

Stephen Webb

Se l'Universo brulica di alieni... dove sono tutti quanti?

Cinquanta soluzioni al paradosso di Fermi
e al problema della vita extraterrestre

Prefazione

Questo libro parla del paradosso di Fermi, ossia della contraddizione insita nel fatto che non vediamo gli alieni mentre ci attenderemmo segnali o indizi della loro esistenza. Rimasi affascinato da questo paradosso quando lo scoprii più o meno diciassette anni fa, e lo sono tuttora. Sono molti gli autori che in questi anni mi hanno incantato con i loro scritti sul paradosso, troppi per citarli qui (ma i loro nomi appaiono nella bibliografia alla fine del libro), e la loro influenza su questo testo sarà evidente. Ho parlato del paradosso con molti amici e colleghi, anch'essi troppo numerosi per nominarli personalmente, ma ho un debito di gratitudine nei confronti di ciascuno di loro.

Diverse persone hanno contribuito direttamente alla stesura di questo libro e vorrei ringraziarle qui. Con i loro consigli e l'incoraggiamento, Clive Horwood di Praxis Publishing, John Watson di Springer-Verlag e Paul Farrell di Copernicus Books hanno fornito un sostegno indispensabile al mio progetto, senza il quale questo libro non sarebbe stato completato. (John merita un ringraziamento particolare anche per avermi raccontato la sua soluzione del paradosso preferita durante un piacevolissimo pranzo di lavoro.) Stuart Clark mi ha fornito molti e utili commenti su una delle prime bozze del manoscritto; Bob Marriott e Timothy Yohn hanno trovato diversi errori e sgrammaticature in una bozza successiva (Bob mi ha fatto avere anche un elenco di centouno soluzioni del paradosso, settantacinque delle quali mi trovano d'accordo); inoltre sono estremamente grato a Steve Gillett per aver corretto le mie

affermazioni relative ad alcuni aspetti scientifici. (Gli errori rimasti, ovviamente, sono dovuti a me.) In Mareike Paessler ho trovato una editor di produzione eccezionalmente attenta e disponibile. Il suo scrupoloso lavoro in collaborazione con l'assistente editor Anna Painter ha enormemente migliorato il testo. Diversi autori e organizzazioni ci hanno gentilmente permesso di riprodurre le immagini; sono particolarmente grato a Lora Gordon, Geoffrey Landis, Ian Wall, Susan Lendroth, Reinhard Rachel, Heather Lindsay e Merrideth Miller per l'aiuto prestatomi nell'ottenere le figure adeguate. Paul Bell ha gentilmente corretto la mia errata identificazione di Feynman nella Figura 28 e ha condiviso alcune idee interessanti sul paradosso. Vorrei ringraziare David Glesper per avermi raccontato i suoi ricordi su un episodio dell'infanzia che ci ha visti protagonisti. Infine, va da sé, vorrei ringraziare i miei familiari – Heike, Ron, Ronnie, Peter, Jackie, Emily e Abigail – per la loro pazienza. Ho passato molto tempo a scrivere, quando invece avrei dovuto trascorrerlo con loro.

Stephen Webb

Milton Keynes, luglio 2002

Capitolo 1

Dove sono tutti quanti?

C'è qualcosa di intrigante nei paradossi. Le stampe impossibili e paradossali di Maurits Escher non mancano mai di ingannare l'occhio. Poesie come *Warning to Children* (Avvertimento ai fanciulli) di Robert Graves, che giocano sul paradosso della regressione infinita, fanno girare la testa. Il paradosso sta anche al centro di uno dei maggiori romanzi statunitensi del XX secolo, *Comma 22* di Joseph Heller. Il mio paradosso preferito, però, è quello di Fermi.

La prima volta che mi imbattei in questo paradosso fu nell'estate del 1984. Mi ero appena laureato alla Bristol University e in teoria avrei dovuto passare i mesi estivi a studiare *Gauge Theories in Particle Physics* di Aitchison e Hey, uno dei testi necessari per iniziare gli studi post lauream alla Manchester University. Invece trascorsi il tempo godendomi il sole sulle colline di Bristol immerso nella mia lettura preferita: *Isaac Asimov's Science Fiction Magazine*. (Come spesso accade, è stata la fantascienza a infiammare il mio interesse per la scienza, di cui mi ero innamorato grazie alla lettura delle opere di Isaac Asimov, Arthur Clarke e Robert Heinlein e alla visione di film come *Il pianeta proibito*.)¹ Quell'anno la rivista aveva pubblicato, in numeri consecutivi, due articoli scientifici molto stimolanti: il primo, di Stephen Gillett, si intitolava semplicemente "The Fermi Paradox" (Il paradosso di Fermi); il secondo, presentato da Robert Freitas, confutava vigorosamente il primo con il titolo "Fermi's Paradox: A Real Howler" (Il paradosso di Fermi: un autentico strafalcione).

Gillett presentava le argomentazioni seguenti. Supponiamo, come fanno gli ottimisti, che la Galassia ospiti numerose civiltà extraterrestri (d'ora in poi indicate per brevità con l'acronimo CET). Di conseguenza, poiché la Galassia è estremamente antica, ci sono buone probabilità che le CET siano milioni o addirittura *miliardi* di anni più avanzate di noi. L'astrofisico russo Nikolaj Kardašëv ha proposto un'utile classificazione di queste civiltà: secondo lui, il grado tecnologico raggiunto dalle CET si può suddividere in tre livelli. Una civiltà del tipo 1 di Kardašëv, o civiltà K1, sarebbe paragonabile alla nostra: capace di impiegare le risorse energetiche di un pianeta. Una civiltà K2 sarebbe più avanzata di noi sapendo sfruttare le risorse energetiche di una stella. Una civiltà K3 riuscirebbe a utilizzare le risorse energetiche di un'intera *galassia*. Gillett proseguiva suggerendo che la maggior parte delle CET della Galassia sarebbe di tipo K2 o K3. Ora: tutte le nostre conoscenze sulla vita terrestre ci indicano che la vita presenta una tendenza naturale a espandersi in tutto lo spazio a sua disposizione. Perché la vita extraterrestre dovrebbe comportarsi diversamente? Le CET potrebbero volersi espandere dal loro mondo d'origine nel resto della Galassia. Il fulcro del discorso, comunque, è che una CET tecnologicamente avanzata potrebbe colonizzare la Galassia in pochi milioni di anni. Se esistesse dovrebbe già essere qui! La Galassia *dovrebbe* brulicare di vita. Però noi non abbiamo prove dell'esistenza di CET. Gillett definiva questo fenomeno «paradosso di Fermi». (Venni a sapere perché il nome di Fermi è collegato a questo paradosso alcuni mesi dopo aver letto l'articolo, quando Eric Jones pubblicò un *preprint* su Los Alamos in cui ne descriveva l'origine; ma su questo torneremo più avanti.) Per Gillett il paradosso puntava a una conclusione ghiacciante: l'umanità è sola nell'Universo.

Freitas invece riteneva che fosse tutta una scemenza, paragonando la logica di Gillett a un discorso di questo genere: i lemming – piccoli roditori simili ai criceti – si riproducono rapidamente, con un ritmo di circa tre figliate all'anno e fino a otto cuccioli per figliata. In pochissimi anni la massa totale di lemming uguaglierebbe la massa di tutta la biosfera terrestre. La Terra dovrebbe esserne ricoperta, quindi. Invece la maggior parte di noi non si accorge nemmeno della loro esistenza. *Voi* avete mai visto un lemming? Un ragionamento che seguisse le linee del para-

dosso di Fermi ci porterebbe alla conclusione che i lemming non esistono: una conclusione assurda, sottolineava Freitas.² Fattore ancora più interessante: la mancanza di prove dell'esistenza di CET non è così rilevante, perché se piccole sonde artificiali fossero collocate nella fascia degli asteroidi, per esempio, o sonde anche più grandi si trovassero nella Nube di Oort, non avremmo alcuna possibilità di rilevarle. Inoltre lo scienziato sosteneva che la logica alla base di questo cosiddetto paradosso è fallace. Le prime due fasi dell'argomentazione sono: (a) se gli alieni esistono, allora dovrebbero essere qui; (b) se sono qui, allora dovremmo essere in grado di osservarli. Il punto cruciale si trova in quei due condizionali – ben diversi da un imperativo – che impediscono di invertire la direzione dell'implicazione da un punto di vista logico. (In altre parole, il fatto che noi non li abbiamo ancora osservati non ci permette di concludere che non siano qui, quindi nemmeno che non esistano.)

