Isaac Asimov

I saggi di Urania

Antologia di saggi scientifici
apparsi in appendice ad *Urania*

© 2006 Bluebook

Indice

Astri e disastri **3**
I Fenici, Giulio Cesare, e la Stella Polare **11**
Il ponte degli dèi **16**
Vittoria silenziosa **24**
Le tre leggi della futurica **32**
La Compagna Nera **41**
Una storia di macchie **51**
I mini-buchi di Hawking **59**
Umano, troppo umano **68**
L'incostante Luna **76**
La mano di Dio **85**
Il calcolo degli eoni **94**
La Supernova che ci aspetta **102**
Dove cadde l'asteroide? **110**
Gli eserciti della notte **119**
Il braccio del gigante **128**
In periferia **136**
L'interno della Terra **145**
La chimica del vuoto **153**
Caldo, freddo e con... fusione **161**
Su Tolkien e altre cose **169**
Robot intelligenti ed organismi cibernetici **173**
- **1. Robot intelligenti** **173**
- **2. L'unione fa la forza** **175**
- **3. Organismi cibernetici** **176**

Astri e disastri

The Stars in Their Courses, 1970
Traduzione di Renato Gari
Urania n. 592 (14 maggio 1972)

Se qualcuno mi chiede cosa ne penso dell'astrologia, io rispondo pressappoco: «Un sacco di assurdità, sciocchezze colossali, idiozie assolute... Ovvio!».

Solo che per la maggior parte della gente non è affatto ovvio.

L'astrologia è molto più popolare oggi di quanto non lo sia mai stata in tutta la storia, e parecchi riescono a trarre un buon profitto da questa professione. Ho letto che negli Stati Uniti ci sono 5.000 astrologhi ed oltre 10 milioni di persone che credono nell'astrologia.

Una volta mi sarei stretto nelle spalle e avrei detto: «Be', lo scoprire che un americano su venti è un credulone ed un ingenuo non mi sorprende».

Ma in questo momento la maggior esplosione di popolarità dell'astrologia avviene tra gli studenti delle università che, si potrebbe supporre, sono i meglio preparati, gli smaliziati, le speranze del futuro.

A questo punto sorge la domanda: «Se gli universitari considerano seriamente l'astrologia, come può essere "ovviamente" un'assurdità?».

Può esserlo benissimo. Dunque:

1) Oggi è di moda, soprattutto fra gli universitari, contestare il sistema, cioè prendere una posizione in diretto antagonismo con quella accettata dalla società. Alcuni giovani lo fanno con coscienza e convinzione, e io simpatizzo per loro. (Anch'io, in un certo senso, sono contro il sistema, anche se ho superato la trentina e mi avvicino alla tarda giovinezza.)

Comunque, guardiamo in faccia la realtà. Molti studenti si oppongono al sistema perché nel loro gruppo è di moda fare così, e per nessun altro motivo. Per quanto riguarda loro, si tratta di un'opposizione cieca, e tutti questi giovani, ad esempio, si lascerebbero facilmente convincere di tagliarsi i capelli a spazzola se al Presidente Nixon venisse la voglia di farseli crescere fino alle spalle.

Esiste qualcosa di simile anche nell'istituzione scientifica. C'è un canone accettato del pensiero scientifico che dice (tra l'altro) che la qualità preminente delle cognizioni astrologiche è molto simile all'escremento di un bovino maschio. E questo è un motivo sufficiente per trasformare il giovane in astrologo entusiasta.

2) Viviamo in tempi difficili. Per la verità tutti i tempi sono difficili (come certamente dirà qualcuno versato in filosofie indù), ma nessun altro lo è mai stato quanto il nostro. Quando mai, prima di oggi, abbiamo avuto l'inestimabile piacere di sapere che una mossa sbagliata può provocare esplosioni termonucleari a catena capaci di distruggere il mondo in mezz'ora? Quando mai, prima d'ora, abbiamo avuto l'eccitante alternativa di essere trascinati nel caos e alla distruzione, entro mezzo secolo, o dalla sovrappopolazione o dall'inquinamento, senza sapere con esattezza quale dei due

arriverà prima?

Tuttavia, in questa nostra società che sta per crollare, la scienza non ha trovato ancora soluzioni adatte. Ha solo un programma di procedura, un sistema per porre domande e controllare la validità delle risposte... con grandissima probabilità che queste risposte non servano a niente. Opposto a questo ci sono vari misticismi che danno risposte forti chiare e rassicuranti. Risposte sbagliate, potete esserne sicuri, ma che cosa importa?

Il triste per noi razionalisti è che la grande maggioranza della razza umana preferirebbe sentirsi dire «Due più due fa cinque, ne sono sicuro», piuttosto che «io credo che due più due possa fare quattro».

3) Gli universitari non sono un gruppo omogeneo più di qualsiasi altra grande classe sociale. Non tutti si interessano alle scienze, e non tutti sono veramente intelligenti. Molti hanno solo l'intelligenza sufficiente a scoprire che la sola cosa di valore in questo falso mondo è l'abilità di "sembrare" intelligenti. Abilità che ha portato molti uomini a importanti cariche politiche.

Inoltre è facile imparare che è più semplice sembrare intelligenti in certi campi che in altri. Per esempio, è quasi impossibile sembrare intelligenti in matematica o in altre scienze esatte senza avere davvero l'intelligenza. I fatti, le osservazioni, e le teorie sono troppo ben stabilite. C'è una concordanza solida tra gli uni e le altre, e bisogna sapere parecchio su questa concordanza, per sembrare intelligenti. A questo punto, intelligenti bisogna esserlo.

La concordanza è più debole nelle scienze sociali. Ancora più debole in quelle umanitarie. E riguardo i culti mistici orientali (tanto per fare un esempio), non c'è concordanza alcuna.

Chi dica un'assurdità in chimica viene immediatamente colto in fallo da qualsiasi universitario che conosca la materia. Ma chi dice un'assurdità in critica letteraria? In realtà, quali sono i criteri per un'assurdità nella critica letteraria? Li conoscete? C'è qualcuno che li conosca?

In quanto al misticismo, poi! In questo campo si può barare in mille modi. Componete un canto come: «Carta igienica, Carta igienica, Carta igienica, Igienica, Igienica...». Dite a tutti che ripetendo il canto 666 volte si trova la serenità intima e la coscienza cosmica, e vi crederanno. Perché no? Non è un'affermazione molto diversa da qualsiasi altra riguardante il misticismo, e diventereste uno swami[1] rispettatissimo.

Per farla breve, molti studenti si dedicano seriamente all'astrologia perché: 1) è di moda, 2) dà loro un piacevole senso di sicurezza, anche se falso, e 3) conferisce una patente di intellettualismo.

E niente di questo stabilisce che l'astrologia sia assurda.

Il più divertente è che l'astrologia è nata come la miglior scienza dell'uomo.

All'alba della cultura, quando l'universo sembrava uno strano posto, e quando gli dèi si divertivano a colpire senza motivo, fu necessario trovare un sistema per scoprire cosa volevano quelle irrequiete divinità. I sacerdoti cercarono disperatamente le risposte osservando il volo degli uccelli, la forma del fegato degli animali sacrificati,

---

[1] Il nome "swami" è un'alta onorificenza nella religione Indù. Deriva da una parola sanscrita e significa letteralmente "padrone di se stesso". (*N.d.R.*)

la caduta di un dado, l'intensità di un tuono, e così via.

Gli eventi, nella natura, avvengono essenzialmente a caso, ma l'uomo primitivo non conosceva il principio della casualità. (Anche molti dei nostri contemporanei non lo riconoscono.) Tutti gli eventi dovevano essere, o controllati dall'uomo o controllati da Dio, e se succedeva un particolare fatto non voluto dall'uomo doveva necessariamente succedere per volontà di Dio. Così l'uomo ha studiato le foglie del tè, e le protuberanze del cranio, e le linee della mano. Come oggi.

Un grande passo avanti fu fatto da certi sacerdoti (probabilmente i Sumeri, in una terra che poi si è chiamata Babilonia, e poi Caldea, Mesopotamia, ed alla fine Iraq). Cerco di ricostruire quello che forse fu il loro ragionamento.

Gli dèi, devono avere pensato i Sumeri, non possono essere tanto inefficienti da dover sprecare tanto tempo e fatica ad inviare messaggi diversi per ogni diversa circostanza. Non è da dio sprecare energia nel creare un particolare fegato, o far volare gli uccelli in una certa direzione, o far tuonare nel cielo in un punto piuttosto che in un altro, ogni volta che ci sia da dire qualcosa.

Un vero dio disprezza sistemi del genere. E un dio che si rispetti ha sicuramente creato fenomeni naturali continui, e complessi... una specie di dito in movimento che scriva con fermezza la storia del mondo in tutte le sue sfaccettature e che serva da consigliere all'uomo. Invece di lasciare l'uomo all'incertezza di rivelazioni speciali, la divinità deve aver semplicemente studiato le leggi che governano la continua ma ordinata complessità dei fenomeni naturali.

(Se i primi astrologhi hanno ragionato in questo modo, e, forse è così, dovevano essere imbevuti dello spirito della scienza, e io li stimo. Alla luce della conoscenza, accesasi in un periodo posteriore, nessuno studioso deve venire deriso per essersi sbagliato. Chi si sforza per il sapere, nell'ambito del suo tempo, appartiene di diritto alla congrega degli scienziati.)

Il fenomeno naturale assolutamente continuo e inesorabile, che poteva apparentemente essere messo in movimento una volta e per sempre, era il movimento dei corpi celesti.

Il Sole si alzava e calava un giorno dopo l'altro, e si spostava da Nord a Sud. La Luna si alzava e calava ogni giorno, e mutava le sue fasi. Le regole matematiche che descrivevano questi cambiamenti non erano semplici, ma non erano nemmeno tanto complesse da non poterle scoprire.

Inoltre, gli spostamenti del Sole e della Luna avevano chiaramente un'influenza sulla Terra.

Il Sole, con il sorgere e il tramontare, provocava il giorno e la notte. E con lo spostamento da Nord a Sud causava il mutare delle stagioni. La Luna, alzandosi e calando (con tutte le sue fasi) dava una successione di notti luminose e di notti buie. (Le fasi vennero anche collegate alle maree, fatto di straordinaria importanza ma che per varie ragioni non venne preso molto in considerazione sino alla fine del diciassettesimo secolo.)

Ovviamente, se gli spostamenti del Sole e della Luna potevano alterare le condizioni della Terra, doveva esistere un "codice astrologico". Se si potevano prevedere gli spostamenti nel cielo, si potevano anche prevedere, quindi, i cambiamenti di condizioni sulla Terra.

Certo è alquanto sciocco predire che domani mattina sorgerà il Sole, e che la Terra verrà illuminata, o che la Luna è in fase calante e che le notti diventeranno più buie, o che il Sole si sta spostando verso Sud e che si sta avvicinando la stagione fredda. Tutto questo era facilmente comprensibile anche dall'uomo più semplice. Ma c'erano i dettagli. Ci sarebbe stata pioggia a sufficienza? Avrebbero avuto un buon raccolto? Ci sarebbero state guerre o pestilenze? La regina avrebbe avuto un maschio?

Per sapere tutto questo era necessario studiare il cielo in ogni dettaglio.

Non sapremo mai chi fu il primo a osservare la posizione della Luna e del Sole sullo sfondo del cielo stellato. Le migliaia di stelle mantengono la loro relativa posizione notte dopo notte, anno dopo anno, generazione dopo generazione (ecco perché vennero chiamate "stelle fisse"), ma il Sole e la Luna, rispetto a loro, cambiano posizione. I Greci li chiamarono pianeti ("vagabondi"), perché vagabondavano in mezzo alle stelle.

Sia la Luna sia il Sole seguivano una specie di sentiero fisso tra le stelle, e i due sentieri erano abbastanza vicini. Però viaggiavano a velocità diverse. Mentre il Sole compiva un giro completo nel cielo, la Luna riusciva a farne dodici. (Per la verità dodici ed una frazione, ma perché complicare le cose?)

Fu utile a questo punto tracciare questo sentiero stabilendo punti facilmente identificabili. Un sistema probabilmente iniziato dai Sumeri e perfezionato dai Greci.

Prendete una striscia di stelle che contenga i sentieri della Luna e del Sole, e dividetela in dodici parti, o "segni". Fate partire il Sole e la Luna da uno stesso punto, cioè in uno di questi segni. Nel tempo che la Luna impiega a compiere tutto un giro e a tornare sul segno, il Sole avrà percorso soltanto un dodicesimo del suo percorso, e si sarà spostato sul segno successivo. Un altro giro della Luna, e troverete il Sole spostato di un altro segno.

Per aiutare la memoria tracciate delle linee tra le stelle di ciascun segno, preferibilmente cercando di riprodurre le forme di animali conosciuti, e avrete le dodici costellazioni che formano lo zodiaco ("cerchio degli animali").

Una volta che si cominci a studiare lo zodiaco con attenzione, si scopre che esistono cinque stelle luminose non fisse, ma che vagano per lo zodiaco come il Sole e la Luna. Sono altri cinque pianeti, quelli che noi adesso chiamiamo Mercurio, Venere, Marte, Giove e Saturno.

Questi nuovi pianeti aumentarono enormemente la complicazione dei cieli e, di conseguenza, il valore del "codice astrologico". Alcuni di loro si muovono con estrema lentezza. Saturno, per esempio, compie un solo giro completo nel tempo in cui la Luna ne fa 360. Inoltre, mentre il Sole e la Luna si spostano sempre da Ovest ad Est contro lo sfondo delle stelle, gli altri pianeti cambiano a volte direzione, spostandosi per brevi periodi da Est ad Ovest in quelli che vennero chiamati "movimenti retrogradi". Saturno, nel corso di una singola rivoluzione, non lo fa meno di 29 volte.

Sostengo ancora che i primi astrologhi non erano impostori. Se fossero stati dei ciarlatani avrebbero preferito studiare il volo degli uccelli e i fegati.

Stabilire le basi dell'astrologia significa aver osservato il cielo notte dopo notte, facendo accuratissimi rilievi. Quello che venne scoperto dagli astrologhi fu preciso e di grande valore. Le loro osservazioni rappresentano l'inizio della vera astronomia, e sono rimaste una valida descrizione del meccanismo del sistema solare (relativo a una

Terra fissa) fino ai giorni nostri.

Gli astrologhi sbagliarono, non nella descrizione dei cieli, ma nell'elaborazione del "codice astrologico". Anche se fecero del loro meglio per essere razionali.

Dove si potrebbe trovare una traccia per il codice? Supponiamo che ci sia stato in cielo un evento estremamente raro. Non poteva significare che un avvenimento altrettanto raro sulla Terra fosse in relazione con esso? E non si poteva capire qualcosa da questo legame?

Per esempio, supponiamo che ci sia stata un'eclisse. Supponiamo che ci sia stata una di quelle rare occasioni in cui la Luna veniva cancellata lentamente dal cielo, o una di quelle occasioni ancora più rare in cui era il Sole a sparire. Non Poteva darsi che fossero seguiti da eventi altrettanto notevoli sulla Terra?

La domanda è quasi una risposta a se stessa, perché le eclissi lasciavano nel panico tutti quelli che le osservavano. Ed è comprensibile. Oggi si ride di questo panico, ma non è giusto. Supponiamo di sapere che la nostra vita dipende dal Sole, e di vedere che il Sole, per una ragione sconosciuta, scompare lentamente, fino a diventare nero. Non si potrebbe pensare che il Sole stia morendo? E che con lui morrebbe tutta la vita?

Bene, se l'eclissi è un fenomeno tanto raro e spaventoso, è facile e quasi inevitabile arguire che le conseguenze sulla Terra saranno altrettanto rare e spaventose. In breve, un'eclisse doveva essere presagio di disastro. (Il termine "disastro" deriva dal latino *dis-astrum*, che significa "stella funesta".)

Ma lasciamo da parte la teoria. I disastri seguono veramente l'eclissi?

Certamente. Ogni anno in cui si verifica un'eclissi, c'è sempre una catastrofe da qualche parte, ed è facile da provare, perché ogni anno, eclissi o no, c'è sempre una catastrofe da qualche parte.

Gli astrologhi si afferrarono alle catastrofi che seguirono le eclissi per provare il loro punto, ignorando le catastrofi che non le seguivano. Poco scientifico? Certamente. Ma molto umano. (In questi nostri anni molto illuminati provate a convincere del contrario qualcuno fermamente convinto che accendere una sigaretta in tre porti sfortuna. Ditegli che le disgrazie càpitano anche accendendo una sigaretta in due, e vedrete cosa otterrete.)

I primi astrologhi, come infatti è successo, non devono avere impiegato molto a scoprire le cause delle eclissi. Hanno notato che la Luna si anneriva tutte le volte che si trovava dalla parte della Terra direttamente opposta al Sole, cioè quando si trovava nell'ombra della Terra. Ed hanno notato che il Sole spariva tutte le volte che veniva a trovarsi con la Luna nello stesso punto del cielo, cioè quando era la Terra a trovarsi in ombra.

Calcolando accuratamente i movimenti della Luna e del Sole fu possibile predire le eclissi di Luna con un certo anticipo, e senza molta difficoltà. (Alcuni dicono che gli antichi Brettoni usassero Stonehenge per questo scopo fin dal 1500 a.C.) Le eclissi solari richiedevano un calcolo più difficile, ma alla fine anche loro diventarono prevedibili.

È facile capire come gli astrologhi siano stati tentati di mantenere segreto il loro sistema. La gente comune non sarebbe stata in grado di seguire i loro calcoli. Inoltre, e con tutta probabilità, gli astrologhi trovarono che la loro posizione sociale e la loro

sicurezza veniva rafforzata se restavano gli unici a poter predire le eclissi. Inoltre si risparmiavano anche la fatica di insegnare tutta la matematica necessaria. Naturalmente c'erano anche dei rischi. Una leggenda cinese dice che in tempi molto antichi un'eclissi oscurò improvvisamente la capitale. Nessuno ne sapeva niente perché i due astronomi reali, Hsi e Ho, si erano ubriacati, dimenticandosi di far sapere che cosa sarebbe successo. L'imperatore, dopo essersi ripreso dalla sua imperiale paura per l'evento inaspettato, fece condannare a morte i due astronomi, tornati improvvisamente sobri, e tutti furono d'accordo nel dire che se lo meritavano.

Un'eclissi poteva anche avere degli effetti benefici. In oriente, nei tempi antichi, il Sole si oscurò poco a poco sul campo di battaglia che si stava svolgendo nell'Asia Minore. L'esercito di Lidia, a Ovest, e dei Medii, a Est, smisero di combattere per guardare il Sole che spariva. Ci furono pochi minuti di eclissi in cui il giorno diventò buio come la notte. Finita l'eclissi, i due generali avversari firmarono un trattato di pace, e se ne tornarono a casa. I due paesi non combatterono più tra loro, perché ormai sapevano quale collera provassero gli dèi nel vederli in lotta.

I moderni astronomi hanno potuto calcolare con esattezza la data dell'eclissi di Sole avvenuta in Asia Minore in quel periodo. È stata il 28 maggio 585 a.C. Quindi la battaglia tra Lidia e i Medii, giunta prematuramente a termine, è il primo avvenimento della storia che si possa stabilire nel suo giorno esatto.

Si dice che il filosofo greco Talete avesse previsto questa eclissi, ma senza il giorno esatto. Disse solo che in quell'anno ce ne sarebbe stata una. Si narra che in gioventù Talete abbia fatto dei viaggi in Babilonia. Probabilmente aveva imparato il trucco delle predizioni da qualche astronomo del luogo.

Un altro evento astronomico che ruppe la normale routine dei cieli, fu l'arrivo di una cometa. E causò un panico maggiore di quello causato dalle eclissi, e per diverse ragioni...

L'eclissi comincia e finisce in periodi di tempo relativamente breve. La cometa invece resta nel cielo per settimane e mesi. L'eclissi implica forme perfettamente regolari, le comete hanno forme strane e minacciose: una testa informe con una lunga coda che può somigliare ad una spada sospesa sul mondo, o a capelli scomposti di una donna che urla. ("Cometa" deriva dalla parola greca *komètes* che significa "chiomato".)

Infine, l'eclissi poteva essere prevista anche nei tempi antichissimi, l'arrivo di una cometa, no. Il sistema per predire l'arrivo di una cometa è stato elaborato solo nel diciottesimo secolo.

Le comete, quindi, divennero sicure indicatrici di catastrofi, più ancora delle eclissi, e, per la stessa ragione di prima, le catastrofi seguivano regolarmente.

Nel 1066, quando Guglielmo di Normandia[2] stava preparandosi ad invadere l'Inghilterra, comparve nel cielo quella cometa che oggi noi chiamiamo "Cometa di Halley". Predisse catastrofi, e fu esattamente quello che avvenne, perché i Sassoni persero la Battaglia di Hastings e passarono sotto il permanente dominio dei Normanni. I Sassoni non si sarebbero mai aspettata una catastrofe migliore di quella.

---

[2] Viljálmr Langaspjôt (905-942) fu il secondo signore della Normandia, con il nome di Guglielmo I. (*N.d.R.*)

D'altra parte, se i Sassoni avessero vinto, ricacciando l'esercito di Guglielmo nel Canale, per i Normanni sarebbe stata veramente una catastrofe.

