a bordo dell'elettrone, sperimentiamo una velocità di avvicinamento del fotone diversa dalla somma di velocità dedotta allorché eravamo fermi in laboratorio. Siamo arrivati a intuire, seppur da lontano, cosa succede? Perché, se ancora non ci siamo, bisogna aver pazienza e rileggere tutto il capitolo dall'inizio o quasi. A beneficio del lettore, aggiungerò quanto segue: le formule che permettono di passare dalle misure eseguite in laboratorio a quelle eseguite a bordo dell'elettrone erano state già individuate, in seguito a un percorso mentale tortuosissimo, dal fisico olandese Heindrik Lorentz, una decina d'anni prima della loro adozione all'interno della RS da parte di Einstein. Il povero Lorentz, però, una volta scritte le formule, si era chiesto: «E queste, cosa significano?», poiché era convinto della loro giustezza, concordando esse coi risultati sperimentali, ma non aveva eseguito il salto di paradigma, dallo spazio e tempo assoluti di Newton allo spaziotempo di Einstein. Quando il giovane impiegato dell'Ufficio brevetti di Berna le spiegò, Lorentz comprese e accettò il significato di quelle espressioni matematiche; prima, non c'era riuscito, sebbene le avesse trovate proprio lui.

14.6. Il Circolo dei Nemici di Einstein

Tornando alla costanza di c per qualsiasi osservatore, e ripetendo fino alla nausea, non dovrebbe sembrarci più strano se le somme di velocità

forniscono risultati diversi a seconda delle condizioni di moto di chi le esegue. Sappiamo cos'è una velocità di un certo oggetto: il numero di chilometri percorsi in un secondo. Ma i risultati delle misure dei chilometri, e anche dei secondi, da parte di osservatori in moto relativo tra loro sono differenti. Per cui, le somme di velocità prese dal laboratorio danno un risultato diverso da quelle prese stando a bordo dell'elettrone e, alla fine, non è più un paradosso se $v + c = c$ per qualsiasi valore di v (badate: persino $c + c = c$, come se la velocità della luce possedesse alcune delle caratteristiche associate all'infinito, come abbiamo intravisto in un capitolo precedente sulla matematica). Ma riflettiamoci ancora: a parte la plasticità dello spazio, la meno digeribile per l'intuizione è di sicuro la plasticità del tempo. L'esito delle misure, infatti, è tale per cui, sincronizzando due cronometri identici e mettendone uno a bordo dell'elettrone, mentre l'altro resta fermo rispetto al laboratorio, finché siamo fermi pure noi rispetto al laboratorio, ci sembrerà che il cronometro sull'elettrone rallenti. Forse la velocità eccessiva disturba il cronometro sull'elettrone? Oppure il tempo rallenta davvero per chi viaggia a gran velocità? La RS ci assicura: la risposta corretta è la seconda, e gli esperimenti non lasciano dubbi in proposito.

Benissimo! Abbiamo scoperto il modo di rallentare il nostro invecchiamento: basta viaggiare a gran velocità. Magari fosse vero! Sì, certo, più ci avviciniamo alla velocità della luce, più lentamente invecchiamo, ma non nel senso da noi sperato. Infatti, ripetendo l'esperimento secondo la modalità alternativa, e cioè cavalcando l'elettrone, il nostro cronometro ci sembrerà perfettamente normale e in linea con i nostri consueti ritmi biologici, mentre vedremo rallentare quello fermo in laboratorio! E non me la sento di entrare in dettagli maggiori (il famigerato *paradosso dei gemelli* e simili), ma debbo rinviare una volta ancora il lettore a testi più specifici consigliati in bibliografia. Infatti, quanto desidero fargli capire in questo libro non riguarda i dettagli della RS o della RG, ma solo il concetto di plasticità dello spazio e del tempo. Vale a dire: queste due qualità della natura, in base a dati di fatto incontrovertibili, e non per ipotesi cervelotiche, non sono affatto assolute come a noi sembrerebbe intuitivamente, ma relative secondo la velocità dell'osservatore da cui sono misurate. Invito, dunque, il lettore a inghiottire ormai anche questo rospo (altrimenti c'è sempre, per lui, il famoso Circolo dei Nemici di Einstein), e gli consiglio una pausa di riflessione. Tutto sommato, almeno finora, non abbiamo incontrato problemi con l'ordinamento temporale di cause ed effetti tali da mettere in forse il principio di causalità. Per questo, ci vedremo al prossimo capitolo, dopo aver riassunto quanto abbiamo appreso.

14.7. Ricapitolando

A-XIV) Spazio e tempo non esistono separatamente, ma sono aspetti diversi di un'unica realtà, cui si assegna il nome di *spaziotempo*.

B-XIV) Solo le misure di intervalli spaziotemporali sono assolute.

C-XIV) Nella definizione di intervallo spaziotemporale il tempo è moltiplicato per l'unità immaginaria.

Ne conseguono altri limiti dell'intelletto umano al tentativo di raffigurarci in modo intuitivo cosa accada veramente in natura, e come funzioni il mondo. Limiti che nei capitoli precedenti non avevamo ancora incontrato, ed emergono solo con la Relatività.

14-XIV) La nostra percezione istintiva di spazio e tempo come assoluti è errata. I sensi e l'intuizione c'ingannano.

15-XIV) Non siamo in grado di raffigurarci mentalmente il tempo immaginario in quanto perpendicolare alle tre coordinate usuali del normale spazio geometrico. Ma, per costruire la fisica, ci dobbiamo lavorare lo stesso!

15. PASSATO, PRESENTE, FUTURO E ALTROVE

15.1. Il solo nome intimidisce

In questo capitolo, approfondiremo il discorso sulla sequenza temporale degli eventi, così come sono stati definiti poche pagine fa (avvenimenti contraddistinti dalle tre coordinate, specificanti la posizione spaziale, e dalla coordinata tempo) servendoci del celebrato diagramma spaziotemporale di Minkowski. E non cominciamo subito a dire che già la prima frase suona intimidatoria. Il povero Minkowski, per quanti lo conoscevano, era solo un professore un po' troppo pignolo, e ce l'aveva con lo studente Einstein perché lo considerava un pelandrone (diceva: «Un cane pigro»). Dal suo punto di vista, aveva pure ragione, perché Einstein stava sempre con la testa tra le nuvole. Appena venne a conoscenza della teoria della RS, quella del 1905, Minkowski recitò comunque un *mea culpa*, e ne divenne uno dei più ardenti sostenitori e interpreti, inventando la rappresentazione grafica, oggetto di questo capitolo.

Capitolo che sarà davvero un po' più pesante degli altri. Nulla di trascendentale; serviranno solo pazienza e buona volontà. Più carta e matita. Se qualche lettore sentisse di non farcela proprio, non si scoraggi: salti subito alle conclusioni. Quelle non presentano grossi problemi o, in alternativa, possono essere accettate e basta, e le utilizzeremo per costruire quanto verrà poi: il contenuto del capitolo serve a spiegare scientificamente come si giunge a quelle conclusioni, ma, se il lettore si fida, può risparmiarsi la parte più dura, anche se si tratta di qualcosa d'interessante sotto il profilo intellettuale.

Una conseguenza non intuitiva, ma inevitabile, della plasticità dello spaziotempo vista nel precedente capitolo è la seguente: per ogni dato osservatore (e cioè per ogni insieme di luogo, tempo e velocità di osservazione), il tempo non si divide più tra *passato*, *presente*, *futuro* e basta. Molti filosofi, e alcuni letterati, già per loro conto negano l'esistenza di due categorie temporali su tre, poiché esiste solo il presente. Come di consueto, non sono interessato a discutere un'asserzione del genere, anche perché il

lettore ha capito benissimo cosa intendo: dal mio punto di vista, e immagino ciò valga anche dal suo, gli eventi possono appartenere al passato o al futuro, con l'ovvia eccezione di quelli aventi luogo adesso, in questo momento. Ebbene, la relatività spiega come dobbiamo modificare il nostro punto di vista, con l'aggiunta di una quarta collocazione temporale, definita generalmente "altrove". Non è un concetto esoterico, ma rigorosamente scientifico. Devo spiegarmi meglio con una figura, nel consueto piano cartesiano: proprio il diagramma di Minkowski (fig. 2).

Per semplicità estrema, supponiamo di trovarci in un mondo a una so-

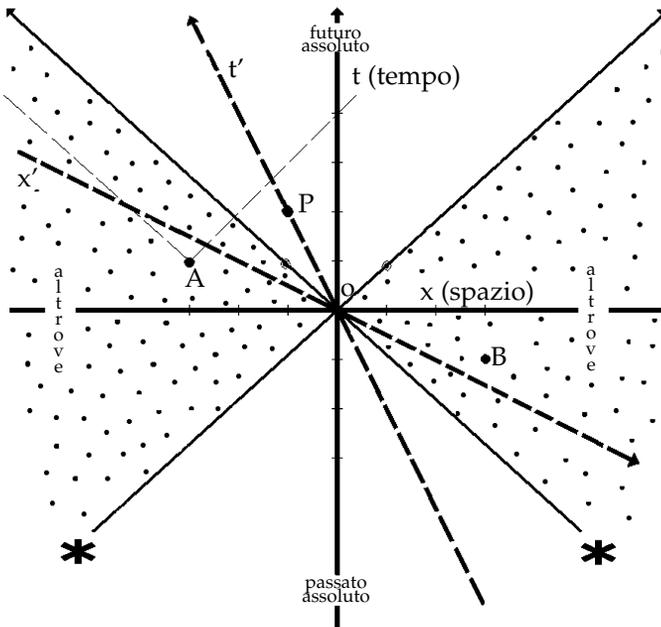


Figura 2

la dimensione spaziale, rappresentata dalla retta orizzontale (asse delle *ascisse*), in cui gli oggetti siano puntiformi, e si possano muovere solo verso destra o verso sinistra, e non in altre direzioni. La retta orizzontale, dunque, rappresenta lo spazio: tutto un universo di spazio, da distanza infinita col segno negativo a sinistra, a distanza infinita positiva a destra. La retta verticale è invece l'asse del tempo (le *ordinate*), da un'infinità di tempo fa, giù in basso, a quanto avverrà nei secoli dei secoli, su in alto. E da questo momento in poi, sarebbe meglio se il lettore leggesse il testo avendo sotto mano la figura, magari copiandosela su un foglio, per po-

tersi orientare sempre.

Imponiamo a questo universo due unità di misura, concepite come segue: un centimetro sulla retta verticale corrisponde al passaggio di un secondo di tempo; sulla retta orizzontale, un centimetro è invece lo spazio percorso dalla luce in un secondo, e cioè 300.000 km. Questo modo di suddividere l'asse dello spazio è un po' estraneo alle nostre abitudini e mentalità, come già rilevato nel capitolo precedente: se l'unità di tempo è un secondo, l'unità di spazio più adeguata potrebbe essere un centimetro o tutt'al più un metro, no? Ma abbiamo superato questo problema concettuale parlando di intervallo spaziotemporale, e utilizzando una scelta già eseguita dalla natura. Infatti, se la velocità della luce è la stessa per ogni osservatore, indipendentemente dalle sue condizioni di moto, la relazione tra un secondo e 300.000 km è scritta nel libro dell'universo, e tanto vale usarla, specie perché semplificherà la discussione seguente.

Partiamo dal punto di origine degli assi, quello in cui s'incontrano (spesso definito **O** da "Origine"), e identifichiamolo come la nostra posizione spaziale e temporale all'inizio di ogni futuro ragionamento. La nostra coordinata x sarà quindi zero, e sarà zero anche il tempo, ovvero: facciamo scattare un cronometro proprio nell'istante in cui cominciamo a compiere l'esperimento di seguito ipotizzato. Immaginiamo di accendere una lampadina, i cui raggi di luce si propagheranno verso destra e verso sinistra. Come abbiamo capito, in questo universo unidimensionale, destra e sinistra sono le uniche direzioni spaziali permesse, anzi: esistenti. In qual modo rappresenteremo sul foglio di carta il procedere di questi due raggi? Semplice: dopo un secondo entrambi avranno percorso 300.000 km in direzioni opposte. Segniamo una tacchetta a un centimetro sopra **O** sull'asse verticale del tempo, e cioè a un secondo dall'inizio dell'esperimento, mentre su quello orizzontale, dello spazio, segneremo due tacchette sempre a un centimetro, vale a dire 300.000 km nella scala scelta, una a destra e una a sinistra di **O**.

Ma è proprio necessario tutto questo lavoro? Sì, sì, fidatevi, abbiate pazienza, non è complicato quanto sembra e qualcosa ne verrà fuori. Marchiamo ora con due cerchietti sul diagramma i due punti "un secondo - 300.000 km a destra" e "un secondo - 300.000 km a sinistra". Fatto? Come ultima operazione, disegniamo due semirette passanti per **O** e per i due cerchietti indicanti le posizioni dei due raggi di luce dopo un secondo. Queste semirette verranno fuori perpendicolari tra loro, e inclinate ciascuna di 45° rispetto ai due assi spaziale e temporale. Tracciamole a tratto pieno, anzi piuttosto spesso, poiché sono importanti per quanto seguirà.

Ora abbiamo il diagramma; interpretiamolo, ricordando sempre: il *qui e ora* corrisponde al punto **O**. Per prima cosa, facciamo riferimento alla

semiretta inclinata di 45° nel quadrante in alto a destra. Essa rappresenta, per come l'abbiamo costruita, il percorso nello spazio (in questo caso particolare, lungo una sola dimensione) e nel tempo di un raggio di luce partito da **O** andando verso destra. La sua *traiettoria spaziotemporale*, per applicare un concetto già appreso nel capitolo precedente. Ma la stessa semiretta può anche rappresentare la traiettoria spaziotemporale di un raggio di luce passato per **O** venendo dal basso e da sinistra. Vale a dire: il prolungamento in basso a sinistra della semiretta è sempre, fisicamente, lo stesso raggio di luce nell'ipotesi in cui, invece di accendere noi la lampadina al tempo zero, sia giunto a noi un raggio dal passato e da sinistra nello stesso momento. Il disegno acquista così una maggior generalità, e d'ora in poi lo penseremo a questo modo. Infatti, nella figura, in basso a sinistra c'è un asterisco che simboleggia la lampadina da cui parte, nel passato, questo ipotetico raggio di luce. Ma attenzione a non equivocare, e scusate se mi ripeto: la retta rappresenta il percorso della luce nello spaziotempo e non unicamente nello spazio. In quest'ultima coordinata, la luce può andare solo a destra o a sinistra; se la retta va anche verso l'alto (e può provenire dal basso), è perché tiene conto del passare del tempo, lungo l'asse verticale. Ci siamo intesi? Se sì, guardiamo allora anche l'altra retta a 45° , salente dal basso a destra (dove un nuovo asterisco simboleggia pure una lampadina) fino a **O** e poi proseguita verso l'alto a sinistra. Essa, ovviamente, rappresenta un raggio di luce transitato per **O** venendo dal passato e da destra. Allora, ricapitoliamo: le due rette inclinate a 45° sono le traiettorie spaziotemporali di due raggi di luce, provenienti dal passato e, rispettivamente, da sinistra e da destra, i quali s'incrociano nel punto **O** di coordinate $x = 0$ e $t = 0$, dopodiché proseguono (spazialmente), il primo verso destra e l'altro verso sinistra. Queste rette inclinate a 45° le chiameremo "rette-luce". Forse, pure stavolta, è meglio se il lettore si ferma qualche minuto per una rilettura di questi primi paragrafi.

15.2. Cominciamo a ripartire il tempo

Ci siamo? Bene, andiamo avanti. Cerchiamo di stabilire, in questo diagramma, dove si trovano il nostro passato, presente e futuro. Per il presente è facile: è il punto **O** – qui e ora. Siamo d'accordo? Poi, saremmo tentati di classificare come futuro tutta la parte del piano sovrastante l'asse x orizzontale, mentre il passato è tutta quella sottostante, poiché la zona superiore corrisponde a tempi maggiori dell'istante "ora" fissato come il tempo zero, e la zona di sotto corrisponde invece a tempi minori, espres-

si da numeri negativi, e quindi dovrebbe essere il passato per definizione. Errato! La risposta l'abbiamo azzeccata solo per il presente, ma non per il passato o per il futuro. Qui, infatti, entra in ballo un nuovo pilastro (già accennato nel capitolo precedente) della relatività, e stavolta dobbiamo imprimercelo nella mente a lettere di fuoco. Nulla può muoversi attraverso lo spazio a velocità maggiore di quella della luce. Lo so: il 95% della fantascienza è risucchiato via da quest'affermazione, e francamente me ne duole, ma si tratta di un altro di quei risultati scientifici inequivocabili, puri e semplici fatti, dai quali non è possibile evadere. Anzi: come abbiamo ormai intuito, non è neppure una legge, ma proprio un principio della natura, conseguenza inevitabile di quello dell'invarianza di c , definitivo oggi e, per quanto ci è lecito capire, sempre. Perché sia necessario arrivare a questa conclusione, stiamo per vederlo.

Confesso: a me piacerebbe molto se un giorno si potesse aggirare in un qualsiasi modo questo limite di velocità cosmico, onde riuscire a costruire astronavi in senso lato per raggiungere le stelle e consentire a noi, poveri umani, di viaggiare per il cosmo sistematicamente (andata e ritorno, s'intende), ma siccome non sono iscritto a un qualche Circolo dei Nemici di Einstein, affermo la mia fede scientifica nella RS. L'universo è costellato di cartelli circolari bianchi con bordo rosso, all'interno dei quali c'è scritto c . E nemmeno perché sia necessario ricordare l'esistenza di un limite di velocità: nessuna polizia galattica sorveglia con l'*astrovelox* sempre puntato, e un ghigno satanico sulla bocca. Tanto, c non si riesce a superare per quanto ci si provi.

Accettato, almeno per ora, il limite? Allora chiediamoci se tutto ciò possa comportare qualcosa nel nostro diagramma. Proviamo a segnare un punto a -3 cm lungo l'asse dello spazio, e a $+1$ cm lungo quello del tempo. Lo sapete già, ma ve lo ricordo: per lo spazio, il segno "+" corrisponde a regioni alla nostra destra, poiché noi ci troviamo in O , mentre il segno "-" indica quelle a sinistra; per il tempo, "+" è verso l'alto, mentre "-" è verso il basso. Per ora, notate bene: ho detto "*verso l'alto*" riferendomi al foglio, e non "*nel futuro*".

Se rammentiamo le unità di misura adottate, scopriamo come il punto appena disegnato, definito d'ora in poi A , indichi un evento atteso tra un secondo, e a 900.000 km di distanza da noi, verso sinistra. Siccome, finora, abbiamo sempre parlato di lampadine in accensione o spegnimento, seguiamo con la stessa tiritera: l'evento consiste nell'accendersi della solita lampadina in seguito al chiudersi di un interruttore, il quale viene attivato da una persona qualunque. Chiediamoci dunque se, trovandoci noi (per definizione) nel punto O , riusciremmo a impedire il verificarsi di

questo evento mediante una qualsiasi azione. Per esempio: siccome, quando ci troviamo in **O**, manca ancora un secondo al verificarsi dell'evento **A**, potremmo decidere di sparare alla nuca della persona agente in **A** prima che questa riesca a premere l'interruttore. Servirebbe a qualcosa? Forse a farci finire in galera, ma non a evitare l'accensione della lampadina: infatti, per percorrere in un secondo 900.000 km, il proiettile dovrebbe viaggiare a tre volte la velocità della luce, e abbiamo appena detto come ciò non sia permesso dalle leggi della natura. Perfino se inviassimo un segnale luminoso, esso sarebbe solo a un terzo del suo viaggio nel momento in cui la persona accenderà la lampadina. Nulla potrebbe viaggiare al triplo della velocità della luce, in modo da percorrere i 900.000 km di distanza tra noi e **A** in un solo secondo.

In questo senso, perciò, tutta la parte del piano in alto a sinistra contenente **A**, compresa tra l'asse dello spazio e la retta-luce, non è connessa al punto **O** da alcuna relazione di causa-effetto possibile. Nulla, partendo da **O**, può essere la causa di un evento in **A**, e analogamente se il punto lo avessimo disegnato a destra di **O**, a +900.000 km, anziché a sinistra. Prendiamo dunque la matita e punteggiamo un po' la regione di piano in cui si trova **A**, e la speculare a destra. Sono zone dello spaziotempo le quali, rispetto al punto "qui e ora" in cui ci troviamo, risultano irraggiungibili. La denominazione invalsa nella scienza per definire queste regioni dello spaziotempo è quella già anticipata nel titolo del capitolo: *altrove*.

Quali regioni del piano spaziotemporale sono invece raggiungibili da **O**? Semplice: le zone richiedenti spostamenti a velocità inferiore a quella della luce. Vale a dire, tutta la parte del piano soprastante il punto **O**, e compresa tra le due rette-luce, a destra e a sinistra. Per colpire qualsiasi evento si possa verificare in questa zona, basterebbe sparare un oggetto in direzione giusta, a velocità minore o uguale a c . Dunque, trovandoci in **O**, potremmo essere noi la causa determinante il verificarsi di quell'evento, poiché in ogni caso avremmo il tempo necessario per farlo. E intendiamoci: affermando che la zona contiene il nostro futuro, non occorre per forza causarvi tutti gli eventi; basta la possibilità teorica. Per questo motivo, definiamo questa regione il "*futuro assoluto*" relativamente al punto **O**; ripeto: è possibile istituire rapporti di causa-effetto tra l'evento **O** e qualsiasi evento in questa zona. Ricordiamo la nomenclatura, è importante.

15.3. Ma non sarebbe comunque *futuro*?

Torniamo all'accensione della lampadina in **A**. Il tempo passa, e la no-

stra posizione sul diagramma si sposta. In particolare, se decidiamo di restare fermi rispetto allo spazio, ci sposteremo solo nel tempo, lungo l'asse verticale t . Dopo un secondo, perciò, non ci troveremo più in O , ma il punto rappresentativo della nostra posizione spaziotemporale sarà sempre lungo l'asse dei tempi (nello spazio non ci siamo mossi), 1 cm sopra O . Dopo due secondi saremo 2 cm sopra, e così via. Questo dovrebbe essere semplice. Seguiamo invece i raggi di luce partenti da A . Al passare del tempo, questi si espandono a destra e a sinistra di A . Nel nostro piano, si disegnano come due semirette-luce, inclinate anche loro di 45° (rappresentano raggi di luce, no?). Tracciamole, queste semirette, come tratteggiate molto sottili parallele alle rette-luce passanti per O ma, ovviamente, traslate, perché stavolta partono da A . Notiamo bene: quattro secondi dopo O , noi saremo ancora sull'asse verticale, a 4 cm di altezza, e la semiretta-luce partita da A verso destra incrocerà la nostra nuova posizione. Cosa vuol dire ciò? Quanto segue, e fate attenzione: per la prima volta, da quando la lampadina è stata accesa in A , la sua luce arriva fino a noi. Solo quattro secondi dopo aver fatto scattare il cronometro in O , dunque, potremo sapere che la lampadina in A è stata accesa. E a quel momento, ricalcolando all'indietro il percorso dei raggi di luce della lampadina, dedurremo a posteriori la collocazione di A : l'evento ha avuto luogo tre secondi prima, a distanza di 900.000 km da noi. Infine, poiché il nostro cronometro segna quattro secondi, concluderemo che, quando ci trovavamo in O , la lampadina non era stata ancora accesa. In questo modo, quando la luce ci raggiungerà, e solo allora, ricostruendo gli eventi potremo giungere alla conclusione secondo cui, per quanto ci riguarda, l'istante corrispondente all'evento A si sarebbe trovato in un generico futuro di O , però al di fuori del futuro assoluto di O . Poiché questo concetto va ben assimilato, lo ripeto con parole un po' diverse (ma neanche troppo). Mettiamola così, solo quattro secondi dopo O noi verremo a conoscenza di un evento A verificatosi nell'altrove di O , e potremo a posteriori ricostruire la sua posizione nel tempo: per noi, A si è verificato un secondo dopo O .

«Che io sia dannato se ho capito dove vuoi andare a parare! Da mezz'ora sto tribolando sul grafico, disegnando puntini e segmenti qua e là, ma non ho ancora la minima idea del significato di questo scarabocchio. Vogliamo arrivare al dunque?».

Scusate: mentre scrivevo, s'è intromesso un lettore, un po' imbufalito per la troppa fanghiglia in cui lo sto costringendo a trascinare la coda. Ha tutta la mia comprensione umana, ma non siamo ancora arrivati al termine del discorso. Lui sta seguitando a borbottare: «Qualunque sia il momento in cui lo veniamo a sapere, l'evento A è comunque *dopo* O ! Cosa

sono tutti questi bizantinismi nel voler distinguere per forza tra futuro assoluto e generico?» Provo a incoraggiarlo. Stiamo sempre inseguendo la causalità, ed eventuali inversioni del tempo previste dalla TdR. Ma bisogna prima fare un po' di strada. Chi arriverà fino in fondo al capitolo, capirà il perché di tutti questi ghirigori sul foglio e, forse, la distinzione su cui insisto si rivelerà così sostanziale da fargli esclamare: «Caspita!». In questo momento, posso raccomandargli soltanto di fermarsi di nuovo a contemplare un po' l'apparato grafico messo su finora. Siamo in possesso di un diagramma il quale, per quanto semplificato con una sola dimensione spaziale invece di tre, consente di collocare con esattezza gli eventi nello spaziotempo sotto forma di punti ben precisi in un piano. La parte superiore del piano (in prima istanza ci potrebbe sembrare ragionevole definirla futuro e basta) si presenta, in realtà, separata in due zone diverse, a causa dell'impossibilità di superare la velocità della luce. La parte definita futuro assoluto è quella collegata a noi da un nesso causale; il resto è ancora un qualche genere di futuro, ma un po' più incerto. Si tratta di un *altrove* sul quale ci è impossibile avere influenza diretta, di cui possiamo sapere qualcosa, ricostruendo la posizione cronologica di un evento rispetto a un altro (per esempio rispetto a **O**), solo dopo il passaggio di un po' di tempo. Bisogna ammetterlo: il limite imposto dalla velocità della luce rende piuttosto diverse, sotto il profilo concettuale, le regioni definite "altrove" e "futuro assoluto"! Ma c'è di più, molto di più. Solo, per gustarselo occorre ancora pazienza...

15.4. Giochiamo pure col passato

Adesso, lascio al lettore la responsabilità di ribaltare nel passato tutto il discorso sull'accensione della lampadina. Traccia del ragionamento: la parte di passato sottostante **O**, e compresa tra le due rette-luce, è il passato assoluto, e qui troviamo ogni evento determinante nel causare **O**, poiché **O** può essere effetto di cause precedenti, aventi luogo in questa zona del piano. E, come già per il futuro, il rapporto causale non dev'esserci per forza; l'importante è che possa. Un evento al disotto dell'asse orizzontale, ma fuori della regione tra le due rette-luce, come l'evento **B**, simmetrico spazialmente e temporalmente ad **A** rispetto a **O**, si è invece verificato troppo lontano da **O** per poterlo influenzare. **B** non può in alcun modo essere tra le cause aventi **O** come effetto. Al passare del tempo, pure la luce partita da **B** ci raggiungerà lungo la retta **t** e, da un'analisi a posteriori, potremo dedurre come **B** si sia verificato nel passato di **O**, ma si tratta co-

munque di un passato generico e non assoluto, in quanto non collegabile causalmente. Siamo arrivati a intuire questa differenza? Allora, punteggiamo a matita anche la parte di altrove al di sotto della retta dello spazio. Se no, ricominciare, ricominciare (oppure saltare alle conclusioni, ma essendo arrivati fin qui vale la pena di fare uno sforzetto ulteriore).

Ricapitoliamo. Abbiamo definito non solo il presente, ma anche il passato e il futuro assoluti in termini relativistici, giungendo a una conclusione un po' estranea alla nostra mentalità. In conseguenza della limitazione in base a cui nessun oggetto o segnale fisico viaggiante attraverso lo spazio può superare c , e del vincolo causale conseguente, passato e futuro causali non si estendono per tutto il piano spaziotemporale, ma solo per una parte di esso. E, per la stessa limitazione, metà del piano spaziotemporale in cui possono verificarsi gli eventi sembra appartenere a un futuro o a un passato un po' incerti, fuori da ogni possibile connessione causale con il presente. Ricordiamo la nomenclatura: secondo la notazione relativistica, quest'ultima parte del piano, a destra e a sinistra, viene definita altrove, in quanto logicamente e fisicamente distinta da presente, passato e futuro. D'ora in poi useremo sempre questa terminologia: passato e futuro sono solo quelli assoluti, poiché il rimanente si chiama "altrove".

Lo so benissimo: può sembrare una questione di lana caprina. In fin dei conti, tutte le distinzioni presentate finora si riferiscono alla possibilità o meno che due eventi siano in rapporto causale, ma lo stesso lettore di prima continua a obiettare: «Perché ti ostini a voler definire *altrove* la zona in cui avviene **A**? Lo sai pure tu, e prima o poi lo scoprirai comunque: **A** si è verificato nel futuro di **O**. Non ti basterebbe quanto hai fatto finora, e cioè distinguere semplicemente tra futuro generico e futuro assoluto, poiché solo in quest'ultimo vale il nesso causale, ma anche l'altro è sempre e comunque un qualche tipo di futuro? Quale senso può avere insistere con questo vocabolo un po' ambiguo: *altrove*?». Obiezione respinta. E vedremo perché.

15.5. Ci serve un amico velocissimo

Infatti, stiamo faticosamente avvicinandoci all'approdo, pur tra tanti scogli. Sappiamo come le misure separate di spazio e di tempo siano relative alla velocità dell'osservatore. Chiediamo dunque al nostro amico, quello con cui nel capitolo precedente abbiamo compiuto l'esperimento di cronometrare l'accensione e lo spegnimento della torcia elettrica sulla

scrivania, di aiutarci nell'altro esperimento di seguito descritto.

L'amico si avvicina a noi provenendo da destra, ma stavolta a velocità enorme: metà di quella della luce. Abbiamo organizzato le cose in modo tale, per cui passa accanto a noi proprio mentre il nostro cronometro, e anche il suo, segnano tempo zero (vale a dire semplicemente: faremo tutti e due scattare il cronometro quando ci troviamo accanto). Dunque, condivideremo lo stesso luogo nello stesso istante, e cioè transiteremo entrambi per **O**. Attenzione: condividere lo spazio sembra semplice, perché l'altro deve solo dirigersi verso di noi e prima o poi verremo a sfiorarci; condividere il tempo richiede molta più cura, poiché i cronometri, giusto quanto abbiamo appreso, viaggiano a ritmo più o meno sostenuto a seconda delle velocità relative degli osservatori. Ma, facendo scattare i due cronometri nell'istante in cui ci sfioriamo, condivideremo anche lo zero dei tempi. Sul grafico, dunque, il punto **O** sarà comune a entrambi.

L'amico passa oltre, il tempo trascorre, e prima o poi tutti e due verremo raggiunti dalla luce delle lampadine **A** e **B**. In quel momento, potremo ricostruire l'ordine degli eventi rispetto al punto-istante **O**. Vediamo cosa succede.

Sia l'evento **A** l'accensione di una lampadina *rossa*, e l'evento **B** quella di una lampadina *blu*. Passato abbastanza tempo, dal nostro punto di vista potremo risalire alla successione degli eventi: la lampadina blu si è accesa prima di quella rossa, e già lo abbiamo discusso prima. Ma per il nostro amico? Per riuscire a scoprirlo, bisogna individuare i suoi assi spaziale e temporale, perché: chi ha mai detto che coincidano coi nostri?

Debbo chiedere al lettore il penultimo sforzo di comprensione (per questo capitolo...). Lo sento esclamare: «Cosa ho fatto finora, secondo te?». Sì, lo so, ma adesso serve uno sforzo più forte...

Già sappiamo, dal capitolo precedente, in qual modo, dal nostro punto di vista, l'orologio dell'amico sembri rallentare un po'. E pure le sue misure di distanza sono differenti da quelle eseguite da noi. Allora, ragioniamo come segue.

L'amico si sta muovendo rispetto a noi, da destra verso sinistra, a metà della velocità della luce, e cioè a 150.000 km/s. Di conseguenza, due secondi dopo essere transitato per **O**, si troverà a 300.000 km da noi. Segniamo dunque il punto corrispondente sul diagramma di Minkowski, e chiamiamolo **P**: due centimetri lungo l'asse del tempo, e uno solo sull'asse dello spazio, verso sinistra; all'incrocio, sarà il punto in cui, dal nostro punto di vista, si troverà l'amico, quando il nostro cronometro misurerà due secondi. Ma attenzione, perché il trucco è nelle poche frasi seguenti. L'amico, rispetto a se stesso, è fermo e quindi, dal suo punto di vista, noi ci muo-

viamo, e gli siamo passati vicino a metà della velocità della luce. Dunque, se saltiamo dal nostro punto di vista a quello dell'amico, possiamo trarre una conclusione semplicissima: sia **O**, sia l'altro punto appena segnato e chiamato **P** si trovano, nella sua (non certo nella nostra) ottica, nello stesso punto lungo il suo asse dello spazio e, in particolare, nel punto zero. Lo ripeto ponendo l'accento su un aspetto diverso: poiché il nostro amico non si muove nel suo sistema di riferimento, ma per lui passa solo il tempo, sia il punto **O**, sia il punto **P** si trovano lungo il suo asse del tempo! Anzi: lo definiscono! Ripeto per la terza e ultima volta, e fate attenzione: così come noi, se restiamo fermi, ci muoviamo sul diagramma lungo il nostro asse del tempo, ovvero quello verticale, poiché siamo sempre lungo lo zero del nostro spazio, anche lui, sentendosi fermo, percorrerà il proprio asse del tempo. Di conseguenza, l'asse del tempo del nostro amico non coincide affatto col nostro, ma è la retta congiungente **OP**. Per forza! Il suo indicatore di spazio segna sempre zero, e quindi lui si arrampica lungo la sua verticale, ma questa è inclinata a sinistra rispetto alla nostra. Accidenti, non ci era venuto in mente, vero? Tracciamola, allora, questa benedetta retta congiungente **OP**, come una tratteggiata a tratto spesso, e chiamiamola **t'**, ovvero la retta dei tempi come la vede l'amico.

Adesso abbiamo capito qual è, sul piano spaziotemporale di Minkowski, l'asse del tempo per il nostro amico. Dobbiamo ampliare il ragionamento per capire qual è il suo asse dello spazio. Infatti, se il suo asse del tempo non coincide col nostro, qualcosa di analogo varrà pure per quello dello spazio. È necessario un ultimo sforzo... no, non vi avvilitate così, chi è giunto fin qui ce la può fare.

In prima approssimazione, l'asse dello spazio del nostro amico dovrebbe essere perpendicolare al suo asse del tempo o, per lo meno, questo ci suggerirebbe l'intuizione. E, in effetti, sarebbe così se, nel teorema di Pitagora a quattro dimensioni della RS, non ci fosse di mezzo quel maledetto numero immaginario i . Ma c'è, e purtroppo complica le cose, anche se non in modo eccessivo.

15.6. Basta un'analogia geometrica

Ci sono tanti modi per trovare l'asse spaziale del nostro amico. Io mi servirò di un ragionamento geometrico semplificato; non è del tutto ortodosso, ma l'esito finale è quello corretto. Torniamo a **O**. Se guardiamo l'intero piano spaziotemporale da questo luogo-istante, quale regione dello spaziotempo corrisponderà al futuro assoluto per il nostro amico? La ri-

sposta è semplicissima pur se, a questo punto del discorso, anche l'ovvio comincia a sembrarci un po' capzioso: il suo futuro assoluto è assolutamente identico al nostro. Ormai, non ci aspettavamo neanche questo, dite la verità! Ma pensateci: qualunque sia la velocità dell'amico, quando si trova nel luogo-istante **O**, lui può lanciare soltanto gli stessi segnali che possiamo lanciare noi, perché la velocità della luce è costante e identica per entrambi. Può sembrare paradossale, ma è così, se ci si riflette bene. Il principio dell'invarianza di c rispunta fuori. Non è intuitivo, d'accordo, ma se già lo avevamo mandato giù nel capitolo precedente, non ci costa niente rispolverarlo e trarne una conseguenza.

Grazie all'oculata scelta di coordinate per i nostri assi (1 cm per ogni secondo lungo l'asse del tempo, 1 cm per ogni 300.000 km lungo quello dello spazio), abbiamo trovato come, per noi, il futuro assoluto sia delimitato dalle due rette-luce inclinate di 45° . E la stessa regione è il futuro assoluto per l'amico nel momento in cui passa per **O**. Ecco: cerchiamo di semplificare il discorso basandoci su questa comunanza di futuri assoluti. Riflettiamo: per noi, le rette-luce sono inclinate a 45° rispetto agli assi spaziale e temporale, ma, rispetto all'asse del tempo del nostro amico, le stesse rette non sono affatto inclinate a 45° ; una lo è molto di meno, l'altra molto di più. Ci fa venire in mente qualcosa, tutto ciò? Sì, certo, ce ne può far venire in mente tantissime, ma quella giusta è la seguente: se per noi il triangolo del futuro assoluto è simmetrico rispetto agli assi spaziale e temporale, anche per gli assi spaziale e temporale dell'amico il triangolo del futuro assoluto dovrà possedere un qualche genere di simmetria. Rileggere, per favore...

Allora ragioniamo così: su un piano cartesiano con assi perpendicolari (come lo sono x e t), una retta inclinata a 45° è bisettrice degli assi. Non sarà, per caso, proprio questa la caratteristica fondamentale delle rette delimitanti il futuro assoluto, e cioè: essere *bisettrici* degli assi spaziotemporali? Se così fosse – e a conti fatti la teoria lo afferma, pur se il lettore concluderà con me sull'inopportunità di fornirne la dimostrazione matematica in questo luogo –, mi basta conoscere l'asse temporale dell'amico e le rette-luce delimitanti il suo futuro assoluto. In queste condizioni, diventa immediato tracciare anche il suo asse spaziale. Molto semplicemente, si prende lo stesso angolo esistente tra il suo asse temporale e una retta-luce (una delle due, non ha importanza quale) e si ribalta quest'angolo dall'altra parte della stessa retta-luce. *Voilà*, il gioco è fatto, e la retta tratteggiata x' che ne viene fuori è proprio l'asse spaziale del nostro amico. Le due rette-luce sono le bisettrici anche per i suoi assi spaziale e temporale, benché per lui non siano inclinate a 45° . In verità, lui le vede inclinate di

45°, ma per noi non lo sono, siccome le nostre misure di distanze e tempi differiscono dalle sue. Non ci sembra logico, abituati come siamo alla normale geometria euclidea, ma la costanza della velocità della luce (col conseguente numero immaginario i nel teorema di Pitagora a quattro dimensioni) pretende questa rotazione dello spaziotempo, onde gli assi spaziali e temporali si stringono tra loro al variare della velocità. Per lo meno, restano linee rette, per quanto inclinate. Contentiamoci di questo!

Ho chiesto molto al lettore, e spero di potergli restituire in proporzione con il concetto seguente anche se, magari, non ha inteso i dettagli del ragionamento, e mi scuso per non essere stato abbastanza chiaro. Mi premeva arrivare a mostrare come, se segniamo due punti nella zona di spaziotempo definita per noi "altrove", alla fin fine, a noi risulta che **B** si è verificato prima di **O**, mentre **A** si è verificato dopo. La stessa cosa, però, non deve necessariamente accadere per ogni osservatore, indipendentemente dalla sua velocità rispetto a noi. Controlli, infatti, il lettore, la pendenza dell'asse spaziale x' del nostro velocissimo amico, e le posizioni di **A** e **B** rispetto a questa retta. Quando anche l'amico vedrà le luci accendersi, in base alla sua analisi concluderà: la luce rossa si è accesa prima dell'istante **O** (il punto **A** si trova sotto il suo asse spaziale, quindi per suoi tempi minori di zero) mentre la luce blu si è accesa dopo **O** (il punto **B** è sopra il suo asse spaziale, quindi per suoi tempi maggiori di zero). Il tempo possiede, in relatività, una plasticità tale per cui, di due eventi originatisi nell'altrove, non si può dire quale avvenga prima e quale dopo, se non si specifica rispetto a quale osservatore. Due osservatori in viaggio a velocità diversa possono giungere a conclusioni opposte, ed entrambe sono vere nel modo più assoluto.

15.7. Ah! Ecco perché...

Finalmente posso rispondere alle obiezioni di nomenclatura del lettore: devo chiamare *altrove*, e non *futuro* o *passato generico*, una certa regione del diagramma di Minkowski, perché la cronologia degli eventi in quella regione dipende dal punto di vista (dalla velocità) dell'osservatore in transito. Se non è relatività questa...

Due capitoli piuttosto onerosi per giungere dove? Il punto di partenza, lo ricordiamo tutti, era il principio di causalità, il quale richiede un ordinamento temporale per cui la causa precede l'effetto. La plasticità del tempo appena delineata, in conseguenza della costanza di c , non è dunque un'idea becera saltata in mente a uno psicopatico, ma un fatto speri-

mentale ormai assodato al di là di ogni possibile dubbio (sebbene sia buona precauzione ricordarlo spesso: si tratta di un modello della realtà e non della realtà stessa la quale, come sempre, ci sfugge). Tale plasticità ha come esito l'esistenza di casi in cui un evento precede o segue un altro, a seconda del punto di vista. È violata la causalità? Per fortuna, almeno fino a questo punto, ancora no. Infatti, sarebbe violata se uno dei due eventi **A** o **B** fosse causa, e l'altro effetto. Ma, per come abbiamo messo le cose, ciò non può accadere. Infatti, nessuna trasmissione di segnale con inclinazione inferiore a 45° rispetto alla verticale può congiungere **A** e **B**, e di conseguenza nessuno dei due eventi può giacere nel passato assoluto o nel futuro assoluto dell'altro. Dunque, a priori, uno non può essere causa o effetto dell'altro, e la causalità è fatta salva. Se risaliamo abbastanza indietro nel tempo, incontreremo di certo un momento in cui gli stessi eventi possono essere esistiti nel passato assoluto sia di **A**, sia di **B**; parimenti, facendo trascorrere abbastanza tempo, ci saranno senz'altro eventi comuni al futuro assoluto di **A** e di **B**. Ma, partendo da **A**, nessuna influenza diretta potrà essere esercitata su **B** e viceversa, e questo è l'importante per quanto riguarda il rapporto di causa-effetto. Infatti, la situazione sopra descritta si modificherebbe in modo sostanziale, se in natura potesse esistere un qualsivoglia modo per inviare informazioni (neppure oggetti fisici: sarebbero sufficienti solo informazioni) attraverso lo spazio, a velocità superiore a quella della luce. Se così fosse, il percorso spaziotemporale di questa ipotetica informazione *superluminale* nel diagramma di Minkowski sarebbe inclinato di oltre 45° rispetto alla verticale, e potrebbe benissimo partire da **B** e raggiungere **A**. Come conseguenza, sempre sfruttando un ipotetico segnale superluminale (ripeto per precauzione), in **B** potrebbe essere premuto un pulsante il quale, chiudendo un circuito elettrico in cui è compresa una batteria, fa accendere la lampadina in **A**. Dal nostro punto di vista (assi spaziale x e temporale t perpendicolari), laddove, alla fine, possiamo ricostruire la temporizzazione degli eventi e dire «**B** si è verificato prima di **A**», sarebbe poco male, ma figuriamoci la faccia dell'amico nello scoprire che, ricostruendo anche lui la sua temporizzazione (la quale, lo ripeto, è giusta quanto la nostra), gli risultasse l'accensione della lampadina **A** mentre il circuito elettrico in **B** era ancora aperto! E proprio la salvaguardia della causalità, assieme a tutti i ragionamenti sul diagramma di Minkowski, chiude il cerchio. Affinché non si verificassero violazioni della causalità, è indispensabile che nessun oggetto o segnale possa mai attraversare lo spazio più veloce di c , altrimenti sarebbe possibile spedire qualcosa nel passato di qualcuno. Ma questo, noi non lo vogliamo, vero? Ecco da dove nasce l'insuperabilità di c .

Allora, torniamo al problema iniziale; ho buttato al vento due capitoli piuttosto difficili per tranquillizzare il lettore: quanto temevamo non si può verificare, grazie all'invalicabilità di \underline{c} ? No. Per il momento abbiamo solo constatato come, se nessuna informazione può viaggiare attraverso lo spazio più velocemente di \underline{c} , e la plasticità dello spaziotempo permette a quest'ultimo di deformarsi solo in modo lineare (gli assi cambiano pendenza, ma restano linee rette), la causalità è salva. Quanto dobbiamo ancora verificare, è se in natura le cose vadano davvero sempre a questo modo. Come vedremo nel prossimo capitolo, succede ben altro...

Nel seguito del discorso sulla plasticità spaziotemporale, il lettore l'ha già capito: ci sarà da storcere il naso. Qui vorrei riprendere in mano un attimo la MQ, per dire esplicitamente una cosettina lasciata nascosta tra le righe: la cosiddetta "trasmissione istantanea d'informazioni a distanza".

Ricordate la non località? Ho già accennato nel capitolo 11 alla situazione sperimentale particolare, cui si dà il nome di *entanglement*, laddove due particelle quantistiche, sebbene si trovino a grande distanza l'una dall'altra, si comportano come se avessero la possibilità di scambiarsi in tempo zero un'informazione in privato. Come se fossero ancora adiacenti. Come se una delle due dicesse all'altra: «Bada, hanno eseguito su di me un certo tipo di misura e, in base al risultato trovato, si aspettano che tu, dovendoti per forza coordinare con me, ti comporti così e cosà. Regolati bene, altrimenti finirebbe per essere violata qualche legge fisica». E, in effetti, quando vengono eseguite misure sia sulla prima, sia sulla seconda particella, quest'ultima ha assunto il comportamento atteso. Fin qui non ci sarebbe nulla di strano, se non per un dettaglio: quando gli esperimenti vengono eseguiti sul serio, si dispongono le apparecchiature affinché le particelle siano così lontane tra loro, per cui qualsiasi informazione, pur viaggiando alla velocità della luce, non ce la farebbe comunque a trasferirsi dall'una all'altra nel tempo intercorrente tra il primo e il secondo esperimento. Dunque, se vogliamo interpretare il risultato con un modello molto rozzo e semplicistico, diciamo così: è come se le particelle potessero scambiarsi informazioni a velocità molto superiore a quella della luce. E quel "molto" significa molto davvero: non soltanto due o tre volte, ma a velocità rigorosamente infinita. Intendiamoci, sto parlando il linguaggio della modellistica intuitiva, e quindi non è lecito evincerne una descrizione accurata della realtà. Il problema, come al solito, è dovuto al rospo velenoso il quale, cambiando modellistica, salta da una parte all'altra, ma non scompare affatto. Di qui il sospetto, mugugnato a mezza bocca, perché un professionista serio queste cose non dovrebbe dirle, secondo cui, se nel mondo microscopico c'è davvero qualcosa di trasmissibile

più velocemente di c , la MQ sia non causale a un livello irriducibile. È vero: questo eventuale scambio rimane nascosto, strettamente privato, tra le due particelle, e nessun altro se ne potrà mai servire per scambiare informazioni superluminali, cosicché la relatività e la causalità non sono violate dal punto di vista pratico. Ma l'esistenza di un fenomeno del genere violerebbe comunque lo spirito, se non la lettera, della relatività e della causalità. Per questo motivo, il pudore dei fisici li fa parlare di "non località"; una dizione ambigua per non dover ammettere la *non causalità*. Sarebbe un po' troppo...

Cosa dobbiamo concluderne? Non lo so di preciso, e non lo sa nessuno. Forse dobbiamo accettare una volta per tutte quanto ho già abbondantemente istillato nella mente del lettore in precedenza. La natura, a livello di base, non è causale, e la causalità emerge solo a livello statistico, quando si considerano un gran numero di eventi elementari. Di conseguenza, il nostro intelletto non è in grado di approfondire più di tanto gli aspetti fondamentali della natura stessa. Ma fermiamoci a questo punto e riassumiamo.

15.8. Ricapitolando

A-XV) Siamo in grado di costruire modelli geometrici della plasticità dello spaziotempo, anche se c'è sempre un certo attrito tra il dettaglio di questi modelli e la nostra intuizione.

B-XV) L'eventuale scambio di un qualsiasi genere di segnale a velocità superiore a quella della luce comporterebbe un'inversione temporale tra cause ed effetti. La nostra stessa possibilità di ragionarci sopra ne risulterebbe compromessa.

Per quanto riguarda invece eventuali nuovi limiti alla conoscibilità scientifica del mondo, possiamo dire quanto segue.

16-XV) Comunque s'interpreti l'evidenza sperimentale dell'*entanglement*, essa non favorisce una visione causale dei meccanismi d'azione della natura, restringendo quindi la frazione di mondo materiale accessibile all'intelletto umano.