Finché non vi sono prove valide per risolvere un paradosso, siamo tutti liberi di seguire diversi ragionamenti: è questo ciò che rende così interessanti queste riflessioni. Nel caso del paradosso di Fermi, la posta in gioco è talmente alta (l'esistenza o meno dell'intelligenza aliena) e i dati sperimentali su cui basare l'argomentazione così scarsi (ancora oggi non possiamo essere certi che le CET esistano) che spesso le discussioni si fanno accese. Nello scontro Gillett-Freitas mi schierai inizialmente con Freitas. Il motivo principale era la semplice portata dei numeri: si stimano circa quattrocento miliardi di stelle nella Galassia e una quantità altrettanto alta di galassie nell'Universo. Sin dai tempi di Copernico la scienza ci ha insegnato che la Terra non possiede niente di speciale. Di conseguenza, la Terra potrebbe non essere l'unico pianeta a ospitare vita intelligente. Però...

Non riesco a togliermi dalla testa la teoria di Gillett. Leggevo storie di meraviglie cosmiche da quand'ero bambino. La civiltà galattica della Trilogia della *Fondazione*, le meraviglie di ingegneria aerospaziale di Ringworld, l'enigma del vascello di *Incontro con Rama*: tutto questo faceva parte del mio bagaglio mentale. Però *dov'erano* queste meraviglie? L'immaginazione degli scrittori di fantascienza mi aveva portato in centinaia di universi possibili, ma i miei docenti di astronomia mi dimostravano che, per il momento, ogni volta che guardiamo l'Universo

reale possiamo spiegare tutto ciò che vediamo ricorrendo alle fredde equazioni della fisica. In parole povere l'Universo sembra morto. E torniamo così alla domanda di Fermi: «Dove sono tutti quanti?». Più ci pensavo, più il paradosso sembrava acquisire importanza.

Il paradosso mi appariva come una gara tra due grandi numeri: l'ampio numero delle possibili sedi di vita contro la grande età dell'Universo.

Il primo non è che il numero di pianeti che presentano ambienti adatti allo sviluppo della vita. Se adottiamo il «principio della mediocrità» terrestre e assumiamo che la Terra non possieda assolutamente nulla di speciale, ne consegue che ci sono diversi milioni di ambienti adatti alla vita nella Galassia (e diversi miliardi di ambienti di questo tipo nell'Universo). Dato un così alto potenziale di terreni ospitali, la vita dovrebbe essere molto diffusa.

Il secondo numero è semplicemente l'età dell'Universo, che secondo le misurazioni più recenti ammonta a poco più di tredici miliardi di anni. Per trasmettere le proporzioni di un periodo di tempo così lungo si è soliti comprimere l'intera storia dell'Universo in un intervallo standard. In questo caso, comprimerò l'età attuale dell'Universo in un anno standard della Terra: in altri termini, l'«anno universale» restringe tutta la storia dell'Universo in un lasso di 365 giorni. Su questa scala temporale un secondo del tempo reale corrisponde a quattrocento anni. Per dirlo in un altro modo ancora, nell'anno universale la scienza occidentale muove i primi passi circa un secondo prima della mezzanotte del 31 dicembre. L'intera storia della nostra specie copre molto meno di un'ora dell'anno universale. Le primissime CET, invece, potrebbero avere avuto origine nei primi mesi estivi dell'anno universale. Se una Galassia può essere colonizzata nell'equivalente di poche ore, ci si aspetterebbe che una o più civiltà tecnologiche avanzate abbiano completato l'opera già molto tempo fa. O come minimo, se queste civiltà fossero veramente così progredite rispetto a noi, ci si aspetterebbe di vedere o sentire almeno *alcune* prove della loro presenza. Ma l'Universo tace. Magari il paradosso di Fermi non *dimostra* logicamente l'inesistenza degli alieni, ma certamente pone un problema che esige una soluzione.

Tempo "reale"	Tempo in un anno universale
50 anni	0,125 secondi
100 anni	0,25 secondi
400 anni	1 secondo
1.000 anni	2,5 secondi
2.000 anni	5 secondi
10.000 anni	25 secondi
100.000 anni	4 minuti e 10 secondi
1 milione di anni	41 minuti e 40 secondi
2 milioni di anni	1 ora, 23 minuti e 20 secondi
10 milioni di anni	6 ore, 56 minuti e 40 secondi
100 milioni di anni	2 giorni, 21 ore, 26 minuti e 40 secondi

TABELLA 1. Nell'anno universale comprimiamo tredici miliardi di anni in 365 giorni.

Non sono stato l'unico a trovare interessante il paradosso di Fermi. Nel corso degli anni, diversi autori hanno proposto le loro soluzioni al paradosso, e io ho cominciato a raccogliere. Benché vi sia una gamma molto avvincente di risposte alla domanda «Dove sono tutti quanti?», tutte rientrano in una delle tre categorie seguenti.

In primo luogo ci sono le risposte basate sull'idea che in qualche modo gli extraterrestri siano (o siano stati) qui. Probabilmente questa è la soluzione più popolare del paradosso e certamente sono in molti a credere all'esistenza di una vita extraterrestre intelligente. Un sondaggio condotto su internet dalla CNN il 1° luglio 2000 ha evidenziato che dei 6.399 votanti l'82% pensava che ci sia vita intelligente in altre parti dell'Universo. Delle 94.319 persone che hanno risposto al sondaggio SETI@home, avviato il giorno del solstizio d'estate del 2001, il 94% credeva che la vita al di fuori della Terra esista.*

Poi c'è chi suggerisce che le CET esistano, ma per qualche motivo non abbiamo ancora trovato le prove della loro esistenza. Questa è probabilmente la categoria di risposte più diffusa tra i professionisti della scienza.

* Il SETI (acronimo per *Search for Extraterrestrial Intelligence*) aggiorna ogni ora i dati sul sito del progetto SETI@home. Si veda la nota 61 a pagina 342 [N.d.T.].

Una terza categoria di risposte è composta infine da quelle che pretendono di spiegare perché l'umanità sia sola nell'Universo, o almeno nella Galassia: non sentiamo nulla da parte di intelligenze extraterrestri perché *non ci sono* intelligenze extraterrestri.

Lo scopo di questo libro è presentare e analizzare cinquanta soluzioni che sono state proposte per l'interrogativo di Fermi. L'elenco non intende essere in alcun modo completo, anzi: ho scelto queste cinquanta perché sono le più rappresentative (oltre che particolarmente interessanti, a mio parere). Questi suggerimenti provengono da scienziati appartenenti ai settori più disparati ma anche da scrittori di fantascienza, dato che in questa materia gli scrittori sono stati produttivi almeno quanto gli scienziati e in molti casi ne hanno addirittura anticipato il lavoro.

Il libro è strutturato come segue.

Il Capitolo 2 contiene una breve biografia di Fermi incentrata sui suoi risultati scientifici, un'analisi del concetto di paradosso e una breve introduzione alla storia del paradosso di Fermi.

I tre capitoli seguenti presentano le quarantanove soluzioni del paradosso che preferisco; non sono tutte indipendenti fra loro, tanto che in alcuni casi rivisito più volte una stessa soluzione in un'ottica differente, ma tutte sono state proposte seriamente come risposte alla domanda di Fermi. Le soluzioni sono ordinate secondo le tre categorie che ho citato sopra: il Capitolo 3 contiene le risposte basate sull'idea che le CET siano qui, il Capitolo 4 quelle secondo cui le CET esistono ma non abbiamo ancora trovato prove della loro presenza e il Capitolo 5 le proposte che ci vedono soli nell'Universo. Il loro ordinamento ha una sua logica, ma spero che le diverse discussioni siano abbastanza autonome da permettere ai lettori di "leggiucchiare qua e là" e trovare le soluzioni che li interessano in modo particolare. Nella trattazione cercherò di essere il più obiettivo possibile, anche nei casi in cui non mi troverò d'accordo con la soluzione (come spesso accade).

Il Capitolo 6 contiene la cinquantesima soluzione, vale a dire la mia opinione personale su come risolvere il paradosso. Non è una proposta originale, ma riassume ciò che a mio avviso il paradosso di Fermi può dirci riguardo all'Universo in cui viviamo.

I numeri in apice che appaiono in tutto il libro sono riferimenti alle voci numerate del Capitolo 7, contenente note e suggerimenti per ulteriori letture. Poiché il materiale trattato in questo libro copre un'ampia gamma di discipline, dall'astronomia alla zoologia, e poiché lo spazio per le varie discussioni è necessariamente limitato (si può calcolare una media di circa sei pagine per soluzione), ho accluso anche una lunga lista di riferimenti bibliografici. La bibliografia viene ripresa all'interno del Capitolo 7 tramite numeri in parentesi quadre. Essa spazia dai racconti di fantascienza ad articoli di ricerca di primo livello tratti da pubblicazioni accademiche. Per molti lettori potrebbe essere difficile avere accesso alle fonti più specialistiche, ma spero che queste indicazioni forniranno quanto meno un aiuto per trovare informazioni attinenti anche su internet.