Chiunque avesse perso, la cometa non poteva sbagliare.

Con le eclissi e con le comete che servivano egregiamente per predire gli eventi sulla Terra, il principio del "codice astrologico" venne ben confermato, e anche la tecnica, perché sembrava operare sul principio delle similarità. Il Sole che spariva indicava sparizioni di fortune. Una cometa con la coda a forma di spada parlava di guerra, e così via.

Con i Greci la democrazia ebbe il sopravvento sull'astrologia. Nell'est la filosofia delle monarchie orientali, dove solo il re contava, mantenne l'astrologia al servizio degli importanti affari di stato. Tra i Greci si diffuse poi l'uso degli oroscopi personali.

Tentiamo di ricostruire il loro ragionamento. Se il Sole è il più luminoso dei pianeti (usando la parola nel senso antico) ha certamente a che fare con l'individuo. In che segno era il Sole al momento della nascita di una data persona? Se era nella costellazione della Libra (la bilancia) la persona sarebbe stata di temperamento giudizioso. E se era in Leo (leone) cos'altro meglio di un valoroso guerriero?

Se smettete di pensare che gli antichi consideravano i corpi celesti degli oggetti piccoli, grandi quanto la Terra, e che le costellazioni rappresentavano veramente in qualche modo le cose che sembravano rappresentare, tutto prende senso.

Ciò nonostante, anche nel periodo aureo dei Greci c'erano due importanti gruppi che si opponevano all'astrologia.

La scuola filosofica di Epicuro (341-270 a.C.) l'avversava perché aveva un punto di vista dell'Universo essenzialmente ateistico. Gli epicurei affermavano che i corpi celesti si spostavano senza uno scopo preciso, e che non esistevano dèi a dare un significato ai loro movimenti.

L'altro gruppo era quello degli ebrei. Si professavano categoricamente monoteisti, e sembravano insoliti tra la gente di quel periodo. Non erano scientificamente preparati, e non usavano argomenti razionali per confutare l'astrologia. (Sarebbero rimasti inorriditi e senza parola di fronte ai ragionamenti di Epicuro.) Loro affermavano soltanto che chi sosteneva l'astrologia doveva essere un pagano, perché considerava i pianeti come divinità. E questo, per gli ebrei, era un anatema.

Tuttavia anche gli ebrei non furono completamente immuni dalle influenze dell'astrologia. Nella Bibbia, scritta nell'antica Grecia da devoti rabbini, i più antichi versetti vennero accuratamente tolti per cancellare le tracce poco edificanti di un passato filisteo... ma le cancellature non furono perfette.

Per il quarto giorno della creazione, la Bibbia dice: «E Dio disse, ci siano luci nel firmamento del cielo per separare il giorno dalla notte, e ci siano dei segni per le stagioni, per i giorni, e per gli anni». (Genesi 1:14). La parola "segni" è un residuo astrologico.

Un riferimento molto più chiaro lo si trova nel Cantico di Debora, uno dei più antichi passaggi della Bibbia, un vecchissimo poema troppo conosciuto per poter essere manomesso. Dopo la disfatta di Sisira, Debora canta: «Dal cielo combatterono; gli astri, nel loro corso, combatterono contro Sisira» (Giudici 5:20).

Tuttavia né gli epicurei, né gli ebrei prevalsero. L'astrologia continuò, e fu popolarissima nel diciassettesimo secolo, quando si affacciò la moderna astronomia. Infatti

certi fondatori dell'astronomia moderna, Giovanni Keplero, per esempio, erano astrologhi.

Alla fine del diciassettesimo secolo, stabilito il quadro del sistema solare eliocentrico, l'astrologia divenne alla fine una pseudo-scienza. Supera l'umana comprensione il supporre che il grande Universo che conosciamo sia solo una chiave per predire il nostro insignificante destino. Che molti uomini e donne ci credano, nonostante tutto, è la notevole conferma di quanto possa essere grande la follia umana.

Pure la scienza gode di prestigio anche in mezzo ai nemici. Ci sono dei fedeli all'astrologia che conoscono alla perfezione l'astronomia e che cercano una spiegazione scientifica e razionale per la pseudo-scienza.

Tale è l'ingenuità dell'uomo, specialmente quando è male applicata, che una tale spiegazione razionale (estremamente debole, ma comunque razionale), può venire trovata davvero. Ma di questo, ve ne parlerò un'altra volta.

I Fenici, Giulio Cesare, e la Stella Polare

Constant as the Northern Star, 1973
Traduzione di Vincenzo Nardella
Urania n. 634 (23 dicembre 1973)

Il guaio di pensare è che a volte ci si rende conto della propria stupidità. Cosa particolarmente imbarazzante quando si passa metà tempo della vita a sorridere con modestia a chi ti dice quanto sei in gamba.

Nel mio libro, intitolato *La terra di Canaan*, sui primi viaggi dei Fenici, i più abili navigatori dei tempi antichi, ho scritto: «È possibile che i Fenici siano stati aiutati dal loro notevole sviluppo tecnologico. I mari aperti mancano di indicazioni stradali, dato che queste, come indica il nome, possono esistere soltanto sulle strade. Le stelle, se non si muovessero di continuo, potrebbero servire da indicazioni. Comunque si muovono come intorno ad un mozzo, e vicino a questo mozzo c'è la lucente Stella Polare, l'unica che si sposta di pochissimo. Può darsi che i Fenici siano stati i primi a servirsi della Stella Polare quale "indicazione stradale" sul mare, ed è forse questo che ha aperto loro il Mediterraneo occidentale».

Un errore che non avrei dovuto commettere, e mi è di piccola consolazione pensare che Shakespeare ha commesso lo stesso errore. Nel *Giulio Cesare*, poco prima di venire pugnalato Cesare pronuncia queste parole: «ma io son fermo come la stella del settentrione, che per la sua fissa immobilità non ha rivale nel firmamento. Vediamo i cieli costellati di scintille innumerevoli, tutte sono fuoco, ed ognuna brilla di luce sua, ma una sola è ferma a un punto».

Vediamo adesso qual è l'errore.

La Terra ruota intorno ad un asse, una specie di linea che passando attraverso il centro del pianeta ne emerge ai due punti opposti: il Polo Nord ed il Polo Sud. La rotazione da ovest ad est che la Terra compie su questo asse non è da noi percettibile. Sembra così che la Terra stia firma e che sia il cielo a ruotare da est ad ovest.

L'illusoria rotazione dei cieli si svolge sullo stesso asse della vera rotazione terrestre. Se si allunga idealmente l'asse della Terra esso andrà ad intersecare la "sfera celeste" ai due punti opposti, il "Polo Celeste Nord" ed il "Polo Celeste Sud". La linea a metà tra i Poli Celati forma l'Equatore Celeste, e la sfera celeste è segnata da un intreccio di latitudini e di longitudini come la superficie della Terra (idealmente, ben inteso).

In qualsiasi punto della Terra ci si trovi, il punto del cielo direttamente sopra di noi (allo zenith), è alla stessa "Latitudine Celeste" della latitudine terrestre in cui siamo.

Se per esempio ci trovassimo al Polo Nord, avremmo allo zenith il Polo Nord Celeste, e vedremmo le stelle girargli attorno con movimento antiorario. Al Polo Sud noi avremmo allo zenith il Polo Sud Celeste, e vedremmo le stelle girargli attorno con movimento orario.

Più vicini si è ad uno dei due Poli Terrestri, tanto più alti sono nel cielo i Poli corrispondenti. L'altezza del Polo Celeste sopra l'orizzonte è, infatti, identica alla lati-

tudine dell'osservatore posto sulla superficie della Terra.

In questo momento, per esempio, io mi trovo in un punto situato a 40,8 gradi di latitudine nord. Questo significa che, per me, il Polo Celeste Nord è a 40,8 gradi sopra l'orizzonte nord, calcolato dal livello del mare.

Tutte le stelle girano intorno al Polo Celeste Nord, e quelle che si trovano a meno di 40,8 gradi da esso nei loro giri non toccano mai l'orizzonte nord, ne stanno cioè sempre al di sopra.

Le stelle che si trovano a oltre 40,8 gradi dal Polo Celeste Nord (viste da dove sono io) compiono giri tanto ampi da tagliare l'orizzonte. Queste stelle, quindi, sorgono e tramontano.

Il Polo Celeste Sud, da dove sono io, è sempre a 40,8 gradi sotto l'orizzonte meridionale, e tutte le stelle entro i 40,8 gradi da lui compiono dei cerchi che rimangono sempre sotto l'orizzonte, ed io non ne potrò mai vedere una.

Se mi spostassi verso nord, il Polo Celeste Nord si alzerebbe nel cielo, e la fascia circolare di stelle che rimane sempre sopra l'orizzonte (e la corrispondente fascia di stelle nelle vicinanze del Polo Celeste Sud che rimane sempre sotto l'orizzonte) aumenterebbe d'area. Al Polo Nord tutte le stelle dell'Emisfero Celeste Nord rimarrebbero sempre sopra l'orizzonte, e tutte le stelle dell'Emisfero Celeste Sud rimarrebbero sempre sotto l'orizzonte. (Naturalmente al Polo Sud la situazione è inversa.)

Se invece mi spostassi verso sud, il Polo Celeste Nord si abbasserebbe nel cielo, e la fascia di stelle, sempre sopra l'orizzonte da una parte e quella sempre sotto l'orizzonte dall'altra, diminuirebbe d'area. All'Equatore queste fasce si ridurrebbero a zero. Il Polo Celeste Nord verrebbe a trovarsi all'orizzonte settentrionale, ed il Polo Celeste Sud all'orizzonte meridionale, e tutte le stelle, senza nessuna eccezione, sorgerebbero e tramonterebbero. È questo mutevole comportamento delle stelle alle diverse latitudini che ha dato agli antichi Greci l'idea che la Terra fosse una sfera.

Naturalmente chiunque guardi il cielo attentamente, notte dopo notte, da una latitudine sufficientemente alta, può vedere che le stelle girano in cerchio attorno ad un punto del cielo settentrionale. Questo punto, il centro attorno a cui le stelle girano, deve essere logicamente privo di movimento.

Purtroppo non è possibile segnare con facilità questo punto su una Sfera Celeste senza forma, a meno che non esista in quel punto, o nelle sue immediate vicinanze, una stella luminosa. E capita che ci sia. È una stella di grandezza 2,1, una delle due dozzine circa di stelle più luminose che esistano. Dato che è così vicina al Polo Celeste Nord, essa viene chiamata Stella Polare, o "Stella del Nord".

La Stella Polare però non è esattamente al Polo Celeste Nord. Ne è discosta di circa 1 grado. Significa che descrive attorno al suo Polo Celeste un piccolo cerchio del diametro di circa 2,0 gradi. Questo cerchio è quattro volte più grande della Luna piena, quindi non si tratta di un movimento insignificante.

Tuttavia un cambiamento di posizione diventa percettibile soltanto quando si può fare riferimento a qualcosa di assolutamente immobile. Un punto di riferimento adatto, non turbato dai movimenti che avvengono nel cielo, è l'orizzonte. Nel corso delle ventiquattro ore l'altezza della Stella Polare sull'orizzonte nord varia (nel punto in cui mi trovo io) da 41,8 gradi a 39,8.

Questa differenza non è tale da impressionare un osservatore disattento. Né può

impressionare il fatto che la Stella Polare, durante lo stesso periodo, si sposti da 1 grado est ad 1 grado ovest. Al nostro osservatore distratto può anche sembrare che la stella rimanga fissa a segnare il nord esatto.

Questo spiega perché si può dire "fermo come la stella del settentrione" e perché si può dire che, di tutte le stelle, "una sola è ferma ad un punto". Ed è per questo che si può sempre indicare da che parte sia il nord (posto che la notte sia serena) e che si può dirigere con sicurezza una nave come facevano i Fenici.

Allora, dov'è l'errore?

La Terra, come tutti sanno, oltre a ruotare su se stessa gira intorno al Sole. Ma non tutti sanno che, per cause gravitazionali connesse a questi giri, l'asse di rotazione terrestre subisce una lenta oscillazione periodica, per cui i due poli non restano fissi ma descrivono un cerchio intorno alla perpendicolare.

L'oscillazione è così lenta che i due poli impiegano 25.780 anni per descrivere un cerchio completo. Vale a dire, poiché in un cerchio ci sono 360 gradi, il Polo Celeste Nord (come anche quello Sud, naturalmente) si sposta di 0,014 gradi ogni anno. Non molto dunque. Se prendiamo di nuovo come termine di riferimento il diametro apparente della Luna piena, ci vogliono 37 anni perché il Polo Celeste Nord si sposti di tanto. Resta però il fatto che il polo stesso si sposta, e questo spostamento modifica la sua distanza dalla Stella Polare. In questo momento il Polo Celeste Nord si muove in direzione della Stella Polare, così che essa sta compiendo giri sempre più piccoli intorno al Polo Celeste Nord, e diventa sempre più la vera Stella del Nord.

Verso il 2100 il Polo Celeste Nord passerà oltre la Polare sfiorandola, ed in quel momento la stella si troverà spostata di soli 0,47 gradi, e compirà un cerchio leggermente più piccolo di quello della Luna piena. Poi il Polo Celeste Nord si allontanerà, e i cerchi descritti dalla Polare aumenteranno nuovamente di diametro.

Per secoli il Polo Celeste Nord si è avvicinato costantemente alla Polare. Nel 1900 questa stella era ad 1,2 gradi dal Polo Celeste Nord. Oggi ne dista di un grado.

Adesso torniamo più indietro, al 1599, quando Shakespeare scrisse il *Giulio Cesare*. In quel periodo la Polare si trovava a 2,9 gradi dal Polo Celeste Nord. Il cerchio che essa percorreva ogni ventiquattro ore aveva una ampiezza di 5,8 gradi, nove volte più grande della Luna piena. Dalla latitudine di Londra (51,5 gradi), la Polare variava di altezza sull'orizzonte nord da gradi 54,4 a 48,6.

Un osservatore disattento poteva ancora non notarlo. E poteva non accorgersi che durante il corso della giornata la Polare oscillava fino a 2,9 gradi ad est e a ovest del vero nord. Shakespeare poteva ancora parlare di qualcosa «fermo come la stella del settentrione» e stare tranquillo.

Ma aspettate. Shakespeare fa dire questa frase a Giulio Cesare, e glielo fa dire il 15 marzo del 44 avanti Cristo. Dov'era in quel momento la Stella Polare?

Ve lo dico io. A 12,2 gradi dal Polo Celeste Nord. Dodici gradi virgola due!

Dalla latitudine di Roma (42 gradi), nel 44 avanti Cristo, la Polare doveva compiere un cerchio del diametro di 24,4 gradi. Nello spazio di ventiquattro ore doveva calare da un'altezza di 54,2 gradi sopra l'orizzonte nord a soli 29,8 gradi. Con questo divario di altezze nessuno, per quanto distratto, l'avrebbe potuta considerare una stella fissa.

Ma non è tutto. Il semplice fatto che la Polare non fosse vicina al Polo Celeste Nord non significa che non ci fosse qualche altra stella in quel punto, e che non fosse a

quella che Giulio Cesare si riferiva. Ed invece non ce n'erano. Anche nel 44 avanti Cristo la stella luminosa più vicina al Polo Celeste Nord era la Polare, che però non era affatto vicina.

E questo significa che ai tempi di Giulio Cesare non c'era nessuna Stella del Nord! E se anche il vero Cesare possedeva l'eloquenza del Cesare di Shakespeare (cosa probabilmente vera), non avrebbe comunque paragonato la sua fermezza a qualcosa che non esisteva.

Ed i Fenici?

L'epoca delle loro navigazioni è cominciata verso il 1000 avanti Cristo, ed in quel periodo la Polare si trovava a 16,8 gradi dal Polo. Di tutte le stelle che nel 1000 avanti Cristo si trovavano più vicine della Polare al Polo Celeste Nord, la più luminosa è Thuban, la stella più lucente della costellazione del Drago che occupa la regione del Polo Nord dell'Eclittica. Ma Thuban ha una grandezza di 3,6 e la sua luminosità è quattro volte inferiore a quella della Polare. Tra l'altro, Thuban era a ben 9 gradi dal Polo Celeste Nord, quindi non poteva essere la Stella del Nord.

I Fenici, quindi, non possono aver regolato la loro navigazione sulla scoperta dell'immobilità della Polare, o di una qualsiasi altra stella, quindi la mia affermazione nel libro *La Terra di Canaan* è sbagliata.

Ma allora, cos'hanno scoperto i Fenici? Niente di niente?

Probabilmente una scoperta importante l'hanno fatta. Nel cielo settentrionale ci sono sette stelle di seconda grandezza, stelle che per la loro disposizione noi chiamiamo il Grande Carro. Tutte queste stelle si stendono tra i 20 ed i 40 gradi dal Polo Celeste Nord, quindi rimangono costantemente nel cielo settentrionale, senza mai tramontare, sia che si guardi il cielo dall'Europa sia che lo si guardi dal nord degli Stati Uniti.

È molto più facile vedere e localizzare sette stelle disposte in un modo particolare che non localizzare una singola stella. Chiunque guardando il cielo può immediatamente indicare il Grande Carro senza difficoltà, anche se magari non sa trovare la Stella Polare (a meno che non usi il Grande Carro come punto di riferimento).

Inoltre, proprio per la sua forma, è facile vedere che il Grande Carro gira intorno ad un centro, e si può usare questo centro come un approssimativo punto nord.

Inoltre il Polo Celeste Nord, descrivendo il suo lentissimo cerchio, è scivolato lungo i margini dei Grande Carro, e praticamente a distanza costante per qualcosa come seimila anni. Infatti è solo negli ultimi mille anni che il Polo Celeste Nord ha cominciato scostarsi da questa costellazione.

Ne consegue perciò che in tutta la storia della civiltà, ci fosse o meno una Stella del Nord, il Grande Carro ha continuato a girare in modo spettacolare indicando il nord.

I Greci videro il Grande Carro come parte di una configurazione stellare più grande, ed immaginarono che avesse la forma di un'orsa. Nei poemi omerici, per esempio, non c'è alcun accenno alla Stella del Nord, perché non c'era. Ma viene nominata l'Orsa. Nel quinto libro dell'*Odissea*, quando Ulisse lascia l'isola di Calipso, Omero dice: «Mai sonno sugli occhi cadeva, fissi alle Pleiadi, fissi a Boote che tardi tramonta, ed all'Orsa... che chiamano pure col nome di Carro, e sempre si gira e Orione guarda paurosa, e sola non fa parte ai lavacri d'Oceano; quella infatti gli aveva ordinato Calipso, la dea luminosa, di tenere a sinistra nel traversare il mare».

Tenendo il Grande Carro alla sua sinistra, Ulisse sarebbe andato verso est, dove voleva andare. Se l'avesse tenuto alla destra sarebbe andato ad ovest. Andandogli incontro sarebbe finito a nord. Voltandogli le spalle si sarebbe diretto a sud. L'*Odissea* è stata scritta verso l'800 avanti Cristo. L'uso del Grande Carro come punto di riferimento è probabilmente quello che i Fenici avevano scoperto verso il 1000 avanti Cristo.

Così, perché non mi sono soffermato qualche attimo a pensare, prima di scrivere quella mia affermazione in *La Terra di Canaan*?

Il ponte degli dèi

The Bridge of the Gods, 1975
Traduzione di Rosella Sanità
Urania n. 704 (29 agosto 1976)

Un paio di anni fa, mia moglie ed io ci trovavamo nella Foresta di Dean nel sud-ovest dell'Inghilterra, vicino al Galles. Era stata una giornata di pioggia interrotta da schiarite, e nel tardo pomeriggio Janet e io andammo a fare una passeggiata tra i faggi secolari.

Una nuova spruzzata di pioggia ci fece correre al riparo di uno di quei faggi, il sole però continuava a splendere, e nel cielo apparve l'arcobaleno. Non un arcobaleno solo, ma due. Fu l'unica volta in cui vidi l'arcobaleno primario e quello secondario separati tra loro, come dovrebbe essere da uno spazio pari a circa venti volte il diametro della luna piena. In mezzo ai due archi il cielo era di colore intenso, e noi vedemmo un'ampia fascia scura attraversare il cielo orientale con un arco perfetto, orlata ai due lati da un arcobaleno, con i due rossi rivolti verso la parte scura, ed i viola che sfumavano nel blu. Durò parecchi minuti, e noi restammo a guardarlo in silenzio. Non sono tipo facile alle emozioni, ma quella vista mi turbò profondamente.

Una decina di giorni dopo, visitai l'Abbazia di Westminster a Londra, e mi fermai accanto alla tomba di Isaac Newton (mi rifiutai però di montarci sopra secondo l'uso). Da quella posizione potevo vedere anche le tombe di Michael Faraday, Ernest Rutherford, James Clerk-Maxwell, e Charles Darwin, cinque di quei dieci uomini che in un mio articolo del 1963 avevo elencato come i più grandi scienziati di tutti i tempi. Mi emozionai come di fronte al doppio arcobaleno.

