

**SUPERBUR**  
SCIENTIFICA

# STEPHEN HAWKING BUCHI NERI E UNIVERSI NEONATI

RIFLESSIONI SULL'ORIGINE  
E IL FUTURO DEL COSMO



**EM**

**Stephen Hawking**

**Buchi neri e universi neonati  
e altri saggi**

Stephen Hawking, lo scienziato che con il best-seller *Dal big bang ai buchi neri* ha portato all'attenzione del grande pubblico le più aggiornate scoperte della fisica, torna a scrivere della nascita dell'Universo, del suo destino e delle strade esplorate dalla ricerca scientifica per comprenderne l'evoluzione. I saggi raccolti in questo volume costituiscono la summa delle più recenti posizioni di Hawking e, muovendo dai concetti illustrati nell'opera precedente, introducono idee nuove e ipotesi ancora al vaglio della comunità della scienza (come il concetto di *"tempo immaginario"* e *la sua funzione nella vita dell'Universo*), discutono la possibilità che proprio nei buchi neri (e nella loro capacità di dare origine a *"universi neonati"*) stia racchiuso il segreto della nascita del cosmo, e offrono una panoramica degli sforzi della scienza contemporanea per raggiungere il suo obiettivo più ambito: l'elaborazione di un'unica teoria che dia ragione di tutti i fenomeni osservati nell'Universo, dalla vita delle galassie a quella delle particelle subatomiche. Un obiettivo il cui raggiungimento è tutt'altro che scontato e che sta al centro delle riflessioni teoriche di tutti i fisici di oggi. Ma, come sempre, la figura di Stephen Hawking si rivela affascinante, oltre che per le capacità intellettuali, per la sua storia personale. La malattia che lo ha colpito, con le sue gravissime limitazioni fisiche, si è trasformata in uno stimolo alla concentrazione del pensiero. Un pensiero in cui è costante la preoccupazione sul significato ultimo delle scoperte della fisica e sulla necessità di un creatore alle origini dell'Universo. La testimonianza umana di Stephen Hawking accresce l'interesse di questa raccolta di scritti, in cui i concetti più avanzati sono espressi con la chiarezza, la profondità e il senso dell'umorismo cui lo scienziato ha abituato i suoi lettori.

Stephen W. Hawking è nato a Oxford nel 1942. Pur essendo condannato all'immobilità da una grave malattia neurologica, occupa oggi la cattedra lucasiana di matematica a Cambridge (la stessa che fu di Newton). Noto soprattutto per i suoi studi sui buchi neri, è oggi uno fra i cosmologi più autorevoli. *Dal Big Bang ai buchi neri* è stato pubblicato in Italia da Rizzoli nel 1988.

## *PREFAZIONE*

Questo volume contiene una collezione di miei scritti del periodo fra il 1976 e il 1992: scritti di varia natura, da schizzi autobiografici a considerazioni di filosofia della scienza, a tentativi di spiegare l'emozione che mi procurano la scienza e l'universo. Il volume si conclude con la trascrizione di una trasmissione radiofonica, una puntata di Desert Island Discs, a cui ho partecipato. Questo programma è un'istituzione tipicamente britannica: l'ospite, che deve immaginare di essere stato gettato da un naufragio su un'isola deserta, viene invitato a scegliere otto dischi da ascoltare mentre attende, non si sa per quanto tempo, di essere salvato. Per fortuna io non doveti aspettare molto tempo prima di tornare alla civiltà. Essendo stati composti nell'arco di sedici anni, questi scritti riflettono le mie conoscenze al tempo della loro composizione, conoscenze che spero siano cresciute nel corso degli anni. Ho perciò indicato la data e l'occasione in cui ciascuno di essi fu composto. Poiché ogni scritto fu concepito come autosufficiente, ci sono inevitabilmente ripetizioni. Ho cercato di ridurle, ma alcune rimangono. Vari scritti di questo volume erano destinati a essere letti in pubblico ma, poiché il mio eloquio era reso confuso dalla malattia, doveti tenere conferenze e seminari attraverso un'altra persona, di solito un perfezionando mio allievo, che era in grado di capirmi, o che leggeva un testo scritto da me. Nel 1985 subii però un intervento chirurgico che mi privò completamente della voce. Per un po' di tempo rimasi privo di qualsiasi mezzo di comunicazione. Infine fui dotato di un computer portatile e di un sintetizzatore della voce molto buono. Con mia sorpresa trovai che potevo essere un oratore di successo, in grado di parlare a un grande pubblico. Mi piace molto spiegare la scienza e rispondere a domande. Sono sicuro di avere molto da imparare su come farlo meglio, ma spero di progredire. Il lettore potrà giudicare da sé se faccio o no progressi leggendo queste pagine. Io non sono d'accordo con l'opinione che l'universo sia un mistero: qualcosa su cui si possono avere intuizioni ma che non si riuscirà mai ad analizzare o a capire completamente. Penso che quest'opinione non renda giustizia alla rivoluzione scientifica iniziata quasi quattro secoli fa da Galileo e portata avanti da Newton. Essi mostrarono che almeno alcune aree dell'universo non si comportano in modo arbitrario, ma sono governate da leggi matematiche esatte. Da allora noi abbiamo esteso l'opera di Galileo e di Newton a quasi ogni ambito dell'universo. Oggi abbiamo leggi matematiche che governano tutto ciò di cui abbiamo normalmente esperienza. E una misura del nostro successo il fatto che oggi si spendano miliardi di dollari nella costruzione di macchine mastodontiche per accelerare particelle a energie così elevate che non sappiamo ancora che cosa accadrà quando esse entreranno in collisione. Queste particelle non esistono in condizioni normali sulla terra, cosicché può sembrare accademico e inutile spendere grandi somme per studiarle. Esse devono però essere esistite nei primissimi istanti della vita dell'universo, cosicché, se vogliamo capire in che modo noi e l'universo abbiamo avuto inizio, dobbiamo stabilire che cosa accada a tali energie. Ci sono ancora moltissime cose che non sappiamo o non comprendiamo sull'universo, ma i notevoli progressi che abbiamo compiuto, particolarmente negli ultimi cent'anni, dovrebbero incoraggiarci a credere che una comprensione completa possa non essere al di là delle nostre forze. Forse non siamo condannati a brancolare per sempre nel buio e un giorno avremo forse una teoria completa dell'universo. In tal caso saremmo veramente i padroni dell'universo. Gli articoli scientifici contenuti in questo volume furono scritti nella convinzione che l'universo sia governato da un ordine che noi oggi siamo in grado di percepire solo in modo parziale ma che in un futuro non troppo lontano potremmo capire compiutamente. Può

anche darsi che questa speranza sia solo un miraggio, che non esista una teoria definitiva e che, anche qualora esistesse, noi non siamo in grado di trovarla. Senza dubbio, però, è meglio sforzarsi di raggiungere una comprensione completa che disperare della mente umana. Stephen Hawking 31 marzo 1993

## 1 □ LA MIA INFANZIA

Sono nato l'otto gennaio 1942, esattamente trecento anni dopo la morte di Galile'o. Stimo però che quello stesso giorno devono essere nati circa duecentomila altri bambini. Non so se qualcuno di loro abbia in seguito manifestato un qualche interesse per l'astronomia. Nacqui a Oxford, benché i miei genitori abitassero a Londra, perché Oxford era un posto più favorevole in cui nascere durante la seconda guerra mondiale: c'era infatti un accordo per cui i tedeschi non avrebbero bombardato Oxford e Cambridge e gli inglesi avrebbero analogamente risparmiato dalle bombe Heidelberg e Göttingen. È un peccato che un accordo così civile non sia stato esteso anche ad altre città. Mio padre era originario dello Yorkshire. Suo nonno, il mio bisnonno, era stato un agricoltore facoltoso ma aveva comprato troppe fattorie, e durante la crisi agraria dell'inizio del secolo era andato in rovina. I genitori di mio padre si erano ritrovati perciò con scarsi mezzi economici, ma erano riusciti tuttavia a mandarlo a Oxford, dov'egli aveva studiato medicina dedicandosi poi a ricerche nel campo della medicina tropicale. Nel 1935 si recò nell'Africa Orientale. All'inizio della guerra attraversò l'Africa per via di terra per potersi imbarcare per l'Inghilterra, dove si presentò volontario per il servizio militare. Gli fu detto però che sarebbe stato più utile nella ricerca medica. Mia madre era nata a Glasgow, in Scozia, ed era la seconda dei sette figli di un medico. La sua famiglia si trasferì a sud, nel Devon, quando lei aveva dodici anni. Come la famiglia di mio padre, anche la sua non disponeva di grandi mezzi, ma riuscì a mandarla a Oxford. Dopo gli studi fece vari lavori, compreso quello di ispettore del fisco, che però non le piaceva. Si dimise perciò per diventare segretaria e fu così che, nei primi anni di guerra, conobbe mio padre. La nostra prima casa fu a Highgate, a nord di Londra. La più grande delle mie due sorelle, Mary, nacque diciotto mesi dopo di me e mi dicono che non gradì molto il suo arrivo. Per tutta la nostra infanzia ci fu fra noi una certa tensione, alimentata dalla piccola differenza di età. Da adulti, però, questa tensione si è dissolta, dato che abbiamo percorso vie diverse. Mary studiò medicina e divenne medico, cosa che fece molto piacere a mio padre. La mia sorella più piccola, Philippa, nacque quando io avevo quasi cinque anni ed ero in grado di capire ciò che stava accadendo. Ricordo di averne atteso con ansia l'arrivo perché con lei saremmo stati in tre a giocare. Philippa era una bambina molto profonda e intelligente e io rispettai sempre il suo giudizio e le sue opinioni. Il mio fratello minore, Edward, arrivò molto tempo dopo, quando io avevo quattordici anni, cosicché rimase praticamente fuori dalla mia infanzia. Era molto diverso da noi tre, tutt'altro che intellettuale. Per noi fu probabilmente un bene. Era un bambino piuttosto difficile, ma non potevamo fare a meno di amarlo. Il mio primo ricordo riguarda l'asilo di Byron House a Highgate. Intorno a me i bambini giocavano con quelli che sembravano giocattoli meravigliosi. Volevo unirmi a loro, ma avevo solo due anni e mezzo ed era la prima volta che venivo lasciato con persone che non conoscevo. Mi misi a piangere e a strillare con quanto fiato avevo in gola. Penso che i miei genitori siano stati molto sorpresi dalla mia reazione, poiché ero il loro primo figlio ed essi seguivano gli orientamenti dei manuali sulla crescita dei bambini, i quali dicevano che questi dovrebbero cominciare ad avere dei rapporti sociali a due anni. Ma dopo quel terribile mattino mi portarono via e non mi rimandarono a Byron House per un anno e mezzo. A quel tempo, durante e subito dopo la guerra, Highgate era una zona in cui abitavano numerosi scienziati o professori. In un altro paese sarebbero stati chiamati intellettuali, ma gli inglesi non hanno mai ammesso di avere degli intellettuali. Tutti mandavano i loro figli alla scuola di Byron House, che era una scuola molto progressista per quei tempi. □ Ricordo di essermi lagnato con i miei genitori che non

mi insegnavano niente. Non credevano in quello che era allora il metodo pedagogico riconosciuto. I ragazzi dovevano imparare a leggere senza rendersi conto che c'era qualcuno che glielo stava insegnando. Infine imparai a leggere, ma solo all'età relativamente avanzata di otto anni. Mia sorella Philippa, alla quale fu insegnato a leggere con metodi più convenzionali, se la sbrigava decisamente bene già a quattro anni, ma allora essa era decisamente più brillante di me. Vivevamo in una stretta e alta casa vittoriana che i miei genitori avevano comprato molto a buon mercato durante la guerra, quando tutti pensavano che Londra sarebbe stata completamente rasa al suolo dai bombardamenti. In effetti un razzo V2 cadde a pochi isolati di distanza. A quel tempo io ero via con mia madre e mia sorella, ma mio padre era in casa. Per fortuna non fu ferito, e la casa non subì gravi danni. Per anni, però, nella strada rimase il grande cratere della bomba, dove io andavo di solito a giocare col mio amico Howard, che viveva a tre porte di distanza. Howard fu una rivelazione per me, perché i suoi genitori non erano intellettuali come quelli di tutti gli altri bambini che conoscevo. Frequentava la scuola comunale, non Byron House, e sapeva tutto sul calcio e sulla boxe, sport che i miei genitori non si sarebbero mai sognati di seguire. Un altro ricordo è quello di quando ebbi in regalo il mio primo trenino. Durante la guerra non si producevano giocattoli, almeno non per il mercato interno. Io ero però appassionato di trenini. Mio padre cercò di costruirmi un trenino di legno, ma io non ne rimasi soddisfatto perché volevo qualcosa che funzionasse. Mio padre si procurò perciò un trenino meccanico di seconda mano, lo riparò con una saldatrice e me lo regalò per Natale quando avevo quasi tre anni. Il treno non funzionava molto bene, ma subito dopo la guerra mio padre ebbe occasione di andare in America. Quando tornò, sulla Queen Maty, portò a mia madre alcune paia di calze di nailon, che a quel tempo in Inghilterra non si trovavano. A mia sorella Mary portò una bambola che chiudeva gli occhi quando la si coricava. E a me, infine, portò un trenino meccanico americano, completo di cacciapietre e di binario a otto. Ricordo ancora l'eccitazione che provai aprendo la scatola. I trenini meccanici andavano benissimo, ma quello che io desideravo veramente era un trenino elettrico. Passavo ore a osservare il modellino esposto al circolo ferroviario a Crouch End, nei pressi di Highgate. I trenini elettrici li sognavo persino di notte. Infine, una volta in cui entrambi i miei genitori erano partiti per non so dove, colsi l'opportunità per ritirare dall'ufficio postale la quantità di denaro - per la verità molto modesta - che mi era stata regalata in alcune speciali occasioni, come il mio battesimo. Usai il denaro per comprarmi un trenino elettrico, che però - cosa alquanto frustrante per me - non funzionava molto bene. Oggi siamo ben informati sui diritti dei consumatori. Avrei dovuto riportare indietro il trenino e farmelo cambiare dal negoziante o dal produttore, ma a quei tempi si tendeva - a pensare che fosse già un privilegio comprare qualcosa, e che se la cosa comprata non funzionava si era stati sfortunati. Pagai perciò per far riparare il motore elettrico della locomotiva, ma non funzionò mai molto bene. In seguito, da ragazzo, costruii modellini di aerei e di navi. Non sono mai stato molto abile nei lavori manuali, ma costruii quei modelli assieme al mio compagno di scuola John McClenahan, che era molto più bravo di me, e il cui padre aveva un'officina a casa. Il mio intendimento fu sempre quello di costruire modellini funzionanti che fossi in grado di controllare. Non mi preoccupavo del loro aspetto. Penso sia stato lo stesso impulso a farmi inventare una serie di giochi molto complessi assieme a un altro compagno di scuola, Roger Ferneyhough. Fra questi giochi ne ricordo uno della produzione industriale, completo di stabilimenti in cui si producevano pezzi di colori diversi, di strade e ferrovie su cui tali unità venivano trasportate, e di una Borsa. C'erano inoltre un gioco di guerra, praticato su una scacchiera di 4000 caselle, e addirittura un gioco feudale, in cui ogni

giocatore impersonava un'intera dinastia, con un albero genealogico. Penso che questi giochi, come pure i trenini, le navi e gli aerei, siano venuti da un grande desiderio di sapere come funzionassero le cose, e di controllarle. Da quando cominciai a lavorare per il mio dottorato, questo desiderio di sapere è stato soddisfatto dalle mie ricerche in cosmologia. Se capisci come funziona l'universo, in un certo senso lo controlli. Nel 1950 il posto di lavoro di mio padre fu trasferito da Hampstead, nei pressi di Highgate, al National Institute for Medical Research, che era stato costruito recentemente a Mill Hill, al margine settentrionale di Londra. Anziché recarsi a Mill Hill partendo da Highgate e viaggiando verso l'esterno, sembrava più ragionevole trasferirsi fuori Londra e viaggiare verso Londra per andare a lavorare. I miei genitori comprarono perciò una casa nella cittadina di St. Albans, sede di una diocesi, una quindicina di chilometri a nord di Mill Hill e 32 chilometri a nord di Londra. Era una grande casa vittoriana, che aveva una sua eleganza e una sua fisionomia. I miei genitori non erano in condizioni economiche molto floride quando la comprarono, e c'era una quantità di lavori da fare prima che potessimo trasferirci nella nuova casa. Mio padre, che era un vero uomo dello Yorkshire, si rifiutò di pagare qualcuno per far rimettere in ordine la casa. Fece invece del suo meglio per riparare personalmente i guasti e per dipingere le pareti e gli infissi, ma la casa era molto grande e lui non era molto bravo in questo genere di cose. La casa, tuttavia, era molto solida e resistette a questa trascuratezza. I miei genitori la vendettero nel 1985, quando mio padre era molto malato (morì nel 1986). Io l'ho rivista recentemente. Non sembrava che fosse stata sottoposta ad altri lavori, ma aveva lo stesso aspetto di allora. La casa era stata progettata per una famiglia con domestici, e nella dispensa c'era un quadro indicatore che mostrava in quale stanza era stato suonato il campanello. Ovviamente noi non avevamo domestici, ma la mia prima camera da letto fu una cameretta in forma di L che doveva essere stata la camera di una domestica. Chiesi che fosse assegnata a me su suggerimento di mia cugina Sarah, che era di poco maggiore di me e che io ammiravo molto. Sarah mi disse che in quella camera avremmo potuto divertirci molto. Una delle maggiori attrazioni della camera era la possibilità di uscire dalla finestra e di calarci a terra passando sul tetto della rimessa delle biciclette. Sarah era figlia della sorella maggiore di mia madre, mia zia Janet, che aveva studiato medicina e aveva sposato uno psicoanalista. Vivevano in una casa simile alla nostra a Harpenden, un paesino otto chilometri più a nord. Fu quella una delle ragioni per cui ci trasferimmo a St. Albans. Per me era molto bello abitare vicino a Sarah, e molto spesso mi recavo a Harpenden in autobus. La cittadina di St. Albans si trova in prossimità dei resti dell'antico municipium romano di Verulamium, che fu il maggiore insediamento romano in Gran Bretagna dopo Londra. Nel Medioevo vi si trovava il monastero più ricco in Gran Bretagna. Esso era stato costruito in prossimità dell'arca di sant'Albano, un centurione romano decapitato per la sua fede che sarebbe stato il primo martire cristiano in Gran Bretagna. Tutto ciò che restava dell'abbazia era una chiesa, di grandi proporzioni ma piuttosto brutta, e l'edificio dell'ingresso della vecchia abbazia, che faceva ora parte della scuola di St. Albans di cui sarei stato in seguito alunno. St. Albans era un luogo un po' convenzionale e conservatore rispetto a Highgate o a Harpenden. I miei genitori non vi si fecero nuovi amici. In parte era colpa loro, poiché erano inclini alla solitudine, in modo particolare mio padre, ma in parte dipese anche dal fatto che la gente che vi abitava era molto diversa da loro: certamente nessuno dei genitori dei miei compagni di scuola a St. Albans potrebbe essere descritto come un intellettuale. A Highgate la nostra famiglia era parsa abbastanza normale, ma penso che a St. Albans fossimo considerati decisamente eccentrici. Questo giudizio doveva essere rafforzato dal comportamento di mio padre, che non si curava delle apparenze se ciò gli



permetteva di risparmiare denaro. La sua famiglia d'origine era stata molto povera, cosa che aveva lasciato su di lui un'impronta indelebile. Non riusciva a concepire di spendere denaro per vivere più comodamente anche quando, negli ultimi anni, avrebbe potuto permetterselo. Così si rifiutò di far installare il riscaldamento centrale in casa, anche se soffriva molto il freddo. Piuttosto metteva vari maglioni e una veste da camera sui vestiti normali. Era però molto generoso con gli altri. Negli anni cinquanta, pensando di non potersi permettere un'automobile nuova, comprò un taxi londinese di prima della guerra, e io e lui costruimmo una rimessa prefabbricata con cemento e lamiera ondulata. I vicini furono molto irritati ma non poterono farci niente. Come la maggior parte dei ragazzi, sentivo un forte desiderio di essere come gli altri, e il comportamento dei miei genitori mi metteva in imbarazzo. Questo fatto, però, non li preoccupò mai. Quando arrivammo a St. Albans, fui mandato alla High School for Girls, che nonostante il nome accettava anche ragazzi fino all'età di dieci anni. Dopo il primo trimestre, però, mio padre fece una delle sue visite quasi annuali in Africa, questa volta per un periodo piuttosto lungo, di circa quattro mesi. Mia madre non se la sentì di rimanere a St. Albans da sola con noi per tutto quel tempo, cosicché partimmo tutti quanti, mia madre, le mie due sorelle e io, per Deja, un paesino nell'isola spagnola di Maiorca, dove viveva la sua amica di scuola Beryl, che aveva sposato il poeta Robert Graves. Erano trascorsi solo cinque anni dalla fine della guerra, e in Spagna era al potere il dittatore Francisco Franco, che era stato alleato di Hitler e di Mussolini. (Sarebbe rimasto al potere per altri due decenni.) Ciò nonostante mia madre, che prima della guerra aveva fatto parte della Young Communist League, si recò a Maiorca per nave e per treno con tre figli piccoli. Prendemmo una casa in affitto a Deja, dove passammo un periodo meraviglioso. Condivisi un precettore col figlio di Robert, William. Questo precettore era un protetto di Robert, ed era più interessato a scrivere un dramma per il festival di Edimburgo che a insegnare a noi. Ci diede perciò da leggere ogni giorno un capitolo della Bibbia, sul quale dovevamo poi scrivere un dramma. L'idea era quella di insegnarci la bellezza della lingua inglese. Prima di tornare in Inghilterra lessi tutta la Genesi e parte dell'Esodo. Una delle cose principali che imparai da questa esperienza fu quella di non cominciare mai una frase con "And (E)". Feci notare al precettore che la maggior parte delle frasi della Bibbia cominciavano con And, ma egli mi rispose che l'inglese era cambiato dal tempo di re Giacomo. Allora, insistetti, perché farci leggere la Bibbia? Ma fu tutto vano. A quel tempo Robert Graves era molto ferrato sul simbolismo e sul misticismo della Bibbia. Quando tornammo a casa da Maiorca, fui mandato per un anno in un'altra scuola, dopo di che dovetti affrontare l'esame di ammissione alla scuola media. Era una prova di valutazione dell'intelligenza, che doveva essere affrontata da tutti coloro che volevano iscriversi alle scuole medie statali. Oggi è stato abolito, soprattutto perché parecchi ragazzi della classe media non lo superavano e venivano avviati a scuole professionali. Io tendevo però a fare molto meglio agli esami che a scuola, cosicché superai l'esame di ammissione e potei iscrivermi alla scuola media di St. Albans. Quando ebbi tredici anni, mio padre volle che tentassi di entrare alla Westminster School, una delle principali public schools, ossia scuole private, contrariamente a quanto potrebbe lasciar intendere il nome. A quel tempo nell'istruzione c'era una netta divisione classista. Mio padre pensava di essere stato scavalcato nella sua carriera - a causa della sua insicurezza e della sua mancanza di appoggi - da persone meno brave di lui ma più a loro agio nei rapporti sociali. Al tempo dell'esame, però, io ero malato e non lo feci, cosicché rimasi alla scuola di St. Albans. Vi ricevetti un'istruzione che era almeno altrettanto buona di quella che avrei avuto a Westminster, se non addirittura migliore. Non ho mai trovato che la mia mancanza di buone maniere in società mi abbia in

qualche modo ostacolato. A quel tempo l'istruzione inglese era gerarchica. Non solo le scuole erano divise in scuole accademiche (classiche) e non accademiche, ma le scuole accademiche erano a loro volta divise in classi A, B e C, divise secondo il rendimento. La cosa funzionava bene per coloro che erano nelle classi A, meno bene per quelli che erano nelle classi B, e decisamente male per quelli che erano nelle classi C, che venivano scoraggiati. Sulla base dei risultati dell'esame di ammissione io fui assegnato alla sezione A, ma dopo il primo anno tutti coloro che si classificavano sotto il ventesimo posto nella classe venivano retrocessi nella sezione B. Era un colpo terribile alla loro fiducia in se stessi, da cui qualcuno non si riprese mai più. Nei primi due trimestri io mi classificai ventiquattresimo e ventitreesimo, ma nel terzo mi piazzai al diciottesimo posto. Così mi sottrassi di misura a quell'onta. Non riuscii mai a salire oltre la metà circa della classe. (Era una classe molto brillante.) I miei compiti in classe erano alquanto disordinati e la mia calligrafia riduceva i miei insegnanti alla disperazione. I miei compagni di classe mi soprannominarono però "*Einstein*", forse vedendo in me i segni di qualcosa di meglio. Quando avevo dodici anni, un mio amico scommise con un altro un sacchetto di caramelle che non avrei mai combinato qualcosa di buono. Non so se uno dei due abbia mai pagato la scommessa, ed eventualmente chi. Avevo sei o sette amici stretti, con la maggior parte dei quali sono ancora in contatto. Facevamo lunghe discussioni e dispute su qualsiasi argomento, dai modellini telecomandati alla religione, alla parapsicologia e alla fisica. Una delle cose di cui parlavamo era l'origine dell'universo, e se ci fosse stato bisogno di un Dio per crearlo e per metterlo in movimento. Avevo sentito dire che la luce proveniente da galassie lontane è spostata verso l'estremo rosso dello spettro e che questo fatto dovrebbe indicare che l'universo è in espansione. (Uno spostamento verso l'azzurro significherebbe che esso è in contrazione.) Io, però, ero sicuro che dovesse esserci qualche altra ragione per lo spostamento verso il rosso. Forse nel suo viaggio verso di noi la luce si affaticava, e quindi si spostava verso il rosso. Sembrava molto più naturale un universo essenzialmente immutabile ed eterno. Solo dopo due anni di ricerche per il dottorato mi resi conto di essere in errore. Negli ultimi due anni alle scuole secondarie mi venne il desiderio di specializzarmi in matematica e in fisica. C'era un professore di matematica affascinante, il signor Talita, e la scuola aveva appena fatto costruire una nuova aula di matematica, che veniva usata per i corsi. Mio padre era però molto contrario alla mia scelta, pensando che non ci fossero posti di lavoro per i matematici, tranne che come insegnanti. In realtà gli sarebbe piaciuto che facessi medicina, ma io non avevo alcun interesse per la biologia, che mi sembrava troppo descrittiva e non abbastanza fondamentale. Inoltre avevo voti piuttosto bassi a scuola. I ragazzi più brillanti facevano matematica e fisica; quelli meno brillanti biologia. Mio padre sapeva che non volevo fare biologia, ma mi fece fare chimica, e solo poca matematica. Pensava che questa preparazione mi avrebbe lasciato una piena libertà di scelta. Oggi sono professore di matematica, ma non ho avuto alcuna istruzione formale in matematica da quando ho lasciato la scuola di St. Albans, a diciassette anni. Ho dovuto formarmi la preparazione matematica che ho, raccogliendo elementi sparsi strada facendo. Sovrintendevo al lavoro degli studenti dei primi anni (undeegraduates) a Cambridge, mantenendo una settimana di vantaggio su di loro. Mio padre era impegnato in ricerche sulle malattie tropicali, ed era solito portarmi con sé nel suo laboratorio a Mill Hill. A me piaceva molto, specialmente se potevo fare osservazioni al microscopio. Mi conduceva anche nella insect house, dove teneva zanzare infettate con malattie tropicali. La cosa mi preoccupava perché avevo sempre l'impressione che ci fosse qualche zanzara che volasse in giro liberamente. Mio padre lavorava con impegno e dedizione alle sue ricerche.

Aveva la tendenza a litigare spesso, perché pensava che altri non fossero bravi come lui e che lo avessero sopravanzato perché appartenevano all'ambiente giusto e avevano conoscenze importanti. Era solito mettermi in guardia contro tali persone. Io penso però che la fisica sia un po' diversa dalla medicina. Non importa in quali scuole si sia studiato o se si abbiano conoscenze altolocate, ma che cosa si fa. Sono sempre stato interessato al funzionamento delle cose ed ero solito smontarle per capirne il meccanismo, ma non ero altrettanto bravo a rimontarle. Le mie abilità pratiche non sono mai state all'altezza delle mie curiosità teoriche. Mio padre incoraggiò il mio interesse per la scienza, dandomi addirittura lezioni di matematica, finché non raggiunsi un livello superiore alle sue conoscenze. Data questa formazione, e il lavoro di mio padre, considerai naturale dedicarmi alla ricerca scientifica. All'inizio non facevo differenza fra una scienza e l'altra, ma dall'età di tredici o quattordici anni concepii il desiderio di dedicarmi alla fisica, perché era la scienza più fondamentale, nonostante io la considerassi la materia più noiosa a scuola essendo così facile e ovvia. La chimica era molto più divertente perché in essa accadevano continuamente cose inattese, come delle esplosioni. Ma la fisica, e l'astronomia, offrivano la speranza di capire da dove veniamo e perché esistiamo. Volevo sondare le profondità remote dell'universo. Forse ci sono riuscito in piccola parte, ma ci sono ancora moltissime cose che desidero sapere.

Mio padre aveva un grande desiderio che io andassi a Oxford o a Cambridge. Avendo studiato all'University College a Oxford, pensava che io dovessi fare domanda lì perché avrei avuto maggiori probabilità di entrare. A quel tempo l'University College non aveva un fellow di matematica, e questa era un'altra ragione per cui egli desiderava che facessi chimica; potevo tentare per una borsa di studio in scienze naturali anziché in matematica. Il resto della mia famiglia andò in India per un anno, ma io dovetti rimanere a casa per preparare gli esami di idoneità e iscrivermi all'Università. Il mio preside pensava che fossi troppo giovane per tentare a Oxford, ma nel marzo 1959 andai a fare l'esame per una borsa di studio assieme a due ragazzi dell'anno superiore al mio. Ero convinto di aver fatto male ed ero molto depresso quando, durante l'esame pratico, alcuni docenti dell'Università vennero a chiacchierare con altre persone ma non con me. Poi, qualche giorno dopo aver fatto ritorno da Oxford, un telegramma mi informò che mi era stata concessa una borsa di studio. Avevo diciassette anni, e la maggior parte degli altri studenti del mio anno di corso avevano già fatto il servizio militare e avevano vari anni più di me. Nel mio primo anno a Oxford e in parte del secondo mi sentii piuttosto solo. Solo nel terzo anno cominciai a sentirmi veramente a mio agio. L'atteggiamento prevalente a Oxford a quel tempo era contro l'impegno nello studio. Era opinione comune che si dovesse essere brillanti senza sforzo, oppure si dovevano accettare i propri limiti, accontentandosi di un diploma di quarta classe. Sgobbare per ottenere un diploma di una classe migliore era considerato indizio di una persona "grigia" (grey), l'epiteto peggiore nel vocabolario di Oxford. A quel tempo il corso di fisica a Oxford era organizzato in modo tale che era particolarmente facile evitare di impegnarsi nello studio. Io sostenni un esame prima di iscrivermi all'Università, dopo di che ebbi tre anni di frequenza a Oxford con solo gli esami finali. Una volta calcolai che, nei tre anni trascorsi a Oxford, studiai un migliaio di ore circa, con una media di un'ora al giorno. Non è che sia fiero di quella mia negligenza: sto solo descrivendo quale fosse a quel tempo il mio atteggiamento, che dividevo del resto con la maggior parte dei miei compagni di studi: un atteggiamento di noia completa, e la sensazione che non ci fosse nulla per cui valesse la pena di sforzarsi. Una conseguenza della malattia che mi colpì fu quella di modificare radicalmente tale atteggiamento: quando ci si trova dinanzi alla prospettiva di morire molto presto, ci si rende conto che la vita merita di essere vissuta e che ci sono molte cose che si ha voglia di fare. Non avendo studiato molto, pensavo di superare l'esame finale affrontando problemi di fisica teorica ed evitando questioni che richiedessero conoscenze concrete. La notte prima dell'esame, però, non dormii a causa della tensione nervosa, cosicché non feci molto bene. Ero al limite fra la valutazione di prima e quella di seconda classe, cosicché gli esaminatori mi fecero delle domande per stabilire quale classe assegnarmi. Nel colloquio mi chiesero quali fossero i miei piani per il futuro. Risposi che volevo dedicarmi alla ricerca. Se mi avessero dato un diploma di prima classe sarei andato a Cambridge, mentre se avessi avuto solo una seconda sarei rimasto a Oxford. Mi diedero una prima. Pensavo che ci fossero due aree possibili della fisica teorica che erano fondamentali e in cui potevo fare ricerca. Una era la cosmologia, lo studio dell'universo alla sua scala più grande; l'altra erano le particelle elementari, all'altro estremo della scala delle grandezze. Pensavo però che le particelle elementari fossero meno attraenti perché, benché gli scienziati stessero trovando grandi quantità di particelle nuove, a quel tempo non c'era una teoria appropriata. Tutto ciò che si poteva fare, quindi, era di organizzare le particelle in famiglie: un lavoro da botanici. In cosmologia, invece, c'era una teoria

ben definita: la teoria generale della relatività di Einstein. A quel tempo a Oxford non c'era nessuno che si occupasse di cosmologia, ma a Cambridge c'era Fred Hoyle, il più illustre astronomo britannico del tempo. Chiesi perciò di poter lavorare per il dottorato con lui. La mia domanda di poter fare ricerca a Cambridge fu accettata, purché avessi avuto un diploma di prima classe, ma con mio disappunto mi fu affidato come supervisore non Hoyle bensì un tale di nome Denis Sciama, che non avevo mai sentito nominare. Alla fine, però, questo cambiamento risultò provvidenziale: Hoyle trascorreva infatti parecchio tempo all'estero, e probabilmente non avrei potuto vederlo molto. Sciama era invece sempre presente, e fu sempre stimolante anche se spesso non ero d'accordo con le sue idee. Poiché a St. Albans e a Oxford non avevo fatto molta matematica, in principio trovai la relatività generale molto difficile e non riuscii a fare grandi progressi. Inoltre, durante il mio ultimo anno a Oxford mi accorsi che stavo diventando sempre più impacciato nei movimenti. Poco tempo dopo il mio arrivo a Cambridge mi fu diagnosticata la sclerosi laterale amiotrofica o malattia dei motoneuroni, com'è nota in Inghilterra. (Negli Stati Uniti è chiamata anche malattia di Lou Gehrig.) I medici non furono in grado di trovare una terapia né di assicurarmi che le mie condizioni non sarebbero peggiorate. Dapprima la malattia parve progredire piuttosto rapidamente. Non sembrava che avesse molto senso lavorare alla mia ricerca, dato che non mi aspettavo di vivere abbastanza per terminare la tesi di dottorato. Con il passare del tempo, però, la malattia parve rallentare il suo corso. Io cominciai anche a capire la relatività generale e a fare progressi nel mio lavoro, ma la cosa veramente importante fu che mi fidanzai con una ragazza di nome Jane Wilde, che avevo conosciuto al tempo in cui mi era stata diagnosticata la malattia. Questo fatto mi diede motivo per vivere. Per sposarmi dovevo trovare un lavoro, e per trovare un lavoro dovevo finire la mia tesi di dottorato. Perciò, per la prima volta nella mia vita, cominciai a lavorare e, con mia sorpresa, trovai che mi piaceva. Forse non è giusto parlare di "lavoro". Qualcuno una volta disse: scienziati e prostitute vengono pagati per fare quel che piace loro. Chiesi una borsa di studio di ricerca al Gonville and Caius College. Speravo che Jane mi battesse a macchina la domanda, ma quando venne a farmi visita a Cambridge aveva un braccio ingessato. Devo ammettere che fui con lei meno comprensivo di quanto avrei dovuto. Però il braccio rotto era il sinistro, cosicché poté scrivere a mano la domanda sotto mia dettatura, e io poi me la feci battere a macchina da qualcun altro. Nella mia domanda dovevo nominare due persone che potessero fornire referenze sul mio lavoro. Il mio supervisore mi suggerì che uno dei due poteva essere Hermann Bondi e mi disse di chiedergli l'autorizzazione a fare il suo nome. Bondi era allora professore di matematica al King's College di Londra ed era un esperto della relatività generale. Lo avevo incontrato un paio di volte, ed egli aveva presentato un mio articolo per la pubblicazione nei "Proceedings of the Royal Society". Dopo una conferenza da lui tenuta a Cambridge gli chiesi se fosse disposto a fornire referenze sul mio lavoro per la mia richiesta di una borsa di studio di ricerca; egli mi guardò in modo piuttosto vago e mi disse di sì. Era chiaro che non si ricordava di me, poiché quando il College gli scrisse per avere il suo giudizio rispose che non sapeva chi fossi. Oggi il numero dei candidati a borse di studio di ricerca è così grande che, se uno dei referees del candidato (gli accademici che si fanno garanti delle sue capacità scientifiche) dicesse di non conoscerlo, il candidato potrebbe rinunciare a qualsiasi speranza. Quelli, però, erano tempi molto più tranquilli. Il College mi scrisse per informarmi dell'imbarazzante risposta del mio referee, e il mio supervisore andò da Bondi e gli rinfrescò la memoria. Bondi mi scrisse allora un giudizio che era probabilmente molto migliore di quanto meritassi. Io ebbi una borsa di studio e da allora sono sempre stato un fellow del Caius