Il libro si rivolge specificamente a un pubblico non specializzato. Una delle bellezze del paradosso di Fermi è proprio il fatto che lo si possa apprezzare senza ricorrere ad alcun concetto di matematica più complesso della notazione esponenziale.³ Ne consegue che chiunque può contribuire al dibattito suggerendo una soluzione per il paradosso di Fermi, senza bisogno di avere una preparazione matematica e scientifica pluriennale. (Infatti, come accennavo prima, molte delle idee migliori provengono da scrittori di fantascienza piuttosto che da scienziati.) Spero che dopo aver letto questo libro qualcuno sia in grado di ideare una soluzione cui nessuno ha ancora pensato. Se così fosse, scrivetemi e condividetela con me!

Capitolo 2

Fermi e il paradosso

Prima di entrare nel merito delle diverse soluzioni al paradosso di Fermi vorrei fornire, con questo capitolo, alcune informazioni di base. Presenterò una breve biografia di Enrico Fermi, concentrandomi soltanto su alcuni dei suoi risultati scientifici (quelli cui farò riferimento nel resto del libro); Fermi tuttavia condusse una vita interessante anche al di fuori dell'ambito puramente scientifico, perciò consiglio ai lettori che fossero interessati la lettura di una delle sue biografie elencate nel Capitolo 7. Passo poi ad analizzare il concetto di paradosso riportando alcuni esempi tratti da diversi settori. Il paradosso ha svolto un ruolo importante nella storia del pensiero, aiutando i filosofi ad ampliare i propri schemi e obbligandoli qualche volta ad accettare concetti completamente anti-intuitivi. È interessante confrontare il paradosso di Fermi con questi paradossi più noti. Infine mi soffermo sul perché il nome di Fermi sia stato collegato a un paradosso molto più antico di quanto non si creda.

Enrico Fermi

*È inutile cercare di arrestare il progresso della conoscenza.
L'ignoranza non è mai migliore della conoscenza.*

Enrico Fermi

Enrico Fermi è stato il fisico più completo del secolo scorso, un teorico di fama mondiale che condusse un lavoro sperimentale di primissimo livello. Dopo Fermi nessun altro fisico è riuscito a passare con tanta facilità dalla teoria alla sperimentazione e probabilmente nessuno ci riuscirà mai più: il campo si è esteso troppo per permettere un'attività così trasversale.

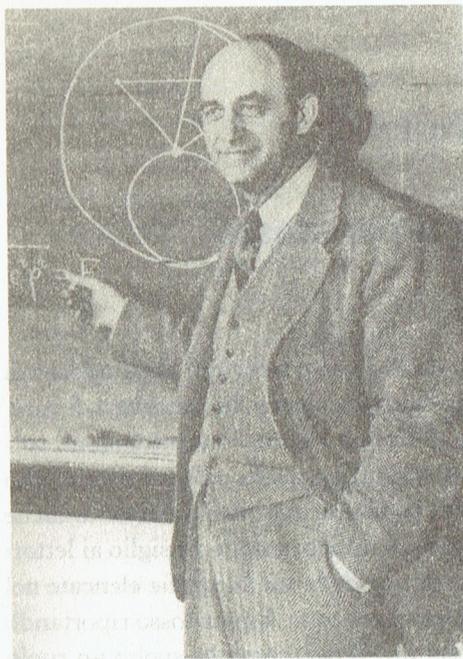


FIGURA 1: questa fotografia di Enrico Fermi, mentre tiene una lezione di teoria atomica, appare su un francobollo da 34 centesimi, emesso dallo US Postal Service il 29 settembre 2001 in commemorazione del centesimo anniversario della sua nascita.

Fermi nacque a Roma il 29 settembre 1901, terzo figlio di Alberto Fermi, funzionario delle Ferrovie, e Ida de Gattis, insegnante. Mostrò una precoce predisposizione per la matematica,¹ e come allievo di fisica alla Scuola Normale Superiore di Pisa superò ben presto i suoi maestri.²

Il suo primo contributo significativo alla fisica fu un'analisi del comportamento di certe particelle fondamentali che costituiscono la materia, come i protoni, i neutroni e gli elettroni, oggi chiamate «fermioni» in suo onore. Fermi dimostrò che quando la materia viene compressa in modo da avvicinare fermioni identici, entra in gioco una forza repulsiva che impedisce un ulteriore accostamento. La repulsione fermionica svolge un ruolo chiave nella nostra comprensione di fenomeni diversissimi, dalla conduttività termica dei metalli alla stabilità delle nane bianche.

Non molto tempo dopo, la fama internazionale di Fermi fu consolidata dalla sua teoria del decadimento beta (un tipo di radioattività in cui un nucleo massivo emette un elettrone): secondo Fermi, insieme all'elettrone doveva essere emessa anche una sfuggente particella neu-

tra, che lo scienziato battezzò «neutrino». L'ipotesi dell'esistenza di questo fermione non trovò ampio consenso, ma alla fine fu dimostrato che Fermi aveva ragione, quando nel 1956 i fisici ne rilevarono la presenza. Sebbene il neutrino sia difficilmente osservabile, data la sua riluttanza a interagire con la materia normale, le sue proprietà occupano un posto di rilievo nelle teorie astronomiche e cosmologiche odierne.

Nel 1938 Fermi vinse il premio Nobel per la fisica. Il riconoscimento gli fu assegnato anche per la tecnica che, sondando il nucleo atomico, gli permise di scoprire nuovi elementi radioattivi: bombardando con neutroni gli elementi naturali Fermi riuscì infatti a produrre più di quaranta radioisotopi artificiali. Il Nobel premiava anche la sua scoperta del modo di rallentare i neutroni. A prima vista questa potrebbe sembrare un risultato di poco conto, ma in realtà permette applicazioni pratiche di ampia portata, in quanto i neutroni lenti sono più efficaci di quelli veloci nell'indurre la radioattività. (Un neutrone lento lanciato verso un nucleo rimane più a lungo nei suoi paraggi, e quindi presenta maggiori probabilità di interagire con esso. È lo stesso principio per cui una pallina da golf ben mirata entra in buca più facilmente se il suo movimento è lento, perché un colpo veloce rischia di farla rotolare via.)

La notizia del premio fu smorzata dal peggioramento della situazione politica in Italia. Mussolini, sempre più influenzato da Hitler, avviò una campagna antisemita e il governo fascista emise leggi ricalcate sull'editto di Norimberga dei nazisti: queste non avrebbero colpito direttamente Fermi e i suoi due figli, che venivano considerati ariani, ma piuttosto sua moglie, Laura, che era ebrea. La famiglia decise di abbandonare l'Italia e Fermi accettò un incarico di lavoro in America. Due settimane dopo il loro arrivo a New York Fermi venne a sapere che alcuni scienziati avevano trovato prove della fissione nucleare.

Einstein, spinto dai colleghi, scrisse la sua storica lettera a Roosevelt in cui metteva in allarme il Presidente riguardo alle probabili conseguenze di quella scoperta. Citando il lavoro di Fermi e di altri, Einstein lo avvertiva che sarebbe stato possibile innescare una reazione nucleare a catena in una grande massa di uranio, portando al conseguente rilascio di enormi quantità di energia. Roosevelt ne fu scosso

abbastanza da finanziare un programma di ricerca – in seguito noto come progetto Manhattan – in cui Fermi fu pienamente coinvolto.

I fisici dovevano rispondere a molte domande prima di poter costruire una bomba, e molte risposte vennero proprio da Fermi. Il 2 dicembre 1942, in un laboratorio di fortuna costruito in un campo da squash che si trovava sotto la tribuna ovest dello stadio dell'Università di Chicago, il gruppo di Fermi ottenne la prima reazione nucleare auto-sostenuta. Il reattore, o «pila», era composto da cilindri di uranio purissimo (circa sei tonnellate in totale) inseriti in una matrice di grafite. La grafite rallentava i neutroni, permettendo loro di proseguire la fissione e mantenere la reazione a catena, tenuta sotto controllo da barre di cadmio (un forte assorbente di neutroni). La pila divenne critica alle 14:20 e il primo test durò 28 minuti.³

Fermi, con la sua ineguagliata conoscenza della fisica nucleare, svolse un ruolo fondamentale nel progetto Manhattan. Era presente nel deserto vicino ad Alamogordo il 16 luglio 1945, a una quindicina di chilometri dal punto zero del *Trinity test*. Sdraiato a terra, rivolto nella direzione opposta alla bomba, quando vide il lampo di luce causato dall'immensa esplosione si alzò in piedi e fece cadere una manciata di pezzetti di carta. Se l'aria fosse rimasta ferma quei foglietti sarebbero caduti ai suoi piedi; ma quando sopraggiunse l'onda d'urto, pochi secondi dopo il lampo, la carta si allontanò in direzione orizzontale a causa dello spostamento d'aria. Come se nulla fosse, Fermi misurò il movimento della carta e sulla base della distanza dall'esplosione poté calcolare immediatamente la sua energia.