17-XV) A noi pare un controsenso che due eventi, verificatisi per un certo osservatore secondo un ben definito ordine temporale, presentino ordine temporale opposto per un altro osservatore, ed entrambi gli osservatori abbiano ragione in senso stretto. Ma la natura si comporta proprio a questo modo.

15. LA CURVATURA DELLO SPAZIOTEMPO

16.1. Flettiamo i muscoli (e altro)

Circa dieci anni dopo aver pubblicato la RS, quella di cui abbiamo trattato nei due capitoli precedenti, Einstein diede alle stampe il completamento della teoria, oggi noto come “Relatività Generale” (RG). Potrò fornire al lettore solo dettagli insignificanti su questo complicato modello fisico e matematico (il minimo assoluto per arrivare ai concetti di qualche rilievo nel contesto in cui ci stiamo muovendo), in un modo o nell’altro connesso alla natura del tempo e alle sue possibili *deformazioni*, con eventuali, conseguenti problemi col principio di causalità. Ma si badi bene: sono problemi del tutto indipendenti da quelli incontrati nei capitoli 10 e 11, allorché trattammo di MQ. Anche qui compaiono difficoltà di comprensione del mondo materiale nuove e inattese, insorgenti all’improvviso, ma in un ambito scientifico del tutto differente rispetto a quelli esaminati finora.

Una traccia intuitiva utile per introdurre i primi concetti è la seguente: basiamoci su un’analogia con le parti dell’edificio della fisica costruite da Galileo e Newton. Il primo lavorò principalmente sul moto degli oggetti in assenza di forze esterne, anche se tutti i suoi esperimenti con i piani inclinati, e con la caduta di oggetti di diverso peso, sfruttavano, ovviamente, la forza di gravità. Newton formalizzò i risultati di Galileo e i propri, trattando casi più generali in cui le forze esterne potessero essere presenti o meno, e scoprì anche l’espressione matematica per la forza di gravità. L’analogia suggerita al lettore è la seguente: la RS può pensarsi come l’estensione del lavoro di Galileo ai casi in cui le velocità si avvicinano a quella della luce, e di conseguenza le pendenze degli assi relativi, sul piano cartesiano, al progredire dello spazio e del tempo, cominciano a inclinarsi (secondo la fisica galileiana e newtoniana, tali assi, invece, sono sempre rette perpendicolari e, al più, slittano l’uno sull’altro). La RG potrebbe invece essere pensata come un’estensione del lavoro di Newton (teoria della gravitazione inclusa) non solo ai casi di alta velocità ma, soprattutto, di forza gravitazionale intensa. E qui incontriamo un nuovo scoglio in-

tellettuale ancor più difficile da mandar giù: gli assi rappresentanti lo spazio e il tempo non solo s'inclinano ma, sotto l'azione della gravità, si curvano, non sono più linee rette.

«Bella faccenda!», commenterà il lettore. «Già quel tale signor Minkowski mi è rimasto per traverso, e per lo meno lui manteneva gli assi rettilinei...». Eh, cosa ci volete fare? Per quale motivo madre natura deve per forza scegliere strade congruenti con la nostra capacità di fare scienza in modo intuitivo? E se vi viene in mente qualche persona di questa opinione (di questo pregiudizio), ora sapete cosa pensare di lui o di lei. Dovete solo non perdervi di coraggio...

16.2. Primo dubbio: *modello o vera geometria?*

Distinguiamo bene gli argomenti. Parlando di *curvatura* stiamo, come al solito, introducendo un modello mentale intuitivo (nei limiti del possibile), e questo può aver poco a che fare con la realtà qualunque essa sia. Però, l'aspetto formale della relatività, e cioè il suo modello matematico il quale, come avviene per ogni teoria di cui abbiamo parlato finora, è del tutto preciso e fa previsioni assolutamente corrette sull'esito di qualsiasi esperimento oggi eseguibile, induce spontaneamente a ragionare su analogie di tipo geometrico. Le quantità presenti nelle equazioni della RG vengono interpretate in modo semplice come se fossero le tre dimensioni ordinarie del nostro spazio, e quella pseudo-temporale (dico "pseudo", poiché contiene la famigerata unità immaginaria, e nessuno riesce a visualizzare il suo significato), come un insieme a quattro dimensioni, e a questo insieme si applicano le leggi della geometria. Infatti, se cancellassimo dalle equazioni la dimensione pseudo-temporale, e anche una di quelle spaziali, tutte le formule ci apparirebbero piuttosto familiari e diremmo: «Ma questa è la normale geometria di Euclide, quella studiata a scuola!». Ciò sarebbe vero in alcuni casi, meno vero in altri, ma quest'affermazione ci aiuta a capire come mai il modello intuitivo di tipo geometrico sorga quasi automatico e, se le equazioni hanno qualche aggancio con la realtà (finora descrivono perfettamente ogni esperimento eseguibile), ci domandiamo se il modello geometrico non debba necessariamente – in qualche modo che il nostro lavoro mentale può aiutare a comprendere solo per mezzo di analogie grossolane, poiché non abbiamo esperienza sensibile di una geometria a quattro dimensioni – possedere anch'esso una sorta di legame diretto con la realtà. Dunque, attenzione a distinguere: per la MQ, il problema è probabilmente ontologico, ossia in sé, poiché la natura, con quasi certezza, a livello microscopico non si com-

porta secondo il criterio causale, e quindi ogni modello intuitivo si limita a spostare da una parte all'altra un dilemma per noi irrisolvibile. Al contrario, nel caso della RG, i nostri problemi intuitivi con la relatività nel suo insieme potrebbero non essere così invalicabili come quelli con la MQ. In effetti, perfino in RG, le analogie con un mondo a una o due dimensioni riescono forse a suggerirci qualcosa di sensato. Sfortunatamente, anche nella RG (come nella nostra esperienza sensibile) se qualcosa si curva troppo, si arrotola e alla fine, o si spezza, o si richiude su se stesso... piano, ci arriveremo.

Per introdurre il concetto di curvatura dello spazio (non mi chiedete proprio in questo momento di introdurre quella del tempo, per favore! Qualcosa ne dirò, ma cominciamo con concetti più semplici), ritornerò a un problema cui avevo già accennato superficialmente. Il lettore ricorderà, forse, quando gli raccontai di come il povero Newton, trovata la legge di gravità, rimase di princisbecco di fronte al quesito: «Sì, matematicamente tutto torna, ma come diavolo è possibile riuscire a esercitare una forza tra due oggetti separati dal vuoto? È assurdo!». Ebbene: in qualche modo, Einstein risolse, con la RG, il problema di Newton, mostrando come, tra oggetti distanti, non si eserciti nessuna forza, ma il loro movimento sia guidato come se ci fossero delle forze tra loro. E la soluzione di Einstein tratta la curvatura dello spaziotempo proprio secondo le leggi della geometria. Quest'ultima affermazione sembra sospesa per aria come la tomba di Maometto e, per quanto non voglia far perder tempo al lettore con esposizioni divulgative della fisica (mi piace moltissimo farlo, ma non è negli scopi di questo libro), dovrò comunque spendere qualche pagina e qualche figura per nutrire la sua intuizione, perciò gli chiedo pazienza di nuovo.

16.3. Aiutiamoci con un disegno

Prendiamo un foglio di carta quadrettata. Affermo che (e il lettore non vorrà cominciare a contestare così presto) questo foglio può rappresentare una ragionevole immagine, approssimata, del piano geometrico in generale, il piano ideale avente solo larghezza e lunghezza, ma non spessore. La distanza tra le righe della quadrettatura corrisponde alla *metrica* del piano, e questo è il concetto da chiarire bene. Se disegno due punti **A** e **B** qualsiasi sul piano, qual è la loro distanza? Badate: tra i miei strumenti da disegno non c'è il righello. Perché? La risposta è semplice: voglio muovermi sul piano usando tutte, attenzione, e sole, le informazioni già disponibili sul piano stesso. Dunque, non mi servirà misurare distanze, essendoci già la quadrettatura, e invece di contare le tacche sul righello mi basterà contare i quadretti

sulla carta. In quest'ordine d'idee, la cosa più semplice per determinare la distanza tra **A** e **B** sarà usare il teorema di Pitagora, come mostrato in figura (fig. 3). Seguendo la quadrettatura, tratterò quindi un triangolo rettangolo in cui la distanza tra **A** e **B** rappresenta l'ipotenusa, e i cateti si incontrano in **O** (dove c'è l'angolo retto) andando paralleli alla quadrettatura stessa. Conterò quindi il numero di quadretti lungo ciascuno dei cateti, sia in verticale, sia in orizzontale. Chiamerò d la distanza incognita o ipotenusa, m il numero di quadretti di distanza in verticale (primo cateto) e n il numero di quadretti in orizzontale (secondo cateto). Il lettore ammetterà senza dubbio la formuletta $d^2 = m^2 + n^2$.

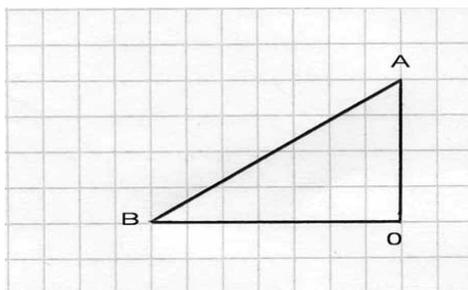


Figura 3

Su questo piano è raffigurata la normale geometria euclidea: quella, appunto, studiata a scuola, in cui le rette parallele restano alla stessa distanza fino all'infinito, la somma degli angoli interni di ogni triangolo è sempre 180° e così via. Ma la geometria euclidea non è l'unico caso possibile. Adesso, infatti, cominciamo a spassarcela con qualcosa di più divertente, anche se il divertimento comporta – come sempre nella vita – qualche lieve complicazione aggiuntiva.

Nei negozi di bricolage si possono trovare rotoli di sottili fogli di materiale plastico, avente un'elasticità non indifferente. Proprio grazie alla loro elasticità, questi fogli (o nastri) possono essere usati per tamponare provvisoriamente perdite d'acqua da tubi a gomito o comunque non rettilinei, e amenità di questo tipo. Noi ne taglieremo un rettangolo formato **A4** come un normale foglio di carta secondo lo standard europeo, e ci disegneremo sopra col pennarello una quadrettatura identica a quella del foglio di carta quadrettata. Ci vuole un po' di pazienza per tracciare tante righe, e tutte parallele, ma se il lettore è abbastanza furbo può provare a raggiungere lo scopo servendosi di una stampante da computer.

Abbiamo ora due fogli identici, a parte forse il colore: quello di carta e quello elastico, entrambi con una quadrettatura rigorosamente euclidea, in cui i bordi dei quadretti sono segmenti di rette, e s'incrociano tra loro a 90° . Sul secondo foglio potremo costruire la stessa geometria euclidea già sperimentata sul primo. Ma, col foglio elastico, si riesce a fare qualcosa di più. Eseguiamo dunque le operazioni suggerite, nell'ordine qui descritto. In primo luogo disegniamo anche su questo secondo foglio i due punti **A** e **B** nelle

stesse posizioni in cui si trovano sul primo foglio di carta quadrettata. Eseguito? Benissimo. Ora tiriamo il foglio elastico per i quattro angoli, bloccandolo poi sul tavolo con quattro puntine da disegno, e vediamo cosa succede. L'esito di una manipolazione così semplice ci conduce già molto lontano, poiché la geometria euclidea, tracciata sul foglio elastico, si è ora trasformata in una *non più euclidea*. Tanto per dire: non ci sono linee rette, ma solo curve. Inoltre sono spariti anche i quadratini, sostituiti da losanghe aventi ancora quattro lati, curvi pure loro e sfuggenti verso gli angoli, e via discorrendo.

16.4. Niente righello, per favore

Proviamo a disegnare, su questo foglio elastico deformato, l'equivalente di un triangolo rettangolo in cui la distanza tra **A** e **B** sia l'ipotenusa... fermi! Non si fa a quel modo. Avevate preso matita e righello, e stavate per tracciare tre segmenti di retta. È sbagliato: così come avviene per il normale foglio millimetrato, anche questo foglio stiracchiato contiene già la sua *metrica*, data dalla quadrettatura deformata, in cui la retta non esiste! Non gli possiamo sovrapporre un'altra geometria dall'esterno, dobbiamo seguire quella intrinseca del foglio. Dunque, niente linee rette, ma solo curve più fitte al centro, e sfuggenti verso i bordi. Un lato del triangolo, da **A** a **O**, sarà dato da una di queste linee curve, un altro lato da **O** a **B** potrebbe essere un'altra linea curva che incrocia la prima come in figura (fig. 4)... ecco: senza nemmeno bisogno di disegnare tutto il triangolo, soffermiamoci solo sull'incrocio dei due cateti nel punto **O**. Qual è l'angolo in **O** tra i due segmenti di curva corrispondenti ai cateti? Prima di tirare il foglio, avevamo due segmenti di retta formanti un angolo di 90° ; ora si vede bene come l'angolo sia leggermente inferiore a 90° , e tanto minore quanto più questo vertice del triangolo si avvicina a uno degli angoli del foglio, dove le deformazioni sono più marcate. Dunque, non ci meraviglieremo più se, in questa particolare geometria, la somma degli angoli interni di un triangolo finirà per essere minore di 180° . Del pari, nessuno sentirà la necessità di strapparsi i capelli se la distanza (curvilinea) tra **A** e **B** non si potrà più cal-

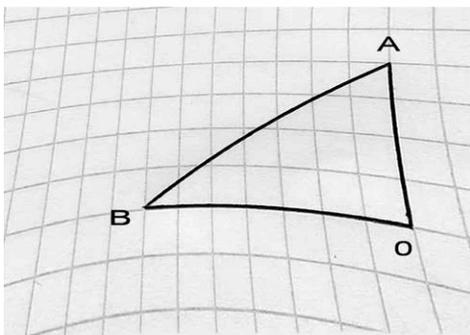


Figura 4

colare per mezzo del teorema di Pitagora puro e semplice, ma sarà necessario aggiungerci qualche coefficiente, ottenendo una formula leggermente più complicata, del tipo: $d^2 = pm^2 + qn^2$ dove p e q saranno numeri un po' diversi da 1 per tener conto della curvatura del piano. Capiremo ancor meglio, tracciando anche l'ipotenusa del triangolo di cui, finora, abbiamo tracciato solo i cateti. Per disegnarla bene, dovremo andare a prendere il primo foglio di carta, quello da non tirare sennò si straccia, e vedere per quali quadretti passa l'ipotenusa (rettilenea) del triangolo rettangolo. Poi, come se giocassimo a battaglia navale, marcheremo i quadretti deformati corrispondenti sul foglio elastico. Ne verrà fuori l'ipotenusa non euclidea e, se il lettore si diventerà davvero a disegnare il tutto, troverà un'ipotenusa curva pure lei.

Lo so: sembra un ragionamento inutilmente complicato, perché un piano è sempre un piano, pure se è elastico, e nessuno può impedirmi di disegnarci sopra una geometria euclidea, magari con l'inchiostro rosso per non confonderla con la geometria curvilinea sottostante, ma questa non sarebbe una procedura corretta. Da quando abbiamo tirato il foglio per gli angoli, la struttura intrinseca del piano è cambiata, e adesso la sua geometria obbedisce alla quadrettatura deformata. Dunque, due punti distanti tra loro 20 quadretti vicino al bordo, dove il foglio è più allungato, ancora distano tra loro 20 unità di misura, qualunque sia la distanza in centimetri misurabile col righello. Se metto due crocette su altri due punti distanti sempre 20 quadretti tra loro, ma stavolta nella zona centrale del foglio dove questo è meno tirato, la loro distanza sarà sempre 20 unità di misura sebbene, in centimetri del nostro righello euclideo, gli ultimi due punti siano più vicini tra loro rispetto ai primi due. Il problema sta tutto qui: i centimetri rettilinei sono unità di misura abusive, per un piano non euclideo. Come unità di misura, hanno senso solo finché non tiriamo il foglio; dopo, vanno sostituiti con i quadretti deformati del foglio stesso. Segmenti percepiti, a occhio, come differenti, possono avere la stessa misura nella metrica del foglio.

16.5. Non era poi così difficile, vero?

Sono questi i concetti di *metrica* e di *curvatura dello spazio*. Facciamo attenzione: la metrica scandisce il piano e, se è curva, bisogna seguirla. Dunque, il concetto stesso di spazio va un po' materializzato rispetto all'idea eterea che ce ne creiamo spontaneamente. Materializzato, come il foglio elastico rispetto a quello da disegno; di quest'ultimo, non c'interessano le caratteristiche strutturali, poiché ne sfruttiamo solo la superficie; del primo, invece, sfruttiamo anche l'elasticità, e dunque lo pensiamo come una struttu-

ra materiale vera e propria; non più come una semplice superficie. Ma torniamo alle quadrettature in senso lato. Già nel capitolo precedente abbiamo visto come lo spazio e il tempo si possano inclinare, ma fino a quel punto era ancora lecito pensare a un trucco matematico o poco più. Qui, invece, salta fuori con immediatezza un concetto molto diverso. Lo spazio non è semplicemente del vuoto, in cui possiamo inzeppare qualsiasi cosa, e tracciare qualunque traiettoria ci piaccia. Esso è, piuttosto, un oggetto e, se questo oggetto si curva, anche tutto il suo contenuto si curva del pari. La metrica ci dice quanto si curva lo spazio, punto per punto, e possiamo pensarla connessa a quei due coefficienti strani (p e q) a moltiplicare nel teorema di Pitagora generalizzato, la cui presenza ci pare adesso più comprensibile.

Continuiamo a parlare di p e q : pensandoci bene, se sono entrambi uguali a 1 , ritroviamo la semplice geometria euclidea, mentre, in caso diverso, i matematici saranno in grado di ricavare il loro valore (può essere differente punto per punto) dalla geometria o, a rovescio, capire qual è la geometria sottostante, e quindi gli stiramenti e le rotazioni del foglio, dalla conoscenza di p e q . Nota per gli eventuali puristi: nel caso più generale, non bastano i due coefficienti p e q . Il lettore medio, però, ha ormai gli strumenti intellettuali necessari a proseguire, già con due soli coefficienti.

Prima di passare dal foglio bidimensionale allo spazio tridimensionale, fermiamoci un istante. È chiaro una volta per tutte il concetto di *metrica*? Abbiamo capito perché possiamo introdurre questo concetto solo se lo spazio possiede delle qualità di esistenza propria, ben al di là di un semplice vuoto in cui possiamo inserire oggetti a nostro piacimento? Se così non fosse, infatti, sarebbe perfettamente legittimo sovrapporre alla metrica deformata una nuova quadrettatura euclidea, e tutto sembrerebbe più semplice. Ma dobbiamo pensare come se fosse lo spazio in sé a essere stiracchiato; il supporto si deforma, e di conseguenza si stiraccia pure la quadrettatura. Il concetto chiave è proprio quest'ultimo.

Intendiamoci: nell'esempio banale appena portato, quello del foglio elastico, ciascuno di noi sa benissimo di aver applicato una forza agli spigoli del foglio, e non ci sono dubbi: si tratta solo di un modello. Siamo stati noi a disegnare la quadrettatura, e stabilire il suo significato in quanto immagine dello spazio (non lo spazio in sé), e sempre noi abbiamo allungato il foglio elastico. Ma insisto su questo punto: in natura, possono determinarsi casi in cui lo spazio finisce per essere deformato da qualcosa (vedremo tra pochissimo un esempio), e gli oggetti in esso contenuti sono costretti ad adeguarsi alla nuova struttura, alla nuova metrica, e muoversi secondo traiettorie curve anziché seguire linee rette. E qui possiamo aggiungere un'informazione, anch'essa di valore chiave, per digerire meglio l'idea. Ci serve un laser, ma

non uno speciale, costosissimo, da laboratorio. Ne basta uno di quelli – vietati per legge ma reperibili su ogni bancarella – utilizzati spesso come portachiavi. Premiamone il pulsante di accensione, e osserviamo il puntino rosso proiettato sulla parete di fronte. Chiediamoci: «Quale strana traiettoria avrà mai percorso il raggio di luce partito dal laser, per giungere fino alla parete?». No, non sono impazzito. Se rispondete: «È andato in linea retta, no?», sono d'accordo anch'io. Ma con una riserva importante: Il raggio di luce ha seguito, almeno in prima approssimazione, una retta, solo perché la metrica dello spazio in cui noi esseri umani siamo abituati a muoverci è, sempre in prima approssimazione, euclidea. Se la metrica non lo fosse stata, il raggio di luce non avrebbe viaggiato in linea retta proprio per nulla, ma avrebbe seguito la curvatura dello spazio. Per dirla tutta, è proprio la luce il miglior misuratore della metrica locale. Essa, infatti, viaggia sempre secondo la linea di minor distanza tra due punti e, se la metrica non è euclidea e questa linea, detta *geodetica*, è curva, la luce curva pure lei. Anzi, siccome ci troviamo nel discorso, raccontiamo qualcosa in più sulla geodetica. Ci hanno sempre insegnato, a scuola, come la linea retta sia quella di minor distanza tra due punti. Verissimo, ma solo se la metrica è euclidea. Prendiamo uno spago e un mappamondo e, tirando lo spago, congiungiamo Londra con New York. Lo spago ha seguito, visibilmente, un arco di cerchio. La geodetica su una superficie sferica è dunque un arco di cerchio, e non una retta.

«Grazie tante!», mi si può obiettare. «Se avessi potuto attraversare l'interno del mappamondo, avrei ottenuto lo stesso un segmento di retta, e più corto». Grazie un corno! Io sto parlando della metrica di una superficie sferica; di una superficie bidimensionale, distesa su una sfera. Se esiste solo la superficie, non si può *passare dentro* per la terza dimensione, perché di dimensioni ce ne sono solo due, ma bisogna muoversi sempre e solo sulla superficie. Teniamo a mente questi concetti; ci serviranno.

Ora, sulla base di quanto abbiamo appreso nel caso bidimensionale, tentiamo un'estensione tridimensionale. Immaginiamo un volume di spazio, senza figurarci anche i suoi bordi. Anzi, lasciamoli indeterminati e indistinti per la lontananza, e riempiamo questo volume con un'incastellatura perfettamente regolare di tubolari, sul tipo di quelli usati quando si vuole restaurare la facciata di un edificio a più piani. I tubolari s'incrociano ad angolo retto, e vengono bloccati tra loro per mezzo di appositi giunti, in modo da costruire una intelaiatura di cubi identici e regolari, che si perdono di vista per la lontananza in tutte e tre le direzioni. L'artista olandese Escher ha prodotto alcune opere basate su geometrie di questo tipo, ma chiunque abbia un minimo di conoscenze di disegno e prospettiva si può sbizzarrire a piacimento a disegnarne. Aggiungiamo ora un'informa-

zione: questi tubolari i quali – come il lettore ha già intuito di sicuro – rappresentano la metrica dello spazio a tre dimensioni (così come il reticolo disegnato sul foglio rappresentava quella dello spazio bidimensionale), sono elastici. Di conseguenza, finché nulla li perturberà, scandiranno un reticolo cubico perfetto. Fin qui, la cosa sarà stata digerita, suppongo.

Adesso, poniamo un oggetto dotato di massa nello spazio centrale di uno qualsiasi di questi cubi. Per esempio, una stella. Cosa succederà? La massa dirà: «Fate luogo!». E i tubolari vicini, essendo ben più miti di Fra' Cristoforo quando ancora non era frate, non risponderanno: «Fate luogo voi. La dritta è mia!» (sto citando Manzoni) ma, per amor di pace, si fletteranno verso l'esterno come se King Kong, o un supereroe, li avessero divaricati per passarci in mezzo. Vale a dire: la presenza di una massa determina una curvatura dello spazio circostante, stavolta di verso opposto a quella ottenuta tirando i vertici del foglio elastico. In quel caso, i quadrati avevano lati concavi se visti dall'esterno; nello spazio, gli spigoli dei cubi si fanno concavi se visti dall'interno.

16.6. Non serve più l'elastico invisibile

Questo è il modello intuitivo più semplice per rendersi ragione delle conclusioni della RG. Notate, infatti, come vada a posto la forza di gravità in termini di metrica curva: se un oggetto qualsiasi passa vicino a una massa, si trova a muoversi per binari di spazio curvi, e dunque anche la sua traiettoria s'incurva in modo tale per cui la concavità si trova in direzione dell'oggetto dotato di massa. Come succede per le orbite dei pianeti, dei satelliti, delle comete rispetto al Sole. Non c'è nessuna forza a distanza; solo una curvatura dello spazio, e questa incanala gli oggetti. Una frase molto usata per descrivere questo modello è: «La materia dice allo spazio come curvarsi, lo spazio dice alla materia come muoversi».

Non mi pare necessario, e tutto sommato neanche possibile, procedere oltre con questo modellino ultrasemplificato. Come il lettore sa, qui non sto divulgando fisica ma altre cose, e mi preme introdurre il concetto verso cui mi sono mosso finora. Avendo sentito parlare di curvatura del solo spazio, chi non sia un completo sprovveduto non può non aver già capito cosa gli sta per toccare, pur se magari ha finora sperato che questo calice passasse da lui. Ma non passa, e forse la cosa migliore è berlo d'un sorso solo, fino alla feccia. Pronti? Via! Non si curva solo lo spazio; si curva pure il tempo. È doloroso, vero? Sì, lo so. Il Circolo dei Nemici di Einstein ha indetto una campagna promozionale per l'acquisizione di nuovi soci...

A mia conoscenza, nessun fisico ha finora prodotto un modello intuitivo davvero semplice per la curvatura del tempo. Molti hanno provato, qualcuno ha raggiunto risultati non disprezzabili, io stesso ne ho uno dal quale si può almeno partire come aiuto per costruire un modellino rudimentale, basato sul diagramma di Minkowski coll'asse temporale tracciato curvo verso destra o sinistra, ma sono sempre modelli, per illustrare i quali si richiede una discussione quanto meno lunga e laboriosa, e non ce la possiamo permettere in questo libro. Devo chiedere al lettore un atto di fede: se è giunto ad accettare l'idea secondo cui lo spazio è una struttura anziché una mancanza di struttura, e quindi non un puro e semplice contenitore coll'unica proprietà di poterci deporre oggetti all'interno, lo prego di mandar giù pure il resto. Il tempo non è semplicemente una coordinata, la cui scansione numerica è indicata dagli orologi, ma una entità provvista di struttura a sua volta, e può curvarsi anche se il modello geometrico intuitivo, da cui riceviamo un po' di aiuto nel caso della curvatura spaziale, serve molto meno quando ci riferiamo al tempo. Se proprio dovessi fornire al lettore un indizio su un possibile modello geometrico della curvatura del tempo, lo indirizzerei a ragionare sul perché, in un campo gravitazionale, tutti gli oggetti subiscono la stessa accelerazione verso il centro, ma se non vuole perdere tempo (curvo...) con astrusità del genere, non me la sento di biasimarlo. Chiedo solo la sua autorizzazione, onde mi permetta di continuare a usare il modello di curvatura dello spaziotempo nel descrivere un campo gravitazionale, perché mi serve un'ultima analogia che vedremo tra breve.

Dunque, la massa costringe lo spaziotempo circostante a curvarsi, e sembra pure ragionevole accettare l'idea secondo cui la curvatura è tanto maggiore quanto maggiore è la massa. In particolare, se tutta la massa di un oggetto fosse concentrata in un punto solo, è abbastanza intuitivo pensare che, più ci avviciniamo a quel punto, più si curverà lo spaziotempo. Ma se prendo un segmento rettilineo e comincio a curvarlo sempre di più, cosa succederà alla fine? Si spezzerà, dite voi? Mettiamola così: prima o poi i due estremi del segmento si toccheranno. Ho costruito un cerchio o, comunque, una linea chiusa. Quando ciò avviene con lo spazio, come esito finale non esiste più nessun tragitto, dall'interno del cerchio, seguendo il quale se ne possa uscire. Infatti, tutti i cammini spaziali più interni sono ancora più curvi. Sto illustrando un modello così grossolano dell'oggetto definito *buco nero*, da fare un po' senso perfino a me, ma è sufficiente a renderne l'idea, per gli scopi del capitolo. Prego, però, il lettore di fare uno sforzo per memorizzare qualcosa, in vista di un ritorno sull'argomento in un capitolo successivo.

16.7. Un buco nero c'intralcia il cammino

Definiamo perciò, in prima battuta, la “*superficie di un buco nero*” come il luogo in cui le traiettorie spaziali sono così curve, da richiudersi su se stesse. Un raggio di luce emesso tangenzialmente, in un punto qualsiasi di questa specialissima superficie, percorrerebbe in eterno una traiettoria circolare, ripassando infinite volte per il punto di partenza. È come se l'intelaiatura di tubolari si fosse deformata così tanto, che un quadrato si è trasformato in un cerchio perfetto: la luce incanalata lungo quella direttrice di spazio seguirebbe a girare in tondo. Il modello, ripeto, è approssimato fino allo scandalo: per aggiungerci la curvatura del tempo, aggiungerò un'altra nozione, ma pure questa illumina poco. Se il lettore ha digerito l'analogia della luce emessa tangenzialmente, e del perché seguita a girare in tondo, potrebbe chiedersi: «E la luce emessa perpendicolarmente a questa superficie spazialmente chiusa? Quella, almeno, dovrebbe riuscire ad andarsene!». Sbagliato, perché lì interviene la curvatura del tempo. Essa “richiama indietro” ogni oggetto, in modo tale per cui, dalla stessa superficie in cui lo spazio si richiude su se stesso, la curvatura del tempo “richiama indietro” tutti gli oggetti, e li costringe non solo a restare sulla superficie, ma addirittura a precipitarci dentro, perfino se hanno cercato di sfuggirne alla velocità della luce. *Et de hoc, satis*. Accettiamo il modello così come lo sto proponendo, perché l'analogia della curvatura temporale s'intuisce in modo più semplice se le due cose vengono tenute separate: da una parte si curva lo spazio, dall'altra il tempo, e poi non sto preparando il lettore per un esame di fisica superiore.

Stiamo dunque giungendo al punto in cui si curva a cerchio pure il tempo. Cosa potrebbe significare in pratica? Proviamo a immaginare un *segmento di tempo*, come il susseguirsi dei diversi eventi partendo da uno degli estremi – su cui, guarda caso, c'è scritta la parola *causa* – e giungendo all'altro estremo su cui, per coerenza, troviamo scritto *effetto*. Se chiudiamo a cerchio questo segmento, la causa e l'effetto si toccano, e il principio di causalità raggiunge il suo limite teorico, in cui la causa coincide temporalmente con l'effetto. Ciò avviene alla superficie di un buco nero. Andando più in profondità, il cerchio si stringe ancora, e i due estremi del segmento temporale si passano l'uno sopra l'altro. L'effetto comincia a precedere la causa, e il principio di causalità non è più applicabile. Scendendo ancora verso il centro del buco nero, tutto si stringe ancora di più e il cerchio diventa una spirale a più giri. Riflettere su una situazione del genere sempre negli stessi termini modellistici usati finora non ha ormai alcun senso; tutt'al più si possono applicare le leggi matematiche della re-

latività le quali, trattando il tempo in modo geometrico in analogia allo spazio (seppure con quella famosa unità immaginaria i), dovrebbero consentirci di aggirare gli ostacoli intuitivi, e ottenere risultati numerici *precisi*. Detto e fatto: un eventuale oggetto che si aggirasse al disotto della superficie di un buco nero, viaggerebbe nel tempo verso il passato o verso il futuro, a seconda dei dettagli della traiettoria seguita, e della struttura del buco nero stesso. Se, dunque, l'oggetto fosse in grado di riemergere all'esterno del buco nero dopo averci girato dentro, la legge di causa-effetto potrebbe risultare clamorosamente violata in modo macroscopico, ben percepibile e misurabile da chiunque fosse rimasto fuori del buco nero, poiché l'oggetto in questione potrebbe saltarne fuori prima di esservi entrato. La qual cosa, francamente, sarebbe un po' in conflitto con tutto il nostro modo di pensare e di percepire il mondo.

16.8. Viva la censura, in questo caso

Può, tutto ciò, accadere in realtà? Alcuni fisici sono convinti di no perché, secondo loro, la natura si è premunita nei confronti di violazioni del genere, istituendo una sorta di "*censura cosmica*". Di fatto, come abbiamo premesso, nessun oggetto, se ha attraversato la superficie di un buco nero, è più in grado di trovare, al suo interno, una traiettoria per poterne uscire. Neppure la luce. In questo senso, per un normale buco nero, la censura cosmica esiste e, se anche al suo interno gli oggetti viaggiano nel tempo prima di cadere verso il centro, ed essere annientati, nessun indizio ne può trapelare all'esterno. È come se l'interno e l'esterno fossero due universi distinti, separati da una porta a senso unico su cui c'è scritto: "Lasciate ogni speranza, voi ch'entrate". Dunque, pur se la RG (al contrario della RS) consente – in linea di principio – di viaggiare nel tempo, all'atto pratico questo non può turbare le nostre vicende, poiché grazie a dio/Dio/**DIO** viviamo fuori di un buco nero. Ma siamo proprio del tutto sicuri dell'infallibilità di questa censura? No, per niente, anzi!

I fisici sono curiosi, altrimenti farebbero un altro mestiere. Dunque, si sono sbizzarriti a piacere nell'individuare casi estremi in cui non si può dimostrare l'impossibilità di viaggiare nel tempo. Ma non vi preoccupate o, secondo le vostre inclinazioni, non ci sperate troppo. Infatti, anche se già esistono progetti ingegneristici dettagliati per una macchina avente le prestazioni di quella ideata dal romanziere Wells, la tecnologia attuale non consente di realizzarla in pratica, e ci sono forti dubbi sulla sua fattibilità futura, da parte di qualsiasi tecnologia. In un certo modo, è come se sotto sotto ci fosse

una sorta di circolo vizioso: la macchina potrebbe funzionare, solo se tra i pezzi con cui si costruisce ce ne fosse almeno uno per il quale già il tempo viaggia a rovescio per conto suo. Ma basta con questo argomento; a parer mio non è rilevante ai fini della discussione, poiché il punto è un altro: sono state sollevate diverse sfide scientifiche alla censura cosmica, e, oggi come oggi, non siamo in grado di affermare che non si sia mai data, e non si darà mai nell'universo, la possibilità di viaggiare all'indietro nel tempo, a parte quanto succede all'interno dei buchi neri, dove la cosa non ci fa né caldo né freddo. Tra l'altro, incontreremo ragionamenti dello stesso tipo in un capitolo successivo, quando si parlerà delle prime fasi di esistenza dell'universo.

Il lettore potrebbe dunque chiedersi: «Ha senso ragionare su un eventuale viaggio nel tempo? Se ciò comporta una violazione della causalità, non ricadiamo sotto la ghigliottina di Kant? Il nostro intelletto percorre solo binari della causalità; sopporre a priori una sua violazione ci dovrebbe impedire di trarre conclusioni logiche, né più né meno di quando applichiamo la logica a Dio». Ebbene: in prima battuta mi sentirei di condividere questo punto di vista. Ma ammetto di essere un po' confuso. Per un certo verso, l'apparato matematico della relatività è formidabile, e la geometrizzazione del tempo sembra costituire una garanzia assoluta di scientificità. I risultati numerici della teoria sono solidi, e quindi descrivono correttamente gli esiti di possibili esperimenti pratici. In fin dei conti, stiamo trattando il tempo come una qualsiasi coordinata geometrica e, così come non ci sono problemi a descrivere spirali nello spazio, perché dovremmo trovarne, quando applichiamo gli stessi concetti geometrici al tempo? Però, di certo, l'impostazione generale del problema suscita dubbi: affermare che la logica, per mezzo della matematica, può giungere a conclusioni sul non causale mi ricorda molto da vicino il discorso di Bonaventura da Bagnoregio riguardo alla retta ragione la quale, per mezzo della Grazia, può giungere a conclusioni su Dio. Dati gli strumenti matematici adatti (in questa analogia, essi prendono il posto della Grazia), possiamo pronunciarci anche su eventuali problemi i quali, per principio, dovrebbero sfuggire alla causalità? È così potente la matematica? Non ne sono del tutto convinto. O, in alternativa, esiste davvero una qualche censura cosmica ineludibile, sebbene ancora non siamo riusciti a focalizzarla in modo definitivo, e questa rende sterili tutti i nostri sforzi intesi a ragionare su violazioni pratiche alla causalità?

Il problema non può essere dismissed così semplicemente, poiché i fisici stanno cominciando ad affrontare il gioco diretto tra RG e MQ. Non ne ho ancora parlato, perché i lavori sono in corso e, per come è messo il problema, lo saranno ancora per molto tempo, esistendo una contraddizione di fondo irrisolta tra MQ e RG. Da un lato, la prima richiede, in senso stretto,

una struttura galileiana e newtoniana dello spazio e del tempo, e ora sappiamo quanto ciò sia lontano dalla realtà. Dall'altro, la seconda descrive situazioni limite in cui le dimensioni spaziali di alcuni oggetti, per esempio quelli inghiottiti da un buco nero, si annullano (lo rivedremo nel capitolo 22). Ma, se il lettore ci pensa bene, dimensioni nulle conducono alla possibilità teorica di localizzare con precisione assoluta l'oggetto stesso (le cose sono un po' più complicate, ma...), e ciò è incompatibile col Principio d'Indeterminazione. È questo il motivo per cui, in uno dei primi capitoli sul metodo, affermavo non essere oggi possibile alla scienza l'unificazione di tutto il conosciuto, e la conseguente necessità di mantenere in vita almeno due teorie fondamentali, irriducibilmente contrapposte. Purtroppo, finora non è possibile sperimentare in laboratorio situazioni in cui entrambe le teorie debbano essere tirate in ballo contemporaneamente, con quanto ci potrebbero dire gli esperimenti riguardo alle loro contraddizioni di fondo, ma un giorno o l'altro i fisici riusciranno quasi certamente a costruire una buona teoria per unificarle. Cosa ne verrà fuori? Quale significato potrebbe avere l'indeterminazione quantistica applicata al tempo? Francamente, è un'altra di quelle domande cui nessuno si sente di rispondere. Però qualcuno ci prova e, come vedremo negli ultimi capitoli, talora in modo ardito, per usare un eufemismo.

Al momento, concludo questo capitolo notando come, una volta di più, il progresso della fisica evidenzia – oltre a nessi causali prima insospettabili, e quindi relazioni imprevedute tra tanti fenomeni diversi – anche limitazioni sempre nuove, e talvolta di principio, alla possibilità di conoscere il mondo fisico.

Sintetizziamo dunque.

16.9. Ricapitolando

A-XVI) La relatività generale dimostra come l'effetto gravitazionale, esercitato a causa della presenza di masse, possa essere descritto per mezzo di una curvatura dello spaziotempo.

B-XVI) L'eccesso di curvatura del tempo, in assenza di un'efficiente censura cosmica, ha un effetto dirompente sulla stessa causalità.

18-XVI) La Relatività Generale non può escludere la possibilità di violazioni macroscopiche al principio di causalità, con implicazioni negative sulla liceità dello stesso arguire scientifico conseguente.

17. L'IRRAGIONEVOLE MATEMATICA

17.1. Ma è davvero così speciale?

Qualcosa sulla matematica, e sulla sua *irragionevole efficacia*, è stato già detto. Ma, nel capitolo precedente, l'ho di nuovo tirata in ballo in un contesto che, a prima vista, potrebbe passare inosservato, e a torto. Infatti, alcuni fisici (ma non tutti) sembrano dare per scontato un modo di pensare a me un po' estraneo. Secondo loro, conclusioni tratte matematicamente, per mezzo di una geometrizzazione del tempo, e cioè di una sua assimilazione a una coordinata spaziale un po' peculiare (c'è sempre il famoso numero immaginario a moltiplicare ct), non dovrebbero presentare problemi per la logica (o per un'interpretazione modellistica intuitiva) malgrado, tra le loro conseguenze, si debba annoverare un'inversione dei rapporti causa-effetto e quindi, in parole povere, una violazione del principio sovrastante alla nostra capacità di ragionare. Addirittura, certe caratteristiche di un popolare espediente grafico-matematico (i diagrammi di Feynman) molto utile in MQ vengono interpretate come se alcune particelle elementari viaggiassero *all'indietro nel tempo* identificando, se non ci si sta molto attenti, il modello con la realtà. Ha senso tutto ciò?

Io sono perplesso. Secondo me, un atteggiamento del genere sottintende, tra le righe, la presenza, nella matematica, di una qualche virtù extranaturale in senso lato. Ho appena ricordato, nello scorso capitolo, Bonaventura da Bagnoregio, per il quale la Grazia consente alla ragione umana, caduta a causa del peccato originale, di risalire fino ai limiti della perfezione, e giungere quindi all'intuizione certa dell'esistenza di Dio. E mi sono pure lamentato perché alcuni scienziati, pur senza mai esplicitare il concetto, attribuiscono alla matematica capacità analoghe a quelle ipotizzate da Bonaventura per la Grazia, ma stavolta per quanto riguarda la comprensione del mondo fisico. Tale modo di porre le cose già comincerebbe a esulare dai limiti degli argomenti scientifici e laici trattati da questo libro nel quale, fin dal terzo capitolo, avevamo iniziato a corteggiare la matematica un po' da lontano. Stavolta non possiamo più farci in-

timidire dal suo formalismo (tra l'altro, non lo useremo), poiché è stata lei stessa a prendere l'iniziativa d'intrufolarsi nel discorso surrettiziamente, sotto mentite spoglie, e a rimescolare un po' le carte sfidando la causalità, pur senza averne l'aria. Badate: non sono io l'unico a esprimere perplessità su questi argomenti; diversi scienziati, i quali si dichiarano formalmente atei o agnostici, riservano comunque alla matematica una collocazione speciale nel mondo delle idee; uno *status* privilegiato che la solleva in qualche modo rispetto al resto della natura. Bisogna dunque riparlarne, almeno nell'intento di fornire al lettore maggior quantità d'informazioni, in base alle quali egli stesso potrà poi costruirsi un proprio quadro della situazione.

Riassumiamo. Fino a questo punto, nel discorso sulle capacità della scienza, abbiamo individuato sia un certo numero di limiti a priori, inerenti alle basi del metodo e alla stessa nostra capacità di ragionare, sia altri limiti, di tipo diverso, del tutto indipendenti dai primi, e venuti alla luce un po' alla rinfusa, crescendo assieme alla nostra conoscenza sperimentale del cosmo. Questi ultimi limiti, di solito correlati a situazioni fisiche al di fuori dell'intervallo Kelvin, a modo loro, influenzano e restringono, non meno dei primi, l'umana possibilità di capire davvero il mondo sublunare. D'altro canto, almeno finora, la matematica ci è sempre venuta in ausilio, permettendo di giungere a modelli quantitativamente corretti e, quindi, addirittura funzionali alla costruzione di una tecnologia di uso pratico. Ma, forse a causa di un'implicita fiducia a priori nelle possibilità della matematica, non ci siamo mai chiesti se quest'ultima possieda a sua volta limiti di qualche genere e, nel caso affermativo, quali siano questi limiti.

17.2. L'algebra tipografica di Hilbert

Per chiarire le idee in merito, bisogna tornare all'inizio del Novecento. I grandi matematici di quel tempo, tra i quali spiccava Hilbert, discutevano proprio problemi del genere e, in prima istanza, si dichiaravano propensi a ritenere che, nel campo della logica pura – identificata *tout court* con la matematica da Bertrand Russell –, non esistessero limiti. Anzi: avevano elaborato un'ingegnosa tecnica d'uso pratico, la cosiddetta "*Algebra Tipografica*", per mezzo della quale sarebbe stato possibile individuare sempre nuovi teoremi in modo quasi meccanico, facendo – per così dire – girare le ruote di una macchinetta. In sostanza, chiunque avrebbe potuto usarla e spacciarsi per matematico. La tecnica prende questo

nome, poiché le venti o trenta frasi usate comunemente nelle dimostrazioni matematiche, come per esempio: "Esiste un numero tale per cui..." oppure: "Per ogni numero intero positivo..." eccetera, vengono rimpiazzate da opportuni simboli tipografici, al solo scopo di scorciare la scrittura delle dimostrazioni dei teoremi. Poi, il sistema generale è completato dal numero più ristretto possibile di postulati di base, ossia verità matematiche troppo ovvie perché sia necessario dimostrarle (tipo: «Se esiste un numero, esiste anche il successivo di quel numero» ovvero: se esiste 1, esiste anche 2). Infine, occorre una manciata di regole grammaticali e sintattiche per spiegare all'utente in quali modi sia lecito comporre tra loro i simboli, e in quali altri modi, invece, non sia lecito (ultimo esempio: «Se $A = B$, allora non si può scrivere che A è anche diverso da B »). Dunque: simboli tipografici per esprimere i concetti, verità matematiche ovvie da cui partire (espresse in simboli anch'esse), e sintassi, per evitare di comporre in modo sbagliato i simboli. Tutto qui. Almeno secondo le aspettative dei cervelli algebrici di quei tempi, ciò sarebbe stato sufficiente a costruire via via tutta la matematica, a partire dagli assiomi, e applicando le regole, per cui, alla fine, ogni teorema vero sarebbe stato prima o poi scoperto. E qui occorre un breve inciso: in matematica, *vero* significa "non in contraddizione con i postulati di base o assiomi", i quali si assumono veri per principio. Ora: dal punto di vista di alcuni, l'impresa nel suo insieme potrebbe sembrare sconsiderata e perversa. Come dire: «Non bastano i teoremi già conosciuti? Vogliamo trovarne sempre di più, all'infinito, e scriverli pure in modo criptico? E magari chiederli agli esami?». Ma bisogna ammetterlo: sul piano puramente concettuale, la possibilità di giungere alla dimostrazione automatica di ogni possibile teorema vero era di una bellezza irresistibile.

Intendiamoci: i primi teoremi dimostrati in modo davvero meccanico erano cose piuttosto semplici. Faccende del tipo: «Se mio fratello si chiama Teofilatto, mio cugino si chiama come mio fratello, mio nipote si chiama come mio cugino e mio zio si chiama come mio nipote, se ne deduce irrevocabilmente quanto segue: mio zio si chiama Teofilatto». Questo la dice lunga sulle tare ereditarie della famiglia, ma non si guadagna la Fields Medal per esserci arrivati. Infatti, un conto era aver trovato il sistema di dimostrare (sperabilmente) tutti i teoremi veri in modo automatico, un conto era giungere a qualche teorema un po' interessante, e lì serviva sempre l'inventiva del matematico sennò, in mano a un imbecille, la tecnica avrebbe generato enormi quantità di teoremi verissimi su Teofilatto, ma a quelli di qualche pregio non ci si sarebbe arrivati neanche in milioni di anni. Però, ripeto, contava il principio. Poi, dal 1930 circa, arrivò una

serie di teoremi (ricavati in modo niente affatto automatico) e questi misero i bastoni tra le ruote della sferragliante locomotiva algebrica, facendola deragliare in mezzo a una palude, e affondare tra le sabbie mobili. Partiamo dai bastoni tra le ruote: inceppano molto, ma ancora non fanno deragliare del tutto.

17.3. S'inceppa tutto

Uno di questi teoremi d'inceppamento risale all'inglese Alan Turing, e può essere illustrato facendo riferimento a una procedura elementare per computer. Qui, allo scopo di portare un esempio comprensibile da ogni lettore, propongo una procedura scavata coll'ascia di pietra: un programma di calcolo (sarebbe meglio dire: un *algoritmo* o procedura matematica specificata in ogni dettaglio) per riuscire a individuare quanti siano i numeri interi, a partire da **1** e arrivando fino all'infinito, i quali, elevati al quadrato, forniscano un risultato non superiore a **1**. Ovviamente, di numeri del genere c'è solo **1**, e neanche servirebbe dirlo, poiché già **2** elevato al quadrato fa **4**, e il quadrato di ogni altro numero è maggiore. L'elaboratore, però, non sa nulla di tutto questo, e può solo applicare ciecamente l'algebra tipografica. Stupido, ma molto veloce. Dunque, parte col calcolo di $1^2 = 1$ e dice: «Bene, finora ne ho trovato uno. Andiamo avanti». Prova 2^2 e trova che è maggiore di **1**. Nulla da fare. Passa al numero ancora successivo: 3^2 e, guarda un po', neanche questo va bene. Per quanto tempo dovremo aspettare, prima che l'elaboratore concluda: «C'è un solo numero (e cioè proprio **1**) che risponde ai requisiti»? Purtroppo, un tempo infinito. Questo fu, infatti, il risultato di Turing, anche se io l'ho ridotto ai limiti estremi in maniera un po' troppo brutale, usando metodi pedestri come qualsiasi lettore con un po' d'inclinazione scientifica seguita a rinfacciarmi fin dall'inizio del libro. Ci sono teoremi i quali, se cercati per mezzo dell'algebra tipografica, richiedono una quantità infinita di calcoli, e quindi un tempo infinito, prima di essere trovati. Tranne il caso in cui la risposta venga fornita all'elaboratore già prima di cominciare a calcolare, ma questo significherebbe introdurre sempre nuovi postulati di base, mentre lo scopo dell'algebra, tipografica o no, è mantenerli al minimo. Dunque, prego il lettore di cui sopra di non darmi dell'idiota a causa dell'esempio scelto per illustrare il teorema: se il numero da sottoporre a test non fosse un numero intero nella successione ordinata dei numeri naturali, e magari venisse fuori come risultato di un calcolo molto complicato, in cui entra perfino il caos deterministico, e perciò non si riuscisse a

prevederlo alla prima occhiata ma, a conti fatti, risultasse sempre e comunque maggiore di **1**, non sarebbe mica così semplice accorgersi in anticipo dell'impossibilità a priori di portare a termine il calcolo!