College. Grazie alla borsa di studio, Jane e io potevamo sposarci, cosa che avvenne nel luglio 1965. Trascorremmo una settimana in luna di miele nel Suffolk, che era tutto ciò che potevo permettermi. Andammo poi a una scuola estiva sulla relatività generale alla Cornell University, nella parte interna dello Stato di New York. Fu un errore. Fummo alloggiati in una casa dello studente zeppa di coppie con bambini piccoli rumorosi, che sottoposero il nostro matrimonio a una certa tensione. Sotto altri aspetti, invece, la scuola estiva mi fu assai utile perché vi conobbi molti fra gli specialisti più importanti nel settore. Fino al 1970 le mie ricerche furono limitate alla cosmologia, lo studio dell'universo su grande scala. La mia ricerca più importante di questo periodo fu sulle singolarità. Le osservazioni di galassie lontane indicano che esse stanno allontanandosi da noi: l'universo è in espansione. Ciò implica che in passato le galassie debbano essere state più vicine fra loro di quanto non siano oggi. Si pone allora la domanda: ci fu un tempo in passato in cui tutte le galassie erano accalate l'una sull'altra e in cui la densità dell'universo era infinita? O ci fu una fase anteriore di collasso dell'universo, in cui le galassie riuscirono a evitare di entrare in collisione fra loro? Può darsi che, anziché colpirsi, esse siano passate l'una accanto all'altra in direzioni diverse cominciando poi ad allontanarsi reciprocamente. Per rispondere a questa domanda si richiedevano nuove tecniche matematiche. Queste furono sviluppate fra il 1965 e il 1970, principalmente da Roger Penrose e da me stesso. Penrose era allora al Birkbeck College a Londra; ora è a Oxford. Noi usammo queste tecniche per mostrare che, se la teoria della relatività generale era corretta, in passato doveva essersi verificato uno stato di densità infinita. Tale stato di densità infinita è noto come la singolarità del big bang. Esso significava che la scienza non era in grado di dire in che modo avesse avuto inizio l'universo, se la relatività generale è corretta. Mie ricerche più recenti indicano però che, se si prende in considerazione la teoria della fisica quantistica - la quale si occupa dell'altro estremo della scala delle grandezze - è possibile stabilire come abbia avuto inizio l'universo. La relatività generale predice anche che le stelle di grande massa, quando avranno esaurito il loro combustibile nucleare, collasseranno su se stesse. Le ricerche compiute da Penrose e da me mostravano che queste stelle avrebbero continuato a collassare fino a raggiungere una singolarità di densità infinita. Questa singolarità sarebbe stata una fine del tempo, almeno per la stella e per tutto ciò che si trovasse su di essa. Il campo gravitazionale della singolarità sarebbe così intenso che la luce non riuscirebbe a sfuggire dalla regione circostante, ma sarebbe trascinata indietro dal campo gravitazionale. La regione da cui nulla può sfuggire viene chiamata buco nero e il suo confine è l'orizzonte degli eventi. Qualunque cosa, o chiunque, dovesse superare l'orizzonte degli eventi e cadere in un buco nero verrebbe a trovarsi alla fine del tempo nella singolarità. Una sera del 1970, poco tempo dopo la nascita di mia figlia Lucy, mentre stavo coricandomi mi accadde di pensare ai buchi neri. D'improvviso mi resi conto che molte delle tecniche sviluppate da Penrose e da me in relazione alle singolarità potevano essere applicate ai buchi neri. In particolare, l'area dell'orizzonte degli eventi, il confine del buco nero, non poteva diminuire col tempo. E quando due buchi neri fossero entrati in collisione fra loro, e si fossero uniti a formare un singolo buco nero, l'area dell'orizzonte degli eventi del buco nero finale sarebbe stata maggiore della somma delle aree degli orizzonti dei buchi neri originari. Questo fatto poneva un limite importante alla quantità di energia che poteva essere emessa nel corso di una collisione. Ero così eccitato che quella notte non dormii molto. Dal 1970 al 1974 lavorai principalmente sui buchi neri, ma nel 1974 feci forse la mia scoperta più importante: i buchi neri non sono completamente neri! Se si prende in considerazione il comportamento su piccola scala della materia, da un buco nero possono evadere particelle e

radiazione. Il buco nero emette radiazione come se fosse un corpo caldissimo. Dal 1974 in poi ho lavorato a combinare relatività generale e meccanica quantistica in una teoria coerente. Un risultato di queste ricerche è stata una proposta da me fatta nel 1983 assieme a Jim Hartle, dell'Università della California a Santa Barbara: che tanto il tempo quanto lo spazio siano finiti ma non abbiano un confine o un bordo. Lo spazio-tempo sarebbe simile alla superficie della Terra, ma con due dimensioni in più. La superficie della Terra ha un'area finita ma non ha alcun confine. In tutti i miei viaggi non sono mai riuscito a cadere dal bordo del mondo. Se questa proposta è corretta, non esisterebbero singolarità, e le leggi della scienza sarebbero valide sempre e dovunque, compresi i primissimi istanti dell'esistenza dell'universo. Il modo in cui l'universo ha avuto inizio sarebbe determinato dalle leggi della scienza. Io avrei avuto successo nella mia ambizione di scoprire come ha avuto inizio l'universo. Ma non so ancora perché abbia avuto inizio.

### 3 □ *LA MIA ESPERIENZA DELLA MALATTIA*

*Conferenza tenuta al congresso della British Motor Neuron Disease Association a Birmingham nell'ottobre 1987.*

Mi capita spesso di sentirmi domandare: come ci si sente ad avere la sclerosi laterale amiotrofica? La risposta è: non molto bene. Io cerco di condurre una vita il più possibile normale e di non pensare alla mia condizione, o di non rimpiangere le cose che essa non mi permette di fare, che non sono poi così tante. Per me fu un trauma molto grave quando seppi di avere la malattia dei motoneuroni. Da bambino non ho mai avuto una grande coordinazione motoria. Non ero bravo nei giochi con la palla, e forse fu proprio questa la ragione della mia mancanza di interesse per lo sport o per le attività fisiche. Le cose parvero però cambiare quando andai a Oxford. Cominciai a fare il timoniere nel canottaggio. Non ero certamente a un livello di gare ufficiali, ma me la cavavo a quello delle gare fra college. Nel mio terzo anno a Oxford, però, notai che mi sembrava di diventare più impacciato nei movimenti, e un paio di volte caddi senza alcuna ragione apparente. Solo dopo il mio passaggio a Cambridge, l'anno seguente, mia madre se ne accorse e mi condusse dal medico di famiglia. Egli mi mandò da uno specialista e, poco dopo il mio ventunesimo compleanno, mi ricoverarono in ospedale per esami. Vi rimasi un paio di settimane, durante le quali fui sottoposto a una grande varietà di analisi. Mi prelevarono un campione di muscolo da un braccio, mi applicarono elettrodi, mi iniettarono nella spina dorsale un liquido radio-opaco e lo osservarono ai raggi X andare su e giù mentre inclinavano variamente il letto. Alla fine non mi dissero che cosa avevo, tranne che non era una sclerosi multipla, e che ero un caso atipico. Mi resi conto però che si attendevano che continuassi a peggiorare, e che non potevano fare altro che somministrarmi vitamine. Era chiaro anche che non si aspettavano che le vitamine potessero fare granché. Non mi sentii di domandare altri particolari, essendo già chiaro che erano decisamente sfavorevoli. La consapevolezza di avere una malattia incurabile che mi avrebbe probabilmente ucciso in pochi anni fu per me un trauma. Com'era possibile che una cosa del genere fosse accaduta proprio a me? Perché dovevo essere stroncato in quel modo? Mentre ero in ospedale, però, avevo visto un ragazzo che conoscevo vagamente morire di leucemia nel letto di fronte al mio. Non era stato certamente un bello spettacolo. Era chiaro che c'erano persone che stavano peggio di me. Almeno, la mia condizione non mi faceva soffrire fisicamente. Ogni volta che sono incline a commiserarmi mi viene in mente quel ragazzo. Non sapendo che cosa mi sarebbe accaduto, o quanto rapidamente avrebbe progredito la malattia, non stavo facendo nulla. I medici mi dissero di tornare a Cambridge e di proseguire la ricerca che avevo appena iniziato sulla relatività generale e la cosmologia. Io, però, non stavo facendo molti progressi perché non avevo una grande preparazione matematica, e in ogni caso non sarei vissuto abbastanza per terminare la mia tesi di dottorato. Mi vedevo come un personaggio da tragedia. Cominciai ad ascoltare Wagner, mentre è un'esagerazione, che mi fossi dato al bere (come si è letto su certe riviste). Il guaio è che, una volta pubblicato un articolo che lo affermava, tutti gli altri ripresero questa presunta notizia perché permetteva di montare una storia, a effetto. E poi, una notizia pubblicata un così gran numero di volte non poteva non essere vera. A quel tempo facevo molti brutti sogni. Prima che mi fosse diagnosticata la malattia ero piuttosto annoiato della vita. Mi sembrava che non ci fosse niente che valesse la pena di fare. Poco dopo essere uscito dall'ospedale, però, sognai che stavo per essere giustiziato. D'improvviso mi resi conto che c'era una quantità di



cose importanti che avrei potuto fare se la mia condanna fosse stata sospesa. Un altro sogno che feci varie volte fu quello che sacrificavo la mia vita per salvare altri. Dopo tutto, se dovevo morire comunque, la mia vicenda poteva avere anche qualche aspetto positivo. Ma non morii. Anzi, benché una grossa nube nera incombesse sul mio futuro, trovai, non senza stupirmi, che stavo apprezzando la vita più di prima. Cominciai a fare progressi nella mia ricerca, mi fidanzai e mi sposai e ottenni una borsa di studio di ricerca al Caius College di Cambridge. La borsa di studio al Caius risolse il mio problema immediato dell'impiego. Fu una fortuna che avessi scelto di lavorare in fisica teorica perché questa era una delle poche aree in cui la mia condizione non mi avrebbe gravemente svantaggiato. E fu una fortuna che la mia reputazione scientifica crescesse al peggiorare della mia invalidità. Fu perciò che mi furono offerte successivamente varie posizioni nelle quali dovevo fare ricerca ma senza l'impegno di fare lezioni. Fummo fortunati anche nella ricerca della casa. Quando ci sposammo, Jane studiava ancora al Westfield College di Londra, cosicché durante la settimana doveva andare a Londra. Ciò significava che dovevamo trovare un alloggio in cui io potessi cavarmela da me, e che si trovasse nel centro di Cambridge perché io non potevo camminare molto. Chiesi al College se potevano essermi d'aiuto, ma l'economista di allora mi rispose che non rientrava nella politica del college aiutare i borsisti con la concessione di alloggi. Ci mettemmo quindi in lista per affittare uno dei nuovi appartamenti in costruzione sulla piazza del mercato. (Vari anni dopo scoprii che quegli appartamenti erano di proprietà del College, ma non me lo dissero.) Quando però tornammo a Cambridge dopo essere stati alla scuola estiva in America, trovammo che gli appartamenti non erano ancora pronti. Come grande concessione, l'economista del college ci offrì una camera in un ostello per perfezionandi. Mi disse: *“Normalmente per questa camera addebitiamo dodici scellini e sei penny a notte, ma poiché vi abiterete in due vi addebiteremo venticinque scellini”*. Vi rimanemmo solo per tre notti. Poi trovammo una casetta a un centinaio di metri dal mio dipartimento universitario. La casa apparteneva a un altro college, che l'aveva data in affitto a uno dei suoi borsisti. Poco tempo prima egli si era però trasferito in una casa in periferia, e subaffittò a noi la sua casa per i tre mesi di contratto che gli restavano. Nel corso di quei tre mesi scoprimmo che nella stessa strada c'era un'altra casa costantemente vuota. Un vicino si mise in contatto con la proprietaria nel Dorset e le disse che era uno scandalo che la sua casa fosse vuota quando c'erano giovani che cercavano una sistemazione, cosicché essa la affittò a noi. □ Dopo esservi vissuti per qualche anno volevamo comprarla e rimetterla in ordine, cosicché ci rivolgemmo al mio college per un'ipoteca. Il College fece fare una perizia e decise che non era un rischio accettabile; finimmo così per contrarre un'ipoteca con una società immobiliare e i miei genitori ci diedero il denaro necessario. Vivemmo nella casa per altri quattro anni, fino a quando divenne troppo difficile per me fare le scale. A quest'epoca il college mi apprezzava un po' di più, e inoltre era cambiato l'economista. Questa volta mi fu offerto un appartamento a pianterreno in una casa di proprietà del college. La nuova casa andava molto bene per me perché aveva stanze spaziose e porte larghe. Era abbastanza centrale da permettermi di recarmi al mio dipartimento universitario o al College con la mia sedia a rotelle elettrica. La casa andava molto bene anche per i nostri tre figli, essendo circondata da un giardino che veniva curato dai giardinieri del College. Fino al 1974 fui in grado di nutrirmi da me e di coricarmi e alzarmi da solo. Jane riusciva ad aiutarmi e a curarsi dei due figli senza aiuti esterni. In seguito, però, la situazione peggiorò, cosicché dovemmo prenderci in casa uno dei miei studenti ricercatori. In cambio dell'alloggio, e di molta attenzione per i suoi studi da parte mia, questi studenti mi aiutavano a coricarmi e ad alzarmi dal letto. Nel 1980 passammo a un sistema

di infermiere, di enti pubblici e private, che venivano per un'ora o due la mattina e la sera. Le cose andarono avanti così fino al 1985, quando fui colpito da una polmonite. Dovetti allora essere sottoposto a una tracheotomia, e da allora ho bisogno delle cure di un'infermiera ventiquattr'ore al giorno. Quest'assistenza fu resa possibile da assegnazioni di denaro da parte di varie fondazioni. Prima dell'intervento il mio eloquio era diventato ancora più confuso, così che solo le persone che mi conoscevano meglio riuscivano a capirmi, ma almeno potevo comunicare. Scrivevo articoli scientifici dettandoli a una segretaria, e tenevo seminari attraverso un "interprete" che ripeteva in modo più chiaro le mie parole. La tracheotomia mi tolse però del tutto l'uso della parola. Per un po' di tempo, l'unico modo che mi rimase per comunicare fu quello di compitare le parole lettera per lettera alzando le sopracciglia quando qualcuno indicava la lettera giusta su un foglio con le lettere dell'alfabeto. E piuttosto difficile condurre una conversazione in questo modo, per non parlare di scrivere un articolo scientifico. Un esperto di computer della California, Walt Woltosz, essendo venuto a conoscenza della mia condizione, mi mandò un programma di computer da lui scritto, chiamato Equalizer. Questo programma mi permetteva di scegliere parole da una serie di menu visualizzati sullo schermo del computer premendo un interruttore tenuto in mano. Il programma poteva essere controllato anche da un movimento della testa o degli occhi. Quando avevo accumulato ciò che intendevo dire, potevo inviarlo a un sintetizzatore della voce, che lo pronunciava. In principio facevo girare il programma Equalizer su un computer da scrivania. Poi David Mason, della Cambridge Adaptive Communications, adattò un piccolo personal computer e un sintetizzatore della voce alla mia sedia a rotelle. Questo sistema mi permette ora di comunicare molto meglio di quanto non potessi fare in precedenza. Ora riesco a controllare fino a quindici parole al minuto. Posso pronunciare ciò che ho scritto o registrarlo su disco. Posso stamparlo o richiamarlo e pronunciarlo frase per frase. Usando questo sistema ho scritto due libri e una quantità di articoli scientifici. Ho anche tenuto un certo numero di conferenze scientifiche e divulgative, che sono state ben accolte. Penso che gran parte del merito di tutto questo vada alla qualità del sintetizzatore della voce, che è prodotto dalla Speech Plus. La propria voce è importante. Se hai un difetto che ti impedisce di pronunciare distintamente le parole, la gente tende a trattarti come un deficiente. Questo sintetizzatore è di gran lunga il migliore che abbia udito, perché permette di variare l'intonazione e non parla come un robot. L'unica cosa sgradevole è che mi dà un accento americano. Ora, comunque, mi sono identificato con questa voce, e non vorrei cambiarla neppure se mi venisse offerta una voce dalla cadenza britannica. Mi sentirei come un'altra persona. □ Ho avuto la sclerosi laterale amiotrofica praticamente per tutta la mia vita adulta; eppure essa non mi ha impedito di avere una famiglia fantastica e di avere successo nel mio lavoro, grazie all'aiuto che ho ricevuto da mia moglie, dai miei figli e da un gran numero di altre persone e organizzazioni. Fortunatamente la mia malattia è progredita più lentamente di quanto spesso non avvenga. Ciò dimostra che non si devono necessariamente perdere le speranze.

## 4 □ **ATTEGGIAMENTI PUBBLICI VERSO LA SCIENZA**

Ci piaccia o no, il mondo in cui viviamo è cambiato molto negli ultimi cent'anni, ed è probabile che cambi ancora di più nei prossimi cento. Alcuni vorrebbero arrestare questi mutamenti e tornare a quella che sembra loro un'epoca più semplice e più pura. Come dimostra la storia, però, il passato non è stato così meraviglioso. Non è stato tanto male per una minoranza privilegiata, anche se essa dovette fare a meno dei benefici della medicina moderna e se il parto era molto rischioso per le donne; ma per la grande maggioranza della popolazione la vita era sgradevole, bestiale e breve. In ogni modo, anche volendolo non si può riportare indietro l'orologio della storia. Non si possono dimenticare conoscenze e tecniche una volta che le si sia apprese, né si possono impedire ulteriori progressi futuri. Anche se tutti i governi decidessero di tagliare le spese per la ricerca (e l'attuale governo britannico sta facendo del suo meglio in questa direzione), la forza della competizione condurrebbe ciò nonostante a progressi tecnologici. Né si può impedire a menti indagatrici di riflettere sulla scienza di base, le si paghi o no per farlo. L'unico modo per precludere ulteriori sviluppi sarebbe uno stato totalitario a livello mondiale che sopprimesse ogni cosa nuova; ma l'iniziativa e l'ingegnosità umane sono tali che neppure una cosa del genere potrebbe avere successo. Al più si potrebbe rallentare il ritmo del mutamento. Se accettiamo l'idea che non si può impedire alla scienza e alla tecnologia di modificare il nostro mondo, si può almeno tentare di assicurare che i mutamenti siano nelle direzioni giuste. In una società democratica, ciò significa che l'opinione pubblica ha bisogno di avere una comprensione di base della scienza, per poter prendere decisioni con cognizione di causa e non lasciare le decisioni a esperti. Attualmente il pubblico ha un atteggiamento piuttosto ambivalente verso la scienza. Ha imparato ad attendersi il costante aumento del livello di vita che i nuovi sviluppi nella scienza e nella tecnologia apportano, ma è anche diffidente verso la scienza, perché non la capisce. Questa diffidenza è evidente nella figura dello scienziato folle dei fumetti, che lavora nel suo laboratorio a produrre un Frankenstein, ed è un importante elemento di sostegno per i movimenti ecologisti. Il pubblico ha però anche un grande interesse per la scienza, e particolarmente per l'astronomia, come dimostrano le grandi audienze realizzate da serie televisive come Cosmos e dai film di fantascienza. Che cosa si può fare per incanalare questo interesse e per dare al pubblico la preparazione scientifica di cui ha bisogno per prendere decisioni con cognizione di causa su temi come le piogge acide, l'effetto serra, le armi nucleari o l'ingegneria genetica? È chiaro che alla base ci dev'essere ciò che si insegna a scuola. Ma la scienza nelle scuole viene spesso presentata in un modo arido e assai poco interessante. I ragazzi la imparano pappagallescamente per superare gli esami e non ne vedono l'utilità per il mondo che li circonda. Inoltre, la scienza viene spesso insegnata per mezzo di equazioni. Pur essendo un modo conciso ed esatto per descrivere idee matematiche, le equazioni spaventano i più. Recentemente, quando scrissi un libro divulgativo, fui avvertito che ogni equazione che avessi incluso avrebbe dimezzato le vendite. Io citai una sola equazione: la famosa equazione di Einstein  $E = mc^2$ . Forse, senza quella equazione, avrei venduto un numero di copie doppio. Scienziati e ingegneri tendono a esprimere le loro idee sotto forma di equazioni perché hanno bisogno di conoscere i valori precisi delle varie quantità. Per gli altri, però, una comprensione qualitativa dei concetti scientifici è sufficiente, e può essere trasmessa per mezzo di parole e diagrammi, senza l'uso di equazioni. La scienza che si impara a scuola può fornire la cornice di riferimento di base, ma il ritmo del progresso scientifico è oggi così incalzante che ci si trova di fronte a sempre nuovi sviluppi, occorsi dopo che

si è lasciato la scuola secondaria o l'università. Io non ho imparato niente sulla biologia molecolare o sui transistor a scuola, ma l'ingegneria genetica e i computer sono due fra gli sviluppi che hanno maggiori probabilità di cambiare in futuro il nostro modo di vita. La divulgazione scientifica, sotto forma di libri e di articoli, può aiutarci a far conoscere i nuovi sviluppi, ma persino l'opera di divulgazione di maggior successo viene letta solo da una piccola parte della popolazione. Solo la televisione riesce ad avere un ascolto veramente di massa. In TV si fanno programmi scientifici molto buoni, ma a volte i miracoli della scienza vengono presentati alla stregua di magie, senza spiegarli o senza mostrare come si inquadrino nella cornice delle idee scientifiche. I produttori di programmi scientifici televisivi dovrebbero rendersi conto di avere la responsabilità di educare il pubblico, e non solo di divertirlo. Su quali problemi connessi alla scienza il pubblico dovrà prendere decisioni nel prossimo futuro? Il problema di gran lunga più urgente è quello delle armi nucleari. Altri problemi globali, come quelli della disponibilità di cibo o dell'effetto serra, hanno sviluppi relativamente lenti, mentre una guerra nucleare potrebbe significare la fine dell'umanità sulla Terra nell'arco di pochi giorni. L'allentamento delle tensioni fra i paesi dell'Est e l'Occidente grazie alla fine della Guerra fredda ha fatto attenuare nella coscienza del pubblico il timore di una guerra nucleare. Il pericolo però continuerà a sussistere finché ci saranno abbastanza armi per uccidere l'intera popolazione mondiale. Negli stati dell'ex Unione Sovietica e negli Stati Uniti, le armi nucleari sono ancora pronte a colpire tutte le città principali dell'emisfero nord. Basterebbe l'errore di un computer, o la rivolta degli uomini che controllano le armi, per scatenare una guerra a livello mondiale. □ Ancora più preoccupante è il fatto che oggi anche potenze relativamente piccole si stanno dotando di armi nucleari. Le grandi potenze si sono comportate in un modo ragionevolmente responsabile, ma non si può confidare che facciano altrettanto piccole potenze come la Libia o l'Iraq, il Pakistan o addirittura l'Azerbaijan. Il pericolo non è tanto nelle armi nucleari che tali potenze potrebbero possedere presto, le quali sarebbero piuttosto rudimentali pur potendo comunque uccidere milioni di persone. Il pericolo va visto piuttosto nel fatto che una guerra nucleare fra due potenze minori potrebbe condurre al coinvolgimento delle grandi potenze, con i loro arsenali enormi. È molto importante che la pubblica opinione si renda conto del pericolo, e che eserciti pressioni su tutti i governi, per convincerli a stipulare accordi su grandi riduzioni degli armamenti. Probabilmente non sarebbe pratico eliminare del tutto le armi nucleari, ma si potrebbe almeno attenuare il pericolo riducendone il numero. Se riusciremo a evitare una guerra nucleare, ci saranno ancora altri pericoli che potrebbero distruggerci tutti. C'è la battuta macabra secondo cui il motivo per cui nessuna civiltà extraterrestre si è ancora messa in contatto con noi è che le civiltà, quando raggiungono il nostro livello, tendono a distruggersi reciprocamente. Io ho però abbastanza fede nel buon senso della gente per credere che si possa dimostrare che questa è una tesi sbagliata.

## 5 □ **BREVE STORIA DI UNA BREVE STORIA**

*Questo saggio fu pubblicato in origine nel dicembre 1988 come articolo sul quotidiano londinese "The Independent".*

Il libro *A Brief History of Time* (Dal big bang ai buchi neri. Breve storia del tempo) rimase nella classifica dei libri più venduti del "New York Times" per cinquantatré settimane; e in Gran Bretagna, nel febbraio 1993, era sull'elenco del "Sunday Times" di Londra da 205 settimane. (Alla 184a settimana entrò nel Guinness dei Primati per essere comparso il maggior numero di volte in questo elenco.) Il numero delle traduzioni straniere ha raggiunto attualmente il numero di trentatré.

Sono ancora sbalordito dall'accoglienza ricevuta dal mio libro *Dal big bang ai buchi neri*. È nell'elenco dei bestseller del "New York Times" da trentasette settimane e in quello del "Sunday Times" di Londra da ventotto. (Fu pubblicato prima negli Stati Uniti e poi in Gran Bretagna.) Sono inoltre in corso traduzioni in venti lingue (ventuno se si considera l'americano una lingua diversa dall'inglese). Questo risultato è molto superiore a quanto mi aspettavo quando, nel 1982, mi venne per la prima volta l'idea di scrivere un libro divulgativo sull'universo. Era mia intenzione, fra l'altro, di guadagnare un po' di denaro per pagare le tasse scolastiche di mia figlia. (In realtà, quando il libro finalmente apparve, era al suo ultimo anno di scuola.) La ragione principale che mi indusse a scriverlo, però, era il desiderio di spiegare quanto avanti ci fossimo spinti, secondo me, nella comprensione dell'universo, e quanto potessimo esserci avvicinati a una teoria completa in grado di descrivere l'universo e tutto ciò che si trova in esso.\* Se dovevo spendere tempo e fatica a scrivere un libro, volevo che esso raggiungesse il maggior numero possibile di persone. I miei precedenti libri tecnici erano stati pubblicati dalla Cambridge University Press. La casa editrice aveva fatto un buon lavoro, ma io pensavo che non fosse sintonizzata col tipo di mercato di massa che volevo raggiungere. Presi perciò contatto con un agente letterario, Al Zuckerman, che mi era stato presentato come cognato di un mio collega. Gli diedi un abbozzo del primo capitolo e gli spiegai che volevo che quello fosse il tipo di libro che si vendesse nei chioschi degli aeroporti. Egli mi disse che non c'era alcuna possibilità: un libro come quello poteva essere venduto bene ad accademici e a studenti, ma non avrebbe potuto trovare accesso presso il grande pubblico. □ Diedi a Zuckerman un primo abbozzo del libro nel 1984. Egli lo mandò a vari editori e mi raccomandò di accettare un'offerta della Norton, una casa editrice con una buona posizione sul mercato americano. Io decisi invece di accettare un'offerta della Bantam, una casa editrice più orientata verso un mercato popolare. Benché la Bantam non fosse specializzata nella pubblicazione di libri scientifici, i suoi libri erano ben presenti nei chioschi degli aeroporti. Se la Bantam accettò il mio libro fu probabilmente a causa dell'interesse concepito per esso da un suo editor, Peter Guzzardi, il quale prese il suo lavoro molto sul serio e mi fece riscrivere il libro per renderlo comprensibile a non-scienziati come lui. Ogni volta che gli mandavo un capitolo riscritto, mi rispondeva con un lungo elenco di obiezioni e di domande che voleva gli chiarissi. Qualche volta ebbi l'impressione che non saremmo mai arrivati alla fine. Ma aveva ragione lui: in conseguenza di quel lavoro il libro divenne molto migliore. Poco tempo dopo avere accettato l'offerta di Bantam fui colpito da una polmonite e dovetti sottopormi a un intervento di tracheotomia che mi tolse la voce. Per un po' di tempo potei comunicare solo alzando le sopracciglia quando qualcuno mi indicava delle lettere su un tabellone con tutto l'alfabeto per formare parole. Non avrei mai potuto portare a termine il libro senza il programma per computer che

mi fu allora donato. Era un po' lento, ma allora io pensavo lentamente, cosicché andava proprio bene per me. Grazie ad esso riscrissi quasi completamente il primo abbozzo in risposta alle raccomandazioni di Guzzardi. Fui aiutato in tale revisione da un mio allievo, Brian Whitt. Ero stato molto impressionato dalla serie televisiva di Jacob Bronowski *The Ascent of Man* (L'ascesa dell'uomo). (Oggi un titolo così maschilista non sarebbe tollerato.) Essa dava un'idea dei risultati conseguiti dalla specie umana nella sua evoluzione da selvaggi primitivi vissuti solo quindicimila anni fa al nostro stato presente. Io volevo trasmettere una sensazione analoga per il nostro progresso verso una comprensione completa delle leggi che governano l'universo. Ero sicuro che quasi tutti sono interessati a sapere come funziona l'universo, ma la maggior parte delle persone non riesce a capire le equazioni matematiche. Io stesso non sono molto interessato alle equazioni, in parte perché ho difficoltà a scriverle, ma principalmente perché non ne ho una comprensione intuitiva. Tendo invece a pensare in termini di immagini, e il mio intento nel libro era quello di descrivere queste immagini a parole, con l'aiuto di analogie familiari e di qualche diagramma. In questo modo speravo che la maggior parte delle persone potesse condividere l'emozione e il senso di conquista legati ai notevoli progressi che sono stati compiuti in fisica negli ultimi venticinque anni. Ma anche se si evita la matematica, alcune idee rimangono estranee e difficili da spiegare. Questo fatto poneva un problema: dovevo tentare di spiegarle e rischiare di creare confusione nella mente dei miei lettori, oppure dovevo sorvolare sulla difficoltà? Alcuni concetti non familiari, come il fatto che osservatori in moto a velocità diverse misurano intervalli di tempo diversi fra gli stessi due eventi, non erano essenziali per il quadro che intendevo tracciare. Pensai perciò che potevo limitarmi a menzionarli senza approfondirli. Alcune idee difficili erano però fondamentali per ciò che volevo comunicare. In particolare, c'erano due concetti che pensai di dover includere. Uno era quello delle cosiddette *"somme delle storie"*. *Questa è l'idea che non esiste una storia singola per l'universo, bensì che c'è piuttosto una collezione di ogni storia possibile, e che tutte queste storie sono altrettanto reali (qualunque cosa ciò possa significare). L'altra idea, che è necessaria per dare un senso matematico alla somma delle storie è il "tempo immaginario". Col senno di poi, oggi penso che avrei dovuto sforzarmi maggiormente di chiarire questi due concetti molto difficili, particolarmente il tempo immaginario, che sembra essere il concetto con cui la gente ha più difficoltà in tutto il libro. In realtà non è indispensabile capire esattamente che cosa sia il tempo immaginario, ma solo che esso è diverso da quello che noi chiamiamo tempo "reale".* Quando il libro stava per essere pubblicato, uno scienziato a cui era stata mandata una copia da recensire per la rivista *"Nature"* rimase sgomento trovandolo pieno di errori, con fotografie e diagrammi fuori posto e didascalie sbagliate. Egli si mise subito in contatto con la Bantam, dove rimasero ugualmente allibiti e decisero quello stesso giorno di fermare l'uscita del libro e di mandare al macero l'intera tiratura. Cominciò allora il frenetico processo di correzione e di ristampa del libro, per farlo arrivare in libreria per la prevista data di pubblicazione di aprile. A quell'epoca la rivista *"Time"* aveva pubblicato un mio profilo. Ciò nonostante la casa editrice fu colta di sorpresa dalla domanda. Il libro è alla sua diciassettesima ristampa in America e alla decima in Gran Bretagna.\* Come si spiega un successo di vendite così grande? Per me è difficile essere sicuro della mia obiettività, cosicché ho pensato di attenermi a ciò che è stato scritto da altri. Ho trovato la maggior parte delle recensioni, benché favorevoli, poco illuminanti in proposito. Esse tendevano a seguire la formula: Stephen Hawking ha la malattia di Lou Gehrig (nelle recensioni americane), o la malattia dei motoneuroni (nelle recensioni britanniche)., è confinato su una sedia a rotelle, non può