Dopo la guerra Fermi ritornò alla vita accademica presso l'Università di Chicago e si interessò alla natura e all'origine dei raggi cosmici. Nel 1954, tuttavia, gli fu diagnosticato un tumore allo stomaco. Emilio Segrè, amico di lunga data e collega di Fermi, gli fece visita in ospedale. Fermi stava riposando dopo un'operazione esplorativa e veniva alimentato per via endovenosa. Secondo la toccante testimonianza di Segrè, Fermi mantenne il suo amore per l'osservazione e il calcolo fino alla fine: quando lo vide stava misurando il flusso del nutriente, contando le gocce e cronometrando con un orologio. Fermi morì il 29 novembre 1954, alla giovane età di cinquantatré anni.

Domande "alla Fermi"

I colleghi di Fermi lo stimavano per la sua straordinaria capacità di andare dritto al nocciolo di un problema fisico e di descriverlo in parole povere. Lo chiamavano il Papa, perché sembrava infallibile. Non meno impressionante era il modo in cui stimava l'ordine di grandezza di una risposta (spesso eseguendo a mente calcoli complessi). Fermi cercò di imprimere questa abilità nei suoi studenti, tanto che era solito formulare, senza preavviso, domande apparentemente prive di risposta. Quanti granelli di sabbia ci sono nelle spiagge del mondo? Fino a che distanza può volare un corvo senza fermarsi? Quanti atomi dell'ultimo respiro di Cesare inaliamo ogni volta che ci riempiamo i polmoni? Queste «domande alla Fermi» (come vengono chiamate) obbligavano gli studenti a proporre stime approssimative attingendo alla propria conoscenza del mondo e alla propria esperienza quotidiana, piuttosto che a conoscenze teoriche o pregresse.

L'archetipo di domanda alla Fermi è quella che lo scienziato pose ai suoi studenti americani: «Quanti accordatori di pianoforti ci sono a Chicago?». Possiamo giungere a una stima consapevole (piuttosto che a una congettura approssimativa) in questo modo. Primo: supponiamo che Chicago conti una popolazione di tre milioni di persone (non ho controllato alcun atlante per vedere se la cifra è corretta, ma fare stime esplicite in assenza di conoscenze certe è proprio lo scopo dell'esercizio. Chicago è una grande città, ma non la più grande degli Stati Uniti, quindi possiamo stare tranquilli: è improbabile che la stima si scosti dalla cifra reale di un fattore superiore a 2. Poiché abbiamo affermato esplicitamente il nostro assunto, più tardi potremo rivedere il calcolo e correggere la risposta alla luce di dati migliori). Secondo: assumiamo che siano le famiglie piuttosto che i singoli a possedere pianoforti e ignoriamo gli strumenti appartenenti a istituzioni come scuole, università e orchestre. Terzo: se assumiamo che una famiglia tipo sia composta da cinque membri, la nostra stima ci porta a un totale di 600.000 famiglie a Chicago. Sappiamo che non tutte possiedono un pianoforte: il nostro quarto assunto è pertanto che una famiglia su venti possieda un pianoforte. Quindi stimiamo che ci siano 30.000 pianoforti a Chicago.

Ora poniamoci questa domanda: quante accordature richiederebbero 30.000 pianoforti nell'arco di un anno? Il nostro quinto assunto è che un pianoforte tipo richieda un'accordatura all'anno: perciò a Chicago vengono effettuate 30.000 accordature ogni anno. Assunto numero sei: un accordatore di pianoforti può accordare due strumenti al giorno e lavora 200 giorni all'anno. Di conseguenza un solo professionista esegue 400 accordature l'anno. Per soddisfare tutte le richieste, Chicago deve ospitare $30.000/400 = 75$ accordatori di pianoforti. Noi vogliamo una stima, non una cifra precisa, quindi alla fine possiamo arrotondare questo numero a 100.

Come vedremo più avanti, la capacità di Fermi di cogliere i tratti essenziali di un problema si manifestò chiaramente quando lo scienziato pose la domanda: «Dove *sono* tutti quanti?».

Paradossi

Questi son vecchi sciocchi paradossi da far rider gli idioti nelle bettole.

William Shakespeare, *Otello*, Atto II, Scena prima

La nostra parola *paradosso* deriva etimologicamente da due componenti greche: *para* indica opposizione, e *doxa* "opinione".⁴ Il termine descrive una situazione in cui coesistono opinioni o interpretazioni che si escludono a vicenda. Il termine ha assunto una serie di significati tutti lievemente diversi, ma al centro di ogni accezione si trova l'idea di "contraddizione". Il paradosso, tuttavia, è più che una semplice incongruenza. Se si dice «piove, non piove» ci si contraddice, ma il paradosso è più di questo: esso sorge quando si comincia un ragionamento con un insieme di premesse ovvie per poi dedurre, da queste stesse premesse, una conclusione che le delegittima. Se si dispone di un'argomentazione ineccepibile che prova oltre ogni dubbio che fuori *deve* piovere, ma guardando fuori dalla finestra si vede che *non* sta piovendo, allora c'è un paradosso da risolvere.

Un paradosso debole, o *fallacia*, può spesso essere chiarito con un breve ragionamento. Di solito la contraddizione nasce da un semplice errore nel filo logico che lega le premesse alla conclusione.⁵ In un paradosso forte, invece, la fonte della contraddizione non è subito evidente:

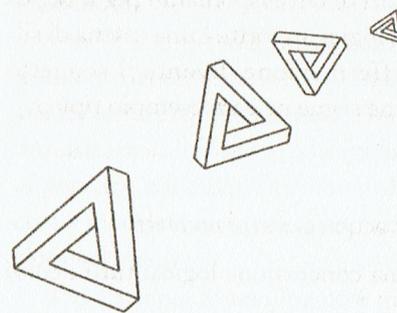


FIGURA 2: un paradosso ottico. Queste figure impossibili sono triangoli di Penrose: sembrano rappresentare un solido triangolare tridimensionale, ma sono impossibili da costruire. Ogni vertice di un triangolo di Penrose è in realtà la prospettiva di un angolo retto. I paradossi ottici sono la passione di artisti come Escher.

possono passare anche secoli prima che la faccenda si sbrogli. Un paradosso forte ha la capacità di sfidare le nostre teorie e le nostre credenze più care. Di fatto, come ebbe a notare il matematico Anatol Rapoport, «i paradossi hanno avuto una parte cruciale nella storia intellettuale, precorrendo spesso sviluppi rivoluzionari della scienza, della matematica e della logica. Ogni volta che in una disciplina qualsiasi scopriamo un problema che non si può risolvere all'interno del quadro concettuale che in teoria si dovrebbe applicare, rimaniamo scioccati. Lo shock potrebbe allora forzarci ad abbandonare il quadro vecchio per adottarne uno nuovo».⁶

I paradossi abbondano in logica, matematica e fisica: ce ne sono per tutti i gusti e per tutti gli interessi.

Alcuni paradossi logici

Un vecchio paradosso, contemplato dai filosofi sin dalla metà del IV secolo a.C. e tuttora al centro di molte discussioni, è il paradosso del mentitore. Il pensatore più antico cui esso fu attribuito è Eubulide di Mileto, che chiese: «Un uomo dice che sta mentendo; ciò che dice è vero o falso?». Comunque si analizzi la frase, c'è una contraddizione. Lo stesso paradosso appare nel Nuovo Testamento. San Paolo, parlando dei Cretesi, scrisse: «Uno dei loro, proprio un loro profeta, già aveva detto: "I Cretesi son sempre bugiardi"».⁷ Non possiamo sapere se San Paolo fosse consapevole del problema insito nella sua frase, ma ogni volta che si apre la via all'autoreferenza il paradosso sembra quasi inevitabile.

Uno degli strumenti più importanti di cui disponiamo per il ragionamento è il *sorite*. Nel linguaggio dei logici un *sorite* è una catena di sillogismi legati: il predicato di un'affermazione diventa il soggetto dell'affermazione seguente. Quello che segue ne è un esempio tipico:

tutti i corvi sono uccelli;
tutti gli uccelli sono animali;
tutti gli animali hanno bisogno di acqua per sopravvivere.

Seguendo la catena si giunge a una conclusione logica: tutti i corvi hanno bisogno di acqua.