Questa difficoltà di principio era, per gli scopi dichiarati dell'algebra tipografica, molto limitante. Non bastava più un sistema di regole formali applicate alla cieca per dimostrare tutti i teoremi possibili della matematica: occorreva sempre la supervisione del matematico in carne e ossa, per controllare ogni passo e impedire a qualcuno (il computer, o anche un altro matematico) di partire per la tangente.

17.4. Sembra illogico, ma è dimostrabile!

Ma il merito di aver fatto deragliare e affondare la macchina nella palude, ammesso che di un merito si tratti, fu del viennese Kurt Gödel. Egli dimostrò, in due fasi successive, un teorema il quale, espresso a parole, sembra una contraddizione in termini: «La verità di alcuni teoremi non è matematicamente dimostrabile, eppure quei teoremi sono veri» o, alternativamente: «In matematica esistono teoremi veri ma non dimostrabili, e questo (cioè il teorema secondo il quale esistono teoremi veri ma non dimostrabili) è proprio uno di essi!».

Cosa significa tutto ciò? In qual modo si può dimostrare matematicamente un paradosso del genere? Qui non c'entrano per nulla Kant e la causalità del pensiero umano; ci stiamo ancora muovendo ben all'interno del campo di validità della logica pura e semplice, e infatti, appena Gödel pubblicò i propri risultati, i matematici controllarono per bene le sfilze di simboli, e commentarono: «Accidenti, ha ragione!». Non come avvenne con la relatività di Einstein, laddove molti fisici seguirono a restare perplessi e scontenti a lungo: in matematica, se è sì, è sì e basta, e si dimostra una volta per tutte.

Non è possibile spiegare in una pagina questo teorema, e di nuovo debbo chiedere al lettore di credermi per fede. Al più, posso fornirgli un indizio labilissimo. Prendiamo il paradosso di Epimenide: «Dice Epimenide, cretese: "Tutti i cretesi sono bugiardi!"». Ora, chiunque si chieda se Epimenide ha ragione o ha torto, finisce in un circolo vizioso. Infatti, se Epimenide dice il vero, di necessaria conseguenza la sua affermazione è falsa, essendo cretese pure lui, e viceversa. Ebbene, il teorema di Gödel afferma qualcosa del tipo: «Non essendo io un cretese, e potendo quindi giudicare dall'esterno, posso confermare senza dubbio possibile. Tutti i cretesi sono bugiardi, e quindi l'affermazione di Epimenide è vera». No, è troppo semplificato; meglio pro-

vare un'altra strada. Ricorda, il lettore, la procedura automatica vista poco fa, quella per calcolare quanti siano i numeri interi il cui quadrato non è superiore a 1 e, su un computer, non finisce mai? Ebbene, il lettore ricorderà pure di come si fosse inalberato, poiché per lui era ovvio a priori che, dati i termini del problema, non può esistere altro risultato oltre a 1 . Ma rifletta un attimo, il lettore. Nel giungere immediatamente alla conclusione, aveva per caso applicato una qualche procedura algebrica specifica, un algoritmo, o si era piuttosto basato sugli aspetti generali della matematica, quelli ancora a monte delle quattro operazioni? Bravo: aveva ragionato sugli aspetti generali, senza applicare formule, ed era giunto al risultato giusto. Proprio quanto non riesce al più potente computer di questo mondo. Così fece Gödel: passò dalla matematica a un livello di astrazione più alto, al quale si assegna il nome di "metamatemica" (dove "meta" indica appunto una generalizzazione di rango superiore, così come la metafisica studia concetti di livello più elevato rispetto alla fisica), in cui, invece di applicare le leggi della matematica ai numeri, come facciamo di consueto, si applica la logica allo studio delle stesse leggi. In questo modo, egli inventò una notazione metamatematica la quale, usata a sua volta secondo le tecniche dell'algebra tipografica, manipola le leggi matematiche in quanto tali, e conduce a risultati aventi la stessa forza cogente di qualsiasi altra prova matematica.

Quanto ho appena dichiarato non può fornire al lettore un quadro sufficiente per orientarsi, ma ripeto: la dimostrazione è dolorosamente semplice per qualunque matematico. Ancor più dolorosamente difficile, per chi non sia abituato a trattare con le proprietà dei numeri interi, specialmente dei numeri primi e, pur essendo in grado di intendere ogni singolo passaggio della prova di Gödel, dopo tre o quattro passaggi tende a scordarsi il motivo per cui riteneva di aver capito i precedenti, e a domandarsi per quale ragione bisogna procedere a quel modo. Lo so, lo so: il lettore pensa la stessa cosa, parola per parola, di questo libro. Capisce i concetti quando vengono introdotti, ma gli risultano oscuri appena li incontra di nuovo qualche capitolo dopo; si chiede come aveva fatto a capirli la prima volta, perde il filo e non sa più dove si stia andando a parare... succede così anche agli scienziati: l'avevo detto all'inizio. Questo libro, pur sotto forme divulgative, tratta idee non necessariamente banalissime, no?

17.5. Però, non traiamone conclusioni esoteriche

Dunque, siamo arrivati a un nuovo tipo di limite per la matematica e, più in generale, per la logica. Un limite molto più prossimo di quello cau-

sale di Kant, e ben all'interno della zona in cui alla ragione umana è lecito spaziare. Ma, se ci pensiamo, è un limite ben strano. Gödel dimostrò l'esistenza d'infiniti teoremi non dimostrabili, il suo essendo solo il capostipite della serie, e, malgrado ciò, riuscì a provare che lo stesso teorema non dimostrabile era vero. Sarebbe come dire: la matematica ha dei limiti ma, al medesimo tempo, è più potente della matematica stessa, poiché riesce a superare quei limiti. A edificazione del lettore, va aggiunto un elementino biografico: Gödel, il quale era un po' maniacale, ma non certo un cretino, fu stupefatto in prima persona dal suo teorema, e giunse a ritenerlo una prova sperimentale dell'esistenza, nell'essere umano, di un'anima trascendente, in grado di superare le limitazioni della natura (e impostò discorsi sulla reincarnazione, eccetera). La prova, ovviamente, non si basava sul contenuto specifico del teorema, ma sul fatto di esserci potuto arrivare. Le conclusioni metafisiche di Gödel non convinsero nessuno, è chiaro, ma resta il fatto che il teorema di Gödel ha quanto meno una conseguenza un po' inquietante, e vale la pena di farla notare al lettore, sebbene i pareri dei logici, matematici, fisici ecc. non siano unanimi in proposito. La conseguenza è la seguente: il teorema di Gödel può essere dimostrato solo se si fa un salto più in alto dell'algebra tipografica. Se si supera, cioè, la mentalità algoritmica. Purtroppo, non è finora stato possibile ideare, o anche ipotizzare solo per sommi capi, sulla base di ogni conoscenza scientifica dei nostri tempi, alcun modo per consentire a un computer di superare i limiti imposti dall'algebra tipografica. Se ne ricava una deduzione inattesa: nessuna macchina esistente, o progettabile in base a leggi di natura oggi conosciute, è in grado di simulare il comportamento di un cervello umano (diciamo: il cervello di Gödel). Per quanto ne sappiamo, dunque, è come se il contenuto delle nostre scatole craniche possedesse a priori una marcia in più rispetto a ogni macchina pensabile ai nostri tempi. E non serve a nulla la scappatoia di dire: «Beh, inseriamo nel computer (o nella matematica stessa) anche il teorema di Gödel come postulato di base, e tutto va a posto!», poiché si dimostra immediatamente come, accettato questo modo di procedere, scatta fuori un teorema di Gödel *di secondo livello*, e così via all'infinito, e noi siamo in grado di dimostrarli (beh, io non sarei capace, ma Gödel, forse, sì), mentre una macchina no. Anzi: il celebre fisico-matematico Roger Penrose sostiene, in un modo secondo alcuni convincente, secondo altri meno, un'ipotesi non banale da demolire. Mentre io, voi, ogni essere umano, siamo quanto meno in grado di capire il teorema di Gödel se qualcuno ce lo ficca a martellate nella zucca, qualunque computer concluderebbe altrimenti, appaiandolo al paradosso di Epimenide. Il teorema conterrebbe una contraddizione

non risolvibile dal computer e, a seconda di come è costruito quest'ultimo, esso si bloccherebbe, o continuerebbe a girarci sopra all'infinito, o cercherebbe di eliminare fisicamente l'essere umano che glielo ha proposto, ritenendolo un'apparecchiatura in avaria. Dunque, un elaboratore può essere enormemente più veloce di chiunque di noi a risolvere problemi del tipo: «Se Baldassarre, Melchiorre e Gaspare vanno a prendere una pizza con Renzo e Lucia, e se Gaspare ha la cravatta verde, Renzo non beve birra, ecc. ecc., si chiede: chi pagherà le pizze?». O, più banalmente, un *sudoku*. Problemi, cioè, in cui viene fornito il numero minimo indispensabile di informazioni, il più alla rinfusa possibile, e ci si pone lo scopo d'individuare la soluzione unica. L'elaboratore prova tutte le soluzioni, le scarta tutte meno una in base alla coerenza tra la soluzione e le condizioni, e lo fa in una frazione di secondo, ma non può rispondere a domande tipo: «Epimenide dice la verità o mente?», mentre noi sappiamo benissimo come il cretese, per quanto mentitore abituale, in questo caso particolare sia sincero (sto esagerando nel semplificare, ma l'imbocco della strada verso cui sto trascinando il lettore è quello giusto).

Le opinioni sugli argomenti appena trattati, dunque, sono discordi: c'è, infatti, chi non esclude la possibilità, qualora si disponesse di un computer sufficientemente potente, e lo si istruisse abbastanza (ma come? non è chiaro), che alla fine la macchina comincerebbe ad avviarsi pure lei lungo percorsi mentali, in senso lato, diversi da quelli imposti da una programmazione rigida, e... chissà? Ma, per l'appunto, sono ipotesi. Magari supportate da ragionamenti non matematici, senza uno straccio di dimostrazione di fattibilità, sia pur teorica, esente da critiche. D'altra parte, i sostenitori dell'impossibilità, per un computer, di riuscire prima o poi a "gödelizzare" (è un neologismo abbastanza usato nel gergo, e rende l'idea di un'astrazione di livello superiore la quale conduca, in genere, a una prova logica d'impossibilità di fare qualcosa), dopo aver dimostrato con certezza quasi assoluta perché questo limite debba esistere, non sanno anche spiegare, in modo altrettanto convincente, perché il cervello umano possa invece riuscirci, almeno nei tradizionali termini riduzionistici. In questi casi, lo stesso Penrose fa riferimento a presunte leggi di natura non ancora scoperte, ma da parte mia non vedo perché nuove leggi fisiche, anche se più complesse di quelle oggi in nostro possesso (la famosa **LEGGE** di cui abbiamo parlato nei capitoli precedenti), dovrebbero esibire la caratteristica di evadere dal paradigma riduzionistico. Complicarlo, magari, sì, ma uscirne, boh? Sì, certo, se mi tirate fuori la comparsa di qualità olistiche da un certo livello in su, si può rendere ragione di qualsiasi cosa, ma non è questa la strada imboccata da Penrose e altri.

17.6. Qualcuno sta litigando sul serio

Brevissimamente: calma e sangue freddo. Sto solo notando una situazione d'imbarazzo, magari temporanea, e mi secca trovare, sui *blog*, un continuo svolazzare di accuse, talvolta addirittura male parole. Perché succede, su argomenti come questi: scienziati professionisti e non professionisti litigano aspramente, e si comportano in modi umanamente sgradevoli. Attenzione, perciò, a come si ragiona: un computer abbastanza veloce e adeguatamente programmato è già in grado di battere un campione del mondo di scacchi, ma questo non ha ancora reso una realtà la simulazione del pensiero umano in situazioni complesse. Infatti, il computer contiene una codifica in cui sono già esplicitate tutte le mosse consentite, e una tabella con i valori, o punteggi, relativi a varie configurazioni di pezzi sulla scacchiera; valori elaborati in base all'esperienza di grandi quantità di scacchisti umani. Siccome la macchina calcola molto in fretta, essa può prevedere in pochi secondi l'esito di un gran numero di mosse, contromosse, contro-contromosse successive e così via, individuando volta per volta la mossa migliore da eseguire, affinché questa massimizzi, almeno su basi statistiche e probabilistiche, il valore della posizione dei propri pezzi sulla scacchiera dopo un bel po' di scambi. Al contrario, il contendente umano difficilmente può tenere a mente le diramazioni e moltiplicazioni di possibilità oltre due o tre mosse, e si basa su considerazioni molto generali, in cui trova posto anche la geometria dei pezzi sulla scacchiera. Alla fine il computer vince più spesso dell'umano, ma solo per velocità e capacità di memoria, senza sapere minimamente cosa fa e perché.

17.7. Gli elettroni sono ottimi matematici

Lasciando questo inciso alla contemplazione del lettore, c'è un altro aspetto della matematica su cui vorrei attirare la sua attenzione. Immaginiamo di riempire un laboratorio di campi elettrici e magnetici, magari variabili rapidamente sia nello spazio, sia nel tempo. Dopodiché, spariamo a casaccio un fascio di elettroni in questo laboratorio. Si tratta di una situazione descritta matematicamente da un insieme complicatissimo di equazioni, nelle quali intervengono sia la MQ, sia il caos deterministico, per le quali nessuno riuscirà mai a trovare una formula risolutiva utile a prevedere con precisione totale, e per quanto tempo si voglia, il moto delle particelle gettate nella mischia. Certo, con grande pazienza, e utilizzando semplificazioni, un matematico, un fisico, un ingegnere saranno in

grado di scrivere un programma per computer, il cui esito sia la previsione di quanto avverrà durante l'esperimento in modo tollerabilmente corretto, almeno per tempi brevissimi. Ma solo in prima approssimazione, si badi, e anche semplificando molto, sarà comunque necessario far fumare il computer.

Ora: per quanto io ne sappia, le particelle sono oggetti troppo semplici perché ciascuna di esse riesca a immagazzinare grandi quantità d'informazioni. Detto in altro modo: un elettrone è troppo stupido e ignorante per conoscere tutte le equazioni cui deve obbedire il suo moto. Ma, se lo spariamo nel laboratorio, comincerà subito a muoversi nel modo giusto, senza alcuna esitazione, quasi avesse risolto con precisione, e istantaneamente, le equazioni descrittive del suo moto. Come fa?

Badate, non mi sto appigliando a qualche sesto o settimo senso; vorrei invece restare sul concreto scientifico. Ho ricordato come la matematica sia stata giudicata irragionevolmente efficace nel descrivere la natura, ma ho appena indicato un caso in cui la matematica stessa, pur potendo delineare la struttura di un problema complicato con l'accuratezza desiderata, fallisce nel risolverlo, laddove una banale particella elementare "sa" esattamente la soluzione. Quali conclusioni possiamo trarre da questa considerazione? Non ne ho idea. C'è chi ipotizza che la soluzione di ogni equazione sia già scritta nella matematica, da qualche parte, e noi non l'abbiamo ancora scoperta; come dire: «La matematica sta là e descrive esattamente la natura. Noi, però, abbiamo bisogno di tempo per esplorarla tutta, e ce ne sono parti esistenti, ma a noi ancora sconosciute». In un certo senso, sarebbe la stessa matematica ad acchiappare l'elettrone per il bavero e condurlo nella danza. Però, questo modo di pensare urta contro alcuni generi di impossibilità matematiche già dimostrati. Altri pensano il contrario: siccome la matematica è un parto del nostro intelletto, ne deve condividere le limitazioni. Essa, dunque, sarebbe solo uno dei tanti modi possibili di descrivere la natura, e ce ne inventiamo pezzi al bisogno. Dunque, la realtà (l'elettrone, in questo caso) se ne sta per conto proprio, e noi ci limitiamo a farcene modelli grossolani, siano fisici o matematici, poco importa.

Il lettore ha già incontrato questo dilemma, e ricorderà come io mi sia dichiarato inabile a risolverlo, sebbene propenda più per la seconda delle opinioni sopra esposte. Perché rispolverarlo in questo contesto? Bene: il teorema di Gödel gli aggiunge spessore, per così dire. È forse il superamento di un limite fittizio, imposto da noi stessi (un vecchio paradigma)? O la scoperta di un'altra verità preesistente, assieme alla prova che il nostro cervello non lavora come una macchina e, anzi, una macchina non è

in grado di arrivare dove può giungere l'intelletto umano? Là fuori c'è qualcos'altro oltre alla materia, allo spazio, al tempo, a tutto il conoscibile scientificamente? La risposta continua a non essere banale, e qualunque scelta («Sì, c'è» oppure «No, non c'è») sta cominciando a sfuggire sempre più da ogni appiglio razionale e materiale, per sfumare in un approccio fideistico. Alcuni matematici moderni, per risolvere il dilemma, vanno orientandosi verso un atteggiamento sperimentale, quasi da fisici, nei confronti della matematica stessa. Non solo utilizzano molto il computer, ma basano alcune delle loro argomentazioni su quanto un computer potrebbe o non potrebbe fare, esaltando, come fondamento di tutto, il concetto di "informazione". Voglio cercare di far percepire al lettore un barlume dei discorsi di questo tenore.

17.8. Matematici che non credono ai numeri

Tutti sappiamo cos'è un numero reale: occupiamoci, in questo caso, dei numeri reali compresi tra 0 e 1 , includendo lo 0 ma escludendo 1 , per cui il più grande numero reale compreso in questo intervallo è $0,99999999\dots$ con infiniti "9" dopo la virgola, mentre il più piccolo sarà, ovviamente, $0,00000000\dots$. In linea di massima, un generico numero reale si presenterà sotto la forma: $0,83661502739\dots$ in cui compariranno infinite cifre decimali, a casaccio, senza nessuna regola di ricorrenza, e anche se conoscessimo un milione o un miliardo di cifre decimali, non saremmo assolutamente in grado di prevedere la successiva. L'unico modo per sapere davvero quale sia questo numero reale, sarebbe scriverne tutte le infinite cifre decimali, la qual cosa, ovviamente, è impossibile in pratica e pure in teoria. Sembra un controsenso, ma un numero puramente casuale, e quindi non contenente alcuna informazione, si può scrivere solo disponendo di una quantità d'informazione infinita (le sue infinite cifre decimali). Ebbene: è stato ormai dimostrato matematicamente come la maggioranza dei numeri reali sia tale, per cui essi non sono calcolabili come soluzione di una qualsiasi equazione, o sommatoria fino all'infinito di una serie convergente, e così via. Non esiste, in altri termini, la possibilità di *definire* un generico numero reale; di dargli un nome, di riferirsi a lui in un modo qualsiasi, se non scrivendolo tutto, con le sue infinite cifre. E badate, quando parlo della maggioranza, intendo quanto segue: i numeri reali definibili (porto l'esempio più noto di $\pi = 3,14159\dots$, il quale può essere calcolato come somma degli infiniti termini di una serie precisa: $\pi = 4 \times (1 - 1/3 + 1/5 - 1/7 + 1/9 - 1/11 + 1/13\dots\dots)$, e perciò non solo gli possiamo assegnare un nome e un significato, ma ad-

dirittura una formula per descriverlo completamente, onde le sue infinite cifre sono calcolabili grazie a una quantità d'informazione finita) sono solo un infinitesimo rispetto a quelli normali, i quali non sono definibili se non scrivendoli per intero. In queste condizioni, non c'è tanto da meravigliarsi se alcuni concludono: «Perché dovrei credere nell'esistenza dei numeri reali, non essendoci alcun modo praticabile per distinguerli, e scriverli per intero è impossibile per principio?». Ebbene, sì: siamo giunti ai matematici che non credono nell'esistenza dei numeri. O, per lo meno, della quasi totalità dei numeri, poiché quelli definibili, pur essendo infiniti anche loro, rappresentano solo un infinitesimo del totale. E, a questo punto, non si tratta più di un fatto culturale da lasciarci freddi: stiamo cominciando a sfiorare concetti un po' inattesi, tali da far risuonare corde sensibili dell'animo (del pensiero) umano, e pretendiamo dei chiarimenti. Anche perché i teoremi sull'impossibilità di definire i numeri reali sono, in buona parte, parenti stretti del teorema di Gödel, e il dubbio sulla possibilità di gödelizzare da parte di una macchina rimane forte. Ma non avremo, dalla matematica, altre risposte, almeno per quanto riguarda un futuro prevedibile. Per il futuro remoto... bene, ormai lo sapete: io applico il principio del riduzionismo. Per me, prima o poi, qualche macchina sarà in grado di gödelizzare, perché il cervello umano è in grado e, dal mio punto di vista, è solo una macchina biologica molto complicata. Però, per arrivare a questo risultato, devo usare un principio. In pratica, tutto ciò è ancora largamente indimostrabile. Infatti, sebbene il mio riduzionismo radicale pretenda che il funzionamento del cervello debba essere sempre e comunque descrivibile in base alle leggi essenziali di natura (pur se, in pratica, non ne richiedo la prova), devo ammetterlo: percepisco le argomentazioni di coloro i quali sostengono la singolarità del teorema di Gödel in quanto spartiacque non valicabile più solide di quelle dei matematici e logici per i quali la situazione potrebbe essere più fluida. Il teorema esiste, è comprensibile e non presenta sbavature logiche. Aggirarlo per affermare che, tutto sommato, anche una macchina, forse, considerando... Insomma: ci sono di mezzo troppi *se* e *ma*, troppi condizionali perché io possa mandar giù la cosa senza storcere il naso. D'accordo, mi si può sempre obiettare l'ingollamento senza smorfie del rospo velenoso della MQ, ma quella era fisica sperimentale: la natura ha fatto certe scelte, le vediamo in senso stretto, le usiamo in pratica per fini tecnologici, e bisogna accettarle senza discutere. La matematica, invece, sembra essere un'elaborazione umana; arrivare a pensare come Gödel, considerando il suo teorema come la prova sperimentale di un qualche impiccio soprannaturale circolante tra neuroni e sinapsi... non mi piace. Per me, Gödel non può avere ragione per quanto riguarda l'anima trascendente. Il mio atto di fede riduzionistica mi

proibisce di credergli, così come mi proibisce pure di credere in qualsiasi alternativa finora proposta...

Ma, a proposito di atti di fede, ce n'è un altro rimasto in sospeso fin dall'inizio di questo capitolo, e sul quale sono un pochino più deciso. Solo un pochino, però. Ci si chiedeva: «La matematica è abbastanza potente da fornire un appoggio credibile all'intuizione, pure quando i suoi risultati sono interpretabili in termini di violazione formale al principio di causalità, come nei casi estremi previsti dalla RG (quelli appena accennati nel capitolo precedente, e altri da vedere in un capitolo successivo, parlando di teorie e ipotesi sull'origine dell'universo)?». Non posso avere la risposta assoluta a questa domanda, ma sono pure convinto che affermare un bel «Sì!» rotondo a priori contenga elementi di superficialità. Piuttosto, sono orientato, tra mille dubbi, per una risposta negativa. Asserire senza remore: «Certo, se la matematica lo dimostra, la causalità può essere violata e basta» mi sembra l'avvio di uno scivolone intellettuale senza limiti, in conseguenza del quale, oltrepassando d'un balzo le obiezioni di Kant, si può giungere a provare scientificamente la verità di tutto e del contrario di tutto. Questo andrebbe benissimo come relativismo filosofico, ma non nella scienza. D'altronde, non mi sembra neppure così ovvio negare a priori la validità della matematica, se applicata a un caso, per quanto estremo, non in violazione formale dei postulati di base, tanto più se considero la capacità straordinaria, dimostrata più volte dalla matematica, nel domare casi refrattari all'intuizione, fino al punto di consentire la progettazione di apparecchiature tecnologiche funzionanti in base a principi fisici ripugnanti all'intelletto umano. Presento un'ipotesi tutta mia: forse bisognerebbe comportarsi in analogia a come si fa frequentemente, allorché un certo sistema fisico sia descritto da un'equazione algebrica di secondo grado, dalla quale si ricavano due soluzioni numeriche possibili, la prima delle quali è di segno positivo mentre l'altra presenta il segno negativo. L'usanza è accogliere solo il risultato positivo, poiché quello negativo non ha ovviamente significato fisico. Dunque, scarterei non già le soluzioni matematiche della RG implicanti una violazione della causalità, ma quanto meno un certo modo d'interpretarle intuitivamente, da far rabbrivire e rivoltare nella tomba il povero Kant. Però, è un'ipotesi, e neanche io ne sono del tutto convinto...

Il lettore è confuso, lo so. Ma non sarebbe stato onesto da parte mia omettere questa discussione. Purtroppo, tutti sono confusi, a cominciare dagli stessi matematici, se escludiamo quelli che hanno compiuto una scelta ideologica ben precisa. Una scelta ideologica, però, è appunto quanto ormai sappiamo essere: un atto di fede personale a priori, non giustifi-

cabile in base a qualsiasi ragionamento scientifico in senso stretto, e quindi privo di ogni valore cogente. E il lettore ha il diritto di sapere come stanno le cose. Ne ha il dovere, anzi, perché quasi certamente anche lui finirà per fare la propria scelta di campo su cosa pensare della matematica (a parte tutto il male possibile, e sarebbe ingeneroso), e non può permettersi di non rendersi conto dell'arbitrarietà di tale scelta. Io, per esempio, tendenzialmente mi sento portato a considerare la matematica solo un parto dell'intelletto, e ne traggo la conclusione secondo cui, un giorno, sarà possibile costruire macchine pensanti in senso stretto, ma sono ben conscio di come la mia idea non sia scientificamente difendibile, come non lo è neppure quella opposta, almeno al momento attuale. Perciò mi riservo di poterla cambiare di fronte a evidenze convincenti, e suggerisco al lettore di comportarsi allo stesso modo. Mentre, per quanto riguarda l'ipotizzata capacità della matematica di poter gestire correttamente un'eventuale violazione del principio di causalità, porto avanti il mio riduzionismo di principio, circoscritto fermamente dalla causalità, da cui consegue come sia illecito trarre conclusioni intuitive in casi non supportati dal pilastro della causalità stessa. Ma anche qui con una certa riserva.

C'è una frase buffa, esprime lo stato d'animo dei matematici, posti di fronte alla prova logica secondo la quale, non potendosi dimostrare la verità di tutti i teoremi *veri*, non sarà mai possibile provare che la matematica vada esente da contraddizioni o incongruenze interne. La frase suona più o meno: «Dio esiste, perché la matematica è congruente. Però esiste anche il diavolo, perché ciò non è dimostrabile». Attenzione: è solo un modo di dire a effetto.

17.9. Ricapitolando

Insomma: cos'abbiamo imparato stavolta? Scusate, ma non me la sento di formalizzarlo in punti troppo specifici, se non per dire:

A-XVII) Il teorema di Gödel pone la matematica, e più in generale la logica, in luce ambigua, dimostrando che non tutte le verità logiche sono dimostrabili.

Senza forzare troppo, pongo quindi un nuovo limite alla umana capacità di conoscere in modo scientifico, ma anche la sua formulazione è dubitativa.

19-XVII) L'incompletezza di principio della matematica rappresenta l'emergere di un nuovo limite di conoscibilità dell'intelletto umano, indipendente da tutti gli altri collazionati finora.

18. MAI INOLTRARSI NELLA TERRA DI NESSUNO!

18.1. Ripassiamo qualcosina sui limiti della scienza

Qui è possibile fermarci un attimo per fare il punto della situazione perché, ormai, abbiamo gli elementi per arrivare almeno ad alcune conclusioni. Rischiamo il primo fra gli enunciati attorno ai quali tutto il volume è costruito. È contenuto nel punto A-I, e lo ripeto per comodità.

A-I) *Enunciato A*: «La scienza ha ormai dimostrato l'impossibilità dell'esistenza di **DIO**».

Avevo affermato, nel capitolo 1, come esso enunciato sia culturalmente screditato. Posso ormai rendere ragione del mio modo di porre le cose e, spero, il lettore mi troverà obiettivo.

Un primo indizio per farci sospettare quanto l'*Enunciato A* sia almeno un po' arditto sul piano logico, ce l'ha fornito Immanuel Kant: no, non è possibile affermare scientificamente alcunché su Dio (per il momento, con la sola iniziale maiuscola, ma ciò vale anche per *dio* tutto minuscolo, purché gli attribuiamo le qualità di causa prima). Infatti, Egli (egli) trascende per definizione il principio di causalità, mentre il modo di ragionare della scienza è rigorosamente causale, e quindi inadeguato alla trattazione del problema. Abbiamo visto un argomento analogo, ma più ampio e specifico, in quanto comprende non soltanto ragionamenti teorici, ma pure fatti sperimentali, trattato da Eddington nel suo apologo del pescatore o ittiologo.

Però, è stato proprio quest'ultimo apologo a correggere un po' la mira della pura e semplice argomentazione kantiana. Diamo per scontato che l'ittiologo non potrà mai trovare nella rete un pesce più corto di 5 cm, poiché quest'ultimo se ne sguscerebbe tra le maglie. Ma, una volta assodata la regola secondo la quale il pesce più grande mangia il più piccolo, l'ittiologo si accorgerà pure di come i pesci di 5 cm, almeno se appena pescati, non sembrano moribondi per fame. Ciò potrebbe suggerire al nostro curioso pescatore qualche indizio, sia pure indiretto, su qualcosa di più corto di 5 cm, in possibile interazione (prima della pesca) con gli oggetti coi quali si sta confrontando. Si potrebbe pensare a una ricerca d'indizi indiretti ma quasi con-

vincenti: la scienza ci potrebbe porre di fronte a prove collaterali, oblique, chiaramente rivolte in una direzione o nell'altra? Questo insieme di dubbi, come già rilevato, deriva dalla stessa definizione di **DIO** in quanto interagente col mondo e coll'essere umano. La sua eventuale azione potrebbe, almeno in linea di principio, lasciare residui, tracce, segnature ricadenti entro i limiti della sperimentabilità scientifica, e ciò equivarrebbe a cogliere **DIO** con le mani nel sacco.

A questo proposito, ho già discusso ampiamente (ma lo richiamo) un caso che, per mia formazione culturale, io considererei dirimente in assoluto: il libero arbitrio. Se un giorno fosse possibile realizzare in pratica una macchina di qualsivoglia specie, in grado di prevedere, sistematicamente e senza errore alcuno, il futuro comportamento di un essere umano *specifico*, ciò mi basterebbe come dimostrazione della non esistenza del libero arbitrio. Di conseguenza, smetterei di preoccuparmi dell'esistenza di **DIO** (lo vedo correlato al libero arbitrio, in quanto sua unica possibile fonte), considerandolo quanto meno non necessario o, comunque, non interessante. Insisto su questo punto, sia perché è rilevante nel contesto specifico del discorso, sia perché è indicativo, più in generale, di un possibile tentativo scientifico di cogliere **DIO** in flagrante.

Procedendo nel ragionamento, e analizzando l'attuale stato della scienza, abbiamo visto come, per quanto riguarda la possibilità umana di leggere e intendere il gran libro della natura, non esistano solo le due limitazioni di principio: una sperimentale, data dal metodo, e l'altra di tipo kantiano, relativa al modo di ragionare. E insisto: non mi riferisco a eventuali mondi spirituali sulla cui esistenza la scienza neppure si pone il problema, ma a quello fisico, naturale, sublunare, sulla cui esistenza, al contrario, la scienza non si pone dubbi, in congruenza col postulato A-II (realismo scientifico).

Abbiamo scoperto, per esempio, in qual modo la MQ imponga un confine, con ogni verosimiglianza invalicabile, per la logica (causalità).

In più, il caos deterministico è potenzialmente suscettibile di amplificare a livello macroscopico gli effetti dell'indeterminismo insito nella MQ.

La relatività ci fa toccare con mano come le categorie intuitive di spazio e tempo non descrivano adeguatamente le strutture su cui si fonda madre natura, con l'aggravante di introdurre inversioni del tempo apparentemente trattabili sul piano puramente matematico, ma interpretabili intuitivamente in violazione della causalità, e questo ci fa sorgere forti dubbi sulla legittimità di spingere i nostri ragionamenti oltre un certo limite. Ripeto: esistono già oggi, sulla carta, progetti ingegneristici della macchina del tempo ma, di fronte a essi, alcuni fisici si chiedono: «È davvero scienza *seria*?».

La matematica stessa la quale, fino a un certo punto, sembra essere in

grado di travalicare ogni confine e descrivere ogni situazione concepibile nel mondo naturale, tentenna e solleva dubbi sui propri fondamenti logici, affermando di non essere in grado di risolvere questi dubbi per motivi di principio, dimostrati una volta per tutte.

Sto solo elencando una serie di limitazioni *di secondo livello* alla descrivibilità scientifica del mondo; limitazioni non implicite a priori tra quelle dovute al metodo scientifico. Quelle appena riportate, infatti, sono saltate fuori così: sperimentando e ragionando, e hanno fatto storcere il naso a chi aveva fede nell'onnipotenza della scienza. Si tratta di limitazioni acquisite da un secolo o giù di lì; non ci sommo ipotesi più recenti, come quelle sull'esistenza di dimensioni spaziali aggiuntive (si parla di sei o sette in più) rispetto alle tre da noi conosciute e capite, oltre a eventuali, ulteriori dimensioni temporali, magari arrotolate, rispetto alle quali l'intuizione si ritira in buon ordine, facendo ciao con la manina.

Inciso: deliberatamente, mi rifiuto di aggiungere, alla lista degli ostacoli, scientificamente invalicabili anche in futuro, i problemi sollevati dai teoremi di Gödel e Turing, sulla difficoltà di principio nel costruire qualcosa potente come un cervello umano, e dunque questa frase non va letta come una banale preterizione. La mia posizione culturale (riduzionistica) in merito all'evoluzione del pensiero è di ritenere che, se questa evoluzione ha avuto luogo, essa dev'essere compatibile con le leggi di natura. Sono, anzi, convinto assertore di quello che molti definiscono "principio totalitario della fisica", il quale recita: «Se qualcosa non è vietato, è obbligatorio». Vale a dire: se il verificarsi di un evento non è espressamente proibito da una legge di natura, inevitabilmente, prima o poi, in un qualche angolo dell'universo, quel certo evento, per quanto improbabile, avrà luogo per forza. Dunque, pure di fronte alle obiezioni (già sollevate prima della fine dell'Ottocento) riguardanti l'ipotizzata, scarsa utilità evolutiva di un cervello in evoluzione, nei nostri antichi progenitori, appena quel tantino in più di quanto sarebbe stato indispensabile per gestire il metabolismo e i sensi, e allo spreco di risorse apparentemente fatale da ciò comportato, rispondo, riponendo la mia fiducia nelle leggi enunciate da Darwin, e concludo: «Se non era impossibile per leggi di natura (e sfido chiunque a provarlo scientificamente), prima o poi doveva verificarsi». E nessuna meraviglia se è successo proprio a noi perché, se così non fosse stato, non saremmo qui a parlarne. Un primo caso, da alcuni considerato estremo (ma ne incontreremo un altro, ancor più estremo), dell'influenza dello sperimentatore sull'esperimento che sta conducendo: se lo sperimentatore (e cioè noi) non ci fosse, non ci sarebbe neppure l'esperimento (ovvero la constatazione secondo cui il cervello umano è troppo grande, almeno in

termini di evolucionismo ingenuo e semplificato oltre il tollerabile). E qui l'inciso termina.

Per arrivare al punto: scegliendo direttamente, come pietra di paragone ove fondare ogni successivo ragionamento sui possibili rapporti tra la scienza e **DIO**, il problema finora più complesso in cui ci siamo imbattuti studiando il mondo materiale, e cioè la descrizione esatta del funzionamento del cervello umano incluso il libero arbitrio, ci siamo resi conto dell'esistenza di motivi di principio, non superabili né ora né mai, onde la nostra affilata lama scientifica non può reggere alla prova di tagliare, senza infrangersi, un macigno indistruttibile.

Quando porto argomenti del genere in conferenza, giunti a questo punto, qualcuno obietta inevitabilmente: «Lo affermi *per quanto ne possiamo sapere noi*, ma forse, un giorno, coll'ulteriore evoluzione del cervello umano...». Sì, certo, lo ammetto: personalmente non sono mai riuscito a trasformare il piombo in oro pronunciando «Abracadabra» e gesticolando in modo appropriato, ma chissà, forse, un giorno...

18.2. Finalmente, l'Enunciato Z

La conclusione tratta sopra per quanto riguarda il libero arbitrio è, a mio modo di vedere, più generale di come io l'abbia raccontata, e si estende a un'infinità di indimostrabilità pratiche, senza neppure bisogno di tirare in ballo quelle pulci nell'orecchio della scienza che vanno sotto il nome di "miracoli" i quali, per me, possono avere valore dirimente solo di tipo privato, molto difficilmente pubblico. Il lettore può sbizzarrirsi, e applicare ragionamenti analoghi a casi scelti a suo piacimento, in cui potrebbe verificarsi un'interferenza diretta tra **DIO** e il mondo materiale. Di sicuro, riflettendo in tutta onestà intellettuale, giungerà sempre a dar di cranio su un fatto irrevocabile. In linea di principio, la scienza moderna lascia spazio per consentire uno spettro illimitato di interventi extranaturali (anche se nessuno potrà mai pretendere di capire da parte di chi, come, perché, utilizzando quali mezzi, eccetera) privi di ogni segnatura da noi rivelabile in modo non ambiguo, e perciò cogente. In termini strettamente scientifici, dunque, lungi dall'aver dimostrato che **DIO** non esiste, si può ormai considerare provato quanto segue: se **DIO** esiste, egli può fare i suoi comodi sotto il nostro naso, interagendo direttamente, e come solo lui sa, con la materia, l'energia, la natura in senso lato, noi stessi presi ciascuno individualmente o collettivamente, in angolini oggi, e per sempre, celati ai poveri mortali. Ma butto le mani avanti riaffermando il mio agnosticismo scientifico di principio: non

considero per nulla tale stato di fatto (insisto a morte: è un fatto, non una opinione) come un indizio, sia pure il più labile, in favore dell'esistenza di **DIO**. Esprimo, dunque, il concetto opposto all'*Enunciato A*, sotto forma di *Enunciato Z*, perché lo considero, a questo punto, un'acquisizione definitiva del pensiero scientifico.

Enunciato Z: «La scienza ha dimostrato in modo definitivo l'esistenza di aspetti della natura attraverso i quali **DIO** potrebbe interagire col mondo sensibile, senza lasciare tracce rivelabili dagli esperimenti». Quando ho affermato che, se **DIO** c'è (e non so se ci sia), non si fa cogliere con le mani nel sacco, più o meno questo avevo in mente. Per il momento, e finché avrò vita, dovrò appagarmi di questa conclusione. E il lettore, se ha digerito l'abbondante scorpacciata elargita fino a questo punto (non siamo ancora alla frutta), sarà propenso – spero – a concordare con me: effettivamente, sostenere l'*Enunciato A* è, oggi come oggi, indice di cultura scientifica un po' arretrata (pur se – ripeto – barbe o parrucche di scienziati/e e professionisti/e lo sostengono ancora, su basi ideologiche). Secondo logica e buon senso è ormai saggia politica d'igiene mentale cancellare dal proprio intelletto l'*Enunciato A*, e sostituirlo coll'*Enunciato Z*.

Giunto a questo ribaltamento di enunciati, però, non vorrei suscitare nel lettore nuovi equivoci. Giustizia e raziocinio pretendono che io insista su un concetto (veramente, già l'ho espresso con chiarezza) su cui tornerò ancora. In base alle conclusioni ormai raggiunte, e in funzione di altre, future, ritengo un grave errore, non solo scientifico, ma addirittura teologico, appoggiare un'eventuale fede in **DIO** su elementi naturali, in merito ai quali la scienza non è ancora in grado di pronunciarsi. Il lettore dovrebbe ormai averlo capito: il vezzo di cercar di spiegare un qualcosa di sconosciuto mediante qualcos'altro pur esso sconosciuto, per non dire inconoscibile, è una grave violazione del metodo, anche se certa cultura moderna ne fa lo strumento di lavoro privilegiato. E, sebbene io non sia un teologo, mi sembra ragionevole attendermi un accordo pure su quanto sto per affermare: l'eventuale, successiva, spiegazione in termini scientifici di quel qualcosa finirebbe per ritorcersi contro la fede religiosa di chi ve l'avesse fondata. Pure questa non è farina del mio sacco: già Galileo era stato altrettanto esplicito in materia, nella citata lettera a Madama Cristina, la cui lettura raccomando a chiunque, sebbene, in quel luogo, la lingua di vipera del padre della fisica si dispieghi più velenosa che altrove. Ma poveraccio, ne aveva ben donde!

Essendoci liberati una volta per tutte dall'*Enunciato A*, e avendolo sostituito coll'*Enunciato Z*, anzi di metter mano ai successivi *B* e *C*, chiedo venia al lettore se mi permetto d'inserire in questo luogo due digressioni. La prima è breve, e lo chiama direttamente in causa con una richiesta precisa:

se è veramente convinto della maggior evoluzione culturale dell'*Enunciato Z* rispetto a quello *A*, se la sentirebbe di superare ogni rispetto umano e difenderlo pubblicamente di fronte a chi, invece, sostenesse ancora l'*Enunciato A*? Lo so, non è banale sul piano sociale e psicologico, e non me la prenderò con lui se non lo farà; da questo punto di vista, ho peccato anch'io, e forse peccherò ancora: non sono in condizioni di scagliare la prima pietra. Abbia però cura, il lettore, della propria onestà intellettuale, poiché potrebbe capitargli la ventura, o sventura, di essere uno di coloro i quali, per vivere bene, hanno bisogno di stimarsi da sé, non bastando loro la stima altrui.

E passo alla seconda digressione, molto più lunga. Parafrasando Leopardi, la definirò: "Saggio su alcuni errori popolari de' moderni".

18.3. Per favore, non sbirciate

Come già fatto altre volte, torniamo a ipotizzare l'esistenza, oltre al mondo fisico, di un altro (nulla vieta di battezzarlo "*metafisico*" in senso molto lato). Non sto affermando positivamente la sua esistenza, ricordate: lo sto solo ipotizzando per comodità di discorso. Niente sappiamo su di esso: se esista e, nel caso in cui ci fosse davvero, di cosa si tratti; deve solo essere separato dal mondo fisico. Per dirla schietta, le sue eventuali caratteristiche non c'interessano. Chiediamoci, piuttosto, se abbia qualche significato profondo il motto frequente, diventato ormai un luogo comune anche in bocca a scienziati di chiara fama, secondo il quale: «*La scienza è finalmente giunta a rasentare i limiti della metafisica*» (pensiamo al big bang inteso come creazione, alla biologia molecolare come preludio alla generazione e manipolazione della vita, al funzionamento della mente umana, e chi più ne ha più ne metta). Prima di raccontare la mia, voglio sapere: cosa pensa, il lettore, di questo modo di porre le cose? Ah, è d'accordo... uhm!

Io penso... mettiamola giù come segue: si tratta di un'affermazione di una povertà intellettuale e culturale degna di un oscurantismo preistorico, anziché medioevale. Ma come! Tante pagine per raccontare come, e perché, lo steccato che circonda la scienza si trovi ben *al di qua* dei limiti del mondo fisico, ed ecco: qualcuno allunga la testa *al di là* dello steccato invisibile per cercar di brucare dell'erbetta forse inesistente ma che, se pure ci fosse, gli sarebbe indigesta! Per forza, poi, l'esito finale di un'operazione del genere non trova utilità nemmeno come concime! Spero di aver fornito al lettore giustificazioni sufficienti a spiegare il motivo del mio convincimento, se non a persuadere anche lui: i limiti della scienza si trovano a distanza tale da quelli (ipotetici) della metafisica o della religione, per cui l'estensione della terra

di nessuno è, ai fini pratici, infinita. O, se si preferisce, inconoscibile ora e per sempre. Da questa parte, e cioè per mezzo della scienza, non si può vedere cosa c'è dall'altra parte, e neanche capire se ci sia un'altra parte, o qualcosa del tutto: non solo la terra di nessuno è smisurata, ma è pure avvolta da nebbia fitta. Se là c'è qualcosa e, soprattutto, qualcuno, magari, costui può pure disporre dei mezzi per comunicare con questa parte, ma a noi non è data certo la possibilità di scoprirlo in modo scientifico. Basta con queste idiozie sul raggiungimento di confini e sul diritto di invadere la terra altrui, e badate a non equivocere! Non sto affatto parlando da un punto di vista religioso, tutt'altro! Il mio discorso, e la mia arrabbiatura, vanno letti come reazione di uno scienziato laico, riduzionista. Non voglio trovare la mia casa devastata da palate di fango o peggio; su questo non transigo. Ho dedicato l'intera mia vita alla scienza e non permetto a nessuno, foss'anche il più illustre dei premi Nobel, d'insozzarmela a questo modo, sputando sulle sue basi, sul metodo, sulle linee che la guidano e le hanno consentito di crescere fino alle dimensioni imponenti di oggi, e ancor più di domani.

Ma già! Ho lanciato accuse e debbo renderne conto. Userò dunque la tecnica farisaica di nominare il peccato e non il peccatore, mettendo in risalto alcuni strani modi di procedere di certi colleghi (ammesso che il far parte di una comunità scientifica in qualità di professionista possa consentirmi di aspirare al rango di collega d'ingegni migliori) in campo metafisico. Lo ammetto: certi ragionamenti mi lasciano un po' perplesso sulla capacità, da parte dei ragionatori, d'intendere fino in fondo le basi logiche del loro argomentare. Mi riferisco alla vera e propria frenesia, da parte di qualche scienziato, prevalentemente fisici, e biologi in senso lato – comprendendo quindi medici, genetisti e perfino paleontologi –, ma sporadicamente si trovano pure matematici, di sconfinare nella metafisica. Frenesia di dimostrare scientificamente l'inesistenza di Dio, e state tranquilli: per ora ho tra le mani l'*Enunciato A*, e il discorso mi porta in questa direzione, ma nei prossimi capitoli ce ne sarà pure per quelli, come Gödel e non solo, che pretendono di giocare la partita opposta, volendo dimostrare l'esistenza di Dio.

Secondo me, si tratta di una banale trappola ideologica in cui molti finiscono col cadere, e gli scienziati non sono meno ideologizzati delle altre categorie di comuni mortali. Anzi, fatemi dire una malignità. Leggendo tra le righe, si capisce come, spessissimo, in questo campo, entri in gioco il *complesso di Galileo*, e ve lo racconto come segue: «Se Galileo è diventato famoso per essere stato condannato dalla Chiesa, forse, dicendo qualcosa di eretico, riuscirò a diventare famoso pure io...». O, molto più platealmente, il sillogismo inconscio secondo cui: «Siccome, nel caso di Galileo, la religione aveva

torto, è automaticamente vero l'opposto: chi dà torto alla religione è nel giusto». Logica un po' opinabile.

Avviso: nella presentazione di alcuni tra gli errori popolari, ignorerò una vasta letteratura di lamentazioni in senso lato, i cui precursori si possono far risalire all'Egitto del Primo periodo intermedio, attorno al 2100 a.C. Da quell'inizio lontano, laddove non si andava molto oltre esortazioni del tipo: «Chi vuol esser lieto, sia: / di doman non c'è certezza, perché gli dèi, tanto, non s'interessano a noi», si assiste a una lenta evoluzione verso forme di scetticismo basate su: «Dio non esiste, perché altrimenti non ci sarebbe il male», e questa è una posizione di certo umanamente rispettabile, ma non dimostrativa di nulla. In tempi più moderni, esplodono presunte dimostrazioni scientifiche (a volte esilaranti, basate su un *ego* ipertrofico dell'autore), ridicibili a: «Sai perché Dio non esiste? Perché, se io fossi stato al suo posto, avrei fatto le cose meglio...». A parte problemi di arroganza intellettuale, l'errore logico è banale, per chi sia giunto fin qui: attribuire motivazioni umane, e perciò causali (a volte strettamente economiche, e non scherzo), a un'entità non causale per definizione. Su questi argomenti, escono venti libri l'anno ma, caro lettore: ormai hai imparato a riconoscerli, e quindi "non ragioniam di lor, ma guarda e passa".