parlare e può muovere solo un numero  $x$  di dita (dove  $x$  sembra variare da uno a tre, a seconda di quale articolo più o meno impreciso il recensore avesse letto su di me). Eppure ha scritto questo libro sul più grande di tutti gli interrogativi che si pone l'uomo: da dove veniamo e dove stiamo andando? La risposta proposta da Hawking è che l'universo non viene né creato né distrutto: esso semplicemente è. Per formulare quest'idea, Hawking ha introdotto il concetto di tempo immaginario, che io (il recensore) trovo un po' difficile da seguire. Tuttavia, se Hawking ha ragione e noi troveremo una teoria unificata completa, conosceremo veramente la mente di Dio. (In bozze fui sul punto di tagliare l'ultima frase del libro: "*Giacché allora conosceremmo la mente di Dio*". *Se lo avessi fatto, avrei forse dimezzato le vendite.*) Molto più acuto (secondo me) fu un articolo uscito su "*The Independent*", il cui autore scrisse che perfino un libro scientifico serio come *A Brief History of Time* poteva diventare un cult book. Mia moglie inorridì ma io rimasi piuttosto lusingato nel veder paragonare il mio Dal big bang ai buchi neri a Lo Zen e l'arte della manutenzione della motocicletta di Pirsig. Spero che, come lo Zen, esso dia alla gente la sensazione di non dover essere necessariamente tagliata fuori dai grandi interrogativi intellettuali e filosofici. Al successo del libro ha contribuito senza dubbio la storia di interesse umano di come io sono riuscito a diventare un fisico teorico nonostante la mia menomazione. Coloro che comprarono il libro spinti da un interesse umano possono però essere rimasti delusi, perché esso contiene solo un paio di accenni alla mia condizione: l'intento del libro era quello di fornire una storia dell'universo e non una storia delle mie vicissitudini. Ciò non ha impedito che la Bantam venisse accusata di avere vergognosamente speculato sulla mia malattia, accusa estesa anche a me per avere permesso che in copertina apparisse un mio ritratto. In realtà il mio contratto non mi permetteva di esercitare alcun controllo sulla copertina. Riuscii però a convincere la Bantam a usare per l'edizione britannica una fotografia migliore di quella infelice e vecchia usata nell'edizione americana. La Bantam non modificherà però la copertina dell'edizione americana perché dice che ora il pubblico americano identifica il libro con quel ritratto. Qualcuno ha suggerito anche che la gente compra il libro per averne letto recensioni o perché è sull'elenco dei bestseller, ma che non lo legge, tenendolo in uno scaffale o su un tavolino in salotto, e facendosi bella per il semplice fatto di averlo, senza dover fare lo sforzo di capirlo. Sono sicuro che accada anche questo, ma non so se sia così per il mio libro più che per altri libri molto più seri, fra cui la Bibbia e Shakespeare. D'altra parte, so che almeno qualcuno deve averlo letto, visto che ogni giorno ricevo pile di lettere di lettori, alcuni dei quali mi rivolgono domande o mi fanno commenti dettagliati da cui risulta che l'hanno letto, anche se non lo capiscono completamente. Sono inoltre stato fermato per strada da stranieri che mi hanno espresso tutto il loro apprezzamento. Ovviamente è molto più facile identificare me della maggioranza degli altri autori, anche se non sono necessariamente il più famoso. Ma la frequenza con cui ricevo congratulazioni pubbliche (con grande imbarazzo di mio figlio, che ha nove anni) sembra indicare che almeno una parte di coloro che comprano il libro lo leggono effettivamente. Oggi la gente mi chiede che cosa farò dopo. Penso che difficilmente potrò scrivere un seguito di *A Brief History of Time*. E del resto, come potrei intitolarla? *A Longer History of Time* (Una storia del tempo più lunga)? *Heyond the End of Time* (Oltre la fine del tempo)? *Son of Time* (Figlio del tempo)? Il mio agente mi ha suggerito di autorizzare un film sulla mia vita. Ma né io né la mia famiglia avremmo alcun rispetto di noi stessi se ci lasciassimo ritrarre da attori. Le stesse considerazioni si potrebbero fare se io permettessi a qualcuno di scrivere la mia vita o se lo aiutassi in questo compito. Ovviamente non posso impedire che qualcuno scriva la mia biografia indipendentemente, purché non contenga calunnie, ma tento di

dissuaderlo dicendogli che sto prendendo in considerazione di scrivere io stesso la mia vita. Forse un giorno lo farò, ma per ora non ho alcuna fretta.\* C'è una quantità di ricerche scientifiche che desidero fare prima. □ *“nota” Un film che riunisce elementi biografici e di divulgazione del lavoro di Hawking è stato realizzato nel 1991 dal regista Errol Morris, con piena soddisfazione dello scienziato. Dal film è stato tratto anche un libro, tradotto in Italia con il titolo Come leggere “Dal big bang ai buchi neri”, Rizzoli, Milano 1992. (NAR.)*



## 6 □ LA MIA POSIZIONE

### *Conferenza tenuta al Caius College nel maggio 1992.*

L'argomento di questa conferenza non è se io creda in Dio. Esaminerò invece il mio approccio al modo in cui si può comprendere l'universo: quale sia lo status e il significato di una grande teoria unificata, una "teoria di tutto". Qui si pone una vera difficoltà. Coloro che dovrebbero studiare e discutere questi problemi, i filosofi, per lo più non hanno avuto una formazione matematica sufficiente per tenersi al passo con gli sviluppi moderni in fisica teorica. Esiste una sottospecie, quella dei filosofi della scienza, che dovrebbe essere meglio attrezzata. Molti di loro sono però fisici falliti, che hanno trovato troppo difficile inventare nuove teorie e quindi si sono dedicati a scrivere sulla filosofia della fisica. Essi stanno ancora discutendo sulle teorie scientifiche dei primi anni di questo secolo, come la teoria della relatività e la meccanica quantistica e hanno perso i contatti con l'attuale frontiera della fisica. Può darsi che io sia un po' troppo duro con i filosofi, ma essi non sono stati troppo gentili con me. Il mio approccio è stato descritto come ingenuo e semplicistico. Sono stato variamente associato al nominalismo, allo strumentalismo, al positivismo, al realismo e a vari altri "ismi". Questa tecnica sembra una sorta di confutazione per denigrazione: se si riesce ad applicare un'etichetta al mio approccio, non c'è più bisogno di dire che cosa ci sia di sbagliato in esso. Senza dubbio tutti conoscono gli errori fatali di tutti quegli "ismi". Coloro che realizzano i veri progressi nella fisica teorica non pensano senza dubbio nelle categorie inventate successivamente per loro dai filosofi e dagli storici della scienza. Io sono certo che Einstein, Heisenberg e Dirac non si preoccuparono di sapere se fossero realisti o strumentalisti. Quel che li preoccupava era semplicemente che le teorie esistenti non si accordassero fra loro. Nella fisica teorica la ricerca dell'autoconsistenza logica è sempre stata, ai fini della realizzazione di progressi, più importante dei risultati sperimentali. Teorie altrimenti belle ed eleganti sono state rifiutate perché non si accordavano con le osservazioni; ma non conosco alcuna teoria importante che abbia fatto progressi solo sulla base dell'esperimento. La teoria è sempre venuta prima, portata avanti dal desiderio di avere un modello matematico elegante e coerente. Poi la teoria fa predizioni, le quali possono essere sottoposte al vaglio dell'osservazione. Se le osservazioni concordano con le predizioni, ciò non dimostra la teoria, la quale però sopravvive per fare altre predizioni, che possono di nuovo essere confrontate con l'osservazione. Se le osservazioni non concordano con le predizioni, si abbandona la teoria. O, piuttosto, questo è ciò che dovrebbe accadere. In pratica, si è invece molto riluttanti ad abbandonare una teoria nella quale si sia investita una quantità di tempo e di sforzi. Di solito si comincia mettendo in discussione la precisione delle osservazioni. Se questo modo di procedere non dà risultati, si tenta di modificare la teoria in un modo ad hoc. Infine la teoria diventa un edificio scricchiolante e decrepito. Qualcuno suggerisce allora una nuova teoria, nella quale tutte le osservazioni scomode sono spiegate in un modo elegante e naturale. Un esempio in proposito è l'esperimento di Michelson e Morley, eseguito nel 1887, il quale dimostrò che la velocità della luce era sempre la stessa comunque si muovessero la sorgente o l'osservatore. Questo risultato sembrava ridicolo. Senza dubbio un osservatore in movimento verso una sorgente di luce avrebbe dovuto misurare una velocità della luce superiore a quella misurata da un osservatore che si muovesse nella direzione contraria; eppure l'esperimento dimostrava che entrambi gli osservatori misuravano esattamente la stessa velocità. Nei successivi diciotto anni persone come Hendrik Lorentz e George Fitzgerald cercarono di conciliare i risultati di quest'osservazione con le idee

accettate di spazio e tempo. Essi introdussero postulati ad hoc, come la proposta che gli oggetti si accorcino quando si muovono a velocità elevate. L'intera cornice della fisica divenne rozza e inelegante. Poi, nel 1905, Albert Einstein suggerì un punto di vista molto più attraente, nel quale il tempo non era più considerato come completamente separato e autonomo, ma era combinato con lo spazio in un oggetto quadridimensionale chiamato spaziotempo. Einstein fu spinto ad adottare quest'idea non tanto dai risultati sperimentali, quanto dal desiderio di combinare due parti della teoria in un tutto coerente. Le due parti erano le leggi che governano i campi elettrico e magnetico e le leggi che governano il moto dei corpi. Io non penso che Einstein, o chiunque altro nel 1905, si sia reso conto di quanto fosse semplice ed elegante la nuova teoria della relatività. Essa rivoluzionò completamente le nostre nozioni dello spazio e del tempo. Quest'esempio illustra bene la difficoltà di essere realisti in filosofia della scienza, poiché quella che noi consideriamo realtà è condizionata dalla teoria da noi accettata. Io sono certo che Lorentz e Fitzgerald si consideravano realisti, interpretando l'esperimento sulla velocità della luce nei termini delle idee newtoniane dello spazio e del tempo assoluti. Tali nozioni di spazio e tempo sembravano corrispondere al senso comune e alla realtà. Eppure oggi coloro che hanno dimestichezza con la teoria della relatività - i quali sono purtroppo una minoranza ancora troppo esigua - nutrono un'opinione diversa. Noi dovremmo spiegare alla gente questa moderna comprensione di concetti fondamentali come lo spazio e il tempo. Se ciò che noi consideriamo reale dipende dalla teoria che accettiamo, come possiamo fare della realtà la base della nostra filosofia? Io mi considero un realista, nel senso che credo che fuori di noi ci sia un universo che attende di essere investigato e capito. Considero la posizione solipsistica, secondo cui tutto sarebbe una creazione della nostra immaginazione, uno spreco di tempo. Nessuno agisce su una base del genere. Non possiamo però distinguere che cosa ci sia di reale nell'universo senza una teoria. Adotto perciò l'opinione, che è stata descritta come semplicistica o ingenua, che una teoria della fisica sia solo un modello matematico che noi usiamo per descrivere i risultati delle nostre osservazioni. Una teoria è una buona teoria, ossia un modello elegante, se descrive una vasta classe di osservazioni e se predice i risultati di nuove osservazioni. Al di là di questo non ha senso chiedersi se essa corrisponda o no alla realtà perché non sappiamo che cosa sia la realtà indipendentemente da una teoria. □ Questa concezione delle teorie scientifiche può fare di me uno strumentalista o un positivista; come ho detto sopra sono stato descritto con l'uno e con l'altro termine. Colui che mi definì positivista aggiunse che tutti sanno che il positivismo è superato: un altro caso di confutazione per denigrazione. Esso può essere in effetti superato nel senso che era la moda intellettuale dell'altro ieri, ma la posizione positivista da me delineata mi sembra l'unica possibile per chi cerchi nuove leggi, e nuovi modi per descrivere l'universo. Non è bene appellarsi alla realtà perché noi non abbiamo un concetto di realtà indipendente da un modello. A mio giudizio la fede inespressa in una realtà indipendente da un modello è la ragione delle difficoltà in cui i filosofi della scienza si imbattono quando si occupano della meccanica quantistica e del principio di indeterminazione. C'è un famoso esperimento mentale noto come esperimento del gatto di Schrödinger. Un gatto viene rinchiuso in una scatola chiusa ermeticamente. Nella scatola c'è una pistola puntata contro il gatto, la quale sparerà se e quando si verificherà il decadimento di un nucleo radioattivo. La probabilità che ciò avvenga è del 50 per cento. (Oggi nessuno oserebbe proporre una cosa del genere, nemmeno come esperimento puramente mentale, ma al tempo di Schrödinger non si era ancora sentito parlare di movimenti animalisti.) Se si apre la scatola, si troverà il gatto vivo o morto. Prima che si apra la scatola, però, lo stato quantico

del gatto sarà un miscuglio dello stato gatto morto con uno stato in cui il gatto è vivo. Alcuni filosofi della scienza trovano molto difficile accettare questa impostazione. Il gatto non può essere per metà morto e per metà non morto, dicono, così come una gatta non può essere per metà gravida e per metà non gravida. La loro difficoltà deriva dall'uso implicito di un concetto di realtà classico, in cui un oggetto ha una singola storia ben definita. La meccanica quantistica ha però una visione diversa della realtà: in questa visione un oggetto non ha solo una storia singola ma tutte le storie possibili. Nella maggior parte dei casi la probabilità di avere una particolare storia si annullerà con la probabilità di avere una storia lievissimamente diversa; ma in certi altri casi le probabilità di storie simili si rafforzano reciprocamente. È una di queste storie rafforzate che osserviamo come la storia dell'oggetto. Nel caso del gatto di Schrödinger ci sono due storie rafforzate. In una il gatto è morto, nell'altra è vivo. Nella meccanica quantistica possono coesistere entrambe le possibilità. Alcuni filosofi si trovano in difficoltà perché suppongono implicitamente che il gatto possa avere una sola storia. La natura del tempo è un esempio di un'altra area in cui il nostro concetto di realtà è determinato dalle nostre teorie di fisica. In passato si considerava ovvio che il tempo scorresse per sempre, indipendentemente da ciò che accadeva; ma la teoria della relatività combinò il tempo con lo spazio, affermando che entrambi potevano essere incurvati, o distorti, dalla materia e dall'energia contenute nell'universo. Così abbiamo imparato a considerare il tempo non più indipendente dall'universo, bensì plasmato da esso. Divenne allora concepibile che il tempo potesse semplicemente non essere definito prima di un certo istante; percorrendo il tempo a ritroso, a un certo punto ci si potrebbe trovare dinanzi a una barriera insormontabile, una singolarità, oltre la quale potrebbe essere impossibile procedere. In questo caso non avrebbe senso chiedersi chi, o che cosa, abbia causato o creato il big bang. Parlare di causa o di creazione presuppone implicitamente l'esistenza di un tempo prima della singolarità del big bang. Da venticinque anni sappiamo che la teoria della relatività generale di Einstein contiene la predizione che il tempo deve avere avuto un inizio in una singolarità quindici miliardi di anni fa. I filosofi non hanno però ancora assimilato l'idea. Essi stanno ancora preoccupandosi delle fondazioni della meccanica quantistica, che furono poste sessantacinque anni fa. Non si rendono conto che la frontiera della fisica si è spostata in avanti. Ancora più ostico è il concetto matematico del tempo immaginario, nel quale Jim Hartle e io abbiamo suggerito che l'universo possa non avere avuto né un principio né una fine. Io sono stato duramente attaccato da un filosofo della scienza per avere parlato di tempo immaginario. Egli scrisse: com'è possibile che un mero espediente matematico come il tempo immaginario possa avere qualcosa a che fare con l'universo reale? Io penso che tale filosofo abbia confuso il senso tecnico matematico dei numeri reali e immaginari intendendo questi due aggettivi secondo l'accezione che hanno nel linguaggio quotidiano. Questo esempio illustra bene la mia osservazione: come possiamo sapere che cosa sia reale, indipendentemente da una teoria o da un modello con cui interpretarlo? Ho usato esempi tratti dalla teoria della relatività e dalla meccanica quantistica per spiegare gli esempi in cui ci si imbatte quando si tenta di dare un senso all'universo. In realtà non importa se si capisca o no la relatività e la meccanica quantistica, o addirittura se queste teorie siano giuste o sbagliate. Quel che spero di aver dimostrato è che un qualche tipo di approccio positivista, in cui si considera una teoria alla stregua di un modello, è l'unico modo per capire l'universo, almeno per un fisico teorico. Io sono fiducioso che si possa trovare un modello coerente in grado di descrivere ogni cosa nell'universo. Se ci riusciremo, sarà un vero trionfo per la specie umana.

## 7 □ *IL SOGNO DI EINSTEIN.*

*Conferenza tenuta alla Paradigm Session della NIT Data Communications Systems Corporation a Tokyo nel luglio 1991.*

Agli inizi del XX secolo due nuove teorie modificarono completamente le nozioni di spazio e tempo e il modo di concepire la realtà stessa. A più di settantacinque anni di distanza siamo ancora impegnati a svilupparne le implicazioni e a cercare di combinarle in una teoria unificata che descriva ogni cosa esistente nell'universo. Le due teorie sono la relatività generale e la meccanica quantistica. La teoria generale della relatività si occupa dello spazio e del tempo e di come sono incurvati e distorti, a una grande scala; dalla materia e dall'energia presenti nell'universo. La meccanica quantistica si occupa invece di scale molto piccole. In essa è incluso il cosiddetto principio di indeterminazione, il quale afferma che non si possono misurare con precisione, simultaneamente, posizione e velocità di una particella; quanto più esattamente si misura l'una tanto meno esatta diventa la misura dell'altra. C'è sempre un elemento di incertezza o di probabilità, il quale incide in modo fondamentale sul comportamento della materia su piccola scala. Einstein creò quasi da solo la relatività generale, e svolse una parte importante nello sviluppo della meccanica quantistica. Il suo pensiero su quest'ultima fu compendiato nella frase: *"Dio non gioca a dadi"*. Tutto sembra indicare però che Dio sia un giocatore inveterato e che non perda occasione di lanciare i dadi. In questo saggio cercherò di spiegare le idee fondamentali che si celano dietro queste due teorie, e di chiarire perché Einstein fosse così insoddisfatto della meccanica quantistica. Descriverò anche alcune fra le cose notevoli che sembrano accadere quando si tenta di combinare le due teorie. La combinazione delle due teorie ci dice che il tempo stesso ha avuto inizio circa quindici miliardi di anni fa, e che potrebbe terminare in qualche momento nel futuro. E tuttavia, in un altro tipo di tempo, l'universo non ha confini. Esso non è stato né creato né distrutto, ma semplicemente è. Comincerò dalla teoria della relatività. Le leggi nazionali vigono in un solo paese, ma le leggi della fisica sono le stesse in Gran Bretagna, negli Stati Uniti e in Giappone. Sono le stesse anche su Marte e nella galassia di Andromeda. Non solo, ma sono le stesse a qualsiasi velocità ci si stia muovendo. Sono le stesse su un treno lampo del Giappone, o su un aviogetto, come anche per una persona immobile in un luogo. In effetti, anche chi se ne stia comodamente seduto in poltrona sulla Terra si muove alla velocità di circa 30 km al secondo attorno al Sole, il quale si muove a sua volta alla velocità di varie centinaia di km al secondo attorno al centro della Galassia, e via dicendo. Eppure tutti questi moti non fanno alcuna differenza per le leggi della fisica; esse sono le stesse per tutti gli osservatori. Quest'indipendenza delle leggi dalla velocità del sistema di riferimento fu scoperta da Galileo, che sviluppò le leggi del moto di oggetti come proiettili o pianeti. Quando si tentò di estendere quest'indipendenza dalla velocità dell'osservatore alle leggi che governano il moto della luce si pose però un problema. Nel Settecento si era scoperto che la luce non passa istantaneamente dalla sorgente all'osservatore, bensì che si propaga alla velocità fissa di circa 300.000 km al secondo. Ma a che cosa era relativa questa velocità? Sembrava che nello spazio dovesse esserci un qualche mezzo attraverso il quale la luce dovesse muoversi; questo mezzo veniva chiamato etere. Si pensava che la luce si muovesse alla velocità di 300.000 km/sec attraverso l'etere: ciò significava che un osservatore che fosse in quiete rispetto all'etere, misurando la velocità della luce, avrebbe trovato circa 300.000 km/sec, mentre un osservatore in movimento attraverso l'etere avrebbe dovuto

misurare una velocità superiore o inferiore. In particolare, si credeva che la velocità della luce dovesse variare in conseguenza del moto della Terra attraverso l'etere nella sua rivoluzione attorno al Sole. Nel 1887, però, un accurato esperimento eseguito da Michelson e Morley mostrò che la velocità della luce era sempre la stessa. A qualunque velocità si muovesse l'osservatore, egli misurava sempre la velocità di 300.000 km al secondo. Come può essere vero? Come possono osservatori in moto a velocità diverse trovare tutti la stessa velocità relativa della luce? La risposta è che non possono, almeno se sono valide le nostre idee normali dello spazio e del tempo. In un famoso saggio pubblicato nel 1905, però, Einstein sottolineò che tali osservatori potevano misurare tutti la stessa velocità della luce se abbandonavano l'idea di un tempo universale. Ognuno di loro doveva avere invece un proprio tempo individuale, misurato dall'orologio che portava con sé. I tempi misurati da questi diversi orologi avrebbero concordato quasi esattamente se fossero stati in movimento con piccole velocità relative l'uno rispetto all'altro, mentre i tempi misurati da orologi diversi sarebbero significativamente differenti nel caso che gli orologi si muovessero a velocità relative elevate. Quest'effetto è stato realmente osservato confrontando il tempo segnato da un orologio al suolo con quello segnato da un orologio trasportato da un aereo di linea; l'orologio trasportato in volo rimane un po' indietro rispetto a quello stazionario. Alle velocità di viaggio normali, però, le differenze fra il tempo segnato dai diversi orologi rimangono molto piccole. Si deve volare attorno al globo per centinaia di milioni di volte per aggiungere un secondo alla propria vita; ma la propria vita potrebbe essere ridotta molto di più da tutti quei pasti che si consumano sugli aerei. In che modo l'aver un proprio tempo individuale incide sul fatto che persone che viaggiano a velocità diverse misurano per la luce la stessa velocità? La velocità di un impulso di luce è la distanza che esso percorre fra due eventi, divisa per l'intervallo di tempo fra di essi. (Un evento in questo senso è qualcosa che ha luogo in un singolo punto nello spazio, in un istante di tempo specificato.) Persone in moto a velocità diverse non concordano sulla distanza esistente fra due eventi. Per esempio, se misuro la distanza percorsa da un'automobile in autostrada, potrei pensare che essa abbia percorso solo un chilometro, ma per chi si trovasse sul Sole essa avrebbe percorso circa 1.800 km, poiché la Terra l'avrebbe portata simultaneamente con sé per un tratto del suo moto orbitale. Poiché persone in movimento a velocità diverse misurano distanze diverse fra eventi, devono misurare anche intervalli di tempo diversi se devono concordare sulla velocità della luce. La teoria originaria della relatività di Einstein, da lui proposta nel famoso saggio del 1905, è quella che noi conosciamo oggi come la relatività ristretta. Essa descrive in che modo gli oggetti si muovano nello spazio e nel tempo. Si vede che il tempo non è una quantità universale che esista autonomamente, separata dallo spazio. Futuro e passato sono, piuttosto, solo direzioni, come su e giù, destra e sinistra, avanti e indietro, in un qualcosa che chiamiamo spaziotempo. Possiamo muoverci nel tempo solo nella direzione del futuro, ma possiamo muoverci a un certo angolo rispetto ad essa. Ecco perché il tempo può passare più o meno velocemente. La teoria ristretta della relatività combinò il tempo con lo spazio, ma spazio e tempo erano ancora uno sfondo fisso in relazione al quale si verificavano degli eventi. Si poteva scegliere di percorrere itinerari diversi nello spazio-tempo, ma non si poteva fare nulla per modificare lo sfondo dello spazio e del tempo. La situazione mutò però nel 1915, quando Einstein formulò la teoria generale della relatività. Egli ebbe l'idea rivoluzionaria che la gravità non fosse solo una forza operante su una scena fissa dello spazio-tempo, bensì una distorsione dello spaziotempo, causata dalla massa e dall'energia in esso presenti. Oggetti come palle di cannone e pianeti cercano di muoversi in linea retta nello spazio-tempo, ma poiché lo

spazio-tempo è incurvato, distorto, e non piatto, le loro traiettorie risultano incurvate. Anche la Terra cerca di muoversi in linea retta nello spazio-tempo, ma la curvatura dello spazio-tempo prodotta dalla massa del Sole le fa percorrere una traiettoria quasi circolare attorno a questo. Anche la luce, infine, cerca di muoversi in linea retta, ma la curvatura dello spazio-tempo dovuta all'azione gravitazionale del Sole fa sì che la luce di stelle lontane venga deviata dalla sua traiettoria rettilinea se passa in prossimità del disco solare. Normalmente non si possono vedere le stelle che si trovano in cielo quasi nella stessa direzione del Sole. Durante un'eclisse però, quando la maggior parte della luce solare è occultata dalla Luna, possiamo osservare la luce proveniente da quelle stelle lontane.

Einstein pubblicò la sua teoria generale della relatività durante la prima guerra mondiale, quando le condizioni non erano adatte alle osservazioni scientifiche, ma subito dopo la guerra una spedizione britannica osservò l'eclisse del 1919 e confermò le predizioni della relatività generale: lo spazio-tempo non è piatto ma è incurvato dalla materia e dall'energia in esso presenti. Questo fu il massimo trionfo di Einstein. La sua scoperta trasformò completamente il nostro modo di concepire lo spazio e il tempo. Non c'era più una scena passiva nella quale avevano luogo gli eventi. Non si poteva più pensare che spazio e tempo potessero procedere per sempre senza subire alcuna influenza da parte di ciò che accade nell'universo. Essi erano invece diventati ora quantità dinamiche, le quali influivano sugli eventi che accadevano in esse e ne erano a loro volta influenzate. Una proprietà importante della massa e dell'energia è che esse sono sempre positive: ecco perché la gravità si manifesta sempre in un'attrazione reciproca dei corpi l'uno verso l'altro, non trasformandosi mai in repulsione. Per esempio, la gravità della Terra ci attrae verso di essa anche da parti opposte del mondo. Ecco perché le popolazioni che vivono ai nostri antipodi, come gli australiani, non cadono dalla Terra, pur essendo a testa in giù rispetto a noi. Similmente, la gravità del Sole trattiene i pianeti nelle loro orbite e impedisce alla Terra di perdersi nel buio dello spazio interstellare. Secondo la relatività generale, il fatto che la massa sia sempre positiva comporta che lo spazio-tempo sia incurvato su se stesso, come la superficie della Terra. Se la massa fosse negativa, lo spazio-tempo sarebbe incurvato alla rovescia, come la superficie di una sella. Questa curvatura positiva dello spazio-tempo, la quale riflette il fatto che la gravità è sempre attrattiva, fu vista come un grande problema da Einstein. A quel tempo si credeva universalmente che l'universo fosse statico; ma se lo spazio, e in particolare il tempo, erano incurvati su se stessi, come poteva l'universo continuare per sempre la sua esistenza più o meno nello stesso stato attuale? Le equazioni originarie della relatività generale di Einstein predicavano che l'universo dovesse essere in espansione o in contrazione. Einstein aggiunse perciò un ulteriore termine alle equazioni che mettono in relazione la massa e l'energia presenti nell'universo con la curvatura dello spazio-tempo. Questo termine - la cosiddetta "*costante cosmologica*" - aveva un effetto gravitazionale repulsivo. L'attrazione della materia poteva perciò trovare un equilibrio con la repulsione della costante cosmologica. In altri termini, la curvatura negativa dello spazio-tempo prodotta dalla costante cosmologica poteva neutralizzare la curvatura positiva dello spazio-tempo prodotta dalla massa e dall'energia nell'universo. In questo modo si poteva ottenere un modello di universo che continuasse per sempre la sua esistenza nello stesso stato. Se Einstein fosse rimasto fedele alle sue equazioni originarie senza la correzione della costante cosmologica, avrebbe predetto che l'universo era o in espansione o in contrazione. In realtà, però nessuno pensò che l'universo fosse soggetto a mutare nel tempo fino al 1929, quando Edwin Hubble scoprì che le galassie lontane stanno allontanandosi da noi. L'universo è in espansione. In seguito Einstein definì la costante cosmologica "*l'errore più grave della mia*

*vita*". Ma, con o senza la costante cosmologica, il fatto che la materia causasse l'incurvarsi dello spaziotempo su se stesso restava un problema, anche se in generale non veniva riconosciuto come tale. Poteva accadere che una quantità di materia incurvasse a tal punto una regione su se stessa da farla rimanere isolata a tutti gli effetti dal resto dell'universo. La regione si trasformava allora in un buco nero. Nel buco nero potevano cadere oggetti, ma da esso non poteva uscire niente. Per evadere da un buco nero sarebbe stata infatti necessaria una velocità di fuga superiore alla velocità della luce, cosa non permessa dalla teoria della relatività. Così la materia contenuta all'interno di un buco nero sarebbe intrappolata, e collaserebbe verso uno stato ignoto di densità elevatissima. Einstein fu profondamente disturbato dalle implicazioni di questo collasso, e si rifiutò di credere alla sua possibilità. Nel 1939, però, Robert Oppenheimer dimostrò che una vecchia stella di massa più che doppia di quella del Sole, una volta esaurito il suo combustibile nucleare avrebbe inevitabilmente subito il collasso. Scoppiata la guerra, Oppenheimer fu impegnato nel Progetto Manhattan, per la costruzione della bomba atomica, e perse interesse per il collasso gravitazionale. Altri scienziati erano più interessati alla fisica che si poteva studiare sulla Terra. Essi diffidavano delle predizioni sulle regioni remote dell'universo perché non sembrava che potessero essere verificate dall'osservazione. Negli anni sessanta, però, il grande miglioramento nella varietà e nella qualità delle osservazioni astronomiche condusse a un nuovo interesse per il collasso gravitazionale e per l'origine dell'universo. Che cosa esattamente predicesse la teoria generale della relatività di Einstein in queste situazioni rimase oscuro fino a quando Roger Penrose e io dimostrammo vari teoremi. Questi teoremi mostravano che la curvatura dello spaziotempo su se stesso implicava l'esistenza di singolarità, luoghi in cui lo spazio-tempo avesse un inizio o una fine. Lo spazio-tempo avrebbe avuto un inizio nel big bang, circa quindici miliardi di anni fa, e finirebbe per ogni stella che subisse il collasso gravitazionale e per qualsiasi cosa che si trovasse a cadere nel buco nero formato da una stella collassata. Il fatto che la teoria generale della relatività di Einstein comportasse la predizione di singolarità condusse a una crisi della fisica. Le equazioni della relatività generale, che mettono la curvatura dello spazio-tempo in relazione con la distribuzione di massa ed energia, non possono essere definite in una singolarità. Ciò significa che la relatività generale non può predire che cosa possa derivare da una singolarità. In particolare, essa non può predire in che modo l'universo dovrebbe iniziare la sua esistenza al big bang. La relatività generale non è, quindi, una teoria completa. Ha bisogno di una componente aggiuntiva per determinare in che modo l'universo dovrebbe cominciare, e che cosa dovrebbe accadere quando un oggetto materiale di grande massa collassa per effetto della propria gravità. Pare che l'ingrediente aggiuntivo necessario per applicare la relatività generale ai problemi della cosmologia sia la meccanica quantistica. Nel 1905, lo stesso anno in cui uscì il suo articolo sulla relatività ristretta, Einstein pubblicò anche un articolo sul fenomeno noto come effetto fotoelettrico. Si era osservato che, quando certi metalli sono colpiti dalla luce, emettono particelle. La cosa sconcertante era che, se si riduceva l'intensità della luce, diminuiva il numero delle particelle emesse ma restava identica la velocità con cui ogni particella era emessa. Einstein dimostrò che si poteva spiegare questo fenomeno supponendo che la luce non venga emessa in quantità variabili in modo continuo ma solo in pacchetti di dimensioni ben precise. L'idea che la luce venga emessa solo in quantità discrete, chiamate quanti, era stata introdotta qualche anno prima dal fisico tedesco Max Planck. E un po' come dire che in un supermercato non si può comprare lo zucchero sciolto, ma solo in confezioni da un chilo. Planck si servì dell'idea dei quanti per spiegare perché un pezzo di metallo rovente non emetta una quantità di

calore infinita, ma considerò i quanti semplicemente un espediente teorico, che non corrispondeva a niente nella realtà fisica. L'articolo di Einstein dimostrò che era possibile osservare direttamente singoli quanti. Ogni particella emessa corrispondeva a un quanto di luce che colpiva il metallo. Questo articolo fu riconosciuto come un contributo molto importante alla fondazione della teoria quantistica e valse a Einstein il premio Nobel per il 1922. (Einstein avrebbe dovuto vincere un premio Nobel per la teoria della relatività, ma l'idea che spazio e tempo fossero incurvati era considerata ancora troppo speculativa e controversa, cosicché il comitato del Nobel decise di conferirgli il premio per l'effetto fotoelettrico; non che questo non valesse di per sé il premio.) Le implicazioni dell'effetto fotoelettrico non furono riconosciute in tutta la loro portata fino al 1925, quando Werner Heisenberg sottolineò che esso rendeva impossibile misurare esattamente la posizione di una particella. Per vedere che cosa sia una particella, si deve proiettare su di essa della luce. Einstein aveva però mostrato che non si poteva usare una quantità di luce piccola a piacere; si doveva usare almeno un pacchetto, o quanto, di luce. Questo pacchetto di luce avrebbe disturbato la particella e l'avrebbe fatta muovere velocemente in qualche direzione. Quanto più esattamente si voleva misurare la posizione della particella, tanto maggiore era l'energia del pacchetto che si doveva usare, e quindi tanto più si sarebbe disturbata la particella. Per quanto ci si potesse sforzare di misurare esattamente la particella, l'incertezza nella sua posizione, moltiplicata per l'incertezza nella sua velocità, sarebbe stata sempre maggiore di una certa quantità minima. Questo principio di incertezza o, come è meglio noto, di indeterminazione di Heisenberg dimostrò che non si poteva misurare esattamente lo stato di un sistema, cosicché non era possibile prevedere esattamente che cosa esso avrebbe fatto in futuro. Tutto quel che si poteva fare era di predire le probabilità di diversi sviluppi. Era questo elemento di probabilità, o di casualità, a disturbare Einstein. Egli si rifiutava di credere che le leggi della fisica non fossero in grado di fare una predizione precisa, priva di ambiguità, di ciò che sarebbe accaduto. Ma comunque ci si esprima, pare che i fenomeni quantistici e il principio di indeterminazione siano inevitabili e che si verifichino in ogni branca della fisica. La relatività generale di Einstein è una cosiddetta teoria classica, ossia non include il principio di indeterminazione. Si deve perciò trovare una nuova teoria che combini la relatività generale col principio di indeterminazione. Nella maggior parte delle situazioni la differenza fra questa nuova teoria e la teoria classica della relatività generale sarà molto piccola: questo perché, come si è già notato, l'incertezza predetta in conseguenza di effetti quantistici si verifica solo su scale molto piccole, mentre la relatività generale si occupa della struttura dello spazio-tempo su scale grandissime. I teoremi sulle singolarità dimostrati da Roger Penrose e da me mostrano però che lo spazio-tempo si incurva moltissimo a scale molto piccole. Gli effetti del principio di indeterminazione diventeranno allora molto importanti e sembrano promettere alcuni risultati notevoli. Una parte delle difficoltà di Einstein con la meccanica quantistica e col principio di indeterminazione derivarono dal fatto che egli usò la nozione ordinaria, di senso comune, che un sistema abbia una storia ben definita. Una particella si trova in un luogo o in un altro; essa non può trovarsi per metà in un luogo e per metà in un altro. Similmente, un evento come l'atterraggio di astronauti sulla Luna o è avvenuto o non è avvenuto; non può essere avvenuto per metà. Così, non si può essere leggermente morti o leggermente gravide. O lo si è o non lo si è. Ma se un sistema ha una singola storia ben definita, il principio di indeterminazione conduce a ogni sorta di paradossi, come il fatto che una particella si trovi simultaneamente in due luoghi diversi, o che gli astronauti siano e non siano per metà sulla Luna. Un modo elegante per evitare questi paradossi che tanto turbarono