Fui quasi costretto a pensare al collegamento tra l'arcobaleno e Newton, ed in quel momento decisi di scrivere un articolo in proposito, non appena me ne fosse capitata l'occasione. Ed ecco l'occasione.

Cominciamo col parlare della luce. Nei tempi antichi tutti coloro che hanno speculato in proposito pensavano alla luce come ad una proprietà preminente dei corpi celesti, ed in particolare del Sole. Questa luce celeste non doveva essere confusa con le pallide imitazioni che se ne facevano sulla Terra, come la luce di un fuoco o quella di una candela. La luce di natura terrestre era imperfetta. Tremolava e moriva, o poteva venire attizzata e riaccesa. La luce del Sole era eterna e costante.

Da *Il Paradiso Perduto* di Milton si ha l'impressione che il Sole sia semplicemente un contenitore in cui Dio ha messo la luce. La luce contenuta nel Sole non diminuisce mai, ed alla luce di quella luce (se mi passate il bisticcio) noi possiamo vedere. Da questo punto di vista non c'è da meravigliarsi che Dio, il primo giorno, abbia creato la luce ed il Sole. La Luna e le stelle vennero create il quarto. La luce è la cosa in sé, i corpi celesti sono unicamente contenitori.

Dato che la luce del Sole nasceva dal cielo era naturale che fosse divinamente pura, e questa purezza veniva confermata dal fatto che era perfettamente bianca. La luce terrestre invece, imperfetta com'era, poteva avere dei colori. Le fiamme dei fuochi

terrestri erano chiaramente giallastre, e talvolta davano sul rosso. Aggiungendo certe sostanze chimiche potevano diventare di qualsiasi colore.

Il colore, infatti, sembrava essere un attributo unicamente dei materiali terrestri, e quando diventava componente della luce sembrava invariabilmente un segno di impurità. La luce riflessa da un oggetto opaco e colorato, o trasmessa attraverso un oggetto trasparente colorato, prendeva il colore e l'imperfezione della materia, proprio come l'acqua limpida che scorrendo sopra un terreno fangoso diventa opaca.

C'era una sola manifestazione di colore che, agli occhi degli antichi, non coinvolgeva una materia conosciuta: l'arcobaleno. Appariva nel cielo come un arco luminoso di sei colori diversi, rosso, arancio, giallo, verde, blu e viola, in quest'ordine, con il rosso all'esterno della curva dell'arco ed il viola all'interno. (Spesso nell'elenco dei colori se ne aggiunge un settimo: l'indaco. Ai miei occhi, l'indaco è soltanto un viola bluastro e non merita l'onore di essere considerato un colore a sé. La presenza di una componente indaco nella luce emessa da certi minerali scaldati fino all'incandescenza rivela comunque la presenza di un nuovo elemento che di conseguenza è stato chiamato "indium".)

L'arcobaleno, alto nel cielo, incorporeo, evanescente, avulso da qualsiasi legame evidente con la materia, sembrava un esempio di luce divina, come quella del Sole. Però era luce colorata. Non c'era alcuna spiegazione per questi colori, bisognava quindi supporre che fosse un'altra creazione di Dio, o degli dèi, fatta a colori per qualche scopo preciso.

Nella Bibbia, per esempio, l'arcobaleno viene creato dopo il diluvio. Dio ne spiega lo scopo a Noè. «Ed avverrà che quando avrò coperta la terra di nubi, allora apparirà l'arco sulle nubi, ed io mi ricorderò del patto che c'è tra me e voi e ogni essere vivente e ogni carne; né più verranno le acque del diluvio a sterminare ogni carne». (Genesi 9: 14-15).

Forse, per quanto la Bibbia non lo dica, l'arcobaleno è colorato per essere più facilmente visibile contro il cielo, e servire meglio a rassicurare gli uomini tremanti per la collera di un dio.

Nei confronti dell'arcobaleno, i Greci avevano un atteggiamento meno drammatico. Dato che si levava alto nel cielo, e che alle due estremità sembrava avvicinarsi alla terra, l'arcobaleno doveva essere una linea di collegamento tra Cielo e Terra. Era il ponte degli dèi (colorato forse perché fatto di materia, anche se di origine divina) che serviva loro per discendere sulla Terra e risalire al Cielo.

Nell'*Iliade* di Omero la dea Iride, messaggera degli dèi, scende di tanto in tanto dall'Olimpo per svolgere qualche incarico. Il nome greco di Iride è "Iris", ed *iris* significa "arcobaleno" (la parte dell'occhio immediatamente intorno alla pupilla, e che ha diversi colori, viene chiamata anch'essa iride). Il genitivo latino di *iris*, poi, è *iridis*, e quando su una materia scintillante si vedono colori simili a quelli dell'arcobaleno, come su una bolla di sapone per esempio, si dice che è "iridescente". E siccome i composti di un certo nuovo elemento mostravano una sorprendente varietà di colori, questo elemento venne chiamato "iridium".

Nella mitologia nordica l'arcobaleno ha il nome di "Bifrost", ed era il ponte che serviva agli dèi per scendere sulla Terra. Prima dell'ultima battaglia, quella di Ragnarok, il crollo del ponte degli dèi sotto il peso della cavalcata degli eroi che

calano dal Valhalla, è uno dei segni dell'imminente distruzione dell'universo.

Ma passiamo un po' alle spiegazioni razionali. Nell'antichità il filosofo greco Aristotele, verso il 350 a.C., notò un effetto di arcobaleno in uno spruzzo d'acqua: gli stessi colori, disposti nella stessa maniera, ed altrettanto incorporei. Forse la stesso arcobaleno, che appariva dopo la pioggia, era un identico effetto dovuto a gocce d'acqua sospese nell'aria.

Ma l'acqua non era l'unica materia trasparente associata all'arcobaleno. Verso il 10 d.C., il filosofo romano Seneca scrisse qualcosa a proposito degli effetti di arcobaleno che apparivano sullo spigolo di un vetro rotto. Che cosa, associato a luce e sostanze trasparenti provoca l'arcobaleno? È evidente che la luce, passando attraverso queste sostanze in modo normale, non produce colori. Esiste, comunque, una certa peculiarità nel comportamento della luce quando essa passa da una sostanza trasparente ad un'altra. Dall'aria all'acqua, per esempio. Questo poteva essere un indizio.

Questo particolare comportamento entrò nella storia della scienza. Quando Aristotele prese in considerazione quello che innumerevoli persone dovevano avere notato casualmente: un bastone immerso in un secchio d'acqua sembrava piegarsi nettamente all'altezza della superficie dell'acqua, come se in quel punto si fosse spezzato ad angolo. Aristotele attribuì questo effetto al "piegamento" della luce nel passare dall'aria all'acqua, o dall'acqua all'aria. Il piegamento della luce nel passaggio da un tramite ad un altro viene detto "rifrazione".

Può essere che il fatto alquanto insolito della formazione di colori prodotta dall'acqua o da un vetro coinvolga il fatto altrettanto insolito del cambiamento di direzione di un raggio di luce?

Il primo a pensarci seriamente fu un monaco polacco, Erazm Ciolek, che ne parlò in un suo libro di ottica scritto nel 1269 sotto il nome parzialmente latinizzato di Erasmus Vitellio.

Limitarsi a dire che la rifrazione è la causa dell'arcobaleno è relativamente facile. Stabilire con esattezza come la rifrazione possa risultare in un arco perfetto che copre una posizione precisa nel cielo è alquanto più difficile. Infatti ci vollero tre secoli e mezzo dopo il primo accenno alla rifrazione perché qualcuno riuscisse ad elaborare questa teoria in termini matematici.

Nel 1611 Marco Antonio de Dominis (1560-1624), arcivescovo di Spalato (negli ultimi anni della sua vita de Dominis venne imprigionato dall'Inquisizione per essere passato alla chiesa anglicana ed avere contestato la supremazia del Papa), fu il primo a tentare, ma i suoi calcoli furono alquanto imprecisi. Fin dal tempo dei Greci, si aveva un'idea estremamente vaga di come esattamente la luce veniva rifratta, e sfortunatamente fu così anche per l'arcivescovo.

Soltanto nel 1621 il concetto di rifrazione venne finalmente capito. In quell'anno, un matematico olandese, Wilebrord Snell (1580-1626), studiò l'angolo che un raggio di luce formava con la perpendicolare alla superficie dell'acqua in cui penetrava, e l'angolo diverso che formava, sempre con la perpendicolare, una volta dentro l'acqua. Per secoli si era pensato che se un angolo cambiava, l'altro angolo cambiava in proporzione. Snell dimostrò che erano i seni degli angoli ad avere sempre la stessa proporzione. Questa proporzione costante è chiamata "indice di rifrazione".

(Nei miei articoli cerco sempre di spiegare tutti i concetti di cui mi servo per arriva-

re al punto. Ma i seni e le funzioni trigonometriche in genere meriterebbero un articolo a sé, che forse un giorno scriverò. Per il momento, anche se non sapete che cosa sono i seni, trigonometricamente parlando, non ha importanza. In questo articolo non verranno più nominati.)

Una volta impadronitisi del concetto di indice di rifrazione, gli scienziati riuscirono a tracciare la via percorsa dalla luce attraverso le gocce sferiche dell'acqua con esattezza considerevole, prendendo in esame sia la riflessione sia la rifrazione.

Il merito va al filosofo francese René Descartes (1596-1650). Nel 1637, Descartes si servì della legge Snell per calcolare l'esatta posizione e la curvatura dell'arcobaleno. Tuttavia non diede il credito dovuto a Snell per la sua legge, e cercò di dare l'impressione, senza però dirlo mai esplicitamente, che i calcoli fossero opera sua.

Tuttavia la legge Snell, in sé, non spiegava, i colori dell'arcobaleno.

Per spiegare il fenomeno esistevano soltanto due alternative. Primo: il colore scaturiva, in qualche modo, dall'acqua incolore (o dal vetro) quando venivano attraversati dalla luce. Secondo: la luce scaturiva, in qualche modo, dalla luce incolore quando questa passava attraverso l'acqua (o il vetro).

Entrambe le ipotesi però sembravano alquanto improbabili, perché in tutti e due i casi il colore veniva fatto derivare da una assenza di colore. Comunque c'era la tendenza a prendere in maggior considerazione la prima alternativa, dato che era meglio impicciarsi con l'acqua e col vetro che non con la divina luce del Sole.

Il Sole e la sua luce erano stati indicati talmente tante volte come simbolo della deità (non solo nel periodo del cristianesimo, ma anche in tempi precedenti, fino a risalire all'Egitto del Faraone Ikhnaton, nel 1360 a.C., per non parlare delle altre curiose congetture che certo erano state fatte nei tempi preistorici), che si era arrivati a convincersi che imputare una imperfezione al Sole e alla sua luce equivaleva a negare la perfezione del dio.

Pensate, per esempio, quello che è successo a Galileo. Furono molte le ragioni che lo misero nei guai con l'Inquisizione, prima di tutte l'incapacità di nascondere il suo disprezzo per quelli meno intelligenti di lui, anche quando si trattava di uomini in posizione da potergli nuocere. Ma determinanti furono le armi che Galileo fornì loro per attaccarlo, e la principale fu forse la sua scoperta delle macchie scure del Sole.

Galileo aveva notato le macchie solari verso la fine del 1610, ma ne diede l'annuncio ufficiale nel 1612, e presentò una copia del suo libro sull'argomento al cardinale Maffeo Barberini che, pur essendo suo amico, da quel momento (per diversi motivi) cominciò a trattarlo con sempre maggiore freddezza. Il cardinale diventò Papa con il nome di Urbano VIII, e vent'anni più tardi, quando il contrasto tra Galileo e l'Inquisizione raggiunse il culmine, fu acerrimo nemico dello scienziato.

La scoperta delle macchie solari (scoperta in realtà non molto importante) offese coloro che vedevano nel Sole una specie di divinità, ed alcuni uomini di chiesa cominciarono a predicare contro di lui.

Uno di questi fu un frate domenicano che fece uso, in modo molto efficace, di un passo della Bibbia sorprendentemente adatto. All'inizio degli *Atti degli Apostoli*, il resuscitato Gesù ascende finalmente in cielo ed i suoi apostoli di Galilea rimangono a guardare verso il cielo nel punto in cui il Maestro è scomparso, fino a quando due

angeli non li richiamano ai loro doveri terrestri con un rimprovero che inizia così: «Uomini di Galilea, perché state guardando in cielo?» In latino, le prime parole della frase sono: "Viri Galilaei", e il cognome di Galileo è Galilei. Nel 1613, quando il frate domenicano urlò dal pulpito quella frase, e la usò come denuncia biblica contro il tentativo di Galileo di penetrare il mistero dei cieli, molti si saranno certo allontanati dall'astronomo rimproverato dagli angeli. Nel 1615 il caso di Galileo arrivò nelle mani dell'Inquisizione, e cominciò il lungo calvario dello scienziato.

Eppure le macchie solari non compromettevano niente. Non era necessario accettare la loro presenza come un'offesa alla perfezione del ciclo. Se il Sole era soltanto un contenitore della luce, poteva anche essere imperfetto e macchiato. La cosa contenuta, invece, la luce celeste in sé, la prima opera compiuta da Dio nel primo giorno della creazione, era tutta un'altra faccenda. La sua perfezione chi avrebbe avuto il coraggio di negarla?

L'eresia nacque nel 1666 in Inghilterra, un posto ed un periodo molto più sicuri per una cosa del genere di quanto non lo fosse l'Italia del 1612. E l'uomo che portò avanti l'eresia fu un religiosissimo ventiquattrenne di nome Isaac Newton.

Il giovane Newton si interessò all'effetto di arcobaleno in relazione ad un problema molto più pratico che interessava lui e che per il momento non interessa invece noi.

Probabilmente Newton ha cominciato col dirsi che se l'arcobaleno è formato dalla rifrazione della luce provocata dalle gocce d'acqua, allora doveva essere possibile provocarlo anche in laboratorio, a patto che la rifrazione venisse calcolata con esattezza. La rifrazione ha luogo quando la luce passa dall'aria attraverso un vetro con un angolo obliquo, ma se la superficie del vetro ha due piani paralleli (come per esempio un normale vetro di finestre) allora, nell'uscire dall'altra parte la stessa rifrazione si rovescia. Così le due rifrazioni si annullano l'un l'altra ed il raggio di luce passa non rifratto.

Bisogna quindi usare un oggetto di vetro con le superfici non parallele e che rifranga nella stessa direzione sia la luce che penetra sia quella che ne esce, in modo che i due effetti si sommino, anziché annullarsi.

A questo scopo Newton usò un prisma di vetro triangolare, sapendo, grazie alla legge di Snell, che avrebbe rifratto la luce nella stessa direzione, in entrata e in uscita, proprio come voleva lui. Poi fece buio completo in una stanza coprendo le finestre con ante di legno e praticò un piccolo buco in una di queste ante in modo che un singolo raggio di luce di forma circolare andasse a cadere sulla opposta parete bianca. E sulla parete comparve un tondo di intensa luce incolore.

Newton mise allora il prisma sul cammino della luce, e il raggio venne bruscamente rifratto. Il raggio risultò deviato ad angolo, ed il circolo di luce bianca si spostò andando a colpire la parete in tutto un altro punto.

Inoltre, non era più un tondo ma un ovale molto allungato: cinque volte più lungo che largo. E infine, erano apparsi i colori, gli stessi colori dell'arcobaleno e nello stesso ordine.

Non poteva darsi che questo arcobaleno fosse soltanto una fortunata combinazione derivante dalla grandezza del foro o dalla posizione del prisma? Provò con fori di grandezze diverse. L'arcobaleno artificiale poteva risultare più luminoso o più opaco, ma i colori restavano, e sempre nello stesso ordine. Restavano anche se faceva passare

la luce dalla parte più spessa o più sottile del prisma. Provò poi a collocare il prisma fuori dalla finestra, in modo che la luce del sole lo attraversasse prima di entrare dal foro praticato nell'anta, e l'arcobaleno apparve anche in quel caso.

Fin qui, questi esperimenti, anche se non erano mai stati fatti con una cura così meticolosa, non avevano rivelato niente di veramente nuovo. In fondo, da secoli, l'effetto d'arcobaleno era stato notato sugli angoli obliqui di vetri rotti od inclinati, ed era essenzialmente questo che Newton stava osservando.

Prima si era sempre creduto che l'effetto fosse prodotto dal vetro, ma in quel momento Newton si chiese se fosse proprio così. Il fatto che cambiando la posizione del vetro, o lo spessore del vetro attraverso cui passava il raggio di luce, l'arcobaleno non cambiasse in modo sostanziale, gli fece venire in mente che forse il vetro non c'entrava per niente, e che tutto doveva dipendere dalla luce.

Newton pensò che se sistemava un prisma con la punta in giù e lo faceva attraversare da un raggio di luce, e poi faceva passare questo raggio attraverso un secondo prisma orientato in modo diverso, con la punta in su, i risultati potevano essere due.

1) Se era il vetro a produrre i colori nel momento in cui la luce lo attraversava, aggiungendo un secondo prisma si sarebbero ottenuti altri colori, e l'ovale di colore sarebbe stato ancora più allungato e con tonalità più intense;

2) se era la rifrazione a produrre i colori ed il vetro non c'entrava per niente, allora la seconda rifrazione, uscendo in direzione opposta, avrebbe dovuto annullare la prima, e l'ovale sarebbe tornato tondo e senza più colori.

Newton tentò l'esperimento, e si rese conto che l'alternativa esatta era la seconda: la luce, passando attraverso due prismi identici ma orientati in modo opposto, colpiva la parete nel punto in cui l'avrebbe colpita senza attraversare alcun prisma e formava un tondo brillante di luce bianca. (Se Newton avesse messo un pezzo di cartone bianco tra i due prismi avrebbe visto in quel punto che l'arco di luce colorata esisteva ancora.)

Lo scienziato inglese decise quindi che il vetro non aveva niente a che fare con i colori e serviva unicamente come veicolo di rifrazione. I colori venivano invece prodotti dalla luce del Sole.

Per la prima volta nella storia dell'uomo, Newton aveva chiaramente dimostrato l'esistenza del colore indipendente dalla materia. I colori provocati con il suo prisma non erano ottenuti con sostanze coloranti. Non erano nemmeno aria colorata. Erano luce colorata, incorporea come la luce stessa del Sole. Paragonati ai materiali colorati che si conoscevano fino a quel momento, i colori prodotti da Newton erano una specie di fantasmi di colore. Non c'è da sorprendersi, quindi, che il termine da lui scelto per definire la banda dei colori sia stato appunto il sostantivo latino che significava fantasma, e cioè *spectrum*.

Newton continuò gli esperimenti e fece cadere la sua luce rifratta su un asse in cui era stato praticato un foro in modo da permettere il passaggio di un solo colore dello spettro. Fece poi passare questo singolo colore di luce solare attraverso un secondo prisma e vide che, anche se il raggio s'ingrandiva leggermente, non comparivano nuovi colori. Misurò anche il grado a cui ogni singolo colore veniva rifratto dal secondo prisma, e scoprì che il rosso veniva sempre rifratto meno dell'arancio che veniva rifratto meno del giallo e così via.

Ne concluse che la luce solare (e tutta la luce bianca) non era affatto pura ma risultava da una mescolanza di colori, ciascuno dei quali era più puro della stessa luce bianca. Nessun colore da solo poteva apparire bianco, ma tutti insieme, dovutamente mescolati, potevano diventarlo.

Newton indicò inoltre che ogni singolo colore aveva un indice diverso di rifrazione per il vetro e per l'acqua. Passando attraverso un prisma di vetro, o attraverso gocce d'acqua, le differenze nell'indice di rifrazione causano una diversa curvatura dei vari componenti della luce bianca, e li fanno uscire dal vetro, o dall'acqua, separati.

Questo fu il colpo finale al concetto antico e medioevale sulla perfezione dei cieli. L'arcobaleno, segno della misericordia di Dio, ponte degli dèi, venne ridotto ad un gigantesco spettro nell'aria, prodotto da innumerevoli piccoli prismi (sotto forma di gocce d'acqua) che tutti insieme producevano il loro effetto.

Per coloro che, della mente umana, valutano le capacità organizzative e speculative che permettono lo studio delle leggi naturali per poter poi, attraverso queste leggi, afferrare il meccanismo di quello che, fino a quel momento è sembrato misterioso, l'arcobaleno, grazie alla scoperta di Newton, ha guadagnato in bellezza e significato, perché finalmente poteva essere capito ed apprezzato appieno. Per quelli di fantasia molto più limitata, che preferiscono vedere senza capire, per gli sciocchi che credono alle favole degli dèi in cammino su ponti celesti, la novità di una luce le cui manifestazioni potevano essere scritte con un'elegante espressione matematica è sicuramente stata una perdita.

L'annuncio dato da Newton delle sue scoperte non sconvolse subito il mondo. Erano talmente rivoluzionarie, talmente lontane da quello che per secoli e secoli era stato accettato universalmente, che molti esitarono ad accettarle.

Ci fu, per esempio, l'accesa opposizione di Robert Hooke (1635-1703), di sette anni più anziano di Newton, che occupava una posizione importante nella Royal Society, in quei giorni arbitra delle scienze. Hooke era stato sempre malaticcio. Il vaiolo gli aveva segnato la pelle, ma aveva anche dovuto guadagnarsi gli studi ad Oxford servendo ai tavoli della mensa, e doversi assumere le colpe degli altri, sopportare le umiliazioni per i soprusi dei giovani della piccola nobiltà, che erano infinitamente meno intelligenti di lui, gli avevano lasciato cicatrici assai più profonde di quelle del vaiolo.