I soriti sono importanti perché ci permettono di raggiungere conclusioni senza coprire sperimentalmente ogni singola eventualità. (Perciò non serve togliere l'acqua ai corvi per sapere che morirebbero di sete.) Ma a volte la conclusione di un *sorite* può essere assurda: il *sorite* in questione avrà allora la forma di un paradosso. Per esempio, se accettiamo che aggiungendo un granello di sabbia a un altro granello non otteniamo un mucchietto di sabbia e osserviamo che un singolo granello non costituisce un mucchietto di per sé, dobbiamo concludere che nessuna quantità di sabbia potrà mai costituire un mucchietto. Però i mucchietti di sabbia esistono. La fonte di questo tipo di paradossi si trova nell'intenzionale vaghezza di una parola come "mucchietto"; i politici, chiaramente, ricorrono ogni giorno a questi trucchi linguistici.⁸

Oltre ai soriti, quando ragioniamo facciamo sempre ricorso all'induzione, ossia traiamo generalizzazioni da casi specifici. Per esempio, ogni volta che vediamo cadere qualcosa la vediamo cadere *verso il basso*: l'induzione ci permette di affermare una legge generale per cui quando le cose cadono, vanno *sempre* verso il basso e mai verso l'alto. L'induzione è una tecnica così utile che qualsiasi cosa la metta in dubbio è sconcertante. Pensiamo al paradosso del corvo di Hempel:⁹ supponiamo che un'ornitologa, dopo anni di ricerche sul campo, abbia osservato centinaia di corvi neri. La studiosa dispone di prove sufficienti per avanzare l'ipotesi che «tutti i corvi sono neri». Questo è il procedimento tipico dell'induzione scientifica. Ogni volta che l'ornitologa vede un corvo nero, un'altra piccola prova va ad aggiungersi a quelle in favore della sua ipotesi. Da un punto di vista logico, però, affermare che «tutti i corvi sono neri» equivale ad affermare che «tutte le cose che non sono nere non

sono corvi». Se l'ornitologa vede un pezzo di gesso bianco, quest'osservazione è una piccola prova a favore dell'ipotesi che «tutte le cose che non sono nere non sono corvi», ma allora deve essere anche a favore della sua idea che i corvi sono neri. Perché l'osservazione del gesso dovrebbe dimostrare un'ipotesi legata agli uccelli? Significa forse che gli ornitologi possono condurre ricerche utili e fruttuose standosene tranquilli in casa a guardare la televisione, senza darsi la noia di effettuare osservazioni sul campo?

Un altro paradosso logico è quello dell'impiccagione a sorpresa, in cui un giudice dice a un condannato: «Sarai impiccato un giorno della settimana prossima, ma per risparmiarti un'agonia mentale il giorno della sentenza arriverà a sorpresa». Il prigioniero ragiona che il boia non può aspettare fino a venerdì per eseguire l'ordine del giudice: un ritardo così lungo implica che alla fine tutti sapranno che l'esecuzione avverrà quel giorno e quindi non sarà più una sorpresa. Perciò il venerdì è escluso. Ma se si esclude il venerdì, si esclude con la stessa logica anche il giovedì. Idem per mercoledì, martedì e lunedì. Il prigioniero, enormemente sollevato, giunge alla conclusione che l'esecuzione non potrà mai aver luogo. Ciò nonostante, per sua enorme sorpresa viene condotto al patibolo di giovedì! Questo ragionamento – noto anche sotto il nome di «paradosso dell'esame a sorpresa» o «paradosso della predizione» – ha dato il la a un'infinita serie di articoli e studi.¹⁰

Alcuni paradossi scientifici

Benché sia spesso divertente, e talvolta anche utile, riflettere su bugiardi, corvi e impiccati, i ragionamenti che comportano paradossi logici degenerano troppo frequentemente – almeno per i miei gusti – in una discussione riguardo al preciso uso e significato delle parole. Discussioni di questo genere possono andare bene finché si è un filosofo, ma dal mio punto di vista i paradossi veramente affascinanti sono quelli che riguardano la scienza.

Consideriamo uno dei paradossi più antichi di tutti: quello di Zenone su Achille e la tartaruga.¹¹ Achille e la tartaruga partecipano a una gara di velocità sui cento metri. Poiché Achille corre dieci volte più veloce della tartaruga, dà all'animale un vantaggio di dieci metri alla partenza.

I due corridori partono nello stesso istante, cosicché quando Achille ha coperto i primi dieci metri la tartaruga è avanzata di un metro. Nel tempo in cui Achille copre quel metro la tartaruga è andata avanti di dieci centimetri; nel tempo in cui Achille copre questi dieci centimetri la tartaruga ha corso per un altro centimetro. E così via, all'infinito. I nostri sensi ci dicono che un corridore veloce supererà sempre un corridore lento, ma Zenone disse che Achille non avrebbe mai raggiunto la tartaruga. C'è una contraddizione tra logica ed esperienza: c'è un paradosso. Ci sono voluti duemila anni per risolverlo, è vero, ma gli strumenti matematici necessari allo scopo hanno trovato miriadi di altre applicazioni.¹²

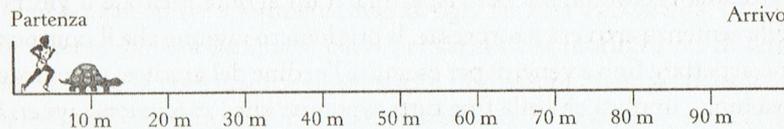


FIGURA 3: all'inizio della gara, Achille si trova 10 metri indietro rispetto alla tartaruga. Nel tempo in cui Achille copre i 10 metri, la tartaruga ha camminato per 1 metro. Nel tempo in cui Achille copre un altro metro, la tartaruga si è allontanata di 10 centimetri. Seguendo questa logica, sembra che Achille non possa raggiungerla mai...

Il paradosso dei gemelli, che chiama in causa lo speciale fenomeno relativistico della dilatazione temporale, è uno dei più famosi della fisica. Supponiamo che di due fratelli gemelli uno rimanga a casa e l'altro viaggi verso una stella lontana, a una velocità prossima a quella della luce. Per il gemello che rimane sulla Terra, l'orologio del fratello rimane indietro: il suo gemello invecchia più lentamente di lui. Benché il fenomeno sia contrario al senso comune, è una realtà di fatto verificata sperimentalmente. Ma la relatività non ci dice forse che il gemello in viaggio può considerarsi immobile? Dal suo punto di vista, è l'orologio del fratello che rimane a casa a restare indietro: dovrebbe essere il gemello sulla Terra a invecchiare più lentamente. Allora cosa succede quando il viaggiatore ritorna? Non possono avere ragione entrambi: è impossibile che entrambi i gemelli siano più giovani uno dell'altro! La soluzione del paradosso è semplice: la confusione nasce banalmente da un'applicazione errata della relatività. Le situazioni dei due gemelli non sono interscambiabili: il gemello in viaggio accelera fino alla velocità della luce, decelera al giro di boa del suo viaggio e riaccelera durante il ritorno. En-

trambi i gemelli concordano che il fratello che rimane a casa non subisce accelerazioni di questo tipo. Quindi il viaggiatore invecchia più lentamente del gemello sulla Terra; al suo ritorno troverà il fratello più anziano, o persino morto. Un extraterrestre in visita sulla Terra sperimenterebbe lo stesso fenomeno al suo ritorno sul pianeta d'origine: i suoi fratelli rimasti a casa (sempre che gli alieni abbiano fratelli) sarebbero più vecchi o morti da tempo. Questa è una triste verità del viaggio interstellare ed è contraria alla nostra esperienza, ma non è un paradosso.¹³

Uno dei paradossi scientifici più importanti è quello che prende il nome da Heinrich Olbers. Lo scienziato analizzò una domanda che si pongono infiniti bambini: «Perché di notte il cielo è buio?». Olbers dimostrò che l'oscurità del cielo notturno è veramente misteriosa. Il suo ragionamento si basava su due premesse. Primo: l'Universo ha dimensioni infinite. Secondo: le stelle sono sparpagliate a caso in tutto l'Universo. (Olbers non sapeva che esistono le galassie, che sarebbero state riconosciute come raggruppamenti di stelle solo circa settantacinque anni dopo la sua morte, ma questo non va a inficiare il ragionamento. L'argomentazione dell'astronomo si applica altrettanto bene alle galassie come alle stelle.) Sulla base di queste premesse giungiamo a una conclusione piuttosto scomoda: in qualsiasi direzione si guardi, alla fine l'occhio deve per forza posarsi su una stella; dunque di notte il cielo dovrebbe essere luminoso.¹⁴

Il paradosso di Olbers

Supponiamo che tutte le stelle abbiano la stessa luminosità intrinseca. (Questo assunto semplifica l'argomentazione che segue, ma la conclusione non ne dipende in alcun modo.) Ora consideriamo un sottile "guscio" di stelle (chiamiamolo guscio A) che si trova sulla superficie di una sfera immaginaria costruita intorno alla Terra, e un altro (guscio B) centrato anch'esso sulla Terra ma con un raggio doppio rispetto al guscio A. In altre parole, il guscio B dista da noi due volte la distanza del guscio A.