In molte circostanze, presunte dimostrazioni scientifiche si basano su un banale equivoco semantico. Confondono tra **DIO** e dio, essendo quest'ultimo assimilabile alla totalità di quanto esiste, includendo anche la mente, qualunque cosa ciò voglia dire. Debbo restare nel vago: non si può essere più precisi, quando si decide di scavalcare il filo spinato, per avventurarsi nelle sabbie mobili (minate, per di più) della terra di nessuno che potrebbe esserci tra la scienza e la metafisica, sulla cui ipotetica geografia mi sono espresso poc'anzi. Ma vediamo qualche esempio più specifico di furore iconoclasta, un po' carente sul piano scientifico.

18.4. I fisici e la causa prima

Per quanto riguarda i fisici, un qui pro quo frequente è quello di identificare l'evento definito big bang con la creazione metafisica; quella veramente *ex nihilo*. Dal mio punto di vista, il big bang rappresenta con ogni probabilità (lo stato attuale delle conoscenze non mi consente di asserirlo con assoluta certezza, ma il mio pensiero va piuttosto in quest'ultima direzione) un semplice anello, in una catena di eventi, la quale si può benissimo estendere all'infinito per ogni dove, spazialmente, temporalmente eccetera. Non provo, cioè, alcuna tentazione d'identificarlo con la Crea-

zione con l'iniziale maiuscola (potrebbe pure essere, ma non ne vedo la necessità sul piano scientifico e neppure sotto il profilo religioso). Ebbene: sono stati sviluppati diversi modelli nei quali si afferma, più o meno esplicitamente, che il cosmo da noi conosciuto, il familiare universo attorno a noi, non richiede una causa prima. Questi modelli si possono raggruppare in due grandi famiglie: la prima afferma l'esistenza dell'universo come una pura e semplice conseguenza delle leggi di natura, e conclude: «*L'universo non poteva non esistere*». La seconda famiglia, un po' più subdola, *incurva* il tempo, seppure in maniera differente da un modello all'altro, in modo da eliminare l'istante corrispondente al tempo zero allorché, presumibilmente, dovrebbe aver agito la causa prima (continuo a scriverla con le minuscole perché, come ho già fatto presente, dalla necessità logica di una causa prima non ritengo lecito arrivare scientificamente a **DIO**).

Riguardo alla prima famiglia di modelli, c'è ben poco da dire. Se il lettore ha avuto la pazienza di cercar di capire quanto non riesco a spiegare per mie carenze culturali e intellettive, sa benissimo come in quest'ordine d'idee ci si limiti solo a spostare il problema da un luogo all'altro, da una tartaruga all'altra, come nel capitolo 5. In particolare, se si accetta l'esistenza del cosmo come una conseguenza inevitabile delle leggi di natura, si sposta molto banalmente l'azione della causa prima la quale, anziché far esplodere il big bang, ha portato in essere le leggi di natura qualunque esse siano, pure se diverse da quelle che conosciamo oggi, forse solo leggi in senso lato, magari statistico o quanto ci piaccia. Tutto qui. A volte è penoso constatare come intelletti brillanti – e non lo sto affatto dicendo in tono ironico – si pavoneggino nella beata illusione di aver espresso un concetto eretico il quale, però, è tale solo secondo loro. Sovente, costoro si fregiano dell'antica (e obsolescente) qualifica di liberi pensatori senza rendersi conto che, se **DIO** non esiste, a maggior ragione, nei termini rigidamente riduzionistici da essi stessi invocati, non può esistere il libero arbitrio e, dunque, sebbene *pensatori, liberi* non sono di certo. Ma partecipiamo tutti della natura umana, debole e fallibile, e ci è giocoforza perdonare queste piccole vanità intellettuali. Sì, certo, mi ci metto in mezzo anch'io. E anche il lettore, s'intende.

La seconda famiglia di modelli è soggetta alle stesse limitazioni della prima, e ad altre ancora. In fin dei conti, qualunque ipotesi scientifica deve comunque basarsi su leggi di natura in senso lato, e quindi richiede almeno la causa prima in quanto causa di queste ultime. Ma, peggio ancora, per questa famiglia si può risollevarne anche un altro dubbio già espresso: se il tempo si curva fino a invertire il rapporto causale, siamo per questo legittimati a concludere la caduta del rapporto causale stesso (questa

caduta viene invocata come “causa”), e quindi non occorre più ipotizzare una causa prima (questa conclusione viene raggiunta in quanto “effetto”)? Non ne sono convinto per nulla e, a onor del vero, anche alcuni propositori di questi modelli lo ammettono tra le righe: forse, col loro lavoro, si limitano a spostare il problema senza poterlo davvero risolvere. Anzi, diciamo pure: percepiscono essi stessi la scure di Kant pericolosamente vicina al collo!

Insomma, il vezzo di alcuni fisici, di voler escludere scientificamente la causa prima, pecca almeno di ingenuità intellettuale.

18.5. I biologi e il finalismo

Meno immediato da discutere è il caso dei cultori di scienze biologiche. Qui pesano, probabilmente, abitudini di pensiero acquisite nel corso della professione, ma non solo. Per un medico, l'essere umano è una macchina biochimica non troppo diversa da un pollo o da un lombrico, e nient'altro. L'atteggiamento è giusto, intendiamoci: quando sto male, voglio essere curato da un medico e non da uno sciamano. Però, l'abitudine a connettere in modo causale il funzionamento di un organo coll'altro, di una proteina coll'altra, finisce per buttar fuori dalla mente, conscia e inconscia, l'eventualità dell'esistenza, in senso lato, di qualche qualità non strettamente organica. In fin dei conti, pure la mentalità dei fisici non è poi tanto diversa, quando essi trattano il gioco delle cause seconde, e passa loro di mente il problema della causa prima. Ma gli studiosi di biologia molecolare e di paleontologia hanno altri cavalli di battaglia. Pensandoci bene, lo studio del gene – specie se correlato a quello del metabolismo – è il campo in cui si dovrebbe applicare il riduzionismo più sfrenato e questo, intendiamoci, mi trova perfettamente d'accordo. L'eventuale complicazione intellettuale è nel porsi il solo problema di come operi la connessione chimica nel condurre dall'unità di memoria organica (il DNA) alla forma e alla funzionalità (soma e metabolismo) dell'organismo vivente. A volte, quindi, per deformazione professionale, può mancare un po' al genetista la percezione diretta – che invece ne dovrebbe avere il fisico, anche se non tutti si adoprano per raggiungerla – della maggiore o minore solidità delle fondamenta, e quindi della qualità delle certezze costruite su tali fondamenta. Per come è impostato il mestiere, dunque, il genetista muta il riduzionismo assoluto dalla scienza in quanto tale, ed è portato a trarne alcune conseguenze, al suo livello di elaborazione, senz'altro logiche e definitive. Però, un'analisi capillare sulle basi del ragionamento po-

trebbe riconoscerle come puramente modellistiche e, a volte, addirittura indimostrabili. Perché questo è il limite del riduzionismo: si tratta di una lama a doppio taglio. Se la base è solida, lo è anche tutta la costruzione. Ormai, però, sappiamo come la base stessa abbia in sé delle limitazioni, e ne abbiamo parlato per un numero spropositato di pagine. Di conseguenza, tutto l'edificio costruitovi sopra dal muratore scientifico soffre comunque delle stesse limitazioni. In sintesi, dare per dimostrata la non esistenza del trascendente (o faccende del genere) in quanto basta la biochimica a spiegare il funzionamento della vita, è conclusione non scientifica. Perché la biochimica ha come fondamento la chimica, questa la fisica, e quest'ultima... una quantità enorme di incertezze congenite, che le vietano a priori qualsiasi conclusione sul trascendente. Dunque, se la biologia accetta (a volte *pretende*) di utilizzare il riduzionismo, anche a questa scienza è vietato ogni pronunciamento sull'esistenza dell'anima, di **DIO**, e via discorrendo.

Ancor più complessa si presenta la situazione in paleoantropologia e, più in genere, in paleontologia. Qui, si tende a non riconoscere un valore aggiunto trascendente all'essere umano, a causa della natura contingente dei fenomeni che hanno condotto alla sua comparsa. Le leggi enunciate da Darwin (non fa alcuna differenza per i nostri scopi, se ormai sia tempo di correggerle e/o precisarle meglio) mostrano come, nel processo di mutazione naturale, giochino ruoli preponderanti sia il caos statistico, sia quello deterministico. Errori chimici stocastici nella copiatura del DNA, da cui conseguono microscopiche differenze a un certo punto dell'albero evolutivo, possono condurre a divergenze macroscopiche in tempi successivi. Non è richiesta a priori nessuna legge del progresso o dell'aumento della complessità cerebrale e altre amenità del genere; occorre solo tanto, tanto tempo, e ce n'è stato: la storia della vita sulla Terra conta la bellezza di quasi 4 miliardi di anni (3,7? 3,8? Cosa cambia?). Un meteorite può quasi azzerare, e far ripartire in modo del tutto imprevedibile, il percorso dell'evoluzione. Una bollicina di magma nel nucleo terrestre può essersi sviluppata in una direzione o nell'altra conducendo, in superficie, a fenomeni geologici aventi come esito un'era glaciale o un'età del fuoco (caos deterministico). Perfino le radiazioni ionizzanti, terrestri o celesti, hanno potuto condurre a mutazioni genetiche, e siccome alcune di queste ultime diminuiscono o accrescono l'adattamento dell'organismo al sistema in cui esso è immerso, nessuno può dimostrare o smentire un'affermazione del tipo: «Se, due miliardi d'anni fa, un certo raggio cosmico fosse passato un decimillesimo di millimetro più a sinistra, e non avesse dato luogo a una particolare mutazione genetica, oggi non esisterebbero sul

nostro pianeta organismi multicellulari». Per rendere l'idea, un detto favorito dei paleontologi e degli evoluzionisti è: «Potendo tornare indietro nel tempo, e far scorrere nuovamente l'evoluzione, la situazione della vita oggi verrebbe fuori del tutto diversa». Se ne deduce – giustamente – che la comparsa dell'essere umano ha carattere del tutto contingente, e nulla era predisposto affinché noi fossimo qui.

Il finalismo ha rappresentato una piaga del pensiero scientifico per molti secoli, poiché ha condotto scienziati di genio a non voler intendere quanto era scritto davvero nel libro della natura. La perfezione dell'occhio come macchina per vedere – tanto per portare l'esempio classico – è suggestiva di un disegno di qualche genere. Dalla metà dell'Ottocento in poi, comunque, abbiamo finalmente accettato l'idea secondo cui il gioco neutrale della natura, prolungato per periodi di tempo abbastanza lunghi, e accoppiato alla selezione biologica, possa benissimo mettere assieme macchine di complessità enorme, come appunto quelle oggi viventi. E qui si comprende come, essendo stato proprio il finalismo la penultima trincea (finora; dell'ultima a tutt'oggi, dirò in un altro capitolo) su cui si sono attestate le retroguardie di chi voleva a ogni costo dimostrare scientificamente un intervento diretto di **DIO** nella natura, siano forse gli evoluzionisti, rispetto ad altri scienziati, a mantenere il dente più avvelenato nei confronti di ogni rigurgito religioso. Tanto più che c'è da combattere contro il fondamentalismo biblico e quello coranico, i quali risorgono perennemente come idra politica, sociale e culturale. Ma la prova della non esistenza di **DIO** in virtù della casualità dei processi aventi come esito finale (per ora) l'essere umano è esente da critica sul piano metodologico? No di certo. La contingenza dell'evoluzione non prova l'impossibilità, da parte di **DIO**, di dirigerla a suo piacere, a livelli non congruenti con la sperimentazione scientifica diretta, in linea coll'*Enunciato Z*. In fin dei conti, la base ultima dell'evoluzione è a livello molecolare, anzi di puro e semplice legame atomico, obbediente alla MQ. E dunque anche l'assoluta casualità presiedente all'evoluzione di tutto, incluso l'essere umano, non prova nulla pro o contro l'esistenza di **DIO**, poiché neppure la casualità fisica può essere indagata fino in fondo dal nostro intelletto e, quindi, dalla scienza. Qualcuno può forse dimostrare che quel particolare errore chimico di copiatura, la cui conseguenza remota è stata la possibilità di sviluppo degli esseri umani, non sia stato diretto proprio dall'intervento divino dove e quando necessario? No, come non è dimostrabile il contrario. Ovviamente, a volte, anche qui interviene qualcuno a dire: «Dio non esiste, perché, al suo posto, io avrei fatto evolvere l'essere umano in maniera più ovvia e lineare, più economica...», e noi guardiamo, e passiamo...

18.6. Ancora un po' sull'olismo

Non vorrei dire di più su discipline diverse dalla fisica o dalla matematica, anche perché il lettore dovrebbe ormai essere entrato ben in profondità nel meccanismo del quale mi servo per smontare ogni prova definitiva scientifica dell'esistenza di **DIO** e, ovviamente, della sua non esistenza. Non si può dimostrare scientificamente nulla su **DIO**, poiché tutto è riducibile a leggi di natura, ma la nostra possibilità di conoscere queste ultime (ripeto: non la nostra conoscenza odierna, ma la stessa possibilità di conoscere, e quindi anche in futuro) è soggetta a limitazioni severe, alcune delle quali già sono ben appariscenti. E, se il progredire delle scoperte scientifiche ha condotto all'emergere di nuovi limiti imprevisi, quanti ne abbiamo ancora da individuare? Piuttosto, chiedo scusa a medici, biologi, paleontologi e altri, per un'esposizione così rudimentale, e di sicuro criticabile sotto diversi aspetti, delle loro discipline. Faccio quanto posso, e non è molto, me ne rendo conto da solo. Ma domando loro: siete proprio certi che le vostre eventuali, e giustissime, critiche siano in grado di ribaltare le conclusioni fondamentali cui pretendo di essere giunto? O non si tratta piuttosto di critiche – importanti quanto si voglia, certo – in conseguenza delle quali si richiederebbe di rifrasare il discorso in modo tecnicamente più corretto, senza però modificarne le conclusioni?

Il discorso vale solo se non spunta fuori, a un certo livello, il solito olismo il quale, come abbiamo visto diversi capitoli fa, può essere considerato il contrario esatto del riduzionismo. L'olismo – ripeto – ipotizza il sorgere, a un certo livello di complessità nell'organizzazione di un sistema, di proprietà realmente nuove, non riducibili a quelle relative al livello immediatamente inferiore. Si tratterebbe di autentiche leggi di natura a livello di base, non interpretabili per mezzo di altre leggi, già per conto loro di *status* fondamentale, come per esempio la MQ o quelle relative alle interazioni tra particelle elementari. In alternativa, l'insorgere di queste proprietà nuove potrebbe essere apparentemente graduale, ma già questo secondo punto di vista è meno difendibile, in quanto dovrebbe comunque esistere un livello di soglia al di sotto del quale il nuovo comportamento non c'è, e al di sopra del quale compare. In tal caso si tratterebbe sempre di olismo puro e semplice, anche se nascosto a livelli in cui ancora non si manifesta in modo eclatante. Se, invece, l'emergere delle nuove leggi fosse davvero graduale, a partire dai livelli più bassi, le presunte leggi olistiche sarebbero banali aspetti, un po' riposti, di leggi riducibili a quelle di livello base, come tutte le altre. Solo, non sarebbero evidenti fino a un certo grado di complessità e d'interazioni tra parti diverse, interne ed ester-

ne al sistema in esame. In quest'ultimo caso, andrebbero soggette anche loro al riduzionismo più assoluto.

È il momento d'insistere un po' sull'olismo nella scienza. Infatti, a suo tempo, ho già rilevato come, nelle scienze biologiche in generale, la mentalità olistica trovi un po' di humus. Quando un sistema è troppo complesso per poterlo analizzare a livello riduzionistico estremo (perfino la più semplice cellula vivente sfida ancora, mentre scrivo queste pagine, ogni capacità di descrizione riduzionistica esatta) e già richiede modelli approssimati, può sorgere la tentazione d'invocare proprietà olistiche. In casi del genere, però, il termine *olismo* viene utilizzato in senso metaforico, sottintendendo che vige un riduzionismo di base, ma sarebbe troppo complicato applicarlo per la descrizione del fenomeno di cui ci si occupa, e dunque conviene in pratica utilizzare *leggi seconde*, dominanti solo a livelli di complessità elevati, proprio come se fossero *leggi prime*. È un atteggiamento perfettamente lecito, e anzi conveniente nella stragrande maggioranza dei casi. L'interazione tra organismo e ambiente esaspera le apparenze olistiche, ma il riduzionismo è fatto salvo come principio, e con tutte le sue conseguenze.

Qualcuno, di tanto in tanto, mi obietta, da una prospettiva rigorosamente atea: «Ma come, non te ne accorgi da solo? Il riduzionismo non funziona! La tua autocoscienza e il tuo libero arbitrio non sono fenomeni non-riduzionistici?». Notate: solo raramente, persone attive nella ricerca scientifica parlano di olismo puro e semplice; si preferisce restare sul vago, sul non-riduzionismo... chi ha orecchie intenda... E, se chi obietta è deciso a mantenere il punto per motivi ideologici, nessuno ha strumenti scientifici per arguire in modo probante. Comunque, no; per me, l'autocoscienza è solo un epifenomeno (anche questo termine l'abbiamo già incontrato: è il progressivo emergere di una legge derivata, legge di second'ordine, magari così appariscente da dominare il sistema all'aumentare della complessità, senza però spezzare la catena del riduzionismo), un sottoprodotto del modo di funzionare del cervello.

«Un momento», potrebbe essere l'obiezione successiva. «Hai già ammesso come, nella dinamica cerebrale, possano essere all'opera processi indeterministici, non soggetti ad analisi scientifica esatta. Perché non ammetti che il fenomeno olistico dell'autocoscienza, e quello del libero arbitrio, possano sorgere proprio lì?». Questa eventuale obiezione la classifichiamo tra gli sbagli metodologici. Io so di esprimere un atto di fede, quando mi affido al riduzionismo. Invocare necessariamente l'olismo in ogni angolo buio è un altro atto di fede, non dimostrabile razionalmente, al pari del mio. Ma c'è pure un errore tecnico dirimente: la cosiddetta autoco-

scienza ha forse il potere d'influenzare l'indeterminismo quantistico? O il caos deterministico? Per quanto io sappia o percepisca, non mi sembra davvero! Dunque, pure se il processo di elaborazione cerebrale comporta l'amplificazione, secondo le leggi del caos deterministico, di fluttuazioni quantistiche, ne consegue forse la possibilità, da parte umana, di manipolazioni per farne venire fuori il libero arbitrio? No di certo! La MQ segue la statistica e basta.

18.7. L'Oriente spirituale

Vanno molto di moda, nell'epoca in cui scrivo, operazioni editoriali basate su paralleli tra mondo quantistico e mentalità olistica, in specie se poggiate su filosofie orientali interpretate da occidentali i quali, sotto il pretesto dell'unità fra opposti, infilano un pizzico di *spirito* da tutte le parti, senza però specificare a quale genere di spirito si riferiscano. Molti anni fa rimasi colpito da un aneddoto riportato da Thomas Merton (in un contesto culturale di ben più elevato spessore, però, e infatti la mia censura non è rivolta verso questo pensatore), riguardante uno dei primi missionari cristiani in Cina. Costui aveva stretto un'amicizia personale molto intensa con un monaco zen. Malgrado i due facessero onestamente ogni sforzo possibile per comprendere ciascuno le idee e le argomentazioni dell'altro, lo Zen non poteva fare a meno di restare interdetto quando il sacerdote gli chiedeva se lui ritenesse di avere un'anima. Non era il concetto di *anima* a complicargli la vita, ma quello di *avere*, perché implicava, a monte, la differenza tra due soggetti: lui e l'anima, onde lui potesse avere una cosa diversa da lui stesso, il cui nome era anima. Per il monaco, infatti, l'unità essenziale di tutto l'esistente era un modo di sentire così radicato da non consentirgli, materialmente, di pensare a una distinzione tra lui e l'anima. Avendo spiegato il substrato del ragionamento, metto in guardia il lettore nei confronti di più moderne turpitudini, in quanto lasciano al punto di partenza nel migliore dei casi, confondono le idee nel peggiore. Forse, parte della mia contrarietà nei confronti di tali letture deriva dal mio materialismo di fondo che, in questo arco storico, assume le vesti culturali del riduzionismo assoluto. Infatti, perfino un materialista ha il diritto morale, se così preferisce, di orientare la propria libera scelta verso **DIO** (se **DIO** esiste la scelta potrebbe essere libera, altrimenti non lo è di certo), ma può compierlo solo dopo aver fatto piazza pulita di ogni residuo spiritualismo da osteria. Voglio comunque rilevare – per onestà intellettuale – come la mentalità condizioni davvero. In Occidente (e non sto elevando un peana alla cultura occidentale, ma solo constatando

do i fatti) la scienza e la tecnologia sono progredite ai livelli attuali anche grazie all'abitudine mentale di distinguere e classificare. Non voglio sostenere che questo sia un bene in assoluto: per me lo è, ma conosco molte persone la cui opinione è profondamente diversa; mi limito a raccontare quanto vedo. In Oriente, per esempio, la matematica si è sviluppata più rapidamente, rispetto all'Europa, almeno fino a un certo livello. Molte delle conquiste della matematica mutate dall'Europa nel Medioevo per il tramite del mondo arabo, infatti, vengono più da levante, dall'India, compresi il concetto di zero e la notazione numerica posizionale definita "*cifre arabe*", la trigonometria e i logaritmi, e ora sappiamo come fosse in cantiere perfino il calcolo differenziale. Ma le scienze naturali, laggiù, hanno avuto vita più difficile. Non so dire se tutto ciò – come è stato ipotizzato da alcuni filosofi e storici – sia correlato alla visione cristiana del mondo e della vita come *divenire* e *progresso*, in opposizione alla visione ciclica, dell'*eterno ritorno*, di alcune religioni dell'Est. Incuriosito da questi interrogativi, mi sono chiesto: i fisici cresciuti alla scuola buddista in generale (di cui lo Zen è solo un caso particolare) capiscono meglio di noi la MQ? E, come fisico professionista, non ho avuto grandi difficoltà a indagare su un problema così sottile, avendo sotto mano colleghi giapponesi e indiani, e leggendo i loro lavori in proposito. La risposta è: no, assolutamente no! Per loro, la MQ è un mistero totale come per noi. E questo toglie qualunque validità allo spiritualismo pseudo-scientifico orientaleggiante.

Siamo al termine. Alcune delle conclusioni più importanti dell'intero libro sono riassunte qui, anche se possiamo intenderle davvero solo alla luce di quanto seminato in tutti i capitoli precedenti.

18.8. Ricapitolando

A-XVIII) Non esiste una sovrapposizione di confini tra la scienza e la religione (o tra fisica e metafisica), ma solo una terra di nessuno del tutto invalicabile, imperscrutabile, e di estensione indefinita (infinita?).

B-XVIII) Possiamo considerare acquisito l'*Enunciato Z*: «La scienza ha dimostrato in modo definitivo l'esistenza di aspetti della natura attraverso i quali **DIO** potrebbe interagire col mondo sensibile, senza lasciare tracce rivelabili dagli esperimenti».

C-XVIII) L'*Enunciato A* sull'obsolescenza del concetto di **DIO** è contraddetto dalla scienza moderna (senza poterne dedurre in conseguenza la verità dell'enunciato dialetticamente opposto).

Nel prossimo capitolo, toccherà agli *Enunciati B* e *C*.

19. I MITI DELLA RAZIONALITÀ E DELL'ETICA NATURALE

19.1. Come definire la razionalità

Avvio questo capitolo facendo notare al lettore come, una volta depennato l'*Enunciato A* dall'elenco delle affermazioni sostenibili scientificamente, lo spazio di manovra restante per quelli *B* e *C* si restringa di conseguenza quasi automatica. Con tutto ciò, vale la pena di dirne qualcosa di più specifico. Partiamo, dunque, coll'analisi dell'*Enunciato B*, qui ricordato: «Oggi non è più possibile coltivare contemporaneamente una mentalità scientifica e una religiosa, poiché la prima si basa sulla razionalità, la seconda sull'irrazionalità».

Premessa: non essendo io un grande esperto in religione o religioni, ma solo un professionista della scienza, non prenderò in esame la parte di enunciato che recita: "la religione si basa sull'irrazionalità". Ovviamente, se a un'analisi attenta questa affermazione non si rivelasse sostenibile, cadrebbe la validità dell'enunciato. Ma io non sono in grado di produrmi in valutazioni di questo genere, e pertanto mi limiterò a discutere sul piano rigorosamente scientifico, avvalendomi di tutte le conclusioni cui sono giunto finora.

Perfino il lettore più esigente, se ha inteso quali siano i limiti della scienza per quanto riguarda la conoscibilità del puro e semplice mondo fisico, sperimentale, sensibile o come lo si voglia definire, e addirittura di quello più etereo della matematica, sarà ormai in grado d'intendere il mio stato d'animo quando affermo, in quanto scienziato professionista, lo sgradevole senso d'impotenza nel percepire come la razionalità (probabilmente, nelle intenzioni di chi sostiene un qualche genere di *Enunciato B*, razionalità sarà più o meno sinonimo di logica) si presenti inadeguata a fornirmi modelli intellettuali della realtà della natura. Ma andiamo in ordine, dando per scontata (almeno temporaneamente) l'identità: "razionalità = logica" nell'enunciato.

Già ne ho parlato, ma ripropongo il problema: quando Michelangelo o Beethoven si adopravano a generare le opere per cui sono oggi famosi,

rinunciavano a utilizzare la razionalità? Non credo proprio; a modo loro, forse, costruivano i propri teoremi in senso lato, ma l'analisi in termini scientifici di una sinfonia o di un affresco riesce a comunicare tutto quel che l'artista aveva in mente? Di sicuro, indagini di questo tipo sono interessanti sul piano culturale, ma altrettanto di sicuro la piena godibilità di un'opera d'arte prescinde totalmente da una sua qualsiasi parcellizzazione in senso logico. Se poi rammentiamo quali siano le basi del metodo scientifico, in specie la frase di Leonardo in cui la scienza è limitata a quanto è sperimentale, giungiamo ad affermare senza possibilità di contraddizione: «Non tutta la logica è scienza». La scienza si occupa di una parte soltanto, rispetto a quanto esiste (in senso lato) di logico e, più progredisce lo scibile umano, più ce ne rendiamo conto: la frazione appannaggio della scienza è piccola.

Ora, proviamo a ragionare in due modi alternativi. La costruzione della scienza a partire dalla logica sarebbe definita, da un ingegnere gestionale: approccio "top-down". Ovvero: dall'alto (la logica) al basso (la scienza). E abbiamo visto come una procedura del genere faccia parte del gioco scientifico, sebbene non lo esaurisca. In termini opposti, l'approccio "bottom-up" parte dall'esperimento, ossia "terra-terra", e cerca di formalizzarne i risultati in modo logico. Questo è l'aspetto complementare nella costruzione della scienza. Proprio seguendo l'approccio *bottom-up*, ci siamo imbattuti nella MQ e nella RG, giungendo a conclusioni inquietanti. La MQ, infatti, non è suscettibile di essere descritta da una modellistica logica intuitivamente accettabile, e perfino la sua modellistica matematica ha solo valore statistico, mentre è del tutto impotente a prevedere l'esito del singolo caso. La qual cosa ci fa sospettare che la natura si comporti in modo non causale (laddove la causalità rappresenta il pilastro irrinunciabile della logica), ancorché i limiti della ragione, individuati da Kant, non consentano di affermarlo positivamente. Nella RG, incontriamo situazioni più subdole, matematicamente descritte in gran dettaglio, interpretando però le quali ci si trova di fronte a un'inversione dei rapporti causali e, pertanto, alla caduta del pilastro della logica. In estrema sintesi, l'approccio *bottom-up* alla costruzione della scienza conduce a una conclusione sgradevole, ma inevitabile: «Non tutta la scienza è logica». Così, unendo finalmente le due metà dell'aforisma (non pretendo di assegnare un valore di principio a queste considerazioni, ma ormai sono dati di fatto accettati, e s'impongono da sé), per definizione e per risultati sperimentali, arriviamo a dire: «Non tutta la logica è scienza, non tutta la scienza è logica». Si tratta di una frase a effetto, ma non per questo non è vera. Anzi: lo è dolorosamente, per il ricercatore che si occupi delle basi del sa-

pere scientifico. E badate, mi rifiuto di accettare un limite di conoscibilità, quale quello implicito nell'aforisma, come una sconfitta della scienza; al contrario: la comprensione di un limite è sempre e comunque un avanzamento intellettuale definitivo. Ma, arrivati a questo punto, traiamo una prima conclusione. Per quanto riguarda l'**Enunciato B**, e avendo identificato la razionalità con la logica, non si può, in tutta onestà, affermare che la mentalità scientifica si basi esclusivamente sulla razionalità. All'inizio si parte così, ma se si vuol procedere oltre la punta del proprio naso, occorre immediatamente accettare il pastone servito da madre natura, in cui la trasgressione alla causalità della logica sembra essere un ingrediente fondamentale.

Dunque, la scienza non si basa esclusivamente sulla razionalità. Abbiamo pure dimostrato la falsità dell'**Enunciato B**, no? No: sbagliato.

19.2. Non è solo un machiavello

Insisto su quanto ho già richiamato più volte nel discorso precedente. Ho forzato le parole identificando arbitrariamente la razionalità con la logica, e ne ho tratto le conseguenze estreme. Qualcuno, forse, ha accettato il discorso senza rendersi conto del trucco: tale identità non è inevitabile. Altri avranno percepito punti di attrito. Io, per esempio, li colgo. Portiamoli alla luce.

Il discorso, per ora, è sulla sola logica: possiamo, come Bertrand Russell, spianarla sulla matematica o su qualsiasi campo dello scibile umano in cui sia possibile definire assiomi, nel senso di verità ovvie a priori. Poi, si applica il principio di causalità e ci si costruisce sopra. La scienza, invece, è qualcosa di diverso, perché richiede anche l'accettazione del risultato sperimentale, qualunque esso sia. Cosa accadrebbe, dunque, se ampliassi un po' il concetto associato alla razionalità, in modo da fargli comprendere non solo il rigorosamente logico (ovvero causale), ma pure quanto posso toccare con mano in natura, perfino nel caso in cui ciò non si presenti rigorosamente logico? Per una mentalità scientifica come la mia, quest'uso del termine "razionalità" (per comodità di discorso, d'ora in poi sarà associato al simbolo r_a) sarebbe più convincente. E, di conseguenza, l'**Enunciato B** riprenderebbe vigore. Diamine: nel momento in cui includo nella logica anche tutto il mondo percepibile in maniera sperimentale, la scienza diventa sicuramente razionale per definizione, anche se r_a è comunque qualcosa di leggermente diverso, sia rispetto alla sola scienza, sia alla sola logica. L'analisi scientifica dell'**Enunciato B**, in questi

termini, riparte da zero, poiché **DIO** non è raggiungibile causalmente, e nemmeno sperimentabile, e quindi *potrebbe essere definito "irrazionale"*.

Però, forse, la chiave per interpretarlo non è così lontana. Infatti, abbiamo già mostrato come, per mantenere in vita una possibile scientificità dell'**Enunciato B**, abbiamo dovuto rinunciare a identificare la razionalità con la logica, e assegnarle sfumature di significato molto più empiriche. Scusate la ripetizione all'infinito, specie se l'ho appena detto, ma r_a non include solo quanto è logico, bensì anche tutto lo sperimentale e, in fin dei conti, non mi aspetto grosse difficoltà, in campo scientifico, nel tentativo di trovare chi appoggi questa definizione estensiva.

Ma un momento! Chi definisce il significato di un termine? C'è forse un'Accademia della Crusca, per censurare, a suo insindacabile giudizio, le sfumature di accezione da me assegnate ad alcuni vocaboli, almeno in questo contesto? Non mi risulta e, comunque, non accetterei una definizione *ex cathedra* della razionalità come dev'essere intesa nell'**Enunciato B**. Tutt'al più, possiamo cercare di metterci d'accordo per tentativi, tra scienziati, filosofi, lettori di scienza e così via. Ovvero: la definizione di r_a per mezzo della quale ho restituito, per il momento, vigore all'**Enunciato B** è arbitraria, e l'ho concordata col lettore solo perché, a quel punto, sembrava conveniente a entrambi. Dunque, se proponessi una definizione alternativa di razionalità, non contraddittoria con r_a facendone salve tutte le sfumature di significato, la decisione su quale accezione preferire non sarebbe più un problema logico, ma diverrebbe banalmente un motivo di scelta individuale e, per come ho impostato il discorso, insindacabile, proprio in quanto percezione di carattere personale.

Dove sto arrivando? A una ridefinizione del termine razionalità (stavolta r_b), in cui includo la logica, lo sperimentale e, in genere, quanto *non sia in contrasto* con la scienza. Chiaramente, r_b è molto diverso da r_a e, in particolare, contiene molte più cose in senso lato; voglio però chiedere al lettore: si tratta forse di una accezione meno scientifica? Per definizione, direi proprio di no.

Ecco, dunque, l'**Enunciato B** trasformarsi in modo profondissimo. Diventa falso? Dipende. E da cosa? Da una nostra libera scelta. Se accettiamo la definizione r_a , l'enunciato è vero poiché la religione non ha nulla a spartire coi dati sperimentali, coerentemente coll'**Enunciato Z** del capitolo precedente. E, non essendo fondata su dati sperimentali, la religione è irrazionale di tipo r_a . Ma, sempre volendo restare coerente con la scienza, nessuno può impedirmi di optare per la definizione r_b . In tal caso, l'**Enunciato B** diventa improvvisamente falso, almeno se riferito a tutte le religioni prive di velleità di spiegare i fenomeni naturali solo in termini me-

tafisici. Attenzione alla precisazione: *solo in termini metafisici*. Dire: «Non muove foglia che **DIO** non voglia», sostenendo al contempo tutta l'impalcatura scientifica con le sue equazioni eccetera, per cui il calcolo esatto – o approssimato – del moto della foglia si può ottenere conoscendo le condizioni iniziali e via scorrendo, e delegando l'intervento di **DIO** alla causa finale di aristotelica memoria, filtrata attraverso l'*Enunciato Z*, non è in violazione di alcun criterio razionale. E, anche con questo esempio, non sto inventando nulla di nuovo, ma riferisco quanto mi spiegò quarant'anni fa Livio Gratton, uno dei grandi astrofisici del XX secolo, credente. In quest'ottica, la religione può essere razionale di tipo r_b .

Abbiamo quindi evidenziato come la chiave di lettura dell'*Enunciato B* venga fornita dall'*Enunciato Z*; quest'ultimo consente di accettare la definizione r_b senza violare alcun criterio scientifico e, di conseguenza, se ne deduce che l'*Enunciato B* può essere scientificamente vero se si opta per r_a , falso se si preferisce r_b . In sostanza, se decido di non volermi chiudere nella gabbia di r_a (questione di gusti: a me, r_a sembra inutilmente limitativo), e di preferire piuttosto l'interpretazione r_b , voglio proprio incontrare chi mi dimostri scientificamente un mio errore formale; specie dopo quanto ho discusso nei precedenti capitoli!

Stavolta, coll'*Enunciato B* ho proprio finito. Chi lo vuole sostenere ha il pieno diritto di farlo, chi non lo accetta ne ha altrettanto diritto. In pratica, esso è un problema di opinione personale e dunque, nel contesto di questo libro, privo di significato. Per chi vuol sapere cos'abbia da dire la scienza in merito alla religione o a Dio, l'*Enunciato B*, molto semplicemente, non ha alcuna valenza. Ripetendo oltre la nausea: se, anziché parlare di religione, nell'enunciato si parlasse di *Babbo Natale* il quale, oltre a depositare i regali sotto il caminetto, non potrebbe non lasciare cospicue tracce del suo passaggio (fuliggine, impronte delle renne sulla neve del tetto, e così via), qualunque fosse la definizione di razionalità cui vogliamo appigliarci, l'enunciato sarebbe una convincente formulazione del perché uno scienziato non possa credere in Babbo Natale (e, molto più in generale, in una frazione molto ampia delle filosofie New Age). Ma, riferito a una religione per la quale si applichi l'*Enunciato Z* (quest'ultimo non funzionerebbe, sostituendo la dizione "Babbo Natale" a "**DIO**"), l'*Enunciato B* è cieco, sordo, muto.

19.3. Due punti di vista differenti...

Giunti a questo punto, vale ancora la pena di tirare per le lunghe pure la discussione dell'*Enunciato C* (lo riporto, per comodità del lettore:

«Le religioni, come ogni altra manifestazione del pensiero umano, dovrebbero accettare di mettersi in discussione in base ai risultati della scienza»)? Dipende.

In primo luogo, se nell'enunciato s'intendesse parlare di discussione storica, filologica eccetera, sul sorgere e affermarsi delle varie religioni, dei loro testi di riferimento e così via, io mi troverei d'accordo. Si tratterebbe, infatti, di una ricerca interessante in sé, potenzialmente ricca di risultati scientifici, e persino teologici. Ma questo tipo d'investigazione è già in corso da secoli, e non ha certo aspettato l'*Enunciato C* per prendere il via. Se l'enunciato si è presentato molto più di recente, è perché almeno alcuni, tra i suoi promotori, hanno in mente argomenti di tipo diverso. C'è, per esempio, chi si diverte molto ad analizzare scientificamente le religioni alla ricerca di eventuali incongruenze, paradossi, e via discorrendo. Almeno dal mio punto di vista, questo atteggiamento esprime solo l'arroganza di chi, magari, ha mangiato tanta scienza, però ne ha digerita poca, e quindi non ha capito la distinzione tra **DIO** e Babbo Natale. Gente del genere è nello stesso calderone di chi sentenzia: «Io avrei fatto meglio di **DIO!**», e già ho riportato sopra la mia opinione in merito all'atteggiamento da assumere nei loro confronti, per analogia a quanto l'Alighieri (anzi: Virgilio) suggerisce verso gli ignavi. Se, perciò, l'*Enunciato C* è gettato là a questo modo, con noncuranza e iattanza, l'*Enunciato Z* ne fa giustizia sommaria e, in questi termini, non intendo più perderci tempo né farlo perdere al lettore.

19.4. ...di cui uno rispettabile

Esiste, però, almeno una sua possibile lettura, degna di maggior rispetto, e quindi d'un minimo di discussione. Per illustrare questo secondo modo d'intendere l'enunciato, mi avvarrò della testimonianza di un paleontologo il quale, pur avendo abbandonato questa valle di lacrime nel 2002, all'età di soli sessantun anni, ha lasciato una traccia indelebile nella storia del pensiero scientifico. Mi riferisco a Stephen Jay Gould. Pur da un orientamento profondamente laico, se non del tutto ateo, egli ha sintetizzato i suoi convincimenti in un libro dal singolare titolo: «I pilastri del tempo – Sulla *presunta* inconciliabilità tra fede e scienza» (il corsivo l'ho messo io). Cosa può aver condotto uno scienziato, sempre in prima linea in aspre, ma civili, battaglie contro quell'autentica piaga sociale rappresentata dai creazionisti radicali degli Stati Uniti, a presentare argomentazioni in difesa della religione, almeno in senso lato?

Raccomando al lettore la lettura del testo appena citato, anche se personalmente non ne condivido affatto lo spirito. È comunque un bel libro, istruttivo. Qui ne presento non tanto una sintesi, quanto una mia interpretazione in cui tengo conto non solo del libro stesso, ma anche di scritti più recenti (l'anno di svolta è stato attorno al 2000) di scienziati, politici, sociologi e altro, pur sempre rigorosamente laici nel senso più estensivo del termine, i quali hanno cominciato a percepire, intellettualmente ed emotivamente, un problema formidabile che ci riguarda tutti. Esso è sintetizzato, come meglio non si potrebbe, da Dostoevskij, per bocca di Ivan Karamazov: «Se Dio non esiste, allora tutto è lecito». Sembrando, questa, un'enunciazione troppo pericolosa, miriadi di pensatori hanno ritenuto opportuno edulcorare la pillola. Alcuni, per esempio, si sono avventurati nel tentativo di dimostrare in qual modo un atteggiamento di tipo solidaristico faccia parte non solo del retaggio genetico umano, ma perfino di quello di altre classi di animali, proponendo buoni motivi per cui ciò dovrebbe essere evolutivamente vero, e scritto a caratteri piccoli in una clausola delle leggi di Darwin. Qualcosa, cioè, non troppo distante da una legge di natura. Però si tratta di argomentazioni rabberciate e, anche se potessero essere rese più scientifiche, il mondo resterebbe lo stesso pieno d'ignoranti. Ora, se uno non conoscesse e non avesse interiorizzato i più moderni e sofisticati sviluppi sull'ipotesi del buon selvaggio di Rousseau, potrebbe guardarsi attorno, accettare quanto afferma Ivan Karamazov senza neppure aver sentito parlare di Dostoevskij, e di conseguenza comportarsi. Ed è abbastanza chiaro il motivo per cui un dilagare dell'atteggiamento "tutto è lecito" sarebbe poco compatibile con la persistenza di una società civile in cui ci fosse posto anche per i più deboli, a meno di gestirla con metodologie dittatoriali. Lo ripeto spesso: non c'è nulla di mio, in quanto vado scrivendo; il lettore che provi un minimo d'interesse ad approfondire l'argomento, non avrà difficoltà a farsi sommergere da libri, discorsi, articoli di giornale, trasmissioni televisive, eccetera, su queste riflessioni.

Allora, come si fa? Una volta constatato come la scienza e la tecnologia mettano a disposizione mezzi crescenti, di sempre maggior efficacia, non solo per distruggere, ma soprattutto per controllare, spesso nel modo più subdolo possibile, gli esseri umani e la natura stessa, si potrebbe tornare a Kant e accettare «la legge morale che è dentro di me»? Sarebbe troppo ingenuo. Specialmente dopo aver sostenuto, ormai da un secolo e mezzo, che la legge morale è, per noi umani, un banale costrutto dell'evoluzione in termini darwiniani, e quindi il suo valore è del tutto relativo. Occorre qualcosa di più. Per esempio: una Legge Morale maiuscola, la cui

accettazione non sia opzionale, ma basata su presupposti di obbligatorietà o quasi, sui quali ciascuno si deve sentir portato a convenire. E dove trovarla? Oh bella: in una religione scientificamente razionalizzata! Da qui, in ultima analisi, provengono il paradigma di *magisteri non sovrapponibili* (e cioè Scienza e Fede con le maiuscole) proposto da Jay Gould e concetti che, da parte di un nugolo crescente di altri pensatori, strisciando sotto il pavimento, vanno più o meno nella stessa direzione, e cercano di salvare capra e cavoli convergendo verso qualcosa di molto simile all'*Enunciato C*, sia pure con sfumature a volte diverse. Con intenti non distruttivi nei confronti della religione, stavolta, ma tutt'al più utilitaristici.

19.5. Un'etica naturale

In quest'ottica, dunque, parto coll'illustrazione del grosso problema connesso all'*Enunciato C*. Stavolta, non ci sono di mezzo difficoltà concettuali, ma fatti puramente contingenti. Data l'enorme diffusione scientifica, culturale e sociale in genere di *Enunciati* ricalcati su quelli *A* e *B*, e considerando che pochi si danno la pena di esercitare uno sforzo intellettuale per analizzarli fino in fondo prima di accettarli acriticamente, ho già notato poco fa come sia esperienza comune incontrare, in ogni strato sociale, una maggioranza di persone nella cui mente c'è poca distinzione tra una religione, anche culturalmente evoluta (poiché conosco abbastanza solo quella cattolica, la cito come esempio di un sistema di pensiero da non dismettere con superficiale arroganza), e Babbo Natale. Tutto viene buttato nello stesso calderone sebbene, pochi paragrafi fa, siamo giunti a evidenziare l'errore concettuale implicito in quest'ultima procedura. Ma i fatti sono questi, e dobbiamo utilizzare quanto abbiamo per le mani. Scienza e tecnologia, a partire dalla metà del XIX secolo, hanno sparato a zero sulla religione, e ora vogliono resuscitarla, sia pure riformata, perché fornisca alla società Valori Etici Assoluti (maiuscoli, ovviamente) necessari a decidere in qual modo gestire le capacità offerte da tecnologia e scienza stesse. Però, deve trattarsi di una religione passata al crogiolo del metodo scientifico, altrimenti si cade in contraddizione con la conflittualità del recente passato (di qui, l'accezione rispettabile dell'*Enunciato C*). Procediamo, nel tentativo di capire se l'operazione ipotizzata può aver senso sul piano scientifico (quello religioso mi mette più in imbarazzo, e lo lascio a dopo).

La scienza, come abbiamo ben capito, non fornisce mai certezze assolute, ma solo relative e probabilistiche. Qualunque sia il percorso (ancora tutto da ipotizzare) per costruire una *Religione Scientifica*, ben difficilmente se

ne potrebbe trarre un'etica assoluta. E ciò varrebbe sia se s'imboccasse il percorso *top-down*, ovvero la costruzione di un'etica naturale partendo dalle leggi della razionalità (in questo caso, l'eventuale scelta di r_a al posto di r_b non cambierebbe nulla), sia quello *bottom-up* il quale, dallo smontaggio e dalla razionalizzazione di religioni esistenti, cercherebbe di giungere a un nucleo etico basilare, non ulteriormente riducibile, in base a procedure scientifiche. Quindi, stante la proibizione connessa all'**Enunciato Z** di poter giungere, sempre con metodi scientifici, a qualcosa di trascendente, il tentativo è destinato al fallimento a priori. Ogni etica naturale razionalizzata finirebbe per rappresentare un *optional* per chi la dovesse praticare, come suggerisce la presenza del concetto di "recidiva" nel Codice Penale. Con un'aggravante, però: la violazione di una legge fisica viene punita direttamente dalla natura con sanzioni immediate, che possono giungere alla morte (provate, così per il gusto di farlo, a violare la legge di gravità. Anzi: non ci provate neanche per scherzo!). Chi dovrebbe presiedere alla repressione delle violazioni dell'etica naturale o razionalizzata? La natura stessa? Sì, probabilmente la natura, almeno in parte, lo farebbe, se il nucleo dell'etica naturale si fondasse su un sottoinsieme delle leggi della vita in generale. Il non trascurabile problema, però, sarebbe quello dei tempi scala associati all'erogazione della sanzione, da parte della natura, a una violazione di un'etica del genere. Mentre, nel caso di violazioni delle leggi fisiche, le sanzioni sono virtualmente contemporanee alla perpetrazione del reato, nel caso delle scienze della vita, i tempi di applicazione delle sanzioni naturali sarebbero proporzionati a quelli dei fenomeni vitali stessi. In molti casi, dunque, talmente lunghi (diverse generazioni) da non rappresentare alcun deterrente pratico nei confronti del potenziale violatore il quale, tutt'al più, dovrebbe temere le forze dell'ordine. E dunque, anche una volta analizzate scientificamente le religioni per trarne un eventuale succo etico assoluto, resterebbe la necessità d'impiantare un micidiale stato di polizia onde far rispettare quell'etica, in quanto i mezzi usati dalla natura per renderne compellente l'osservanza sarebbero percepiti come troppo blandi, e del tutto inadeguati alla bisogna. Personalmente, sono d'accordo con l'opportunità d'individuare quanto prima i fondamenti di un'etica naturale condivisibile da tutti, e spero che gli sforzi compiuti in questo arco storico nel tentativo di capire, tanto per dirne una, come funziona realmente la biosfera terrestre onde non inquinare fino all'irreversibile, finiscano per confluire anche loro in questa direzione. Ma, se lo scopo proposto va nella direzione appena discussa, l'**Enunciato C** è totalmente irrilevante, in questo contesto e in ogni altro in cui si voglia calare; ritorna a essere, tutt'al più, una battuta superficiale.

Voglio aggiungere due parole di carattere religioso in senso lato, ma sic-

come non è il mio campo, mi limiterò a ben poco, sebbene il discorso in cui mi sono impegnato m'imponga di dirne qualcosa. Ci provo ma, mentre dal punto di vista scientifico ritengo le mie idee abbastanza chiare, e sono disposto a combattere per esse, qui mi contenterò di asserzioni estremamente morbide, sebbene mi sembrino ragionevoli. Negando qualsiasi validità scientifica all'*Enunciato A*, e sostituendolo coll'*Enunciato Z*, non ne ho ancora tratto esplicitamente una conseguenza che, però, possa essere di qualche interesse anche trattando dell'*Enunciato C*. L'impossibilità dimostrata d'investigare scientificamente **DIO** conduce alla opinabilità di ogni religione naturale (e perciò anche etica naturale) immaginabile dall'intelletto umano. Se ne evince un concetto specifico: se una religione ha senso, è solo in quanto *rivelata* direttamente da **DIO** perché, se egli esiste, certamente ha la possibilità di manifestarsi a suo piacimento, senza interferire con quanto è scientificamente indagabile. Dunque, l'*Enunciato C* è privo di significato, soprattutto in questo senso. Sostenerlo sarebbe solo un modo più ingenuo di riproporre una frazione – e solo una frazione – dell'*Enunciato A*. E ritengo opportuno lasciare le cose a questo punto, perché non vorrei essere ulteriormente offensivo con chi propugna l'*Enunciato C* solo per superficialità e abitudine mentale. Finalmente, abbiamo raggiunto almeno qualche conclusione che vale la pena di ricordare.