Einstein fu proposto dal fisico americano Richard Feynman. Feynman divenne celebre nel 1948 per le sue ricerche sulla teoria quantistica della luce. Egli ricevette nel 1965 il premio Nobel congiuntamente a un altro <mailto:americano@> Julian Schwinger, e al fisico giapponese Shinichiro Tomonaga. Feynman era un vero fisico, nella stessa tradizione di Einstein. Detestava lo sfoggio e la vanità, e si dimise dalla National Academy of Sciences perché si accorse che gli accademici trascorrevano la maggior parte del loro tempo a decidere quali altri scienziati dovessero essere ammessi all'accademia. Feynman, che morì nel 1988, viene ricordato per i suoi molti contributi alla fisica teorica. Uno di questi fu il tipo di diagrammi che portano il suo nome, i quali sono alla base di quasi ogni calcolo nella fisica delle particelle. Ma un suo contributo ancora più importante fu il suo concetto di somma delle storie. L'idea era che un sistema non avesse una singola storia nello spazio-tempo, come normalmente si suppone che avvenga in una teoria classica non quantistica, bensì ogni storia possibile. Consideriamo, per esempio, una particella che, in un certo tempo si trovasse nel punto A. Normalmente la particella dovrebbe muoversi in linea retta in allontanamento da A. Secondo la somma delle storie, però, essa potrebbe muoversi su qualsiasi traiettoria in partenza da A. è un fenomeno paragonabile a ciò che accade quando si fa cadere una goccia d'inchiostro su un pezzo di carta assorbente. Le particelle d'inchiostro si disperderanno sulla carta assorbente lungo tutte le traiettorie possibili. Anche se si interrompe la linea retta che unisce due punti, per esempio facendo un piccolo taglio nella carta, l'inchiostro aggirerà l'ostacolo. A ogni traiettoria o storia della particella sarà associato un numero dipendente dalla forma della traiettoria. La probabilità che la particella passi da A a B è data dalla somma dei numeri associati a tutte le traiettorie che portano la particella da A a B. Per la maggior parte delle traiettorie il numero associato alla traiettoria finirà quasi per neutralizzare i numeri delle traiettorie vicine, i quali daranno quindi un piccolo contributo alla probabilità del passaggio della particella da A a B. I numeri delle traiettorie rettilinee si sommeranno invece ai numeri di traiettorie quasi rettilinee. Il contributo principale alla probabilità verrà perciò dalle traiettorie rettilinee o quasi rettilinee. Ecco perché la traccia che una particella lascia attraversando una camera a bolle appare quasi rettilinea. Se però si interpone sulla via della particella una parete con una fenditura, la particella può diffondersi al di là della fenditura. C'è una probabilità elevata di trovare la particella lontana dalla linea retta che passa per la fenditura. Nel 1973 cominciai a investigare quale effetto avrebbe avuto il principio di indeterminazione su una particella nello spazio-tempo incurvato nei pressi di un buco nero. Cosa piuttosto notevole, trovai che un buco nero non sarebbe completamente nero. Il principio di indeterminazione permetterebbe a particelle e radiazione di uscire dal buco nero a un ritmo costante. Questo risultato fu un'autentica sorpresa per me e per chiunque altro, e fu accolto con una generale diffidenza. Considerandolo col senno di poi, però, avrebbe dovuto risultare ovvio. Un buco nero è una regione dello spazio da cui è impossibile evadere viaggiando a una velocità inferiore a quella della luce. Ma la somma delle storie di Feynman dice che le particelle possono prendere qualsiasi traiettoria attraverso lo spazio-tempo. è quindi possibile che una particella si muova a una velocità superiore a quella della luce. C'è solo una piccola probabilità che essa percorra a una velocità superiore a quella della luce una lunga distanza, ma può muoversi a una tale velocità per un tratto sufficiente a uscire dal buco nero, e poi procedere a una velocità minore. In questo modo il principio di indeterminazione permette la fuga di particelle da quello che veniva considerato il carcere supremo: un buco nero. La probabilità che una particella riesca a evadere da un buco nero con massa pari a quella del Sole sarebbe molto piccola perché la particella dovrebbe muoversi più velocemente della luce per vari chilometri.

Possono esistere però buchi neri molto più piccoli, formati agli inizi dell'universo. Questi buchi neri primordiali potrebbero avere un volume più piccolo di quello di un nucleo atomico, contenente però una massa di miliardi di tonnellate, come quella del monte Fuji, e potrebbero emettere tanta energia quanta ne produce una grande centrale elettrica. Se solo potessimo trovare uno di questi piccoli buchi neri e imbrigliarne l'energia! Purtroppo non pare che ce ne siano molti disseminati nell'universo. La predizione di una radiazione dei buchi neri fu il primo risultato non banale della combinazione della relatività generale di Einstein col principio quantistico. Essa mostrò che il collasso gravitazionale non era un vicolo cieco così assoluto come sembrava. Le particelle all'interno di un buco nero non hanno necessariamente una fine delle loro storie in una singolarità. Esse potrebbero invece evadere dal buco nero e continuare le loro storie al suo esterno. Il principio quantistico potrebbe significare anche la possibilità di evitare storie che abbiano un inizio nel tempo, un punto di creazione, al big bang. Questo è un interrogativo a cui è molto più difficile rispondere, in quanto implica l'applicazione del principio quantistico alla struttura del tempo e dello spazio stessi, e non solo a traiettorie di particelle in una data cornice di spazio-tempo. Quel che occorre è un modo di eseguire la somma delle storie non solo per le particelle, ma anche per l'intero tessuto dello spazio e del tempo. Non sappiamo ancora fare in modo appropriato questa somma, ma conosciamo certi caratteri che essa dovrebbe avere. Uno di questi è che è più facile eseguire la somma se ci si occupa di storie nel cosiddetto tempo immaginario, anziché nel tempo ordinario, reale. Il tempo immaginario è un concetto difficile da capire, ed è probabilmente quello che ha causato i problemi maggiori ai lettori del mio libro. Io sono stato criticato aspramente anche da filosofi per avere usato il tempo immaginario. Come può il tempo immaginario avere qualcosa a che fare con l'universo reale? Io penso che questi filosofi non abbiano imparato le lezioni della storia. Un tempo si considerava ovvio che la Terra fosse piatta e che il Sole si muovesse attorno a essa, ma dal tempo di Copernico e di Galileo ci siamo adattati all'idea che la Terra sia sferica e che orbiti attorno al Sole. Similmente era ovvio che il tempo scorresse sempre alla stessa velocità per ogni osservatore, ma dal tempo di Einstein abbiamo dovuto accettare l'idea che il tempo scorre con diversa rapidità per i diversi osservatori. Sembrava ovvio anche che l'universo avesse una storia unica, ma dopo la scoperta della meccanica quantistica abbiamo dovuto adattarci alla nozione che l'universo abbia ogni storia possibile. Vorrei suggerire che anche l'idea del tempo immaginario è una cosa che dovremo giungere ad accettare. È un balzo intellettuale dello stesso ordine di quello compiuto dalla nozione di una Terra piatta a quella di una Terra sferica. Io penso che un giorno il tempo immaginario ci sembrerà altrettanto naturale quanto oggi una Terra sferica. Nel mondo delle persone colte non sono più in molti a credere in una Terra piatta. Possiamo rappresentarci il tempo ordinario reale come una linea orizzontale che va da sinistra a destra. I tempi più antichi sono a sinistra, e quelli più recenti a destra. Ma possiamo considerare anche un'altra direzione del tempo, verso l'alto e verso il basso in questa stessa pagina. Questa è la cosiddetta direzione immaginaria del tempo, ad angoli retti rispetto al tempo reale. Di quale utilità è l'introduzione del concetto di tempo immaginario? Perché non ci si limita a usare il tempo ordinario, che è accessibile alla nostra comprensione? La ragione è che, come abbiamo notato in precedenza, materia ed energia tendono a far incurvare lo spazio-tempo su se stesso. Nella direzione del tempo reale, ciò conduce necessariamente a singolarità, luoghi in cui lo spazio-tempo finisce. Nelle singolarità le equazioni della fisica non possono essere definite; non si può predire quel che accadrà. Ma la direzione del tempo immaginario è ad angoli retti rispetto al tempo reale. Ciò significa che esso si comporta in modo simile rispetto alle tre direzioni

corrispondenti al movimento nello spazio. La curvatura dello spazio-tempo causata dalla materia presente nell'universo può quindi condurre a un incontro delle tre direzioni spaziali con la direzione immaginaria del tempo. Queste direzioni formerebbero una superficie chiusa, come quella della Terra. Le tre direzioni spaziali, e il tempo immaginario, formerebbero uno spazio-tempo richiuso su se stesso, senza confini o bordi. Non ci sarebbe alcun punto identificabile come un inizio o una fine, così come la superficie della Terra non ha né un inizio né una fine. Nel 1983 Jim Hartle e io proponemmo che la somma delle storie dell'universo non dovesse essere fatta con storie nel tempo reale. La si doveva fare con storie nel tempo immaginario che fossero chiuse su se stesse, come la superficie della Terra. Poiché queste storie non hanno singolarità né alcun inizio o fine, quel che accade in esse sarebbe determinato per intero dalle leggi della fisica. Ciò significa la possibilità di calcolare ciò che è accaduto nel tempo immaginario. E conoscendo la storia dell'universo nel tempo immaginario, si può calcolare in che modo l'universo si comporta nel tempo reale. In questo modo si potrebbe sperare di ottenere una teoria unificata completa, in grado di predire qualsiasi cosa nell'universo. Einstein spese gli ultimi anni della sua vita nella ricerca di una tale teoria, che non trovò perché non aveva fiducia nella meccanica quantistica. Egli non era preparato ad ammettere che l'universo potesse avere molte storie alternative, come nella somma delle storie. Noi non sappiamo ancora come eseguire in modo appropriato la somma delle storie per l'universo, ma possiamo essere abbastanza sicuri che implicherà il tempo immaginario e l'idea dello spazio-tempo che si chiude su se stesso. Io penso che questi concetti saranno considerati dalla prossima generazione altrettanto naturali dell'idea che la Terra è sferica. Il tempo immaginario è già un luogo comune nella fantascienza. Ma è qualcosa di più di fantascienza o di un espediente matematico. E qualcosa che plasma l'universo in cui viviamo.

## 8 □ *L'ORIGINE DELL'UNIVERSO.*

*Relazione tenuta al congresso Three Hundred Years of Gravity, svoltosi a Cambridge nel giugno 1987, nel recentissimo anniversario della pubblicazione dei Principia di Newton.*

Il problema dell'origine dell'universo assomiglia un po' alla vecchia domanda: è nato prima l'uovo o la gallina? In altri termini, quale ente creò l'universo, e che cosa creò tale ente? O forse l'universo, o l'ente che lo creò, esistevano da sempre, e non ebbero alcun bisogno di essere creati in un preciso momento. Fino a poco tempo fa gli scienziati avevano la tendenza a evitare tali interrogativi, ritenendoli di competenza della metafisica o della religione più che della scienza. Negli ultimissimi anni, però, è emersa l'idea che le leggi della scienza potrebbero essere state valide anche all'inizio dell'universo. In tal caso l'universo stesso potrebbe essere autosufficiente, e determinato per intero da esse. La discussione sul problema se, e come, l'universo abbia avuto inizio, è continuata lungo tutto il corso della storia. Fondamentalmente ci sono state due scuole di pensiero. Molte tradizioni antiche, e le religioni ebraica, cristiana e islamica, credettero in una creazione dell'universo, che situarono in un passato piuttosto recente. (Nel Seicento il vescovo Ussher calcolò per la creazione dell'universo la data del 4004 a.C., numero a cui pervenne sommando le età raggiunte da vari personaggi elencati nell'Antico Testamento.) A sostegno dell'idea di un'origine recente si citò anche il fatto che l'uomo presenta una chiara evoluzione culturale e tecnologica. Noi ricordiamo chi ha compiuto per primo una certa azione o chi ha sviluppato per primo una determinata tecnica. Perciò, continua il ragionamento, non possiamo esistere da un tempo molto lungo, altrimenti saremmo già progrediti oltre il livello attuale. In effetti la data biblica della creazione non è molto lontana dalla data dell'ultima glaciazione, che corrisponde a quanto pare all'apparizione dell'uomo moderno. D'altro canto ci furono pensatori, come il filosofo greco Aristotele, ai quali non piacque l'idea che l'universo avesse avuto un inizio. Essi pensavano che un inizio dell'universo implicasse un intervento divino e preferivano credere che l'universo esistesse da sempre e che avrebbe continuato a esistere per sempre. Una cosa eterna era più perfetta di una cosa che doveva essere creata. Essi avevano una risposta al ragionamento sul progresso umano citato sopra: diluvi periodici o altri disastri naturali avevano riportato ripetutamente il genere umano agli inizi. Entrambe le scuole di pensiero ritenevano che l'universo fosse essenzialmente immutabile nel tempo. O era stato creato nella sua forma attuale o era sempre stato come lo si osservava al presente. Era una convinzione naturale poiché la vita umana, e in effetti l'intera storia documentata, è così breve che durante il suo corso l'universo non presenta mutamenti significativi. In un universo statico, immutabile, il problema se l'universo esista da sempre o sia stato creato in un tempo finito in passato è effettivamente un argomento per la metafisica o la religione: ognuna delle due teorie potrebbe spiegarlo. Nel 1781 il filosofo Immanuel Kant scrisse un'opera monumentale e molto difficile, la Critica della ragion pura, nella quale concluse che ci sono argomenti ugualmente validi per credere che l'universo abbia avuto un inizio e per credere che non lo abbia avuto. Come suggerisce il titolo, le sue conclusioni si fondavano semplicemente sulla ragione; in altri termini, non tenevano alcun conto delle osservazioni sull'universo. Dopo tutto, in un universo immutabile, che cosa c'era da osservare? Nell'Ottocento, però, cominciarono ad accumularsi prove del fatto che la Terra, e tutti gli altri corpi dell'universo, sono soggetti a un continuo mutamento. I geologi si resero conto che la

formazione delle rocce, e dei fossili in esse contenuti, avevano richiesto centinaia o migliaia di milioni di anni. Periodi del genere erano molto più lunghi dell'età della Terra calcolata dai creazionisti. Altre prove furono fornite dal cosiddetto secondo principio della termodinamica formulato dal fisico tedesco Ludwig Boltzmann. Esso afferma che la quantità totale di disordine nell'universo (la quale è misurata da una quantità detta entropia) aumenta sempre col tempo. Questo principio, come l'argomento del progresso umano, induce a pensare che l'universo possa esistere solo da un tempo finito; in caso contrario esso sarebbe infatti degenerato in uno stato di completo disordine, in cui ogni cosa avrebbe la stessa temperatura. Un'altra difficoltà connessa all'idea di un universo statico era che, secondo la legge di gravitazione di Newton, ogni stella esistente nell'universo dovrebbe essere attratta verso ogni altra stella. In questo caso, come potevano le stelle rimanere immobili, a una distanza costante l'una dall'altra? Non avrebbero dovuto cadere l'una sull'altra? Newton si rese conto di questo problema. In una lettera a Richard Bentley, uno fra i filosofi principali del suo tempo, ammise che una collezione finita di stelle non avrebbe potuto restare immobile: le stelle sarebbero cadute tutte verso un qualche punto centrale. Se però le stelle fossero state in numero infinito non sarebbero cadute l'una sull'altra, in quanto non ci sarebbe stato un punto centrale a fungere da baricentro. Questo ragionamento è un esempio dei trabocchetti in cui si può cadere quando si parla di sistemi infiniti. Usando modi diversi per sommare le forze che agiscono su ogni stella dal numero infinito delle altre stelle esistenti nell'universo, si possono ottenere soluzioni diverse del problema se le stelle possano restare a distanze costanti l'una dall'altra. Oggi sappiamo che il procedimento corretto è quello consistente nel considerare il caso di una regione finita di stelle, e poi aggiungere altre stelle, distribuite in modo abbastanza uniforme all'esterno della regione. Un gruppo finito di stelle cadranno verso il comune centro di gravità e, secondo la legge di Newton, l'aggiunta di altre stelle all'esterno della regione considerata non arresterà il collasso. Così una collezione infinita di stelle non potrà rimanere in uno stato di immobilità. Se le stelle non hanno moti l'una relativamente all'altra, l'attrazione esistente fra loro le condurrà ineluttabilmente a cadere l'una sull'altra. Oppure, alternativamente, possono muoversi allontanandosi l'una dall'altra, con la gravità che in questo caso rallenterebbe costantemente la velocità di recessione. Nonostante queste difficoltà connesse all'idea di un universo statico e immutabile, nessuno, fra il Seicento e l'inizio del Novecento, suggerì l'ipotesi che l'universo potesse evolversi nel tempo. Sia Newton sia Einstein si lasciarono sfuggire l'occasione di predire che l'universo dovesse essere in contrazione o in espansione. In realtà non si può imputare questo errore a Newton, poiché egli visse due secoli e mezzo prima della scoperta d'osservazione dell'espansione dell'universo. Einstein, però, avrebbe dovuto essere più accorto. La teoria della relatività generale da lui formulata nel 1915 prediceva che l'universo doveva essere in espansione. Egli rimase però così convinto della staticità dell'universo da aggiungere un termine extra alla sua teoria per riconciliarla con la teoria di Newton e controbilanciare l'effetto della gravità. La scoperta che l'universo è in espansione, compiuta nel 1929 da Edwin Hubble, mutò completamente la discussione sulla sua origine. Se consideriamo la recessione delle galassie quale ci è nota attualmente e ne invertiamo la direzione allo scopo di ricostruire la storia passata dell'universo, vediamo che in un'epoca compresa fra dieci e venti miliardi di anni fa le galassie dovettero essere tutte accalate l'una sull'altra. A quel tempo una singolarità chiamata il big bang, la densità dell'universo e la curvatura dello spazio-tempo dovettero essere infinite. In tali condizioni tutte le leggi scientifiche note verrebbero meno. Questo sarebbe un totale disastro per la scienza. Ciò significherebbe che la

scienza da sola non sarebbe in grado di predire come ebbe inizio l'universo. Tutto ciò che la scienza poteva dire era: l'universo è oggi così com'è perché ieri era così com'era; ma non poteva spiegare perché l'universo fosse com'era subito dopo il big bang. Non sorprende che molti scienziati non fossero soddisfatti di questa conclusione. Ci furono quindi vari tentativi per evitare la conclusione che dovesse esserci una singolarità del big bang, e quindi un inizio del tempo. Uno di questi tentativi fu la cosiddetta teoria dello stato stazionario. La teoria ipotizzava che, a mano a mano che le galassie si allontanavano fra loro, nuove galassie si formassero negli spazi interposti, da materia che veniva creata di continuo. L'universo sarebbe esistito, e avrebbe continuato a esistere per sempre press'a poco nello stesso stato attuale. Perché l'universo continuasse a espandersi e perché si creasse nuova materia, il modello dello stato stazionario richiedeva una modificazione della relatività generale, ma il ritmo richiesto di creazione di nuova materia era molto piccolo: circa una particella per chilometro cubo all'anno, cosa che non avrebbe creato alcun conflitto con l'osservazione. La teoria prediceva anche che la densità media delle galassie e di oggetti simili dovesse essere costante sia nello spazio sia nel tempo. Una rassegna delle radiosorgenti fuori della nostra galassia compiuta da Martin Ryle e dal suo gruppo a Cambridge mostrò però che il numero delle sorgenti deboli era molto più elevato di quello delle sorgenti intense. In media, ci si doveva attendere che le sorgenti deboli fossero quelle più lontane. C'erano quindi due possibilità: o ci troviamo in una regione dell'universo in cui le sorgenti molto intense sono meno frequenti della media; oppure la densità delle sorgenti era superiore in passato, quando la luce lasciò le sorgenti più lontane nel suo viaggio verso di noi. Nessuna di queste possibilità era compatibile con la predizione della teoria dello stato stazionario che la densità delle radiosorgenti debba essere costante nello spazio e nel tempo. Il colpo finale alla teoria fu la scoperta, compiuta nel 1964 da Arno Penzias e Robert Wilson, di una radiazione di fondo a microonde proveniente da oltre la nostra galassia. Questo fondo di radiazione aveva lo spettro di radiazione caratteristico di un corpo caldo, anche se in questo caso la parola "caldo" non è molto appropriata, trattandosi di una temperatura superiore di soli 2,7 gradi allo zero assoluto. L'universo è un luogo freddo e buio! Nella teoria dello stato stazionario non c'era alcun meccanismo ragionevole che potesse generare un tale spettro. La teoria dovette perciò essere abbandonata. Un'altra idea che avrebbe evitato una singolarità del big bang fu proposta nel 1963 da due scienziati russi, Evgenij Lifshitz e Isaac Khalatnikov. Essi dissero che poteva verificarsi uno stato di densità infinita solo se le galassie fossero state in movimento diretto le une verso le altre, o in direzione diametralmente opposta; solo in questo caso esse si sarebbero incontrate in un singolo punto, nel futuro o nel passato. Ma le galassie avevano anche qualche piccola velocità laterale, cosa che faceva considerare possibile che in passato ci fosse stata una fase anteriore di contrazione dell'universo in cui esse potrebbero essere state molto vicine fra loro, riuscendo però in qualche modo a evitare di colpirsi. In questo caso l'universo potrebbe essere tornato a espandersi senza passare per uno stato di densità infinita. Quando Lifshitz e Khalatnikov formularono questa ipotesi, io ero un perfezionando ed ero alla ricerca di un problema da affrontare nella mia tesi di dottorato. Ero interessato al problema se ci fosse stata una singolarità del big bang, poiché era un problema cruciale per la comprensione dell'origine dell'universo. Assieme a Roger Penrose sviluppai un nuovo insieme di tecniche matematiche per occuparmi di questo problema e di problemi simili. Mostriamo che, se la relatività generale era corretta, qualsiasi modello ragionevole di universo doveva iniziare con una singolarità. Ciò significava che la scienza poteva predire che l'universo doveva avere avuto un inizio, ma che non poteva predire come l'universo

doveva cominciare, poiché tale compito, era di competenza di Dio. È stato interessante osservare il cambiamento d'atteggiamento nei confronti delle singolarità. Quando ero un perfezionando, quasi nessuno le prendeva sul serio. Oggi, in conseguenza dei teoremi sulla singolarità, quasi tutti pensano che l'universo sia cominciato con una singolarità, in coincidenza con la quale le leggi della fisica sarebbero venute meno. Io penso però che, pur essendoci una singolarità, le leggi della fisica possono tuttavia determinare in che modo l'universo abbia avuto inizio. La teoria generale della relatività è considerata una teoria classica. Ciò significa che essa non tiene conto del fatto che le particelle non hanno posizioni e velocità definite esattamente, ma sono "disperse" su una piccola regione per opera del principio di indeterminazione della meccanica quantistica, la quale non permette di misurare simultaneamente posizione e velocità. In situazioni normali questa limitazione non ha alcuna incidenza, poiché il raggio di curvatura dello spazio-tempo è molto grande rispetto all'incertezza nella posizione di una particella. I teoremi delle singolarità indicano però che all'inizio della presente fase di espansione dell'universo lo spazio-tempo doveva essere molto distorto, con un piccolo raggio di curvatura. In questa situazione il principio di indeterminazione avrà un'importanza grandissima. Così la relatività generale determina il proprio crollo predicendo l'esistenza di singolarità. Per discutere l'inizio dell'universo abbiamo bisogno di una teoria che combini la relatività generale con la meccanica quantistica. Questa teoria è la gravità quantistica. Noi non conosciamo ancora esattamente la forma che la teoria corretta della gravità quantistica assumerà: la candidata migliore che abbiamo attualmente è la teoria delle supercorde (o delle superstringhe), ma ci sono ancora varie difficoltà da risolvere. Ci si può attendere però che certi caratteri siano presenti in qualsiasi teoria vitale. Uno di questi è l'idea di Einstein che gli effetti della gravità possano essere rappresentati da uno spazio-tempo incurvato o distorto dalla materia ed energia in esso presenti. In questo spazio incurvato gli oggetti cercano di seguire l'itinerario il più possibile vicino a una linea retta. Poiché però lo spazio è curvo, le loro traiettorie appaiono incurvate come da un campo gravitazionale. Un altro elemento che ci attendiamo di trovare nella teoria definitiva è la proposta di Richard Feynman che la teoria quantistica possa essere formulata come una somma delle storie. Nella sua forma più semplice, l'idea è che ogni particella abbia qualsiasi traiettoria, o storia, possibile nello spaziotempo. Ogni traiettoria, o ogni storia, ha una probabilità che dipende dalla sua forma. Perché quest'idea funzioni si devono considerare storie che si verificano nel tempo immaginario, più che nel tempo reale in cui percepiamo la nostra esistenza. Il tempo immaginario può dare l'idea di qualcosa di fantascientifico, ma è un concetto matematico ben definito. In un certo senso, può essere concepito come una direzione del tempo che è ad angoli retti rispetto al tempo reale. Si sommano le probabilità per tutte le storie di particelle dotate di certe proprietà, come il fatto di passare per certi punti in certi tempi. Si deve poi estrapolare il risultato a ritroso allo spazio-tempo reale in cui viviamo. Questo non è l'approccio più familiare alla teoria quantistica, ma fornisce gli stessi risultati di altri metodi. Nel caso della gravità quantistica, l'idea di Feynman di una somma delle storie implicherebbe la somma di diverse storie possibili per l'universo, ossia di diversi spazi-tempi curvi. Questi rappresenterebbero la storia dell'universo, e di tutto ciò che è presente in esso. Si deve specificare quale classe di possibili spazi curvi dovrebbero essere inclusi nella somma delle storie. La scelta di questa classe di spazi determina in quale stato l'universo si trovi. Se la classe di spazi curvi che definisce lo stato dell'universo comprendesse spazi con singolarità, le probabilità di tali spazi non sarebbero determinate dalla teoria. Le probabilità dovrebbero essere invece assegnate in un qualche modo arbitrario. Ciò significa che la

scienza non potrebbe predire le probabilità di tali storie singolari per lo spazio-tempo. Così essa non potrebbe predire come dovrebbe comportarsi l'universo. Può darsi però che l'universo si trovi in uno stato definito da una somma comprendente solo spazi incurvati non singolari. In questo caso la storia dell'universo potrebbe essere determinata completamente dalle leggi della scienza; non ci sarebbe bisogno di appellarsi a qualche agente esterno all'universo per determinare in che modo esso abbia avuto inizio. In un certo senso, la proposta che lo stato dell'universo sia determinato dalla somma solo di storie non singolari è paragonabile all'ubriaco che cerca la chiave sotto il lampione: può darsi che non sia quello il posto in cui ha perso la chiave, ma è il solo posto dove potrebbe trovarla. Similmente, l'universo potrebbe non essere nello stato definito da una somma di storie non singolari, ma quello è l'unico stato in cui la scienza potrebbe prevedere come l'universo dovrebbe essere. Nel 1983 Jim Hartle e io proponemmo che lo stato dell'universo dovrebbe essere dato da una somma di una certa classe di storie. Questa classe consisterebbe di spazi curvi senza singolarità, di dimensioni finite ma senza confini o bordi. □ Essi sarebbero come la superficie della Terra, ma con due dimensioni di più. La superficie della Terra ha un'area finita, ma non ha singolarità, confini o bordi. L'ho verificato sperimentalmente: ho fatto il giro del mondo ma non sono caduto giù. La proposta formulata da Hartle e da me può essere parafrasata così: la condizione al contorno dell'universo è che esso non ha contorno o confine. Solo se l'universo è in questo stato di assenza di confine le leggi della scienza sono in grado di determinare autonomamente le probabilità di ogni possibile storia. Così, solo in questo caso le leggi note determinerebbero come l'universo debba comportarsi. Se l'universo si trova in qualsiasi altro stato, la classe degli spazi curvi nella somma delle storie comprenderà spazi con singolarità. Per determinare le probabilità di tali storie singolari, si dovrebbe invocare un qualche principio diverso dalle leggi note della scienza. Questo principio sarebbe qualcosa di esterno al nostro universo e noi non potremmo dedurlo dal suo interno. Se invece l'universo si trova nello stato dell'assenza di contorno, noi potremmo, in linea di principio, determinare completamente in che modo l'universo dovrebbe comportarsi, fino ai limiti del principio di indeterminazione. Sarebbe chiaramente bello per la scienza se l'universo si trovasse in uno stato di assenza di contorno, ma come possiamo dire se sia o no così? La risposta è che la proposta dell'assenza di contorno fa predizioni ben precise su come l'universo dovrebbe comportarsi. Se queste predizioni non dovessero accordarsi con l'osservazione, potremmo concluderne che l'universo non è nello stato dell'assenza di contorno. La proposta dell'assenza di contorno è quindi una buona teoria scientifica nel senso definito dal filosofo Karl Popper: essa può essere confutata o "falsificata" dall'osservazione. Se le osservazioni non concorderanno con le predizioni, sapremo che nella classe delle storie possibili devono esserci delle singolarità. Questo è però press'a poco tutto ciò che sappiamo. Noi non saremmo in grado di calcolare le probabilità delle storie singolari, e non potremmo quindi predire in che modo dovrebbe comportarsi l'universo. Qualcuno potrebbe pensare che quest'imprevedibilità, se fosse occorsa solo al big bang, non avrebbe molta importanza; dopo tutto, stiamo parlando di qualcosa che è accaduto dieci o venti miliardi di anni fa. Ma se la prevedibilità è venuta meno negli intensissimi campi gravitazionali del big bang, potrebbe venir meno anche in ogni collasso stellare: cosa che potrebbe accadere varie volte la settimana nella nostra sola galassia. Il nostro potere di predizione sarebbe molto modesto persino in confronto ai livelli di successo conseguiti nella previsione del tempo. Ovviamente, qualcuno potrebbe dire che non c'è alcuna ragione di preoccuparsi se viene meno la prevedibilità nel collasso di una stella lontana. Nella teoria quantistica, però, può accadere e accadrà qualsiasi cosa non sia effettivamente proibita;