Per questo il mondo era suo nemico. Lui che era uno degli scienziati più brillanti della sua epoca, se non avesse perso tanto tempo in una disputa astiosa, avrebbe potuto benissimo occupare un ottimo secondo posto, subito dopo Newton.

In particolare prese di mira proprio Newton, per gelosia dell'unico uomo superiore a lui in intelligenza. Hooke usò la sua posizione nella Royal Society per ostacolare Newton in ogni occasione. L'accusò di avergli rubato le idee, e con questa accusa impedì quasi a Newton di pubblicare la sua opera più importante, *Principia Mathematica*, in cui venivano esposte le leggi del movimento e della gravitazione universale. Alla fine il libro venne pubblicato (1687), non sotto gli auspici della Royal Society, però. Fu pubblicato a spese di un amico di Newton, Edmond Halley.

Newton, che moralmente era un codardo, incapace di affrontare apertamente un'opposizione (anche se a questo scopo usava gli amici), e che si lasciava andare all'autocommiserazione, venne angariato e tormentato dall'astioso ed implacabile Hooke. Spesso, Newton giurò di abbandonare le ricerche scientifiche, ed alla fine arrivò a un

vero collasso mentale. Soltanto dopo la morte di Hooke, Newton si decise a pubblicare il suo *Opticks*, in cui esponeva tutte le sue scoperte sull'ottica. Questo libro, apparso nel 1704, era scritto in inglese e non in latino come *Principia Mathematica*. Alcuni dicono che fu fatto di proposito per limitarne la lettura fuori dall'Inghilterra, e di conseguenza evitare tutte le controversie che sarebbero sorte, dato che Newton, per diversi motivi, non era molto popolare sul continente.

L'opposizione al concetto che la luce bianca fosse una mescolanza di colori non cessò nemmeno dopo la pubblicazione di *Opticks*. Nel 1810, in Germania, venne pubblicato un libro intitolato *Zur Farbenlehre* ("Teoria dei colori") in cui si affermava che la luce bianca era pura e senza mescolanze. Ne era autore il più grande di tutti i poeti tedeschi, Johann Wolfgang von Goethe (1749-1832), il quale aveva svolto un rispettabile lavoro scientifico.

Comunque Goethe si sbagliava, ed il suo libro venne presto dimenticato, come meritava. Oggi lo si ricorda solo come l'ultimo gemito d'agonia contro la rivoluzione ottica di Newton.

Ma c'è ancora una cosa da dire. Gli esperimenti ottici di Newton, come ho accennato prima, non furono fatti al solo scopo di spiegare l'arcobaleno. Newton era molto più interessato alla ricerca di un modo per correggere il difetto base dei telescopi che, fin dai tempi di Galileo, mezzo secolo prima, venivano usati per studiare i cieli.

Fino a quel momento tutti i telescopi usavano lenti che rifrangevano la luce e che davano immagini orlate di colore. Gli esperimenti di Newton sembravano provare che il colore veniva inevitabilmente prodotto dal processo di rifrazione che formava lo spettro, e che nessun "telescopio a rifrazione" avrebbe potuto eliminare gli orli colorati.

Newton continuò gli studi fino ad escogitare un telescopio che faceva uso di specchi e riflessioni. Così è nato il "telescopio a riflessione" che oggi domina il campo dell'astronomia ottica.

Tuttavia, Newton sbagliava credendo che i telescopi a rifrazione non avrebbero potuto mai evitare gli orli colorati. Nei suoi meravigliosi esperimenti di ottica, Newton aveva trascurato un piccolo particolare. Ma questa è un'altra storia.

Vittoria silenziosa

Silent Victory, 1975
Traduzione di Lella Cucchi
Urania n. 704 (29 agosto 1976)

Non molto tempo fa ho presenziato ad un raffinato banchetto durante il quale il famoso avvocato Louis Nizer pronunciò una delle due allocuzioni principali. Il discorso presentò una visione intelligente ed ottimistica del futuro dell'umanità, enunciata con linguaggio eloquente e senza commenti. In realtà, si trattò di una superba orazione fantascientifica e, dal momento che anch'io mi trovavo a capotavola con lui, non potei fare a meno di sentirmi umiliato: ero stato battuto nella mia materia, e per di più da un profano.

Quindici minuti dopo la fine del suo discorso, venne il mio turno, ma io ero il primo di altri cinquanta (proprio cinquanta) e potevo parlare solo per un paio di minuti. Probabilmente si aspettavano che io spendessi quei due minuti ad esprimere la mia umile riconoscenza per l'onore che era stato fatto a me (e agli altri quarantanove). Ma la mia predisposizione all'umiltà è minima, ed inoltre c'era qualcos'altro che volevo fare.

Parlando rapidamente in modo da mantenermi entro il tempo limite, dissi:

— Il signor Nizer vi ha fatto un quadro eccellente di un futuro meraviglioso e, dal momento che sono uno scrittore di fantascienza, non posso fare a meno di invidiare la chiarezza e l'ampiezza della sua visione. Tuttavia, non dobbiamo dimenticare che i vari Governi della Terra sono, in questa nostra epoca così complessa, i diretti mediatori dei cambiamenti, e sono loro che in massima parte ne determinano la natura, la quantità, la direzione e l'efficacia. Non dobbiamo neppure dimenticare che la maggior parte dei Governi sono in mano agli avvocati. Il nostro lo è sicuramente. L'interrogativo dunque è questo: cosa ci possiamo aspettare dagli avvocati? A questo proposito ricordo la storiella del medico, dell'architetto e dell'avvocato che una volta, bevendo amichevolmente, cominciarono a discutere sull'antichità delle loro rispettive professioni. Il medico disse: «Il primo giorno dell'esistenza di Adamo, Dio nostro Signore lo fece addormentare profondamente, gli tolse una costola, e da questa creò una donna. Dal momento che si trattò senza dubbio di un'operazione chirurgica, io dico che la medicina è la professione più antica del mondo». «Un momento» ribatté l'architetto, «devo ricordarvi che il primo giorno della creazione, almeno sei giorni prima della rimozione della costola di Adamo, Dio nostro Signore creò dal caos il cielo e la terra. Dal momento che questo deve essere considerato un atto relativo all'edilizia, io sostengo che è l'architettura a detenere il primato». «Certo» ridacchiò l'avvocato, «ma chi credete che abbia creato il caos?».

Il mio cuore si rallegrò quando le risate che accolsero la mia storiella sembrarono promettere (come poi fu) di essere le più fragorose e le più prolungate dell'intera serata. Con mio enorme sollievo, anche il signor Nizer stava ridendo. La storiella ha un certo nesso con quello che sto per dire.

Nella vita quotidiana incontriamo l'ozono (formato da tre atomi di ossigeno per

molecola) che si forma dalla comune molecola di ossigeno a due atomi, così comune nell'atmosfera. Ma cosa credete che abbia creato il comune ossigeno?

No, non un avvocato...

Un'atmosfera che contiene tanto ossigeno libero come la nostra è un'atmosfera instabile da un punto di vista termodinamico. Questo significa che, lasciato a se stesso, l'ossigeno libero sparirebbe gradualmente. Innanzi tutto, reagirebbe lentamente con l'ozono ed il vapore acqueo dell'aria producendo acido nitrico. Naturalmente, questa reazione si verificherebbe molto lentamente, ma la Terra esiste ormai da oltre quattro miliardi di anni. Attualmente tutto l'ossigeno si sarebbe ormai mescolato all'ozono ed al vapore acqueo, anche e soprattutto perché l'energia del fulmine affretta la reazione e produce una quantità notevole di acido nitrico che contribuisce a rinnovare la riserva di fertilizzanti azotati per la Terra.

Se tutto l'ossigeno si combinasse con l'azoto, ed il risultante acido nitrico dovesse finire nell'oceano (come in realtà succederebbe), allora l'oceano sarebbe sufficientemente acido da rendere la vita, come noi la conosciamo, impossibile.

Perché, dunque, l'oceano non è diventato acido molto tempo fa? Oppure, perché non lo sta lentamente diventando oggi? Le piccole quantità di acido nitrico che formano i nitrati del terreno e dell'oceano sono assorbiti dagli organismi viventi sulla terra e nel mare, ed alla fine si ripresentano nuovamente sotto forma di azoto, ossigeno e acqua.

L'azoto e l'ossigeno rotolano, per così dire, in discesa, nella formazione dell'acido nitrico, mentre gli organismi viventi rispediscono in su l'acido nitrico non appena si forma. Gli organismi viventi fanno questo a spese dell'energia che acquistano dagli elementi chimici presenti nei loro tessuti, elementi che si sono formati in origine grazie all'energia solare.

È quindi l'energia solare, per mezzo degli organismi viventi, che mantiene l'ossigeno della nostra atmosfera al suo stato libero e rende possibile la vita animale, compresa la nostra.

Sembra un circolo chiuso. La vita, dunque, è possibile solo grazie a qualcosa che essa stessa produce? In questo caso, come ha avuto inizio la vita?

Eppure, il circolo non è completamente chiuso. È la vita animale che non può esistere senza ossigeno libero. Così come qualsiasi forma di vita animale non può conservare una atmosfera di ossigeno. È la vita vegetale a conservare l'atmosfera d'ossigeno e a poter sopravvivere, all'occorrenza, senza ossigeno libero. La vita animale è parassitaria della vita vegetale, e non può esistere (nella forma a noi nota sulla Terra) senza la vita vegetale.

Ma ci fu un tempo in cui sulla Terra non esisteva neppure la vita vegetale e nessun altro tipo di vita. Quindi, allora non esisteva neppure l'ossigeno libero nell'atmosfera. Non avrebbe potuto. Significa forse che l'ossigeno esisteva in combinazione con l'azoto e che, allora, la Terra aveva un oceano di acido nitrico diluito? La risposta è no, perché in questo caso è improbabile che potesse svilupparsi la vita, come noi la conosciamo. Se l'ossigeno e l'azoto non fossero combinati tra di loro, dovrebbero essere, ognuno, combinati con qualcos'altro. L'unico possibile "qualcos'altro" è l'idrogeno, che esiste in quantità enormi nell'universo, che costituisce l'elemento essenziale dei due corpi più importanti del sistema solare (il Sole e Giove), e di cui la

Terra deve essere stata molto più ricca nei tempi primordiali di quanto lo sia ora.

L'ossigeno combinato con l'idrogeno forma l'acqua (H_2O), e l'azoto combinato con l'idrogeno forma l'ammoniaca (NH_3). Inoltre, l'elemento comune, il carbonio, può combinarsi con l'idrogeno per formare il metano (CH_4). L'atmosfera primordiale (A-I) poteva essere formata da ammoniaca, metano, vapore acqueo ed una certa quantità dello stesso idrogeno. Un'atmosfera così ricca di idrogeno viene chiamata "atmosfera riduttiva" per motivi sepolti nella storia della chimica e che non ci interessano direttamente. L'attuale atmosfera ricca di ossigeno è invece "atmosfera ossidante".

Perciò, quando si pensa all'origine della vita, bisogna immaginare un processo che si svolga in un'atmosfera riduttiva. Se un campione di atmosfera riduttiva viene lasciato a se stesso, non succede niente. I vari componenti – acqua, ammoniaca, metano ed idrogeno – costituiscono una mistura termodinamicamente stabile, le molecole, cioè, non si alterano, a meno che non sia presente una energia che dia loro una spinta. Sulla Terra dei primordi l'energia c'era. Esisteva il calore dell'azione vulcanica, il calore ed il potere ionizzante del fulmine, l'intensa radiazione degli atomi radioattivi e la radiazione costante del Sole. Con ogni probabilità tutte queste fonti di energia erano più intense sulla Terra primordiale di quanto lo siano oggi.

Nel 1952, il chimico americano Stanley Lloyd Miller iniziò con un piccolo campione dell'atmosfera primordiale, usò come fonte di energia delle scintille elettriche e, nel giro di una settimana, scoprì che le semplici molecole si erano combinate a formare altre molecole più complete, tra cui una coppia degli aminoacidi che costituiscono i "blocchi edilizi" da cui si formano le proteine, molecole essenziali della vita. Ulteriori esperimenti hanno provato che dall'atmosfera riduttiva più oceano più energia devono essersi verificate serie costanti di cambiamenti verso la vita.

Possiamo dire a quale particolare fonte di energia esistente sulla Terra primordiale è maggiormente attribuibile la formazione della vita? Tenete conto che di tutte le energie, la radiazione solare è la più costante e penetrante, e sembra logico attribuirle la maggiore responsabilità per la nostra presenza sulla Terra. In particolare, dobbiamo ringraziare la componente più energetica della luce solare: le radiazioni ultraviolette. Infatti gli esperimenti hanno dimostrato chiaramente che la luce ultravioletta è sufficientemente energetica per reagire con gli elementi chimici dell'atmosfera primordiale e metterli in marcia verso la vita. (La normale luce visibile non è sufficientemente energetica.) Sembra poi ragionevole supporre che la vita sia iniziata alla superficie dell'oceano. L'oceano è formato da una massa di molecole acquee e contiene in soluzione molte altre molecole utili – tra cui, in misura rilevante nei tempi primordiali, l'ammoniaca. L'ammoniaca è enormemente solubile nell'acqua e quindi la si trova in quantità maggiore nell'acqua piuttosto che nell'atmosfera. Il metano e l'idrogeno sono poco solubili in acqua, ma in superficie si trovano a stretto contatto con essa.

La terra "secca" è in realtà umida a causa delle maree, della pioggia eccetera, così che non è impossibile che gli elementi chimici responsabili della vita si formino nel terreno, anche se, come spiegherò, non giungono molto lontano.

La luce ultravioletta ha un effetto martellante. Può unire insieme le molecole piccole e formarne di più grandi. Ma è addirittura possibile che le molecole, ingrandendo sempre più sotto l'effetto della luce ultravioletta, diventino alla fine sufficientemente grandi e complesse da possedere i princìpi iniziali della vita?

Sfortunatamente, mentre diventano più grandi le molecole tendono a diventare anche più fragili, ed è probabile che il martellamento della luce ultravioletta possa nuovamente dividerle. La sua influenza, dunque, può fare in modo che le molecole primordiali si combinino in direzione della vita, ma non permette che si inoltrino molto in questa direzione.

Sulla Terra non c'è modo di sfuggire ai raggi ultravioletti, perciò, anche se da semplici molecole primordiali se ne formano di complesse, queste non possono mai diventare sufficientemente complesse anche per la forma di vita più primitiva. Ne consegue che la vita non può avere inizio sulla terra intesa come terraferma.

Nell'oceano, invece, è diverso. I composti che si formano alla superficie, per l'azione dei raggi ultravioletti possono, attraverso il movimento casuale, scendere ad un livello inferiore dove la luce ultravioletta non può penetrare, e là possono sopravvivere. Nell'oceano esistono livelli in cui la luce ultravioletta penetra in misura tale da fornire l'energia per la combinazione ma non per la scissione. Ora nell'oceano primordiale è probabile che si potessero trovare molecole gradualmente più complesse a mano a mano che si scendeva dalla superficie verso il fondo.

Tali forme di vita possono essersi formate nei primi miliardi di anni dell'esistenza della Terra, poi per una eternità la situazione potrebbe essere rimasta più o meno immutata.

Nello strato superiore dell'oceano esistevano molecole moderatamente complesse, formate dall'energia dei raggi ultravioletti, che servivano da alimento alle molecole più complesse degli strati sottostanti. Alcune delle molecole-alimento scendevano negli strati più bassi e venivano consumate. Poi, fattore più importante, nei giorni nuvolosi, e soprattutto di notte, le molecole vitali salivano in superficie e sfogavano la loro voracità fino allo spuntare del sole, momento in cui affondavano nuovamente.

Non sappiamo a quale livello di complessità si siano sviluppate le forme di vita in quel periodo. Le uniche tracce di vita che è possibile trovare risalendo a un miliardo o più di anni fa sembrano essersi formate da creature unicellulari e niente più. Non c'è da sorprendersi. L'energia necessaria a convertire ammoniaca, metano ed acqua in alimenti chimici è minima, e d'altro canto non è indispensabile sprigionare molta energia per separarle nuovamente. La vita primordiale non aveva molta energia a sua disposizione, quindi ha potuto vivere ed evolversi solo molto lentamente.

Tutto avrebbe potuto continuare così fino ad oggi se l'atmosfera A-I fosse rimasta immutata: ma non è stato così.

Innanzi tutto, ha perso il suo idrogeno. Qualunque sia stata la quantità di idrogeno presente nell'atmosfera della Terra primordiale, essa è andata rapidamente perduta nello spazio esterno, dato che la gravità terrestre non era in grado di trattenerne le minuscole molecole.

Inoltre, la luce ultravioletta del Sole, all'apice della sua forza nell'atmosfera superiore, può frantumare anche le molecole più piccole. La molecola acquea, in modo particolare, può essere scissa in idrogeno ed ossigeno dall'azione delle radiazioni ultraviolette. Questo processo si chiama "fotolisi".

La fotolisi dell'acqua avviene, per lo più, solo nell'alta atmosfera. Ad una tale altezza si trovano poche molecole acquee, ed il processo è lento ma, ancora una volta, la Terra è longeva e ha tempo.

L'idrogeno prodotto per fotolisi va perso nello spazio, mentre gli atomi di ossigeno, più pesanti, rimangono nell'atmosfera. In presenza di ossigeno libero, tuttavia, il metano e l'ammoniaca non sono più stabili da un punto di vista termodinamico. Gli atomi di carbonio e idrogeno costituenti le molecole di metano tendono a combinarsi con gli atomi di ossigeno e formare rispettivamente anidride carbonica (CO_2) ed acqua. Gli atomi di idrogeno delle molecole di ammoniaca si combinano con l'ossigeno formando l'acqua. Restano gli atomi di azoto, che si combinano e formano molecole di azoto a due atomi (N_2). L'azoto si potrebbe combinare anche con l'ossigeno, ma in modo così lento che gli atomi di carbonio e idrogeno-vapore acqueo (A-I) si trasformano lentamente, attraverso la fotolisi, in un'atmosfera piena di anidride carbonica-azoto-vapore acqueo (A-II).

Per spingere le molecole di A-II in su fino al livello delle molecole-alimento era necessaria più energia di quanta ce ne volesse iniziando con le molecole di A-I. Per questa ragione la percentuale di produzione delle molecole-alimento è diminuita, e con la progressiva e lenta trasformazione di A-I in A-III la superficie dell'oceano ne ha denunciato una certa carestia.

Gli organismi che si erano sviluppati in A-I e che vivevano della scissione delle molecole-alimento in ammoniaca e metano, sono certo diminuiti gradualmente a causa di questa carestia.

Una volta che A-I si è trasformata completamente in A-III verrebbe fatto di pensare che la situazione alimentare avesse toccato il fondo, per gli organismi di A-I, e invece la situazione è diventata ancora più critica a causa della fotolisi. Anche dopo che l'atmosfera si è completamente convertita in A-II, la fotolisi ha continuato ad avere luogo, le molecole d'acqua hanno continuato a scindersi, gli atomi di idrogeno a sfuggire, e gli atomi di ossigeno a vagare nell'atmosfera. Ma in quella situazione, gli atomi di ossigeno non avevano più niente con cui combinarsi, quindi potevano farlo solo tra loro (oppure, molto lentamente, con l'azoto). Questi atomi tendono a formare la molecola di ossigeno a due atomi, ma nell'alta atmosfera possono, in certe condizioni, venire spinti ancora più in alto dall'energia della luce ultravioletta, e formare così molecole di ozono a tre atomi.

Le molecole di ozono sono refrattarie a quasi tutta la gamma di raggi ultravioletti. Più ozono si forma, meno luce ultravioletta riesce a trapassarlo. Ne consegue che l'A-II non solo possedeva molecole più difficili da tramutare in alimento, ma ha cominciato anche a lasciare passare sempre meno luce ultravioletta, il che rendeva quasi impossibile un cambiamento.

Con meno raggi ultravioletti a disposizione, anche la percentuale di fotolisi (che continua ad altezze atmosferiche molto al di sotto delle regioni dove si forma l'ozono) diminuisce. Questo significa che l'atmosfera II si stabilizza, e che un ulteriore cambiamento diventa sempre meno probabile, una volta cessata virtualmente la riserva di luce ultravioletta sulla superficie dell'oceano.

Oggi l'ozono è concentrato tra altezze da 25 a 65 Km sulla superficie della Terra, ma anche lì solo una molecola su 100.000 (di un'atmosfera che è troppo sottile a tali altezze) è di ozono.

Anche se le molecole di ozono sono eccessivamente rarefatte secondo gli standard normali, sono però sufficienti a respingere la luce ultravioletta, lasciandone passare

solo una minima parte che raggiunge la superficie terrestre (sufficiente, comunque, a provocare ustioni a chi ha la pelle delicata come me; io, comunque, sono abbastanza prudente da non espormi al sole).