Una stella del guscio B avrà per noi una luminosità pari a 1/4 di quella di una stella del guscio A. (Per la legge dell'inverso dei quadrati, che postula che se la distanza da una fonte luminosa raddoppia, la luminosità apparente della fonte luminosa *diminuisce* di un

fattore $2 \times 2 = 4$.) D'altra parte, la superficie del guscio B è quattro volte maggiore di quella del guscio A, quindi contiene quattro volte più stelle. Quattro volte più stelle, ognuna delle quali luminosa per $1/4$: la luminosità totale del guscio B è esattamente la stessa di quella del guscio A! Questo calcolo funziona per *qualsiasi* coppia di stelle: il contributo alla luminosità del cielo notturno da parte di un guscio di stelle lontano è lo stesso di quello di un guscio vicino. Se è vero che l'Universo ha dimensioni infinite, il cielo notturno dovrebbe essere sfolgorante di luce!

L'argomentazione però non è del tutto corretta: la luce proveniente da una stella estremamente distante sarà intercettata da una stella che si frappone tra lei e noi. Ciò nonostante, in un Universo infinito caratterizzato da una distribuzione uniforme di stelle *qualsiasi* angolo di visuale conterrà prima o poi una stella. Tutt'altro che buio, l'intero cielo notturno dovrebbe essere abbagliante come il Sole. Il cielo notturno dovrebbe accecarci con la sua luminosità!

Come si risolve il paradosso? La prima spiegazione cui si possa pensare è sicuramente che la luce delle stelle distanti viene oscurata da nubi di gas o di polvere. Certo, l'Universo contiene nubi di polvere e regioni gassose, ma queste non ci riparano dagli effetti luminosi previsti dal paradosso di Olbers: se le nubi assorbono luce si scaldano fino a raggiungere la stessa temperatura media delle stelle. Ebbene, il paradosso viene spiegato da una delle scoperte più rilevanti fatte dagli astronomi: l'età dell'Universo è finita e corrisponde a soltanto tredici miliardi di anni; per questo la porzione che possiamo vedere non va oltre tredici miliardi di anni luce circa. Ne consegue che per avere un cielo notturno luminoso come la superficie del Sole l'Universo osservabile dovrebbe essere almeno un milione di volte più grande di quanto non lo sia oggi per avere un cielo notturno luminoso come la superficie del Sole. (Il fatto che l'Universo si stia espandendo è un'ulteriore spiegazione del paradosso: la luce proveniente dagli oggetti in allontanamento subisce uno spostamento verso la frequenza del rosso, o «redshift», di modo che gli oggetti distanti sono meno luminosi di quanto previsto dalla legge dell'inverso dei quadrati. La spiegazione principale, comunque, è quella legata alla finitezza dell'età dell'Universo.)

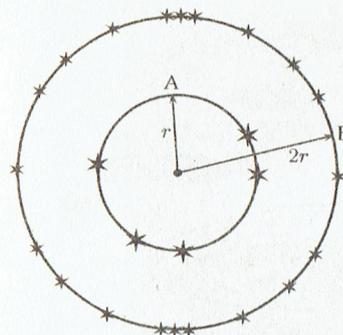


FIGURA 4: se le stelle sono distribuite uniformemente nello spazio, il guscio B conterrà il quadruplo delle stelle del guscio A (A si trova a una distanza r e B a una distanza $2r$). Però le stelle di A appariranno quattro volte più luminose di quelle di B, quindi la luminosità totale dei due gusci sarà la stessa. Poiché esiste un numero infinito di superfici immaginarie di questo tipo, il cielo notturno dovrebbe essere infinitamente luminoso; ammettendo anche che le stelle di gusci vicini blocchino la luce delle stelle distanti, dovrebbe essere a dir poco accecante.

È affascinante come la riflessione su una semplice domanda («Perché di notte il cielo è buio?») permetta di inferire che l'Universo si sta espandendo e che ha un'età finita (o per lo meno che ce l'abbiano le stelle e le galassie che l'Universo contiene). Forse la semplice domanda posta da Fermi («Dove sono tutti quanti?») conduce a una conclusione ancora più rilevante.

Il paradosso di Fermi

*A volte penso che siamo soli. A volte penso che non lo siamo.
In entrambi i casi, è un pensiero sconcertante.*

Buckminster Fuller

Ho la possibilità di raccontare i dettagli degli eventi che portarono alla formulazione del paradosso di Fermi esclusivamente grazie alle ricerche di Eric Jones, fisico di Los Alamos, la cui relazione sta alla base di una grandissima parte di questa sezione.¹⁵

Nella primavera e nell'estate del 1950 i giornali di New York ebbero modo di esercitare le loro capacità su un piccolo mistero: la scomparsa dei cestini pubblici. Quell'anno si registrò il più alto numero di avvistamenti di dischi volanti, un altro argomento che fece versare molto inchiostro. Il 20 maggio 1950 *The New Yorker* pubblicò una vignetta di Alan Dunn che combinava allegramente le due storie.

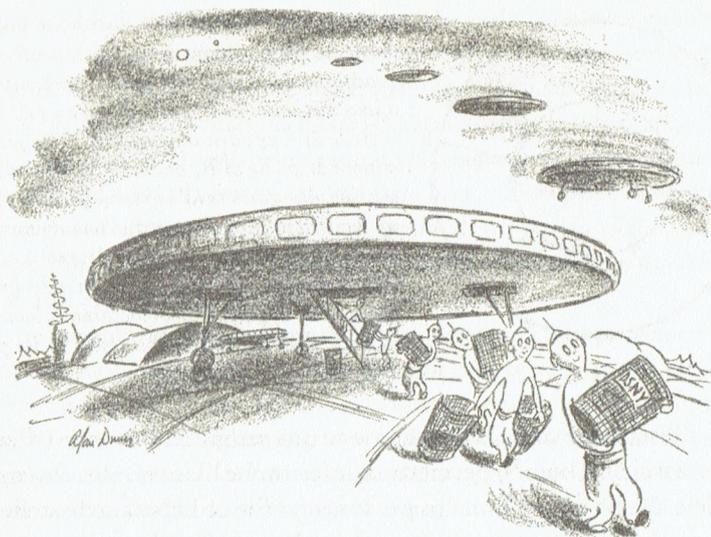


FIGURA 5: per ragioni chiare solo a loro, gli alieni fanno ritorno al pianeta d'origine con cestini di proprietà della Nettezza urbana di New York (DSNY).

Quell'estate Fermi si trovava a Los Alamos. Un giorno stava chiacchierando con Edward Teller e Herbert York mentre camminavano verso Fuller Lodge, dove avrebbero pranzato. L'argomento del discorso era la recente ondata di avvistamenti di dischi volanti. Li raggiunse Emi Konopinski, che raccontò loro della vignetta di Dunn. Fermi fece ironicamente notare che la teoria di Dunn era effettivamente plausibile, perché dava ragione di due fenomeni diversi: la scomparsa dei cestini e le dichiarazioni sui dischi volanti. Dopo la battuta del fisico italiano la discussione si fece seria, e i quattro colleghi si chiesero se i dischi volanti potessero superare o meno la velocità della luce. Fermi chiese a Teller quale fosse secondo lui la probabilità di ottenere una dimostrazione del viaggio superluminale entro il 1960. La risposta dell'amico – una possibilità su un milione – non lo convinse: era troppo bassa. Secondo lui si avvicinava di più a una su dieci.

I quattro sedettero a pranzo e il discorso si rivolse ad argomenti più mondani. Poi, nel bel mezzo della conversazione e come piovuta dal cielo, Fermi pose la domanda: «Dove *sono* tutti quanti?». I suoi commensali Teller, York e capirono immediatamente che parlava dei visitatori



FIGURA 6: Edward Teller (a sinistra) con Fermi nel 1951, non molto tempo dopo che il fisico italiano formulò per la prima volta la sua domanda.

extraterrestri. E visto che era Fermi a porla, forse si resero conto che era una domanda più complessa e profonda di quanto non sembrasse a prima vista. York ricorda che Fermi fece una serie di rapidi calcoli e concluse che dovremmo essere stati visitati già molto tempo fa, e più di una volta.

Anche se questi calcoli non sono mai stati pubblicati, né da Fermi né dagli altri, possiamo ragionevolmente immaginare quali siano stati i suoi procedimenti mentali. Prima di tutto deve aver fatto una stima del numero di CET nella Galassia, cifra che possiamo stimare anche noi. Dopo tutto, la domanda «quante civiltà extraterrestri avanzate e comunicanti ci sono nella Galassia?» è una tipica domanda alla Fermi!

Una domanda alla Fermi: quante civiltà comunicanti esistono?