perciò, se la classe delle storie possibili include spazi con singolarità, queste singolarità potrebbero verificarsi dappertutto, e non solo nel big bang e nei collassi stellari. Ciò comporterebbe l'impossibilità per noi di prevedere qualsiasi cosa. Inversamente, la possibilità di predire eventi è una prova sperimentale contro l'esistenza di singolarità e a sostegno dell'ipotesi dell'assenza di contorno. Che cosa predice dunque la proposta dell'assenza di contorno per l'universo? La prima osservazione da fare è che, poiché tutte le storie possibili per l'universo sono in quantità finita, qualsiasi quantità si usi come misura del tempo avrà un valore massimo e un valore minimo. L'universo avrà perciò un inizio e una fine. L'inizio nel tempo reale sarà la singolarità del big bang. L'inizio in un tempo immaginario non sarà però una singolarità. Sarà invece un po' come il Polo nord della Terra. Se si considerano i gradi della latitudine sulla superficie della Terra come analoghi al tempo, si potrebbe dire che la superficie della Terra cominci al Polo nord. Il Polo nord, però, è un punto della superficie terrestre che non può vantare alcuna speciale distinzione rispetto a qualsiasi altro punto. In esso non c'è niente di speciale, e al Polo nord valgono le stesse leggi che in qualsiasi altro luogo sulla Terra. Similmente, l'evento che potremmo scegliere di considerare "l'inizio dell'universo nel tempo immaginario" sarebbe un punto comunissimo nello spazio-tempo, in nulla diverso da qualsiasi altro punto. Le leggi della scienza varrebbero tanto al principio come in qualsiasi altro momento. Dall'analogia con la superficie della Terra potremmo attenderci che la fine dell'universo fosse simile all'inizio, esattamente come il Polo nord è molto simile al Polo sud. Il Polo nord e il Polo sud corrispondono però all'inizio e alla fine della storia dell'universo nel tempo immaginario, non nel tempo reale della nostra esperienza. Se si estrapolano i risultati della somma delle storie dal tempo immaginario al tempo reale, si trova che l'inizio dell'universo nel tempo reale può essere molto diverso dalla sua fine. Jonathan Halliwell e io abbiamo compiuto un calcolo approssimato di che cosa implicherebbe la condizione dell'assenza di contorno. Abbiamo trattato l'universo come una scena quasi perfettamente regolare e uniforme, con solo piccole perturbazioni di densità. Nel tempo reale l'universo ci apparirebbe iniziare la sua espansione a partire da un raggio estremamente piccolo. Dapprima l'espansione sarebbe la cosiddetta espansione inflazionaria: in essa l'universo raddoppierebbe di dimensioni a ogni piccolissima frazione di secondo, proprio come i prezzi raddoppiano ogni anno in certi paesi. Il record mondiale per l'inflazione economica fu probabilmente la Germania dopo la prima guerra mondiale, quando in pochi mesi il prezzo di una pagnotta passò da meno di un marco a milioni di marchi. Questo però non è nulla rispetto all'inflazione che pare sia occorsa all'inizio dell'universo: un aumento di grandezza di un fattore di almeno mille miliardi di miliardi di miliardi di volte in una piccolissima frazione di secondo. Ciò avvenne, ovviamente, prima del governo attuale. L'inflazione fu una buona cosa, nel senso che produsse un universo regolare e uniforme su grande scala, con l'espansione che procedeva esattamente al ritmo critico per evitare il collasso. L'inflazione fu una buona cosa anche nel senso che produsse tutte le cose contenute nell'universo letteralmente dal nulla. Quando l'universo era soltanto un punto, come il Polo nord, non conteneva niente. Eppure oggi, nella parte di universo che possiamo osservare, ci sono almeno  $10^{11}$  particelle. Da dove sono venute tutte queste particelle? La risposta è che la relatività e la meccanica quantistica permettono la creazione di materia dall'energia, sotto forma di coppie di particelle e antiparticelle. E da dove venne l'energia per creare questa materia? La risposta è che fu presa a prestito dall'energia gravitazionale dell'universo. L'universo ha un debito immenso di energia gravitazionale negativa, la quale controbilancia esattamente l'energia positiva della materia. Durante il periodo inflazionario l'universo ha attinto massicciamente

dalla sua energia gravitazionale per finanziare la creazione di altra materia. Il risultato fu un trionfo per l'economia keynesiana: un universo vigoroso e in espansione, pieno di oggetti materiali. Il debito di energia gravitazionale non dovrà essere pagato sino alla fine dell'universo. L'universo primordiale non può essere stato completamente omogeneo e uniforme perché in tal caso avrebbe violato il principio di indeterminazione della meccanica quantistica; in esso devono esserci stati piccoli scostamenti dalla densità uniforme. La proposta dell'assenza di contorno implica che queste differenze di densità abbiano avuto inizio nel loro stato fondamentale- esse devono essere state cioè il più possibile piccole, in accordo col principio di indeterminazione. Durante l'espansione inflazionaria, però, le differenze si sarebbero amplificate. Una volta terminato questo periodo rimase un universo che si espandeva in alcuni luoghi più velocemente che in alcuni altri. In regioni di espansione più lenta, l'attrazione gravitazionale della materia avrebbe rallentato ancor più l'espansione. Infine una tale regione avrebbe smesso di espandersi e si sarebbe contratta a formare galassie e stelle. Così la proposta dell'assenza di contorno può spiegare la struttura complessa che noi osserviamo attorno a noi. Essa non fa però una sola predizione per l'universo, ma predice un'intera famiglia di storie possibili, ognuna con la sua propria probabilità. Potrebbe esserci una storia in cui il Partito laburista ha vinto le ultime elezioni in Gran Bretagna, anche se forse la probabilità è bassa. La proposta dell'assenza di contorno ha profonde implicazioni per il ruolo di Dio negli affari dell'universo. Oggi è universalmente accettata la tesi che l'universo si evolve secondo leggi ben definite. Queste leggi possono essere state ordinate da Dio, ma pare che Egli non intervenga nell'universo a violarle. Fino a poco tempo fa, però, si pensava che queste leggi non si applicassero all'inizio dell'universo. Dio si sarebbe assunto il compito di caricare l'orologio, facendo così andare l'universo nel modo da Lui voluto. Lo stato presente dell'universo sarebbe quindi il risultato della scelta delle condizioni iniziali da parte di Dio. La situazione sarebbe però molto diversa se valesse per esempio qualcosa di simile alla proposta dell'assenza di contorno. In questo caso le leggi della fisica opererebbero anche all'inizio dell'universo, cosicché Dio non avrebbe la libertà di scegliere le condizioni iniziali. Egli sarebbe ovviamente ancora libero di scegliere le leggi alle quali l'universo ha obbedito e obbedisce nella sua evoluzione. Questa potrebbe non essere però una grande scelta. Non possono infatti probabilmente essere molte le leggi autoconsistenti in grado di condurre a esseri complicati come noi, capaci di porsi la domanda: *“Qual è la natura di Dio?”*. E anche se ci fosse un unico insieme di leggi possibili, esso sarebbe solo un insieme di equazioni. Che cos'è che insuffla il fuoco nelle equazioni, dando loro un universo da governare? La teoria unificata definitiva è così cogente da determinare la propria esistenza? Benché la scienza possa risolvere il problema di come l'universo ha avuto inizio, non è in grado di rispondere alla domanda: *“Perché l'universo si è dato la pena di esistere?”*. Io non ho una risposta da dare.

## 9 □ *LA MECCANICA QUANTISTICA DEI BUCHI NERI.*

*Articolo pubblicato in "Scientific American", gennaio 1977.*

[Una traduzione italiana, di G. Piccinotti, è stata pubblicata da "Le Scienze", 105 (maggio 1977), pp. 38-44. L'articolo è qui ritradotto per l'occasione.

Nei primi trent'anni di questo secolo videro l'emergere di tre teorie che modificarono radicalmente l'immagine della fisica e della realtà stessa. I fisici stanno ancora tentando di investigarne le implicazioni e di acquisirne una visione unitaria. Le tre teorie sono la teoria della relatività ristretta (1905), la teoria della relatività generale (1915) e la teoria della meccanica quantistica (c. 1926). La prima fu in gran parte opera di Einstein, che fu inoltre totalmente responsabile della seconda e svolse un ruolo importante nello sviluppo della terza. Eppure Einstein non accettò mai la meccanica quantistica a causa del suo elemento di probabilità e di incertezza. Il suo pensiero in proposito è compendiato dalla sua frase spesso citata "Dio non gioca a dadi". La maggior parte dei fisici accettò invece prontamente sia la relatività ristretta sia la meccanica quantistica, poiché descrivevano effetti che potevano essere osservati direttamente. La relatività generale fu invece in gran parte ignorata perché sembrava matematicamente troppo complicata, perché non era verificabile in laboratorio e perché era una teoria puramente classica, che non sembrava compatibile con la meccanica quantistica. Così la relatività generale ristagnò per una cinquantina d'anni. La grande espansione delle osservazioni astronomiche che cominciò all'inizio degli anni sessanta portò con sé una ripresa d'interesse per la teoria classica della relatività generale, poiché sembrava che molti dei nuovi fenomeni che venivano scoperti, come quasar, pulsar e sorgenti compatte di raggi X, indicassero l'esistenza di campi gravitazionali molto intensi, che potevano essere descritti solo dalla relatività generale. I quasar sono oggetti apparentemente simili a stelle, i quali devono essere però molte volte più luminosi di intere galassie se sono così lontani come indica l'arrossamento dei loro spettri; le pulsar sono residui di supernovae i quali emettono segnali rapidamente pulsanti, e si ritiene siano stelle di neutroni di densità elevatissima; le sorgenti compatte di raggi X, rivelate da strumenti a bordo di veicoli spaziali, potrebbero essere anch'esse stelle di neutroni, oppure oggetti ipotetici di densità ancora più elevata, vale a dire buchi neri. Uno fra i problemi che si posero ai fisici desiderosi di applicare la relatività generale a questi oggetti, scoperti di recente e in parte ancora ipotetici, fu quello di rendere la relatività generale compatibile con la meccanica quantistica. Alcuni sviluppi degli ultimi anni legittimano la speranza che fra non molto si possa avere una teoria quantistica della gravità perfettamente coerente, la quale si accordi con la relatività generale per gli oggetti macroscopici e, si spera, sia esente dagli infiniti matematici che hanno travagliato per molto tempo altre teorie quantistiche dei campi. Questi sviluppi hanno attinenza con certi effetti quantistici di cui si è da poco sviluppata la teoria, i quali sono associati ai buchi neri e forniscono una connessione degna di nota fra i buchi neri e le leggi della termodinamica. Vorrei descrivere brevemente come potrebbe formarsi un buco nero. Immaginiamo una stella di massa dieci volte maggiore di quella del Sole. Nel corso della maggior parte della sua vita di un miliardo di anni circa, la stella genera calore al suo interno grazie alla conversione di idrogeno in elio. L'energia liberata creerà una pressione sufficiente a sostenere la stella contro la propria gravità, dando origine a un oggetto con un raggio cinque volte circa maggiore di quello del Sole. La velocità di fuga dalla superficie di una tale stella sarebbe di circa 1.000 chilometri al secondo. In altri termini, un oggetto

sparato verticalmente verso l'alto dalla superficie della stella con una velocità di meno di 1.000 km/sec sarebbe trascinato indietro dal campo gravitazionale della stella e ricadrebbe sulla sua superficie, mentre un oggetto dotato di una velocità maggiore evaderebbe verso l'infinito. Una volta che la stella abbia esaurito il suo combustibile nucleare, non ci sarà più nulla che possa conservarne la pressione interna verso l'esterno, e la stella comincerà a collassare a causa della sua gravità. Al contrarsi della stella, il campo gravitazionale alla sua superficie diventerà più intenso, determinando un aumento della velocità di fuga. Se il raggio diminuisse fino a 30 km, la velocità di fuga raggiungerebbe il valore di 300.000 km/sec, la velocità della luce. Da quel momento in poi neppure la luce sarebbe più in grado di uscire dalla stella, ma sarebbe trascinata indietro dal campo gravitazionale. Secondo la teoria della relatività ristretta nulla può muoversi più velocemente della luce, cosicché, se la luce non può evadere dalla stella, non ci riuscirà nient'altro. La stella sarebbe diventata ora un buco nero: una regione di spazio-tempo da cui non può ormai più uscire nulla. Il confine del buco nero viene detto orizzonte degli eventi. Esso corrisponde a un fronte d'onda di luce della stella che per strettissima misura non riesce più a evadere verso l'infinito ma rimane sospeso in corrispondenza del raggio di Schwarzschild:  $2GM/c$ , dove  $G$  è la costante gravitazionale di Newton,  $M$  è la massa della stella e  $c$  è la velocità della luce. Per una stella di circa dieci masse solari, il raggio di Schwarzschild è di circa 30 km. Oggi ci sono prove d'osservazione abbastanza buone a sostegno della tesi che buchi neri press'a poco di questa grandezza esistano in sistemi di stelle doppie come la sorgente di raggi X nota come Cygnus X-1. Potrebbero esistere, disseminati nell'universo, anche numerosi buchi neri molto piccoli, formati non dal collasso di stelle bensì da quello di regioni altamente compresse nel mezzo denso e caldissimo che sarebbe esistito poco dopo il big bang che diede origine all'universo. Questi buchi neri "primordiali" sono di grandissimo interesse per gli effetti quantistici che descriverò qui di seguito. Un buco nero del peso di un miliardo di tonnellate (grosso modo la massa di una montagna) avrebbe un raggio di circa 10-13 CM (la grandezza di un neutrone o di un protone). Esso potrebbe essere in orbita o attorno al Sole o attorno al centro della Galassia. Il primo indizio di una possibile connessione fra i buchi neri e la termodinamica fu fornito dalla scoperta matematica, compiuta nel 1970, che l'area della superficie dell'orizzonte degli eventi, il confine di un buco nero, ha la proprietà di crescere sempre quando altra materia o radiazione cade nel buco nero. Inoltre, se due buchi neri entrano in collisione e si fondono a formare un singolo buco nero, l'area dell'orizzonte degli eventi attorno al nuovo buco nero è maggiore della somma delle aree degli orizzonti degli eventi attorno ai buchi neri originari. Queste proprietà suggeriscono che ci sia una somiglianza fra l'area dell'orizzonte degli eventi di un buco nero e il concetto di entropia in termodinamica. L'entropia può essere considerata una misura del disordine di un sistema o, cosa equivalente, una mancanza di conoscenza del suo stato esatto. Il famoso secondo principio della termodinamica dice che l'entropia continua a crescere col tempo. L'analogia fra le proprietà dei buchi neri e i principi della termodinamica è stata estesa da James M. Bardeen dell'Università di Washington, da Brandon Carter, che è attualmente all'Osservatorio di Meudon, e da me. Il primo principio della termodinamica dice che un piccolo mutamento nell'entropia di un sistema è accompagnato da un mutamento proporzionale nell'energia del sistema. Il fattore di proporzionalità viene chiamato la temperatura del sistema. Bardeen, Carter e io troviamo una legge simile che mette in relazione una variazione nella massa di un buco nero con una variazione dell'area dell'orizzonte degli eventi. Qui il fattore di proporzionalità implica una quantità chiamata gravità alla superficie, che è una misura dell'intensità del campo gravitazionale

all'altezza dell'orizzonte degli eventi. Se si accetta l'ipotesi che l'arca dell'orizzonte degli eventi sia analoga all'entropia, la gravità alla superficie dovrebbe risultare la stessa in tutti i punti sull'orizzonte degli eventi, così come la temperatura è uguale dappertutto in un corpo in equilibrio termico. Pur essendoci chiaramente una somiglianza fra l'entropia e l'arca dell'orizzonte degli eventi, non ci era chiaro in che modo l'arca potesse essere identificata come l'entropia di un buco nero. Che cosa si doveva intendere per entropia di un buco nero? Il suggerimento decisivo fu avanzato nel 1972 da Jacob D. Bekenstein, che stava allora studiando per il dottorato a Princeton e che oggi insegna all'Università del Negev in Israele. Il suo ragionamento è press'a poco il seguente. Quando, in conseguenza del collasso gravitazionale, si forma un buco nero, esso viene a trovarsi rapidamente in uno stato stazionario, che è caratterizzato da tre soli parametri: massa, momento angolare e carica elettrica. Al di fuori di queste tre proprietà, il buco nero non conserva alcun altro particolare dell'oggetto collassato. Questa conclusione, nota come il teorema "*Un buco nero non ha peli*", fu dimostrata dalle ricerche congiunte di Carter, di Werner Israel dell'Università di Alberta, di David C. Robinson del King's College di Londra e mie. Il teorema dell'assenza di peli implica che, in un collasso gravitazionale, si perde una grande quantità d'informazione. Per esempio, lo stato finale del buco nero è indipendente dal fatto che il corpo collassato fosse formato da materia o da antimateria, e che fosse sferico o avesse una forma altamente irregolare. In altri termini, un buco nero di massa, momento angolare e carica elettrica dati potrebbe essere il risultato del collasso di una qualsiasi di un gran numero di configurazioni diverse della materia. In effetti, se si trascurano gli effetti quantistici, il numero di configurazioni sarebbe infinito, poiché il buco nero potrebbe essersi formato dal collasso di una nube di un numero indefinitamente grande di particelle di massa indefinitamente piccola. Il principio di indeterminazione della meccanica quantistica implica, però, che una particella di massa  $m$  si comporti come un'onda di lunghezza d'onda  $h/mc$ , dove  $h$  è la costante di Planck (il numero piccolissimo di  $6,62 \cdot 10^{-27}$  erg/sec) e  $c$  è la velocità della luce. Perché una nube di particelle possa collassare a formare un buco nero, sembrerebbe necessario che questa lunghezza d'onda fosse minore della grandezza del buco nero che deve formarsi. Pare perciò che il numero di configurazioni che potrebbero formare un buco nero di massa, momento angolare e carica elettrica dati, pur essendo molto grande, potrebbe essere finito. Bekenstein suggerì che si potrebbe interpretare il logaritmo di questo numero come l'entropia del buco nero. Il logaritmo del numero sarebbe una misura della quantità d'informazione andata irrimediabilmente perduta nel collasso attraverso l'orizzonte degli eventi nel corso della creazione di un buco nero. Il difetto apparentemente fatale nella proposta di Bekenstein sembrava essere il fatto che, se un buco nero ha un'entropia finita che è proporzionale all'area dell'orizzonte degli eventi, dovrebbe avere anche una temperatura finita, la quale sarebbe proporzionale alla sua gravità alla superficie. Ciò implicherebbe che un buco nero potrebbe essere in equilibrio con una radiazione termica a una qualche temperatura diversa da zero. Secondo i concetti classici non è però possibile alcun equilibrio del genere, dal momento che il buco nero assorbirebbe per definizione qualsiasi radiazione termica lo colpisse ma non sarebbe in grado di emettere alcunché in cambio. Questo paradosso rimase irrisolto fino all'inizio del 1974, quando investigai quale sarebbe stato il comportamento della materia in prossimità di un buco nero secondo la meccanica quantistica. Con mia grande sorpresa trovai che il buco nero sembrava emettere particelle a un ritmo costante. Come chiunque altro a quel tempo, accettavo il detto che il buco nero non poteva emettere niente. Mi impegnai quindi a fondo nel tentativo di sbarazzarmi di quest'effetto imbarazzante. Esso però tenne duro, cosicché alla fine

dovetti accettarlo. Ciò che infine mi convinse che si trattasse di un processo fisico reale era che le particelle in uscita dal buco nero hanno uno spettro esattamente termico: il buco nero crea ed emette particelle esattamente come se fosse un comune corpo caldissimo, con una temperatura direttamente proporzionale alla gravità alla superficie e inversamente proporzionale alla massa. Questo risultato rese perfettamente coerente il suggerimento di Bekenstein che un buco nero abbia un'entropia finita, implicando che un buco nero poteva essere in equilibrio termico a qualche temperatura finita diversa da zero. Da allora in poi, la dimostrazione matematica che i buchi neri possono emettere radiazione termica è stata confermata con vari approcci diversi da altri studiosi. Un modo per comprendere l'emissione è il seguente. La meccanica quantistica implica che l'intero spazio sia riempito da coppie di particelle e antiparticelle "virtuali" che si materializzano costantemente a coppie, separandosi e tornando a unirsi e annichilandosi reciprocamente. Queste particelle si dicono virtuali perché, diversamente dalle particelle "reali", *non possono essere osservate direttamente con un rivelatore di particelle. Si possono però misurare i loro effetti indiretti, e la loro esistenza è stata confermata da un piccolo spostamento (lo "spostamento di Lamb")* che esse producono nello spettro della luce emessa da atomi di idrogeno ionizzati. Ora, in presenza di un buco nero, un membro di una coppia di particelle virtuali può cadere in esso, lasciando l'altra particella senza una compagna con cui annichilarsi. La particella o antiparticella abbandonata può cadere nel buco nero dopo la compagna, ma potrebbe anche evadere verso l'infinito, manifestandosi come la radiazione emessa dal buco nero. Un altro modo di vedere questo processo è quello di considerare il membro della coppia particella-antiparticella che cade nel buco nero - per esempio l'antiparticella - come una particella reale che sta viaggiando a ritroso nel tempo. La particella che cade nel buco nero può essere così concepita come una particella che esce dal buco nero ma viaggiando a ritroso nel tempo. Quando la particella raggiunge il punto in cui la coppia particella-antiparticella si è materializzata in origine, viene diffusa dal campo gravitazionale, così che da questo istante essa viaggia in avanti nel tempo. La meccanica quantistica ha perciò permesso a una particella di sfuggire dall'interno di un buco nero, cosa che non è ammessa nella meccanica classica. Nella fisica atomica e nucleare ci sono, però, molte altre situazioni in cui ci si imbatte in un qualche tipo di barriera che le particelle non sono in grado di attraversare secondo i principi classici, mentre riescono a superarla grazie ai principi della meccanica quantistica. Lo spessore della barriera che circonda un buco nero è proporzionale alla grandezza del buco nero. Ciò significa che ben poche particelle sono in grado di evadere da un buco nero grande come quello di cui si è ipotizzato l'esistenza in Cygnus X-1, mentre possono fuggire molto rapidamente particelle da buchi neri più piccoli. Calcoli dettagliati mostrano che le particelle emesse hanno uno spettro termico corrispondente a una temperatura che aumenta rapidamente al diminuire della massa del buco nero. Per un buco nero della massa del Sole, la temperatura è superiore allo zero assoluto solo di un decimilionesimo di grado circa. La radiazione termica a tale temperatura che esce da un buco nero sarebbe completamente sommersa dal fondo generale di radiazione nell'universo. D'altro canto, un buco nero con una massa di solo un miliardo di tonnellate, ossia un buco nero primordiale, grande press'a poco quanto un protone, avrebbe una temperatura di circa 120 miliardi di kelvin, corrispondente a un'energia di circa 10 milioni di elettronvolt. A una tale temperatura, un buco nero sarebbe in grado di creare coppie elettrone-positrone e particelle di massa nulla, come fotoni, neutrini e gravitoni (i presunti portatori dell'energia gravitazionale). Un buco nero primordiale libererebbe energia a un ritmo di 6.000 megawatt, equivalente alla produzione di sei grandi centrali nucleari. Mentre un buco nero emette

particelle, la sua massa e il suo volume diminuiscono costantemente. Questo suo rimpicciolimento facilita l'evasione di un maggior numero di particelle per effetto tunnel, cosicché l'emissione continuerà a un ritmo sempre crescente, fino a quando il buco nero si sarà consumato del tutto. A lungo termine, ogni buco nero esistente nell'universo evaporerà in questo modo. Nel caso dei buchi neri più grandi, però, si richiederà un tempo lunghissimo - un buco nero della massa del Sole durerà per circa  $10^6$  anni -, mentre i buchi neri primordiali dovrebbero essere evaporati quasi totalmente nei dieci miliardi di anni che sono trascorsi dopo il big bang, l'inizio dell'universo noto. Tali buchi neri dovrebbero emettere oggi raggi gamma duri, con un'energia di circa 100 milioni di elettronvolt. I calcoli eseguiti da Don N. Page, allora al California Institute of Technology, e da me, fondati su misurazioni del fondo cosmico di radiazione gamma compiute dal satellite SAS-2, dimostrano che la densità media dei buchi neri primordiali nell'universo dev'essere inferiore a circa 200 per anno-luce cubo. La densità locale nella nostra galassia potrebbe essere un milione di volte maggiore se i buchi neri primordiali fossero concentrati "nell'alone" delle galassie - la nube rarefatta di stelle in rapido movimento che avvolge ogni galassia - anziché essere distribuiti uniformemente nell'universo. L'accettazione di questa ipotesi implicherebbe che il buco nero primordiale più vicino alla Terra dovrebbe trovarsi a una distanza da noi probabilmente non inferiore a quella del pianeta Plutone. Procederebbe così rapidamente da concludersi con una tremenda esplosione. La potenza di quest'esplosione dipenderebbe dal numero di specie diverse di particelle elementari che esistono. Se come molti oggi credono, tutte le particelle sono composte da forse sei varietà diverse di quark, l'esplosione finale avrebbe un'energia equivalente a circa dieci milioni di bombe all'idrogeno di un megaton. D'altra parte una teoria alternativa, proposta da R. Hagedorn dell'Organizzazione Europea per la Ricerca Nucleare, sostiene che esiste un numero infinito di particelle elementari di massa sempre maggiore. Diventando gradualmente più piccolo e più caldo, un buco nero emetterebbe un numero sempre maggiore di specie diverse di particelle e produrrebbe un'esplosione forse 100.000 volte più potente di quella calcolata nell'ipotesi dei quark. -Perciò l'osservazione dell'esplosione di un buco nero fornirebbe informazioni molto importanti sulla fisica delle particelle elementari, informazioni che potrebbero non essere disponibili in alcun altro modo. □ L'esplosione di un buco nero produrrebbe una grandissima emissione di raggi gamma di alta energia. Benché questi possano essere osservati da rivelatori trasportati da satelliti o da palloni stratosferici, sarebbe difficile portare nello spazio un rivelatore abbastanza grande da garantirsi una probabilità ragionevole di intercettare un numero significativo di fotoni di raggi gamma provenienti da un'esplosione. Una possibilità sarebbe quella di usare uno space shuttle per costruire un grande rivelatore di raggi gamma in orbita. Un'alternativa più facile e molto più economica sarebbe quella di usare come rivelatore l'atmosfera superiore della Terra. Un raggio gamma di alta energia, penetrando nell'atmosfera, creerebbe una pioggia di coppie di elettroni-positroni, i quali inizialmente attraverserebbero l'atmosfera più velocemente della luce. (La luce viene rallentata da interazioni con le molecole dell'aria.) Così gli elettroni e i positroni genereranno una sorta di bang supersonico, o di onda d'urto, nel campo elettromagnetico. Una tale onda d'urto, chiamata radiazione Cerenkov, potrebbe essere rivelata da terra come un lampo di luce visibile. % Un esperimento preliminare di Neil A. Porter e di Trevor C. Weekes, dell'University College di Dublino, indica che, se i buchi neri esplodono nel modo predetto dalla teoria di Hagedorn, nella nostra regione della Galassia si dovrebbero avere meno di due esplosioni di buchi neri per anno-luce cubo per secolo. Ciò implicherebbe per i buchi neri primordiali una densità inferiore a 100 milioni per anno-luce cubo.

Dovrebbe essere possibile aumentare di molto la sensibilità di tali osservazioni, le quali resterebbero tuttavia molto importanti anche se non fornissero alcuna prova concreta dell'esistenza dei buchi neri primordiali. Ponendo un piccolo limite superiore alla densità di tali buchi neri, le osservazioni indicherebbero infatti che l'universo primordiale dovette essere molto uniforme e non turbolento. Il big bang assomiglia all'esplosione di un buco nero, ma su una scala molto maggiore. Si spera perciò che una comprensione di come i buchi neri creino particelle possa condurre a una comprensione analoga di come il big bang creò tutto ciò che esiste nell'universo. In un buco nero la materia collassa e va perduta per sempre, ma nuova materia viene creata in sua vece. Può darsi perciò che ci sia stata una fase anteriore dell'universo in cui della materia collassò per essere ricreata nel big bang. Se la materia che collassa a formare un buco nero ha una carica elettrica netta, il buco nero risultante avrà la stessa carica. Ciò significa che il buco nero tenderà ad attrarre quei membri delle coppie virtuali particella-antiparticella che hanno carica di segno opposto alla sua e a respingere quelle che hanno la sua stessa carica. Il buco nero emetterà perciò di preferenza particelle con carica del suo stesso segno, e in tal modo perderà rapidamente la sua carica. Similmente, se la materia che collassa ha un momento angolare netto, il buco nero che ne risulta ruoterà, ed emetterà di preferenza particelle dotate del suo momento angolare. La ragione per cui un buco nero *“ricorda” la carica elettrica, il momento angolare e la massa della materia collassata, mentre “dimentica”* ogni altro particolare è che queste tre quantità sono accoppiate a campi a grande raggio: nel caso della carica il campo elettromagnetico e nel caso del momento angolare e della massa il campo gravitazionale. Esperimenti eseguiti da Robert H. Dicke della Princeton University e da Vladimir Braginskiv dell'Università di Stato di Mosca hanno indicato che non esiste alcun campo a grande raggio associato alla proprietà quantistica nota come numero barionico. (I barioni sono la classe di particelle che comprende il protone e il neutrone.) Perciò un buco nero formato dal collasso di una collezione di barioni dimenticherebbe il suo numero barionico e irraggierebbe quantità uguali di barioni e di antibarioni. Perciò il buco nero, sparendo, violerebbe una delle leggi predilette della fisica delle particelle, la legge della conservazione dei barioni. Benché l'ipotesi di Bekenstein che i buchi neri abbiano un'entropia finita richieda per essere coerente che i buchi neri abbiano un'irradiazione termica, sembra dapprima del tutto miracoloso che i dettagliati calcoli quantomeccanici della creazione di particelle debbano dare origine a un'emissione con uno spettro termico. La spiegazione di questo fatto è che le particelle emesse evadono per effetto tunnel dal buco nero, provenendo da una regione della quale un osservatore esterno non conosce altro che la massa, il momento angolare e la carica elettrica. Ciò significa che tutte le combinazioni o configurazioni delle particelle emesse che hanno la stessa energia, lo stesso momento angolare e la stessa carica elettrica sono egualmente probabili. Il buco nero potrebbe in effetti emettere un televisore o una collezione delle opere di Proust in dieci volumi rilegati in pelle, ma il numero di configurazioni di particelle corrispondenti a queste bizzarre possibilità è così piccolo da risultare trascurabile. Il numero di gran lunga maggiore di configurazioni corrisponde a un'emissione con uno spettro quasi termico. L'emissione dei buchi neri presenta un ulteriore grado di incertezza, o di imprevedibilità, oltre all'indeterminazione normalmente associata alla meccanica quantistica. Nella meccanica classica si possono predire i risultati della misurazione sia della posizione sia della velocità di una particella. Nella meccanica quantistica il principio di indeterminazione stabilisce che si può predire una sola di queste due misure; l'osservatore può predire il risultato della misurazione della posizione o della velocità, ma non di tutt'e due. Oppure, alternativamente, può predire il risultato



della misura di una combinazione di posizione e velocità. La capacità dell'osservatore di fare predizioni ben definite è in tal modo effettivamente dimezzata. La situazione è ancora peggiore in relazione ai buchi neri. Poiché le particelle emesse da un buco nero provengono da una regione di cui l'osservatore ha una conoscenza molto limitata, egli non è in grado di predire con precisione né la posizione né la velocità di una particella né una combinazione delle due; tutto ciò che può predire sono le probabilità che vengano emesse certe particelle. Pare perciò che Einstein sbagliasse doppiamente quando disse: *"Dio non gioca a dadi"*. La considerazione dell'emissione di particelle da parte di buchi neri sembrerebbe suggerire che Dio non solo gioca a dadi, ma a volte li getta dove non li si può vedere.