19.6. Ricapitolando

A-XIX) Non tutta la logica è scienza, non tutta la scienza è logica. Sembrava una battuta, ma è vero.

B-XIX) L'*Enunciato B* è scientificamente irrilevante, in quanto frutto di una scelta personale. In particolare, esistono almeno due accezioni, r_a ed r_b , del termine "razionalità", perfettamente condivisibili entrambe in termini scientifici, tali per cui l'enunciato è vero se si sceglie di adottare r_a , e falso se si preferisce r_b . In sostanza, l'*Enunciato B* non contiene informazione, oltre a quella già presente nella scelta di chi lo legge, e pertanto è un *non sequitur*.

C-XIX) L'*Enunciato C* è inconsistente in sé e, purtroppo, scientificamente errato qualora lo si ponga a fondamento della ricerca di un'etica assoluta.

Ho bocciato senza pietà tre enunciati sui cinque da cui ero partito. È terminato il libro? No: voglio distruggere pure l'*Enunciato D* e quello *D'*. Non accusatemi di reati intellettuali che non ho intenzione di commettere.

20. IL COSIDDETTO PRINCIPIO ANTROPICO

20.1. Da dove vengono gli altri enunciati?

Essendoci lasciati alle spalle gli *Enunciati A, B e C* in quanto scientificamente errati o insignificanti, e avendo introdotto l'*Enunciato Z*, ovvero il massimo di quanto ormai si possa dire sui rapporti tra scienza e religione, sembrerebbe non restare spazio per altro. Ma il libro si è aperto con ben cinque enunciati, e soltanto i primi tre si presentavano negativi nei confronti della religione o di Dio. Gli altri due erano positivi, o così potrebbe sembrare a una prima lettura. D'altronde, nel capitolo 18, ho insistito a lungo sull'impossibilità di ogni intersezione tra i percorsi della religione e quelli della scienza. Non basterebbe, tutto ciò, a depennare, già in linea di principio, gli *Enunciati D e D'*? A parer mio, sì, e in modo definitivo, almeno per quanto riguarda il primo dei due. Se l'*Enunciato Z* è sostenibile (e abbiamo visto come lo sia), ancor prima di passare a discutere altri argomenti dobbiamo riconoscere l'erroneità scientifica dell'*Enunciato D*. Se Dio/DIO non si fa pescare con le mani nel sacco, la sua eventuale azione non è scientificamente misurabile. Punto e basta. Ma bisogna ammettere un fatto: almeno per quanto ne possiamo capire al giorno d'oggi (in futuro, la situazione potrebbe essere mutata, e questa discussione perdere di significato), ci troviamo di fronte a una serie di *coincidenze cosmiche* inquietanti e, francamente, sembra un po' stiracchiato esorcizzarle come effetto del puro caso. In queste coincidenze, specie i sostenitori dell'*Enunciato D'* trovano qualche supporto, e sto per raccontare come. Ci provano pure i fanatici dell'*Enunciato D*, ma la loro situazione è senza speranza. Insisto, però, sulla possibile transitorietà di questa situazione: al contrario di quanto si può dire per gli *Enunciati A, B, C (e D)*, nel caso dei quali le conclusioni raggiunte finora hanno, con ogni verosimiglianza, carattere permanente anche per gli anni a venire, non abbiamo alcuna certezza che, al progredire della scienza, la discussione dell'*Enunciato D'* sia destinata a mantenersi entro i binari verso i quali sto per convogliarla. Sia in senso positivo, sia in senso negativo, come vedremo. In questi termini, come ho già accennato all'inizio, l'ultimo

enunciato presenta venature un po' subdole. Ovviamente, io presenterò una ipotesi di riduzione scientifica tesa a disinnescarlo, ma non ci potrò mettere la mano sul fuoco... È però inutile continuare a girarci attorno da lontano, e preferisco nominare il lettore giudice inappellabile. Tutto parte dal cosiddetto "principio antropico".

In primo luogo, mi sento obbligato a spiegare immediatamente il motivo per cui antepongo il termine "cosiddetto" alla dizione "principio antropico", molto più frequente in letteratura. Diversi capitoli fa, ho fornito un resoconto sommario sul concetto di "principio" nella scienza, in particolare in fisica. Il significato associato al vocabolo prevede l'esistenza di una legge di natura molto generale, di cui possiamo già intendere alcune manifestazioni sebbene, nella sua interezza, essa ancora ci sfugga. Assumendo la validità assoluta a priori di un certo aspetto, ben documentato sperimentalmente, di questa ipotetica legge, ne traiamo poi altre conclusioni, sempre di carattere scientifico, né più né meno di quanto fece Einstein col principio d'invarianza della velocità della luce nella Relatività Speciale, da cui saltarono fuori conseguenze di esito sconvolgente per quanto riguarda il nostro modo di concepire lo spazio e il tempo. Senza ancora aver spiegato cosa affermi il cosiddetto principio antropico, dirò almeno quanto segue: coerentemente col linguaggio della scienza, esso emerge come congettura da un insieme estremamente ampio di dati osservativi, e relative manipolazioni teoriche. Però, altro è sollevare una congettura, per quanto ragionevole e fondata su fatti, altro è elevare la congettura a principio, assumendo a priori la sua congruenza con un ordine di natura soggiacente. A mio modo di vedere (altri non sono d'accordo), in questo caso particolare, chi ha eseguito il passo ambizioso di nobilitare una serie di constatazioni al rango di principio, ha peccato per eccesso. Di qui, la mia preferenza per una dizione meno vincolante: "constatazione antropica", e d'ora in poi utilizzerò questa, abbreviandola con le maiuscole CA. Ma, alla fin fine, potrebbe rivelarsi un vero principio fondante della scienza. I posteri decideranno, anche se ho il sospetto che pure loro seguiranno a rimanere con un pugno di mosche in mano.

20.2. Siamo il centro dell'universo

Dopo la premessa su cosa non è la CA, devo adesso raccontare cosa è. Nella bibliografia sono riportati i titoli di un certo numero di testi divulgativi centrati sull'argomento, e mi permetto di esortare il lettore ad approfondire la CA avvalendosi di qualcuno di questi perché, anche se un

giorno verrà – sperabilmente – dimostrato in qual modo essa corrisponda, per l'appunto, a una constatazione e non a un principio, abbiamo comunque tra le mani qualcosa (tra un momento entrerà nel vivo: un attimo di pazienza) che non può fare a meno di suscitare interesse, e un tantino di meraviglia, in chiunque. Oltretutto, secondo me la CA potrebbe restare in giro ancora un bel po' di tempo. La mia raccomandazione sorge dall'impossibilità di dedicare, in questa discussione, spazio sufficiente all'illustrazione degli esperimenti e calcoli scientifici in base ai quali i fisici sono giunti a definire la CA, mentre dovrò insistere su alcune conseguenze da essa tratte in campo scientifico, logico, filosofico, se non addirittura teologico. Dunque, chi non si convincesse di quanto la CA sia sorprendente, e radicata in un substrato scientifico solidissimo, potrebbe equivocare il contenuto di questo capitolo, sembrandogli una banale tempesta in un bicchier d'acqua. Non lo è, ve lo garantisco: si tratta di una spada di Damocle sospesa sulla laicità della scienza o, per lo meno, molti la percepiscono come tale. Molti; non io, però.

Le premesse remote della CA si possono individuare (a posteriori) già in Giordano Bruno e in Galileo, i quali si confrontarono coll'improvviso dilatarsi, fino a valori inconcepibili per la mente umana, della scala di distanze dell'universo. Per il primo, ciò era un'ovvia conseguenza filosofica del cambiamento di paradigma tra il sistema tolemaico e quello copernicano (e, fin qui, il ragionamento filava); per l'altro, una constatazione di fatto, coerente in specie con le prime osservazioni telescopiche della Via Lattea nel 1609. Queste mostravano, infatti, come la fascia debolmente luminosa attraverso il cielo notturno, oggi invisibile dai centri abitati a causa dell'inquinamento luminoso, sia composta da miriadi di stelle lontanissime. Di fronte alla domanda (aveva senso allora come ora, ma noi non ce lo chiediamo più): «A cosa serve, per gli esseri umani, tutto questo spazio vuoto? Non c'è uno spreco enorme?», Galileo rispondeva «Non lo so!» e si limitava quindi a una constatazione. Al contrario, Giordano Bruno, istituito là per là un embrionale principio, affermava non essere la Terra, bensì l'essere umano in quanto tale, il centro dell'universo, e balzava alla conclusione (stavolta arbitraria): «L'intero universo è certamente popolato di esseri umani». Prego il lettore di por mente a questi due diversi modi di porsi nei confronti della CA, poiché in essi sono riconoscibili i precursori di atteggiamenti più moderni, portati avanti perfino da fisici di grido. Tra l'altro, Galileo criticava Bruno (ma criticava quasi tutti...), sostenendo la non scientificità di grandi affermazioni sull'infinità dei mondi abitati, se non se ne possono produrre prove inoppugnabili. Non voglio, con questo, affermare che l'Inquisizione abbia fatto bene ad accendere il rogo per Bruno e non per Galileo, ma, di sicu-

ro, se i due fossero vissuti ai nostri giorni, il primo sarebbe stato considerato un dilettante colto, ma in ultima analisi confusionario e rompiscatole perché non rispetta il metodo e, di conseguenza, finisce emarginato da qualsiasi ambiente scientifico ufficiale; il secondo avrebbe vinto uno o più premi Nobel. E a me sarebbero stati antipatici tutti e due, pur se per motivi diversi (a parte le simpatie ideologiche postume, dovevano entrambi possedere caratteri non facili, umanamente parlando).

In tempi più recenti, la CA risolveva il capo all'inizio del secolo scorso, come risultato di strani giochi numerici – che oggi sappiamo non essere significativi – di un astronomo già incontrato in un altro capitolo: Eddington. Ma è una fiammella sempre sul punto di spegnersi. Comincia, invece, a divampare solo verso la metà del secolo, quando un errore non stupido commesso da alcuni fisici di talento sollecita l'avvio di ricerche teoriche più sistematiche.

Stringendo al massimo in vista della conclusione, poiché in questo libro solo quella ci riguarda, dirò così: tutte le leggi di natura conosciute (e per estensione anche quelle non ancora conosciute, come sarà chiaro tra breve) sembrano studiate a tavolino da qualcuno, con la finalità precisa di costruire un universo in cui ci siano tempo, spazio, energia in misura adeguata, affinché non soltanto possa sorgere la vita, ma anche durare abbastanza a lungo per condurre, mediante i lenti meccanismi darwiniani di selezione naturale, a organismi così complessi da poter gestire cervelli adeguati allo sviluppo dell'intelligenza. «La nostra esistenza è stata voluta!» è un'affermazione corrente in un contesto del genere. Dunque, in qualche modo ancora da capire, la CA fa recuperare all'essere umano una certa centralità cosmica alla Giordano Bruno, forse ancora più importante della centralità geometrica della Terra nelle antiche cosmologie.

20.3. Le costanti di natura

Una considerazione del genere, specie se supportata da scienziati di tutto rispetto, non può mancare di suscitare perplessità nel lettore, e va approfondita un minimo, cercando di non eccedere un numero di paragrafi ragionevole. Richiamiamo dunque alla memoria la semplice legge di gravità di Newton. In essa, la forza attrattiva fra due masse è proporzionale al prodotto delle masse stesse, inversamente proporzionale al quadrato della loro distanza, ma contiene anche una costante moltiplicativa tutta sua, indicata di solito con la lettera G : la cosiddetta “costante di gravitazione universale”. Da dove viene questa G ?

L'unica risposta sensata finora prodotta dalla scienza suona: «È la natura ad averla messa lì». Infatti, esprimendo la costante sotto forma di numero, non ci è consentito modificarne il valore a nostro piacimento, se vogliamo che la formula newtoniana sia consistente con i risultati sperimentali. Utilizzando le unità di misura secondo cui le masse sono espresse in chilogrammi, le distanze in metri e i tempi in secondi, si ottiene: $G = 0,000000000667428$. Quando, in ufficio, arriva il garzone del bar con quattro cappuccini, si sente a volte chiedere: «Chi li ha ordinati?». Ci si potrebbe porre una domanda analoga per la costante G . Non bastava la formula con le sole forze, masse e distanze? Per noi, forse, sì; per la natura, no. E, soprattutto, notate quanto è piccolo il valore numerico di G : se utilizziamo unità di misura a scala umana, la prima cifra diversa da zero è l'undicesima dopo la virgola. Dunque, in qualche senso un po' riposto, la natura stessa ha deciso l'estrema debolezza della forza di gravità. A noi sembra molto intensa, e abbiamo già detto di come venga drammaticamente sanzionato qualsiasi tentativo, da parte nostra, di violarla, ma se confrontiamo la forza che ci tiene legati alla superficie terrestre con altre forze di natura, emerge subito questa tremenda piccolezza. Una calamita a cuoricino (e la forza magnetica è a sua volta impercettibile rispetto a quella elettrica) riesce a tenere attaccati allo sportello del frigorifero se stessa e diversi fogli di carta, vincendo in tal modo l'attrazione esercitata su cuoricino e fogli dall'intera massa terrestre. Per eseguire un paragone più significativo, pensiamo all'atomo d'idrogeno nel suo modello semplice, ovvero il solito elettrone rotante attorno al protone centrale (non servono le complicazioni della MQ per il conto della serva impostato qui di seguito). Siccome elettrone e protone hanno cariche elettriche opposte, tra loro si eserciterà una certa forza di attrazione elettrica. Ma entrambe le particelle hanno massa, e perciò ci sarà anche una forza attrattiva gravitazionale. Ebbene, a conti fatti, l'attrazione elettrica supera di un fattore 10^{40} (1 seguito da 40 zeri, e cioè diecimila miliardi di miliardi di miliardi di miliardi di volte) la forza di gravità la quale, da questo confronto, esce ridicolizzata. Ma come abbiamo fatto a tirare fuori una cifra del genere? Chiaramente, pure nella formula esprime la forza di attrazione elettrica in funzione delle cariche e delle distanze (molto somigliante, in prima approssimazione, a quella newtoniana), ci dovrà essere una qualche costante di natura a moltiplicare, il cui valore numerico sarà molto più grande rispetto a quella di gravitazione. Infatti, è proprio così, e un discorso analogo vale per tutte le leggi fisiche: c'è sempre qualche costante, il cui valore non possiamo decidere noi, in quanto deriva da una scelta della natura. Noi possiamo solo misurare, per mezzo di esperimenti, quali siano i valori di queste costanti.

Mantengo il discorso sul vago, perché non ci serve molto più di questo, anche se farò un esempio concreto tra pochi paragrafi. Il lettore non faticerà, però, a capire in qual modo e perché, una volta in possesso delle giuste leggi di natura, utili a prevedere l'esito di qualsiasi esperimento fattibile, alcuni fisici abbiano provato a sbizzarrirsi cercando di rispondere a domande del tipo: «E come si presenterebbe l'universo, se la costante di gravitazione universale, anziché quel valore numerico, ne avesse un altro? Se fosse magari dieci, o cento volte maggiore o minore?». *“In qual modo”* è: utilizzando i modelli matematici delle leggi, coll'inserirvi il valore alterato della costante; il *“perché”* è... bene: i fisici sono gente perversa.

Senza menare troppo il can per l'aia, arriviamo subito alla CA, così come essa si presenta oggi, grazie a sforzi di calcolo durati oltre mezzo secolo. L'esito di tutti i conti teorici è sorprendente, e sempre più meraviglia, via via che la gente si fa venire in mente nuovi esperimenti ideali. Nel Modello Standard, le costanti fondamentali di natura oggi accettate sono circa una ventina; i fisici delle *“superstringhe”* (un'ipotesi di lavoro verso una sperabile teoria del tutto) parlano di numeri molto più alti, forse un centinaio, ma per il nostro discorso già bastano venti costanti. Ebbene: sarebbe sufficiente modificare anche di poco il valore numerico di una qualsiasi di queste, rispetto a quanto si misura nel mondo reale, e l'aspetto dell'universo muterebbe radicalmente, e non in proporzione alla modifica. In particolare, muterebbe tanto, per cui nessuna forma di vita sarebbe possibile. Di conseguenza, noi non saremmo qui a meravigliarci di queste coincidenze cosmiche. E non puntatemi il coltello alla gola, essendo stato già dimostrato come alcune, tra la ventina di costanti, potrebbero essere variate senza esiti catastrofici; è vero, ma per la maggioranza di esse, ciò non vale. Non si possono toccare.

20.4. L'esempio del carbonio

Il lettore avrà capito da sé, immagino, in qual senso questo insieme di calcoli teorici abbia valore antropico (l'universo è costruito in modo da permettere l'esistenza degli *antropòidi*), e non vorrei neppure tediare troppo con esempi specifici, ma, alla fin fine, è indispensabile raccontare qualcosa di più per non restare troppo nel vago. Dunque, gli parlerò del ^{12}C , il normale carbonio, l'atomo di carbonio sulla base del quale si costruiscono tutte le geometrie delle molecole funzionali nella cellula vivente, e senza il quale, dunque, nessuna vita sarebbe possibile. Come fa, la natura, a dotarsi del carbonio contenuto nei nostri corpi? Il racconto richiede un po' di conoscenze sui nuclei atomici.

Tutti ricordiamo, dalla scuola, come il nucleo di un atomo sia composto di protoni e neutroni. Questi restano strettamente legati assieme a causa di una delle forze fondamentali del cosmo: la forza nucleare, per l'appunto. L'insieme di leggi fisiche soggiacenti è complicato; nulla a vedere con la banalissima formuletta della forza di gravità, ma l'unica cosa da sapere in questo contesto è quasi ovvia: così come, nelle formule per la gravità e la forza elettrica, ci sono delle costanti di natura, ne esisterà una pure per la forza nucleare. Ci siamo intesi fin qui? E, essendo la forza nucleare di notevole intensità (oltre cento volte quella elettrica), il valore numerico della "costante nucleare" sarà molto alto. Quanto, non c'interessa. Importa sapere, invece, un'altra nozione: nel momento in cui esplose il big bang, dando l'avvio ai processi fisici in seguito ai quali l'universo ha assunto le caratteristiche a noi familiari, il carbonio non c'era. All'epoca, si formò solo molto idrogeno, e una certa quantità di elio: niente carbonio e altri elementi chimici. Questa è una conclusione certa, sia dal punto di vista pratico, sperimentale, sia da quello teorico. Le fabbriche di carbonio sono, invece, le stelle. Infatti, durante la loro vita, queste trasformano la miscela d'idrogeno ed elio, di cui sono inizialmente composte, anzitutto in puro elio. Dopodiché, invecchiando, poco prima di morire, trasformano l'elio in carbonio – per l'appunto – e in ossigeno. Al termine della loro vita, le stelle, evaporando o esplodendo come supernove, mettono in circolazione nello spazio il carbonio così costruito, e questo carbonio entrerà a far parte di stelle – e pianeti – di generazioni successive. Ora s'incontra il problema: quali sono le reazioni nucleari per mezzo delle quali si forma il carbonio, e quali sono, all'opposto, quelle che lo distruggono?

Bene: il carbonio è un elemento difficile da fabbricare e da mantenere in vita. Se due nuclei d'elio s'incontrano, infatti, il nuovo nucleo originato dalla loro fusione è il berillio, ma una specie di berillio molto peculiare. Un berillio che si spacca di nuovo in due nuclei di elio, in una frazione infinitesima di secondo: un berillio così instabile per cui, in pratica, lo scontro tra due nuclei di elio finisce per risolversi in poco più di un rimbalzo; i nuclei restano appiccicati tra loro per un tempo brevissimo e poi via, di nuovo ciascuno per suo conto. Però, e questo è il punto, il loro rimbalzo non è del tutto istantaneo: per una frazione di secondo, questa varietà di berillio (il ^8Be) resiste, poi si disintegra.

Cosa avviene nel caso (raro) in cui, durante la sua vita effimera, il ^8Be venga urtato da un terzo nucleo atomico di elio? Se riesce a ingoiare quest'ultimo, la cura gli fa bene: si stabilizza definitivamente come carbonio, appunto il ^{12}C . Finalmente l'abbiamo formato. Attenzione: sto semplificando enormemente il problema reale. In dettaglio, si passa attraverso

uno stato particolare del nucleo di carbonio, detto "eccitato", e in verità è proprio questo stato eccitato a fare la differenza ma, per il lettore inesperto, è sufficiente capire il tipo di argomentazioni in gioco.

Comunque, appena formato il ^{12}C , c'è subito un nuovo problema: il carbonio è, a sua volta, un po' ghiotto di elio. A forza di essere urtato dagli altri nuclei di elio adiacenti, prima o poi finisce per mangiarsene uno pure lui, e sparisce dalla circolazione, trasformandosi in ossigeno: ^{16}O . In un modo o nell'altro, si potrebbe dire che il ^{12}C è un elemento di passaggio; una specie di canale di transito per consentire all'elio di trasformarsi in ossigeno.

Chiediamoci allora: perché il nucleo atomico di carbonio si forma così difficilmente, e si distrugge in modo relativamente facile? Da cosa dipende questa sua peculiarità? Da una gran quantità di dettagli della sua struttura interna, ovviamente, ma alla base di tutto c'è proprio il valore della costante nucleare, la quale regola le interazioni che tengono assieme protoni e neutroni. Vediamo in qual modo tutto ciò influenza la formazione e la distruzione del carbonio.

Se la costante nucleare fosse un po' minore, il nucleo transitorio in cui confluiscono tre nuclei di elio, e cioè quello formato saltuariamente durante la brevissima vita del ^8Be prima di generare il normale ^{12}C , non sarebbe stabile neanche per una frazione di secondo. I tre nuclei di elio, in pratica, rimbalzerebbero via appena dopo l'urto, e il carbonio non si formerebbe.

E se la natura avesse deciso a favore di una costante nucleare un po' maggiore? Beh, sembrerebbe chiaro: il ^8Be sarebbe più stabile, e si formerebbero maggiori quantità di carbonio, non è così? Certo, a parte un piccolo dettaglio. Uno strano gioco delle leggi dell'interazione nucleare renderebbe il carbonio appena formato estremamente avido di altro elio per cui, assorbendone il primo nucleo capitato a tiro, se ne andrebbe in ossigeno in un batter d'occhio. Onde, le stelle non rilascerebbero carbonio nello spazio. Per cui, non ne troveremmo sui pianeti. E niente vita!

Quando il famoso astrofisico Fred Hoyle si accorse per primo di questa circostanza, quasi gli venne il coccolone. Infatti, di quanto sarebbe stato necessario modificare il valore della costante nucleare per far sparire il carbonio? Forse dell'1%, forse anche meno. Se il valore fosse stato dell'1% inferiore al valore misurato in realtà, il carbonio non si sarebbe formato; se fosse stato dell'1% maggiore, il carbonio appena formato se ne sarebbe andato tutto in ossigeno. Una coincidenza cosmica suggestiva, specie perché, a priori, il valore della costante nucleare si sarebbe potuto attestare a qualsiasi intensità, magari miliardi di miliardi di volte maggiore o minore di quanto sia davvero. E, già con una differenza dell'1% in una direzione o nell'altra, noi non saremmo stati qui a stillarci il cervello su questo notevole risultato.

20.5. Troppe coincidenze sospette

A questo punto, il lettore dovrebbe avere la situazione un po' più chiara: le coincidenze cosmiche sul tipo di quella appena menzionata sono troppe, e troppo stringenti, per pensare al puro caso, senza correzioni di qualche genere. Un po' come, un tempo, sembravano troppe le coincidenze biologiche preliminari, per giungere alla complessità della vita terrestre, e dei nostri cervelli. Ma, in quel caso, alla fine si scoprì all'opera una legge di natura sottostante – l'evoluzione darwiniana – che guida, anche se alla cieca, per errori e prove riuscite, la macchina biologica, e facilita immensamente il sorgere di strutture complicate, purché funzionali. Non ci sarà, pure nel caso di cui stiamo discutendo, qualche altra legge di natura, ancora non chiara alla scienza, per condurre di necessità l'intero universo verso le coincidenze cosmiche alla base della CA? Io penso di sì, almeno in senso lato, ma non tutti sono d'accordo.

Fino a questo punto, ho parlato solo di costanti presenti nelle leggi di natura. La verità è, se possibile, più complessa (quando mai non lo è?) poiché gli scienziati si sono applicati a cercar di capire cosa cambierebbe nell'universo se le stesse leggi di natura avessero una forma un po' diversa. Una catastrofe totale! Nessuna struttura vitale, e quindi nessuna intelligenza, si sarebbe potuta sviluppare. Non sto facendo affermazioni apodittiche: conclusioni del genere sembrano far tornare indietro di secoli le lancette dell'orologio della scienza, per cui l'essere umano riacquisisce una patina di centralità logica, piuttosto che geometrica, rispetto a tutto l'universo, e di conseguenza non sono gradite agli scienziati stessi. Il paradigma scientifico, infatti, si basa piuttosto sull'idea secondo cui ogni evento debba essere nella media in senso lato. In questo senso, dunque, ci aspetteremmo che pure la vita – e quella umana – fosse compatibile con un universo *generico*. Da decenni, perciò, almeno una parte dei fisici si applica nel tentativo di demolire la CA. Stranamente, a fronte di un gruzzoletto di prove secondo le quali alcuni valori numerici potrebbero essere modificati senza conseguenze devastanti, la parte di gran lunga maggioritaria delle coincidenze cosmiche non solo ha resistito, ma viene resa sempre più stringente da nuovi studi in proposito. Mi permetto, dunque, di portare all'attenzione del lettore la centralità dell'essere umano rispetto al cosmo come un dato di fatto, e in quanto tale non lo si può più discutere. Ma attenzione: seguendo l'insegnamento di Galileo, e non quello di Giordano Bruno, mi limito ad annotare la cosa, e non ne ricavo ancora nessunissima conclusione!

Se poi il lettore, in base alla propria visione matematica, restasse scet-

tico di fronte alla possibilità di esiti così drammatici a fronte della modifica di una cifra decimale, gli ricorderei qualcosa di cui dovrebbe già essere edotto: il caos deterministico. I fenomeni naturali non banalissimi sono quasi sempre descrivibili da equazioni differenziali non lineari. Variando qualcosa dell'1% in entrata, il risultato in uscita non varia necessariamente dell'1%. Magari, il nuovo risultato sarà enormemente diverso dal precedente, e in direzione qualsiasi, anche opposta a quanto l'intuizione suggerirebbe. L'effetto farfalla, per chi lo ricorda. Cambiare, anche di poco, una legge di natura è come far battere le ali alla farfalla cosmica; gli effetti a lunga scala possono essere enormi e catastrofici.

Dunque, un modello semplice della CA potrebbe essere espresso nel seguente modo: «Le cose vanno come se qualcuno, nel momento in cui l'universo è venuto in essere, avesse regolato con precisione sbalorditiva una gran quantità di manopole (almeno una ventina, come ho già accennato in precedenza), causando un sacco di coincidenze cosmiche, per cui, alla fine, è venuto fuori proprio il nostro universo, e non uno qualsiasi tra un'infinità di altri i quali, in linea di principio, sarebbero stati ugualmente probabili».

20.6. Il *finalismo* rialza la testa

Questo modello sembra richiamare in causa un certo finalismo. Anzi, diciamo pure: la frase è stata costruita in modo tale da suggerire in modo esplicito che la nostra presenza, oggi e qui, sia il fine per cui, chissà quando, chissà dove e, soprattutto, chissà da chi, sono state compiute delle *scelte* in senso lato aventi, come conseguenza ultima, l'esistenza dell'universo nella forma sotto la quale lo conosciamo. Un'impostazione del genere è per forza di cose evocativa di un ordinatore intelligente e non basta una generica causa prima per la quale l'intelligenza non è un requisito fondamentale. Di qui, tutto il mondo di pensiero rotante attorno all'*Enunciato D'*. Messa in questi termini, l'idea sembrerebbe cozzare senza possibilità di mediazione contro la mentalità scientifica (non mi pronuncio su quella filosofica, teologica, eccetera) come l'abbiamo vista finora, la quale non vuole doversi trastullare con gli impacci formidabili posti dalla metafisica. Per lo meno, cozza contro la *mia* mentalità scientifica, pur se debbo ricordare le conclusioni dei due capitoli precedenti; queste potrebbero essere sintetizzate da: «Ci sono più cose tra il cielo e la terra di quante tutta la fisica...» (parafraresi da "...un barbaro, che non era privo d'ingegno..."). Ma conosco scienziati del tutto agnostici – per non dire atei – di opinione opposta. Essi rafforzano ai limiti estremi la con-

statazione, fino a trarne un principio in senso strettissimo, sul quale costruire, affermando: «La nostra esistenza è condizione necessaria per quella dell'universo!», e per l'appunto ne traggono conseguenze, come si fa da ogni principio. Come dite? Sì, certo, avete capito bene: costoro affermano che, in un modo o nell'altro, l'universo non esisterebbe se non ci fossimo noi. Vi pare, sul piano scientifico, una sparata un po' troppo grossa? Beh, anche a me, e ve ne racconterò qualcuna. Per ora, faccio notare al lettore come queste ultime spiegazioni scientifiche della CA, essendo di origine atea, anziché tirare fuori Dio, propongono esclusivamente l'*Enunciato D'*, in cui le maiuscole sono assenti. Ciò è ragionevole, almeno in prima approssimazione, non ricadendo l'*Enunciato D'* nel campo di applicazione dell'*Enunciato Z*. Dunque, i due enunciati *D* e *D'* sembrano uno solo in partenza, ma si biforcano in modo totale e assoluto come punti di arrivo. Ogni cosa a suo tempo, però.

Prima di discutere sull'utilizzo pratico della CA, o del principio, se altrui piace, ho bisogno di giustificare col lettore un'affermazione passata nel testo poc'anzi. Infatti, al momento in cui l'ho introdotta, pareva un po' forte. Ho scritto: "tutte le leggi di natura, pure quelle non ancora conosciute, sembrano studiate a tavolino...". Passi per le leggi già note, ma come faccio a estendere un concetto del genere a quelle ancora ignote? Alla *LEGGE*, per intenderci? Beh, limitatamente a questo discorso, direi così: la CA può essere utilizzata come se fosse davvero un principio. Infatti, se noi siamo qui, anche gli aspetti della natura ancora in attesa, al momento, di essere scoperti e formalizzati debbono essere compatibili con questo semplice dato di fatto, no? E, siccome sembra ragionevole attendersi che i fenomeni scientifici ancora da scoprire siano i meno lineari di tutti, soprattutto quelli ancora sconosciuti dovranno ricadere sotto la scure del principio inteso in tal senso. Ma sia chiaro: a parte questo inciso molto semplificato e generalizzato, degrado di nuovo il principio a constatazione pura e semplice. E deve essere chiaro pure qualcos'altro: se compio questa scelta, è per coerenza col mio riduzionismo di base, malgrado io sia rassegnato alla indimostrabilità di quest'ultimo. Al livello di sviluppo attuale del pensiero scientifico, infatti, nessuna prova può essere addotta riguardo alla minore o maggiore forza cogente della CA, e chiunque, perciò, è libero di assumerla come principio, constatazione, o pura e semplice curiosità.

20.7. Architetto o capomastro?

Giunti a questo punto, il lettore non si meraviglierà più se tale assieme di coincidenze cosmiche, statisticamente troppo improbabile per essere di-

gerito come effetto di pura e semplice casualità, sia stato assunto, da alcuni, come un argomento sperimentale in favore dell'esistenza di un Architetto, ovvero come prova scientifica dell'esistenza di Dio. Ma poc'anzi ho accennato al parallelo coi ragionamenti, riguardanti l'apparente finalismo negli organismi viventi, vigenti prima di Darwin. Non mi riferisco al tipo di finalismo in cui l'essere umano è considerato lo scopo ultimo della creazione, ma a elementi più specifici, puntuali, come il già citato esempio dell'occhio in quanto macchina per vedere. Una combinazione casuale di strutture semplici, giunta a crescere fino al livello di complessità come l'occhio, in cui ciascun elemento si trova nel posto giusto ed esegue la funzione giusta nel momento giusto in perfetto coordinamento con tutte le altre parti, sembrava impossibile dal punto di vista probabilistico, e si doveva quindi ammettere pure scientificamente l'esistenza di un Disegnatore il quale, quanto meno, avesse inserito nella natura un progetto entro cui la natura stessa è costretta a muoversi. La teoria evolutiva di Darwin eliminò questa necessità concettuale, sostituendola con la mutazione casuale, la selezione naturale, e l'enormità dei tempi evolutivi. La CA, ovviamente, ha una portata enormemente superiore a qualsiasi discorso sul finalismo biologico, poiché non è un ragionamento, forse troppo semplificato, applicabile, in modo a volte arbitrario, a strutture complesse come quelle biologiche, ma emerge al livello delle leggi fisiche di base. D'altronde, come spero di aver convinto il lettore attento, sia la CA sia l'argomentazione sulla necessità scientifica di un Disegnatore per il mondo biologico convergono verso un qualche genere di finalismo. E ricordo sempre il mio modo di agire: continuo a muovermi nel paradigma scientifico, con tutte le sue limitazioni. Infatti, come ho già specificato bene altrove, non sto esaminando le conseguenze filosofiche, quelle teologiche, metafisiche, religiose dell'apparente finalismo biologico, o dell'apparente finalismo suggerito dalla CA; mi limito ad analizzare i fatti con tutte le limitazioni delle scienze empiriche. Personalmente, dunque (anche qui ricordo come si tratti di un mio modo di vedere le cose, e perciò non mi sento di pugnare per esso oltre ogni limite ragionevole, ma vedo elementi di difesa che tra poco illustrerò), sono sfavorevole a trattare la CA (ma in questo contesto non farebbe nessuna differenza se, alla fine, essa si rivelasse un vero e proprio principio) in quanto argomento scientificamente probante per l'esistenza di Dio. Preferisco attenermi all'*Enunciato Z*, e frugare tra le congetture puramente fisico-matematiche avanzate finora, per spiegare, senza appigli metafisici, il dato di fatto secondo cui, se l'universo fosse diverso anche di poco da com'è, noi non saremmo qui a meravigliarcene. Due linee di pensiero mi conducono in questa direzione. Una, assolutamente laica (e rammento: per l'osservatore non superficiale, non esiste necessaria-

mente identità tra laicità e ateismo), ovvero quella appena accennata: già all'interno di quanto riteniamo di aver scoperto scientificamente oggi, sia pure come conoscenza ancora lontana da una teorizzazione soddisfacente, ma a livello di ipotetica e ragionevole tendenza, sembrano esistere almeno un paio di canali i quali, per quanto profondamente diversi tra loro, condurrebbero entrambi, in modo spontaneo, verso una antropizzazione del nostro universo in termini (forse) rigorosamente scientifici. Nei prossimi capitoli dovrò, ovviamente, accennare a questi canali, ma il lettore non me ne vorrà se si tratterà di accenni molto qualitativi e risicati; quando si inoltrano per strade del genere, pure gli scienziati incontrano difficoltà enormi, e sanno benissimo di correre il rischio concreto di non sapere essi stessi di cosa stanno parlando, almeno col rigore richiesto dalla scienza. Ma un'altra linea di pensiero, più religiosa, m'invita comunque a respingere ogni tentativo di cercare scientificamente Dio dietro le pieghe della CA. Come ho già notato, e come ritengo opportuno continuare a evidenziare a ogni piè sospinto, considero perdenti, sul piano religioso, i tentativi di chiamare in ballo Dio ogni qual volta la scienza non sia in grado di spiegare qualcosa, in conseguenza di un ancora insufficiente livello di avanzamento. E se, domani, una nuova teoria spiegasse scientificamente l'elemento sul quale ci si appigliava per dimostrare l'esistenza di Dio, così come fece a suo tempo il darwinismo nei confronti del finalismo biologico? Dovremmo forse concludere, da quel momento in poi, di aver trovato la dimostrazione scientifica della non esistenza di Dio? Metto fortemente in guardia i credenti nei confronti di questo atteggiamento: rischia di essere gravemente nocivo a una fede religiosa.

No: dal mio punto di vista, la CA, per quanto impressionante possa essere (e lo è a qualsiasi livello, sarebbe sciocco negarlo, come anche il lettore potrà convincersi compulsando i libri divulgativi consigliati sull'argomento), può e deve essere inquadrata, almeno tentativamente, all'interno del paradigma scientifico costruito nei capitoli precedenti. In fin dei conti, lo spazio per il requisito di una causa prima (con le minuscole, poiché i limiti della ragione non mi autorizzano a indagarla, ma per quanto ne so potrebbe anche avere le maiuscole) c'è già, nella scienza, come suo stesso limite fondamentale. La risposta alla domanda «Perché tutto ciò che esiste "si dà la pena" di esistere?» non può essere fornita all'interno della scienza stessa, e quindi ogni risposta non in contrasto con la scienza stessa è legittima, compresa la risposta: «Dio/DIO». E questo non è un limite attuale di conoscenza (come potrebbe invece esserlo la risposta al «perché?» antropico), ma un vero e proprio limite di conoscibilità. Del pari, esiste uno spazio non indagabile scientificamente (né oggi né mai) all'interno della natura, per consentire a un eventuale Dio/DIO di operare

a piacimento senza farsi cogliere sul fatto (*Enunciato Z*). Dunque, siamo proprio sicuri della convenienza, o semplicemente dell'opportunità, di seguire a cercare Dio nel gran libro della natura? È sempre Galileo, sulla scia di Sant'Agostino, a rilevare come le Sacre Scritture ci siano state date per sapere come si va in Cielo (metafisico), e non per sapere come funzionano i cieli. Perché meravigliarsi se, in contrapposizione, nel libro della natura si trovano solo informazioni su come funzionano i cieli, ma nessuna su come si vada in Cielo? Magari, entrambi i libri saranno pure stati scritti dallo stesso Autore (se esiste...); non pretendo di negarlo a priori. Ma è inutile cercare l'autografo di Dio su quello della natura: sempre se egli esiste, è infatti sua abitudine firmare solo le Sacre Scritture o, per lo meno, il lettore ha ormai ben capito che questa è la mia opinione, finché parlo come fisico. Cosa vuol dire quest'ultima precisazione? Posso parlare anche "non da fisico"? Sì, certo. Ma non per schizofrenia; in fin dei conti, riduzionismo o no, quando ascolto musica non cerco di metterla in equazioni e, anzi, meno equazioni mi evoca, più mi piace. Alla fine del libro (meglio: dopo la fine del libro) aggiungerò dunque un capitolo in cui esprimerò le mie scelte in termini puramente umani, al di fuori dell'ambito rigidamente scientifico.

A ogni modo, finora ho introdotto la CA solo per enunciarla, e per dichiararne l'inutilità a scopi metafisici. Ma se ne può dire qualcosa di scientifico? Secondo me, sì, è possibile parlare della CA anche in termini del tutto scientifici. Però, chi ne parla, non sempre fa scienza rispettabile, come stiamo per constatare.

Concludo questo capitolo presentando, in A-XX, un enunciato *morbid* della CA (ne esistono di *forti*, *deboli* e così via).

20.8. Ricapitolando

A-XX) L'insieme delle leggi di natura all'opera nell'universo è tale per cui basterebbe modificare in modo quasi impercettibile una qualsiasi di queste leggi e le conseguenze si amplificherebbero, rendendo l'universo un luogo molto diverso da quel che è oggi, con ogni probabilità incompatibile con l'evoluzione di una vita intelligente (e quindi per necessità complessa) come quella umana.

B-XX) In ogni caso, l'*Enunciato Z* rende impossibile a priori servirsi della CA per validare scientificamente l'*Enunciato D*.

21. SPIEGAZIONI PER ME INDECOROSE

21.1. Una tripartizione

Domanda: «Può accadere che, a volte, gli stessi professionisti della ricerca se ne vengano fuori con idee definibili, dal punto di vista scientifico, indecorose?». Devo ammetterlo: sì, può succedere proprio questo. Gli scienziati non sono persone speciali. Anzi: molta parte di quanto ho narrato e spiegato finora mostra come la storia della scienza sia zeppa di errori, anche semplici da capire e correggere, ma portati avanti con pervicacia da sapienti di chiara fama, talora con un Nobel all'attivo. Certo, pian pianino le idee sbagliate finiscono nel cestino della carta straccia ma, quando ho parlato di nuovi paradigmi che, sostituendo i vecchi, conducono a grossi avanzamenti qualitativi e quantitativi nel nostro modo di comprendere la natura, ho pure ammesso qualcosa di più triste. Talora, i vecchi paradigmi debbono aspettare la morte dei loro sostenitori per accompagnarli nella tomba. E non c'è da meravigliarsi se alcune delle spiegazioni spacciate per scientifiche, tra quelle proposte finora per cancellare qualunque sbavatura metafisica conseguente alla CA, possano apparire poco serie a me e, magari, a qualche lettore. Pur se ci tengo a premetterlo: su argomenti come quello trattato in questi capitoli, in qualche caso è fondamentalmente materia di punti di vista. Siano dunque tutti avvisati: sebbene io possa pensare (e dire) peste e corna di alcune spiegazioni, non per questo ho il diritto di affermare la loro non sostenibilità (pur se restano soggette a critiche), nel senso di poter dimostrare la loro fallacia. Se, tra le argomentazioni da me definite "*indecorose*", ce n'è una molto gradita al lettore... beh, non ci posso far niente, a parte un richiamo sui limiti del metodo scientifico, soprattutto per quanto riguarda la necessità di sperimentare prima di pronunciarsi, onde convincerlo quanto meno a rifletterci bene sopra, prima di sposare una tesi.

Un po' all'ingrosso, individuo tre grandi filoni all'interno dei quali si possono classificare le spiegazioni della CA finora proposte, volendo restare all'interno dei limiti dell'accettabile (talvolta, appena appena tollerabile) in campo scientifico. Enumeriamo.

- 1) Spiegazioni basate su interpretazioni un po' esoteriche della MQ.
- 2) Spiegazioni del tipo: "la fabbrica di Dio".
- 3) Spiegazioni che ipotizzano probabili estensioni della fisica già conosciuta.

In questo capitolo, tratterò solo i primi due filoni di spiegazioni, entrambi facenti capo all'*Enunciato D'* (l'*Enunciato D* è già esorcizzato per mezzo del solo *Enunciato Z*).

21.2. Le misure quantistiche

Nei capitoli dedicati alla MQ, ho portato all'attenzione del lettore i problemi di conoscibilità in senso stretto, forse correlati a un funzionamento non causale della natura, alle scale del mondo molto piccolo. Ho centrato il discorso sul problema della *esistenza*, ma il lettore ha senz'altro capito come questo fosse uno solo, tra i diversi modi possibili, di enucleare un elemento sfuggente alla nostra intuizione. Infatti, a un certo punto, ho portato anche un controesempio, accennando alla eventuale propagazione di segnali all'indietro nel tempo, e amenità del genere, senza ovviamente alcuna pretesa di esaurire l'oceano di modelli proposti, per cui, alla fin fine, ciascuno coltiva una differente interpretazione della MQ. Ma c'è un altro grosso elemento di discussione, a volte di dibattito acceso, in MQ, riguardante gli accadimenti reali (se così si può dire) durante l'esecuzione di una misura dalla quale si ricavi un certo risultato quantitativo ben preciso. È arrivato il momento di parlarne in modo più esplicito.

Una delle conclusioni importanti cui eravamo giunti si riferiva alla posizione di un elettrone in un atomo. L'interpretazione corrente afferma: l'elettrone non è da nessuna parte, ma si può calcolare una sua distribuzione complessa (contenente, cioè, un numero immaginario), elevando al quadrato la quale si ottiene la probabilità di trovare l'elettrone in un posto o in un altro, una volta effettuata la misura. Dunque, volendo continuare a usare lo stesso modello, concludiamo che l'elettrone non è né qui né lì, ma, durante l'eventuale misura, si materializza per un istante in un luogo preciso. Attenzione, dunque, alla frase seguente, perché è un'importante chiave di comprensione. Il Principio d'Indeterminazione non dice affatto: «Non sarà mai possibile misurare con precisione estrema, quanto si voglia, la posizione di un elettrone»; afferma solo: «Tanto più è precisa la nostra conoscenza della posizione, tanto meno ne sappiamo sulla velocità». Nulla osta, però, a una misura accuratissima della sola posizione (o della sola velocità). Per dare qualche cifra concreta, utilizzando come microscopio il più potente ac-

celeratore di particelle al mondo (mentre scrivo: LHC a Ginevra), possiamo osservare la posizione di un elettrone, con una precisione corrispondente a meno di un miliardesimo della dimensione di un atomo.

Qui, sembra sollevarsi una contraddizione: all'elettrone, quando esso è legato al nucleo atomico, associamo una probabilità di esistenza diffusa grande più o meno quanto l'atomo stesso ma, se andiamo a cercarlo, lo troviamo in un punto preciso, in un volume di spazio enormemente inferiore a quello dell'atomo. Avevamo detto che l'elettrone, essendo dotato di esistenza quantistica, non è propriamente da nessuna parte, e ora affermiamo di poterlo trovare con la precisione spaziale desiderata. Non è un controsenso? Sì, certamente. Ma è pure un dato di fatto. Il computer su cui sto scrivendo questo libro non potrebbe funzionare se l'elettrone possedesse una posizione intrinseca, altrimenti i transistor dovrebbero essere sostituiti dalle vecchie valvole termoioniche, e il cervellone elettronico risultante sarebbe grande quanto un palazzo, lentissimo, inefficiente, occorrerebbe sostituire valvole bruciate ogni cinque minuti, e così via. Se, dunque, i transistor funzionano, la posizione intrinseca degli elettroni è veramente indeterminata in sé. Ma è altrettanto vero l'altro aspetto del dilemma: il transistor non funzionerebbe neppure se, all'atto di una misura, non fosse possibile determinare la posizione dell'elettrone con la precisione desiderata. Quest'affermazione ci confonde, e la nostra reazione è perfettamente ragionevole, ma così lavora la MQ, e c'è poco da dire, anche se i puristi dell'elettronica potrebbero sollevare sottili "distinguo" i quali, per quanto riguarda questo discorso, lascerebbero il tempo che trovano. Piuttosto, vediamo una conseguenza logica (si fa sempre per dire...) di tale stato di cose.

Se una particella quantistica c'è mentre la guardiamo, e non c'è mentre non la guardiamo (la domanda di Einstein a Pais riguardo alla Luna), nell'istante della misura deve per forza succedere qualcosa. In termini del modello tradizionale (l'equazione di Schrödinger, descrivente la famigerata onda quantistica, per mezzo di un'espressione matematica la quale, elevata poi al quadrato, eccetera), l'onda, in precedenza diffusa nello spazio, subisce un *collasso* durante la misura, ovvero si comprime istantaneamente in un certo luogo, le cui dimensioni dipendono dal tipo di misura stessa, e sono calcolabili dal PdI. Lì compare la particella. Dunque, la misura costringe la particella ad assumere, per un momento, le caratteristiche dell'esistenza a noi familiari, dopodiché l'onda riprende a espandersi nello spazio, a partire, però, dal punto in cui la misura ha individuato la particella. Quanto meno, tale era l'interpretazione dei dati sperimentali fornita da Bohr & Co. Il povero Schrödinger, però, disgustato da questa interpretazione, malgrado lui stesso avesse contribuito a farla emergere, fece notare alla

cricca di Copenaghen (capitanata proprio da Bohr, ma non era una cricca in senso dispregiativo) per quale motivo le cose non potessero andare a quel modo. Infatti, qualsiasi apparecchiatura per esperimenti, anche di MQ, è composta, alla fin fine, di particelle elementari soggette alla MQ stessa. Dunque, applicando le equazioni adeguate a tutto il laboratorio (nessuno ci riuscirebbe mai, poiché all'atto pratico sarebbe troppo complicato, ma in teoria è fattibile) e risolvendole per la lancetta dell'indicatore, osservando la quale deduciamo la direzione in cui, per fare un esempio, si è mosso un elettrone nell'ipotetico esperimento di alcuni capitoli fa (e cioè su o giù), la lancetta stessa dovrebbe essere matematicamente (e quindi anche fisicamente) confusa pure lei, in parte su e in parte giù, rispecchiando in modo amplificato la realtà quantistica. Una situazione del genere, ovviamente, nessuno l'ha mai vista, altrimenti non avremmo tanti problemi concettuali. E badate: per arrivare a questa conclusione, non occorre fare nessun calcolo. Infatti, l'equazione di Schrödinger è di tipo lineare e, di conseguenza, alla fine di un qualsiasi processo di amplificazione fino a dimensioni macroscopiche, il risultato della sua applicazione, non importa a quanti trilioni di particelle operanti in modo coordinato, resta nebuloso quanto lo era nel microscopico. «Dunque», obiettava Schrödinger, «se la particella è nebulosa, non esiste nessun motivo per cui, a contatto con un altro insieme di particelle altrettanto nebulose (l'apparecchiatura di laboratorio, ridotta ai suoi componenti elementari), essa si debba materializzare da qualche parte». Se il lettore ha sentito parlare del problema del "gatto di Schrödinger" e del suo triste fato, ha capito di cosa sto trattando. Altrimenti, gli raccomando di leggere, per diletto personale, qualche libro di MQ tra quelli suggeriti.