Rappresentiamo il numero di CET comunicanti nella Galassia con il simbolo N . Per poter stimare N abbiamo bisogno di conoscere prima il tasso annuo R a cui si formano le stelle della Galassia. Ci occorrono poi la frazione f_p di stelle che possiedono pianeti e, relativamente a queste, il numero n_e di pianeti con ambienti idonei alla vita. Ci servono inoltre la frazione f_1 di pianeti idonei su cui effettivamente fiorisce la vita, la frazione f_i di questi pianeti su cui la vita sviluppa l'intelligenza e la frazione f_c di forme di vita intelligente che creano una cultura che permetta la comunicazione interstellare. Infine è necessario conoscere il tempo L , in anni, che tale cultura dedicherà alla comunicazione. Moltiplicando tutti

questi fattori otterremo una stima di N . Possiamo riassumere tutto il ragionamento come una semplice equazione:

$$N = R \times f_p \times n_e \times f_l \times f_i \times f_c \times L$$

L'equazione $N = R \times f_p \times n_e \times f_l \times f_i \times f_c \times L$ che dà il numero di CET comunicanti non è molto più "legittima" dell'espressione ricavata da Fermi per il numero di accordatori di pianoforti a Chicago. Ma se assegnamo valori adeguati ai diversi fattori dell'equazione (sempre consapevoli che questi valori possono cambiare, e cambieranno, con il progredire delle nostre conoscenze) giungeremo a una stima del numero di CET della Galassia. La difficoltà che ci si pone dinanzi nel realizzare la stima deriva dai nostri diversi gradi di ignoranza riguardo ai molteplici termini dell'equazione. Se si chiedesse agli astronomi di assegnare dei valori a queste variabili, le risposte spazierebbero da «Ne siamo ragionevolmente certi» (per il fattore R) a «L'abbiamo quasi determinato» (f_p), compreso un «Come diavolo facciamo a saperlo?» (L). Per lo meno, quando cerchiamo di stimare il numero di accordatori di pianoforti di Chicago possiamo avere una ragionevole sicurezza che le nostre diverse sottostime non siano grossolanamente sbagliate. Questa certezza, però, non può sussistere nella stima del numero di CET comunicanti. Comunque, in assenza di una qualsiasi conoscenza precisa sulle CET, questo è l'unico modo di procedere a nostra disposizione. (L'equazione descritta sopra ha ottenuto uno status di icona nella scienza, ed è nota come «equazione di Drake», dal nome del primo radioastronomo che ne fece uso esplicito, Francis Drake.¹⁶ L'equazione di Drake è stata il fulcro di un congresso fondamentale nell'ambito della ricerca di intelligenza extraterrestre tenutosi a Green Bank nel 1961: undici anni dopo l'affermazione di Fermi.)

Nel 1950 Fermi doveva conoscere molto meno degli astronomi odierni riguardo ai diversi fattori dell'«equazione» riportata, ma potrebbe aver fatto congetture ragionevoli guidato certamente dal «principio della mediocrità», secondo il quale la Terra o il nostro Sistema solare non possiedono nulla di speciale. Se avesse ipotizzato un tasso di formazione delle stelle pari a una l'anno non si sarebbe sbagliato di molto. Valori come $f_p = 0,5$ (metà delle stelle possiede pianeti) e



FIGURA 7: Herbert York, uno dei commensali di Fermi.



FIGURA 8: Emil Konopinski (il primo da sinistra), un altro dei commensali di Fermi.

$n_e = 2$ (le stelle con pianeti ne contano in media due ciascuna con ambienti idonei alla vita) appaiono "ragionevoli". Gli altri fattori sono molto più soggettivi; con un po' di ottimismo Fermi avrebbe potuto scegliere $f_l = 1$ (ogni pianeta in grado di sviluppare la vita *sicuramente* la svilupperà), $f_i = 1$ (una volta sviluppata la vita, quella intelligente sarà un'evoluzione inevitabile), $f_c = 0,1$ (una forma di vita intelligente su dieci svilupperà una civiltà capace e desiderosa di comunicare) ed $L = 10^6$ (le civiltà rimangono nella fase comunicativa per circa un milione di anni). Se il suo ragionamento fosse stato di questo tipo, Fermi sarebbe giunto alla stima $N = 10^6$. In altri termini, in questo preciso istante potrebbero esserci un milione di civiltà che cercano di comunicare con noi. Allora perché non sentiamo nulla, nemmeno da qualcuna? Anzi, perché non sono già qui? Se alcune di queste civiltà si fossero

sviluppate in tempi estremamente remoti dovremmo aspettarci di vederle colonizzare la Galassia, o di averlo fatto addirittura prima che sulla Terra si sviluppasse la vita pluricellulare. La Galassia dovrebbe brulicare di civiltà extraterrestri. Però non ne vediamo alcun segno. Dovremmo già essere a conoscenza della loro esistenza, ma non è così. Dove sono tutti quanti? *Dove sono?* Questo è il paradosso di Fermi.

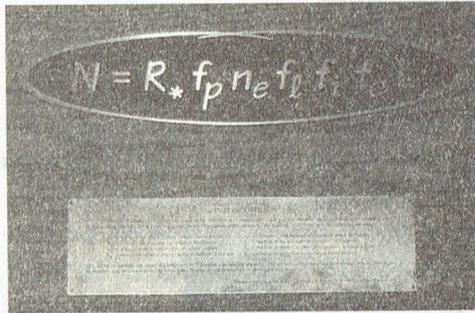


FIGURA 9: l'equazione di Drake è uno strumento che ci permette di stimare il numero di civiltà comunicanti presenti nella Galassia. Drake sviluppò l'equazione in modo tale che essa potesse costituire l'ordine del giorno del primissimo incontro SETI (tenutosi nel 1961 presso il National Radio Astronomy Observatory di Green Bank, nel West Virginia). Questa targa commemorativa è appesa allo stesso muro su cui si trovava la lavagna dove l'equazione fu scritta per la prima volta.

Bisogna notare che il paradosso non afferma che l'intelligenza extraterrestre non esiste. (Non so se Fermi credesse nell'esistenza dell'intelligenza extraterrestre, ma sospetto di sì.) Esso sostiene piuttosto che non rileviamo segni di quest'intelligenza quando ci aspetteremmo di farlo. Una spiegazione del paradosso è che noi siamo l'unica civiltà avanzata. Questa, però, è solo una delle tante.

Chiedersi perché non vediamo prove di civiltà extraterrestri potrebbe sembrare una domanda banale, ma in realtà, come è giusto attendersi da un'osservazione di Fermi, cela un enigma complesso. La forza del paradosso può essere apprezzata al meglio se ci si rende conto che esso è stato scoperto indipendentemente ben *quattro* volte: sarebbe infatti più giusto definirlo il paradosso di Ziolkovskij-Fermi-Viewing-Hart.

Konstantin Ziolkovskij, un profetico scienziato che elaborò le basi teoriche del volo spaziale già nel 1903, credeva profondamente nella dottrina monistica per la quale l'essenza ultima della realtà è costituita da un'unica sostanza: se tutte le parti dell'Universo erano la stessa cosa, ne conseguiva che dovevano esistere altri sistemi planetari simili al nostro e che alcuni di quei pianeti dovevano ospitare la vita.¹⁷ Tuttavia, un'altra delle convinzioni di Ziolkovskij era che l'umanità avrebbe costruito habitat nel Sistema solare e si sarebbe trasferita nello spazio (fatto che non sorprende, dato il suo interesse per i dettagli del volo spaziale). Queste idee furono ben espresse dal suo famoso detto: «La Terra è la culla dell'intelligenza, ma è impossibile vivere nella culla per sempre». Il monista che era in lui lo costringeva a credere che se *noi* ci espandessimo nello spazio anche tutte le *altre* specie dovrebbero fare lo stesso. La logica è irrefutabile e Ziolkovskij era consapevole che tutto ciò conduceva a un paradosso, se si afferma allo stesso tempo *sia* che l'umanità si espanderà nello spazio *sia* che l'Universo è colmo di vita intelligente. Nel 1933, molto prima che Fermi ponesse la sua domanda, Ziolkovskij indicò che la gente nega l'esistenza di CET perché: (a) se esistessero civiltà di questo tipo i loro rappresentanti avrebbero già visitato la Terra; (b) se esistessero civiltà di questo tipo ci avrebbero dato qualche segno della loro esistenza. Dunque anche Ziolkovskij è autore di una chiara formulazione del paradosso. E non solo: lo scienziato propose una soluzione, suggerendo che le intelligenze avanzate, o «esseri celesti perfetti», ritengono che l'umanità non sia ancora pronta per una loro visita.¹⁸

Gli studi tecnici di Ziolkovskij sui missili e il volo spaziale furono ampiamente dibattuti, ma il resto del suo contributo scientifico fu sostanzialmente ignorato nell'era sovietica. È per questo che il valore della sua analisi del paradosso è stato riconosciuto solo recentemente. Il contributo dello stesso Fermi non ha avuto sorte molto migliore: nel loro famoso testo del 1966, *Intelligent Life in the Universe* (Vita intelligente nell'Universo), Sagan e Šklovskij introducono un capitolo con la citazione «Dove sono?»; gli autori la attribuiscono a Fermi, ma affermano erroneamente che la frase fu pronunciata nel 1943. In uno scritto successivo, Sagan ipotizza che la citazione di Fermi fosse «probabilmente apocrifa».