La vita sulla Terra avrebbe dovuto scendere a un livello molto basso, se non si fosse verificato un evento inaspettato. In modo sconosciuto, e in un'epoca che non siamo in grado di precisare, si verificò l'avvenimento evolutivo più importante dopo quello che aveva segnato l'inizio della vita stessa: lo sviluppo di una molecola simile alla clorofilla, insieme a quello di un primitivo sistema di enzimi, capace di catalizzare la combinazione dell'anidride carbonica con l'acqua e provocare la formazione di molecole-alimento. Fu l'inizio della "fotosintesi". Lo sviluppo della fotosintesi grazie ad organismi adattatisi ad A-II ha i seguenti significati:

1) fino a quel momento la luce ultravioletta era stata la forza stimolante per la produzione degli alimenti, ma la fotosintesi si serve delle lunghezze d'onda, meno energetiche, della luce visibile. Questo tipo di luce, assai più abbondante nelle radiazioni solari di quanto lo siano i raggi ultravioletti, costituisce la fonte di una riserva di alimento potenzialmente assai più vasta;

2) dal momento che la fotosintesi avviene proprio tra le molecole della forma vitale, l'alimento si forma per così dire a portata di bocca. Si creano così i presupposti perché le cellule diventino più grandi e più complesse;

3) dal momento che la luce visibile, non viene respinta dall'ozono, gli organismi fotosintetici di A-II non restano intaccati dalla lenta chiusura della cortina di ozono e possono prosperare anche quando gli organismi di A-II non riescono a sopravvivere;

4) convertendo metano, ammoniaca, ed acqua in elementi-alimento, il generale insieme di atomi rimane largamente immutato e gli sprechi sono minimi. Usando acqua e anidride carbonica come fonte di alimento, tuttavia, ci troviamo con molecole contenti più atomi di ossigeno di quanti ne servano per l'alimento. Questi atomi non consumati vengono sparsi nell'atmosfera. L'avvento della fotosintesi, quindi, ha affrettato il ritmo di riversamento dell'ossigeno libero nell'atmosfera. Infatti la fotosintesi libera ossigeno ad una velocità assai superiore a quella della fotolisi. La cortina di ozono cominciava a chiudersi ad una velocità sempre maggiore, e così le forme di vita A-II, grazie alla nuova chimica sviluppata, affrettarono enormemente la fine delle forme di vita A-I. Senza muoversi e senza aggredire, hanno ottenuto una vittoria silenziosa di portata planetaria;

5) le forme di vita fotosintetiche hanno prosperato talmente da consumare l'anidride carbonica dell'atmosfera, assorbendo carbonio e riempiendo l'aria di ossigeno. In questo modo, tramite l'azione della vita, l'A-II carica di azoto-anidride carbonica venne trasformata nell'attuale A-III, carica di azoto-ossigeno. La concentrazione dell'anidride carbonica nell'atmosfera odierna è solo dello 0,035% contro il 21% dell'ossigeno. In effetti, sarebbe utile al mondo vegetale in generale avere come parassiti forme di vita che consumino ossigeno e producano anidride carbonica. Servirebbe ad aumentare, almeno un poco, l'anidride carbonica dell'aria. Comunque, le forme vitali di A-II si sono differenziate in vegetali ed animali, mentre le forme vitali di A-I non avrebbero mai potuto andare oltre lo stadio di batteri;

6) le forme vitali di A-II hanno sviluppato sistemi di enzimi capaci di trattare le molecole di ossigeno. Evidentemente le forme vitali di A-I non si sono comportate

allo stesso modo. L'ossigeno libero era un veleno attivo distruttore di vita nei loro confronti, ed anche in questo modo le forme vitali di A-II accelerarono la loro vittoria silenziosa;

7) dal momento che l'energia richiesta per trasformare l'anidride carbonica e l'acqua in alimento è straordinariamente alta secondo gli standard di A-I, la riconversione dell'alimento in anidride carbonica ed acqua, libera una quantità di energia altrettanto alta.

Questo significa che le forme di vita di A-II avevano molta più energia a loro disposizione di quelle di A-I. Questo è vero in particolare per la vita animale di A-III, che poteva servirsi di piante in genere come alimento.

Non è possibile stabilire quando, esattamente, gli organismi di A-II cominciarono a riversare ossigeno nell'atmosfera. La fotosintesi può essersi sviluppata molto presto ma può essere rimasta senza effetto per milioni di anni, e la sua produzione di ossigeno può essere stata molto, molto lenta. Può darsi che gli organismi di A-III siano avanzati faticosamente per molto tempo all'ombra degli organismi di A-I che allora avevano più successo.

Quando la fotosintesi è diventata sufficientemente efficace, e la riserva di ossigeno dell'atmosfera sufficientemente abbondante da segnare la vittoria silenziosa di A-II?

La mia ipotesi è che questo sia successo circa 700 milioni di anni fa. Deve esserci stato un periodo di tempo in cui l'efficacia della fotosintesi è diventata talmente forte da causare un'improvvisa esplosione di energia evolutiva e far sì che forme di vita complesse cominciassero ad essere presenti in tali quantità da lasciare abbondanti tracce fossili. In quel momento, cioè circa 600 milioni di anni fa, hanno cominciato a formarsi gli organismi di A-III. Quando si completò la trasformazione di A-III? Secondo la mia ipotesi, 400 milioni di anni fa. In quel periodo, benché la vita esistesse già da oltre 3 miliardi di anni, la terraferma non era ancora stata conquistata. Solo dopo la chiusura della cortina di ozono la terraferma è diventata sede sicura per la vita, e fu 400 milioni di anni fa che la vita cominciò ad avanzare sulla Terra.

Ed ora, cosa potrebbe succedere se accadesse qualcosa a quel sottile e forse fragile strato di ozono?

I cambiamenti resi possibili dalla chiusura della cortina di ozono conoscerebbero una involuzione, la luce ultravioletta del Sole si riverserebbe sulla Terra in modo da rendere la superficie terrestre del pianeta e lo strato superiore dell'oceano ostili alla vita come lo erano oltre 400 milioni di anni fa. Inoltre, ricomincerebbe la fotolisi delle molecole d'acqua.

È il caso di lasciarci prendere dal panico? Dopo tutto, anche se si riproducesse il fenomeno di fotolisi, ci vorrebbero miliardi di anni per esaurire l'oceano. Ed oggi la vita terrestre non è quella che era 400 milioni di anni fa. Gli animali hanno pelle, scaglie, peli, piume, tutti elementi che fermano i raggi ultravioletti e ne prevengono i danni.

Non solo, ma gli animali più progrediti sanno cercare riparo all'ombra, e quello ancora più progredito, l'*Homo sapiens*, ha la capacità di usare parasoli ed ombrelloni, costruire barriere di vetro, spostarsi verso i poli, e così via. Persino l'apertura completa della cortina di ozono potrebbe non danneggiare seriamente le forme di vita progredite, provocando appena un certo disturbo all'umanità in generale. Potrebbero aumentare i casi di cancro della pelle, specialmente tra le persone di pelle chiara, se

non si prendono le debite precauzioni, e forse accelererebbe il ritmo di mutazione, particolarmente tra i vegetali, con risultati imprevedibili. Ma niente di più.

Però non tutte le forme terrestri sono progredite oltre il loro sviluppo iniziale. Esistono ancora protozoi, alghe, batteri e virus, e queste forme non dispongono di protezione contro i raggi ultravioletti, e non vivono in condizioni ambientali che offrono riparo. Se la cortina di ozono si spalancasse, i microorganismi terrestri potrebbero esaurirsi, non sappiamo con quali conseguenze per il resto della struttura ecologica.

Non sappiamo cioè che effetti avrebbe la scomparsa dei microorganismi sulla natura del terreno, sulla crescita dei raccolti, sulla vita degli animali, uomo compreso. Non lo sappiamo, ma mi sembra improbabile che possa avere un effetto positivo, anzi potrebbe rappresentare un disastro colossale.

Ma esiste qualcosa che può mettere in pericolo una cortina di ozono rimasta chiusa per almeno 400 milioni di anni?

Su questo argomento tornerò un'altra volta.

Le tre leggi della futurica

Oh, Keen-Eyed Peerer into the Future!, 1974
Traduzione di Rosella Sanità
Urania n. 732 (25 settembre 1977)

Io tengo parecchie conferenze serali e scrivo anche parecchi articoli per riviste a grande diffusione. Molto spesso, nelle une e negli altri, mi viene chiesto di trattare questo o quell'aspetto del futuro. Nel più recente passato ho parlato e scritto sul futuro di alcuni aspetti della nostra società, quali la pubblicità postale diretta, i programmi spaziali, i luna-park, i supermarket, le attrezzature disinquinantì oggi disponibili ed i torni automatici per filettare. Ma cosa fa di me un esperto del futuro? Quali sono le mie credenziali?

Io sono uno scrittore di fantascienza. Nient'altro.

Com'è diventata seria e rispettabile la fantascienza! Quanto rispettato e quasi temuto è oggi lo scrittore di fantascienza, e solo in virtù del fatto di essere uno scrittore di fantascienza! E perché? Di cosa si sono mai alimentati questi nostri scrittori per avere raggiunto una tale importanza?

In gran parte ciò è dovuto agli aspetti divinatori della fantascienza. Noi scrittori siamo stati bravissimi nelle predizioni.

Questo è un argomento che ho già trattato più di dieci anni fa. Ma da allora ci ho riflettuto sopra e sono giunto alla formulazione delle Tre Leggi della Futurica[1].

Tanto per cominciare, nego che l'accuratezza nelle predizioni sia la preoccupazione principale dello scrittore di fantascienza, ed anche che sia una preoccupazione poco importante. O che non lo sia.

Lo scrittore di fantascienza è, per prima cosa e sopra ogni cosa, uno "scrittore", e la sua preoccupazione principale e preminente, se fa onestamente il suo mestiere, è quella di scrivere una bella storia e di subordinare ogni altra cosa al raggiungimento di questo scopo. La sua seconda preoccupazione, dato che anche lui è un essere umano e ha necessità umane, è quella di scrivere un tipo di storia che si venda e che lo aiuti a guadagnarsi da vivere dignitosamente.

Se poi, nel corso della stesura di una bella storia che gli consenta di guadagnarsi da vivere dignitosamente, lo scrittore di fantascienza riesce a fare delle predizioni che in seguito sembrino avverarsi, tanto meglio. Però questo è e resta un sottoprodotto più o meno accidentale di quello che lui fa.

Eppure nella fantascienza l'accuratezza nelle predizioni si riscontra molto più spesso di quanto ci si possa aspettare che avvenga per puro caso. Ma perché non dovrebbe essere così? Lo scrittore di fantascienza, costruendo con la fantasia le sue società del futuro, le deve basare, consciamente od inconsciamente, sulla società del presente e, nel farlo, elabora automaticamente un processo logico di sviluppo. In

[1] Tutto segue tre leggi: la Dinamica, la Termodinamica, la Robotica. Perché non anche la Futurica? (*N.d.A.*)

presente e, nel farlo, elabora automaticamente un processo logico di sviluppo. In breve, che lui lo sappia o no, usa le Tre Leggi della Futurica.

Di queste, la Prima può essere così espressa: «Quello che succede continuerà a succedere». Oppure, per dirla in altro modo: «Quello che è successo nel passato continuerà a succedere nel futuro». (Se vi sembra che ricordi parecchio il vecchio detto "La storia si ripete", avete ragione. Nello scrivere la mia Trilogia della Fondazione[4] ho consciamente seguito questa Prima Legge).

Tuttavia, per spiegare in dettaglio il funzionamento della Prima Legge, voglio portarvi come esempi due miei racconti: uno, nel quale ho deliberatamente violato la Prima Legge, e l'altro, in cui l'ho osservata.

Anzitutto quello in cui l'ho violata.

Nella primavera del 1953 il nome del Monte Everest compariva spesso sui giornali. Dopo trent'anni di tentativi, anche la settima spedizione aveva fallito l'impresa di scalare la montagna.

Ma ogni spedizione aveva imparato qualcosa dalla precedente, e ad ogni nuovo tentativo venivano usati equipaggiamenti via via più perfezionati. In base alla Prima Legge si poteva quindi presumere che l'apporto di nozioni ed il perfezionamento dei materiali sarebbero continuati e che, di conseguenza, il Monte Everest sarebbe stato finalmente vinto.

Cercare di predire il giorno esatto in cui sarebbe stata raggiunta la cima, o il nome del "conquistatore", o qualsiasi altro particolare dell'impresa, non era e non è, logicamente, futurismo, ma chiaroveggenza. E la tecnica fantascientifica non ha niente a che fare con la chiaroveggenza.

Nella primavera del 1953 volevo scrivere un breve racconto sul Monte Everest, ma non ero riuscito a trovare niente d'interessante nella predizione della Prima Legge, che indicava che sarebbe stato scalato con successo. In questo caso, a che scopo scriverlo?

Io volevo invece creare qualche situazione avvincente che impedisse l'avverarsi della predizione. Io volevo tracciare la storia di una violazione deliberata della Prima Legge.

(Questo non è, necessariamente, un modo di fare sbagliato. La Prima Legge della Futurica, contrariamente alla Prima Legge della Termodinamica, può essere violata. Supponiamo che nel 1900 mi fossi messo a scrivere una storia su di un futuro che comportasse i viaggi in astronave. Dal fatto che nel secolo precedente l'uomo aveva imparato a padroneggiare velocità sempre maggiori, io avrei potuto presumere che, secondo le predizioni della Prima Legge, l'uomo avrebbe raggiunto alla fine una velocità di 500.000 chilometri al secondo. Ma, allo scopo di scrivere una storia interessante, io avrei violato la predizione con l'immaginare una specie di limite di velocità cosmico a 300.000 chilometri. Sarebbe però stata una cosa magnifica, perché Einstein, nel 1905, avrebbe con i suoi calcoli stabilito proprio questa velocità limite).

Potevo inventare una quantità di motivi per far fallire l'inevitabilità della conquista

---

[4] All'epoca in cui scrive Asimov, la *Fondazione* era ancora solo una trilogia: 1) *Fondazione*; 2) *Fondazione e Impero*; 3) *Seconda Fondazione*. Quasi trent'anni dopo, pressato dai fan, scrisse altri due romanzi, *L'orlo della Fondazione* e *Fondazione e Terra*, che chiudevano tutta la saga. Anni dopo, tuttavia, scrisse altri due romanzi, *Preludio alla Fondazione* e *Fondazione Anno Zero*, ambientati prima del romanzo *Fondazione*. (*N.d.R.*)

dell'Everest. Poteva esserci una liscia parete di ghiaccio, negli ultimi centocinquanta metri, che i picconi non riuscissero nemmeno a scalfire. Poteva esserci un campo di forza misterioso che impediva di arrivare alla cima. Poteva esserci uno strato di gas venefico ad ottomila metri di altitudine, uno strato che toccava la superficie terrestre soltanto sulla vetta della montagna più alta del globo.

Il motivo determinante del fallimento che decisi di scegliere fu che gli "abominevoli uomini delle nevi" esistevano davvero, essendo in realtà dei marziani che avevano stabilito una base d'osservazione sulla Terra per tenere d'occhio il nostro pianeta. Naturalmente i marziani stettero bene attenti che gli invadenti terrestri con velleità alpinistiche facessero dietro-front.

Il racconto, intitolato *Everest* [5], era solo di cinquemila battute, e lo vendetti il 7 aprile 1953 per 30 dollari.

Vi posso assicurare che consideravo la presenza dei marziani in cima all'Everest come un avvenimento con probabilità di avverarsi molto vicine allo zero, e nello stesso tempo ero certo che la mia "previsione" fosse falsa e che la montagna sarebbe stata scalata. (Devo ovviamente ammettere che nel 1900 avrei considerato anche il limite di velocità conica un avvenimento con probabilità di avverarsi molto vicine allo zero.) Comunque, ero abbastanza convinto che la grande montagna sarebbe rimasta inviolata ancora per un po'. Se non altro fin dopo la pubblicazione del mio racconto.

Successe invece che persi la scommessa. Alle 11,30 del mattino del 29 maggio 1953, meno di due mesi dopo che avevo venduto il racconto, Edmund Hilary e lo sherpa Tenzing Norgay raggiunsero la più alta cima dell'Everest e, inutile dirlo, non trovarono né marziani né "abominevoli uomini delle nevi". E resero sorpassato il mio racconto prima ancora che venisse pubblicato.

Però, dato che gli editori non buttano via trenta dollari (ed io, in quei giorni, non ero disposto a restituire i soldi), il racconto venne comunque pubblicato. Apparve sul numero di dicembre 1953 di *Universe Science Fiction*. Venni quindi a trovarmi nella posizione di avere previsto che il Monte Everest non sarebbe mai stato conquistato sette mesi dopo che lo avevano conquistato.

Fu uno dei miei successi più luminosi!

Con un racconto di molto precedente, *Trends* [6], ebbi migliore fortuna. L'avevo scritto un mese prima del mio diciannovesimo compleanno e venduto un mese dopo lo stesso compleanno. Venne pubblicato sul numero di *Astounding Science Fiction* del luglio 1939.

Trattava del primo volo intorno alla Luna e ritorno (senza allunaggio). Collocavo il primo tentativo, destinato a fallire, nel 1973, e il secondo, riuscito, nel 1978. Dato che nella realtà l'impresa coronata da successo avvenne nel 1968, vi accorgerete che per prudenza ho sbagliato di dieci anni.

Com'è naturale, all'età di quasi diciannove anni non sapevo niente di ingegneria missilistica e le mie idee sul modo in cui sarebbe stato realizzato il primo volo verso la

---

[5] Il racconto è uscito in Italia, con lo stesso titolo, il 23 maggio 1976, raccolto nell'antologia "Testi e note n. 1" (*Buy Jupiter*, 1975), uscita nella collana Urania n. 697. (*N.d.R.*)

[6] Il racconto è uscito in Italia, con il titolo *Pendolarità*, il 19 agosto 1973, raccolto nell'antologia "Asimov Story n. 1" (*The Early Asimov*, 1972), uscita nella collana Urania n. 625. (*N.d.R.*)

Luna erano ridicolmente sbagliate sotto ogni aspetto. Nella mia mente non c'erano implicazioni politiche, né implicazioni militari. Non c'erano calcolatori elettronici, né correzioni di rotta, né voli orbitali preliminari, e nemmeno i russi.

Tanto per dimostrarvi quanto fossi distante dalla realtà, essendomi solo vagamente reso conto che un razzo non poteva essere lanciato da New York City e che quindi doveva essere fatto partire da qualche altra parte, magari ai confini del mondo da me conosciuto, lo feci lanciare dalla sponda opposta dell'Hudson, vicino a Jersey City.

In tutta sincerità era un racconto orribile, ma allora nessuno se ne lamentò ed in seguito venne pubblicato in cinque diverse antologie (la quinta è del 1973). Comunque, il punto cruciale non è la faccenda del razzo. Il nocciolo del racconto era che buona parte della popolazione era contraria ai voli spaziali e si opponeva con violenza all'esplorazione dello spazio. Il progettista del mio razzo veniva addirittura abbattuto da questa opposizione e portato alla tomba.

Questa è stata la prima volta, in tutta la storia della fantascienza, in cui sia stata illustrata l'opposizione della gente ai voli spaziali. Fino a quel momento gli scrittori di fantascienza ignoravano la reazione del pubblico, oppure presumevano che fosse entusiastica... e non solo prima di *Trends*, ma anche dopo. (Per la verità, H.G. Wells aveva parlato in uno dei suoi romanzi della folla che assaltava un razzo. Però ciò succedeva dopo una guerra del futuro, e quindi la gente aveva ottime ragioni per odiare e temere un razzo. Nel mio racconto, invece, c'era opposizione al semplice "concetto" di esplorazione spaziale).

Che cos'è allora che ha fatto vedere a questo ingenuo quasi diciannovenne quello che tanti altri scrittori più vecchi ed esperti di lui non hanno visto? Ve lo spiego.

In quel periodo frequentavo la Columbia University, e non resterete certo sbalorditi se vi dico che non avrei potuto permettermi neanche le tasse scolastiche. Così arraffavo soldi dove potevo, e per quindici dollari al mese lavoravo per un professore di sociologia che stava scrivendo un libro dal titolo *Resistenza sociale ai cambiamenti tecnologici*.

Io dovevo raccogliere e battergli a macchina tutte le notizie spicciole sull'argomento, e durante le mie ricerche scoprii che esisteva un'accanita opposizione ad ogni cambiamento tecnologico di qualche importanza che increspasse la placida corrente della società umana: dalla scoperta della scrittura al tentativo di costruire una macchina volante più pesante dell'aria.

Applicai immediatamente la Prima Legge della Futurica e dissi a me stesso: «Se ciò è sempre successo, continuerà a succedere, e ci sarà un'opposizione all'esplorazione dello spazio». Così scrissi *Trends*.

Il vero problema, però, non è dato dal perché io mi sia accorto di questo fatto, ma dal perché non se ne sia accorto nessun altro al mondo. La soluzione è compresa nella Seconda Legge della Futurica, che dice: «Rifletti sull'ovvio, perché pochi lo vedono».