In effetti, in base a critiche di questo e altro genere, Bohr e alcuni dei suoi colleghi finirono per introdurre a viva forza, nel loro modello (quello intuitivo, non quello matematico), una nuova complicazione: all'atto della misura, si deve presentare una discontinuità, per cui la particella misurata diventa, per un attimo, reale. Ci deve per forza essere qualcosa che fa collassare (nel gergo si dice proprio così) in un luogo ben preciso l'onda descrivente la particella, ma questo qualcosa non può essere l'apparato di misura. Gira e rigira, un matematico geniale e, in tempi più recenti, anche un premio Nobel per la fisica (rispettivamente: Von Neumann e Wigner, tanto per dire anche i peccatori e non solo il peccato) pensarono di poter risolvere un mistero per mezzo di un altro. Più o meno seguendo le procedure dei fantarcheologi di oggi, i quali interpretano una raffigurazione maya molto complessa per mezzo di un ovvio collegamento con Atlantide. I due dissero qualcosa del tipo: «Va bene, allora bisogna aggiungere questo: il collasso della funzione d'onda avviene quando l'esito della misura viene percepito

da un osservatore autocosciente». E cioè: se un essere umano non osservasse, il mondo resterebbe indistinto.

Mi sapete dire voi cosa significa? Io ho le idee poco chiare in merito. Anzitutto, pretenderei una definizione scientifica di "autocoscienza". Mi sono già pronunciato diverse volte su argomenti del genere: considero l'autocoscienza come l'emergere di un epifenomeno il quale, nei termini riduzionistici da me invocati a priori, si riduce a un gioco complicato di particelle elementari; talmente complicato per cui – come abbiamo visto – esistono addirittura motivi di principio che ci impediranno per sempre di analizzarlo fino in fondo, sebbene esso non contenga elementi olistici, e cioè qualitativamente diversi dai normali fenomeni fisici di base. Ditemi voi: perché l'autocoscienza dovrebbe influire sull'esito di una misura? Inoltre: dove poniamo il limite intellettuale al disopra del quale diciamo che un essere è autocosciente? Alcune scimmie antropomorfe sono in grado di riconoscere la propria immagine allo specchio: sono autocoscienti? L'uomo di Neanderthal seppelliva i morti con offerte votive: era autocosciente? Oppure, il primo essere autocosciente nella storia dell'universo sono stato io e, per modestia, aggiungo: solo dopo essere stato proclamato dottore in fisica? Ancora: ci si può chiedere cosa succederebbe al mondo, se non ci fosse nessun essere autocosciente a misurarlo. Forse, tutto rimarrebbe indistinto e fluttuante come la Luna di Einstein? Da ultimo: questa discussione è scientifica? Mi riesce difficile immaginare un esperimento utile a falsificarla. Infatti, prima o poi, ogni dato di laboratorio dovrà essere controllato da qualche essere autocosciente e, comunque siano andate le cose fino a quel momento, là avverrà il collasso della funzione d'onda e ci troveremo di fronte a un risultato ben preciso. Ma così racconta la storia della fisica: in seguito alle obiezioni di Schrödinger (e non solo quelle), nell'interpretazione standard della MQ (la cosiddetta "interpretazione di Copenaghen") s'infilò più o meno surrettiziamente proprio quest'idea. Si passa dall'infinita sovrapposizione di possibilità prima definita esistenza quantistica, alla vera e propria esistenza reale (anche se limitatamente all'istante dell'osservazione), solo in presenza di un osservatore autocosciente. Non tutti i *copenaghiani* hanno sottoscritto un patto firmato col sangue, s'intende, e alcuni hanno continuato a cercare soluzioni meno metafisiche. Ma fermiamoci un attimo a questa brutale interpretazione della MQ, laddove si richiede l'autocoscienza affinché qualcosa si possa presentare reale, almeno quanto la MQ lo consente. Di un'alternativa, accennerò poi.

Inciso: il lettore acuto potrebbe notare come io faccia un po' di differenza tra il cervello umano e un'apparecchiatura sperimentale. In fin dei conti, sono due oggetti composti entrambi da enormi quantità di particelle;

per quale motivo ipotizzo il sorgere dell'autocoscienza in quanto fenomeno non indagabile (per quanto sempre riduzionistico), mentre affermo essere il comportamento della lancetta dell'indicatore indagabile, e prevedo addirittura la soluzione di un sistema di equazioni non praticamente risolvibile, applicato a questo secondo caso (la lancetta dovrebbe puntare contemporaneamente verso su e verso giù)? Buona domanda, e ottima risposta: tra le equazioni descriventi il cervello umano, ve ne sono di non lineari; quella di Schrödinger, pur se applicata innumerevoli volte, sempre lineare resta, e l'esito è prevedibile almeno in termini qualitativi. No, è più complicato, ma l'inciso è finito lo stesso.

21.3. S'incontrano nuovi fantasmi

Se, dunque, accettiamo almeno come ipotesi questo modo d'interpretare la MQ, la spiegazione della CA è pressoché automatica. Seguiamo il discorso, ricordando questa precisazione: nei paragrafi che seguono, definirò "*fantasma*" l'esistenza quantistica, in quanto contrapposta all'esistenza reale da noi percepita nel mondo dei fenomeni direttamente sensibili. Ma un attimo, prima di criticare la scelta di vocaboli: questa nomenclatura non me la sono inventata io; era utilizzata da Einstein (lui diceva "*spooky*" = "spettrale").

Primo atto (e scusate il profluvio di corsivi): scoppia un big bang *fantasma*. Esso dà origine a un'infinità di possibili universi *fantasma* in coesistenza, quantisticamente sovrapposti, malgrado le leggi fisiche (anch'esse *fantasma*) siano diverse da un universo all'altro.

Secondo atto: ciascun universo *fantasma* evolve nel tempo, seguendo le proprie leggi *fantasma*. Alcuni ricadranno immediatamente in un big crunch o gnab gib sempre *fantasma*, altri si dissiperanno in immensi vuoti *fantasma*, mentre, in un certo gruppo di universi, le leggi *fantasma* saranno compatibili con una evoluzione un po' più normale, almeno dal nostro punto di vista: gli avvenimenti *fantasma* ci ricorderebbero la formazione di galassie, stelle, pianeti ecc. (sempre di *fantasmi* stiamo parlando), proprio come sappiamo essere avvenuto nell'universo reale da noi osservato.

Terzo atto: tra gli infiniti possibili universi *fantasma*, ce ne sarà pure qualcuno in cui le leggi *fantasma* presentano la finissima sintonia, richiesta dalla CA, per il formarsi e l'evolvere della vita. Dunque, al momento opportuno, in uno di questi universi *fantasma* sorgerà, su un pianeta *fantasma*, la vita *fantasma*.

Quarto atto: la vita *fantasma* evolve con lentezza verso un primo essere autocosciente *fantasma*.

Quinto e ultimo atto: l'essere autocosciente *fantasma* prende nozione di sé. Misura è fatta! L'unico universo *fantasma* compatibile con le leggi *fantasma* adeguate a supportare la vita intelligente diventa all'improvviso reale. Tutti gli altri universi *fantasma*, coesistenti assieme a lui fino a quell'istante, cessano di esistere. Anzi: come afferma categoricamente la MQ, non sono mai esistiti.

Non credo proprio che Cartesio avrebbe potuto immaginare, quasi tre secoli dopo di lui, un'applicazione così estensiva del suo "*Cogito, ergo sum*". Il primo ominide autocosciente – anzi: il primo essere autocosciente mai comparso nell'universo, chissà quando e su quale lontanissimo pianeta – ha determinato, proprio per il fatto di possedere un'autocoscienza, l'esistenza in senso stretto di un universo con le leggi di natura giuste, antropiche, tra l'infinità di universi possibili in coesistenza quantistica tra loro.

Voi cosa ne dite? Ci credete? Io non sono pregiudizialmente contrario al turpiloquio, ma tendo a usarlo solo come *extrema ratio*, come rafforzativo ultimo del discorso, perché un suo abuso ne compromette l'efficacia. Dunque, non riferirò le mie opinioni su questa spiegazione scientifica (seria?) della constatazione antropica.

Aggiungo, però, quanto segue: verso la fine del XX secolo, ha finalmente cominciato a farsi strada un'interpretazione della MQ in cui le misurazioni forniscono risultati apparentemente reali senza alcun bisogno dell'intervento dell'autocoscienza. In base a questa linea di pensiero, definita "*della decoerenza*", l'indeterminazione quantistica non smette mai di operare, e quindi non c'è mai il "*collasso della funzione d'onda*" ma, quando prendiamo in esame un insieme piuttosto considerevole di particelle elementari (come può essere appunto un apparecchio di misura), l'incertezza quantistica passa "*da una proprietà all'altra*". Ora, la stragrande maggioranza di queste proprietà alternative è distinguibile solo su scala microscopica, mentre l'aspetto macroscopico – quello da noi percepito – rimane lo stesso per qualunque osservatore. In quest'ordine d'idee, quindi, la lancetta dell'indicatore passa davvero attraverso uno stato di nebulosità quantistica in cui la sua posizione geometrica è indefinita, ma questo stato dura pochissimo, e nessuna misura concepibile sarebbe in grado di rivelarlo. Una frazione infinitesima di secondo dopo, anziché sulla posizione della lancetta, l'indeterminazione si trasferisce su altre proprietà della lancetta stessa, e la posizione resta dunque fissata per sempre, talché non basterebbe tutta la vita dell'universo a far sì che la lancetta abbia una probabilità seria di ripassare per lo stato di nebulosità, e ricomparire in un'altra posizione. Dunque, forse ci siamo liberati dall'intreccio perverso

tra MQ e autocoscienza, e dalla relativa interpretazione della constatazione antropica. Ma il "forse" è obbligatorio. Infatti, in MQ si ragiona sempre per modelli, e abbiamo ormai capito la base del ragionamento: se un modello ci sembra più ragionevole di un altro, in genere è solo perché non abbiamo ancora evidenziato del tutto le implicazioni nascoste, e il vizio di ragionamento celato necessariamente da qualche parte. Infatti, assieme alla decoerenza (personalmente, la considero una soluzione ragionevole al problema della misura quantistica, anche se, tra le sue implicazioni, c'è quella secondo cui nessun oggetto è mai reale in senso classico, e questo è il rospo velenoso da ingoiare, oltre al motivo per cui ho centrato la mia trattazione della MQ sul problema dell'esistenza), si è pure fatta strada una interpretazione ancor più esoterica (sempre dal mio punto di vista, è proprio tirata per i capelli), ma anch'essa può condurre a una spiegazione quantistica alternativa della CA. Fa mestieri parlarne, poiché va molto di moda e, per alcuni suoi risvolti psicologici, colpisce l'ascoltatore. Si tratta della "interpretazione a molti universi", il cui primo apparire data dalla metà del secolo scorso, ed è attribuibile a Hugh Everett III, anche se il suo ideatore non si è più occupato di raffinarla, e il compito di estenderla e interpretarla a sua volta (ebbene, sì: in MQ esistono anche le interpretazioni di interpretazioni) è ricaduto sulle spalle di altri.

21.4. Infinite copie di me stesso

Vediamo la cosa in termini supersemplificati. La MQ afferma: «Se eseguiamo la misura di una qualsivoglia quantità fisica di un sistema quantistico, possiamo trovare esiti differenti, e la probabilità di trovare ciascuno di questi esiti si calcola grazie all'equazione di Schrödinger». Il discorso di nostro interesse, in questa sede, riguarda solo la possibilità di far venire fuori risultati diversi ripetendo sempre la stessa misura. L'interpretazione a molti universi, stringendo il discorso ai limiti estremi, afferma quanto segue: ogni qual volta venga eseguita una misura, l'universo si biforca in due (o più, anche infiniti, a seconda di quanti possibili esiti ha la misura) universi, i quali smettono d'interagire l'uno coll'altro immediatamente, e in ciascuno di essi la misura ha un esito diverso. Insisto: ogni misura quantistica produce sempre tutti gli esiti possibili, ma ciascun esito si manifesta in un universo differente, la cui nascita avviene all'istante della misura stessa. Poiché, dunque, nell'universo come lo conosciamo, la natura in sé esegue infinite misure in senso lato a ogni istante, è tutto un proliferare di universi paralleli i quali, all'inizio, differiscono tra loro solo per l'esito di una mi-

sura. Poi, il gioco incrociato della MQ e del caos deterministico (sempre l'effetto farfalla della meteorologia) fa sì che, al passare del tempo, le minuscole differenze quantistiche si amplifichino, e le storie degli infiniti universi paralleli divergono tra loro. In questo modo di vedere le cose (secondo me, richiede uno spreco spaventoso di universi, ma non è motivo scientificamente sufficiente per rifiutare a priori l'interpretazione), esistono infinite copie di me stesso, differenti tra loro da praticamente nulla a quasi tutto (se differissero in tutto, non sarei più io): da quella che, poveretta, morì prima di nascere, a quella vincitrice di qualche premio Nobel (saranno poche). Ci sono copie di me che esercitano la professione di neurochirurgo (anche se non capisco come facciano), perché un qualche remoto avvenimento quantistico, occorso al momento opportuno e amplificato secondo alcuni canali e non altri, ha spostato la mia attenzione dalla fisica alla medicina in un momento decisivo della mia evoluzione intellettuale. Altri me stesso hanno vinto il Tour de France tanti anni fa, magari dieci volte di fila, e altrettante il Giro d'Italia, e ora dirigono una squadra ciclistica. Altri ancora stanno scrivendo questo stesso libro, ma sbagliano le virgole in modo diverso da come le sbaglio io, e via discorrendo. E, ovviamente, il discorso si ripete pari pari per il lettore. In alcuni universi è lui l'autore di questo libro, mentre io, leggendolo, continuo a bofonchiare: «Ma è pazzo, costui?». In una stragrande maggioranza di universi paralleli, io non esisto per nulla; in alcuni, tutto il mondo fa parte dell'Impero assiro, o di quello romano, o di quello azteco. In altri, non si sono sviluppati sulla Terra esseri intelligenti, o addirittura la vita. Altri ancora non hanno neppure visto la nascita della Terra e, proseguendo di questo passo, ecco riemergere la molteplicità delle possibilità quantistiche, non più come fantasma, ma come reale in senso stretto: in atto, anche se non qui. La CA è semplicemente la conseguenza di una banale deduzione ottenibile da questa visione: negli infiniti universi in cui non si sono date le condizioni per cui noi fossimo qui, noi non ci siamo e quindi non ce ne accorgiamo. Ma, siccome ci sono anche infiniti universi evoluti nel modo giusto (per puro caso), in questi ci siamo, e ce ne meravigliamo. La spiegazione sta a galla con fatica, poiché la CA non si riferisce alla storia passata dell'universo, ma alla sintonia fine delle leggi che lo regolano. Però, una volta ammessa questa proliferazione infinita di possibilità, cosa ci costa aggiungere anche universi in cui l'esito di una misurazione quantistica, magari a ridosso del big bang, abbia condotto a leggi o costanti di natura diverse? Infinito più, infinito meno, è a nostro piacimento distribuirne a piene mani, e sbizzarrirci. Anzi: richiamo all'attenzione del lettore un risvolto importante di questa visione super-prolifica, apparentemente molto gradito ai suoi propugnatori. In infinite delle ramifi-

cazioni a venire, sarà di certo inventata la pillola dell'eterna giovinezza mentre il lettore è ancora in vita, e dunque egli riuscirà a ottenere l'immortalità fisica. Certo, infinite sue copie non ce la faranno, ma infinite altre sì. Non lo tenta, questa prospettiva, anche se riguarderà soltanto le più fortunate tra le sue ramificazioni? Per parte mia, preferisco l'idea di andarmene senza tante storie, quando il mondo mi sarà diventato così estraneo e incomprendibile da costarmi troppa fatica dovermici confrontare ogni giorno.

Da alcune minuscole venature di sarcasmo celate (neanche troppo) tra le righe nella descrizione di quest'ultima interpretazione quantistica della CA, e ancor più per averla inserita nel capitolo delle "indecenti", il lettore avrà forse arguito come io non la trovi tra le più appetibili. Il motivo? Non mi sembra scientifica, e spiego perché. L'interpretazione a molti universi possiede, a causa delle sue caratteristiche estetiche, un pubblico numeroso di affezionati, tra i quali si contano diversi fisici. Alcuni di questi ultimi hanno lavorato, e lavorano da tempo, per verificare se essa soddisfi tutti i requisiti imposti dalla sperimentazione alla MQ e, in particolare, se possa eliminare il fastidiosissimo (intellettualmente) propagarsi di una informazione in senso lato più veloce della luce, già ipotizzato per le particelle soggette a *entanglement* (capitolo 11). Fino a oggi, i risultati sono stati incoraggianti se, però, s'introduce nel modello un'ipotesi che, a priori, non sarebbe sembrata necessaria. Si tratta di questo: fin dal preciso istante della separazione tra due nuovi universi, nessun contatto fisico è più possibile tra essi. Ora, questa condizione conduce, come conseguenza inevitabile, a un'altra, più ovvia conclusione: nessun concepibile esperimento potrà mai provare che gli universi si sdoppiano e si moltiplicano davvero. Ribadisco questo concetto, tornando alla fine del secondo capitolo, quello sulle basi del metodo scientifico. Lì, con riferimento alle leggi di natura, era stato affermato:

"C-II) Per conoscere queste leggi, non è possibile evitare di fondarsi sul metodo sperimentale. Detto in altro modo, non si può fare scienza senza osservare quanto succede davvero in natura".

Applichiamo il punto C-II all'interpretazione a molti universi della MQ. Questa non è a priori suscettibile di conferma o riconsiderazione sperimentale, per l'impossibilità, prevista dall'interpretazione stessa, che possa esistere interazione tra due universi biforcati. Da nessuno dei due sarà mai possibile ottenere informazioni sull'altro; neppure sulla vera e propria esistenza dell'altro. La chiamiamo scienza, questa? E poi, ricordiamo: in ogni caso, ci si baserebbe solo su una, tra tante possibili interpretazioni della MQ, ciascuna delle quali è congruente coi risultati sperimentali. Dunque, siccome non sarà mai consentito, per principio, distinguere se ce n'è una

vera, tra tante interpretazioni tutte sullo stesso piano, stiamo elaborando fuori della scienza. Se al lettore piace pensare a questa continua moltiplicazione di universi in alcuni dei quali, tanto per dirne una, egli non ha compiuto in passato azioni che ora riconosce come sbagliate, e cose del genere, è liberissimo di crederci, ma si tratta di un atto di fede da parte sua. Non invochi, per favore, la MQ o, più in generale, la scienza a conferma della sua predilezione, poiché si tratta di scelta personale e fede cieca.

Ancora mugugni. Stavolta, sulla decoerenza. Neanche questa è passibile, per definizione, di conferma sperimentale, e dunque non dovrebbe far parte della scienza. Giusto, è vero. Perché, prima, ho affermato: «...personalmente, la considero una soluzione ragionevole...»? Per fortuna, a questa domanda posso dare una risposta definitiva: «Non lo so!». Punto e basta.

21.5. Passiamo a “costruire Dio”

Spero che l'abbandono delle spiegazioni quantistiche, e il passaggio alle spiegazioni del secondo tipo, quelle definite “*la fabbrica di Dio*”, avvengano senza traumi. Prometto e giuro: anche alla fine della seguente discussione, eviterò di esprimere turpemente il mio parere su questa classe di interpretazioni della CA.

Per fortuna, nel nuovo caso in esame, non è necessario tornare su concetti scientifici già discussi, e approfondirli ulteriormente, come è stato indispensabile, invece, trattando delle spiegazioni di tipo quantistico. Qui, le cose sono semplici, e possiamo arrivare direttamente al nocciolo del problema. “Semplici”, insomma...

Si parte, accettando le leggi fisiche così come sono, senza bisogno di alcuna interpretazione più o meno fantasiosa, anche se bisogna estrapolare un po' il già conosciuto, lungo linee più o meno tollerabili, almeno allo stato odierno dell'arte. In queste ipotesi, coerentemente con la CA, si è sviluppata l'intelligenza nell'universo reale. L'intelligenza nostra o, se preferiamo, di qualcun altro (extraterrestri?), tanto il ragionamento non cambia.

L'intelligenza si accresce qualitativamente, e quantitativamente, al passare del tempo, secondo le leggi dell'evoluzione darwiniana. Lasciando perdere facili ironie, e discorsi apocalittici sull'inevitabile autodistruzione di ogni razza intelligente giunta a manipolare le energie cosmiche, non ci costa nulla accettare quest'ipotesi, specie se allarghiamo il ragionamento alla possibile (probabile, ormai) intelligenza artificiale. Lo ammetto: finora, non conosciamo alla perfezione i principi scientifici su cui si basa l'intelligenza umana e, per di più, sembra esistere un ostacolo fondamentale per quanto

riguarda la realizzazione di un'intelligenza, così come siamo abituati a concepirla, su una macchina in senso lato. Il lettore ricorderà, infatti, i problemi incontrati a suo tempo, parlando del teorema di Gödel. Per poter procedere nel discorso, accettiamo il punto di vista riduzionistico estremo, e concludiamo che anche l'intelligenza è solo un epifenomeno. Essa compare al crescere della complessità e, quindi, ci è per lo meno lecito ipotizzare di poter scoprire, un giorno o l'altro, qualche nuova legge di natura in grado di gettar luce sui modi necessari a ottenere, da una macchina, manifestazioni d'intelligenza somiglianti a quella umana. Attenzione: ritengo igienico dal punto di vista intellettuale distinguere tra intelligenza e libero arbitrio. Solo per quest'ultimo esistono, ormai, elementi di conoscenza tali da affermare l'impossibilità, presente e futura, di ricavare una prova scientifica cogente per dimostrarne l'esistenza o la non esistenza. Mantengo, invece, un'apertura sostanziale per quanto riguarda la possibilità di costruire un'intelligenza artificiale in senso lato.

Ipotizziamo, dunque, la futura fabbricazione di macchine dotate d'intelligenza. O, magari, saranno già state realizzate altrove, in passato, da qualche extraterrestre. Siccome non abbiamo nozione di vincoli a priori alla crescita dell'intelligenza, queste macchine saranno, verosimilmente, in grado di inventarne, e costruirne, altre sempre più intelligenti, senza limiti di principio (ciò potrebbe un giorno essere dimostrato falso ma, oggi come oggi, non possiamo dirlo). La speculazione ideale appena riportata può sembrare forse eccessiva ad alcuni; secondo me, però, non ci sono ancora affermazioni travalicanti i limiti del possibile. Anzi: in un certo qual modo mi sembra uno scenario addirittura probabile, pur se ho già dichiarato di non essere del tutto convinto della sua inevitabile certezza.

Da questo punto in poi, le proposte dei vari scienziati divergono. Alcune sono molto spinte, altre meno. Racconto solo la più avanzata tra quelle finite tra le mie mani. Tanto, il superamento dei limiti della decenza si ha, a parer mio, per tutte allo stesso modo, e perciò vale la pena d'illustrare solo l'estrapolazione più interessante.

S'ipotizza, dunque, che ogni struttura mai esistita nell'universo abbia lasciato un qualche genere di informazione; in particolare, ciò è importante per le strutture viventi e, a maggior titolo, per quelle intelligenti. Tale informazione dovrebbe comprendere non solo le istruzioni per il montaggio sufficienti a ricostruire, con precisione, ciascuna struttura, ma addirittura le istruzioni per il ripristino dello stato mentale al momento della morte. Ricordate? Nel linguaggio dei vecchi elaboratori elettronici, abbiamo già parlato di *check point*, ovvero memorizzazione su disco o nastro dell'intero stato del sistema a un certo momento particolare. Il *check point* dell'intero uni-

verso, e ripetuto per ogni istante della sua vita, sembra troppo? Non è ancora niente!

Si aggiunge l'ulteriore ipotesi secondo la quale l'universo dev'essere chiuso, ovvero, pur se il suo volume è infinito (o magari è finito, ma non importa ai fini di questo discorso), l'espansione dell'universo è destinata a rallentare e fermarsi prima o poi. In tal caso, alla fase di espansione e allo stop, seguirebbe una contrazione, al termine della quale avrebbe luogo l'esatto opposto del big bang, e cioè il big crunch o gnab gib. Questa ipotesi è del tutto indispensabile. Vale a dire: qualunque sia la variante dell'argomento su cui ci si sofferma, tutte richiedono comunque, alla fine dei tempi, il verificarsi del big crunch.

Seguiamo, perciò, la fase in cui l'universo sta ricontraendo verso il collasso finale. L'insieme delle intelligenze artificiali è evoluto verso un'unica intelligenza, enorme, onnicomprensiva, tale per cui neppure siamo in grado di figurarcela. Questa, ormai, ha pure trovato il modo di svincolarsi dalla materia. Magari, sfrutta campi di forza (in senso lato) di cui ancora non sappiamo nulla.

L'Intelligenza (sto usando la maiuscola, ma attenzione: non per introdurre nel discorso venature metafisiche) recupera, via via che l'universo ricade su di sé (e rientra, quindi, nella sua portata), tutte le informazioni su ogni struttura mai esistita in passato. Ricostruisce perciò le strutture, e restituisce loro perfino lo stato mentale, servendosi, magari, non di materia ma, anche qui, di essenze cui, oggi, ancora non siamo in grado di pensare. Siamo nell'ipotesi più interessante; altre varianti fanno a meno di quest'ultimo passaggio (la ricostruzione fisica e mentale), ma non del resto.

Il big crunch sta per verificarsi. L'Intelligenza svincola il tempo soggettivo percepito dalle strutture appena ricostruite, dal tempo oggettivo dell'universo, le lancette del cui orologio segnano, ormai, gli ultimi istanti. Le nuove strutture, dunque, godono di una virtuale immortalità separata dal resto dell'universo. Non sono più interessate a quanto accadrà in questa valle di lacrime. Per loro, il nostro mondo non esiste più in senso stretto, e basta.

È l'istante del big crunch. Qualunque sia l'ipotesi (spinta o no), l'Intelligenza riesce a invertire il corso del tempo, per cui il big crunch si trasforma nel big bang. In questo modo, poiché l'universo che stava precedentemente crollando su se stesso era un universo antropico, il nuovo, emergente da questo particolare tipo di big bang pilotato, è per forza di cose antropico pure lui, non trattandosi di un qualche genere di rimbalzo rispetto al big crunch, ma proprio di quest'ultimo, sebbene con la coordinata temporale cambiata di segno. Va notato come un insieme di ipotesi somigliante, ma non identico, fosse stato prefigurato in un racconto di fantascienza di Asi-

mov, al termine del quale veniva pronunciato il fatidico: «*Fiat lux*». Qui, però, le ipotesi sono sollevate da scienziati, e sulla base di conti matematici ben precisi, eseguiti applicando leggi di natura già scoperte o ancora da scoprire e, in quest'ultimo caso, facendo congetture sulla loro probabile forma.

Arrivati qui, ogni lettore può dire la sua.

21.6. Però, se a voi piace...

Non vorrei, con la mia affermazione, turbare la coscienza di chi, invece, trovi interessante l'argomentazione, anche perché, non credendo in Dio e nell'immortalità dell'anima, sente questa proposta di spiegazione per la CA come un'apertura verso qualche prospettiva ultraterrena. Per parte mia, sarei quasi più propenso ad accettare una delle spiegazioni quantistiche. Ma, tante teste, tanti cervelli... o no?

Invece, mi sembra importante una considerazione. In entrambe le famiglie di spiegazioni illustrate, sia di tipo quantistico, sia "fabbrica di Dio", si fa uso di un principio antropico in senso stretto, anziché della constatazione antropica, e anche in modo piuttosto forte. Infatti, comunque si mettano le cose, siamo noi, e proprio noi, a determinare l'esistenza di un universo antropico. In un caso, non ne siamo la causa prima, poiché l'infinità di universi quantistici ci precede nel tempo; nell'altro, invece, ne diventiamo proprio la causa prima (con le iniziali minuscole, sia pure per il tramite dell'Intelligenza), grazie a un'inversione del tempo.

Quest'ultima considerazione suscita in me sentimenti perversi nei confronti delle spiegazioni tipo fabbrica di Dio. Infatti, come il lettore avrà già notato, il mio atteggiamento verso argomenti che non solo prevedono la possibilità di viaggiare all'indietro nel tempo, con la relativa violazione di causalità, ma pretendono addirittura di trarne delle conclusioni logiche, è profondamente negativo per i motivi addotti inizialmente da Kant, e dal mio punto di vista insuperabili. Dedurre qualsiasi cosa in base a una violazione della causalità è un abuso della ragione del tutto equivalente a concludere, sempre causalmente, le necessarie iniziali maiuscole per la Causa Prima. In luogo di farsi un fracco di conti, all'unico scopo di spacciare per scientifiche queste spiegazioni della CA con chi si trova in imbarazzo di fronte alla matematica, i loro proponenti avrebbero fatto prima a rispolverare l'Aquinate, e accettare la sua dimostrazione (pur essa causale) dell'esistenza di Dio in quanto Persona (**DIO**), con tutto quel che segue. In coscienza: mi sento a disagio quando, nei moderni manifesti scientifici dell'ateismo, seguito a trovare affermazioni rigorosamente causali su

come **DIO** dovrebbe comportarsi, sul perché non potrebbe, logicamente, essere causa prima e via di questo passo. Ma procediamo: c'è un ultimo elemento su cui voglio richiamare l'attenzione del lettore. Respite le spiegazioni quantistiche della CA nel limbo delle fantasie, si può dire qualcosa di scientifico riguardo alla seconda linea di argomentazioni? Forse sì.

Dagli ultimi anni del XX secolo, sono cominciate a crescere evidenze osservative per l'esistenza di una forza repulsiva (per ora non meglio definita, ma sulla quale sapremo un giorno qualcosa di più preciso) all'opera nell'universo. L'effetto di tale forza è quello di accelerare l'espansione dell'universo stesso. Oggi come oggi, i fisici condividono un'opinione di massima sul futuro dell'espansione del cosmo. Lunghi dal fermarsi, e invertirsi verso un big crunch, questa è piuttosto destinata ad accrescersi progressivamente fino a livelli esplosivi. In tal caso, tutti gli argomenti sulla fabbrica di Dio risulterebbero falsificati dai dati sperimentali, poiché il big crunch è un loro attributo irrinunciabile. Certo, nulla si può dire di osservativo su cosa avverrà in tempi corrispondenti a migliaia o milioni di volte l'attuale età dell'universo, ma almeno un altro dato scientifico è ormai più o meno certo, e il lettore presti attenzione alla frase seguente. Se pure la forza repulsiva sarà destinata a indebolirsi, spegnersi, e magari addirittura ribaltarsi, nel corso degli eoni, conducendo quindi a un big crunch, al contrario e al di là delle nostre possibilità di previsione attuali, ciò avverrà comunque in un contesto di "azzeramento totale dell'informazione". Ovvero: un prerequisito indispensabile all'avverarsi di una tale situazione di big crunch, successivo all'espansione esplosiva oggi osservata, sarebbe comunque la cessazione di ogni correlazione tra oggetti fisici in senso lato. Al contrario, nelle ipotesi "fabbrica di Dio", solo la persistenza di correlazioni tra gli oggetti può mantenere l'informazione. E non solo quella sulle eventuali strutture pensanti da ricostruire, ma quella riguardante la vera e propria antropicità dell'universo. Un singolo oggetto (un fotone, una particella elementare, eccetera) ha infatti un significato solo se preso all'interno di un contesto; in sé, lo stesso oggetto non può significare proprio un bel nulla, e l'espansione dovrebbe condurre (prima di fermarsi e invertirsi, se mai lo farà) a situazioni in cui, all'interno di ogni regione dell'universo nella quale possano esistere interazioni, non ci sia più di una particella, e dunque fuori contesto. Di conseguenza, non solo l'Intelligenza non potrà più esistere oltre un certo limite temporale (dettato proprio dalla velocità di espansione cosmica), ma, nel momento opportuno, non sarebbe più presente neppure una buona quantità delle informazioni antropiche indispensabili al gioco. Come se il *check point* del

computer fosse stato sovrascritto da una fila di zeri. Un universo che terminasse la sua vita in un improbabile big crunch del genere, dunque, avrebbe in un certo senso perso memoria delle proprie origini, e della propria struttura iniziale. Perfino una ancor più improbabile inversione del tempo, dunque, non lo condurrebbe necessariamente a essere antropico, e la dimostrazione scientifica dell'impossibilità delle soluzioni "fabbrica di Dio" è a portata di mano. Ma sto rischiando di abusare anch'io della ragione, ed è meglio che mi fermi qui e riassuma.

21.7. Ricapitolando

A-XXI) Gli scienziati, spesso, non riescono a tenersi fuori della metafisica, e riescono a ingannarsi da soli – come chiunque altro – nel tentativo di ammantare desideri nascosti e incoerenze logiche coi paludamenti della scienza ufficiale.

22. QUESTE, INVECE, MI PAIONO DECOROSE

22.1. Forse è eccesso di pudore

Ho brevemente illustrato, nel precedente capitolo, in qual modo alcuni scienziati dichiaratamente atei, il cui nome è di tutto rilievo nel campo della fisica grazie a indiscutibili successi nella MQ, nella relatività, nel Modello Standard delle particelle elementari, nella cosmologia e via discorrendo, finiscano per soccombere al tentativo di costruirsi a tutti i costi un dio immanente con le minuscole. Una causa prima improbabile: esseri intelligenti di tipo umano, se non noi stessi. Saremmo sufficienti, infatti, in un caso per far collassare la funzione d'onda dell'universo, nell'altro per costruire intelligenze sempre più onnicomprensive, nella speranza di ottenere la loro attenzione finale affinché ci resuscitino e ci conducano in un paradiso di virtuale eternità, ma immanente pur esso, negli ultimi tempi di vita dell'universo. Un'operazione del genere è, a mio modo di vedere, un vero e proprio reato antiscientifico, poiché non solo si basa su artifici macchinosi, sfuggenti a priori a ogni controllo di tipo galileiano, ovvero sperimentale (mentre il dato empirico è *conditio sine qua non* per chi voglia discutere le proprie argomentazioni in termini scientifici), ma, spesso, piega per i propri scopi le stesse leggi scientifiche, per mezzo d'interpretazioni dettate da opinioni personali. D'altronde, sono portato a distinguere sul piano umano tra peccato e peccatore, poiché considero queste persone colleghi di sventura, vittime come me (e come ogni altro essere umano, ancorché possa sbandierare ai quattro venti il proprio ateismo felice) di una nevrosi. Tra il loro caso e il mio, vedo due sole differenze di qualche rilievo: la prima è che il successo in campo scientifico da essi ottenuto prova la maggior potenza della loro mente, rispetto a quella di cui dispongo io. La seconda (e questa, però, va a loro svantaggio) è la seguente: io ritengo di aver ragionato abbastanza a lungo, onestamente o come il lettore preferisce, sui perché emotivi della mia incapacità di allontanarmi sostanzialmente da quanto già affermava Agostino d'Ippona riferendosi a **DIO**: «*Fecisti nos ad te, et inquietum est cor nostrum donec re-*

quiescat in te». Ci sarà di mezzo anche l'istinto di autoconservazione, per cui sono costretto a cercare una sopravvivenza dopo la morte, ma non è solo quello: ormai ne sono più che sicuro. Dunque, sul piano scientifico, so di dovermi limitare ad accettare la mia nevrosi (ma potrebbe essere proprio **DIO** a utilizzarla per richiamare la mia attenzione; provatemi il contrario, se vi riesce), e non posso cercare supporto nella fisica, nella matematica e così via, per mettere a riposo il mio cuore col dimostraragli, senz'ombra di dubbio, il motivo per cui quel **DIO** cercato c'è (o non c'è). Sono solo riuscito a raggiungere l'*enunciato Z*: se mi baso esclusivamente sulla scienza, il mio cuore è destinato a rimanere inquieto. Considero perciò errato, per uno scienziato e per chiunque altro, partire lancia in resta, ancor prima di aver cercato di chiarire e accettare esplicitamente le proprie motivazioni (troppa fede aprioristica, specie nell'*Enunciato D'*, può nascondere in alcuni scienziati un certo pudore nell'ammettere che, come chiunque altro, pure loro soffrono un po' per l'assenza di Dio), e usare la CA elevata a principio, per costruire una pseudo-religione laica, basata su interpretazioni personali, e stravolgimenti sistematici della scienza, non sperimentabili per loro stessa natura. Basterebbe il criterio definito "*rasoio di Occam*" (traduzione anarchica: «Se c'è una spiegazione semplice e una complicata, in genere è vera quella semplice») a far preferire, sempre quasi-scientificamente parlando, una religione rivelata, laddove l'unico passo davvero difficile è accettare la rivelazione, dopodiché il resto segue più o meno automaticamente.

Ma passiamo oltre, e cerchiamo di capire se esiste qualche possibilità di spiegare la CA (per me è sempre una constatazione e nulla più) in termini scientifici, senza richiedere un grande manipolatore nascosto (con le minuscole). Dopo aver insistito un attimo su un argomento fondamentale, a monte di qualsiasi altra discussione, mi limiterò a raccontare un paio di proposte, alquanto diverse tra loro, porgendo per prima la meno appetibile, e poi quella al momento più ragionevole, almeno secondo me. Ricordate bene, però: specie in questi casi, si tratta di gusti personali, e il lettore è libero di dissentire dal mio modo di vedere le cose. Non gli sto spiegando un elemento chiave di fisica, nel qual caso dovrebbe accettare e basta; qui gli sto solo raccontando idee altrui, oggi come oggi un po' al di fuori della fisica strettamente sperimentale, che però, per come sono messe nel contesto scientifico generale, potrebbero rientrarvi, almeno in senso lato, un giorno neanche troppo lontano.

22.2. Potrebbe non esserci spiegazione

Il concetto a monte di ogni ipotesi successiva è il seguente: in fin dei conti, potrebbe non esserci nessun bisogno di spendere troppe parole e troppi ragionamenti, nel tentativo di individuare una spiegazione non teologica in senso lato per la CA. Ragioniamo così: noi esistiamo, no? Dunque, le leggi di natura debbono essere per forza antropiche. Senza stare troppo a girarci attorno, accettiamo il fatto: l'universo è organizzato in modo tale da permetterci di esistere perché, se fosse differente, nessuno sarebbe qui a meravigliarsi di nulla. Sarebbe il caso più estremo in assoluto, perfino rispetto a quello, già accennato, dell'evoluzione cerebrale umana, d'influenza dell'osservatore sulla misura, pur se potrebbe trattarsi di un'influenza del tutto passiva, al contrario di quella ipotizzata nelle spiegazioni quantistiche o in quelle tipo fabbrica di Dio. Tutto qui, e magari non ci sarà mai altro da dire. Abbiamo vinto la lotteria cosmica poiché è uscito il nostro biglietto, invece di uno tra gli infiniti altri in gioco. Punto e basta. Se così fosse, dovremmo accontentarci per sempre della "constatazione" vuota di ogni significato, e nessuno riuscirebbe a dimostrarlo. Attenzione, dunque, a voler cercare per forza spiegazioni: potrebbero non essercene, né oggi né in futuro. Certo, lo ammetto pure io: la CA non si presta bene a essere esorcizzata da una considerazione così piatta. Il problema non è, infatti, nella pura e semplice esistenza di troppe leggi compatibili col nostro essere qui a osservarle, ma nella estrema raffinatezza con cui queste leggi debbono essere sintonizzate per raggiungere lo scopo. Se i fisici teorici, calcolando le proprietà di universi alternativi, avessero trovato situazioni non eccessivamente dissimili dalla nostra, pur aumentando o diminuendo di dieci, cento o mille volte le varie costanti moltiplicative in tutte le leggi conosciute, qualcuno avrebbe finito per rilevare: «Ma guarda un po' quant'è buffo: se l'universo fosse stato davvero molto differente da come lo conosciamo, noi non saremmo potuti esistere!». Una considerazione così spampanata, però, è quasi una tautologia, e lascia il tempo che trova. La grande forza dell'argomento antropico è, invece, nella spaventosa precisione (in alcuni casi meglio dell'1%) con cui debbono essere regolate molte costanti di natura per consentire la nostra esistenza. Dunque, sebbene la conclusione: «È così e basta!» potrebbe benissimo rappresentare il massimo a noi un giorno concesso, e mantenere comunque carattere dirimente, al momento ci sentiremmo più soddisfatti nel trovare un motivo scientifico convincente per questa raffinata sintonia. Ma potrebbe non esserci proprio nulla da trovare!

22.3. Darwinismo cosmico

Chiarito questo punto basilare, passiamo alle ipotizzate spiegazioni di tipo evoluzionistico. Abbiamo già visto come una regolazione di alcuni aspetti della natura, apparentemente finalizzata allo scopo di ottenere un certo risultato desiderabile, s'incontri nella scienza in un contesto ben diverso da quello cosmologico. Sto parlando della funzionalità degli organi, in biologia. In quel caso, Darwin riuscì a dimostrare in modo sostanzialmente convincente (pur con tutte le puntualizzazioni concepite dai suoi successori) come la semplice mutazione casuale, con l'aggiunta del potente meccanismo di selezione naturale per accelerare il fissaggio delle mutazioni, e abbastanza tempo a disposizione rappresentino tutto il necessario per costruire apparecchiature biologiche molto complesse, e addirittura ottimizzate, senza bisogno di nessun disegno o finalismo. Per analogia, qualche fisico si è posto la domanda: «Potrebbe esistere, anche in cosmologia, un principio di mutazione e selezione naturale per cui, al succedersi di "generazioni di universi", finiscano per essere favoriti quelli che ereditano caratteristiche antropiche dai loro progenitori? In tal caso, questi ultimi dovrebbero ormai rappresentare la stragrande maggioranza (in pratica, la totalità) di tutti gli universi esistenti in senso lato e, per conseguenza, la probabilità di incappare in un universo non antropico sarebbe trascurabile». Attenzione, perché è un concetto complicato, e conviene rileggerlo. In ogni caso, lo rispiego con parole mie.

Ipotesi: tutto è partito tanto tempo fa, magari un tempo infinito fa, da un universo proprio per nulla antropico. Un universo o infiniti, importa poco in questo contesto e, per comodità di ragionamento, lavoriamo su uno solo. Qualunque fossero le caratteristiche di questo "ur-universo" (in tedesco, il prefisso "ur" sta a indicare "primitivo" ma anche "archetipico", e quindi si adatta bene al concetto che stiamo sviluppando), esso sarà evoluto nel tempo, dando origine a strutture autoreplicanti sulla cui natura sarò più preciso tra un attimo. Aggiungiamo anche l'ipotesi secondo la quale alcune di queste ultime strutture siano in grado di generare al proprio interno dei big bang in senso lato, non necessariamente identici a quello all'origine del nostro universo. Questi big bang potranno condurre alla nascita di nuovi universi, di seconda generazione, del tutto staccati, in termini spaziali e temporali, dall'ur-universo.

Non mi è lecito procedere nel discorso, senza aver spiegato cosa potrebbero essere queste fantomatiche strutture autoreplicanti. Si tratta di buchi neri. In parte, rinvio il lettore al capitolo in cui ne ho già fatto cenno, e gli raccomando anche un buon testo divulgativo tra quelli in ap-

pendice. Qui, vorrei cavarmela con due parole, senza appesantire troppo il discorso, utilizzando in parte il modello newtoniano mentre, nel capitolo 16, ho utilizzato prevalentemente quello einsteiniano, un po' più complicato. Per quanto ci occorre capire in questo momento, fortunatamente, i due modelli si possono rimescolare un tantino.

Un buco nero, come abbiamo già visto, è l'espressione più estrema della forza di gravità. Ricordate la formuletta di Newton? Al denominatore, c'è la distanza tra le due masse attrattive, elevata al quadrato. Senza sottolizzare, diciamo così: quando la distanza va a zero, la forza va all'infinito. E nessuna struttura materiale può resistere a una forza tendente all'infinito: se un oggetto di grande massa (per esempio una stella moribonda) si comprime oltre un certo limite, la sua gravità supera ogni resistenza strutturale, e tutti gli strati esterni di quanto rimane della stella crollano verso il centro. L'oggetto si riduce a un punto materiale e, in un certo senso, esce dall'universo. Ossia: la sua forza di gravità si fa ancora sentire dovunque, ma il centro del buco nero è schermato rispetto al resto dell'universo. Perché? Ne abbiamo parlato: la superficie sferica dove lo spazio si curva fino a chiudersi su se stesso impedisce perfino alla luce di sfuggire dal buco nero, dando vita a una sorta di censura cosmica. Qualunque cosa finisca all'interno di questa superficie, è perduta per sempre; essa rappresenta un orizzonte di non ritorno per chi cada nel buco nero. Proviamo a memorizzare questi pochi concetti, perché saranno importanti nel comprendere i modelli evolutivi di universo.

22.4. Dentro i buchi neri

Ho appena parlato del centro di un buco nero come di un punto geometrico, di dimensione nulla, dove la gravità è infinita. Questo è quanto affermano concordemente sia la vecchia teoria gravitazionale di Newton, sia la RG. Ma i fisici si vanno sempre più convincendo di come la natura abbia scelto una strada preferenziale nel comporre il mondo: quella "atomica" in senso lato. Vale a dire: non solo la materia e l'energia, ma pure lo spazio e il tempo non sono divisibili all'infinito, e si presentano in granelli di dimensioni piccolissime, non nulle. Per la materia e l'energia, l'abbiamo già visto in laboratorio, e ci abbiamo costruito sopra la MQ e l'elettronica moderna. Per lo spazio e il tempo, la verifica sperimentale richiederebbe apparecchiature troppo grandi e costose per essere costruite in un futuro prossimo, ma non si può escludere che l'universo stesso, comportandosi come immenso laboratorio, riesca a fornirci, in tempi non troppo

lontani, qualche prova diretta di questo stato di cose. Comunque sia, gli indizi teorici, al momento, si presentano molto convincenti. Infatti, ipotizzando una dimensione minima diversa da zero per i granelli di spazio e di tempo (non chiedetemi cosa sia un granello di tempo), tante faccende ancora controverse e irrisolte nelle teorie attuali andrebbero a posto quasi automaticamente. In particolare, sarebbe richiesta una modifica della RG, e il concetto di buco nero ne verrebbe fuori un po' cambiato anch'esso. Al suo centro, non dovrebbe esistere un punto geometrico di densità infinita (quando, nella soluzione delle equazioni, compaiono valori infiniti, in genere i fisici sono concordi nel considerare le equazioni medesime non più adeguate a trattare quel caso particolare), ma un volumetto, avente densità altissima, non infinita. Il lettore abbia pazienza, non solo gli sto illustrando nuove situazioni fisiche molto complesse, al limite di quanto la stessa RG sia in grado di prevedere, ma utilizzo anche, in modo estensivo, termini come "probabile" e "possibile" per un motivo banale: al momento, descrivo circostanze lungi dall'essere provate in modo sperimentale, sebbene un insieme molto ampio di ragionamenti scientifici le faccia ritenere almeno probabili a una buona frazione di fisici. Però, è vero: a stretto rigore di termini, queste sono estrapolazioni rispetto allo stato attuale delle conoscenze, e le conclusioni cui giungerò potrebbero un giorno essere contraddette dagli esperimenti. A prima vista sembrerebbe, dunque, che io stia parlando di qualcosa non molto diverso dagli universi fantasma quantistici o dalla fabbrica di Dio. Prima di giungere alle conclusioni del capitolo, spero diventi chiaro al lettore per quale motivo non è esattamente così, e perché tutte le spiegazioni della CA illustrate qui hanno qualche speranza di verifica scientifica, al contrario di quelle del precedente capitolo.

Torniamo al buco nero. Se, al suo centro, ci fosse davvero questo volumetto irriducibile non nullo, la caduta della materia (e perfino dello spazio, in conseguenza della curvatura del tempo) verso di esso, a causa della forza di gravità tendente quasi all'infinito, anziché terminare con l'assorbimento e la sparizione definitiva (ne sappiamo ancora troppo poco per pronunciarci in merito), potrebbe condurre a una sorta di rimbalzo. Attenzione: è proprio l'eventuale rimbalzo in senso lato dello spazio al centro del buco nero, a presentarsi molto interessante. Se una certa regione di spazio si contrae verso il centro, il suo volume diminuisce; se, alla fine di una contrazione fin quasi a zero, lo spazio rimbalza, cosa succede? Il suo volume riprende ad aumentare. Sarebbe una specie di big bang sui generis, ma attenzione: un big bang totalmente invisibile per chi sia rimasto fuori della superficie di non ritorno, poiché neppure la luce potrebbe

portarne l'informazione, ma enorme per chi stesse dentro la regione di spazio soggetta a contrazione, rimbalzo e successiva espansione.