Nel 1975 anche l'ingegnere inglese David Viewing propose una chiara formulazione del dilemma, espressa benissimo in una citazione tratta da un suo studio: «Questo, quindi, è il paradosso: tutta la nostra logica, tutto il nostro anti-isocentrismo, ci assicurano che non siamo unici, che loro *devono* esserci. Pur tuttavia non li vediamo». Viewing riconosce che Fermi fu il primo a porsi quell'importante domanda e che essa conduce a un paradosso. Per quanto mi risulta, questo è il primo studio contenente un riferimento diretto al paradosso di Fermi.¹⁹

In ogni caso fu un articolo di Michael Hart, pubblicato dal *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society* nel 1975, a scatenare l'interesse per il paradosso.²⁰ Lo studioso cercava una spiegazione per un dato di fatto fondamentale: attualmente sulla Terra non ci sono esseri intelligenti provenienti dal cosmo. Questa situazione era imputabile secondo lui a quattro ordini di ragioni. Dapprima ci sono le «ragioni fisiche», basate su difficoltà che rendono irrealizzabile il viaggio spaziale. Seguono le «ragioni sociologiche», che in sostanza propongono che gli extraterrestri abbiano *scelto* di non visitare la Terra. In terzo luogo, le «ragioni temporali» suggeriscono che le CET non abbiano avuto il tempo di raggiungerci. Infine, ci sono spiegazioni per le quali gli extraterrestri forse *sono stati* sulla Terra ma noi non li vediamo oggi. Con queste categorie Hart intendeva comprendere tutte le possibilità, e dimostrò efficacemente come nessuna di esse riesca a giustificare questa fondamentale realtà di fatto. Ciò lo condusse a fornire una propria spiegazione: *noi siamo la prima civiltà della nostra Galassia*.

Lo studio di Hart suscitò un acceso dibattito, condotto per lo più sulle pagine del *Quarterly Journal* e aperto a tutti, tanto che uno dei primissimi contributi arrivò dalla Camera dei Lord di Westminster!²¹ L'apporto più controverso venne forse da Frank Tipler, in un articolo il cui titolo dava poco adito a dubbi: "Extraterrestrial intelligent beings do not exist", gli esseri extraterrestri intelligenti non esistono. Secondo il ragionamento di Tipler, CET avanzate potrebbero utilizzare sonde autoreplicanti per esplorare o colonizzare la Galassia con poco dispendio di energie e in un tempo relativamente breve. L'abstract dell'articolo lo riassume dicendo: «Si sostiene che se gli esseri extraterrestri intelligenti esistono, le loro navi spaziali devono essere già presenti nel nostro

Sistema solare».²² Tipler asseriva che il programma SETI non aveva possibilità di successo e pertanto era uno spreco di tempo e denaro. La sua argomentazione attizzò il già acceso dibattito e portò a un ulteriore scambio di opinioni, sintetizzate nel modo migliore e più autorevole da David Brin, che definì il paradosso «il grande silenzio».²³

Nel 1979 Ben Zuckerman e Michael Hart organizzarono una conferenza per discutere del paradosso di Fermi. Gli atti furono pubblicati sotto forma di libro²⁴ e benché il volume contenga una grande varietà di opinioni è difficile leggerlo senza concludere che le CET dispongono di mezzi, motivi e opportunità per colonizzare la Galassia. I mezzi: il viaggio interstellare sembra possibile, se non addirittura semplice. I motivi: Zuckerman ha mostrato come alcune CET sarebbero obbligate a viaggiare nello spazio a causa della morte della loro stella, e in ogni caso sembra un'idea saggia per una specie espandersi nello spazio per scongiurare le conseguenze di un disastro planetario. L'opportunità: la Galassia ha tredici miliardi di anni, ma per la colonizzazione possono bastarne pochi milioni. Però noi non vediamo nessuno. Se si trattasse di un giallo poliziesco, avremmo un sospetto senza un cadavere.

La forza dell'argomentazione non colpì tutti. Secondo un libro apparso di recente e scritto dal matematico Amir Aczel la probabilità che esista vita extraterrestre è pari a 1.²⁵ Il fisico Lee Smolin ha scritto: «L'argomentazione a sostegno della non-esistenza della vita intelligente è una delle più curiose che io abbia mai incontrato; sembra quasi il ragionamento di un bambino di dieci anni che decide che il sesso è un mito perché deve ancora farne l'esperienza».²⁶ Il compianto Stephen Jay Gould, riferendosi all'asserzione di Tipler secondo cui le CET userebbero sonde per colonizzare la Galassia, ha scritto: «Devo confessare che non so proprio come reagire ad affermazioni del genere. Ho già abbastanza problemi a prevedere i piani e le reazioni di quanti mi sono più vicini. Di solito rimango disorientato dai pensieri e dalle azioni degli esseri umani di culture diverse. Che mi venga un accidente se riesco a immaginare con certezza che cosa possa fare una qualche forma di intelligenza extraterrestre».²⁷

Non è per nulla difficile condividere questo punto di vista. Quando penso al tipo di ragionamento implicito nel paradosso di Fermi non



FIGURA 10: Enrico Fermi, in barca al largo dell'isola d'Elba. La fotografia fu scattata pochi mesi prima della sua morte.

posso fare a meno di pensare a quella vecchia barzelletta sull'ingegnere e l'economista che camminano lungo una strada. L'ingegnere vede una banconota sul marciapiede, la indica e dice: «Guarda! C'è una banconota da cento dollari sul marciapiede!». L'economista continua a camminare, senza preoccuparsi di guardare per terra. «Devi sbagliarti» dice. «Se lì ci fossero dei soldi qualcuno li avrebbe già raccolti». ²⁸ Nella scienza è importante osservare e sperimentare; non possiamo sapere che cosa ci sia là fuori senza guardare. Qualsiasi teoria al mondo non porta a nulla, a meno che non superi la prova sperimentale. ²⁹

Ciò nonostante, è *inevitabile* che il dato di fatto sottolineato da Hart esiga una spiegazione. Cerchiamo civiltà extraterrestri da più di quarant'anni. E questo silenzio prolungato, malgrado le intense ricerche, comincia a preoccupare anche alcuni dei sostenitori più entusiasti del progetto SETI. Le nostre osservazioni ci indicano un universo naturale quando potrebbero mostrare così facilmente un universo artificiale. Perché? Dove *sono* tutti quanti? La domanda di Fermi è ancora in attesa di una risposta.

Capitolo 3

Sono qui

La soluzione più semplice al paradosso di Fermi è che "loro" siano già qui; o, come minimo, siano già stati qui in passato. Delle tre categorie di soluzioni al paradosso, questa è di gran lunga la più diffusa tra il pubblico non specializzato: l'idea che gli UFO siano navi spaziali aliene è accettata da molti e ha un successo quasi altrettanto ampio l'ipotesi che le costruzioni antiche siano state erette da extraterrestri anziché da esseri umani. Gli scienziati sono molto più scettici, soprattutto data la scarsa qualità delle prove. Ciò nonostante, è opportuno analizzare seriamente queste idee come potenziali soluzioni del paradosso. Di fatto, alcuni scienziati seri sostengono che, fino a quando non avremo esplorato molto più approfonditamente la regione spaziale in cui viviamo e saremo in grado di escludere in via definitiva la presenza di manufatti alieni, *non ci sarà* in realtà alcun paradosso di Fermi.

Il titolo di questo capitolo va interpretato piuttosto liberamente: per me "qui" non significa solamente la Terra ma l'intero Sistema solare (e nelle ultime due sezioni del capitolo addirittura l'intero Universo). Per cominciare, comunque, analizzo la prima soluzione suggerita per il paradosso, presentata a Fermi poco dopo che lui ebbe posto la sua domanda.

Soluzione 1: sono qui e si fanno chiamare «Ungheresi»

L'uomo più intelligente che io abbia mai conosciuto, senza eccezioni.

Jacob Bronowski parlando di John von Neumann in *The Ascent of Man*

La prima risposta all'interrogativo di Fermi giunse quasi subito. Leo Szilard, uno scienziato che pranzava regolarmente in compagnia di Fermi a Los Alamos, disse scherzando: «Sono tra noi e si fanno chiamare "Ungheresi"».