È più che certo che non è necessario che insista sull'argomento davanti ad un pubblico di lettori di fantascienza. È ovvio, era ovvio ed è sempre stato ovvio che l'aumento della popolazione avrebbe causato problemi gravissimi all'umanità, eppure la maggior parte della gente ha cocciutamente guardato dall'altra parte e continua a farlo. È ovvio, era ovvio ed è stato ovvio per parecchio tempo che le risorse petrolifere del mondo andavano rapidamente esaurendosi, e che arrivare al limite di queste risorse, o

sorpassarlo, impreparati, sarebbe stato disastroso. Eppure la maggior parte della gente ha cocciutamente guardato dall'altra parte, e continua a farlo.

Così quelli come me, quelli che insistono nel mettere in evidenza l'ovvio, vengono denunciati come uccelli del malaugurio e messi al bando.

Queste cose ovvie, però, non sono ignorate dagli scrittori di fantascienza. Forzati dalla necessità professionale di considerare i molti futuri possibili, applicano la Seconda Legge per costruire storie fantastiche... ed al di là dell'ovvio diventano perspicaci ficcanaso del futuro, del tutto degni di rispetto.

Il primo racconto che ricordo di avere letto sulla sovrappopolazione, e che per primo mi fece riflettere sull'inevitabilità di un tracollo nel caso che la nostra politica demografica fosse rimasta immutata, è stato *Earth, the Marauder* di Arthur J. Burks (1898-1974), che venne pubblicato sui numeri di luglio, agosto e settembre 1930 di *Astounding Stories*.

Il primo racconto che ricordo di avere letto sull'esaurimento delle riserve di petrolio, e che per primo mi fece riflettere sulla inevitabilità di un tracollo nel caso che la nostra politica petrolifera fosse rimasta immutata, è stato *The Man who Avoke* [7], di Laurence Manning (1899-1972), pubblicato sul numero di marzo 1933 di *Wonder Stories*.

Quindi, nella fantascienza, i campanelli d'allarme suonano da quarant'anni e più. Eppure tutti i nostri abilissimi capi di Governo ed uomini di stato continuano a farsi sorprendere da "crisi di sovrappopolazione" e da "crisi energetiche" e ad agire come se queste crisi fossero comparse alla porta, senza farsi annunciare, un paio di giorni prima.

(E con questo le riviste di fantascienza sono state stigmatizzate per decenni come "stupide letture d'evasione". Bella "evasione"! Noi fanatici di fantascienza siamo evasi in un mondo sovrappopolato, con grande scarsità di petrolio, e così via, e abbiamo il privilegio dì esserci angosciati per quarant'anni a riflettere su problemi che tutti gli uomini posati, che leggono letteratura "seria", cominciano soltanto ora a riconoscere, e con fatica).

Ma andiamo avanti. Applicando la Prima Legge della Futurica non dobbiamo commettere l'errore di supporre che il "continuerà a succedere" formi una curva perfettamente liscia.

No, la curva è a gobbe, a volte a spigoli, e la variazione può essere imprevista.

Non c'è modo di prevedere quando ci sarà una gobba, o quanto sporgerà lo spigolo, o di che natura sarà: qui rientriamo daccapo nella divinazione. Tuttavia, è importante essere pronti a rilevare queste gibbosità e tenerne conto nel predire il futuro. E proprio gli scrittori di fantascienza, che sono obbligati ad inventare nuove società a causa della natura della loro professione, sono spesso meglio attrezzati a vedere e ad interpretare queste gibbosità di quanto lo siano gli scienziati (e lasciamo perdere i profani).

Nel 1880, in base alla Prima Legge, avreste potuto supporre che l'umanità, continuando ad aumentare le proprie capacità di sfruttare le risorse energetiche della Terra,

---

[7] Il racconto è uscito in Italia, con il titolo *L'uomo che si destò*, nel 1974, raccolto nell'antologia "Alba del domani" (*Before the Golden Age*), Editrice Nord. (*N.d.R.*)

avrebbe finito con lo scoprire qualche nuova fonte d'energia, ancora sconosciuta nel 1880; ma quale potesse essere questa fonte non lo avreste potuto predire in modo ragionevole.

Tuttavia, nel 1900, quando venne scoperta l'energia nucleare, la Prima Legge avrebbe reso evidente che la tecnologia, diventando sempre più perfezionata, avrebbe alla fine sottomesso quest'energia nucleare alle necessità dell'uomo.

H.G. Wells fece subito questa supposizione, e scrisse racconti sulle bombe atomiche nel lontano 1902. Molti onesti e brillanti scienziati – perfino premi Nobel per la fisica – continuarono invece a credere in buona fede, fino agli anni '30, che l'energia atomica non sarebbe mai stata domata. Fu su questo particolare argomento che gli scrittori di fantascienza si dimostrarono, e in modo molto spettacolare, più esatti degli scienziati, ed è per questo che oggi gli scienziati, imbarazzati per il precedente, sono più propensi ad usare la Prima Legge e ad essere generosi nelle loro predizioni.

Che gli scienziati non azzardassero previsioni riguardo l'energia atomica, dipese poi dal fatto che per tutti gli anni '30 sembrò non esistere alcuna strada sicura per domare l'atomo. Ed infatti ancora nel 1933, Manning poté scrivere il suo romanzo sull'esaurimento del carburante senza prendere in considerazione l'energia nucleare come sostituto.

Comunque, nel 1939, quando venne annunciata la fissione dell'uranio, un fisico (Leo Szilard, 1898-1964) si accorse subito che l'inevitabile conseguenza era la bomba atomica, ma se ne accorsero anche molti scrittori di fantascienza (John Campbell in particolare), dato che accorgersi di queste cose era il loro mestiere.

Il risultato fu che, mentre gli Stati Uniti lavoravano alla bomba atomica in grande, grandissimo segreto, gli scrittori di fantascienza scrissero liberamente di bombe atomiche e delle loro conseguenze per tutta la durata della Seconda Guerra Mondiale. (A proposito, io non l'ho fatto. Ero impegnato a scrivere la Trilogia Galattica e le storie dei robot, e pensavo che le bombe atomiche fossero una cosa vecchia, su cui non valeva la pena di perdere tempo. Un'altra delle mie luminose scoperte!)

Alla fine *Deadline* [8], di Cleve Cartmill (1908-1964), che venne pubblicato su *Astounding Science Fiction* nel marzo del 1944, mise in allarme gli agenti del controspionaggio americano. Interrogarono in proposito John Campbell e scoprirono che non potevano farci niente. Il passaggio logico dalla fissione dell'uranio alla bomba nucleare era una cosa semplice ed inevitabile (per gli scrittori di fantascienza), e qualsiasi alt improvviso alla pubblicazione di racconti di fantascienza sull'argomento avrebbe fatto scoprire il segreto.

Ripeto, è stata la predizione della bomba nucleare che soprattutto stupì il mondo e che contribuì parecchio a dare rispettabilità alla fantascienza. Anche se era una predizione così facile da non meritare alcuna ammirazione. Il mondo avrebbe dovuto invece stupirsi della propria stupidità, non della nostra saggezza.

Per fare predizioni particolarmente importanti è di aiuto usare la Terza Legge della Futurica, che può essere così riassunta: «Rifletti sulle conseguenze». La predizione di

---

[8] Il racconto è uscito in Italia, con il titolo *Missione segreta*, nel marzo 1980, raccolto nell'antologia "Mathematica", Nova SF, Libra Editrice. (*N.d.R.*)

un determinato aggeggio è abbastanza facile, ma cosa può succedere alla società quando se ne diffonde l'uso?

Cito da un mio precedente articolo: «la previsione importante non è l'automobile, ma il problema del parcheggio. Non è la radio, ma le trasmissioni cretine. Non l'imposta sul reddito, ma il costo della vita. Non la bomba, ma il blocco degli armamenti nucleari».

Il più splendido esempio di scoperta di una conseguenza che è completamente sfuggita a tutti i capi di Stato del mondo, lo troviamo in *Solution Unsatisfactory* [9] di Anson MacDonald (cioè Robert A. Heinlein) che venne pubblicato nel maggio 1941 su *Astounding Scienze Fiction*. Heinlein predisse il Progetto Manhattan e lo sviluppo di un'arma nucleare che avrebbe messo fine alla Seconda Guerra Mondiale. Questo era facile. Ma lui andò oltre, predicendo il blocco degli armamenti nucleari, che è stato molto più difficile da raggiungere. In quel periodo, per quello che mi risulta, nessun altro lo fece.

La Terza Legge può logicamente essere usata per una delle funzioni più importanti della fantascienza, la satira. Potete riflettere sulle conseguenze e farne vedere solo una che abbia scarse probabilità di avverarsi, facendola però sembrare tanto logica quanto è lampante la luce del sole sull'umana follia. Il mio stimato amico e da lunga data, Frederik Pohl (1919-), è molto abile nell'usare questo sistema ed ha scritto un buon numero di racconti congegnati in modo da mettere in evidenza le ridicole, ma logiche, conseguenze che possono capitare all'umanità se continua l'attuale andazzo.

Io personalmente non indulgo alla satira, non essendo per natura caustico. Tuttavia, a volte, cerco di esserlo. Per esempio ho scritto un articolo satirico su una rivista a grande diffusione in cui, tenendo presente la Terza Legge, ho in parte cercato di affrontare il problema dell'inflazione.

Prendiamo in esame l'inflazione, scrissi: è un problema che oggi è diventato davvero serio. I prezzi sono tanto aumentati che la miseria e le sofferenze non sono più limitate alla povera gente che c'è abituata. Invece, persone benestanti come voi e me cominciano a soffrire, e la cosa è un peccato ed un'ingiustizia.

Devo ammettere che mi ci è voluto un po' di tempo per trovare una soluzione, perché non so niente di scienze economiche (si scrive così?). Per fortuna di recente ho sentito un banchiere di Cleveland che parlava di alcuni diagrammi statistici indicanti l'andamento dei prossimi due o tre anni. Essendo un banchiere, lui sapeva tutto sull'economia.

Indicando una linea che andava in su (rappresentava qualcosa, ma non ricordo cosa: se il prodotto nazionale lordo, oppure gli assorbenti igienici), disse che la linea era soddisfacente, ma presumeva un 4 per cento di disoccupazione. «Sarebbe ancora meglio», disse, «se raggiungessimo il 5 per cento di disoccupazione, perché così l'inflazione si manterrebbe entro i limiti previsti».

Mi venne un lampo di genio. La disoccupazione era la soluzione all'inflazione! Più gente c'era senza lavoro, meno gente avrebbe avuto soldi. Con meno soldi da gettare

---

[9] Il racconto è uscito in Italia, con il titolo *Soluzione insoddisfacente*, nel luglio 1967, raccolto nell'antologia "Minaccia dalla Terra", Gamma 19, Edizioni dello Scorpione. (*N.d.R.*)

al vento, non ci sarebbe stato motivo di aumentare i prezzi, e l'inflazione si sarebbe risolta.

Ero proprio contento di avere ascoltato un economista in gamba come quello.

Ma adesso il problema è questo: come fare per avere una sufficiente disoccupazione?

La difficoltà sta nel fatto che non è un'occupazione molto popolare o ricercata, e che, praticamente, non ci sono volontari. La cosa non sorprende, visto il disprezzo con cui viene considerata la professione di disoccupato. Quante volte avete detto ad un amico: «Perché quei fannulloni non la piantano di girarsi i pollici e non si trovano un lavoro?» (Il che è proprio quello che non vorreste facessero, in realtà, se siete contro l'inflazione).

Ma analizziamo logicamente la situazione. Voi, dall'alto del vostro posto di dirigente e con il vostro lauto stipendio, contribuite giorno per giorno all'inflazione, mentre quei poveri diavoli con i buchi nelle scarpe, che si scolano una bottiglia di vino lungo il margine della strada, combattono l'inflazione con disperata intensità. E allora, come potete provare disprezzo per loro? Chi di voi ha più meriti di fronte alla società?

Se vogliamo sconfiggere l'inflazione, dobbiamo considerare i disoccupati i veri combattenti di prima linea nella battaglia contro la calamità e dar loro il meritato riconoscimento.

Per la verità lo facciamo, anche se in modo limitato: paghiamo loro l'indennità di disoccupazione. Non è molto, e non può essere molto. Se l'indennità fosse elevata, ci sarebbe l'inflazione.

Ma se la cifra dev'essere esigua, perché dev'essere anche accompagnata da così aperta disapprovazione? I soldi, si sa, non sono tutto, e qualsiasi disoccupato troverebbe sufficiente il suo scarso mensile se solo fosse accompagnato dalla gratitudine che tanto si merita.

Cosa c'è di male nel ringraziare questi bravi lavoratori, questi stoici soldati di trincea della guerra contro l'inflazione, con una buona parola ed una pacca sulla schiena? Facciamo sapere che siamo tutti con loro e che li apprezziamo moltissimo. Però, logicamente, non dovete dar loro un soldo. È essenziale non dar loro soldi.

Il Governo, comunque, può venire in aiuto. Possono essere distribuite medaglie a chi si è distinto nella campagna di disoccupazione. Possono essere conferite croci di peltro al merito, con arma di cucchiai incrociati, a chi resta disoccupato al di là ed al di sopra del proprio dovere. Può essere dato un riconoscimento al patriottismo di alcune categorie minoritarie che hanno contribuito più del necessario alla lotta. Possono infine essere affissi manifesti di reclutamento: «Lo Zio Sam vuole che tu abbandoni il lavoro!».

Uomini e donne si unirebbero sotto le bandiere della disoccupazione e si raggiungerebbe facilmente il 5 per cento necessario. Anzi, no. Lo si supererebbe senz'altro, perché gli americani non esitano davanti ai sacrifici per la patria.

E l'inflazione verrebbe bloccata!

In base alla Terza Legge immagino di avere ironizzato sul nostro sistema economico, oppure sul crudele atteggiamento comune verso i disoccupati, o anche sul nostro idealizzare la guerra. Per la verità non sono sicuro su quale dei tre, perché io scrivo,

non analizzo.

Comunque, qualunque fosse il suo oggetto, la satira si dimostrò troppo violenta. Il direttore della rivista che accettò l'articolo mi pregò di togliere questo brano e di sostituirlo con qualcos'altro. E poiché mi resi subito conto che potevo usare il pezzo in un altro modo, acconsentii.

Il rifiuto del pezzo è importante. Una delle difficoltà nelle predizioni è che il predire l'ovvio è talvolta politicamente e socialmente pericoloso. La gente non vuole che si sconvolgano le sue comodità, o che si mettano in ridicolo i suoi pregiudizi. Non vuole sentirsi dire che deve sacrificare qualcosa di quello che possiede per i poveri, oggi, oppure per i propri discendenti, domani. Non vuole essere derisa per le proprie follie. Quello che vuole sentirsi dire, sopra e più di ogni altra cosa, è che "tutto va ben, madama la marchesa".

E tutto considerato, è proprio quello che dicono loro, così nessuno è portato a parlare di questa o quella potenziale difficoltà fino a quando non è diventata così enorme da non poterla più negare.

Ma il mio pezzo sull'inflazione può essere pubblicato su una rivista di fantascienza, così come qualsiasi altro (è sufficiente che sia scritto abbastanza bene), senza preoccupazioni di quanto disagevole possa essere all'agiato, o di quanto indigesto possa essere al buongustaio sociale.

È nella reale natura della fantascienza prendere in considerazione il disagevole, se è là che ci porta il compito di estrapolare le tendenze sociali e il progresso scientifico. La cosa migliore della faccenda, però, è che il lettore di fantascienza accetta il disagio e lo guarda in faccia.

Se potessimo costringere tutto il mondo a fare altrettanto, l'umanità avrebbe forse una possibilità di salvezza.

La Compagna Nera

The Dark Companion, 1977
Traduzione di Pierluca Serri
Urania n. 753 (16 luglio 1978)

Anch'io, come tutti, m'imbatto talvolta in situazioni imbarazzanti che non sempre riesco a evitare.

Infatti, sebbene sia conosciuto come uno scienziato particolarmente scrupoloso e poco incline ad accettare teorie campate in aria, le nuove idee mi sono sempre gradite, purché vengano proposte da persone che conoscono bene l'argomento che trattano e che rispettano la logica. E proprio qui esistono in potenza parecchie probabilità di trovarsi in situazioni imbarazzanti.

Tuttavia, tanto per cominciare, riporterò uno o due casi in cui non mi sono trovato in imbarazzo.

Nel 1974 venne pubblicato dalla Walker & Co. un libro di John Gribbin e Stephen Plagemann, dal titolo *The Jupiter Effect* ("L'effetto Giove"), in cui gli autori prendevano in esame il possibile effetto della posizione dei pianeti sulle correnti solari e, di conseguenza, sul vento solare, sulla tettonica a zolle della Terra e sui terremoti avvenuti in California. Molto labile era la concatenazione logica che portava a una conclusione totalmente ipotetica, ma, sebbene non accettassi tale conclusione, l'opera mi sembrò quella di due persone oneste e razionali. Pertanto, quando mi fu chiesto di scriverne l'introduzione, accettai, e alla fine il mio nome venne stampato in copertina a caratteri alti quanto quelli del nome degli autori.

Come avevo previsto, molti critici e recensori strapazzarono vivacemente il libro, e il mio caro amico Lester del Rey da allora non smette più di chiamarmi "astrologo", a causa di quell'introduzione. Ma io non ho cambiato parere: il libro valeva la pena di essere letto, e non mi vergogno affatto di esservi collegato.

Lo stesso accadde nel 1976, quando la Doubleday pubblicò *The Fire Came By* ("Il fuoco è passato di qui") di John Baxter e Thomas Atkins. Questo era uno studio accurato delle cause della grande esplosione avvenuta in Siberia (Tunguska, *NdT*) nel 1908 e per anni attribuita alla caduta di una meteorite. Gli autori prendevano in esame tutte le testimonianze che avevano potuto raccogliere e analizzavano in luce critica tutte le spiegazioni, da chiunque proposte, da quando era risultato evidente che nella zona non c'era alcuna traccia di cratere né alcun frammento meteoritico. Concludevano avanzando l'ipotesi che l'esplosione fosse stata causata da un'astronave extraterrestre a propulsione nucleare che, perso il controllo, si fosse schiantata sulla Terra.

Larry Ashmead,. allora alla Doubleday, mi chiese di dare un'occhiata al manoscritto per un giudizio, che si augurava favorevole. Lo fece però con notevole riluttanza, in quanto pensava che, una volta letto il libro, l'avrei senz'altro fatto a pezzi.

Non fu così. Trovai il libro avvincente e onesto e, secondo me, degno di

attenzione. Perciò questa volta fui io a chiedere alla Doubleday di scriverne l'introduzione, e loro acconsentirono. Il mio nome venne stampato sulla copertina dell'opera in caratteri alti quasi quanto quelli del nome degli autori e, sebbene anche qui non condividessi la conclusione cui l'opera giungeva e prevedessi che ben pochi astronomi l'avrebbero presa sul serio, non cambiai opinione. E ancora non mi vergogno che il mio nome sia collegato a essa.

Passiamo ora a quando, al contrario, mi sono venuto a trovare in imbarazzo.

Poco tempo fa è stato pubblicato un libro dal titolo *The Sirius Mistery* ("Il mistero di Sirio"), di cui non citerò né il nome dell'autore né quello della casa editrice, dato che non ne posso dire niente di buono. Narra di una tribù dell'Africa Occidentale, le cui leggende sembrano comprendere la conoscenza dei satelliti di Giove, degli anelli di Saturno e della nana bianca, compagna di Sirio. Tale conoscenza, inoltre, viene attribuita a informazioni ottenute da astronauti provenienti da un pianeta che ruota intorno a Sirio.

Prima che il libro fosse stampato, l'autore si mise in contatto con me chiedendomene un giudizio, che sperava favorevole. Con molta riluttanza acconsentii a che mi mandasse il manoscritto, anche perché non è corretto rifiutarsi di dare una semplice occhiata alle idee che uno ha da esporre.

Il manoscritto arrivò, e io tentai di leggerlo. In genere, detesto comportarmi in modo antipatico e insultante, e in particolare lo detestavo in questo caso, in quanto l'autore mi era sembrato una persona davvero cortese e sincera quando mi aveva contattato. Ma la verità è che per me quel libro era illeggibile e che, qualunque frase di commento mettessi giù, non mi convinceva. Perciò mi rifiutai di esprimere il mio giudizio sull'opera.

Poco dopo l'autore si rifece vivo e cercò con ogni mezzo di persuadermi a ritornare sulla mia decisione. Ripeto, mi è difficile essere sgarbato, quindi, perfino in quell'occasione, volli fare in modo di rimanere nei limiti della buona educazione, pur ribadendo il mio rifiuto.

A un certo punto l'autore mi chiese: « Allora, avete trovato qualche errore nel testo? »

Ovviamente non ne avevo trovato neanche uno: ne avevo letto solo alcune pagine, quelle in cui si parlava della tribù dell'Africa Occidentale, e questo è un argomento che non conosco affatto. Di conseguenza lui avrebbe potuto scrivere una sciocchezza dopo l'altra, senza che io fossi in grado di riconoscere anche un solo errore. Ad ogni modo, per liberarmi di lui in maniera educata, risposi: « No. Non ho trovato errori ».