22.5. Il tempo *rimbalza*?

I calcoli, infatti, mostrano come, al passare del tempo (rimbalzato pure lui, e quindi ripartito da zero), l'eventuale osservatore all'interno del buco nero constaterrebbe il dilatarsi d'un vero e proprio universo, di dimensioni (per lui) sempre crescenti, senza alcun limite. Infatti, lo spazio interno e lo spazio esterno sono ormai completamente disaccoppiati; il volume, visto dall'esterno, resta finito, mentre può benissimo andare all'infinito se misurato dall'interno. Mi dispiace per l'intuizione, ma i conti parlano chiaro, e non ci sono problemi di inversione del tempo, o roba del genere. In seguito a questo evento, dunque, all'interno del buco nero nascerebbe un universo figlio il quale, non potendo uscire nell'universo padre, presto dimenticherebbe gli antenati, e comincerebbe a esistere come nuovo universo a sé, del tutto indipendente dal progenitore.

Il concetto sembra (beh, diciamo pure: "è") esoterico, e ci troviamo di fronte a difficoltà insormontabili, se ne vogliamo produrre un modello mentale, ma il modello matematico suggerisce così, e ormai ci abbiamo fatto l'abitudine: non capiamo, ma accettiamo. Come? State brontolando ancora sull'inversione del tempo e la causalità? Bene, la cosa di cui ci dobbiamo tutti convincere è questa: lo spaziotempo all'interno del buco nero, e quello dell'ur-universo al suo esterno, non si toccano più o, con un termine più pomposo, sono causalmente sconnessi, perché nessuna informazione può essere scambiata tra i due. Ci troviamo, quindi, in presenza di due universi veri e propri, il primo dei quali contiene il piccolo guscio del secondo, ma per chi vede le cose dall'interno del secondo non esiste nessun guscio limitante e, anzi, il suo universo si sta espandendo all'infinito. Si noti: questa completa scollatura tra i due universi, esterno e interno, non porrebbe affatto i problemi di causalità incontrati quando si studiano viaggi nel tempo, poiché *i due tempi* se ne andrebbero ciascuno per conto proprio. Eh no, non sto prendendo in giro nessuno, quando parlo di *due tempi indipendenti*.

Non si tratta di fantascienza: siamo ben lontani – lo ammetto – dal possedere una teoria completa e affidabile riguardante questo scenario. Magari, alla fine, modelli migliori mostreranno come il rimbalzo interno non esista affatto. In tal caso, la famiglia di argomenti genetico-evolutivi per la spiegazione della CA crollerebbe, o andrebbe sostituita da qualche

altro modello ancora da venire. Ma, oggi come oggi, le ipotesi introdotte nel discorso precedente sembrano quanto meno possibili.

Ora, però, bisogna farsi largo a gomitate con una nuova ipotesi: nel big bang che origina l'universo di seconda generazione, le leggi e le costanti di natura possono venir fuori diverse da quelle nell'ur-universo. È l'analogo della casualità delle mutazioni biologiche spontanee da una generazione all'altra. Pure qui, ci sono indizi teorici per cui la cosa non dovrebbe essere impossibile a priori. Ma si tratta, comunque, di un altro punto debole del ragionamento, poiché questi indizi sembrano puntare nella direzione secondo cui le differenze tra l'ur-universo padre e l'universo figlio potrebbero essere grandi a piacere. La spiegazione genetica, invece, richiederebbe differenze piccole tra i due universi. Casuali, ma piccole, in modo da non dover ripartire ogni volta da zero, come sarà più chiaro in un istante.

Se il quadro finora delineato trovasse un giorno conferma scientifica nella realtà (attenzione: conferma, ma solo nel senso di cui dirò verso la fine del capitolo), potremmo già a questo punto giungere a una conclusione di tipo evolutivo in senso stretto. Siccome l'ur-universo avrà generato un sacco di buchi neri, e ciascuno di questi finirà per generare a sua volta un nuovo universo un po' diverso dall'ur-universo di partenza, in cui ci sarà posto per ulteriori buchi neri, e via discorrendo, di generazione in generazione, cosa succederà dopo un gran numero di generazioni?

L'esito sarà il seguente: saranno presenti in percentuale schiacciante gli universi nei quali la combinazione delle leggi fisiche sia tale da massimizzare la probabilità di produrre buchi neri. Perché? È ovvio! Seguiamo bene il filo del ragionamento.

Supponiamo che nasca un universo in cui il gioco delle costanti impedisce del tutto la formazione di buchi neri. Avrà discendenti, questo universo? No, è sterile. Siamo d'accordo fin qui?

Adesso, invece, abbiamo per le mani un universo in cui le leggi impongono a tutta la materia di addensarsi immediatamente in un unico buco nero (e cioè le leggi di quest'universo sono troppo favorevoli alla formazione dei buchi neri). Quanti discendenti avrà questo universo? Uno, e uno soltanto. Ci siamo?

Da ultimo, consideriamo casi intermedi: universi in cui, per variazione genetica casuale delle proprietà fisiche al momento della loro nascita da un buco nero di un precedente universo, al passare del tempo si generano molti buchi neri, ma non tutta la materia va immediatamente in buchi neri. Per ottenere questo esito, già bisogna intervenire in maniera un po' fine sulla sintonia delle leggi di natura. I buchi neri, infatti, non si for-

mano come semplice conseguenza dell'interazione gravitazionale, ma sono, per esempio, uno dei possibili esiti finali della vita delle stelle. La struttura di queste ultime, poi, risente in modo fondamentale di tutte le altre interazioni di natura, e cioè di quella elettromagnetica e delle due nucleari, quindi, per far crescere il numero di buchi neri fino al massimo possibile, occorre sintonizzare ogni legge di natura.

In sostanza, possiamo immaginare un grafico (fig. 5) in cui, sull'asse delle ascisse (quello orizzontale) sia riportata la dicitura generica *sintonizzazione delle costanti fisiche* (o, se si preferisce, delle *leggi di natura*) e su quello delle ordinate (verticale) c'è il *numero di "universi figli"* o, se volete, la *quantità di nuovi buchi neri prodotti*. Ovviamente, l'ascissa non sta qui a indicare un unico parametro, poiché le leggi di natura su cui intervenire sono tantissime e perciò, a stretto rigore matematico, questo asse dovrebbe essere separato in altrettanti assi tutti perpendicolari tra loro, e anziché un semplice grafico ci troveremmo tra le mani un ipervolume a non so quante dimensioni (come minimo una ventina, quanti sono i parametri del Modello Standard).

Non sarebbe una situazione molto gradevole per l'intuito, quindi contentiamoci di un asse fittizio dove si tenga conto di tutto quanto assieme. Quale tipo di curva troveremo disegnata su questo grafico? I risultati possono essere immaginati complicati a piacere, ma, per quanto serve capire, a noi ne andrà bene uno semplicissimo, schematizzato proprio nella figura precedente.

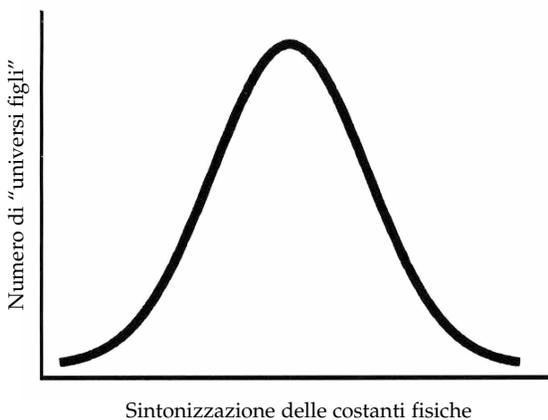


Figura 5

22.6. Una nuova perversione: la *nerofilia*

Per alcuni valori della sintonizzazione ci saranno pochi buchi neri; migliorando la sintonizzazione, il numero di nuovi universi (di buchi neri) aumenterà fino a un massimo, e riprenderà a diminuire al di là del

massimo, poiché abbiamo oltrepassato la sintonizzazione ottimale. Definisco "nerofili" gli universi per i quali la sintonia delle leggi di natura è tale da generare il massimo numero possibile di buchi neri.

Dunque, gli universi nerofili, dopo un certo numero di generazioni, finiranno per soverchiare in numero tutti gli altri. Passate infinite generazioni, il rapporto tra universi non-nerofili e universi nerofili tenderà a zero. E cioè, a quel punto, scegliendo un universo a caso, saremmo praticamente certi di trovare un nerofilo.

Qui, il lettore capisce perché la mutazione genetica da un universo all'altro deve essere piccola. Infatti, se la mutazione fosse del tutto casuale e grande a piacere, anche partendo da un universo nerofilo, gli universi figli generati all'interno dei suoi buchi neri potrebbero avere sintonizzazioni qualsiasi, magari anche molto lontane rispetto alla nerofilia, e il concetto di ereditarietà finirebbe col cessare. L'ovvia analogia biologica è quella di un animale adattato perfettamente all'ambiente, con figli completamente differenti da lui sotto ogni rispetto, in modo casuale. Sarebbe molto difficile essere ottimisti sulla sopravvivenza di quella specie!

Ma un momento: finora ho spiegato (entro certi limiti) come, ferme restando alcune ipotesi, da un universo qualsiasi potrebbe generarsi un'infinità di universi nerofili. Cosa ha a vedere tutto ciò con la CA? Qui sorge il nuovo problema: si tratta di dimostrare come la sintonizzazione delle leggi fisiche corrispondente a un universo nerofilo sia la stessa di un universo antropico. E il gioco è fatto.

Purtroppo, non è una dimostrazione semplicissima. Al più, si può dire quanto segue: alcuni stanno lavorando su questi argomenti e, finora, non hanno trovato controindicazioni tali da dover escludere che le categorie *nerofilo* e *antropico* possano più o meno concordare. Esiste anzi un'argomentazione molto, molto generica (e quindi poco probante), riguardante la vita in quanto *ordine* e i buchi neri in quanto *disordine*, la quale favorirebbe, in linea di principio, gli universi nerofili come luogo privilegiato dove costruire strutture ordinate (viventi). Onestamente, a me pare una Torre di Babele.

Certo, se tutte le ipotesi avanzate finora si rivelassero alla fine scientificamente fondate (sempre nel senso di cui dirò alla fine del capitolo), questa sarebbe una strada privilegiata per spiegare in modo evolutivo la CA la quale, comunque, resterebbe sempre una constatazione, e non un principio, poiché la forza traente l'evoluzione cosmica non sarebbe un finalismo studiato a tavolino per permettere a noi di esistere, ma solo il cieco caso, e questo basterebbe a favorire gli universi in cui i buchi neri hanno la massima probabilità di esistere. Ma il lettore può storcere il naso, e

secondo me ha motivi per farlo. Il numero troppo elevato di ipotesi da assumere per buone, lungo questa strada, è tale per cui, prima o poi, almeno una potrebbe essere contraddetta dai futuri sviluppi della teoria. Per esempio, l'ereditarietà in senso stretto sembra un requisito un po' forte, per il quale non sono note giustificazioni teoriche a priori. Come pure la perfetta coincidenza tra nerofilo e antropico è un'altra ipotesi dura da mandar giù e, un giorno, potrebbe cadere in seguito a nuove ricerche. Ma non me la sento di scartare al buio una linea di pensiero di questo tipo; non è la mia favorita, però non mi pare neppure – almeno oggi come oggi – in contrasto decisivo con le conoscenze scientifiche. E, soprattutto, non ci trovo nulla di talmente esoterico da escluderla in linea di principio.

22.7. Più sul concreto (si fa per dire...)

La direttrice di pensiero da me preferita, invece, è quella della cosiddetta Teoria di Grande Unificazione. Già abbiamo visto come i fisici dispongano, fin d'ora, di buoni modelli per le principali interazioni fisiche. Manca, però, un modello unificato utile a trattarle tutte assieme, non come semplice somma di modelli diversi. La strada maestra perseguita oggi dai fisici è quella di una evoluzione della fisica già conosciuta.

Il Modello Standard rappresenta qualcosa in più rispetto alla somma di tre modelli: quello per l'interazione elettromagnetica, per la nucleare debole e la nucleare forte. Però, non è neppure una teoria unitaria in grado di trattare queste tre interazioni tutte assieme, senza problemi. Ci sono troppi parametri (la solita ventina) senza una giustificazione di principio. Si tratta, dunque, di una via di mezzo, e i fisici lo considerano una sorta di passo intermedio lungo il percorso verso la Teoria di Grande Unificazione (GUT, come abbiamo già visto) la quale, invece, rappresenterà il modello matematico e fisico unico, in grado di mettere assieme in modo definitivo le tre interazioni sopra elencate. Il lettore di buona memoria noterà che, in questa prospettiva, resterebbe comunque fuori l'interazione gravitazionale. Vero, ma la GUT è lavoro per i fisici di oggi; la Teoria del (quasi) Tutto (maiuscola o minuscola, comprendente ogni interazione conosciuta oggi e in futuro, o quasi) probabilmente deve aspettare ancora un po'. Per il momento, contentiamoci di tendere alla GUT. Essa, pur non essendo stata ancora raggiunta, s'intravede come un puntino luminoso in fondo al tunnel. E, anche se solo in modo qualitativo, ci aiuta già a fare qualche previsione sul comportamento della materia a densità ed energie

così elevate, come quelle esistenti nell'universo una frazione minuscola di tempo (dico quanto, anche se qualcuno potrebbe mettersi a ridere: circa 10^{34} secondi) dopo il big bang. Infatti, malgrado i più potenti acceleratori di particelle consentano d'investigare sperimentalmente gli accadimenti cosmici da un'età dell'universo di circa 10^{-10} secondi (faccio pesare un po' sull'immaginazione del lettore come, oggi, si riesca a fare buona fisica, con misure galileiane, a partire da un solo decimiliardesimo di secondo dopo il big bang...), l'universo nel suo insieme sembra aver mantenuto qualche traccia, qualche segnatura, come si dice in gergo tecnico, di alcune delle fasi attraversate in tempi ancora precedenti. E, stranamente, in modo del tutto indipendente, fisici delle particelle elementari e astronomi sono giunti alle medesime conclusioni riguardo a un passaggio forzato che l'universo, nel suo insieme, deve aver attraversato tra circa 10^{-35} e 10^{-33} secondi di età. Questo passaggio forzato prende il nome di "inflazione", e non è assolutamente necessario, per il lettore, comprenderne i dettagli; diciamo semplicemente: è stata una fase di rigonfiamento violento dell'universo.

La cosa per noi interessante è la seguente: proprio durante l'inflazione, si è verificato un evento importante, sul quale la GUT, quando l'avremo per le mani, ci dovrebbe permettere di sapere un gran numero di cose. Ma perfino il povero Modello Standard, un po' stracchiato e tirato per il collo, riesce con fatica a lambire questo evento, pur se in modo rudimentale, altamente ipotetico, e dunque insoddisfacente. In sostanza, e semplificando assai, le tre interazioni su cui si basa la GUT si presentavano, prima della scadenza di quell'intervallino minuscolo di tempo, unificate in una interazione (forza) sola e, allo scadere di quel termine, l'interazione nucleare forte si separò dalle altre due, cominciando a vivere di vita indipendente. L'interazione elettromagnetica e la nucleare debole si sono invece separate tra loro più tardi, circa 10^{-9} secondi dopo il big bang, e cioè in una situazione oggi ben riproducibile in laboratorio dove, in effetti, misuriamo le due forze prima unificate e poi staccate.

Perché la separazione dell'interazione nucleare forte è così importante? Perché in quel momento si determinò, in modo ancora non ben descrivibile se non in termini generali e qualitativi, la scala di rapporti tra le varie interazioni cosmiche. Ovvero, in quell'istante, fu gettato il dado che fissò per tutti i tempi a venire i valori delle varie costanti di natura. E, per quanto ci riguarda, venne estratto il biglietto vincente, quello antropico, tra un'infinità di altri biglietti possibili, in quanto il puro caso fissò per le costanti di natura proprio i valori necessari a consentirci di esistere. Tutto qui. Finito.

22.8. Il multiverso

Ma quale finito! Si potrebbe obiettare subito come questa linea di pensiero, dopotutto, non porti da nessuna parte interessante. Può farci piacere sapere di aver vinto alla lotteria cosmica, ma il verificarsi di un evento enormemente improbabile in mezzo a un'infinità di altri più probabili non sembra una spiegazione della CA. In effetti non lo sarebbe, se non ci fosse un dettaglio aggiuntivo. Lo stesso Modello Standard, tra le tante previsioni rudimentali, dice pure quanto segue: nell'universo primordiale, l'inflazione non è cominciata dovunque nello stesso istante e nello stesso modo. È successo, piuttosto, qualcosa di analogo a quando si agita molto una bottiglia di una bevanda gassata, e poi la si stappa. In ogni volumetto di bibita si genera una gran quantità di bollicine di anidride carbonica; queste, poi, si espandono e vengono a galla in una schiuma unica. Vale a dire: nell'universo si è generata un'infinità di bolle d'inflazione, inizialmente separate le une dalle altre, e in ciascuna di queste bolle è stato estratto – al momento in cui l'interazione nucleare forte si è separata dalle altre – un biglietto diverso della lotteria cosmica. In altri termini, in ciascuna bolla, le costanti fondamentali di natura (le quali, in quest'ordine d'idee, sono diventare costanti solo dopo) hanno assunto valori differenti, seguendo il puro caso. Dopodiché, le bolle si sono espanse e toccate ai bordi senza però compenetrarsi, proprio come in una schiuma di sapone, e stanno ancora dilatandosi ciascuna fino a dimensioni così enormi, che il nostro intero universo visibile rappresenta solo un volumetto minuscolo, sperduto all'interno di una di queste gigantesche bolle.

Ecco: stavolta siamo arrivati davvero alla spiegazione GUT della CA. L'universo, nel suo insieme, è in realtà un *multiverso*, ma non in sovrapposizione, come suggerito dalla MQ. Esso è composto, a somiglianza di un organismo biologico, di cellule adiacenti, forse in numero infinito, ciascuna delle quali è così enorme da sfuggire alla nostra capacità d'immaginazione. Purtuttavia, ciascuna bolla conserva dimensioni finite, ancorché sia in perpetua espansione. In ogni cellula, l'estrazione del biglietto della lotteria cosmica ha condotto a una diversa sintonia delle costanti di natura, ma, siccome esistono infinite bolle, non c'è da meravigliarsi se, in alcune di esse, la sintonia risultante è venuta fuori compatibile con le esigenze antropiche. Dunque, noi vivremo in un multiverso ostile nella stragrande maggioranza del suo volume, ma in cui sono presenti anche piccoli spazi a noi favorevoli, sebbene solo come sparuta minoranza. E dove potremo trovarci noi? Proprio in uno spazio favorevole, ovviamente: in uno in cui la CA è soddisfatta. E ci siamo arrivati.

Perciò, anche seguendo questa linea di ragionamento, concludiamo che non c'è nulla di speciale nella nostra collocazione nell'universo. La CA è un puro e semplice dato di fatto, compatibile con la nostra esistenza. Ma non ha richiesto una sintonizzazione fine o un Grande Manipolatore Nascosto. Tutte le combinazioni possibili si sono verificate in atto, e non solo in potenza, ciascuna in un luogo diverso. Stando così le cose, per forza, da qualche parte, doveva venir fuori pure la combinazione favorevole.

Per quale motivo io preferisco questa spiegazione ad altre? Perché mi sembra già in dirittura d'arrivo. Secondo me, infatti, la GUT potrà essere raggiunta in un giro di anni non eccessivo (venti o trenta) e, se confermerà questa visione delle cose così come è già prevista (in modo rudimentale) dal Modello Standard, perché affannarsi a cercare spiegazioni della CA differenti e più macchinose?

22.9. Scienza, ma con qualche limitazione

Bene: voglio essere onesto almeno al 99% (per il restante 1%, potrei benissimo essere in errore senza saperlo). Ho spacciato come scientifiche o decorose le spiegazioni della CA fornite in questo capitolo, in opposizione alle indecorose del capitolo precedente. Ma il lettore potrebbe (dovrebbe, se ha capito qualcosa) obiettare fortemente. Infatti, sia nel caso di evoluzione pseudo-darwiniana di universi nerofili, sia di multiverso cellulare di tipo GUT, a quale titolo sarebbe legittimo dichiarare scientifiche in senso stretto queste spiegazioni? Finora, mi sono sempre appellato al principio di base, secondo il quale la scienza, per poter essere considerata tale, richiede la prova sperimentale. E qui bisogna ammettere che, per quante prove sperimentali locali (e cioè in laboratorio o nell'universo a noi accessibile) si possano un giorno avere, per esempio, della GUT, non sarà mai lecito, per motivi di principio, scandagliare nello spazio così lontano da raggiungere i bordi della cellula in cui si trova il nostro universo, verificare la reale esistenza di questi bordi, e le proprietà fisiche diverse al di là della parete di confine con un'altra cellula. O, per quanto riguarda gli eventuali universi nerofili, uscire dal nostro per risalire la catena evolutiva sempre più all'indietro, fino all'ur-universo. In questo senso, potremmo essere soddisfattissimi delle teorie, perché ci consentono d'interpretare tutto – ma proprio tutto – l'universo osservabile, però saremmo costretti a considerare non provabili scientificamente alcune delle loro previsioni, in quanto non soggette a possibilità di verifica sperimentale.

Qui, il lettore deve nuovamente operare una sua scelta; tutt'al più,

posso raccontargli il mio punto di vista. Secondo me, una teoria che fornisca previsioni corrette, ben verificate, su ogni evento misurabile in laboratorio e, più in generale, su quanto è osservabile nell'universo, è una teoria accettabile o credibile anche nelle sue (eventuali) previsioni aggiuntive, riguardanti ulteriori fenomeni i quali, per motivi tecnici o di principio, sfuggono ora e per sempre alla nostra possibilità di osservazione. In quest'ordine d'idee, e limitando l'esempio alla sola GUT, qualora fosse possibile osservare, anche se in modo indiretto (in questo momento non so come, ma non è rilevante ai fini del discorso), una qualche segnatura dell'inflazione immediatamente successiva al big bang, e possedendo un *corpus* teorico per associare all'inflazione anche l'estrazione a caso dei valori delle varie costanti di natura, io mi riterrei ragionevolmente soddisfatto pure per quanto riguarda la spiegazione scientifica della CA. La prova sperimentale non l'avrò mai, ma l'insieme degli indizi sarebbe così formidabile, che mi sentirei legittimato a esprimere un verdetto.

In ogni caso, la situazione relativa agli argomenti trattati qui differisce in modo sostanziale dai ragionamenti (a voler essere molto generosi) visti nel capitolo precedente. Là trovavamo, nel migliore dei casi, una sequenza di: «E se, in aggiunta a questo, si verificasse anche quest'altro, e poi quest'altro ancora, eccetera, potrebbe anche darsi, alla fine...». Un assemblaggio d'ipotesi, finalizzate a un certo esito, cioè, e in questo modo di procedere non si trova nulla di coerente, anche lontanamente, col metodo scientifico. Nel peggiore dei casi (gli universi fantasma quantistici) ci si basa solo su una tra le tante possibili interpretazioni della MQ, assumendola come realtà di fatto. Spero, dunque, d'indurre il lettore a concordare quanto meno sulla profonda differenza qualitativa tra la classe di spiegazioni indecorose della CA e quelle decorose. Queste ultime, perfino se nessuna di quelle qui proposte si rivelasse alla fine giusta, almeno utilizzano la normale metodologia scientifica per accostarsi al problema.

Ora posso terminare il capitolo. Non mi proponevo di spiegare scientificamente la CA, e non l'ho fatto; quanto mi stava a cuore era dimostrare come il problema possa essere attaccato in via scientifica, malgrado oggi appaia formidabile, e gli esiti di un tale attacco non siano del tutto prevedibili, se non per grandi linee. Ma già questa conclusione parziale conduce a un pesantissimo svuotamento di ogni *Enunciato D'*. Certo, l'inconsistenza scientifica degli *Enunciati A, B e C*, e per conseguenza pure di quello *D*, era venuta fuori in modo definitivo nella prima parte del libro, mentre in questo caso c'è un'ammissione, a denti stretti, su come l'insostenibilità scientifica dell'*Enunciato D'* non sia stata ancora dimostrata in modo assoluto e, volendo essere pignoli, potrebbe restare per sempre

indimostrabile. Però, è stato ormai raggiunto un accordo sostanziale tra i cosmologi e i fisici: la GUT potrebbe contenere spazio per rendere ragione della CA in termini scientifici.

In sintesi, e poiché tutte le presunte dimostrazioni moderne secondo le quali la struttura del mondo sensibile non può prescindere dall'opera di un'intelligenza in senso lato si rifanno in un modo o nell'altro alla CA, spesso elevata a principio, mi pare umanamente corretto concludere quanto segue.

22.10. Ricapitolando

A-XXII) Esistono ipotesi concrete per spiegare in termini scientifici la CA.

B-XXII) *L'Enunciato D'* è grandemente indebolito dagli sviluppi scientifici moderni, e ci si attende che, al passare del tempo, lo sarà ancora di più.

20-XXII) Probabilmente, la scienza sperimentale non potrà mai dire l'ultima parola sulla CA. Bisognerebbe uscire dall'universo.

23. CONCLUSIONI

23.1. Richiami

Siamo giunti al termine del percorso e del libro. A questo, seguirà un altro capitolo, è vero, ma conterrà soltanto idee mie, e l'eventuale lettore è libero di ignorarle, leggerle, criticarle, condividerle, ripudiarle in parte o in tutto, strappare le pagine e buttarle dalla finestra, e così via. Per quanto riguarda questo capitolo, bene: si scrive da solo, in quanto si limita a raccogliere idee già incontrate, per collazionarle in ordine.

Riparto da alcune definizioni fondamentali, caso mai qualcuno se le fosse perse per strada. Chi è *dio*? Un concetto filosofico, e non particolarmente scientifico, apparentato abbastanza da vicino al *tao*/*Tao* di Lao Tze, pur se la mia mentalità occidentale mi fa di sicuro sfuggire una serie di distinzioni importanti. C'è di mezzo pure il panteismo di Spinoza, se volete. La somma di tutto l'esistente, vuoi materiale, vuoi spirituale in senso lato, se esiste qualcosa del genere. Un'entità abbastanza appetibile da chi coltivi idee New Age, non necessariamente dotata (ma potrebbe anche esserlo: perché no?) delle caratteristiche da noi associate a una persona (autocoscienza, libera volontà e altre, purché non siano troppo ben definite, in modo da poter significare tutto e il contrario di tutto, a seconda dell'orientamento individuale). Se, poi, ci chiediamo: «dio è causa di tutto ciò che esiste?», ebbene potrebbe anche esserlo, ma non è indispensabile. E via discorrendo, sempre in base a una terminologia che non nega e non afferma nulla di positivo, affinché chiunque possa trovarci posto senza dover rinunciare alle proprie idee, o doverne accettare di altrui.

Saliamo ora al concetto di *Dio* coll'iniziale maiuscola. Di sicuro, Dio possiede almeno tutte le caratteristiche di dio, ma gliene possiamo attribuire di nuove, un po' più formali. Dio è "*persona*" con tutto quel che comporta, ed è ragionevole attribuirgli lo status di creatore (sennò a cosa serve?) nel senso di causa prima del mondo materiale e di quello spirituale. In questo senso, trascende per definizione le usuali categorie del pensiero (dio, invece, non è per forza trascendente nel medesimo senso, se non per problemi con-

tingenti) e incontriamo la prima difficoltà: come facciamo a parlare di Dio? La soluzione (parziale) proposta al lettore è ovviamente quella della modellistica. Anziché indulgere nel tradizionale e abitudinario parlare di Dio solo in termini negativi, affermando cioè in modo positivo quanto Dio non è, preferisco sottintendere in ogni frase il concetto: «Dio si comporta come se...». In altri termini, quando affermo: «Dio è persona», se volessi essere pignolo dovrei precisare ogni volta la frase lunghissima «Dio si comporta come se tra i suoi attributi ci fosse anche quello di simulare le capacità da noi associate al concetto umano di persona. Con ogni probabilità, Dio è molto più di questo, ma l'estensione al di là di "persona" è un qualcosa destinato a sfuggire per sempre al mio intelletto limitato». In spirito maieutico, suggerisco al lettore di esercitarsi un attimo col concetto di creatore, se applicato a Dio, in un contesto modellistico come quello appena proposto, riappuntandosi mentalmente la frase: «Dio si comporta come se... eccetera». Se l'idea è stata assimilata, procediamo con la seguente domanda: «Dio s'interessa anche alla propria creazione, desiderando interagirci a livello spirituale e materiale, sia per quanto riguarda la materia bruta, sia la storia umana, magari addirittura "parlando" con ogni singolo essere umano?». Non necessariamente. Dio può essere soddisfatto di se stesso e della sua opera, e lasciar procedere il creato per proprio conto, non importandogli nulla, per dirne una, della nostra sorte in vita e dopo. Ammessa l'esistenza di un dopo, perché potrebbe non esserci, o magari troveremo le grandi praterie, o una delle infinite varianti a seconda di quanto meglio vi piace credere.

Veniamo ora a **DIO**. Di sicuro, è almeno Dio, ma Lui (mi sembra il caso di utilizzare la maiuscola, solo in questo luogo, per esaltare la distinzione) si comporta come se fosse interessato a dirmi qualcosa di particolare, a interessare con me un rapporto personale, ad avere da me la risposta a una domanda ben specifica: «Mi vuoi bene come te ne voglio io?». Se esistesse **DIO**, inteso in questo senso, sarebbe un'intollerabile presa in giro, da parte sua, rivolgermi una domanda così impegnativa, qualora non avesse anche organizzato tutto un contorno affinché io possa scegliere autonomamente la mia risposta (e quindi dovrebbe esistere pure il libero arbitrio, anche se non riesce a immaginare in qual modo si esplichì), e tante altre cose...

Puntualizzate queste premesse, mi chiedo: «Posso, io, provare interesse personale nei confronti di dio?». Attenzione: qui "io" è l'autore, e non pretende di parlare a nome di altri. Ciascuno, perciò, reagisca come preferisce. Quanto a me, forse potrei essere incuriosito da dio, ma non tanto; al più, in termini puramente culturali. Non mi sentirò smodatamente bramoso d'interagirci, però, non sapendo neppure se, tra le sue equivalenze funzionali, ci sia pure la simulazione delle caratteristiche di persona (in senso

lato, e ricordate: sto parlando in termini modellistici). Qualunque trasporto possa sentirmi nei confronti di dio, non si tratta perciò di un trasporto religioso, e pertanto qui lo saluto definitivamente, non senza avergli porto i miei ossequi.

Passiamo a miei eventuali rapporti con Dio. Siccome lui non è interessato a priori ad averne con me, contraccambio. Tutt'al più, posso essere curioso di sapere se nelle sue architetture rientra un qualche genere di *dopo* per quanto riguarda la vita mortale. Un *dopo* che potrebbe essere di mio gradimento, ma non è detto. Faccio un esempio: la metempsicosi, come prospettiva, non mi esalta, e ne farei volentieri a meno. D'altronde, tutto questo libro porta a una conclusione univoca: la scienza non potrà mai pronunciarsi su faccende di questo genere e, dunque, senza perdere altro tempo o farlo perdere al lettore, mi congedo anche da Dio. Sempre con i miei ossequi.

Diverso è il discorso per quanto riguarda **DIO** (se esiste). Siccome è lui in prima persona a sollecitare da me una risposta, non me la sento di restare indifferente di fronte a una chiamata del genere. Ma, poiché lui non ha l'abitudine di mostrarsi in modo inequivocabile (se lo facesse, in fin dei conti, mortificherebbe la mia libertà rendendola virtualmente inutile, poiché la conoscenza certa della sua esistenza condizionerebbe molto la mia risposta ai suoi approcci), e però, in cambio, mi ha dotato d'intelletto, per prima cosa, ovviamente, mi metto alla ricerca di sue tracce nel mondo naturale. Di qui la discussione degli enunciati, che ora richiamo, per poi seguire col sommario di quanto abbiamo appreso nei capitoli precedenti, e delle conseguenze deducibili da queste nozioni nel tentativo di cercare (in positivo o in negativo) **DIO** per mezzo della scienza. Ecco, di seguito, gli enunciati come sono riportati nel capitolo 1.

23.2. Enunciati

→ I – Introduzione e presentazione

A-I) *Enunciato A*: «La scienza ha ormai dimostrato l'impossibilità dell'esistenza di **DIO**».

B-I) *Enunciato B*: «Oggi non è più possibile coltivare contemporaneamente una mentalità scientifica e una religiosa, poiché la prima si basa sulla razionalità, la seconda sull'irrazionalità».

C-I) *Enunciato C*: «Le religioni, come ogni altra manifestazione del pensiero umano, dovrebbero accettare di mettersi in discussione in base ai risultati della scienza».

D-I) *Enunciato D*: «La scienza dimostra come l'esistenza del mondo

sensibile non possa prescindere dall'opera di un'Intelligenza Superiore, identificabile con **DIO**».

E-I) **Enunciato D'**: «La scienza dimostra come l'esistenza del mondo sensibile non possa prescindere dall'opera di un'intelligenza in senso lato».

E ora, l'elenco ordinato, capitolo per capitolo, delle varie nozioni scientifiche attinenti alla discussione degli enunciati.

23.3. Nozioni scientifiche principali

→ Cap. II: Le basi del metodo scientifico

A-II) La possibilità di studiare scientificamente la natura si basa sull'ipotesi dell'esistenza di qualcosa in realtà, pur se non entriamo in dettaglio su cosa sia la realtà stessa.

B-II) Un'altra condizione per poter fare scienza è la regolarità, almeno in media, della natura. Dunque, debbono esistere leggi di natura in senso lato.

C-II) Per conoscere queste leggi, non è possibile evitare di fondarsi sul metodo sperimentale. Detto in altro modo, non si può fare scienza senza osservare quanto succede davvero in natura.

D-II) Nel seguito, si conviene di definire **DIO** (se esiste) come "Persona inserita nella storia, e garante della sostanziale libertà umana (se esiste)", a differenza di Dio (se esiste), il quale è "Artefice e predeterminatore di tutto".

→ Cap. III: La modellistica nel metodo scientifico

A-III) Lo scienziato non pretende di conoscere la realtà in sé, ma gliene basta un modello qualitativo e quantitativo, composto di semplici analogie intuitive, cui vanno sommate equazioni matematiche.

B-III) Nessun modello è intrinsecamente giusto o sbagliato, ma ciascuno ha un suo intervallo di applicazione, al di fuori del quale le sue previsioni sono errate.

C-III) Il progresso della scienza consiste nella costruzione di modelli in grado di rendere ragione di nuovi risultati sperimentali, sempre più ampi e precisi.

→ Cap. IV: Conclusioni preliminari sul metodo scientifico

A-IV) Si definisce *isomorfismo* la sovrapposibilità tra l'oggetto (per esempio la legge di natura) e la sua rappresentazione (per esempio il modello della legge stessa).

B-IV) Il *paradigma* è il modo di pensare (anche scientifico) corrente, con le limitazioni culturali, sociali eccetera, che al momento non è facile (o addirittura impossibile) superare.

C-IV) La *falsificabilità* è un requisito fondamentale per qualsiasi modello scientifico, in mancanza del quale il modello, spiegando contemporaneamente tutto e nulla, si può buttare.

→ **Cap. V: Di cause ed effetti, di elefanti e tartarughe**

A-V) La base fondamentale del metodo scientifico risiede nel principio di causalità.

B-V) Trarre conseguenze apparentemente logiche e intuitive da ragionamenti sull'universo nella sua globalità può condurre allo stesso tipo di contraddizioni incontrate in matematica, quando si usa scorrettamente il regresso all'infinito.

C-V) La scienza non coincide con la ragione, ma ne rappresenta solo un sottoinsieme, e in questo libro ci si mantiene all'interno della scienza, senza giungere a conclusioni che impegnano la ragione umana in generale.

→ **Cap. VI: L'età delle certezze assolute... o no?**

A-VI) L'esistenza di qualcosa (l'universo e le leggi che lo governano) conduce spontaneamente al requisito dell'esistenza di una causa prima, senza però poter essere molto specifici riguardo alla natura di quest'ultima.

→ **Cap. VII: Prolegomeni, statistica e pescatori**

A-VII) Non tutte le affermazioni possono essere dichiarate vere o false. Molte sono semplicemente indecidibili.

B-VII) La causalità implica un ordinamento temporale, e le cause debbono precedere gli effetti.

C-VII) Parliamo di problemi epistemologici quando incontriamo difficoltà di principio, e non solo contingenti, nel descrivere un aspetto della natura.

→ **Cap. VIII: Cos'è il meccanicismo**

A-VIII) Il *meccanicismo* è il paradigma secondo cui, qualsiasi fenomeno si verifichi nell'universo, esso è conseguenza inevitabile e, soprattutto, prevedibile (in teoria) delle leggi della meccanica e, più in generale, della *LEGGE* descrivente le varie interazioni (forze) esistenti.

B-VIII) Pur non potendosi realizzare in pratica alcuna prevedibilità, in base al meccanicismo, tutto è predeterminato da sempre. Il Dio predeterminatore si serve forse del meccanicismo?

→ **Cap. IX: Il terribile caos deterministico**

A-IX) La non linearità della natura non fa cadere il concetto filosofico di meccanicismo (determinismo) in teoria, ma in pratica lo annacqua molto.

→ **Cap. X: Il primo impatto con la Meccanica Quantistica (MQ)**

A-X) Le leggi di natura operanti a livello di base, atomico e subatomico, non hanno nulla d'intuitivo.

B-X) Sempre a livello di base, lo stesso concetto di "esistenza" assume connotati diversi rispetto a quello a noi familiare e comprensibile.

C-X) In conseguenza, pure il concetto di "realismo" va rivisto a un pesantissimo ribasso.

→ **Cap. XI: Onde, particelle, indeterminazione**

A-XI) Qualunque sia il modello intuitivo preferito della MQ, il PdI limita la possibilità di misurare contemporaneamente velocità e posizione degli oggetti. Dunque, meccanicismo e determinismo, i quali richiedono per principio la conoscenza esatta di tali parametri, non appartengono più alla scienza.

→ **Cap. XII: Il riduzionismo: quasi un dogma scientifico**

A-XII) Il concetto di *riduzionismo* ingloba e sostituisce quelli di semplice meccanicismo e determinismo laddove le leggi di natura siano complesse, indeterministiche, e intervenga anche il caso.

B-XII) Finora, ogni progresso scientifico, almeno nelle scienze che studiano i fenomeni di base, si è sempre fondato su un'interpretazione riduzionistica della natura.

C-XII) Nel paradigma del riduzionismo, il libero arbitrio non può esistere.

→ **Cap. XIII: La teoria e il principio**

A-XIII) Un principio scientifico può essere inteso come una legge di natura più assoluta, più isomorfa nei confronti della realtà, rispetto alle normali leggi ricavate dalla scienza, anche se non si assume a priori l'impossibilità di falsificarlo.

B-XIII) Una teoria scientifica è molto più di un'opinione o anche di un'ipotesi, in quanto si basa su un modello intuitivo e matematico, e questo deve rendere ragione, in misura quantitativa, di ogni risultato sperimentale finora conosciuto.

→ **Cap. XIV: Lo spaziotempo della Relatività**

A-XIV) Spazio e tempo non esistono separatamente, ma sono aspetti diversi di un'unica realtà, cui si assegna il nome di *spaziotempo*.

B-XIV) Solo le misure di intervalli spaziotemporali sono assolute.

C-XIV) Nella definizione di intervallo spaziotemporale, il tempo è moltiplicato per l'unità immaginaria.

→ **Cap. XV: Passato, presente, futuro e altrove**

A-XV) Siamo in grado di costruire modelli geometrici della plasticità dello spaziotempo, anche se c'è sempre un certo attrito tra il dettaglio di questi modelli e la nostra intuizione.

B-XV) L'eventuale scambio di un qualsiasi genere di segnale a velocità superiore a quella della luce comporterebbe un'inversione temporale tra cause ed effetti. La nostra stessa possibilità di ragionarci sopra ne risulterebbe compromessa.

→ **Cap. XVI: La curvatura dello spaziotempo**

A-XVI) La relatività generale dimostra come l'effetto gravitazionale, esercitato a causa della presenza di masse, possa essere descritto per mezzo di una curvatura dello spaziotempo.

B-XVI) L'eccesso di curvatura del tempo, in assenza di un'efficiente censura cosmica, ha un effetto dirompente sulla stessa causalità.

→ **Cap. XVII: L'irragionevole matematica**

A-XVII) Il teorema di Gödel pone la matematica, e più in generale la logica, in luce ambigua, dimostrando che non tutte le verità logiche sono dimostrabili.

→ **Cap. XVIII: Mai inoltrarsi nella terra di nessuno!**

A-XVIII) Non esiste una sovrapposizione di confini tra la scienza e la religione (o tra fisica e metafisica), ma solo una terra di nessuno del tutto invalicabile, imperscrutabile, e di estensione indefinita (infinita?).

B-XVIII) Possiamo considerare acquisito l'*Enunciato Z*: «La scienza ha dimostrato in modo definitivo l'esistenza di aspetti della natura attraverso i quali **DIO** potrebbe interagire col mondo sensibile, senza lasciare tracce rivelabili dagli esperimenti».

C-XVIII) L'*Enunciato A* sull'obsolescenza del concetto di **DIO** è contraddetto dalla scienza moderna (senza poterne dedurre in conseguenza la verità dell'enunciato dialetticamente opposto).

→ **Cap. XIX: I miti della razionalità e dell'etica naturale**

A-XIX) Non tutta la logica è scienza, non tutta la scienza è logica. Sembra una battuta, ma è vero.

B-XIX) L'*Enunciato B* è scientificamente irrilevante, in quanto frutto di una scelta personale. In particolare, esistono almeno due accezioni, r_a ed r_b , del termine "razionalità", perfettamente condivisibili entrambe in termini scientifici, tali per cui l'enunciato è vero se si sceglie di adottare r_a , e falso se si preferisce r_b . In sostanza, l'*Enunciato B* non contiene informazione, oltre a quella già presente nella scelta di chi lo legge, e pertanto è un *non sequitur*.

C-XIX) L'*Enunciato C* è inconsistente in sé e, purtroppo, scientificamente errato qualora lo si ponga a fondamento della ricerca di un'etica assoluta.

→ **Cap. XX: Il cosiddetto principio antropico**

A-XX) L'insieme delle leggi di natura all'opera nell'universo è tale per cui basterebbe modificare in modo quasi impercettibile una qualsiasi di queste leggi e le conseguenze si amplificherebbero, rendendo l'universo un luogo molto diverso da quel che è oggi, con ogni probabilità incompatibile con l'evoluzione di una vita intelligente (e quindi per necessità complessa) come quella umana.

B-XX) In ogni caso, l'*Enunciato Z* rende impossibile a priori servirsi della CA per validare scientificamente l'*Enunciato D*.

→ **Cap. XXI: Spiegazioni per me indecorose**

A-XXI) Gli scienziati, spesso, non riescono a tenersi fuori della metafisica, e riescono a ingannarsi da soli – come chiunque altro – nel tentativo di ammantare desideri nascosti e incoerenze logiche coi paludamenti della scienza ufficiale.

→ **Cap. XXII: Queste, invece, mi paiono decorose**

A-XXII) Esistono ipotesi concrete per spiegare in termini scientifici la CA.

B-XXII) L'*Enunciato D'* è grandemente indebolito dagli sviluppi scientifici moderni, e ci si attende che, al passare del tempo, lo sarà ancora di più.

Completato, col punto B-XXII), l'elenco delle nozioni più rilevanti per la discussione degli enunciati, passo a riepilogare i vari limiti di conoscibilità scientifica correlati a queste nozioni, per scoraggiare una discussione troppo allegra degli enunciati stessi (e, magari, il tentativo d'imporli, avvalendosi della propria autorità culturale, accademica, politica...).

23.4. Limiti di conoscibilità scientifica

1-II) Gli eventi naturali non studiabili, sia pure per motivi contingenti, in modo sperimentale non possono essere oggetto di ricerca da parte della scienza, se non provvisoriamente, e solo a livello d'ipotesi.

2-II) Esistono casi in cui l'osservazione sperimentale di eventi naturali è, e sarà sempre, impossibile per motivi di principio (*orizzonti*, ecc.). In tali casi, alla scienza non sarà *mai* consentito dimostrare alcunché in modo incontrovertibile.

3-II) In base alla definizione stessa del metodo scientifico, è escluso a priori un pronunciamento della scienza su ipotetiche realtà esulanti, per loro stessa definizione, dal dominio della sperimentabilità. Per esempio, la scienza non potrà mai occuparsi di Dio, mentre il discorso relativo a **DIO** resta, a questo livello, ancora aperto.

4-III) La scienza, per sua stessa natura, non ha il fine di dirci quale sia la realtà in sé, ma vuole solo cogliere in cifre in qual modo i vari aspetti osservabili della natura interagiscano tra loro.

5-IV) L'aspetto quantitativo (matematico) del modello d'ogni legge di natura possiede probabilmente un certo grado d'isomorfismo con la realtà. Al contrario, l'aspetto qualitativo (intuitivo), probabilmente, non è mai isomorfo con quanto succede davvero in natura. Conclusione triste, ma inevitabile.

6-VII) La scienza non può, per la natura causale della logica, affrontare problemi connessi con la causa prima.

7-VII) In caso di fenomeni naturali in cui si dovesse presentare un'inversione della direzione in cui scorre il tempo, la causalità cadrebbe, e ogni conclusione scientifica diventerebbe ipotetica.

8-VII) Nel caso di problemi epistemologici, la scienza non può raggiungere certezze neppure su fatti riguardanti il gioco delle cause seconde.

9-VIII) La previsione dell'evoluzione esatta di sistemi materiali in senso lato descritti da equazioni differenziali non lineari è impraticabile per motivi tecnici, così insormontabili da potersi considerare, a tutti gli effetti, di principio (conoscenza di infinite cifre decimali).

10-X) La scienza non è in grado di fornire una descrizione intuitiva del comportamento basilare della natura, e questo ci fa sospettare che la natura stessa non obbedisca alla causalità.

11-X) Addirittura, il concetto intuitivo di realtà è inadeguato a descrivere i fenomeni naturali fondamentali.

12-XI) I modelli matematici della MQ, sebbene non soffrano delle difficoltà dei modelli intuitivi, forniscono solo distribuzioni di probabilità, e non certezze, relativamente a se, dove e come si verificheranno alcuni avvenimenti.

13-XII) Non è, e non sarà mai scientificamente dimostrabile, il comportamento riduzionistico o, in alternativa, olistico, della natura.

14-XIV) La nostra percezione istintiva di spazio e tempo come entità assolute è errata. I sensi e l'intuizione c'ingannano.

15-XIV) Non siamo in grado di raffigurarci mentalmente il tempo immaginario in quanto perpendicolare alle tre coordinate usuali del normale spazio geometrico. Ma, per costruire la fisica, ci dobbiamo lavorare lo stesso!

16-XV) Comunque s'interpreti l'evidenza sperimentale dell'*entanglement*, essa non favorisce una visione causale dei meccanismi d'azione della natura, restringendo quindi la frazione di mondo materiale accessibile all'intelletto umano.

17-XV) A noi pare un controsenso che due eventi, verificatisi per un certo osservatore secondo un ben definito ordine temporale, presentino ordine temporale opposto per un altro osservatore, ed entrambi gli osservatori abbiano ragione in senso stretto. Ma la natura si comporta proprio a questo modo.

18-XVI) La Relatività Generale non può escludere la possibilità di violazioni macroscopiche al principio di causalità, con conseguenze negative sulla liceità dello stesso arguire scientifico conseguente.

19-XVII) L'incompletezza di principio della matematica rappresenta l'emergere di un nuovo limite di conoscibilità dell'intelletto umano, indipendente da tutti gli altri collazionati finora.

20-XXII) Probabilmente, la scienza sperimentale non potrà mai dire l'ultima parola sulla CA. Bisognerebbe uscire dall'universo.