## 10 □ **BUCHI NERI E UNIVERSI NEONATI.**

*Hitchcock Lecture, tenuta all'Università della California a Berkeley, nell'aprile 1988.*

La prospettiva di cadere in un buco nero è diventata uno degli orrori della fantascienza. Oggi si può dire però che i buchi neri siano oggetto di scienza più che di fantascienza. Come vedremo, ci sono buone ragioni per predire che i buchi neri debbano esistere; e i dati d'osservazione fanno ritenere molto probabile l'esistenza di vari buchi neri nella nostra galassia, e di altri buchi neri in altre galassie. Un argomento in cui gli scrittori di fantascienza vanno veramente a nozze è la descrizione di ciò che accade quando si cade in un buco nero. Un rilievo che viene fatto abitualmente è che, se il buco nero ruota, si può cadere attraverso un piccolo buco nello spazio-tempo, per riemergere in un'altra regione dell'universo. Questa prospettiva sembrerebbe dischiudere grandi possibilità per i viaggi spaziali. In effetti avremmo bisogno di qualcosa del genere se il viaggio verso altre stelle, per non parlare di altre galassie, deve diventare una proposta concreta per il futuro. In caso contrario, il fatto che nulla possa muoversi a velocità superiori a quella della luce significa che il viaggio di andata e ritorno alla stella più vicina durerebbe almeno otto anni. Tanti quanti ce ne occorrerebbero per un weekend ad Alpha Centauri! Se invece fosse possibile attraversare un buco nero, si potrebbe riemergere in una regione qualsiasi dell'universo. Per la verità non è molto chiaro come scegliere la propria destinazione: potrebbe capitare di partire per una vacanza nella Vergine e ritrovarsi nella Nebulosa del Granchio. Mi spiace deludere gli aspiranti turisti galattici, ma questo scenario non funziona: se salti in un buco nero ne vieni lacerato e frantumato. C'è però un senso in cui le particelle che formano il tuo corpo continueranno la loro esistenza in un altro universo. Non so peraltro se possa essere di qualche consolazione a chi sia stato ridotto in polpette all'interno di un buco nero sapere che le sue particelle potrebbero sopravvivere. Nonostante il tono un po' leggero che ho adottato, questo saggio si fonda su scienza solida. La maggior parte di ciò che dico qui è oggi accettata da altri scienziati che lavorano in questo campo, anche se quest'accettazione si è verificata solo da poco tempo. L'ultima parte del saggio si fonda però su ricerche molto recenti, sulle quali non c'è ancora un consenso generale. Questa ricerca sta comunque suscitando una viva attenzione e un grande interesse. Benché il concetto di quello che noi oggi chiamiamo un "buco nero" risalga a più di due secoli fa, il nome fu introdotto nel 1967 dal fisico americano John Wheeler. Fu un colpo di genio: il nome permise ai buchi neri di entrare nella mitologia della fantascienza. Esso stimolò anche la ricerca scientifica, dando un nome preciso a qualcosa che in precedenza non lo aveva. Non si deve sottovalutare l'importanza che un buon nome ha per la scienza. A quanto so, la prima persona a introdurre il concetto di buco nero fu un docente di Cambridge di nome John Michell, in un articolo pubblicato nel 1783 nelle *"Philosophical Transactions of the Royal Society"*. L'idea di Michell era la seguente: supponiamo di sparare una palla di cannone verticalmente verso l'alto dalla superficie terrestre; la palla, mentre sale, viene rallentata di continuo dall'effetto della gravità. Infine smetterà di salire e comincerà a ricadere verso la terra. Se però avesse una velocità superiore a una certa velocità critica, non cesserebbe mai di salire e non ricadrebbe mai, ma continuerebbe ad allontanarsi. Questa velocità critica è detta velocità di fuga. Essa è di circa 11,2 km/sec per la Terra, e di circa 160 km/sec per il Sole. Entrambe queste velocità sono maggiori della velocità di una palla di cannone, ma sono molto minori della velocità della luce, che è di circa 300.000 km/sec. Ciò

significa che la gravità non ha molto effetto sulla luce, la quale può sfuggire senza grande difficoltà dalla Terra o dal Sole. Michell ragionò però che potrebbe esistere una stella di massa abbastanza grande, e di volume abbastanza piccolo, per avere una velocità di fuga maggiore della velocità della luce. Noi non potremmo vedere tale stella perché la luce irraggiata dalla sua superficie non potrebbe giungere fino a noi, essendo trascinata indietro, all'interno della stella, dal suo campo gravitazionale. Noi potremmo però scoprire l'esistenza della stella attraverso gli effetti del suo campo gravitazionale sulla materia vicina. Non è in realtà del tutto corretto trattare la luce come palle da cannone. Secondo un famoso esperimento eseguito nel 1887 da Michelson e Morley, la luce si propaga sempre alla stessa velocità costante. In che modo, quindi, la gravità può rallentare la luce? Non ci fu una teoria coerente del modo in cui la gravità influisce sulla luce fino al 1915, quando Einstein formulò la teoria generale della relatività. Le implicazioni di questa teoria per stelle vecchie e altri oggetti di grande massa non furono tuttavia generalmente riconosciute fino agli anni sessanta. Secondo la relatività generale, si può ritenere che spazio e tempo formino congiuntamente uno spazio quadridimensionale, detto spazio-tempo. Questo spazio non è piatto, bensì distorto, o incurvato, dalla materia e dall'energia in esso presenti. Noi osserviamo questa curvatura nella deflessione delle onde luminose o delle onde radio che, nel loro viaggio verso di noi, passano a breve distanza dal Sole. La deflessione della luce che passa in prossimità del Sole è in realtà molto piccola. Se però il Sole dovesse contrarsi sino ad avere un diametro di soli pochi chilometri, la deflessione sarebbe così grande che la luce irraggiata dal Sole non riuscirebbe a staccarsene, ma sarebbe trascinata indietro dal suo campo gravitazionale. Secondo la teoria della relatività, nulla può muoversi a una velocità superiore a quella della luce, cosicché ci sarebbe una regione da cui nulla potrebbe evadere. Questa regione viene detta buco nero. Il confine di un buco nero viene detto orizzonte degli eventi: esso è formato da luce che possiede esattamente la velocità critica, ossia che non è abbastanza veloce per evadere dal buco nero, ma è abbastanza veloce per non ricadere in esso, e quindi rimane sospesa immobilmente su questa superficie di confine. L'ipotesi che il Sole possa contrarsi sino ad avere un diametro di pochi chilometri potrebbe sembrare ridicola; si potrebbe pensare che la materia non possa contrarsi fino a quel punto. Ma non è così. Il Sole è così grande perché è molto caldo. Esso brucia di continuo idrogeno in elio, come una bomba H controllata. Il calore liberato nel corso di questo processo genera una pressione che permette al Sole di resistere all'attrazione della propria gravità, la quale vorrebbe renderlo più piccolo. Infine, però, il Sole esaurirà il suo combustibile nucleare. Ciò non accadrà prima di altri cinque miliardi di anni, cosicché non c'è una grande urgenza di prenotare un volo verso un'altra stella. Le stelle di massa maggiore di quella del Sole bruciano però il loro combustibile molto più rapidamente. Una volta terminato il combustibile nucleare, cominceranno a perdere calore e a contrarsi. Se hanno una massa meno che doppia di quella del Sole, cesseranno infine di contrarsi e si assesteranno in un nuovo stato stabile: quello di nana bianca. Queste stelle hanno un raggio di qualche migliaio di km, e una densità di centinaia di tonnellate per centimetro cubo. Un altro stato del genere è la stella di neutroni, la quale può avere un raggio di circa 15 km- e una densità di milioni di tonnellate per centimetro cubo. Noi possiamo osservare un gran numero di nane bianche nel nostro vicinato immediato nella Galassia. Non furono invece osservate, stelle di neutroni fino al 1967, quando Jocelyn Bell e Antony Hewish a Cambridge scoprirono oggetti, poi chiamati pulsar, che emettevano impulsi regolari di onde radio. Dapprima si chiesero se non fossero segnali provenienti da una civiltà extraterrestre; ricordo, in effetti, che l'aula di seminario in cui annunciarono la loro scoperta era decorata con figure

di *“omini verdi”*. Infine, però, loro e tutti gli altri, vennero alla conclusione meno romantica che tali oggetti fossero stelle di neutroni in rapida rotazione. Fu una brutta notizia per gli autori di western spaziali, ma una buona notizia per il piccolo numero di noi che a quel tempo credevano ai buchi neri. Se alcune stelle potevano contrarsi fino a ridursi a un diametro compreso tra 15 e 30 km e così diventare stelle di neutroni, ci si poteva attendere che altre stelle potessero contrarsi ancora di più fino a diventare buchi neri. Una stella di massa più che doppia di quella del Sole non può assestarsi come una nana bianca o come una stella di neutroni. In qualche caso la stella può esplodere e liberarsi di una quantità di materia sufficiente a riportare la sua massa sotto il limite. Ma ciò non accadrà in tutti i casi. Alcune stelle diventeranno così piccole che il loro campo gravitazionale incurverà i raggi di luce al punto da farli tornare verso la stella. Né la luce, né alcun'altra cosa, potranno uscire da una stella del genere. Essa è diventata un buco nero. Le leggi della fisica sono simmetriche rispetto al tempo. Se perciò esistono oggetti chiamati buchi neri in cui possono cadere cose ma da cui non ne possono uscire, dovrebbero esistere altri oggetti da cui possano uscire cose ma in cui non ne possano entrare. Potremmo chiamare questi oggetti buchi bianchi. Si potrebbe immaginare la possibilità di saltare in un buco nero in un luogo ed emergere da un buco bianco in un altro. Questo sarebbe il metodo ideale per i viaggi spaziali su lunghe distanze a cui ho già accennato. Non ci sarebbe altro da fare che trovare un buco nero vicino. A tutta prima, questa forma di viaggio sembrava possibile. Ci sono soluzioni della teoria della relatività generale di Einstein nelle quali è possibile cadere in un buco nero e uscire da un buco bianco. Ricerche posteriori mostrano però che tali soluzioni erano tutte molto instabili: la minima perturbazione, come quella causata dalla presenza di un'astronave, distruggerebbe il *“cunicolo”*, o passaggio, dal buco nero al buco bianco. L'astronave sarebbe frantumata da forze infinitamente intense. Sarebbe molto peggio che saltare dalle cascate del Niagara in una botte. Dopo quelle ricerche la situazione sembrava disperata. I buchi neri potevano essere utili per liberarsi dall'immondizia, o persino da qualcuno dei propri amici. Ma erano *“un paese da cui nessun viaggiatore ritorna”*. Tutto ciò che ho detto finora si fonda però su calcoli fatti usando la teoria generale della relatività di Einstein. Questa teoria si accorda perfettamente con tutte le osservazioni che abbiamo fatto. Ma sappiamo che le conclusioni esposte non possono essere del tutto esatte, in quanto non incorporano il principio di indeterminazione della meccanica quantistica. Questo principio dice che le particelle non possono avere una posizione e una velocità entrambe ben definite. Quanto più esattamente si misura la posizione di una particella, tanto meno esattamente se ne può misurare la velocità, e viceversa. Nel 1973 cominciai a investigare quale differenza comporterebbe il principio di indeterminazione per i buchi neri. Con grande sorpresa, mia e di ogni altro, trovai l'implicazione che i buchi neri non dovevano essere completamente neri, bensì dovevano emettere radiazione e particelle a un ritmo costante. I miei risultati furono accolti con generale incredulità quando li annunciai a un congresso nei pressi di Oxford. Il presidente della sessione disse che erano assurdi, e scrisse un articolo per dimostrarlo. Quando però altre persone ripeterono i miei calcoli, trovarono lo stesso effetto tanto che, alla fine, anche il presidente ammise che avevo ragione. In che modo dal campo gravitazionale di un buco nero può evadere radiazione? Ci sono vari modi in cui lo si può spiegare. Anche se sembrano molto diversi, in realtà sono tutti equivalenti. Un modo consiste nel rendersi conto che il principio di indeterminazione permette alle particelle di viaggiare per una breve distanza a velocità superiore a quella della luce. Può quindi accadere che qualcosa esca da un buco nero. Ciò che esce da un buco nero sarà però diverso da ciò che vi è entrato. Soltanto l'energia sarà la stessa. A mano

a mano che un buco nero emette particelle e radiazione, perde massa: in conseguenza di ciò diventerà più piccolo ed emetterà particelle più rapidamente, fino a consumare del tutto la sua massa e sparire. Che cosa ne sarà allora degli oggetti caduti in un buco nero, comprese possibili astronavi? Secondo alcuni miei lavori recenti, la risposta è che uscirebbero in un piccolo universo neonato loro proprio. Questo piccolo universo autosufficiente, dopo essersi distaccato dalla nostra regione spaziotemporale dell'universo, potrebbe tornare a unirsi a essa. In questo caso ci apparirà come un altro buco nero che si è formato ed è poi sparito per evaporazione. Le particelle che sono cadute in un buco nero ci apparirebbero come particelle emesse da un altro buco nero e viceversa. - Tutto questo sembra essere proprio quanto si richiederebbe per permettere il volo spaziale attraverso i buchi neri, essendo sufficiente a tal fine guidare la propria astronave in un buco nero adatto. Sarebbe meglio però che fosse un buco nero molto grande, altrimenti si sarebbe ridotti in polpette prima ancora di entrarvi. Si spera poi di riemergere da qualche altro buco, anche se non ci sarebbe alcuna possibilità di scegliere da quale. In questo piano di trasporti intergalattici c'è però un'insidia. Gli universi neonati in cui vanno a finire le particelle che cadono nel buco nero esistono nel cosiddetto tempo immaginario. Nel tempo reale, un astronauta che cadesse in un buco nero verrebbe a trovarsi piuttosto a mal partito. Esso sarebbe fatto a pezzi dalla differenza esistente fra la forza gravitazionale che si esercita sulla sua testa e quella che si esercita sui suoi piedi. Non sopravviverebbero neppure le particelle che compongono il suo corpo: le loro storie, nel tempo reale, avrebbero termine in una singolarità. Le storie delle particelle continuerebbero invece nel tempo immaginario. Esse passerebbero nell'universo neonato e riemergerebbero come le particelle emesse da un altro buco nero. Così, in un certo senso, l'astronauta sarebbe trasportato in un'altra regione dell'universo. Le particelle emergenti in questa regione non assomiglierebbero però molto al nostro astronauta, né potrebbe essere di grande consolazione per lui, mentre sta per entrare nella singolarità nel tempo reale, sapere che le sue particelle sopravvivono nel tempo immaginario. Il motto per chiunque cada in un buco nero dev'essere: *"Pensa nell'immaginario"*. \* Che cos'è che determina dove riemergeranno le particelle? Il numero di particelle esistenti nell'universo neonato sarà uguale al numero delle particelle che sono cadute nel buco nero più il numero di particelle che il buco nero emette durante la sua evaporazione. Ciò significa che le particelle che cadono in un buco nero usciranno da un altro buco avente press'a poco la stessa massa. Si potrebbe quindi tentare di scegliere da dove verranno fuori le particelle, creando un buco nero della stessa massa di quello in cui sono scese. Il buco nero potrebbe però emettere con uguale probabilità qualsiasi altro insieme di particelle con la stessa energia totale. Ma anche se il buco nero emettesse i tipi giusti di particelle, non si potrebbe stabilire se fossero o no le stesse particelle entrate nell'altro buco nero. Le particelle, infatti, non hanno carta d'identità: tutte le particelle di uno stesso tipo sono indistinguibili l'una dall'altra. Tutto questo significa che non è probabile che il passaggio per un buco nero possa rivelarsi un modo diffuso e affidabile di viaggio spaziale. Innanzitutto si dovrebbe entrare nel buco nero viaggiando nel tempo immaginario, senza preoccuparsi che la propria storia nel tempo reale andasse a finir male. In secondo luogo, non ci sarebbe la possibilità di scegliere la propria destinazione. Sarebbe come viaggiare su certe linee aeree di cui potrei fare i nomi. Anche se non potrebbero essere molto utili per i viaggi spaziali, gli universi neonati hanno importanti implicazioni per il nostro tentativo di trovare una teoria unificata completa in grado di descrivere qualsiasi cosa nell'universo. Le nostre teorie attuali contengono varie quantità, come la grandezza della carica elettrica portata da una particella. I valori di tutte queste quantità non possono essere predetti dalle

nostre teorie, ma lì si deve scegliere in modo da ottenere un accordo con le osservazioni. La maggior parte degli scienziati crede però che esista una qualche teoria unificata sottostante in grado di predirne i valori. Una tale teoria potrebbe benissimo esistere. La candidata attualmente più autorevole è la supercorda eterotica. L'idea è che lo spazio-tempo sia pieno di piccoli cappi, simili a pezzi di spago. Quelle che noi concepiamo come particelle elementari sarebbero in realtà questi piccoli cappi vibranti in modi diversi. Questa teoria unificata non contiene alcuna quantità di cui si possano adattare i valori. Ci si attenderebbe perciò che essa fosse in grado di predire tutti i valori di quantità che sono lasciati indeterminati dalle nostre teorie attuali, come quello della carica elettrica su una particella. Anche se non siamo ancora riusciti a predire nessuna di queste quantità a partire dalla teoria delle supercorde, molte persone sono convinte che alla fine ci riusciremo. Ma se questo quadro degli universi neonati è corretto, la nostra capacità di predire tali quantità ne risulterà ridotta, in quanto non possiamo osservare quanti universi neonati esistano, in attesa di fondersi con la nostra regione di universo. Possono esserci universi neonati contenenti solo alcune particelle; questi universi sono così piccoli che sarebbe impossibile osservare se si fondono con la nostra regione di spazio-tempo o se ne distaccano. Quando si fondono, però, modificano i valori apparenti di quantità come la carica elettrica su una particella. Noi non potremo quindi predire quali saranno i valori apparenti di queste quantità perché non sappiamo quanti universi neonati siano in attesa: potrebbe esserci addirittura un'esplosione demografica di universi neonati. Diversamente da quanto accade nelle popolazioni umane, però, non pare ci siano fattori limitanti alla loro crescita, come disponibilità di cibo o posti in piedi. Gli universi neonati esistono in un ambito loro riservato. È un po' come chiedersi quanti angeli possano danzare sulla capocchia di uno spillo. Per la maggior parte delle quantità, gli universi neonati sembrano introdurre una misura di incertezza ben definita, anche se piuttosto piccola, nei valori predetti. Essi possono però fornire una spiegazione del valore osservato di una quantità molto importante, la cosiddetta costante cosmologica. Questa è un termine delle equazioni della relatività generale che conferisce allo spazio-tempo una tendenza intrinseca a espandersi o contrarsi. Einstein propose in origine una costante cosmologica molto piccola, nella speranza di controbilanciare la tendenza della materia a far contrarre l'universo. Questa ragione venne però meno quando si scoprì che l'universo è in espansione. Non era però così facile sbarazzarsi di tale costante. Ci si poteva attendere che le fluttuazioni implicate dalla meccanica quantistica dessero una costante cosmologica molto grande. Noi abbiamo però la possibilità di osservare come l'espansione dell'universo vari col tempo e determinare quindi che la costante cosmologica è molto piccola. Finora non c'è stata alcuna spiegazione del perché il valore osservato debba essere così piccolo. Tuttavia il distacco dal nostro universo, e la fusione con esso, di universi neonati incideranno sul valore apparente della costante cosmologica. Poiché non sappiamo quanti universi neonati ci siano, ci saranno diversi valori possibili per l'apparente costante cosmologica. Il valore di gran lunga più probabile sarà però un valore assai prossimo a zero. Questa è una fortuna, poiché l'universo può essere un luogo adatto per esseri come noi solo se il valore della costante cosmologica è molto piccolo. Per riassumere: pare che delle particelle, possano cadere in buchi neri, i quali successivamente evaporano e scompaiono dalla nostra regione dell'universo. Le particelle vanno a finire in universi neonati, che si distaccano dal nostro universo, ma che possono poi tornare a fondersi a esso in qualche altra regione. Questi universi neonati possono non essere molto utili per i viaggi spaziali, ma la loro esistenza significa che, quand'anche riuscissimo a trovare una teoria unificata completa, potremo predire meno di quanto ci attendessimo. D'altro canto, oggi

potremmo essere in grado di fornire spiegazioni dei valori misurati di qualche quantità, come la costante cosmologica. Negli ultimi anni una quantità di studiosi ha cominciato a lavorare sugli universi neonati. Io non penso che qualcuno riuscirà a costruirsi una fortuna brevettandoli come sistema per i viaggi spaziali, ma essi sono comunque diventati un'area di ricerca di grande interesse.

# 11 □ è TUTTO DETERMINATO?

*Seminario del Sigma Club all'Università di Cambridge, aprile 1990.*

Nel Giulio Cesare di Shakespeare, Cassio dice a Bruto: “*Gli uomini, a un certo momento sono padroni dei loro destini*”.\* Ma noi siamo veramente padroni del nostro destino? Oppure tutto ciò che facciamo è determinato e preordinato? L'argomento usato tradizionalmente a sostegno della preordinazione è stato che Dio è onnipotente e fuori del tempo, cosicché sapeva che cosa sarebbe accaduto. Come potremmo avere quindi un libero arbitrio, una volontà libera? E se non abbiamo un libero arbitrio, come possiamo essere responsabili delle nostre azioni? Non può essere colpa nostra se siamo stati preordinati a rapinare una banca. Perché quindi dovremmo essere puniti per averlo fatto? In tempi recenti, l'argomento a favore del determinismo si è fondato sulla scienza. Pare che il modo in cui l'universo - e tutto ciò che in esso è contenuto - si sviluppa nel tempo sia governato da leggi ben definite. Anche se non abbiamo ancora trovato la forma esatta di tutte queste leggi, sappiamo abbastanza per stabilire che cosa accada in tutte le situazioni tranne quelle più estreme. È questione di punti di vista se riusciremo o no a trovare le leggi restanti in un futuro abbastanza vicino. Io sono ottimista: penso che abbiamo un cinquanta per cento di probabilità di trovarle nei prossimi vent'anni.\* Ma quand'anche non ci riuscissimo, ciò non avrà alcuna incidenza sull'argomentazione generale. Il punto fondamentale è che deve esistere un insieme di leggi dalle quali è determinata completamente l'evoluzione dell'universo a partire dal suo stato iniziale. Queste leggi potrebbero essere state ordinate da Dio, il quale però non interferirebbe mai con esse. La configurazione iniziale dell'universo potrebbe essere stata scelta da Dio, o potrebbe essere stata determinata dalle leggi della scienza. In un caso come nell'altro, ogni cosa esistente nell'universo sarebbe stata determinata da un'evoluzione secondo le leggi della scienza; è perciò difficile vedere come noi potremmo essere padroni del nostro destino. L'idea che esista una qualche grande teoria unificata la quale determini ogni cosa esistente nell'universo solleva molte difficoltà. Innanzitutto, la grande teoria unificata è presumibilmente compatta ed elegante in termini matematici. Nella teoria di tutto dovrebbe esserci qualcosa di speciale e di semplice. Ma in che modo un certo numero di equazioni potrebbe spiegare la complessità, oltre che la grande varietà di dettagli banali che vediamo attorno a noi? Possiamo credere davvero che la grande teoria unificata abbia stabilito che questa settimana Sinead O'Connor doveva essere al vertice della hit parade, e che Madonna doveva apparire sulla copertina di “*Cosmopolitan*”? Un secondo problema nell'idea che tutto sia determinato da una grande teoria unificata è che anche tutto ciò che diciamo è determinato dalla teoria. E perché dovrebbe essere determinato nel senso di essere giusto? Non è più probabile che sia sbagliato, dato che per ogni proposizione vera ci sono molte proposizioni possibili false? Ogni settimana la mia posta contiene una quantità di teorie inviatemi da varie persone. Esse sono tutte diverse, e la maggior parte sono contraddittorie fra loro. Eppure, presumibilmente la grande teoria unificata ha determinato che i loro autori pensassero che fossero corrette. Perché dunque qualcosa che dico io dovrebbe avere una validità maggiore? Non sono anch'io - ugualmente determinato dalla grande teoria unificata? Un terzo problema nell'idea che tutto sia determinato è che noi sentiamo di essere liberi: sentiamo che abbiamo la libertà di scegliere se fare o non fare qualcosa. Ma se tutto è determinato dalle leggi della scienza, il libero arbitrio dev'essere un'illusione. E se non abbiamo il libero arbitrio, su cosa si fonda la responsabilità per le nostre azioni? Noi non puniamo chi non è sano di mente per aver commesso un crimine, non considerandolo capace di intendere e di volere. Ma se tutti



siamo determinati da una grande teoria unificata, nessuno di noi può non fare ciò che fa: perché dunque qualcuno di noi dovrebbe essere considerato responsabile di fare ciò che fa? Questi problemi di determinismo sono stati discussi per secoli. La discussione è però sempre stata un po' accademica, in quanto si era ben lontani da una conoscenza completa delle leggi della scienza e non si sapeva in che modo fosse determinato lo stato iniziale dell'universo. Oggi, però, i problemi sono più urgenti, presentandosi la possibilità di trovare una teoria unificata completa in capo a soli vent'anni. Stiamo inoltre rendendoci conto che lo stato iniziale stesso dell'universo potrebbe essere determinato dalle leggi della scienza. Le considerazioni che seguono sono il mio tentativo personale di venire a patti con questi problemi. Io non rivendico una grande originalità o profondità, ma questo è il meglio che io possa proporre attualmente. □ Per cominciare col primo problema: come può una teoria relativamente semplice e compatta dare origine a un universo complesso come quello che osserviamo, con tutti i suoi particolari banali e privi di importanza? La chiave alla soluzione di questa difficoltà sta nel principio di indeterminazione della meccanica quantistica, il quale afferma che non si possono misurare con grande precisione posizione e velocità di una particella: quanto più esattamente si misura la posizione, tanto meno esattamente si può misurare la velocità, e viceversa. Questa incertezza non è molto importante nell'universo attuale, in cui i vari corpi sono molto lontani fra loro, per cui una piccola incertezza sulla posizione non fa molta differenza. Ma nei primissimi istanti di vita dell'universo tutte le cose erano molto vicine fra loro, cosicché c'erano molta indeterminazione e vari stati possibili per l'universo. Questi diversi stati primordiali possibili si sarebbero evoluti in un'intera famiglia di storie differenti per l'universo. La maggior parte di queste storie erano simili fra loro nei loro caratteri a grande scala. Esse corrispondevano a un universo che era uniforme e regolare, e che era in espansione. Differivano però fra loro nei particolari, come nella distribuzione delle stelle, e ancor più nell'illustrazione di copertina delle loro riviste (sempre che quelle storie contenessero riviste). La complessità dell'universo che ci circonda, e i suoi particolari più o meno banali, sono dunque una conseguenza dell'applicazione del principio di indeterminazione nei suoi primissimi istanti di esistenza. Abbiamo così un'intera famiglia di possibili storie per l'universo. Ci sarebbe una storia in cui i nazisti vinsero la seconda guerra mondiale, anche se la probabilità è bassa. A noi è invece accaduto di vivere in una storia in cui la guerra è stata vinta dagli Alleati e in cui Madonna è apparsa sulla copertina di "Cosmopolitan". Passo ora al secondo problema: se ciò che noi facciamo è determinato da qualche grande teoria unificata, perché la teoria dovrebbe determinare che noi traiamo le giuste conclusioni sull'universo anziché quelle sbagliate? Perché tutto ciò che diciamo dovrebbe avere una qualche validità? La mia risposta a questi interrogativi si fonda sull'idea di selezione naturale darwiniana. Io ritengo che qualche forma di vita molto primitiva sia sorta spontaneamente sulla Terra da combinazioni casuali di atomi. Quell'antica forma di vita era verosimilmente una macromolecola, ma quasi certamente non il DNA, dato che la probabilità di formare un'intera molecola di DNA per mezzo di combinazioni casuali è molto piccola. La più antica forma di vita doveva essere in grado di riprodursi. Il principio di indeterminazione della meccanica quantistica e i moti termici casuali degli atomi dovettero comportare un certo numero di errori nella riproduzione. La maggior parte di questi errori dovettero essere fatali alla sopravvivenza dell'organismo o alla sua capacità di riprodursi. Gli errori non venivano però trasmessi alle generazioni successive, ma si estinguevano. Fra i tanti errori di trascrizione pochissimi risultavano benefici, per puro caso. Gli organismi portatori di questi errori avevano migliori probabilità di sopravvivere e di riprodursi, cosicché

tendevano a sostituire gli organismi originari, privi di questi perfezionamenti. Lo sviluppo della struttura a doppia elica del DNA potrebbe essere stato uno di questi perfezionamenti nelle fasi iniziali. Questo fu probabilmente un progresso tale da soppiantare completamente una forma di vita anteriore, quale che possa essere stata. Al progredire dell'evoluzione, questa molecola deve aver condotto allo sviluppo del sistema nervoso centrale. Gli organismi che riconoscevano correttamente le implicazioni dei dati raccolti dai loro organi di senso, e adottavano un'azione appropriata, avevano maggiori probabilità di sopravvivere e di riprodursi. La specie umana ha portato l'evoluzione a un nuovo stadio. Noi siamo molto simili ai primati superiori, sia nella forma del corpo sia nel DNA, ma una lieve variazione nel nostro DNA ha condotto allo sviluppo del linguaggio. Questo ci ha permesso di trasmettere da una generazione all'altra l'esperienza che abbiamo accumulato e ogni sorta di informazioni, prima nella forma del linguaggio orale e poi in forma scritta. In precedenza i risultati dell'esperienza potevano essere trasmessi solo attraverso il lento processo della loro codificazione nel DNA per opera di errori casuali nel meccanismo della riproduzione. L'effetto della trasmissione attraverso il linguaggio ha impresso all'evoluzione un'accelerazione grandissima. Sono occorsi all'evoluzione più di tre miliardi di anni per giungere sino all'uomo, ma nel corso degli ultimi diecimila anni noi abbiamo sviluppato il linguaggio scritto. Questo ci ha permesso di progredire dallo stato di cavernicoli a quello di esseri capaci di interrogarsi sulla teoria definitiva dell'universo. Negli ultimi diecimila anni non c'è stata un'evoluzione biologica significativa, né alcun mutamento significativo nel DNA. La nostra intelligenza, la nostra capacità di trarre conclusioni corrette dalle informazioni che ci forniscono i nostri organi di senso, deve risalire perciò al tempo dei cavernicoli o anche prima. Essa dev'essere stata selezionata sulla base della nostra capacità di uccidere certi animali per procurarci cibo, e di evitare di farci uccidere da altri animali. È degno di nota che le qualità intellettuali che sono state selezionate a questi fini ci siano di grande utilità nelle circostanze molto diverse del tempo attuale. Probabilmente non c'è un grande vantaggio in termini di sopravvivenza nello scoprire una grande teoria unificata o nel rispondere a domande sul determinismo. Tuttavia può ben essere che l'intelligenza che abbiamo sviluppato per altre ragioni ci permetta di trovare le risposte giuste a queste domande. Passo ora al terzo problema: gli interrogativi sul libero arbitrio e sulla responsabilità per le proprie azioni. Noi sentiamo soggettivamente di avere la capacità di scegliere chi essere e che cosa fare. Questa potrebbe essere però solo un'illusione. Alcuni pensano di essere Gesù Cristo o Napoleone, ma non possono avere ragione tutti. Ciò di cui abbiamo bisogno è una prova obiettiva da applicare dall'esterno per distinguere se un organismo possiede o no una volontà libera. Per esempio, supponiamo di incontrare un omino verde proveniente da un'altra stella. Come potremmo stabilire se ha una volontà libera o se è solo un robot, programmato per rispondere come se fosse simile a noi? Il test obiettivo supremo della libertà del volere sembrerebbe essere il seguente: si può predire il comportamento dell'organismo? Se si può, è ovvio che esso non ha una volontà libera ma è predeterminato. Se invece non si può, è lecito considerare questo fatto una definizione operativa che l'organismo ha una volontà libera. Si potrebbe obiettare a questa definizione del libero arbitrio sostenendo che saremo in grado di prevedere il comportamento della gente quando avremo trovato una teoria unificata completa. Il cervello umano è però soggetto anche al principio di indeterminazione. Nel comportamento umano c'è quindi un elemento di casualità associato alla meccanica quantistica. Le energie operanti nel cervello sono però molto piccole, cosicché l'indeterminazione quantomeccanica vi ha solo un effetto modesto. La vera ragione per cui

noi non possiamo predire il comportamento umano è che esso è troppo difficile. Noi conosciamo già le leggi fisiche fondamentali che governano l'attività del cervello, le quali sono relativamente semplici. È però troppo difficile risolvere le equazioni quando vi sono implicate più di poche particelle. Persino nella più semplice fra le teorie della gravità, quella newtoniana, si possono risolvere esattamente le equazioni solo nel caso di due particelle. □ Per tre o più particelle si deve far ricorso ad approssimazioni, e la difficoltà aumenta rapidamente col numero di particelle. Il cervello umano contiene un numero di particelle di circa  $10^{26}$ , ossia cento milioni di miliardi di miliardi: un numero troppo grande perché possiamo mai sperare di poter risolvere le equazioni e predire come si comporterà il cervello, dati il suo stato iniziale e i nervi che arrivano ad esso. In realtà non siamo in grado, ovviamente, neppure di misurare quale fosse il suo stato iniziale, poiché a questo scopo dovremmo aprire il cranio e sezionare l'encefalo. Ma anche se fossimo in grado di farlo, ci sarebbero troppe particelle da registrare. Inoltre il cervello è probabilmente molto sensibile allo stato iniziale: un piccolo mutamento nello stato iniziale potrebbe fare una grande differenza in relazione al comportamento successivo. Perciò, pur conoscendo le equazioni fondamentali che governano il cervello, siamo del tutto incapaci di usarle per predire il comportamento umano. Questa situazione si verifica nella scienza ogni volta che ci occupiamo di un sistema macroscopico, poiché il numero delle particelle che lo compongono è sempre troppo grande perché ci sia qualche probabilità di poter risolvere le equazioni fondamentali. Quel che facciamo, in sostituzione, è di usare teorie efficaci. Queste sono approssimazioni in cui il numero grandissimo di particelle è sostituito da poche quantità. Un esempio ci viene fornito dalla dinamica dei fluidi. Un liquido come l'acqua è composto da miliardi di miliardi di molecole, le quali sono a loro volta composte da elettroni, protoni e neutroni. Eppure è una buona approssimazione trattare il liquido come un mezzo continuo, caratterizzato solo da velocità, densità e temperatura. Le predizioni della teoria efficace della meccanica dei fluidi non sono esatte - basta ascoltare il bollettino meteorologico per rendersene conto - ma vanno abbastanza bene per essere utilizzate nella progettazione di navi o di oleodotti. Vorrei suggerire che i concetti di libero arbitrio e di responsabilità per le nostre azioni sono realmente una teoria efficace nel senso della dinamica dei fluidi. Può darsi che tutto ciò che facciamo sia determinato da una qualche grande teoria unificata. Se tale teoria ha stabilito che moriremo per impiccagione, non annegheremo. Ma è bene essere assolutamente sicuri di essere destinati alla forca prima di mettersi in mare con una piccola imbarcazione durante una tempesta. Ho notato che perfino persone convinte che ogni cosa è predestinata, e che noi non possiamo fare nulla per cambiare il destino, guardano bene prima di attraversare la strada. Ma può darsi che sia perché quelli che non guardano non sopravvivono, e perciò non sono qui a parlare con noi. Non si può fondare il proprio comportamento sull'idea che tutto sia determinato, perché non si sa che cosa sia stato determinato. Si deve invece adottare la teoria efficace che si ha una volontà libera e che si è responsabili delle proprie azioni. Questa teoria non è molto efficace ai fini della predizione del comportamento umano, ma la adottiamo perché non c'è alcuna possibilità di risolvere le equazioni derivanti dalle leggi fondamentali. C'è anche una ragione darwiniana per credere nel libero arbitrio. Una società in cui l'individuo si senta responsabile delle sue azioni ha maggiori probabilità di trarre beneficio dalla cooperazione dei suoi membri e di sopravvivere per diffondere i suoi valori. Ovviamente anche le formiche cooperano bene fra loro, ma la loro società è una società statica. Essa non può rispondere a sfide non abituali o sviluppare nuove opportunità. Un gruppo di individui liberi che condividano certe finalità può invece collaborare al raggiungimento di obiettivi

comuni e avere nondimeno la flessibilità di compiere innovazioni. Una tale società ha quindi migliori probabilità di prosperare e di propagare il suo sistema di valori. Il concetto di libero arbitrio appartiene a un ambito diverso da quello delle leggi fondamentali della scienza. Se si cerca di dedurre il comportamento umano dalle leggi della scienza, si rimane impigliati nel paradosso logico dei sistemi autoreferenti. Se ciò che si fa potesse essere predetto a partire dalle leggi fondamentali, l'elaborazione di una tale predizione potrebbe cambiare ciò che accade. È un problema paragonabile a quelli in cui ci si troverebbe impigliati se fossero possibili i viaggi nel tempo, cosa che credo non si verificherà mai. Se potessimo sapere ciò che accadrà in futuro, lo cambieremmo. Se sapessimo quale cavallo vincerà il Gran Premio, potremmo arricchirci scommettendo su di esso. Ma tale azione cambierebbe le quote. È sufficiente vedere il ritorno al futuro per rendersi conto di quali problemi potrebbero sorgere. Questo paradosso legato alla capacità di predire le proprie azioni è strettamente connesso al problema che ho menzionato in precedenza: la teoria definitiva determinerà che noi perveniamo alle giuste conclusioni su di essa? In tal caso, ho sostenuto che sarebbe l'idea della selezione naturale di Darwin a condurci alla risposta corretta. Forse l'espressione "*risposta corretta*" non è il modo giusto per descrivere la situazione, ma la selezione naturale dovrebbe condurci almeno a un insieme di leggi fisiche che funzionino abbastanza bene. Noi non possiamo però applicare tali leggi fisiche per dedurre il comportamento umano per due ragioni. La prima è che non siamo in grado di risolvere le equazioni. La seconda è che, anche se lo potessimo, la formulazione di una predizione disturberebbe il sistema. La selezione naturale sembra condurci invece ad adottare la teoria efficace del libero arbitrio. Se si accetta la tesi che una persona sceglie liberamente le proprie azioni, non si può poi sostenere che in alcuni casi esse siano determinate da forze esterne. Il concetto di "*volontà quasi libera*" non ha senso. Qualcuno tende però a confondere il fatto che si possa congetturare quale azione sceglierà probabilmente un individuo con la nozione che la scelta non sia libera. Io farei la congettura che la maggior parte di voi questa sera cenerà, ma voi siete liberissimi di decidere di non cenare e andarvene a letto affamati. Un esempio di tale confusione è la dottrina della responsabilità diminuita: l'idea che una persona non debba essere punita per azioni compiute sotto stress. Può darsi che qualcuno sia più soggetto a commettere azioni antisociali quando agisce sotto stress. Ciò non significa però che si dovrebbero rendere più probabili tali azioni antisociali riducendo la punizione. Si devono tenere l'investigazione delle leggi fondamentali della scienza e lo studio del comportamento umano in ambiti separati. Non si possono usare le leggi fondamentali per dedurre il comportamento umano, per le ragioni che ho spiegato. Si potrebbe sperare però di poter far uso in entrambi gli ambiti di quell'intelligenza e di quei poteri di pensiero logico che abbiamo sviluppato attraverso la selezione naturale. Purtroppo, però, la selezione naturale ha sviluppato anche altri caratteri, come l'aggressività. Questa avrebbe fornito all'uomo un vantaggio ai fini della sopravvivenza ai tempi dei cavernicoli e anche prima, e sarebbe stata quindi favorita dalla selezione naturale. Il terribile aumento delle nostre capacità di distruzione apportato dalla scienza e dalla tecnologia moderna ha fatto però dell'aggressività una qualità oggi molto pericolosa, che minaccia la sopravvivenza dell'intero genere umano. Il guaio è che i nostri istinti aggressivi sembrano essere codificati nel nostro DNA. Il DNA muta per evoluzione biologica solo su una scala di tempo di milioni di anni, ma il nostro potere di distruzione sta crescendo a una scala di tempo per l'evoluzione dell'informazione, che è oggi solo di venti o trent'anni. Non ci sono molte probabilità di sopravvivenza per la specie umana se non riusciremo a usare la nostra intelligenza per controllare la nostra aggressività. Finché c'è vita, però, c'è speranza: se riusciremo a sopravvivere nel prossimo