Ottenni quello che meritavo. Pronunciando quelle parole non avevo precisato che non volevo fossero citate; così, quando il libro venne pubblicato, negli annunci pubblicitari apparsi sulla stampa c'ero anch'io, che dicevo, appunto, che nel libro non c'erano errori.

Mi trovo perciò in una situazione imbarazzante a causa della mia stupidità, ma vi assicuro che non ci ricadrò mai più.

Mi consolerò, un poco, raccontandovi la storia della scoperta della nana bianca compagna di Sirio da parte di astronomi vicini a noi nel tempo, fatta senza l'aiuto di

visitatori extraterrestri. (Ho trattato succintamente l'argomento parecchi anni fa, ma adesso entrerò nei particolari e seguirò un'altra strada.) Ve la presento come una commedia in tre atti.

Atto primo
Friedrich Wilhelm Bessel
1844

Friedrich Wilhelm Bessel nacque a Mindel, in Prussia, il 22 luglio del 1784. Cominciò la sua carriera come contabile, ma in seguito si mise a studiare astronomia per conto suo e all'età di vent'anni ricalcolò l'orbita della cometa di Halley con una tale accuratezza da suscitare un'ottima impressione nell'astronomo H.W.M. Olbers, il quale gli offrì un posto in un osservatorio.

Dal 1830 in poi, Bessel partecipò alla grande impresa astronomica di quel periodo: il tentativo di determinare la distanza di una qualche stella dalla Terra. Per portare a termine il compito che si erano prefissi, gli astronomi dovevano scegliere una stella relativamente vicina al nostro pianeta, prendere nota delle successive posizioni costanti assunte sull'eclittica (parallasse) e rapportarle tra loro, man mano che la Terra girava nella propria orbita intorno al Sole. Ma, come avrebbero potuto individuare una stella vicina, quando non potevano conoscere in anticipo quali stelle fossero vicine e quali lontane?

Dovevano basarsi su una semplice supposizione, e i suggerimenti avanzati furono due. Primo: era più probabile che una stella brillante fosse più vicina di una stella dalla luce fioca, poiché la vicinanza poteva essere la causa stessa della luminosità. Secondo: era probabile anche che una stella, la cui posizione rispetto agli altri corpi celesti (moto proprio) variava considerevolmente di anno in anno, fosse più vicina di un'altra il cui spostamento era invece minimo o addirittura inesistente, poiché la vicinanza tende ad aumentare la misura reale di uno spostamento.

Due dei ricercatori, Thomas Henderson e Friedrich G.W. von Struve, seguirono il criterio della luminosità. Henderson, che si trovava a Capetown, nel Sud Africa, prese di mira Alpha Centauri, la più luminosa delle stelle dell'emisfero australe, e von Struve assunse come punto di riferimento Vega, la stella più luminosa dell'emisfero boreale. Bessel, invece, seguì il criterio della rapidità dello spostamento e scelse 61 Cygni, una stella alquanto fioca, come luminosità (è di quinta magnitudine), ma che aveva il moto proprio più veloce che si fosse scoperto a quel tempo.

Tutti e tre gli astronomi, riuscirono a portare a termine l'impresa, ma Bessel per primo rese noto nel 1838 il risultato cui era giunto, ed ebbe così il merito di essere stato il primo a determinare la distanza di una stella dalla Terra. Dopo il successo ottenuto, Bessel era pronto a calcolare altre distanze, e alla fine decise di affrontare Sirio. Sirio è la più brillante di tutte le stelle visibili, e perciò avrebbe potuto benissimo essere una delle più vicine. E in effetti lo è: la distanza dalla Terra è solo i due quinti di quella di 61 Cygni. E ha anche un moto proprio relativamente rapido.

In ogni caso, non è facile determinare la parallasse di una stella. Lo sarebbe se una stella fosse del tutto immobile e se la Terra avesse un moto perfettamente regolare, se la velocità della luce raggiungesse valori infiniti e se non ci fosse di mezzo l'at-

mosfera. Purtroppo la realtà è diversa, e le difficoltà esistono.

Immaginando la Terra fissa, secondo la parallasse la stella in movimento dovrebbe descrivere una semplice ellisse, se non avesse anche un moto proprio che procede in linea retta. L'unione del moto proprio in linea retta e del moto ellittico secondo la parallasse produce un moto ondulatorio il quale viene ulteriormente complicato dal fenomeno della rifrazione atmosferica, dall'aberrazione della luce, da varie oscillazioni nel moto della Terra, e così via. Di conseguenza è necessario tenere conto di ogni possibile interferenza, per poi eliminarla. E, alla fine, quando si sono eliminati tutti i fattori estranei, ciò che rimane è la parallasse. Ma dal momento che ogni eliminazione ha un suo margine di errore, la parallasse che otteniamo può essere alquanto imprecisa.

Bessel cominciò a studiare Sirio, la osservò notte dopo notte, controllò altre osservazioni precedentemente registrate, eccetera, eccetera. Tenne conto anche dei più insignificanti fattori estranei, eliminò il moto proprio, e ottenne un'ellisse..,che non era l'ellisse di una parallasse.

L'ellisse tracciata dalla parallasse di una stella deve infatti essere completata nel giro di un anno, poiché la parallasse rispecchia il movimento di rivoluzione della Terra intorno al Sole, che dura un anno. Ma ciò non succedeva nel caso di Sirio.

Bessel si accorse subito che l'ellisse cui era pervenuto richiedeva ben più di un anno per completarsi. In realtà, alla velocità con cui Sirio si spostava, il completamento dell'ellisse avrebbe richiesto cinquant'anni. Perciò non era una parallasse.

C'era effettivamente qualcos'altro che poteva far muovere una stella lungo un'ellisse dalla curva tanto ampia come quella. La stella poteva essere binaria, cioè essere formata da una coppia di stelle che ruotavano una intorno all'altra, e tutte e due intorno al centro di gravità del sistema. William Herschel, nel 1784, aveva già scoperto l'esistenza di stelle binarie, tutt'altro che rare.

Perché allora Sirio non avrebbe potuto essere uno dei due componenti di un sistema binario? Ruotava proprio attorno a un centro di gravità, con un'altra stella sempre al polo opposto.

Era un'ipotesi intelligente, però c'era un intoppo. Bessel non riusciva a vedere l'altra stella. Grazie ai movimenti di Sirio e alla legge di gravità era in grado di stabilire con precisione dove la compagna avrebbe dovuto trovarsi a ogni momento, ma in quel punto non c'era niente.

Poteva, l'altra stella, essere in realtà un pianeta? Alla distanza in cui si trova Sirio, stando sulla Terra è materialmente impossibile vedere un pianeta, anche di dimensioni enormi. (Da Sirio sarebbe infatti possibile vedere il nostro Sole, ma non Giove.)

No, non poteva essere un pianeta, dato che l'unica ragione per la quale noi non possiamo scorgere i pianeti, ma solo le stelle è che i pianeti sono troppo piccoli per brillare come una stella. E se sono troppo piccoli per brillare, sono anche troppo piccoli per possedere un campo gravitazionale abbastanza potente da far ruotare un'altra stella, ovvero Sirio. Di conseguenza, l'altro componente del sistema binario doveva essere una stella. Semplicemente, non poteva essere vista, anche se era una stella.

Al tempo di Bessel la cosa non era incredibile. I primi rudimenti della legge sulla conservazione dell'energia erano già in circolazione, e in base ad essi era ragionevole supporre che una stella avesse a disposizione solo una determinata quantità di energia. Se le cose stavano così, una stella aveva le stesse possibilità di spegnersi di una candela. Ovviamente, avrebbe impiegato molto più tempo, ma il principio era lo stesso. Perciò Bessel arrivò alla conclusione che Sirio avesse una compagna che, essendosi già estinta, non poteva essere vista.

Nel 1844 Bessel annunciò quindi di avere scoperto che Sirio aveva una compagna nera. (E in seguito scoprì che anche Procione, un'altra stella luminosa, aveva una compagna nera.)

Bessel, che morì a Königsberg, in Prussia, il 17 marzo 1846, non visse abbastanza per assistere al secondo atto della commedia.

Atto secondo
Alvan Graham Clark
1862

Alvan Graham Clark nacque il 10 luglio del 1832 a Fall River, nel Massachusetts. Suo padre, Alvan Clark, era un pittore ritrattista, ma era appassionato di astronomia e il suo più grande diletto era quello di fabbricare e polire da sé le lenti del telescopio. (Personalmente non riesco a capire che piacere si provi a polire da sé le proprie lenti, ma la storia dell'astronomia è piena di persone singolari.)

Allora, tutti i fabbricanti e i politori di lenti erano inglesi, francesi o tedeschi, e nessun astronomo europeo che rispettasse la propria professione avrebbe mai concepito l'idea che un americano sapesse fabbricare qualcosa di utile per l'astronomia.

Ma Clark padre lasciò che fosse la sua opera a parlare per lui. Preparò da sé le lenti e le sistemò su telescopi che poi usò per fare eccellenti osservazioni, di cui in seguito pubblicò i risultati. Desiderosi di conoscere di quali strumenti si servisse Clark, gli astronomi europei vennero a sapere che l'americano era un autopolitore di lenti, e cominciarono ad ordinargliene.

A partire dal 1859, Clark padre diventò una celebrità. Venne persino invitato a Londra, dove i più famosi astronomi inglesi vollero incontrarlo. Tornato negli Stati Uniti, aprì a Cambridge, nel Massachusetts, una fabbrica di telescopi. Alvan Graham, il figlio minore, lavorava con lui.

Nel 1860 il rettore dell'Università del Mississippi decise di acquistare un buon telescopio per dare lustro all'ateneo anche in campo astronomico. E siccome era originario del Massachusetts, pensò ai Clark e gli trasmise l'ordinazione. I Clark cominciarono immediatamente la costruzione del telescopio, ma, ahimè, lo strumento non arrivò mai nel Mississippi: in quell'anno scoppiò la Guerra di Secessione, e il Mississippi divenne territorio nemico. Così il telescopio finì all'Università di Chicago.

Nel 1862 Alvan Graham Clark ottenne finalmente una lente levigata come più non si poteva e all'apparenza molto ben riuscita. Rimaneva solo da provarla.

Sistemò perciò la lente su un telescopio, che regolò su Sirio, e si mise in

osservazione. Se la lente fosse stata perfetta, lui avrebbe dovuto vedere Sirio come un luminosissimo punto dai contorni ben distinti (con l'aggiunta di una specie di lampeggiamento se la visibilità non fosse stata ottima). Al contrario, un'irregolarità anche minima avrebbe confuso e distorto il punto luminoso.

Clark osservò dunque la stella, ma rimase estremamente contrariato quando vide, quasi a contatto con Sirio, una piccolissima scintilla di luce in una posizione dove non ci sarebbe dovuta essere alcuna sorgente luminosa. La conclusione più immediata era che nella lente ci fosse un'irregolarità che faceva deviare una piccola parte della luce di Sirio.

Eppure, quando Clark guardò in altre zone del cielo, non riscontrò nessuna stranezza visibile, e qualsiasi cosa facesse alla lente nel tentativo di migliorarne ulteriormente la struttura, non riuscì mai a fare sparire quella macchiolina di luce vicino a Sirio. Alla fine decise che vedeva la scintilla perché esisteva davvero e che in quel punto c'era qualcosa. La luce era nella posizione in cui doveva trovarsi la Compagna Nera di Sirio, perciò non poteva essere che quella. Lui stava osservando la Compagna.

In realtà la Compagna di Sirio non era nera, né eccessivamente fioca, in quanto aveva una magnitudine di 7,1 cioè una luminosità quasi sufficiente per essere vista a occhio nudo. Tuttavia era vicinissima a Sirio, che era circa seimila volte più luminosa di lei e che perciò la nascondeva. Ci voleva una lente più che buona per mettere in evidenza quella fioca scintilla nello splendore circostante: i guai di Clark erano stati causati non da imperfezioni della lente, ma dalla sua ottima qualità.

Non si poteva dunque più parlare di una Compagna Nera di Sirio. Adesso si trattava di una Compagna meno luminosa. La cosa, comunque, non sconvolse le conoscenze di allora. Se la Compagna non era esattamente un tizzone spento, all'evidenza era un tizzone morente.

Alvan Graham Clark morì a Cambridge il 9 giugno 1897, e non visse abbastanza per assistere al terzo atto della commedia.

Atto terzo
Walter Sydney Adams
1915, 1922

Walter Sydney Adams era figlio di due coniugi americani, missionari nel Medio Oriente. Nacque ad Antiochia, in Siria, il 20 dicembre del 1876 e venne portato negli Stati Uniti a soli nove anni. Diplomatosi al Dartmouth College e completato gli studi universitari in Germania, divenne astronomo.

In quel periodo l'astronomia era stata rivoluzionata dall'introduzione dello spettroscopio. Gli astronomi, ormai, non dovevano più limitarsi a prendere nota soltanto del grado di luminosità di una stella e del colore predominante nella sua luce. Questa luce poteva adesso essere diffusa lungo uno spettro che risultava solcato da linee scure trasversali. Dalla posizione e dalla larghezza di queste linee scure si poteva stabilire quali elementi chimici fossero presenti nell'astro. Da piccole discordanze tra la posizione di queste linee nello spettro di una stella, e quella ottenuta in laboratorio dai medesimi elementi chimici, si poteva stabilire anche se la

stella si stava avvicinando o allontanando da noi, e a quale velocità. Un fisico tedesco, Wilhelm Wien, aveva dimostrato nel 1893 come gli spettri luminosi variassero al variare della temperatura. Perciò divenne anche possibile determinare la temperatura di superficie di una stella mediante lo studio del suo spettro. Per esempio, il nostro Sole ha una temperatura di superficie di 6.000° C. Sirio, invece, è una stella molto più calda e la sua temperatura è di 11.000° C.

Risultò evidente che le stelle avevano colori diversi, perché il valore delle lunghezze d'onda su cui emettevano la loro luce variava secondo la temperatura. Indipendentemente dalla struttura o dalla composizione chimica, se la stella aveva una temperatura di superficie di 2.500° C, era rossa; se ne aveva una di 4.500° C, era arancione; a 6.000° C era giallo-bianca; a 11.000° C era di un bianco puro; a 25.000° C era bianco-azzurra.

Queste novità posero Walter Sydney Adams di fronte a un interessante problema. La Compagna di Sirio, ormai ben nota da una settantina d'anni, era sempre stata considerata una stella spenta, o almeno una stella vicina alla morte. Ma se ne stava veramente morendo e quelli erano gli ultimi guizzi prima dell'estinzione, avrebbe dovuto essere fredda e perciò rossa. Il guaio era che non appariva affatto rossa, ma bianca. Quindi doveva essere caldissima, e in questo caso era difficile pensarla prossima alla fine.

Per averne la prova certa era indispensabile conoscere lo spettro della Compagna. E non era affatto uno scherzo ottenere lo spettro di un corpo luminoso della settima magnitudine. Ciò nonostante, nel 1915 Adams riuscì ad ottenerlo.

L'analisi dello spettro eliminò ogni dubbio. La Compagna di Sirio era quasi calda quanto la stessa Sirio. Aveva una temperatura di superficie di circa 10.000° C, cioè era notevolmente più calda del nostro Sole.

Ma a questo punto sorse un altro problema. Se la Compagna era quasi calda quanto Sirio, una qualsiasi data parte della sua superficie avrebbe dovuto avere una luminosità quasi pari a quella di una parte equivalente della superficie di Sirio. E allora, come si spiegava il fatto che la luminosità totale della Compagna fosse solamente un seimillesimo di quella dell'intera Sirio?

L'unica spiegazione ragionevole di questo fenomeno era questa: sebbene la superficie della Compagna, presa a singole parti, fosse quasi luminosa quanto la superficie di Sirio, la superficie totale era molto, molto meno estesa di quella di Sirio.

Sapendo, infatti, in base alla temperatura, quanto dovrebbe essere luminosa una parte della superficie di una stella, è possibile calcolare l'area totale del corpo celeste che giustifica la sua luminosità apparente, e dall'area arrivare al diametro. Seguendo questo criterio, si scoprì, ad esempio, che il diametro di Sirio è di due milioni e mezzo di chilometri, cioè 1,8 volte quello del nostro Sole, mentre il diametro della Compagna è di soli quarantasettemila chilometri, cioè 0,033 volte quello del nostro Sole.

La notizia che il diametro della Compagna era tanto ridotto causò un vero shock, poiché perfino l'idea di una stella così piccola sembrava ridicola. E non perché fosse più piccola del nostro Sole, ma perché era notevolmente più piccola anche di Giove: corrispondeva infatti, approssimativamente, alle dimensioni di Urano.

Dal momento che la Compagna era sia bianca come colore, sia nana come

dimensioni, venne chiamata “nana bianca”, e fu la prima di una nuova classe di stelle, che risultò poi relativamente comune. (anche la Compagna di Procione, per esempio, si rivelò una nana bianca)

Capita talvolta che Sirio sia detta “Stella del Cane”, essendo la stella più luminosa della costellazione del Canis Major, il “Grande Cane”. Secondo questo tipo di definizione, qualcuno cominciò a chiamare la Compagna nana “Il Cucciolo”, denotando una ben scarsa intelligenza. Il procedimento corretto, oggi universalmente adottato, è di designare ogni stella di un sistema multiplo con una lettera dell’alfabeto, secondo la scala della luminosità. Quindi Sirio è oggi chiamata “Sirio A” e la Compagna, “Sirio B”. In questo articolo continuerò tuttavia a chiamare le due stelle come ho fatto finora: Sirio e la Compagna.

La piccolezza della Compagna è già di per sé una cosa singolare, ma più sorprendente ancora, sotto un altro punto di vista, è la sua densità. Dalla distanza tra Sirio e la Compagna e dal periodo dell’orbita, è possibile ricavare che la massa totale delle due stelle è circa tre volte e mezzo quella del nostro Sole. Dalla distanza di ognuna delle due dal centro di gravità del sistema si può poi dimostrare che Sirio ha una massa due volte e mezzo quella del Sole, mentre quella della Compagna equivale press’a poco a quella del nostro astro.

Ma se la Compagna possiede una massa pari a quella del Sole, stipata in un globo del diametro pari soltanto a un trentesimo (quindi di volume pari a un novemillesimo) di quello del Sole, ciò significa che la densità media della materia che la costituisce dovrebbe essere novemila volte maggiore di quella del Sole. In altre parole la sua densità è di 12.600 grammi per centimetro cubo, ovvero circa cinquecentosettantacinque volte maggiore della densità del platino.

Se Adams avesse annunciato le sue scoperte anche solo con cinque anni di anticipo, sarebbe stato cacciato dal consesso degli astronomi. Un tale valore, riferito alla densità, sarebbe sembrato talmente ridicolo che l’intero metodo di misurazione della temperatura per mezzo della spettroscopia sarebbe entrato in crisi.

Per fortuna, nel 1911 il fisico Ernest Rutherford, inglese di origine neo-zelandese, aveva enunciato la teoria atomica nucleare, basata su osservazioni del comportamento degli atomi bombardati con le radiazioni sub-atomiche, da poco scoperte, degli elementi radioattivi. Era quindi diventato evidente che gli atomi erano per lo più costituiti da spazio vuoto, e che quasi l’intera massa di ogni atomo era concentrata in un minuscolo nucleo che occupava solo circa un miliardesimo di miliardesimo del volume totale dell’atomo stesso. Divenne consequenziale supporre che la Compagna, e tutte le altre nane bianche, fossero costituite da atomi frantumati, così che i nuclei più pesanti venissero a trovarsi molto più vicini tra loro di quanto potessero esserlo quando gli atomi erano integri.

Ciò premesso, l’eccezionale densità della Compagna poteva essere compresa e accettata. (In verità sarebbero possibili densità anche molto più elevate.)

E poi successe qualcos’altro. Una volta stabilita la natura della Compagna, fu infatti possibile adoperarla per provare qualcosa di ancora più misterioso.

Nel 1916 Albert Einstein aveva enunciato la Teoria della Relatività Generale. Essa sosteneva un’ipotesi che rendeva necessari tre interessanti fenomeni non compresi nella vecchia teoria newtoniana della gravitazione universale. Il primo era

l'avanzamento anomalo, già osservato in precedenza, del perielio di Mercurio. Il secondo era la deviazione della luce dal suo cammino rettilineo per l'attraversamento di un campo gravitazionale. Questa deviazione era quasi impercettibile, tanto che avrebbe potuto essere appena individuata con un campo gravitazionale di intensità almeno pari a quella del Sole.

Per combinazione, era stata prevista un'eclissi solare per il 29 maggio del 1919, proprio nel periodo in cui le stelle più luminose del nostro cielo si trovano molto più vicino al Sole che in ogni altro periodo dell'anno, e la Royal Astronomical Society di Londra si preparò a controllare la teoria di Einstein.

Le posizioni delle stelle vicine al Sole furono accuratamente misurate durante l'eclissi. Se la deviazione della luce avesse avuto luogo come ipotizzato da Einstein, ogni stella avrebbe dovuto apparire un niente più lontana dal Sole di quanto fosse in realtà. La misura della variazione sarebbe dipesa dalla distanza apparente dal Sole della stella considerata. Fu un lavoro difficile e noioso e i risultati non furono tutti precisi. Nel complesso, però, sembrarono dare ragione a Einstein, e gli astronomi "addetti ai lavori" ne rimasero soddisfatti.