23.5. Ultima incombenza

In conclusione, dunque, tutti e cinque gli enunciati presi in considerazione all'inizio del libro non sono scientificamente validabili, allorché non siano decisamente falsi. I possibili margini di dubbio riguardano piccole cose (almeno dal mio punto di vista). Una potrebbe essere l'insorgenza di fenomeni genuinamente *olistici*. Ma il lettore sarà ormai – spero – abbastanza convinto (al pari della stragrande maggioranza degli scienziati) che, in tal caso, il concetto stesso di scienza andrebbe sostanzialmente abbandonato, in quanto si aprirebbero scenari nuovi e totalmente imprevedibili a ogni nuovo livello di aggregazione della materia. Tutti i ragionamenti scientifici in base ai quali, fino a questo momento, è stato possibile formalizzare la natura in termini modellistici, quantitativi ed efficaci, in un mondo olistico si ridurrebbero a discorsi molto più evanescenti, in cui la modellistica diverrebbe opinabile e quindi soggetta alla valutazione, accettazione o reiezione in base all'arbitrio del singolo scienziato. Se l'opinione del lettore è orientata in senso strettamente olistico, purtroppo questo libro non gli è stato utile, come nulla potrà mai essergli utile se non una fede cieca, poiché, in un contesto del genere, si possono dimostrare egualmente valide anche proposizioni contraddittorie. Può andar bene sul piano emotivo, ma non stiamo più parlando di scienza.

L'altro margine di dubbio che intravedo riguarda l'attuale impossibilità di cancellare con un colpo di spugna qualsiasi valore scientifico dell'*Enunciato D'*. Per quanto io possa trovare fastidioso questo stato di cose, ed essere intimamente convinto che la spiegazione della CA data dal multiverso GUT (magari aggiungendo il "*Paesaggio delle superstringhe*", e lasciate perdere oppure leggete uno dei libri in bibliografia) sia sulla buona strada, non ho la capacità di dimostrarlo e, data la natura del problema, anche il giorno in cui la GUT fosse in grado di rispondere con armi ben più sofisticate di quelle odierne alla CA, chi decidesse d'intestardirsi troverebbe comunque buon gioco nel richiedere una dimostrazione sperimentale diretta, del tutto estranea alle capacità della scienza oggi e sempre.

Però, sebbene con queste limitazioni, forse il libro non è stato del tutto inutile. Anche il lettore non disposto ad accettare il riduzionismo assoluto e la spiegazione GUT della CA dovrebbe essere in grado di riconoscere come ragionevolmente provato quanto meno l'*Enunciato Z*: «La scienza ha dimostrato in modo definitivo l'esistenza di aspetti della natura attraverso i quali **DIO** potrebbe interagire col mondo sensibile, senza lasciare tracce rivelabili dagli esperimenti». Dunque, **DIO** potrebbe esistere, checché ne dicano diversi scienziati (non la Scienza con la S maiuscola la quale, come abbiamo ormai appurato oltre ogni dubbio, non si occupa di **DIO**).

Stando così le cose, ritengo soddisfatto il mio debito col lettore così arduo da arrivare fino a queste ultime righe. Piuttosto, prima di lasciarlo definitivamente, ritengo di potergli sottoporre l'ultima incombenza. Secondo me, gli resta l'onere di rispondere per proprio conto all'ovvio completamento della domanda nel titolo: «E se **DIO** esistesse, ciò potrebbe o dovrebbe influire sul mio modo di vivere?» Ecco: questa non se l'aspettava, vero? Ma ora, risponda se può. Leggendo tante pagine su questi argomenti, magari non se n'è reso conto, ma all'atto pratico ne ha contratto obbligo nei miei confronti.

Il libro è terminato. Ho ritenuto ragionevole aggiungere altre considerazioni di tipo personale, sulle mie scelte religiose in senso stretto, ma il lettore non deve affatto sentirsi obbligato a leggerle.

UNA CONFESSIONE PRIVATISSIMA

Questo non è un vero e proprio capitolo del libro: sto scrivendo mie riflessioni e, come sono uso fare, le butto giù perché voglio chiarire con me stesso qualche concetto. Stavolta, per esempio, mi chiedo cosa troverei accettabile, sempre in termini di equivalenza funzionale, in un modello di **DIO** e cosa, al contrario, mi convincerebbe a buttarlo nella spazzatura. Perché non sono di bocca buona, e alcuni professionisti della religione cattolica mi sembrano attaccati a molte idee delle quali, almeno in parte, farei volentieri a meno. A onor del vero, debbo rilevare come altri professionisti, a volte pure in posizioni ragguardevoli su per la gerarchia, paiono interessati ad aspetti del modello più suscettibili di destare la mia curiosità. Ma è una constatazione da cui non posso trarre nessuna conclusione, purtroppo.

Il lettore, durante tutto il libro che ha testé completato di scorrere, ha avuto agio di spaziare su alcune delle mie ipotesi in merito a una possibile risposta al quesito nel titolo, e forse ricorderà di un'antica sottoscrizione – col mugugno – della scommessa di Pascal. Gli è anche noto l'assoluto disinteresse da me provato nei confronti di dio/Dio, mentre sono più possibilista nei confronti di **DIO**. Già ho accennato, a suo beneficio, dell'imprescindibile necessità di estremizzare oltre l'infinito la differenza tra **DIO** e un Direttore Generale dell'Ufficio delle Imposte, e magari il lettore concorda. Tra l'altro, ho ipotizzato **DIO** come l'unica possibile fonte del libero arbitrio, pur senza specificare come, quando e quanto una tale situazione non riduzionistica, e perciò estranea al mondo sensibile della scienza, abbia la possibilità di manifestarsi. Dunque, trovandomi nel discorso, e sempre insistendo sulle parentesi virtuali "(se esiste)" per chiarire che non godo, a nessun titolo, di quella percezione della presenza di **DIO** a volte spacciata per fede da chi dichiara la propria laicità (è solo un alibi, perché poi si va avanti dicendo: «...la fede è un dono, e a me non è stato dato...»), mentre la fede, dal mio punto di vista, è un atto della volontà, come testimoniava pure una persona che avviò un lavoro impegnativo a Calcutta), potrebbe essere la volta buona per espandere questo tipo di riflessioni, e aggiungere altre. Ma il libro si è concluso col capitolo 23, ricordate.

Sto tirando in lungo per essere sicuro di aver messo tutti i puntini sulle "i", e per chiarire qualcosa da valutare prima di leggere il seguito. Presenterò delle confessioni, non una discussione, e ciò non è privo di conseguenze. La prima delle quali riguarda il relativo disordine in cui il lettore troverà distribuiti i concetti esposti. Vero: entro certi limiti sono abituato a seguire un ordine più o meno logico, e non scriverò del tutto alla rinfusa. Ma non cercherò di agganciare le argo-

mentazioni l'una all'altra, onde generare una catena continua che inizi da qualche parte, e conduca più o meno forzatamente a un punto d'arrivo ben preciso, seguendo lo stesso criterio adottato nella scrittura e nell'ordinamento del libro appena completato. Discuterò di cavoli e di re, del lucido da scarpe e del prosciutto (da una filastrocca tratta... no: stavolta il lettore deve indovinare), introducendo aspetti di mio gradimento del modello di **DIO**, e altri, meno appetibili. Ci sarà pure una serie di richieste specifiche... a chi? A **DIO**, ovviamente, il quale, se esiste, e se deciderà in tutta libertà di compiacermi, potrà adeguarsi almeno al modello di seguito specificato, e almeno per quanto riguarda il suo eventuale modo d'interagire con me (ammesso che voglia mai interagire, perché, se ha cominciato a farlo, finora non me ne sono mai accorto, e questo è già un primo reclamo). Comunque, parlerò sempre a mio nome, e non intendo presentarmi come latore d'istanze provenienti da chicchessia.

Un'altra conseguenza del mio confessarmi riguarda il lettore. Quando qualcuno accetta di mettere a nudo il proprio animo, possono crearsi situazioni umanamente difficili da gestire. Chi si confessa rischia la propria dignità, ma la rischia pure chi ascolta. Infatti, quest'ultimo può rivestire diversi ruoli, e non tutti sono dignitosi. Il più anodino è quello dello "psicanalista-confessore": un professionista che registra senza giudicare, e mette le proprie competenze al servizio del "paziente-penitente". Ma c'è anche il ruolo del "guardone spirituale-giornalista". In questo caso, l'uditore filtra attraverso un setaccio mentale secondo cui «Questo non fa notizia, questo è uno scoop!» e pesca nel torbido, perché proprio lì si nascondono gli scoop. Chi si comporta a questo modo per giudicare malignamente, sentirsi superiore e goderne in privato, s'insozza moralmente. Escludendo che il potenziale lettore delle pagine seguenti si comporti da psicanalista, resta aperta la possibilità del guardone. Se così è, ed egli percepisce la morbosa curiosità di rimestare nei profondi abissi d'involuzione sottoculturale nei quali mi muovo, gli proibisco di seguitare a leggere, e non per salvaguardare la mia dignità, ma la sua, e solo la sua. La condizione affinché il lettore si senta abilitato a procedere (non "raccomandazione", ma vera e propria "condizione") è la disponibilità a provare *con-passione* nei miei confronti. No: non ho appena commesso un errore ortografico; chiedo al lettore di *partire-con* me (atteggiamento di *cum-passio*, se è molto acculturato), e cioè di *con-dividere* i miei sentimenti come se fossero i suoi, e soffrire con me alla bisogna.

E, finalmente, entriamo nel vivo. In primo luogo, da **DIO** pretendo che mi voglia bene. Attenzione a non credere superficialmente di aver capito, perché qui può nascere un gravissimo equivoco. Se io giungo al punto di dire a una persona: «Ti voglio bene», e mi è capitato poche volte, da contarsi sulle dita di una mano amputata, intendo: «Voglio il tuo bene. Se coincide col mio, ne sono contento, ma se non coincide, mi dispongo a mandar giù tutto purché si compia il tuo bene, perfino se è a mio danno». Nel paradigma sociale corrente, la dizione «Ti amo» si traduce: «Mi piaci; potrei trarre godimento da te in diversi modi, non ultimo sul piano sessuale». O, se si preferisce: «Ti desidero e ti accetto, in quanto un rapporto stretto tra noi due coincide col mio bene. Altrimenti, non saprei che farmene». Onde evitare l'equivoco, nel discettare sui rapporti tra **DIO** e me e viceversa, userò la dizione "voler bene" e non "amare", intesi? Dunque, pretendo che **DIO** mi voglia

bene gratis, escludendo ogni rapporto di tipo economico in senso lato, ogni *do ut des*, sennò non m'interessa. Come faccio a sapere se questa condizione è soddisfatta? Semplice: dev'essere proprio lui in persona a dirmelo, perché **DIO** non vuole, non deve, non può mentire. Elaboriamo su quest'ultimo concetto.

Nel libro, ho già spiegato come e qualmente io ritenga razionale (per una spiegazione sul mio utilizzo dell'ultimo vocabolo, tornare alla discussione nel capitolo 19) solo una religione rivelata. Infatti, mi pare ormai dimostrata l'impossibilità scientifica di dar vita a una religione naturale. Stando così le cose, dovrei comunque accollarmi l'onere di accettare aprioristicamente una rivelazione, con quanto ne consegue. Ma l'eventuale **DIO** che decidesse di rivelarmisi, sarebbe vincolato, dal mio punto di vista, da un certo numero di condizioni. Una di queste riguarderebbe proprio la rivelazione in quanto tale. Fin dove può giungere il mio intelletto, esigo (senza più condizionale) di poterla comprendere. Intendiamoci: non cado nel tranello ingenuo di pretendere una "guida all'utilizzo corretto di **DIO**" senza pecca. Questo è quanto chiedono, da sempre (e ne abbiamo già parlato), i Sapienti che negano **DIO**, adducendo la motivazione secondo la quale, se loro si fossero trovati al suo posto nel dettare le scritture sacre o nel gestire la storia, avrebbero fatto molto meglio di lui. Tutto ciò mi fa solo ridere in quanto, per definizione, una religione sfonda vertici non raggiungibili dall'intelletto umano, e quindi so di dovermi accontentare se la rivelazione mi viene fornita, almeno per alcune parti, sotto forma di simboli e immagini, per cui l'emozione sia di supporto all'intuizione (le emozioni vanno oltre la logica: questo lo so per esperienza diretta e, sebbene non possa dimostrarlo al lettore, per me è cogente). Neppure mi turba la possibile esistenza di dogmi laddove la logica non arriva più; in fin dei conti, ci si va molto vicini pure nella scienza! Però, la rivelazione non dev'essere *contraddittoria nella sostanza* e, siccome il concetto non è necessariamente banale, mi ci fermo un po' sopra.

Non m'importa delle forme, e dovrebbe essere già chiaro; queste possono anche presentarsi apparentemente incongruenti, specie se il *corpus* scritturale si è costruito attraverso secoli e millenni, con apporti culturali disparati. Ma la *sostanza* non deve lasciar adito ad abusi della ragione, e soprattutto non deve contenere alcunché di potenzialmente maligno. L'ultimo vocabolo è il più incriminato, e la sua spiegazione prenderà tutto il prossimo (lungo) paragrafo.

Da **DIO**, pretendo che non cerchi di trarmi deliberatamente in inganno. La storia mi mette a disposizione un sacco di esempi di potenziali sabbie mobili in cui cadere, ma ce n'è uno attuale, e scelgo questo. Se **DIO** è l'artefice della rivelazione in termini strettamente religiosi, è pure l'artefice del cosmo fisico, in quanto assunto la sua natura di Causa Prima (con le maiuscole, perché stavolta sono adeguate). Allora, attenzione al discorso, cercando di ricordare un bel po' di cose imparate nel libro. Per quanto mi è dato di poter controllare scientificamente, o a qualsiasi altro livello, **DIO** può aver creato ogni cosa un secondo fa, includendo nel mondo tutte le memorie di ogni tipo; da quelle cosmologiche alle geologiche, astronomiche, paleontologiche, storiche e giù giù fino alle mie personali. Però, resta una condizione ineludibile: questa creazione non dev'essere maliziosa; se lo fosse, **DIO** non m'interesserebbe. Infatti, se **DIO** non vuole che io fraintenda il li-

bro della rivelazione religiosa, di certo non passerà il suo tempo a inzeppare d'errori e di trappole il Gran Libro della Natura di galileiana memoria, al solo scopo di farmi inciampare. I fossili di dinosauro sono lì? Allora, di sicuro **DIO** si aspetta da me che io interpreti la cosa secondo il modello seguente: «C'è stata l'evoluzione biologica in termini darwiniani, e i dinosauri ne hanno fatto parte». Considererei malvagio **DIO**, non tanto se avesse creato il mondo nel 4004 a.C., ma se pretendesse da me fede cieca su questo argomento (pena il fuoco eterno o non so cosa), dopo aver disseminato il mondo stesso di falsi indizi, onde condurre la mia ragione in direzione diversa, per lo meno laddove io so benissimo che la ragione riesce ancora a catturare quanto c'è da catturare, e i suoi limiti (i quali, pure, esistono, come abbiamo visto) sono ben lungi dall'essere stati raggiunti e travalicati. Se **DIO** ha creato tutto un secondo (o seimila anni) fa, e l'ha creato così come lo vedo io adesso, lui desidera comunque che io ricostruisca razionalmente la storia del mondo naturale in base alle signature da lui stesso lasciate nel cosmo. Compio un ulteriore passo logico, ma non pretendo, dal lettore, di seguirmi per forza. Affermare che un secondo fa ancora non esistesse nulla, e al contempo sostenere il big bang come anello di una catena di universi infiniti nello spazio e nel tempo, può essere del tutto equivalente sul piano pratico e perfino intellettuale, purché sia fatta salva una certa condizione. E cioè: **DIO** non deve mettermi i bastoni tra le ruote coi suoi tranelli. Se, viceversa, **DIO** è contraddittorio, e ha scritto i due libri (rivelazione e natura) al solo scopo di confondermi e spedirmi all'inferno, mi spiegate voi per quale motivo dovrei essere interessato a sottomettermi a un individuo così malvagio e arbitrario, peggio di Gaio Cesare imperatore (Caligola, per chi non lo sapesse), malgrado la sua prepotente personalità? Troverei più dignitoso ribellarmi a lui. O, per lo meno, forse mi sottometterei per la paura delle conseguenze, ma non potrei certo voler bene a un Dio del genere. Né me ne vorrebbe lui, se si comportasse così!

Ma se **DIO** mi volesse bene nell'accezione poc'anzi spiegata, non farebbe questo tipo di cose. Ciò mi tranquillizzerebbe molto e, anzi, ne trarrei perfino un'indicazione etica piuttosto interessante. Qualora i due libri di cui sopra sembrasse in contrasto tra loro, e servisse con urgenza un'interpretazione dirimente per una delle tante circostanze della vita, la procedura più ragionevole sarebbe quella di cercare un'indicazione immediata nel libro della natura, anziché in quello della rivelazione. Il motivo di questa scelta è ovvio: la rivelazione religiosa è molto più difficile da comprendere, rispetto a quella naturale. Se siamo certi, nei limiti in cui la scienza può avere certezze, di aver inteso correttamente alcune leggi del mondo fisico, almeno in prima approssimazione, e la rivelazione religiosa sembra suggerirci qualcosa di definitivamente incompatibile, scommetto cento a zero: il nostro equivoco riguarda la rivelazione religiosa. Come al solito, mi spiego con un esempio. Se un predicatore m'ingiunge di spararmi un colpo al cervello, perché il suo modo d'interpretare la rivelazione religiosa lo porta a concludere che tra cinque minuti avverrà la fine del mondo, e sarà dolorosissima per ogni vivente, prima mi accerto dell'assenza di meteoriti in procinto di colpire la Terra, e poi sparo a lui. Ci siamo capiti, penso.

Ora, passiamo a trattare un po' di etica. Lo spauracchio di tutti. «Se non fai

questo, e se fai quest'altro...». Sempre nell'ipotesi in cui **DIO** mi voglia bene, di certo non mi butta nel mondo munito solo di due tomi giganteschi, virtualmente incomprensibili da un povero in spirito come me (ma lo siamo tutti, a eccezione dei *Sapienti* di qualche paragrafo fa), dicendomi: «La verità è tutta scritta lì. Se sgarri, per te sono guai!». Mi aspetto da lui, piuttosto, un qualche genere di guida per accompagnarmi, in modi differenti, in entrambi i contesti (natura e rivelazione); in qualche modo, i *magisteri non sovrapponibili* identificati da Jay Gould. Per quanto riguarda la natura, per esempio, mi ha donato la logica, e con quella posso orientarmi, sebbene con fatica, progredendo lentamente, di generazione in generazione. Ma pure nel campo della rivelazione deve avermi lasciato qualche guida, abilitata all'interpretazione. Una guida, operante anch'essa su tempi lunghi, secolari e millenari, in grado di avvisarmi (così come avviene in campo scientifico) allorché un argomento è da ritenersi inteso definitivamente, e quali altri settori siano in lavorazione, anche perché, in ogni tempo, i progressi culturali e tecnologici pongono problemi etici non pensabili in epoche precedenti. Questo mi sembrerebbe, da parte di **DIO**, un modo di fare accettabile, pur non privo di conseguenze per quanto mi riguarda. La più ovvia delle quali è l'esistenza di una legge morale che, però, non sono disponibile ad accettare se si tratta solo di un'invenzione estemporanea e punitiva di **DIO** per mettermi alla prova, sperando nel mio fallimento. Solo il Ministro delle Finanze (di qualsiasi governo) si divertirebbe a far capocella da una nuvoletta, per spiarmi istante per istante, e sanzionarmi al primo scontrino fiscale dimenticato sul bancone del fornaio. E, infatti, ho sempre detestato dal mio intimo più profondo ogni Ministro delle Finanze. **DIO** dev'essere diverso, per interessarmi; se mi sottopone una legge morale, questa sarà accompagnata da un avviso: «Bada, io so meglio di te come sei fatto. Mi appello alla tua sensibilità, ma anche a un minimo di fiducia in quel che ti dico: cerca di fare uno sforzo per seguire i suggerimenti contenuti in queste norme di comportamento, esplicite e sintetiche. Facendo di testa tua, è molto, molto probabile che finiresti per far male a te stesso e ad altri. Perché gli altri ci sono, ricordatelo, e io voglio bene a ciascuno di loro quanto a te, anche se in modo personalizzato. Ma, dopo l'esistenza, il bene più grande che ti ho donato è la libertà. Scegli tu stesso come comportarti».

Seguitando a parlare di etica, voglio tirar fuori anche un'altra conseguenza da quanto appena detto. Se **DIO** risponde alle specifiche funzionali sin qui modellizzate, di sicuro accetterà senza storcere il naso mie eventuali deviazioni rispetto ai suoi suggerimenti, laddove io non li abbia capiti bene (onestamente, intendiamoci). E qui arriviamo a un altro punto fondamentale. La più gettonata ideologia sociale e politica dei nostri giorni (meglio: il paradigma, per restare nel linguaggio già usato) giudica, e manda, secondo ch'avvinghia, senza pietà alcuna, non solo il presente, ma anche il passato. La parola d'ordine dei Minosse ideologici è: «Chi si comportò in questo modo, fu colpevole, e oggi come allora non merita perdono, neanche postumo!», autocondannandosi, di fatto, per il giorno in cui questo paradigma sarà mutato (qui si potrebbe, forse, imbastire un nuovo paradosso logico sull'imperdonabilità di chi non perdona...). Gli errori gravi e quelli veniali, le incomprensioni, perfino i semplici equivoci culturali, sociali, religiosi dei tempi che

furono, sono bollati d'infamia in base all'esasperazione politica di modi di pensiero partoriti a metà dell'Ottocento dalla mente di un tedesco d'intelletto non comune, e diffusi ormai per tutta la rosa dei venti. Senza voler giudicare a mia volta, affermo che **DIO** non deve fare allo stesso modo, pena la perdita della mia stima. Lui sa benissimo quanto sia gravosa l'interpretazione dei due libri; forse, richiederà alla nostra specie tutto il tempo che le resta (non ho idea di quanto possa essere; molto lungo, spero...). Dunque, **DIO** deve accettare di portarsi al livello di comprensione umana giorno per giorno, luogo per luogo, individuo per individuo, e tollerare ogni limitazione dovuta ai tempi e ai paradigmi. Per lui, chiunque agisca in buona fede agisce bene, pur se lo stesso comportamento sarebbe considerato da noi come gravemente deviato, in un contesto culturale più evoluto o, semplicemente, diverso.

Non ho finito di parlare di etica e legge morale, ma preferisco tornarci solo dopo aver discusso un'altra delle mie aspettative. La vita eterna. Non saprei cosa fareme di un **DIO** il quale, dopo avermi fatto comprendere in qual modo l'esistenza sia il dono fondamentale, me la togliesse dopo settant'anni o, con forse gagliarde, ottanta (citazione dalla Bibbia e non dalle tabelle attuariali assicurative; in queste ultime, l'Occidente industrializzato supera gli ottanta). Se è lui ad avermi creato, ha contratto *ipso facto* l'obbligazione a non permettere più che io finisca nel nulla *per omnia saecula saeculorum*. Da questo punto, non transigo. La morte non può essere la fine di tutto, ma solo un qualche genere di seccante transizione. Verso dove? Una nuova incarnazione? L'ho già detto nel libro: non mi ci sentirei portato per niente. Allora, forse, un rutilante paradiso orientale, popolato da dèi e demoni di ogni tipo, spesso indistinguibili gli uni dagli altri? Un paradiso, a detta dello scrittore G.K. Chesterton (l'inventore di Padre Brown) più spaventoso del più spaventoso inferno occidentale? Forse, qualcuno ci si troverebbe bene; non io. Cosa voglio, allora? Semplice: un luogo dove poter incontrare faccia a faccia, non in senso metaforico ma letterale, **DIO** (non me lo figuro, ma se fosse consistente col modello che me ne sto costruendo, sarebbe di sicuro una piacevole sorpresa). Ma anche ritrovare le persone, le cose, perfino i luoghi da me conosciuti, o di cui ho sentito parlare nella mia vita. E molto di più: di quanta gente non ho mai avuto notizia? Anche loro, ovviamente, voglio conoscere, a patto che ogni incontro sia finalmente libero dalle angosce da cui oggi non riesco mai a liberarmi del tutto, e che gettano ombra perfino sui momenti più belli della mia esistenza. Perché, cosa contiene la vita, se non un susseguirsi di promesse implicite, mai del tutto mantenute per i motivi più diversi? Il luogo in cui desidero trovarmi dopo la morte deve garantirmi il mantenimento di ogni promessa, e per sempre. Il luogo in cui viene a compimento "la Promessa", perfino se non so spiegarla meglio di così... Se il modello del Paradiso è congruente con queste mie richieste, allora siamo d'accordo. Sennò, **DIO** farebbe bene a rimboccarsi le maniche (mi vuole tutto quel bene che mi fa riferire dai suoi delegati? Be', dovrà pure fare qualcosa per me...).

Con questa premessa sulla vita eterna, posso tornare all'etica per concludere il discorso. Non voglio essere giudicato da **DIO**, se decido di non accettare e ricambiare il suo volermi bene. Nel caso in cui scegliessi di rispondergli: «Sei stato molto gentile a crearmi, ma non te l'avevo chiesto. Inoltre, non desidero aver a che fa-

re con te, perché ti percepirei come un vincolo al mio libero arbitrio, specie con tutta quella legge morale che mi butti addosso. Mi vuoi bene lo stesso? Non posso impedirtelo, ma io non te ne voglio», ebbene questi sarebbero fatti miei. **DIO** se ne potrebbe rammaricare, ma dovrebbe comunque rispettare la mia scelta. Anche dopo la morte. E, siccome si è impegnato a mantenersi in esistenza per sempre, pure in questo caso dovrà farlo in qualche luogo, laddove non mi sia imposta la sua presenza diretta, perché io l'ho rifiutata. Le altre caratteristiche di questo luogo non le conosco e non m'interessano, ma di sicuro non devono violare la mia volontà di fare a meno di **DIO**, e non dovrò preoccuparmi per l'eternità d'incontrarlo mai faccia a faccia. Domanda: la sua assenza sarebbe suscettibile d'ingenerare in me un certo disagio, specie riflettendo che **DIO** potrebbe essere meglio di quanto mi raccontano i sacerdoti? Non è da escludersi a priori. E sarebbero, queste, alcune delle caratteristiche funzionali da associare al modello dell'Inferno? Magari sì, chissà? Comunque sia, una capacità irrinunciabile che pretendo da **DIO**, è quella di decidere io, liberamente, in prima persona, se dirigermi verso il Paradiso o l'Inferno. Lui può essere solo il garante della mia decisione, e della persistenza dei due luoghi tra i quali eseguirò la scelta. In caso contrario, d'un **DIO** il quale s'azzardasse a decidere per mio conto una faccenda d'importanza così capitale, non vorrei neanche sentir parlare. Fine del discorso su etica e legge morale.

Sempre sull'Aldilà. Ammesso, come recita la rivelazione religiosa, che io sia dotato di un'anima immortale d'indole non materialmente sensibile, distinta dal corpo fisico, ma con questo interagente (magari, il libero arbitrio sorge e si dispiega proprio in un contesto del genere, ma questa è solo una divagazione), non mi basta proprio per nulla, se nell'Aldilà ci va solo l'anima. Ma come! Tutta la mia vita l'ho trascorsa obbedendo anche agli impulsi provenienti dal corpo fisico, nel bene e nel male, e ogni decisione da me presa, per quanto libera, è stata comunque mediata tra le indicazioni fisiologiche, le psicologiche (verosimilmente, sono pure loro solo un aspetto emergente, in termini riduzionistici, di quelle fisiologiche) e le spirituali! Insisto, poiché so benissimo come si possa scivolare su questo concetto, pensando solo alle pulsioni più violente. No: io penso anche, e soprattutto, al bene, sapendo che il mio corpo è stato pure sorgente di bene nel dare agli altri, e ricevitore di bene dagli altri e dal mondo fisico. Dunque, mi sembra essenziale e inderogabile un mio prolungamento anche fisico nell'Aldilà. Dev'esserci il mio corpo, così come lo percepisco, con tutti i sensi, e togliendo le limitazioni della corrottezza. Voglio poter abbracciare le persone con le mie braccia, e dar loro pacche sulla schiena. Baciarle con le mie labbra, e ascoltare con le mie orecchie tutto quello che, in questa vita, non sono riuscite a dirmi. Ho bisogno assoluto di camminare su un sentiero di montagna con le mie gambe, valicando torrenti, prati e rocce, godendo per mezzo del mio naso del profumo dei fiori e dell'erba, ammirando coi miei occhi le cascate, i ghiacciai, le cime, l'azzurro del cielo farsi più profondo, mentre mi tergo, di quando in quando, il sudore dalla fronte. Meno di questo, non mi basta. È un ultimatum a **DIO**? Certo! Non ha ancora provveduto? Cominci a sbrigarsi. Non mi restano troppi anni da vivere, e pretendo di trovare tutto in ordine, quando arrivo... ecco: se qualcuno leggerà queste righe dopo la mia dipartita, saprà dove trovarmi. Zaino in spalla!

Ho lasciato indietro un problema davvero grosso; l'ho posposto per quanto possibile, poiché rappresenta uno dei motivi principali per cui mi viene da dubitare dell'esistenza di **DIO**. Badate: non sono solo io a soffrire per quanto vengo ora a raccontare; in fin dei conti, la maggioranza di coloro che scommettono diversamente da me, lo fa perché vede la propria fede vacillante schiantarsi contro questo scoglio. La presenza del male, e anzi vorrei essere più specifico: la sofferenza degli innocenti. Non so spiegarmi meglio, e non trovo una risposta chiara e definitiva, nella rivelazione religiosa, a questa tragedia da cui nessun essere vivente può sfuggire. Se **DIO** vuol bene a tutti, perché fa soffrire le proprie creature? Il lettore è abituato a che io risponda almeno a una certa percentuale delle domande poste da me stesso, ma stavolta la risposta non c'è. Affermazioni del genere: «Sono prove che **DIO** consente», tipo il Libro di Giobbe, oppure: «Dal male, **DIO** trae il bene», come ripetono sovente alcuni sacerdoti, mi lasciano freddino. E suppongo di non dover spiegare in dettaglio il perché: chiunque è in grado di capirlo. Per quanto ci abbia riflettuto sopra, mi sembra di aver trovato solo una traccia tenuissima: qualcosa di cui non sono del tutto convinto, ma potrebbe comunque essere un indizio che vale la pena di non lasciar cadere. Labile, però: molto, molto labile. Lo racconto come riesco.

Non accetto l'idea di un **DIO** che non abbia portato in prima persona, sul proprio groppone, tutte le sofferenze e il male di questo mondo. Altrimenti, non sarebbe giustificato che ne facesse parte anche a noi. Molta attenzione, però: non sto parlando di groppone in senso metaforico, spirituale. No, tutt'altro: il mio discorso è in termini rigorosamente materiali, comprendenti anche una quantità rilevante di dolore fisico. Ripeto: se **DIO** consente che noi siamo piagati dalla sofferenza fisica e morale, ne sia piagato anche lui, o ci lasci in pace. Dunque, la traccia da seguire (per me) va così: quando incontrerò **DIO** faccia a faccia, lui deve darmi il diritto di prenderlo per il bavero (perché avrà un bavero da acchiappare con una mano, e scrollare) e chiedergli: «Perché?». E sarà bene per lui, se avrà pronta una risposta soddisfacente, affinché io possa ascoltarla, rifletterci, capire, mollare il bavero e replicargli: «Va bene, non ci avevo pensato, non potevo nemmeno immaginarlo, ma ora mi hai convinto», senno continuerò a sgrullarlo. È chiaro, per il lettore, il discorso che gli sto proponendo? **DIO** deve rispondermi in prima persona, e magari mostrarmi i fori dei chiodi, lasciarmi mettere un dito nella piaga del costato... vi torna a mente qualcosa? Forse, una tela del Caravaggio?

Insomma: se **DIO** non funziona almeno come questo modello, allora ho perso la scommessa di Pascal, e non glielo potrò neanche rinfacciare (a Pascal); tanto valeva che restassi ateo e basta...

È il caso di continuare a specificare in altri dettagli il modello di **DIO** così come mi potrebbe interessare, con tutte le equivalenze funzionali minime che mi aspetterei da lui? Immagino di no: ne ho dette abbastanza, e il lettore può aggiungere le proprie. Ma è la voce del lettore, quella che odo? Mi sta ponendo una domanda? Dice così: «D'accordo, accettiamolo come ipotesi. Esiste proprio il **DIO** di cui hai parlato finora. Lui ti vuole bene senz'altro. Tu sei disposto a volergliene?». E già! Credevate davvero che non me la fossi aspettata?

Bene... sì, un pochino gliene voglio. Non faccio fatica a pensare che, da me,

lui se ne aspetterebbe un po' di più. Magari, con uno sforzo, potrei essere in grado di fare qualcosina di meglio (capite perché affermo in qual modo la fede non possa limitarsi a una sensazione ma debba contenere un atto di volontà? "Voler" bene...), specie conoscendomi abbastanza in profondità... comunque, un pochino gliene voglio. Con tutto quello che ha fatto per me, come riuscirei a non volergliene per niente? Certo, a volte mi capita di fare strame dei suoi suggerimenti morali, ma sono disposto ad ammettere che non sia cosa da andarne fieri... Insomma: se mi chiedete quale situazione sceglierei per "dopo", preferirei poter guardare **DIO** negli occhi. Anche perché, altrimenti, come farei a prenderlo per il bavero, se non ce l'avessi davanti di persona?

Ha senso sperare, desiderare tutto ciò? Se **DIO** esiste, è lecito. Chi vuol darmi del cretino, deve provarmi che **DIO** non esiste, irrefutabilmente, scientificamente. Se non può, taccia in nome della sua propria dignità.

Ecco: la mia confessione è terminata. Saluto il lettore compassionevole. Ci rivedremo? «Lassù!», risponde Fra' Cristoforo, nel Lazzaretto di Milano. Ora, per cortesia, bisogna saltare indietro, al termine del capitolo precedente, e uscire dal libro, oppure passare alle appendici. Infatti, le poche frasi seguenti riguardano solo una mia faccenda personale, di cui vorrei discutere con **DIO** privatamente.

«Il punto è questo: sai quanto mi sarebbe piaciuto salire le cime delle Alpi, e non solo quelle, ma ne ho scalate ben poche, e ormai posso solo rimirarle dal fondo valle. Non è che, in Paradiso, potresti... ecco, grazie, ma aspetta, c'è un'altra cosa. Gli stambecchi, i camosci, gli scoiattoli, le marmotte, ce li metti tutti, vero? Perfetto: e sarebbe *economico*... non riferire a Kant che ho detto così... rimetterci quelli che già sono esistiti, d'accordo? Un attimo, sto per finire. Parlando di animali che ci sono stati, mi faresti veramente un regalo se ritrovassi Minou, bianca bianca, che appena mi vede mi riconosce, dice "Miao" e mi salta in braccio facendo le fusa, senza sbrindellarmi con le unghie la tunica da beato... beh, te l'ho detto. Poi, non far finta di non saperlo...».

APPENDICI

Glossario essenziale

Non avrebbe senso riempire un glossario di termini scientifici; il lettore abituato a orientarsi in un mondo in cui scienza e tecnologia sfornano ogni giorno nuovi miracoli saprà anche muoversi da solo nel testo. Dunque, riporterò qui poche voci: essenzialmente quelle usate nel gergo specialistico, e perciò meno note al pubblico.

→ **Algebra tipografica** – Notazione matematica con regole semplici, seguendo le quali ogni teorema dimostrato (automaticamente) è *vero*, e la sua scrittura molto compatta. Purtroppo, da Gödel in poi, sappiamo che, in questo modo, non si può giungere a tutti i teoremi veri.

→ **Algoritmo** – Procedura specificata in ogni minimo dettaglio. L'Algebra tipografica, per esempio, si basa su algoritmi. Una ricetta di cucina è un algoritmo rudimentale, specie dove suggerisce di aggiungere zucchero *quanto basta*.

→ **Altrove** – Nella Relatività, si dimostra che il tempo non si divide solo in passato, presente e futuro, ma esiste una vasta zona (spaziotemporale, e non solo temporale) in cui la cronologia degli eventi dipende dalla velocità dell'osservatore.

→ **Agnosticismo** – Letteralmente: “non conoscenza”. Secondo l'atteggiamento rigidamente agnostico, non vale la pena di occuparsi di ciò che non è conoscibile con certezza; in genere, questa considerazione si applica a Dio, ma non soltanto.

→ **Caos deterministico** – Improvviso divaricarsi di soluzioni matematiche al variare anche minimo delle condizioni di partenza. Malgrado l'apparenza di caos, non si perde però il legame univoco di tipo meccanicistico. Le equazioni non lineari conducono a situazioni di questo tipo.

→ **Constatazione antropica** – Se le leggi di natura fossero diverse anche di poco da quel che sono, nell'universo non ci sarebbe posto per esseri intelligenti.

→ **Determinismo** – Paradigma secondo cui le condizioni di ogni sistema (anche dell'intero universo) in un certo momento sono *determinate rigidamente* dalle sue condizioni in tempi precedenti. Parente stretto del *meccanicismo*.

→ **Entanglement** – Situazione in cui due particelle quantistiche, anche molto distanti tra loro, possono scambiarsi un'informazione *riservata* a velocità infinita. In pratica, non è in violazione sostanziale della Relatività, ma fa pensare lo stesso a qualcosa di non causale.

→ **Enunciato Z** – L'unico di qualche valore (e non perché lo sostenga io): «La scienza ha dimostrato in modo definitivo l'esistenza di aspetti della natura attraverso i quali **DIO** potrebbe interagire col mondo sensibile, senza lasciare tracce rivelabili dagli esperimenti».

→ **Epifenomeno** – Un fenomeno di difficile interpretazione, riscontrabile solo in sistemi molto complessi, ma che si fa comunque risalire alle leggi di base della natura, almeno secondo l'ipotesi riduzionista.

→ **Epistemologia** – Discorso sui problemi di conoscibilità scientifica. Si dice che una legge di natura è di tipo epistemologico quando esistono intoppi alla nostra capacità d'investigazione scientifica. Non, però, a causa di come siano gli oggetti in sé, ma di come siamo in grado di studiarli (le maglie della rete del pescatore).

→ **Evento** – Qualcosa che si verifica in un certo punto dello spazio, e a un certo momento del tempo, per cui deve essere specificato per mezzo di quattro coordinate (le tre spaziali, e quella temporale). Un appuntamento è un evento, poiché bisogna sempre dire dove e quando.

→ **Finalismo** – Piaga del pensiero scientifico, in parte conseguente a come Aristotele discuteva la causalità, imponendo tra i tipi di cause anche quella *finale*. La scienza può procedere solo se non adotta il finalismo tra i propri strumenti.

→ **Infinito** – Concetto matematico da trattare solo secondo regole specifiche. L'applicazione di una mentalità intuitiva e finitistica all'infinito conduce quasi inevitabilmente a paradossi, pur se non sono sempre evidenti. Esistono, però, anche regole matematiche per trattare i regressi all'infinito.

→ **Interazione** – In fisica, quasi sinonimo di "forza". Ma il vocabolo possiede connotazioni più generali, riferendosi anche a "scambi di *cariche*" senza che venga esercitata necessariamente anche una forza in senso tradizionale.

→ **Intervallo Kelvin** – Il mondo a bassa velocità e dimensioni intermedie, in cui si è evoluto l'intelletto umano. Nessuno può garantire che il nostro cervello sia in grado di capire quel che avviene al di fuori di quest'intervallo. E, infatti, alcune leggi di natura non riusciamo a capirle intuitivamente.

→ **Isomorfismo** – Correlazione esistente tra un oggetto fisico in senso lato e la sua rappresentazione. Esempio classico: una carta geografica presenta un certo grado d'isomorfismo col territorio reale che essa rappresenta.

→ **LEGGE** – L'insieme delle leggi di natura già conosciute, e di quelle ancora da scoprire. Volendo, può essere identificata in prima approssimazione con la Teoria del Tutto.

→ **Meccanica Quantistica (MQ)** – Ramo della fisica che studia le leggi agenti su oggetti e sistemi microscopici. Le leggi quantistiche si applicano a qualsiasi oggetto ma, in pratica, vale la pena di usarle solo da dimensioni molecolari in giù. Dunque, sono le leggi fondamentali della natura.

→ **Meccanicismo** – Paradigma ottocentesco, in base al quale sarebbe possibile calcolare tutto il passato e il futuro di qualsiasi sistema in base alle leggi di Newton, a patto di conoscerne lo stato preciso in un momento ben determinato.

→ **Metrica** – Struttura intrinseca dello spazio, inteso come oggetto deformabile, che forza il modo di misurare le distanze. Solo in presenza di misure eseguibili mediante un normale regolo rettilineo, la metrica è euclidea.

→ **Modellistica** – Procedura basilare della scienza, che descrive i fenomeni naturali mediante leggi matematiche, e analogie funzionali semplici, intuitive. Dalla fine dell'Ottocento, le analogie funzionali sono diventate sempre più insoddisfacenti.

→ **Modello Standard** – Insieme di leggi fisico-matematiche descrittive in modo abbastanza coerente, ma ancora provvisorio, tre delle quattro interazioni naturali oggi conosciute, e cioè quella elettromagnetica, la nucleare debole e la nucleare forte, detta anche "*di colore*". Resta fuori la gravità.

→ **Olistmo** – Atteggiamento mentale (opposto al Riduzionismo) che ipotizza l'emergere di fenomeni sempre genuinamente nuovi, non riconducibili alle leggi di base, al crescere della complessità dei sistemi. Se il comportamento della natura fosse olistico, la scienza si dovrebbe ridurre a una classificazione dei fenomeni.

→ **Ontologia** – Discorso filosofico sulla possibilità di conoscere, basato sulle caratteristiche dell'esistenza in sé, e non sul modo di acquisire conoscenza. In MQ, l'indeterminazione nelle misure di posizione è di carattere ontologico, poiché la posizione in sé non esiste.

→ **Orizzonte** – Condizione geometrica, fisica, logica eccetera, che impedisca di vedere in senso lato cosa ci potrebbe essere oltre l'orizzonte stesso, in analogia a quello terrestre, il quale cela gli oggetti che si trovino al di là della curvatura del pianeta.

→ **Paradigma** – Modo di pensare sociale e/o scientifico così diffuso, da essere praticamente inconscio. Nella scienza, le grandi rivoluzioni hanno spesso comportato un rovesciamento dei vecchi paradigmi. E nella società, lo stesso.

→ **Rasoio di Occam** – Utile strumento di pensiero, attribuito a Guglielmo da Ockham (XIV secolo): «Conviene limitarsi a cercare la soluzione più semplice», o varianti sul tema (“*Pluralitas non est ponenda sine necessitate*”). Sistematicamente disatteso da ogni Ministro delle Finanze.

→ **Realismo** – Ipotesi fondamentale per poter fare scienza: la realtà deve esistere in sé, anche se la nostra percezione può esserne imprecisa.

→ **Regolarità della natura** – Ipotesi secondo la quale il comportamento della natura non è del tutto casuale, ma esistono ricorrenze (leggi) almeno statisticamente parlando.

→ **Regresso all’infinito** – Procedura matematica che, se applicata in modo corretto, permette di ottenere informazioni quantitative esatte su sommatorie fino all’infinito, eccetera. Purtroppo, non sempre è applicabile.

→ **Relativismo** – Non c’entra nulla con la scienza e, meno che mai, con la Teoria della Relatività di Einstein. È solo un modo di pensare, socialmente molto diffuso, secondo il quale i punti di vista individuali vanno accettati tutti come giusti.

→ **Relatività Generale (RG)** – Estensione della RS a casi nei quali il campo gravitazionale sia molto intenso. Spiega la forza di gravità mediante la curvatura dello spaziotempo.

→ **Relatività Speciale (RS)** – Modello del comportamento della natura a velocità elevate, prossime a quella della luce c . In essa, lo spazio e il tempo non sono più due entità separate, ma esiste solo lo spaziotempo.

→ **Riduzionismo** – Atteggiamento mentale (opposto all’Olisto), che tende a ricondurre il comportamento di ogni sistema esistente in natura alle leggi di base operanti sulle parti costituenti, e alle interazioni tra loro e coll’ambiente.

→ **Spaziotempo** – Lo spazio e il tempo non sono due entità fisicamente separate, ma due facce della stessa medaglia, potendosi trasformare l’uno nell’altro secondo le regole fissate dalla Teoria della Relatività.

→ **Teismo** – Atteggiamento religioso in senso lato nei confronti della natura, senza però richiedere l’esistenza di una divinità nel significato tradizionale del termine.

→ **Teoria del Tutto** – Ipotetico modello definitivo di ogni comportamento della natura. Sulla natura di questo modello, però, le idee degli scienziati sono discordi.

→ **Teoria di Grande Unificazione (GUT)** – Imminente (?) estensione del Mo-

dello Standard, in cui le tre interazioni saranno descritte in modo assolutamente congruente e unificato, e sarà prevedibile quantitativamente ogni fenomeno relativo.

→ **Tomismo** – Corrente filosofica (detta anche “*Scolastica*”) che prende origine da San Tommaso d’Aquino. La sua parte che utilizza la logica per dedurre prove dell’esistenza di Dio è stata giustamente criticata da Kant, in quanto la causalità (logica) viene applicata all’incausale (Dio).

→ **Unificazione** – Tentativo di descrivere aspetti della natura apparentemente separati mediante un unico modello.

Bibliografia ragionata

Il lettore noterà come, tra i titoli proposti, ce ne siano diversi non proprio nuovissimi. Esiste una ragione per tutto ciò. I fondamenti scientifici su cui è stato costruito questo libro erano tutti ormai chiari già attorno al 1960 o giù di lì, e in buona misura anche prima. Gli sviluppi scientifici successivi sono interessantissimi, e suggerirò anche qualche libro per il lettore che si stesse appassionando alla fisica moderna, ma il contesto di riferimento per i concetti trattati qui ne può fare a meno.

Suggerisco, per iniziare, un paio di opere di Paul Davies. Non mi trovo d’accordo con questo autore sul modo di concepire il principio antropico, ma Davies è comunque un divulgatore di eccezionale bravura:

→ **La mente di Dio**

→ **Il cosmo intelligente**

Dopo Davies, mi permetto di pubblicizzare un mio libro, poiché tratta a livello divulgativo moltissimi degli argomenti qui discussi:

→ **Tutti gli universi possibili (e altri ancora)**

Un libro davvero eccellente sui rudimenti della MQ è stato scritto diversi anni fa da John Gribbin: lo stesso autore ne ha pubblicati, in seguito, anche altri, ma considero questo un’ottima introduzione. Il lettore interessato può cercare e leggere con profitto anche i successivi:

→ **Alla ricerca del gatto di Schrödinger**

Sulla Relatività, sconsiglio le opere divulgative dello stesso Einstein. Come scrittore per pubblico generico, non se la cavava troppo bene. Invece, il lettore potrebbe trarre molto profitto da un libro di Brian Greene dedicato alle superstringhe:

→ **L’universo elegante**

Per quanto riguarda un altro punto importante, e cioè il caos deterministico, non ho finora trovato nulla che mi convincesse del tutto, ma ci sono spunti molto interessanti in un libro di Ian Stewart e Martin Golubitsky, dal titolo:

→ **Terribili simmetrie**

Se il lettore riuscisse a digerire almeno *Il cosmo intelligente*, *Tutti gli universi possibili*, *Alla ricerca del gatto di Schrödinger* e *L'universo elegante*, disporrebbe ormai di tutti gli elementi per poter trarre giovamento da un testo più impegnativo di Robert Oerter, molto importante e ben scritto, che tratta anche di particelle elementari in una descrizione generale del Modello Standard:

→ **La teoria del quasi tutto**

Ecco, invece, due testi che si situano su fronti opposti per quanto riguarda la possibilità di continuare a fare scienza in modo galileiano, e le modalità di sviluppo della fisica di base nel prevedibile futuro:

→ **Il paesaggio cosmico** (di Leonard Susskind)

→ **L'universo senza stringhe** (di Lee Smolin)

Adesso, ipotizzo che il lettore si sia appassionato al mondo della scienza, e decida di compiere uno sforzo di comprensione. Gli propongo alcuni libri ancora più impegnativi, da studiare più che leggere e basta. Ma la ricompensa è notevole, in termini culturali e intellettuali più in generale. Parto da un poderoso volume di Sir Roger Penrose:

→ **La mente nuova dell'imperatore**

Non occorre alcuna preparazione specifica, ma non si tratta nemmeno di pura e semplice divulgazione.

Come pure raccomando caldamente un altro testo ormai storico, un vero e proprio *cult* scritto da Douglas Hofstadter, dal titolo:

→ **Gödel, Escher, Bach**

Si tratta anche stavolta di un volume poderoso, che richiede pazienza e attenzione, ma merita di essere letto, studiato e capito.

Andando più in profondità, per il lettore che volesse toccare con mano le stranezze della MQ, c'è un testo che consiglio sistematicamente, a occhi chiusi, sebbene richieda buona volontà e tanta pazienza. Ma merita ogni goccia di sudore (intellettuale) spesa. L'autore è Gian Carlo Ghirardi e il titolo è:

→ **Un'occhiata alle carte di Dio**

Con questo viatico, il lettore sarà poi in grado di orientarsi da solo nell'editoria scientifica.