centinaio di anni, a quell'epoca ci saremo sparsi su altri pianeti e avremo forse raggiunto altre stelle. Ci saranno allora molte meno probabilità che l'intero genere umano possa essere spazzato via da una calamità come una guerra nucleare. che si pongono se si crede che nell'universo tutto sia determinato. Non fa molta differenza che questo determinismo sia dovuto a un Dio onnipotente o alle leggi della scienza. In effetti, si potrebbe sempre dire che le leggi della scienza siano l'espressione della volontà di Dio. Ho considerato tre interrogativi. Il primo era: come può la complessità dell'universo, compresi tutti i suoi dettagli banali, essere determinata da un insieme semplice di equazioni? Oppure, in alternativa: si può credere davvero che Dio scelga tutti i particolari banali, come quale personaggio debba figurare sulla copertina di un determinato numero di "Cosmopolitan"? La risposta sembra essere che il principio di indeterminazione della meccanica quantistica significa che non c'è una singola storia per l'universo, bensì un'intera famiglia di storie possibili. A scale molto grandi queste storie possono essere simili, ma a scale normali, quotidiane, differiranno considerevolmente. Noi ci troviamo a vivere in una particolare storia, che ha certe proprietà e certi dettagli. Ma ci sono esseri intelligenti molto simili i quali vivono in storie che differiscono in particolari come chi ha vinto la seconda guerra mondiale e qual è attualmente il disco in testa alla classifica delle vendite. Così i dettagli banali del nostro universo dipendono dal fatto che le leggi fondamentali incorporano la meccanica quantistica col suo elemento di indeterminazione o di casualità. Il secondo interrogativo era: se tutto è determinato da qualche teoria fondamentale, anche ciò che diciamo della teoria sarà determinato dalla teoria, e perché da questa determinazione dovrebbe seguire che sia anche corretto, e non chiaramente sbagliato e irrilevante? Ho risposto appellandomi alla teoria della selezione naturale di Darwin: hanno qualche probabilità di sopravvivere e di riprodursi solo quegli individui che hanno tratto le conclusioni appropriate sul mondo circostante. Il terzo interrogativo era: se tutto è determinato, che cosa ne è del libero arbitrio e della responsabilità per le proprie azioni? Ma l'unico test obiettivo per poter stabilire se un organismo abbia una volontà libera è se il suo comportamento possa o no essere predetto. Nel caso degli esseri umani, siamo del tutto incapaci di usare le leggi fondamentali per predire che cosa farà un individuo, per due ragioni. La prima è che non possiamo risolvere le equazioni per il numero grandissimo di particelle in gioco. La seconda è che, quand'anche fossimo in grado di risolvere le equazioni, la formulazione di una predizione disturberebbe il sistema e potrebbe condurre a un risultato diverso. Così, non potendo predire il comportamento umano, possiamo altrettanto bene adottare la teoria efficace che gli esseri umani sono agenti liberi i quali possono scegliere ciò che vogliono. Pare ci siano precisi vantaggi per la sopravvivenza nel credere nella libertà del volere e nella responsabilità per le proprie azioni. Ciò significa che questa convinzione dovrebbe essere rinforzata dalla selezione naturale. Se il senso di responsabilità trasmesso dal linguaggio sia sufficiente a controllare l'istinto aggressivo trasmesso dal DNA rimane da vedere. Ma se non sarà sufficiente, il genere umano sarà stato uno dei vicoli ciechi della selezione naturale. Può darsi che qualche altra specie di esseri intelligenti altrove nella Galassia riesca a conseguire un migliore equilibrio fra responsabilità e aggressività. In questo caso, però, avremmo potuto attenderci di essere già stati visitati da loro, o almeno di avere già scoperto loro segnali radio. Può darsi che essi siano al corrente della nostra esistenza ma che non vogliano rivelarsi a noi. Una decisione forse saggia, data la nostra storia. In sintesi, il titolo di questo saggio è la domanda: è tutto determinato?". La risposta è: sì, certo. Ma potrebbe anche non esserlo, poiché noi non sappiamo mai che cosa sia determinato.

## 12 □ *IL FUTURO DELL'UNIVERSO.*

*Darwin Lecture, tenuta all'Università di Cambridge nel gennaio 1991.*

L'argomento di questo saggio è il futuro dell'universo o, piuttosto, il futuro come lo vedono gli scienziati. Ovviamente la predizione del futuro è molto difficile. Una volta pensavo all'opportunità di scrivere un libro intitolato *Yesterdays Tomorrow: A History of the Future*, il domani di ieri: storia del futuro. Doveva essere una storia delle predizioni del futuro, le quali sono andate quasi tutte alquanto lontane dal vero. Nonostante questi insuccessi, però, gli scienziati pensano ancora di essere in grado di predire il futuro. In un lontano passato la predizione del futuro era compito di oracoli o sibille. Erano spesso donne che entravano in stato di trance assumendo qualche droga o respirando i fumi di qualche bocca vulcanica. I loro vaneggiamenti venivano interpretati dai sacerdoti presenti. La vera abilità consisteva nell'interpretazione. Il famoso oracolo di Delfi, nell'antica Grecia, era famoso per la duplicità o ambiguità delle sue predizioni. Quando gli spartani gli chiesero che cosa sarebbe accaduto se i persiani avessero attaccato la Grecia, l'oracolo rispose: o Sparta sarà distrutta, o il suo re sarà ucciso. Suppongo che i sacerdoti contassero sul fatto che, se non si fosse verificata nessuna di queste due eventualità, gli spartani sarebbero stati così grati ad Apollo da perdonare l'errore all'oracolo. Il re cadde in effetti difendendo il passo delle Termopili, in un'azione che salvò Sparta e condusse alla definitiva sconfitta dei persiani. In un'altra occasione il re di Lidia Creso, l'uomo più ricco del mondo, chiese che cosa sarebbe accaduto se egli avesse invaso la Persia. La risposta fu: cadrà un grande regno. Creso pensava che l'oroscopo si riferisse all'Impero persiano, ma fu il suo regno a cadere, ed egli stesso finì su una pira per esservi bruciato vivo. Recenti profeti millenaristi si sono esposti al punto di fissare date precise per la fine del mondo. Sono perfino riusciti a spingere al ribasso la Borsa, anche se non capisco perché la fine del mondo dovrebbe indurre la gente a vendere i suoi titoli per denaro. Presumibilmente non ci si può portare nell'aldilà neppure il denaro. Finora tutte le date fissate per la fine del mondo sono passate senza danno. Spesso però i profeti hanno avuto una spiegazione per il loro apparente insuccesso. Per esempio, William Miller, il fondatore degli Avventisti del Settimo Giorno, predisse che la Seconda Venuta di Cristo si sarebbe verificata fra il 21 marzo 1843 e il 21 marzo 1844. Non essendo accaduto nulla, la data fu spostata al 22 ottobre 1844. Trascorsa invano anche questa seconda data, fu proposta una nuova interpretazione, secondo la quale il 1844 era l'inizio della Seconda Venuta, ma prima si dovevano contare i nomi nel Libro della Vita. Solo allora sarebbe venuto il Giorno del Giudizio, per quelli non compresi nel libro. Per fortuna pare che il conteggio richieda un tempo molto lungo. Ovviamente le predizioni scientifiche possono non essere più attendibili di quelle degli oracoli o dei profeti. Basti pensare all'esempio delle previsioni del tempo. Ci sono però certe situazioni in cui pensiamo di poter fare predizioni attendibili, e una di queste è il futuro dell'universo su una scala molto grande. Nel corso degli ultimi tre secoli abbiamo scoperto le leggi scientifiche a cui obbedisce la materia in tutte le situazioni normali. Non conosciamo invece ancora le leggi esatte che governano la materia in condizioni estreme. Quelle leggi sono importanti per capire come l'universo abbia avuto inizio, ma non influiscono sulla sua evoluzione futura, a meno che e fino a quando l'universo non ricollassi in uno stato di alta densità. Il fatto stesso che oggi dobbiamo spendere grandi somme di denaro per costruire acceleratori di particelle giganti per verificare tali leggi delle alte energie è una misura di quanta poca influenza esse esercitino sull'universo attuale. Anche se possiamo conoscere le leggi che governano l'universo, potremmo non essere in

grado di usarle per predire il futuro lontano. Questo perché le soluzioni delle equazioni di fisica potrebbero presentare una proprietà nota come caos. Ciò significa che le equazioni potrebbero essere instabili: un piccolo mutamento allo stato in cui un sistema si trova in un determinato momento può rendere presto del tutto diverso il futuro comportamento del sistema. Per esempio, se si modifica leggermente il modo in cui si fa girare la ruota di una roulette, si determinerà l'uscita di un altro numero. È praticamente impossibile predire il numero che uscirà; se così non fosse, i fisici potrebbero costruirsi una fortuna al casinò. Nel caso dei sistemi instabili e caotici, c'è in generale una scala di tempo alla quale un piccolo mutamento nello stato iniziale crescerà fino a raddoppiarsi. Nel caso dell'atmosfera terrestre questa scala di tempo è dell'ordine di cinque giorni, press'a poco il tempo impiegato dall'aria in movimento a fare il giro del mondo. Si possono fare previsioni del tempo ragionevolmente accurate per periodi fino a cinque giorni, ma la predizione del tempo con un anticipo molto maggiore richiederebbe sia una conoscenza molto accurata dello stato attuale dell'atmosfera sia un calcolo estremamente complicato. Non c'è alcun modo per predire il tempo con sei mesi di anticipo al di là di una semplice indicazione delle medie stagionali. Noi conosciamo anche le leggi di base che governano la chimica e la biologia, cosicché in linea di massima dovremmo essere in grado di determinare come funziona il cervello. Ma le equazioni relative hanno quasi certamente un comportamento caotico, in quanto un mutamento piccolissimo nello stato iniziale può condurre a un esito finale molto diverso. Così, in pratica non possiamo predire il comportamento umano neppure conoscendo le equazioni che lo governano. La scienza non può predire il futuro della società umana, e neppure può sapere se essa abbia un futuro. Il pericolo è che il nostro potere di danneggiare o distruggere l'ambiente o di danneggiarci e distruggerci reciprocamente sta crescendo molto più rapidamente della nostra saggezza nell'uso di questo potere. Qualsiasi cosa possa accadere sulla Terra, il resto dell'universo tirerà avanti senza darsene per inteso. Pare che il moto dei pianeti attorno al Sole sia in ultima analisi caotico, anche se su un periodo di tempo molto lungo. Ciò significa che gli errori in qualsiasi predizione crescono al passare del tempo: dopo un certo tempo diventa perciò impossibile predire il movimento nei particolari. Possiamo essere abbastanza sicuri che la Terra non avrà un incontro ravvicinato con Venere per un tempo abbastanza lungo, ma non possiamo essere certi che piccole perturbazioni nelle orbite non possano sommarsi a causare un tale incontro fra un miliardo di anni. Anche il moto del Sole e di altre stelle nella Galassia, e della Galassia nel gruppo locale di galassie, è caotico. Osserviamo che le altre galassie stanno allontanandosi da noi e che, quanto più lontane sono, tanto più velocemente si allontanano. Ciò significa che l'universo, nel nostro vicinato, è in espansione: le distanze fra le varie galassie stanno crescendo col tempo. La prova del fatto che quest'espansione è regolare e non caotica ci è fornita dalla radiazione di fondo a microonde proveniente dallo spazio esterno. Si può osservare questa radiazione sintonizzando il proprio televisore su un canale libero. Una piccola percentuale del formicolio che si vede sullo schermo è dovuta a microonde provenienti da oltre il sistema solare. È lo stesso tipo di radiazione che viene prodotta nel forno a microonde, ma molto più debole. Essa potrebbe far salire la temperatura dei cibi solo fino a 2,7 gradi al di sopra dello zero assoluto, cosicché non è di grande aiuto per cuocersi una pizza. Si pensa che questa radiazione di fondo sia il residuo di un'antica fase caldissima dell'universo primordiale. Il suo aspetto più notevole, però, è che la quantità di radiazione sembra essere pressoché uguale in qualsiasi direzione la si osservi. Questa radiazione è stata misurata con grande precisione dal satellite Cosmic Background Explorer. Una carta del cielo eseguita sulla base di queste osservazioni mostrerebbe in

realtà temperature di radiazione differenti in direzioni diverse, ma le variazioni sono molto piccole, di solo una parte su centomila. Nelle microonde provenienti da direzioni diverse deve esserci qualche differenza, perché l'universo non è completamente regolare; in esso sono infatti presenti irregolarità locali, come stelle, galassie e ammassi di galassie. Ma le variazioni nel fondo a microonde sono piccolissime, e appaiono compatibili con le irregolarità locali che osserviamo. La radiazione di fondo a microonde è uguale in ogni direzione per 99.999 parti su 100.000. Nell'antichità si credeva che la Terra si trovasse al centro dell'universo, cosicché nessuno sarebbe rimasto sorpreso se si fosse scoperto che la radiazione di fondo è la stessa in ogni direzione. Dal tempo di Copernico, la Terra è stata però retrocessa al rango di un pianeta minore in orbita attorno a una stella media al bordo esterno di una galassia tipica la quale è solo una di un centinaio di miliardi di galassie che possiamo vedere. Noi siamo oggi così modesti che non possiamo rivendicare una posizione speciale nell'universo. Dobbiamo perciò supporre che il fondo di radiazione sia lo stesso anche in ogni direzione attorno a ogni altra galassia. Una cosa del genere è possibile solo nell'ipotesi che la densità media dell'universo e la sua rapidità di espansione siano le stesse dappertutto. Qualsiasi variazione nella densità media, o nella rapidità di espansione, in una grande regione del mondo renderebbe il fondo di radiazione a microonde diverso nelle diverse direzioni. Ciò significa che, su una scala molto grande, il comportamento dell'universo è semplice e non caotico. Esso può essere perciò previsto anche per un futuro molto lontano. Essendo l'espansione dell'universo estremamente uniforme, la si può descrivere nei termini di un singolo numero, la distanza fra due galassie. Questa sta attualmente crescendo, ma ci si attenderebbe che l'attrazione gravitazionale fra galassie rallentasse la rapidità dell'espansione. Se la densità dell'universo è superiore a un certo valore critico, l'attrazione gravitazionale arresterà infine l'espansione e costringerà l'universo a dare inizio a una nuova contrazione. L'universo collasserà infine in un big crunch, una grande implosione, che sarebbe molto simile al big bang da cui l'universo ha tratto origine. Il big crunch sarebbe una cosiddetta singolarità, uno stato di densità infinita in cui le leggi della fisica verrebbero meno. Ciò significa che, anche se dopo il big crunch dovessero esserci eventi, essi non potrebbero essere predetti. Ma in assenza di una connessione causale fra eventi, non c'è alcun modo significativo in cui si possa dire che un evento è accaduto dopo un altro evento. Si potrebbe anche dire che il nostro universo ha concluso la sua esistenza nel big crunch, e che tutto ciò che è accaduto "dopo" appartiene a un altro universo, da esso separato. E un po' come la reincarnazione. Quale significato si può dare all'affermazione che un neonato è un morto reincarnato, se il bambino non eredita alcun carattere o alcun ricordo dalla sua vita precedente? Si potrebbe sostenere altrettanto legittimamente che è un individuo diverso. Se la densità media dell'universo è invece inferiore al valore critico, l'universo non tornerà mai più a contrarsi, ma continuerà a espandersi per sempre. Dopo un po' di tempo la densità diventerà così bassa che l'attrazione gravitazionale non avrà più alcun effetto significativo nel rallentare l'espansione. Le galassie continueranno ad allontanarsi fra loro a una velocità costante. L'interrogativo cruciale per il futuro dell'universo è quindi: qual è la densità media? Se essa è inferiore al valore critico, l'universo si espanderà per sempre. Se invece essa è superiore, l'universo cesserà a un certo punto di espandersi per ricominciare a contrarsi, e il tempo stesso finirà nel big crunch al termine del collasso. Io ho però certi vantaggi rispetto ad altri profeti della fine del mondo. Quand'anche l'universo fosse destinato al collasso, posso predire con fiducia che non smetterà di espandersi per almeno dieci miliardi di anni. Non mi attendo di vivere abbastanza per vedermi accusare da qualcuno di avere



sbagliato. Possiamo tentare di stimare la densità media dell'universo sulla base di osservazioni. Se contiamo le stelle e sommiamo le loro masse, otteniamo meno dell'un per cento della densità critica, e anche se aggiungiamo a questo totale le masse delle nubi di gas che osserviamo nell'universo portiamo il totale solo all'un per cento circa del valore critico. Sappiamo però che l'universo deve contenere anche la cosiddetta materia oscura, che noi non possiamo osservare direttamente. Una prova a sostegno dell'esistenza di questa forma di materia proviene dalle galassie spirali. Queste sono immense collezioni di stelle e di gas in forma di girandole. L'osservazione ci rivela che ruotano attorno al loro centro, ma la rapidità di rotazione è così elevata che, se contenessero solo le stelle e il gas che osserviamo, andrebbero in pezzi. Esse devono quindi contenere qualche forma invisibile di materia, la cui attrazione gravitazionale dev'essere abbastanza grande da assicurarne l'integrità nonostante la velocità di rotazione relativamente grande. Un'altra prova a favore dell'esistenza della materia oscura proviene dagli ammassi di galassie. Le galassie non sono distribuite uniformemente nello spazio, bensì sono raccolte in ammassi che possono contenere da alcune galassie a milioni di galassie. È presumibile che questi ammassi si siano formati perché le galassie si attraggono fra loro a formare gruppi. Noi possiamo però misurare le velocità alle quali si muovono le singole galassie in questi ammassi. Queste velocità risultano essere così elevate che gli ammassi si disgregherebbero sicuramente se non fossero tenuti assieme dall'attrazione gravitazionale. La massa che si richiede per garantire l'integrità degli ammassi è considerevolmente maggiore della massa di tutte le galassie che li compongono, conclusione che rimane valida anche se supponiamo che le galassie abbiano masse sufficienti ad assicurarne la coesione mentre ruotano. Ne segue, perciò, che negli ammassi di galassie dev'esserci della materia oscura in più oltre a quella contenuta nelle galassie visibili. È possibile formulare una stima abbastanza attendibile della quantità di materia oscura presente nelle galassie e negli ammassi per i quali possediamo dati ben definiti. Questa stima ci porta però solo al 10 per cento della densità critica necessaria perché all'espansione segua il collasso dell'universo. Se ci si attendesse quindi solo ai dati d'osservazione, si potrebbe predire che l'universo è destinato a espandersi per sempre. Fra altri cinque miliardi di anni circa il Sole dovrebbe avere esaurito il suo combustibile nucleare. Esso si dilaterrebbe a formare una gigante rossa che inghiottirebbe la Terra e i pianeti più interni, dopo di che si contrarrebbe, assestandosi nella fase di nana bianca, con un diametro di poche migliaia di chilometri. Sto dunque predicendo la fine del mondo, la quale però non è ancora vicina. Non penso che questa predizione deprimerà troppo la Borsa. All'orizzonte c'è qualche problema più immediato. In ogni caso, quando il Sole si gonfierà, noi dovremmo essere già diventati padroni dell'arte dei viaggi interstellari, se non ci saremo già distrutti con le nostre mani. Fra dieci miliardi di anni circa, la maggior parte delle stelle presenti nell'universo saranno bruciate completamente. Le stelle con massa simile a quella del Sole saranno diventate nane bianche o stelle di neutroni, le quali sono ancora più piccole e più dense delle nane bianche. Le stelle di massa maggiore possono diventare buchi neri, che sono ancora più piccoli, e che hanno un intenso campo gravitazionale da cui non può sfuggire neppure la luce. Questi resti continueranno però a orbitare attorno al centro della nostra Galassia col periodo di un centinaio di milioni di anni. In conseguenza di incontri ravvicinati fra questi residui di stelle, alcuni saranno proiettati fuori della Galassia. Gli oggetti restanti si stabilizzeranno su orbite più vicine al centro, e si uniranno infine a formare un gigantesco buco nero al centro della Galassia. Quanto alla materia oscura presente nelle galassie e negli ammassi, ci si può attendere che anch'essa cada in questi grandissimi buchi neri. È lecito, perciò, supporre che la maggior parte della materia presente nelle

galassie e negli ammassi sia destinata a terminare la propria esistenza all'interno di buchi neri. Qualche tempo fa, però, scoprii che i buchi neri non sono così neri come li si dipinge. Il principio di indeterminazione della meccanica quantistica dice che le particelle non possono avere sia una posizione sia una velocità ben definite. Quanto più esattamente si definisce la posizione di una particella, tanto meno esattamente se ne può definire la velocità, e viceversa. Se una particella si trova in un buco nero, la sua posizione risulta abbastanza ben definita; ciò comporta che non se ne possa definire esattamente la velocità. E perciò possibile che la velocità della particella sia superiore alla velocità della luce, cosa che le consentirebbe di fuggire dal buco nero. Particelle e radiazione usciranno perciò lentamente dal buco nero. Un buco nero gigante al centro di una galassia avrebbe un diametro di milioni di chilometri. In tal caso ci sarebbe una grande incertezza circa la posizione di una particella al suo interno. L'indeterminazione nella velocità della particella sarebbe perciò piccola, e ciò significherebbe che la particella impiegerebbe un tempo molto lungo per uscire dal buco nero. Ma infine ci riuscirebbe. Un grande buco nero al centro di una galassia potrebbe impiegare  $10^{90}$  anni per evaporare e sparire completamente ( $10^{90}$  corrisponde a 1 seguito da novanta zeri). Questo è un periodo molto più lungo dell'età attuale dell'universo, che è solo dell'ordine di  $10^{10}$  anni (1 seguito da dieci zeri). Ci sarà però una grande abbondanza di tempo a disposizione se l'universo dovrà espandersi per sempre. □ Il futuro di un universo in perpetua espansione sarebbe piuttosto noioso. Non è però affatto certo che l'universo si espanderà per sempre. I dati a nostra disposizione ci permettono di valutare attualmente la densità della materia esistente nell'universo a solo un decimo circa di quella necessaria per determinare l'arresto dell'espansione e il successivo collasso dell'universo. Potrebbero però esserci altri tipi di materia oscura che non abbiamo ancora scoperto, i quali potrebbero far salire la densità critica dell'universo al valore critico o al di sopra di esso. Questa materia oscura aggiuntiva dovrebbe trovarsi fuori delle galassie e degli ammassi di galassie; in caso contrario avremmo notato il suo effetto sulla rotazione delle galassie o sui moti delle galassie negli ammassi. Perché mai dovremmo pensare che possa esistere una quantità di materia oscura sufficiente a determinare il collasso dell'universo? Perché non dovremmo limitarci a credere nella materia per cui abbiamo prove precise? La ragione è che anche il fatto che la materia dell'universo abbia oggi un decimo della densità critica richiede una scelta incredibilmente precisa della densità iniziale e del ritmo di espansione. Se la densità dell'universo un secondo dopo il big bang fosse stata maggiore della densità critica per una parte su cento miliardi, l'universo sarebbe ricollassato dopo dieci anni. Se invece la densità dell'universo fosse stata a quel tempo minore della densità critica per una parte su cento miliardi, l'universo sarebbe stato essenzialmente vuoto già dopo dieci anni di esistenza. Come mai la densità iniziale dell'universo fu scelta con tanta precisione? Forse c'è qualche ragione per cui l'universo dovesse avere esattamente la densità critica. Pare ci siano due spiegazioni possibili. Una è il cosiddetto principio antropico, che può essere parafrasato così: l'universo è così com'è perché, se fosse diverso, noi non saremmo qui a osservarlo. L'idea è che potrebbero esserci molti universi diversi con densità differenti. Solo quelli più vicini alla densità critica durerebbero abbastanza a lungo, e conterrebbero abbastanza materia, per permettere la formazione di stelle e pianeti. Solo in quegli universi potrebbero esserci esseri intelligenti a chiedersi: perché la densità è così vicina alla densità critica? Se questa è la spiegazione della densità presente dell'universo, non c'è ragione di credere che l'universo contenga più materia di quella che abbiamo già scoperto. Un decimo della densità critica era sufficiente per la formazione di galassie e di stelle. A molte persone però il principio antropico non piace perché

sembra attribuire un'importanza eccessiva alla loro esistenza. Si è quindi cercata un'altra possibile spiegazione del perché la densità dovrebbe essere così vicina al valore critico. Questa ricerca ha condotto alla teoria dell'inflazione nell'universo primordiale. Secondo questa teoria, le dimensioni dell'universo potrebbero aver continuato a raddoppiarsi rapidamente, nello stesso modo in cui ogni pochi mesi si raddoppiano i prezzi in paesi soggetti a un'inflazione galoppante. L'inflazione dell'universo dev'essere stata però molto più rapida ed estrema: un aumento di un fattore di almeno un miliardo di miliardi di miliardi, nel corso di un periodo molto breve, deve aver condotto l'universo ad avere una densità così vicina alla densità critica da essere ancora molto vicino alla densità critica oggi. Se la teoria dell'inflazione è corretta, l'universo dovrebbe quindi contenere abbastanza materia oscura da portarne la densità fino alla densità critica. Ciò significa che l'universo finirà probabilmente un giorno per ricollassare, ma che prima di quel tempo dovranno passare molto più dei quindici miliardi circa di anni trascorsi da quando è iniziata l'espansione. Che cosa potrebbe essere quella materia oscura aggiuntiva che deve esistere se la teoria dell'inflazione è corretta? Essa dovrebbe essere diversa dalla materia normale, ossia dal tipo di materia che forma le stelle e i pianeti. Noi possiamo calcolare le quantità di vari elementi leggeri che devono essere state prodotte nelle caldissime fasi iniziali dell'universo, nei primi tre minuti dopo il big bang. Le quantità di questi elementi leggeri dipendono dalla quantità di materia normale esistente nell'universo. Si possono disegnare grafici con le quantità degli elementi leggeri in ordinata, e la quantità di materia normale nell'universo in ascissa. Se si fa l'ipotesi che la quantità di materia normale sia attualmente solo un decimo circa della quantità critica si ottiene un buon accordo con le abbondanze osservate. Può darsi che questi calcoli siano sbagliati, ma il fatto che otteniamo le abbondanze osservate per vari elementi diversi è piuttosto impressionante. Se la materia oscura è in grado di fornire un apporto di massa sufficiente per raggiungere la densità critica, i candidati principali per farne parte sarebbero i residui delle primissime fasi dell'esistenza dell'universo. Una possibilità sono le particelle elementari. Ci sono vari candidati ipotetici, particelle che pensiamo possano esistere ma che non abbiamo in realtà finora scoperto. Il caso più promettente è però quello di una particella della cui esistenza abbiamo buone prove: il neutrino. Si pensava che il neutrino non avesse massa, ma alcune osservazioni recenti hanno suggerito che possa avere in realtà una piccola massa. Se questa conclusione fosse confermata, e se si trovasse che il valore è quello giusto, i neutrini fornirebbero abbastanza massa per portare la densità dell'universo sino al valore critico. Un'altra possibilità sono i buchi neri. Può darsi che l'universo primitivo sia passato per una cosiddetta transizione di fase. I punti di ebollizione e di congelamento dell'acqua sono esempi di transizioni di fase. In una transizione di fase, un mezzo inizialmente uniforme, come acqua, sviluppa irregolarità, che nel caso dell'acqua possono essere pezzetti di ghiaccio o bolle di vapore. Tali irregolarità potrebbero collassare formando buchi neri. Se i buchi neri erano molto piccoli, devono nel frattempo essere evaporati a causa degli effetti del principio di indeterminazione della meccanica quantistica, come si è visto in precedenza. Se invece avevano una massa di qualche miliardo di tonnellate (la massa di una montagna), esisterebbero ancor oggi e dovrebbero essere molto difficili da scoprire. L'unica possibilità di scoprire materia oscura distribuita in modo uniforme nell'universo sarebbe attraverso il suo effetto sull'espansione dell'universo. Possiamo determinare la misura del rallentamento dell'espansione misurando la velocità alla quale stanno allontanandosi da noi le galassie lontane. Il fatto è che queste galassie ci appaiono com'erano nel lontano passato, quando emisero la luce che noi stiamo ricevendo attualmente. Possiamo disegnare un grafico delle

velocità delle galassie in funzione della loro luminosità o magnitudine, che è una misura della loro distanza da noi. La forma della curva su questo grafico indica il ritmo di rallentamento dell'espansione. Una curva che si inarchi verso l'alto corrisponde a un universo destinato a cadere infine preda del collasso gravitazionale. A prima vista i dati forniti dalle osservazioni sembrerebbero indicare che l'universo è effettivamente destinato al collasso. La difficoltà consiste però nel fatto che la luminosità apparente di una galassia non è un'indicazione molto buona della sua distanza da noi. Non solo esistono differenze considerevoli nella luminosità intrinseca delle galassie, ma ci sono anche prove che la loro luminosità cambia col tempo. Poiché non sappiamo quanto concedere all'evoluzione della luminosità, non possiamo ancora dire quanto sia rapido il rallentamento: se esso sia abbastanza veloce da condurre in futuro a un collasso dell'universo o se questo continuerà a espandersi per sempre. Per poterlo dire con certezza dobbiamo attendere lo sviluppo di mezzi migliori per misurare le distanze delle galassie. Possiamo però essere certi che il ritmo del rallentamento non è così rapido da condurre al collasso dell'universo nei prossimi miliardi di anni. Né un'espansione perpetua né un collasso finale fra un centinaio di miliardi di anni sono una prospettiva molto eccitante. Non c'è qualcosa che possiamo fare per rendere il futuro più interessante? Un modo sarebbe senza dubbio quello di infilarsi in un buco nero. Dovrebbe essere però un buco nero molto grande, con una massa più di un milione di volte superiore alla massa del Sole. Ma ci sono buone probabilità che ci sia un buco nero così grande al centro della nostra galassia. Non siamo del tutto sicuri di ciò che accade all'interno di un buco nero. Ci sono equazioni della relatività generale che permetterebbero di cadere in un buco nero e uscire da qualche altra parte in un buco bianco. Un buco bianco è l'inverso temporale di un buco nero. è un oggetto da cui possono uscire cose ma in cui nulla può entrare. Il buco bianco potrebbe trovarsi in un'altra parte dell'universo, e quindi sembrerebbe offrire la possibilità di rapidi viaggi intergalattici. Il guaio è che tali viaggi potrebbero essere troppo rapidi. Se fosse possibile il viaggio attraverso i buchi neri, sembrerebbe che nulla possa impedire di arrivare prima di essere partiti. Si potrebbe allora fare qualcosa - come uccidere la propria madre - che ci avrebbe impedito di compiere il viaggio nel tempo. Pare però, fortunatamente per la sopravvivenza nostra e delle nostre madri, che le leggi della fisica non permettano tali viaggi nel tempo. Pare esista una sorta di Ente per la Protezione della Cronologia che rende il mondo sicuro per gli storici, impedendo i viaggi nel passato. Pare che gli effetti del principio di indeterminazione implicino la presenza, se si viaggiasse nel passato, di una grandissima quantità di radiazione. Questa radiazione o incurverebbe lo spazio-tempo in modo tale da rendere impossibile andare a ritroso nel tempo, oppure farebbe terminare lo spazio-tempo in una singolarità come il big bang e il big crunch. In un modo o nell'altro, il nostro passato sarebbe al sicuro dalle mire di malintenzionati. L'ipotesi della Protezione della Cronologia è corroborata da alcuni calcoli recenti fatti da me e da altre persone. Ma la prova migliore che abbiamo del fatto che i viaggi nel tempo non sono possibili, e non lo saranno mai, è che non siamo stati invasi da orde di turisti dal futuro. Per ricapitolare: gli scienziati credono che l'universo sia governato da leggi ben definite, le quali, in linea di principio, permettono di predire il futuro. □ Ma l'applicazione delle leggi conduce in numerose situazioni a moti caotici. Ciò significa che un lieve mutamento nelle condizioni iniziali può condurre a divergenze che diventano rapidamente molto grandi nel successivo comportamento. In pratica accade perciò che si possa spesso predire con precisione solo un tempo piuttosto breve nel futuro. Il comportamento dell'universo a una scala molto grande sembra però semplice, e non caotico. E perciò possibile predire se l'universo si espanderà per sempre o se finirà

per ricollassare. La soluzione di questo problema dipende dalla densità attuale dell'universo. Questa sembra essere, di fatto, molto vicina alla densità critica che separa il collasso finale dall'espansione indefinita. Se la teoria dell'inflazione è corretta, l'universo si trova attualmente sul filo del rasoio. Così io mi colloco nella tradizione ben stabilita degli oracoli e dei profeti di premunirmi predicando entrambe le possibilità.

## 13 □ **DISCHI PER UN'ISOLA DESERTA.**

Il programma della BBC Desert Island Discs (*“Dischi per un'isola deserta”*) iniziò le trasmissioni nel 1942 ed è il programma radiofonico britannico che detiene il record di durata; oggi esso è in Gran Bretagna una sorta di istituzione nazionale. Nel corso degli anni ha avuto un'infinità di ospiti. Il Programma ha intervistato scrittori, attori di teatro, musicisti, attori e registi cinematografici, sportivi, commediografi, cuochi, giardinieri, docenti, ballerini, politici, membri della famiglia reale, disegnatori di fumetti, e anche scienziati. Agli ospiti, chiamati sempre *“naufraghi”*, si chiede di scegliere gli otto dischi che porterebbero con sé se fossero abbandonati da soli su un'isola deserta. Si chiede loro anche di nominare un oggetto di lusso (che dev'essere inanimato) e un libro (si suppone che sull'isola sia già presente un testo religioso appropriato - la Bibbia, il Corano o un volume equivalente -, oltre alle opere di Shakespeare). Si dà per scontato che esistano i supporti tecnici per ascoltare i dischi; nei primi tempi si soleva dire, nella presentazione del programma: *“à supponendo che ci siano un grammofono e una scorta inesauribile di puntine”*. Oggi si presume che il supporto tecnico per ascoltarli sia un lettore di CD alimentato da batterie solari. Il programma viene trasmesso settimanalmente, e i dischi scelti dagli ospiti vengono fatti ascoltare durante l'intervista, che normalmente dura quaranta minuti. Quest'intervista con Stephen Hawking, che fu trasmessa il giorno di Natale del 1992, fece eccezione ed ebbe una durata maggiore.

Sue: Sotto molti aspetti, Stephen, lei ha già familiarità con l'isolamento tipico di un'isola deserta, essendo escluso dalla normale attività fisica e privato di ogni mezzo naturale di comunicazione. Quanto è grande la sua solitudine? Stephen: Io non mi considero escluso da una vita normale, e non penso che le persone che mi sono vicine direbbero una cosa del genere. Non mi sento un handicappato, ma penso di essere affetto solo da certe malfunzioni dei miei motoneuroni, un po' come se fossi daltonico. Penso che sia difficile descrivere la mia vita come normale, ma io mi sento normale nello spirito.

Sue: Lei ha tuttavia già dimostrato a se stesso, diversamente dalla maggior parte dei naufraghi di quest'isola deserta, di essere autosufficiente sul piano mentale e intellettuale, di avere abbastanza teorie e ispirazione per tenersi occupato.

Stephen: Suppongo di essere naturalmente un po' introverso, e le mie difficoltà nella comunicazione mi hanno costretto a fare assegnamento soprattutto su me stesso. Ma da ragazzo ero un grande parlatore. Avevo bisogno di discutere con altri per stimolarmi. Nel mio lavoro trovo che sia un grande aiuto il descrivere ad altri le mie idee. Anche se non mi danno dei suggerimenti, il semplice fatto di dover organizzare i miei pensieri in modo da poterli spiegare ad altri mi conduce spesso a nuovi passi avanti.

Sue: Ma che dire dell'appagamento emotivo? Anche un fisico brillante deve aver bisogno di altre persone per trovarlo.

Stephen: La fisica è bellissima, ma è del tutto fredda. Io non potrei sopportare la mia vita se avessi solo la fisica. Come ogni altra persona ho bisogno di calore, amore e affetto. Mi ritengo molto fortunato, assai più fortunato di parecchie persone affette dalla mia stessa invalidità, per aver ricevuto molto amore e affetto. Anche la musica è molto importante per me.

Sue: Mi dica, che cosa le dà più piacere: la fisica o la musica? Stephen: Devo dire che il piacere

che provo quando tutto funziona per il meglio in fisica è più intenso di quello che io abbia mai provato con la musica. Ma le cose funzionano così solo poche volte nella carriera di un uomo, mentre si può ascoltare un disco ogni volta che se ne ha voglia.

Sue: E qual è il primo disco che vorrebbe ascoltare nella sua isola deserta? Stephen: Il Gloria di Poulenc. L'ho sentito per la prima volta l'estate scorsa ad Aspen, nel Colorado. Aspen è prima di tutto una stazione invernale molto ben attrezzata per lo sci, ma d'estate vi si tengono congressi di fisica. Accanto al centro di fisica c'è un tendone enorme dove si fanno concerti. Mentre stai calcolando che cosa accade quando i buchi neri evaporano puoi sentire le prove d'orchestra. È una situazione ideale; combina i miei due piaceri principali: la fisica e la musica. Se sulla mia isola deserta posso avere entrambe le cose, non voglio essere salvato. Cioè, non fino a quando non abbia fatto una scoperta in fisica teorica di cui voglio parlare a tutti. Suppongo che un'antenna satellitare, in modo da poter ricevere articoli per posta elettronica, sarebbe contro le regole.

Sue: La radio può celare i difetti fisici, ma in questo caso sta mascherando qualcos'altro. Sette anni fa, Stephen, lei ha perso letteralmente la voce. Mi racconti come accadde.

Stephen: Mi trovavo a Ginevra, al CERN, il grande acceleratore di particelle, nell'estate del 1985. Volevo andare a Bayreuth, in Germania, per assistere al ciclo wagneriano dell'Anello del Nibelungo. Mi presi però una polmonite e fui portato all'ospedale. I medici dell'ospedale di Ginevra dissero a mia moglie che non valeva la pena di tenere inserita la macchina cuore-polmoni per tentare di salvarmi. Ma lei non volle sentir nulla. Fui trasportato in aereo in Inghilterra e ricoverato all'ospedale Addenbrookes di Cambridge, dove il chirurgo Roger Grey mi praticò la tracheotomia. L'intervento mi salvò la vita ma mi tolse completamente la voce. Sue: Ma la sua parola era in ogni modo impedita e difficile da capire. Quindi lei avrebbe presumibilmente perso comunque l'uso della parola, no? Stephen: Benché la mia parola fosse impedita e difficile da capire, le persone vicine a me riuscivano ancora a comprendermi. Potevo tenere seminari attraverso un interprete, e riuscivo a dettare articoli scientifici. Per un po' di tempo dopo l'operazione fui completamente distrutto. Pensavo che, se non avessi potuto recuperare la voce, non valesse la pena di continuare.

Sue: Poi un esperto di computer californiano lesse la notizia di ciò che le era capitato e le mandò una voce. Come funziona? Stephen: Quell'esperto di computer si chiama Walt Wolosz. Poiché sua suocera si era trovata nella mia stessa situazione, aveva sviluppato un programma per computer per aiutarla a comunicare. Un cursore si muove su uno schermo. Quando si trova sull'opzione che desideri, azioni un interruttore con un movimento della testa o degli occhi, o nel mio caso con una mano. In questo modo si possono scegliere parole che compaiono sulla metà inferiore dello schermo. Quando si sono messe assieme le parole che si vogliono dire, le si possono trasmettere a un sintetizzatore vocale che le pronuncia o registrare su disco.

Sue: Ma è una cosa lenta. Stephen: Sì, è lenta, circa dieci volte più lenta rispetto al linguaggio normale. Ma il sintetizzatore vocale è di gran lunga più chiaro di quanto non fossi io in precedenza. I britannici ne descrivono l'accento come americano, mentre gli americani dicono che sembra scandinavo o irlandese. In ogni modo, quale che sia il suo accento, tutti riescono a capirlo. I miei figli più grandi si adattavano alla mia voce naturale mentre peggiorava, ma il mio figlio più piccolo, che quando subii la tracheotomia aveva solo sei anni, non riusciva mai a capirmi. Ora non ha nessuna difficoltà. Questa è una cosa molto importante per me.

Sue: Ciò comporta anche che lei possa chiedere di conoscere in anticipo le domande dell'intervistatore, e rispondere solo quando è pronto, no? Stephen: Per programmi lunghi, registrati come questo, mi è utile conoscere le domande, perché ciò mi permette di non usare ore e ore di nastro di registrazione. In un certo senso ho una maggiore possibilità di controllo. In realtà, però, preferisco rispondere alle domande improvvisando. Lo faccio sempre dopo seminari e conferenze popolari.

Sue: Ma, come dice lei, questo modo di procedere comporta che lei abbia il controllo, e io so che questo per lei è molto importante. I suoi familiari e i suoi amici dicono che lei è molto ostinato e autoritario. Si riconosce colpevole di queste imputazioni? Stephen: A volte qualsiasi persona con un po' di buon senso viene definita ostinata. Io preferirei parlare di determinazione. Se non fossi stato abbastanza determinato, ora non sarei qui.

Sue: è sempre stato così? Stephen: Voglio solo avere sulla mia vita lo stesso grado di controllo che altre persone hanno sulla propria. Troppo spesso accade che le persone disabili debbano lasciare che la propria vita venga governata da altri. Nessuna persona sana lo permetterebbe. Sue: Mi dica ora il suo secondo disco. Stephen: Il Concerto per violino di Brahms. Fu il primo LP che comprai. Eravamo nel 1957, e i dischi a 33 giri erano apparsi solo da poco in Gran Bretagna. Mio padre avrebbe considerato una prodigalità eccessiva comprare un grammofono, ma io lo convinsi che sarei riuscito a montarne uno da parti che avrei potuto comprare a buon mercato. Essendo un uomo dello Yorkshire, quest'idea gli piacque. Sistemai il piatto e l'amplificatore nella cassa di un vecchio grammofono a 78 giri. Se lo avessi tenuto, oggi varrebbe molto. Dopo aver costruito questo giradischi, avevo bisogno di qualcosa da ascoltare. Un compagno di scuola mi suggerì il Concerto per violino di Brahms, poiché nessuno di noi ne aveva un'incisione. Ricordo che costava trentacinque scellini: una somma molto alta per quei tempi, specialmente per me. I prezzi dei dischi da allora sono aumentati, ma in termini reali oggi sono molto inferiori. Quando ascoltai per la prima volta questo disco in un negozio mi parve un po' strano e non ero sicuro che mi piacesse. Ma pensai di dover dire che mi piaceva. Nel corso degli anni, però, esso è venuto a significare molto per me. Vorrei ascoltare l'inizio dell'Adagio.

Sue: Un suo vecchio compagno di scuola ha detto della sua famiglia che i suoi, quando lei era un ragazzo, erano - cito - *“persone molto eccentriche, molto intelligenti e molto colteà ma soprattutto un po' strambe”*. \* Riflettendo sul passato, lei pensa che sia una descrizione corretta? Stephen: Non posso dire se la mia famiglia fosse o no intelligente, ma certamente non ci sentivamo eccentrici. Suppongo però che possiamo essere sembrati eccentrici rispetto alla norma di St. Albans, che era un posto molto contegnoso quando vi abitavamo noi. Sue: E suo padre era uno specialista in malattie tropicali. Stephen: Mio padre faceva ricerche sulle malattie tropicali. Spesso si recò in Africa, per sperimentarvi nuovi farmaci.

Sue: Fu dunque sua madre a esercitare l'influenza più grande su di lei? E, in tal caso, come descriverebbe tale influenza? Stephen: No, direi che l'influenza maggiore su di me sia stata quella di mio padre. Fu lui il mio modello. Essendo mio padre un ricercatore scientifico, pensai che la ricerca scientifica fosse la cosa naturale da fare da adulto. L'unica differenza fu che io non ero attratto dalla medicina o dalla biologia perché mi sembravano troppo inesatte e descrittive. Volevo qualcosa di più fondamentale, e lo trovai nella fisica.

Sue: Sua madre ha affermato che lei ha sempre avuto quello che descrisse come un forte senso del



meraviglioso. *“Mi accorgevo di quanto le stelle lo attraessero”* ha detto.\* Lo ricorda? Stephen: Ricordo che una notte tornai a casa tardi da Londra. A quei tempi spegnevano i lampioni delle strade a mezzanotte, per risparmiare. Vidi il cielo notturno come non lo avevo mai visto prima, attraversato dalla banda luminosa della Via Lattea. Non ci saranno lampioni stradali sulla mia isola deserta, cosicché potrò vedere bene le stelle.

Sue: Da bambino lei fu ovviamente molto brillante, e a casa si impegnò con grande spirito di competizione nei giochi con sua sorella, ma a scuola riuscì a essere praticamente fra i peggiori della classe e a non preoccuparsene, non è vero? Stephen: Fu al mio primo anno a St. Albans. Ma direi che era una classe molto brillante, e io andai molto meglio agli esami che durante l'anno. Ero certo che avrei potuto far bene; furono solo la mia brutta grafia e il mio generale disordine a farmi classificare così in basso.

Sue: Qual è il suo terzo disco? Stephen: Quando studiavo a Oxford lessi il romanzo di Aldous Huxley Punto contro punto. Voleva essere un ritratto degli anni trenta e aveva un gran numero di personaggi. Per lo più erano personaggi piuttosto stereotipati, ma ce n'era uno che era abbastanza umano, ed era chiaramente modellato sullo stesso Huxley. Quest'uomo uccide il capo dei fascisti britannici, un personaggio ispirato a Oswald Mosley. Comunica poi al partito ciò che ha fatto e mette sul grammofono il disco del Quartetto per archi op. 132 di Beethoven. Alla metà del terzo movimento, bussano alla porta. Va ad aprire: sono i fascisti, che gli sparano. In realtà è un romanzo molto brutto, ma Huxley non si è sbagliato nella scelta della musica. Se io sapessi che un'onda di marca sta per sommergere la mia isola deserta, ascolterei il terzo movimento di questo quartetto.

Sue: Lei si iscrisse a Oxford, all'University College, per studiare matematica e fisica, e secondo i suoi calcoli non studiò per più di un'ora in media al giorno, anche se si deve dire che praticò il canottaggio, bevve birra e si divertì a fare scherzi stupidi alla gente, secondo quel che ho letto. Qual'era il problema? Perché non studiava seriamente? Stephen: Era la fine degli anni cinquanta, e la maggior parte dei giovani erano delusi del cosiddetto Establi-Ament. Sembrava che non ci fosse nulla a cui valesse la pena di aspirare se non la ricchezza e una maggiore ricchezza. I conservatori avevano appena conseguito la loro terza vittoria elettorale con lo slogan: *“Non siete mai stati così bene”*. Io e la maggior parte dei miei contemporanei eravamo annoiati della vita.

Sue: Tuttavia lei riusciva a risolvere in poche ore problemi di cui i suoi compagni non riuscivano a venire a capo in molte settimane. Loro ne erano ovviamente consapevoli visto che le hanno attribuito un talento eccezionale. E lei, pensa di esserne stato consapevole? Stephen: Il corso di fisica a Oxford era di una facilità ridicola. Si poteva superare l'esame finale senza aver frequentato le lezioni, andando semplicemente a una o due lezioni di un tutor la settimana. Non c'era bisogno di ricordare molti fatti ma solo qualche equazione. Sue: Ma fu a Oxford, non è vero?, che lei notò per la prima volta che le sue mani e i suoi piedi non facevano esattamente ciò che voleva lei. Come si spiegò allora quel fatto? Stephen: In effetti la prima cosa che notai fu che non riuscivo a controllare in modo appropriato un'imbarcazione da canottaggio con un remo. Poi feci una brutta caduta sulle scale del junior Common Room, all'University College. Dopo la caduta andai dal medico del College perché temevo di aver subito qualche danno cerebrale, ma egli giudicò che fosse tutto a posto e mi disse di ridurre la birra. Dopo gli esami finali a Oxford, nel periodo estivo feci un viaggio in Persia. Quando tornai ero decisamente più debole, ma pensai che fosse una conseguenza dei disturbi di stomaco di cui avevo sofferto.

Sue: Ma quando fu che lei finalmente ammise che c'era effettivamente qualcosa che non andava, e decise di rivolgersi ai medici? Stephen: Ero a Cambridge, e andai a casa per Natale. Fu l'inverno freddissimo dal '62 al '63. Mia madre mi convinse ad andare a pattinare sul lago a St-Albans, anche se io sapevo che in realtà non ce l'avrei fatta. Caddi e mi rialzai solo con grande difficoltà. Mia madre capì che c'era qualcosa che non andava, e mi condusse dal medico di famiglia.

Sue: E poi la ricoverarono per tre settimane in ospedale, dove le annunciarono il peggio? Stephen: In effetti fui ricoverato all'ospedale Barts di Londra, poiché mio padre era un dipendente del Barts. Vi rimasi per un paio di settimane, e feci delle analisi, ma in realtà non mi dissero che cosa ci fosse che non andava, se non che non era sclerosi multipla, e che non era un caso tipico. Non mi dissero quali fossero le prospettive, ma indovinai abbastanza per sapere che erano piuttosto fosche, cosicché non avevo alcuna voglia di far domande.

Sue: Alla fine, però, le dissero che le restavano solo un paio d'anni circa da vivere. A questo punto facciamo una pausa nella sua storia, Stephen, e mettiamo il suo prossimo disco.

Stephen: La Valchiria, atto primo. Era un altro dei primi LP, con Melchior e Lehmann. L'opera era stata registrata in origine, prima della guerra, in 78 giri, e trasferita all'inizio degli anni sessanta su LP. Dopo che, nel 1963, mi fu diagnosticata la malattia dei motoneuroni, mi volsi a Wagner come a un compositore che si intonava allo stato d'animo cupo e apocalittico in cui mi trovavo. Purtroppo il mio sintetizzatore vocale non è molto istruito, e pronuncia la "W" come se fosse una "U". Per ottenere un suono più corretto devo scrivere V, A, R, G, N, E, R. Le quattro opere del ciclo dell'Anello del Nibelungo sono le massime creazioni di Wagner. Io andai a vederle a Bayreuth, in Germania, con mia sorella Philippa nel 1964. A quel tempo non conoscevo bene l'Anello, e La Valchiria, la seconda opera del ciclo, mi fece una tremenda impressione. Era una produzione di Wolfgang Wagner, e la scena era quasi totalmente buia. E la storia d'amore di due gemelli, Siegrund e Sieglinde, che erano stati separati nell'infanzia. Si incontrano di nuovo quando Siegrund si rifugia in casa di Hunding, marito di Sieglinde e nemico di Siegmund. Il brano che ho scelto è il racconto fatto da Sieglinde del suo matrimonio forzato con Hunding. Nel pieno delle celebrazioni entra nella sala un vecchio. L'orchestra suona il motivo del Walhalla, uno dei temi più nobili dell'Anello, perché egli è Wotan, il capo degli dei e padre di Siegmund e di Sieglinde. Wotan pianta una spada nel tronco di un albero. La spada è per Siegmund. Alla fine dell'atto Siegmund la estrae dall'albero e i due fuggono nella foresta.

Sue: Leggendo quanto si scrive su di lei, Stephen, si ha quasi l'impressione che quella condanna a morte - essendole stato detto che le restavano solo un paio d'anni circa da vivere - l'abbia in un certo senso ridestata, l'abbia fatta concentrare sulla vita.

Stephen: Il primo effetto fu quello di deprimermi. Mi sembrava di peggiorare molto rapidamente. Sembrava che non valesse la pena di fare nulla, o di lavorare alla tesi di dottorato, perché non sapevo se sarei vissuto abbastanza per terminarla. Ma poi le cose cominciarono a migliorare. I sintomi progredivano più lentamente, e io iniziai a fare progressi nel mio lavoro, particolarmente nel dimostrare che l'universo doveva avere avuto un inizio in un big bang.

Sue: Lei ha detto persino, in un'intervista, che pensa di essere più felice ora che prima di ammalarsi.

Stephen: Sono certamente più felice ora. Prima di essere colpito dalla malattia dei motoneuroni ero

annoiato della vita. La prospettiva di una morte precoce mi fece capire che la vita merita di essere vissuta. Ci sono molte cose che si possono fare, che chiunque può fare. Io ho la concreta sensazione di aver dato, nonostante la mia condizione, un contributo significativo, per quanto modesto, alla conoscenza umana. Ovviamente sono stato molto fortunato, ma tutti possono conseguire qualche risultato purché profondano un impegno sufficiente.

Sue: Lei si spingerebbe fino al punto di dire che non avrebbe forse conseguito tutti i risultati che ha ottenuto se non avesse avuto la malattia dei motoneuroni o questa è un'affermazione troppo semplicistica? Stephen: No, penso che la malattia dei motoneuroni non possa essere un vantaggio per nessuno. Ma fu meno svantaggiosa per me che per altri, perché non mi impedì di fare ciò che volevo, che era di cercare di capire come funziona l'universo.

Sue: L'altra sua ispirazione, quando lei tentò di convivere con la malattia, fu una giovane di nome Jane Wilde, che lei incontrò a una festa innamorandosene e successivamente sposandola. Quanto del suo successo lei deve a quella ragazza, a Jane? Stephen: Certamente non sarei riuscito senza di lei. Il fidanzamento mi sollevò dall'abisso di scoraggiamento in cui mi trovavo. E se dovevamo sposarci, dovevo trovare un lavoro e terminare la tesi di dottorato. Cominciai a lavorar sodo e trovai che mi piaceva. Jane si occupava di me da sola mentre la mia condizione andava peggiorando. A quel tempo nessuno ci offriva assistenza, e certamente non potevamo permetterci di pagare qualcuno perché ci aiutasse.

Sue: E insieme sfidaste i medici, non solo continuando a vivere, ma anche mettendo al mondo dei figli. Avete Robert nel 1967, Lucy nel '70 e poi Timothy nel '79. Come reagirono i medici? Stephen: In effetti il medico che diagnosticò la mia malattia se ne lavò le mani, di me. Pensava che non ci fosse nulla da fare. Dopo la diagnosi iniziale non lo rividi più. Mio padre divenne il mio medico ed era a lui che mi rivolgevo per consigli. Mi disse che non c'era alcuna prova che la malattia fosse ereditaria. Jane riuscì a prendersi cura di me e dei nostri due figli. Fu solo quando andammo in California nel 1974 che dovemmo far ricorso per la prima volta ad aiuti esterni: prima uno studente che accettò di vivere con noi e in seguito delle infermiere.

Sue: Ma ora lei e Jane non state più assieme. Stephen: Dopo l'operazione di tracheotomia avevo bisogno di ventiquattr'ore di assistenza su ventiquattro. Questo fatto impose una tensione sempre maggiore al nostro matrimonio. Infine me ne andai e ora abito in un nuovo appartamento a Cambridge. Attualmente viviamo separati.

Sue: Mettiamo un altro po' di musica. Stephen: I Beatles, Please Please Me. Dopo le prime quattro scelte piuttosto serie, avrei bisogno di un po' di respiro. Per me e per molti altri, i Beatles furono come un piacevole soffio d'aria nuova su una scena piuttosto vecchia e popolare in senso deteriorato. Io ero solito ascoltare i Top Twenty a radio Lussemburgo la domenica sera.

Sue: Nonostante tutti gli onori che lei ha accumulato, Stephen Hawking - e dovrei menzionare specificamente che lei è professore di matematica a Cambridge, dove occupa la cattedra di Newton - decise di scrivere un libro divulgativo sul suo lavoro, per una ragione, secondo me, molto semplice. Aveva bisogno di denaro.

Stephen: Benché pensassi di poter ricavare un po' di denaro da un libro divulgativo, la ragione principale per cui scrissi Dal Big Bang ai buchi neri fu perché mi piaceva. Ero entusiasta delle scoperte che erano state compiute negli ultimi venticinque anni, e volevo parlarne alla gente. Non mi

sarei mai aspettato che il libro andasse così bene.

Sue: In effetti ha battuto tutti i record ed è entrato nel Guinness dei Primati per il tempo in cui è stato nella classifica dei bestseller, e c'è ancora. Pare che nessuno sappia quante copie ne siano state vendute in tutto il mondo, ma certamente sono stati superati i dieci milioni. È chiaro che la gente lo compra, ma ci si continua a chiedere: lo legge? Stephen: So che Bernard Levin si è fermato a pagina 29, ma conosco molte persone che sono andate oltre. In tutto il mondo ci sono persone che mi avvicinano e mi esprimono tutto il loro apprezzamento. Può darsi che non l'abbiano finito, o che non abbiano capito tutto ciò che hanno letto. Ma ne hanno almeno tratto l'idea che viviamo in un universo governato da leggi razionali che possiamo scoprire e capire.

Sue: Fu il concetto dei buchi neri a colpire per la prima volta l'immaginazione del pubblico e ad attrarre un rinnovato interesse verso la cosmologia. Ha mai guardato gli episodi della serie Star Trek, dove ci sono uomini che si spingono audacemente *"là dove nessun uomo è mai giunto prima"* e così via. Le sono piaciuti? Stephen: Quand'ero un ragazzo ho letto molta fantascienza. Ora che però lavoro nel campo io stesso, trovo la maggior parte della fantascienza un po' troppo semplicistica. È facile scrivere di viaggi nell'iperspazio, o trasferire persone da un luogo all'altro col teletrasporto, se non si devono includere queste nozioni in un quadro coerente. La vera scienza è molto più interessante perché tratta di cose che accadono realmente. Gli scrittori di fantascienza non hanno mai suggerito l'esistenza di buchi neri prima che li concepissero i fisici. Oggi però abbiamo buone prove dell'esistenza di vari buchi neri.

Sue: Che cosa le succederebbe se cadesse in un buco nero? Stephen: Chiunque legga romanzi di fantascienza sa che cosa succede a chi va a finire in un buco nero: si viene trasformati in polpette. Ma la cosa più interessante è che i buchi neri non sono completamente neri. Essi emettono particelle e radiazione a un ritmo costante. In conseguenza di quest'emissione un buco nero evapora lentamente, ma non si sa che cosa accada infine ad esso e a ciò che contiene. È un'area di ricerca molto interessante, ma gli autori di fantascienza non hanno tenuto il passo con essa.

Sue: E la radiazione che lei ha menzionato è detta, ovviamente, radiazione di Hawking. Non fu lei a scoprire i buchi neri, anche se lei ha proseguito la ricerca dimostrando che non sono neri. Ma fu la scoperta dei buchi neri a indurla a pensare con maggiore impegno alle origini dell'universo, non è così? Stephen: Il collasso di una stella a formare un buco nero assomiglia sotto molti aspetti all'inversione temporale dell'espansione dell'universo. Una stella collassa a partire da uno stato di densità piuttosto basso fino a raggiungere uno stato di densità elevatissima. E l'universo si espande da uno stato di densità molto alta a densità minori. C'è una differenza importante: noi ci troviamo fuori dal buco nero, ma dentro l'universo. Entrambi, però, sono caratterizzati dalla radiazione termica.

Sue: Lei dice che si ignora che cosa ne sarà infine di un buco nero e dei suoi contenuti, ma io pensavo che, secondo la sua teoria, qualunque cosa fosse caduta dentro un buco nero, compreso un astronauta, sarebbe stata infine riciclata come radiazione di Hawking.

Stephen: L'energia della massa dell'astronauta sarà riciclata come radiazione emessa dal buco nero. Ma l'astronauta stesso, o addirittura le particelle da cui è formato, non usciranno dal buco nero. La domanda, quindi, è: che cosa ne accadrà? Saranno distrutte o passeranno in un altro universo? È una cosa che mi piacerebbe moltissimo sapere, non che stia pensando di saltare in un buco nero! Sue: Lei, Stephen, lavora con l'intuizione? Voglio dire, arriva con l'intuizione a una

teoria che le piace e l'attrae, e solo in un secondo tempo comincia a dimostrarla? O, da scienziato, deve sempre arrivare logicamente a una conclusione e non osa fare congetture in anticipo? Stephen: Io mi affido molto all'intuizione. Cerco di congetturare un risultato, ma poi devo dimostrarlo, e a questo punto trovo abbastanza spesso che ciò che avevo pensato non è del tutto vero, o che le cose stanno in termini che non avrei mai immaginato. Fu così che trovai che i buchi neri non sono completamente neri. Stavo tentando di dimostrare qualcos'altro.

Sue: Mettiamo un altro disco? Stephen: Uno dei miei favoriti è sempre stato Mozart. Ha composto una quantità incredibile di musica. Per il mio cinquantesimo compleanno, a gennaio ho ricevuto in dono la collezione completa delle sue opere in CD, oltre duecento ore di musica. Non sono ancora riuscito ad ascoltarla tutta. Uno dei suoi massimi capolavori è il Requiem. Mozart morì prima di poterlo portare a termine, ed esso fu completato da un suo allievo sulla base di frammenti lasciati da lui. L'introito che stiamo per ascoltare fu l'unica parte completamente scritta e orchestrata da Mozart.

Sue: Per ipersemplicizzare grossolanamente le sue teorie, Stephen, e spero che me ne perdonerà, lei una volta credeva, se ho capito bene, che ci fu un momento della creazione, un big bang, a cui oggi non crede più. Lei crede che non ci sia stato un inizio e che non ci sarà una fine, che l'universo sia autosufficiente. Ciò significa che non ci sia stato un atto di creazione, e quindi che non ci sia posto per Dio? Stephen: Sì, lei ha ipersemplicizzato. Io credo ancora che l'universo abbia un inizio nel tempo reale, in un big bang. Ma c'è un altro tipo di tempo, il tempo immaginario, perpendicolare al tempo reale, in cui l'universo non ha né inizio né fine. Ciò significherebbe che il modo in cui l'universo ha avuto inizio sarebbe determinato dalle leggi della fisica. Non si dovrebbe dire che Dio scelse di mettere in moto l'universo in un qualche modo arbitrario che noi non potremmo capire. Io non dico nulla sull'esistenza o no di Dio, ma solo che Egli non è arbitrario.

Sue: Ma, se c'è una possibilità che Dio non esista, in che modo lei spiega tutte quelle cose che vanno al di là della scienza: l'amore, e la fede che la gente ha avuto e ha in lei, e anche nella sua ispirazione? Stephen: L'amore, la fede e la moralità appartengono a una categoria diversa dalla fisica. Non si può dedurre dalle leggi della fisica come ci si dovrebbe comportare. E però lecito sperare che il pensiero logico implicato dalla fisica e dalla matematica ci guidi anche nel nostro comportamento morale.

Sue: Io credo però che molte persone siano convinte che lei sia riuscito del tutto a fare a meno di Dio. Lo sta negando, quindi? Stephen: Tutto ciò che la mia opera ha dimostrato è che non si deve dire che il modo in cui l'universo ha avuto inizio sia stato un capriccio personale di Dio. Rimane però ancora la domanda: perché l'universo si dà la pena di esistere? Se crede, può dire che Dio sia la risposta a questa domanda.

Sue: Ascoltiamo il disco numero sette. Stephen: Io sono un vero appassionato dell'opera lirica. Avevo pensato di scegliere tutti i miei otto dischi dall'opera, da Gluck e Mozart, passando per Wagner, fino a Verdi e Puccini. Alla fine, però, ho ridotto a due la mia scelta in questo campo. Uno doveva essere Wagner, e quanto all'altro ho deciso infine che dovesse essere Puccini. Turandot è di gran lunga la sua opera migliore, ma anche lui morì prima di poterla portare a termine. Il brano che ho scelto è il racconto fatto da Turandot di come una principessa nell'antica Cina fu stuprata e rapita dai mongoli. Per rivalsa, Turandot pone ai suoi pretendenti tre enigmi: se non riusciranno a scioglierli saranno giustiziati.

Sue: Che cosa significa per lei il Natale? Stephen: E' un po' come il giorno del Ringraziamento per gli americani: un giorno per stare con la propria famiglia e ringraziare per l'anno trascorso. È anche il momento di guardare al nuovo anno che viene, simboleggiato dalla nascita di un bambino in una stalla.

Sue: E, per passare a una considerazione più materialistica, quali regali lei ha chiesto: o di questi tempi lei è così ricco da essere l'uomo che ha già tutto? Stephen: Preferisco le sorprese. Se si chiede qualcosa di specifico, si toglie a chi dona la libertà o l'opportunità di usare la sua immaginazione. Ma non mi vergogno che si venga a sapere che vado pazzo per i tartufi di cioccolato.

Sue: Finora, Stephen, lei ha vissuto trent'anni più di quel che le era stato predetto. Ha messo al mondo dei figli, che le fu detto non avrebbe mai avuto, ha scritto un bestseller, ha rovesciato concezioni tradizionali sullo spazio e il tempo. Che cos'altro sta progettando di fare prima di lasciare questo pianeta? Stephen: Tutto ciò che ho fatto mi è stato possibile solo perché ho avuto la fortuna di ricevere molto aiuto. Sono contento di ciò che sono riuscito a realizzare, ma ci sono molte altre cose che mi piacerebbe fare prima di morire. Non voglio parlare della mia vita privata ma, sul versante della scienza, mi piacerebbe sapere come unificare la gravità con la meccanica quantistica e le altre forze della natura. In particolare, vorrei sapere che cosa accade a un buco nero quando evapora.

Sue: Mettiamo l'ultimo disco. Stephen: Il titolo dovrebbe pronunciarlo lei. Il mio sintetizzatore della voce è americano, e non ha alcuna speranza col francese. Edith Piaf, che canta *je ne regrette rien*. È una canzone che riassume bene la mia vita.

Sue: Ora, Stephen, se lei potesse prendere uno solo di questi otto dischi, quale sceglierebbe? Stephen: Prenderci il Requiem di Mozart. Potrei ascoltarlo fino all'esaurimento delle pile nel mio lettore di CD portatile.

Sue: E il libro? Ovviamente le opere complete di Shakespeare e la Bibbia ci sono già. Stephen: Penso che porterei *Alidlimarch* di George Eliot. Mi pare che qualcuno, forse Virginia Woolf, abbia detto che è un libro per adulti. Non sono sicuro di essere ancora cresciuto abbastanza, ma ci proverò.

Sue: E l'oggetto di lusso? Stephen: Chiederò una grande scorta di creme brûlée. Per me è l'epitome del lusso.

Sue: Allora niente tartufi di cioccolato, ma invece una grande scorta di creme brûlée. Dottor Stephen Hawking, tante grazie per averci fatto ascoltare i suoi Dischi per un'Isola Deserta, e buon Natale.

Stephen: Grazie per avermi invitato. Auguro a tutti voi buon Natale dalla mia isola deserta. Scommetto che qui il tempo è meglio che lì da voi.