La terza conseguenza della relatività era la perdita di una piccola quantità di energia da parte della luce, durante l'attraversamento di un campo gravitazionale. Tale perdita, sempre proporzionale all'intensità del campo, avrebbe voluto dire che tutte le linee dello spettro luminoso si sarebbero leggermente spostate verso il rosso. Il fenomeno sarebbe poi stato denominato "spostamento verso il rosso di Einstein", sulla falsariga del più noto "spostamento verso il rosso di Doppler-Fizeau" (o "effetto Doppler"), che accade quando la sorgente di luce si sta allontanando dall'osservatore.

Lo spostamento verso il rosso di Einstein era alquanto difficile da verificare. Infatti, anche il campo gravitazionale del Sole non è abbastanza intenso per produrre uno spostamento verso il rosso di questo tipo, sufficientemente ampio da essere misurato.

Allora l'astronomo inglese Arthur Stanley Eddington, che fu uno dei primi ad abbracciare la teoria di Einstein, ebbe un'idea interessante. Se la Compagna di Sirio aveva una massa equivalente a quella del Sole, con un diametro, però, di un solo trentesimo, la sua gravità di superficie doveva essere novecento volte quella del Sole. Quindi, la Compagna doveva sottoporre la luce che proveniva dalla sua superficie a una forza gravitazionale novecento volte più intensa, producendo così uno spostamento verso il rosso di Einstein di portata calcolabile.

Eddington si affrettò a informare di questa ipotesi Adams, esperto mondiale dello spettro della Compagna di Sirio.

Adams si mise al lavoro. Sia Sirio, sia la Compagna si stanno allontanando da noi, originando così uno spostamento verso il rosso, ma il fenomeno avviene in proporzioni uguali per ambedue le stelle, e quindi non costituisce un problema. Oltre a ciò, Sirio e la Compagna ruotano una intorno all'altra, e pertanto il moto di allontanamento dell'una potrebbe essere influenzato da quello dell'altra. Trattandosi però di un moto conosciuto, la reciproca influenza può essere calcolata.

Una volta eliminata ogni possibile interferenza, lo spostamento residuo verso il rosso, che compare nello spettro della Compagna e non in quello di Sirio, deve per forza essere verso il rosso di Einstein.

Con meticolosità Adams portò a termine tutti i calcoli e le misurazioni, e trovò che c'era davvero uno spostamento verso il rosso di Einstein e, quello che più importa, che tale spostamento corrispondeva esattamente a quello previsto dalla teoria del fisico tedesco.

Questa fu la terza e, da allora in poi, la più incontrovertibile dimostrazione della validità della Teoria della Relatività Generale.

La dimostrazione può valere anche al contrario. Se riteniamo esatta la teoria della relatività di Einstein, il fatto che la Compagna mostri uno spostamento verso il rosso di Einstein prova in maniera definitiva che deve anche avere una gravità di superficie di enorme intensità, e che quindi deve essere veramente molto più densa delle normali stelle e dei pianeti.

Perciò, dal 1922, nessuno ha più messo in dubbio le sorprendenti caratteristiche della Compagna di Sirio e delle altre nane bianche. Anzi, da allora, sono stati scoperti corpi celesti molto più straordinari, che Adams (morto a Pasadena, in California, l'11 maggio 1956) non visse abbastanza per vedere. Ma di questi tratterò un'altra volta.

Una storia di macchie

Out, Damned Spot, 1979
Traduzione di Giuseppe Lippi
Urania n. 786 (3 giugno 1979)

Adoro le coincidenze, e più sono spudorate, meglio è. Le amo perché gli individui irrazionali si affannano a costruirci sopra le teorie più strampalate, mentre io le vedo solo per quello che sono: coincidenze, appunto.

Ad esempio, prendiamo un caso personale...

Nel lontano 1925, mia madre falsificò la mia età per un nobile motivo: riferì alle autorità scolastiche che ero nato il 7 settembre 1919, cosicché il 7 settembre 1925 avrei avuto sei anni, e sarei stato regolarmente accettato in prima elementare (classe per la quale ero più che pronto).

In realtà, io sono nato il 2 gennaio 1920, e quindi non avrei potuto andare a scuola per altri sei mesi. Ma per fortuna io sono venuto al mondo in Russia, e non esistevano certificati di nascita americani che smentissero la dichiarazione di mia madre.

In terza elementare scoprii che secondo i registri scolastici il mio compleanno cadeva il 7 settembre. Feci allora rimostranze così vivaci che direttore e segretario si convinsero a segnare la data giusta: 2 gennaio 1920.

Anni dopo, durante la seconda guerra mondiale, lavoravo come chimico nei cantieri della Marina americana a Philadelphia (assieme a Robert Heinlein e L. Sprague De Camp, per la cronaca) e per questo la mia chiamata alle armi venne rimandata.

Quando la guerra si avviò alla fine, tuttavia, e il mio lavoro divenne di conseguenza meno importante, i signori della mia circoscrizione cominciarono a guardarmi con bramosia crescente. Risultato, cinque giorni dopo la fine del conflitto, ricevetti la mia cartolina precetto e raggiunsi l'etereo stato di recluta.

Quella cartolina mi arrivò il 7 settembre 1945, e a quell'epoca solo gli uomini sotto i ventisei anni venivano arruolati. Se non avessi corretto la falsa dichiarazione fatta vent'anni prima da mia madre, il 7 settembre avrei compiuto ufficialmente ventisei anni, e non avrei fatto il militare.

Ma questa è solo una piccola coincidenza. Mi è capitato di scoprirne una molto più cospicua, che coinvolge addirittura un personaggio storico.

Nel medioevo gli studiosi dell'Europa occidentale concordavano perfettamente con il dettato aristotelico per cui i corpi celesti erano immutabili e perfetti. Qualsiasi altra teoria sarebbe stata blasfema, poiché sarebbe equivalsa a contestare la qualità dell'opera di Dio.

Il Sole in particolare appariva perfetto. Era un involucro soffuso di luce celeste, e non era mai cambiato dal momento della sua creazione.

Certo, di tanto in tanto poteva essere guardato impunemente, quando brillava attraverso la foschia ed era basso sull'orizzonte, e allora sembrava, a momenti, che ci fossero macchie sulla sua superficie. Ma questo fatto si poteva spiegare con una

piccola nuvola oscura, o forse col passaggio di Mercurio tra il Sole e la Terra. Nessuno pensò mai che potesse trattarsi di vere e proprie macchie solari, perché il Sole era, per definizione, "senza macchia".

Poi, verso la fine del 1610, Galileo usò il suo telescopio per osservare il Sole attraverso la foschia del tramonto (una procedura rischiosa che probabilmente contribuì alla successiva cecità dell'astronomo) e vide ogni volta macchie scure sul disco solare. Anche altri astronomi, appreso rapidamente l'uso del telescopio, osservarono queste macchie: uno di loro era un gesuita tedesco, Christopher Scheiner.

Il superiore di Scheiner, messo al corrente, lo ammonì dallo spingere le sue osservazioni troppo oltre. Dopotutto Aristotele non aveva mai parlato di macchie, per cui non potevano esistere.

Scheiner pubblicò allora anonimamente le sue osservazioni, e scrisse che le macchie erano minuscoli corpi in orbita attorno al Sole, e non parte di esso, avallando così il principio aristotelico della perfezione solare. Galileo, che era alquanto intemperante e particolarmente acuto nel rivendicare i propri meriti, rispose senza peli sulla lingua e, com'era sua abitudine, con brillante sarcasmo (questo gli procurò l'ostilità dei Gesuiti, che giocò parecchio a sfavore dello scienziato durante i suoi guai con l'Inquisizione).

Galileo insisté che le sue osservazioni erano state le prime, e ridicolizzò l'ipotesi che le macchie non fossero parte del Sole. Sottolineò che agli orli dell'astro le macchie si muovevano più lentamente, e apparivano appiattite in prospettiva. Ne dedusse quindi che appartenevano alla superficie solare, e che il loro movimento era il risultato della rotazione del Sole sul suo asse, rotazione calcolata in un periodo di ventisette giorni. In questo era nel vero, e l'idea sulla perfezione solare morì, con grave cruccio di molti potenti. E anche questo contribuì non poco ai suoi guai.

Dopo Galileo, parecchi astronomi registrarono nei loro studi la presenza di macchie solari o ne annotarono la mancanza, disegnarono schizzi di queste macchie, e così via.

Il successivo evento di grande interesse si verificò nel 1774, quando un astronomo scozzese, Alexander Wilson, notò che quando una grande macchia si avvicinava agli orli del Sole in modo da poter essere vista di fianco, appariva concava. Si chiese allora se i margini della macchia non potessero essere declivi, come la superficie interna di un cratere, e se il centro buio non fosse un vero e proprio buco nella superficie.

Questo punto di vista fu ripreso nel 1795 da William Herschel, il principale astronomo del suo tempo, il quale ipotizzò che il Sole fosse un corpo freddo e opaco circondato da uno strato di gas fiammeggianti. Le macchie, da questo punto di vista, erano buchi attraverso cui si poteva vedere il corpo freddo sottostante. Herschel speculò anche sulla possibilità che tale corpo fosse abitato.

Questo si rivelò del tutto errato, dato che in realtà la superficie splendente del Sole è la sua parte più fredda: più ci si spinge all'interno dell'astro e più caldo si trova, finché, al centro, la temperatura raggiunge più o meno i quindici milioni di gradi. A questo tuttavia ci si arrivò soltanto negli anni Venti del nostro secolo. Quanto ai gas rarefatti che si trovano molto in alto rispetto alla superficie solare, sono anch'essi più caldi della parte splendente che noi vediamo, con temperature massime di milioni di gradi, anche se lo si è saputo solo negli anni Quaranta.

Tornando alle macchie, esse non sono veramente nere. Avendo una temperatura inferiore di duemila gradi a quella della superficie solare, irradiano meno luce e sembrano nere per contrasto. La prova è che se Mercurio o Venere si interpongono tra noi e il Sole, li vediamo apparire come autentici dischi neri, e se questi dischi si affiancano a una macchia, facendo il confronto vedremo che quest'ultima non è veramente nera.

Sebbene l'idea di Wilson e Herschel fosse errata, servì a risuscitare l'interesse per il problema delle macchie.

Ma la vera novità la portò un farmacista tedesco, Heinrich Samuel Schwabe, il cui hobby era l'astronomia. Certo, lavorando tutto il giorno, non poteva poi permettersi di passare le notti a guardare le stelle. Pensò quindi che se fosse riuscito a trovare un "bersaglio" diurno, avrebbe potuto osservarlo durante le ore di calma in negozio.

Il bersaglio si presentò da solo. Herschel aveva appena scoperto il pianeta Urano, e ogni astronomo sognava adesso di scoprirne un altro. Supponendo che ci fosse un pianeta più vicino al Sole di Mercurio, sarebbe stato così vicino alla nostra stella che vederlo si sarebbe rivelato estremamente difficile. Periodicamente, però, questo corpo celeste sarebbe passato tra il Sole e noi. Perché allora non mettersi a scrutare la superficie solare, in cerca di un qualsiasi disco nero in movimento?

Sarebbe stato facilissimo individuarlo, una volta notata la sagoma nera: non si sarebbe potuto confonderlo con una macchia solare, perché queste non sono perfettamente rotonde e non attraversano la superficie del Sole tanto velocemente quanto un pianeta, e non si sarebbe potuto scambiarlo per Mercurio o Venere, conoscendo la reale posizione di questi due mondi. E una cosa che non fosse né Mercurio, né Venere, né una macchia solare, poteva essere soltanto il nuovo pianeta.

Nel 1825, Schwabe cominciò a osservare il Sole. Non trovò alcun pianeta, ma non poté fare a meno di notare le macchie. Dopo un po' lasciò perdere i pianeti e si mise a tracciare schizzi delle macchie solari che cambiavano posizione e forma di giorno in giorno.

Osservava morire le vecchie e formarsi le nuove, e passò non meno di diciassette anni a scrutare l'astro, esclusi i giorni in cui il cielo era completamente coperto.

Nel 1843 era in grado di annunciare che le macchie non apparivano del tutto a caso, ma seguivano un ciclo: anno dopo anno se ne formavano sempre più fino a raggiungere un certo culmine. Poi il numero calava finché le macchie sparivano quasi del tutto, e cominciava un nuovo ciclo. La lunghezza del periodo da un culmine all'altro era di circa dieci anni.

L'annuncio di Schwabe restò ignorato fino a quando uno scienziato più famoso, Alexander von Humboldt, vi fece riferimento nel 1851 nel suo libro "Kosmos", un'ampia panoramica sulle scienze.

Nello stesso tempo un astronomo tedesco-scozzese, Johann von Lamont, stava misurando l'intensità del campo magnetico terrestre, e aveva scoperto che si intensificava e si indeboliva a intervalli regolari. Nel 1852 un fisico inglese, Edward Sabine, rilevò che queste oscillazioni nell'intensità del campo magnetico terrestre si verificavano in sincronia col ciclo delle macchie solari.

Così si arrivò a credere che le macchie avessero una precisa influenza sulla Terra, e si cominciò a studiarle con enorme interesse.

A ogni anno venne assegnato un “numero di Zurigo” relativo alle macchie solari, secondo una formula ideata nel 1849 da un astronomo svizzero, Rudolf Wolf, ovviamente originario di Zurigo (e che fu il primo a osservare come l’incidenza delle aurore boreali oscillasse a sua volta secondo il ciclo delle macchie).

I resoconti delle osservazioni precedenti la scoperta di Schwabe vennero studiati con attenzione, e anche gli anni a cui esse si riferivano vennero numerati in base alla quantità di macchie solari. Disponiamo oggi di una curva a dente di sega che mette in rapporto il numero di macchie coi rispettivi anni per un periodo di due secoli e mezzo. L’intervallo medio tra il culmine e la fine del ciclo è per questo periodo di anni 10,4 Non si deve però pensare a una regolarità cronometrica, perché alcuni intervalli da culmine a culmine sono lunghi soltanto 7 anni, mentre altri raggiungono i 17.

Inoltre, i “culmini” non sono ugualmente alti. Ce n’è stato uno nel 1816 con un numero di macchie non superiore a 50, mentre un altro, nel 1959, è arrivato a 200. Il culmine del 1959 è stato il più alto mai registrato. Il successivo, nel 1970, è stato soltanto della metà.

Pare che le macchie siano causate da alterazioni nel campo magnetico del Sole. Se il Sole ruotasse compatto, così come fanno la Terra e tutti gli altri corpi solidi, il campo magnetico sarebbe regolare e verrebbe contenuto sotto la superficie dell’astro.

Invece, il Sole non ruota in maniera omogenea: le porzioni di superficie più lontane dall’equatore impiegano più tempo a compiere un giro completo che non le porzioni prossime all’equatore. Questo produce un effetto di distorsione che deforma le linee della forza magnetica, scagliandole verso l’alto e oltre la superficie.

La macchia appare nel punto di emergenza delle linee magnetiche. Fu solo nel 1908, tre secoli dopo la loro scoperta, che l’astronomo americano George Ellery Hale associò la presenza delle macchie a un forte campo magnetico.

Gli astronomi devono ancora scoprire perché il campo magnetico aumenta e diminuisce, perché il periodo varia sia in lunghezza sia in intensità, perché le macchie all’inizio di un ciclo appaiono alle alte latitudini del Sole e a mano a mano che il ciclo progredisce si avvicinano all’equatore, perché la direzione del campo magnetico si inverte a ogni nuovo ciclo, e così via.

Non è facile, perché i fattori in gioco sono molti, e gran parte di essi sono solo relativamente noti (è un po’ come quando si cerca di fare previsioni meteorologiche), ma non c’è ragione perché alla fine non se ne debba venire a capo.

I mutamenti nel campo magnetico solare producono cambiamenti ulteriori nella già variabile presenza e posizione delle macchie. Influenzano le vampe solari, la forma della corona, l’intensità del vento solare e così via. Nessuno di questi fenomeni presenta un’ovvia relazione con gli altri, ma il fatto che siano tutti soggetti a una crescita e a un declino simultanei rende chiaro che sono dovuti a un fattore comune.

Le alterazioni nell’intensità del vento solare influenzano le aurore boreali sulla Terra, le tempeste elettriche, e probabilmente alterano il numero e la natura dei semi ionici intorno a cui prendono forma le gocce di pioggia. Quindi, il clima stesso è influenzato dal ciclo delle macchie. Di conseguenza, la siccità, le carestie, le inquietudini politiche possono tutte essere collegate alle macchie solari dai patiti dell’argomento.

Nel 1893 l'astronomo inglese Edward Walter Maunder, che cercava tra i resoconti di vecchie osservazioni i dati necessari a calcolare il ciclo delle macchie in epoca precedente al XVIII secolo, fu sorpreso di scoprire che praticamente non esistevano rapporti per gli anni compresi tra il 1643 e il 1715 (la delimitazione esatta di tale periodo è in una certa misura arbitraria. Gli anni che ho scelto – per una ragione nascosta che rivelerò più avanti – sono comunque sufficientemente esatti).

C'erano rapporti frammentari sulle macchie, e perfino schizzi delle loro forme, risalenti ai tempi di Galileo e dei suoi immediati successori, ma dopo, niente. Alcuni astronomi riferivano addirittura di non aver osservato nessuna macchia.

Maunder pubblicò i risultati delle sue ricerche nel 1894 e poi nel 1922, ma nessuno gli prestò attenzione. Il ciclo delle macchie solari era ormai un fatto acquisito e non sembrava possibile che qualcosa potesse a sua volta influenzarlo. Nel 1900 un Sole senza macchie, era inaccettabile come lo era stato nel 1600 un Sole maculato.

Poi, negli anni Settanta, l'astronomo John A. Eddy imbattendosi nelle osservazioni a proposito di quello che avrebbe definito in seguito "il minimo di Maunder", decise di indagare sul problema.

Scoprì così che le annotazioni di Maunder erano corrette. L'astronomo italo-francese Giovanni Domenico Cassini, che fu il principale osservatore dei suoi tempi, studiò nel 1671 una macchia, e scrisse che per ben vent'anni non se n'era vista alcuna, di qualsiasi grandezza. Era un profondo conoscitore dei cieli, tanto da aver calcolato la parallasse di Marte e aver scoperte la zona scura negli anelli di Saturno, chiamata "divisione di Cassini", quindi, se ci fossero state macchie da vedere, non gli sarebbero sfuggite. E non si sarebbe lasciato ingannare facilmente da semplici voci sulla loro assenza.

John Flamsteed, l'astronomo ufficiale del Regno d'Inghilterra, altro studioso attento e competente, riportò una volta di aver finalmente visto una macchia solare dopo sette anni di osservazione.

Eddy indagò altresì sugli avvistamenti di macchie solari a occhio nudo in molte regioni del globo, compreso l'Estremo Oriente, cosa che Maunder non aveva potuto fare. Questi resoconti risalgono al V secolo a.C., e in genere denunciano dai cinque ai dieci avvistamenti per secolo (solo le macchie più grandi possono essere viste a occhio nudo). Ci sono tuttavia periodi vuoti, in cui non vengono registrate osservazioni: il "minimo di Maunder" è appunto uno di essi.

Apparentemente quello del minimo di Maunder era stato un concetto noto finché Schwabe non aveva scoperto il ciclo delle macchie; in seguito era stato dimenticato perché non si addiceva alle nuove acquisizioni. In realtà, forse è proprio a causa del minimo di Maunder che dopo la scoperta delle macchie solari c'è voluto tanto tempo per stabilirne il ciclo. Ma non è solo la mancanza di macchie che comprova l'esistenza del minimo di Maunder. Altri studi ci rimandano al campo magnetico del Sole.

Per esempio, è il vento solare che determina le aurore boreali, e il vento solare è influenzato dal campo magnetico dell'astro, in particolare dalle esplosioni d'energia quando il Sole è più attivo magneticamente: cioè in periodi di grande presenza di macchie.

Se in un lasso di settant'anni ci sono poche o nessuna macchia solare, questo significa che per il Sole si è trattato di un periodo tranquillo dal punto di vista

magnetico, e il vento solare sarà stato un dolce zefiro. In Europa, nello stesso arco di tempo, si saranno viste poche, o nessuna, aurora boreale.

John A. Eddy indagò nei resoconti di cui disponeva, e trovò che le osservazioni di aurore boreali erano praticamente assenti durante il periodo del minimo di Maunder. Ce n'erano molte dopo il 1715 e qualcuna prima del 1640, ma quasi nessuna nel periodo di mezzo.

Ancora: quando il Sole è magneticamente attivo le linee di forza erompono da esso con molta più violenza di quando è inattivo. Le particelle cariche nell'atmosfera esterna del Sole, o corona, tendono ad assumere un movimento a spirale intorno alle linee di forza, e più queste sono impetuose più le particelle vi si aggregano in gran numero e densità.

Questo vuol dire che durante un'eclissi totale l'aspetto della corona cambia a seconda della posizione del Sole nel ciclo delle macchie. Quando il numero delle macchie è prossimo al culmine e l'attività magnetica solare è alta, la corona è ricca di raggi potenti che s'irradiano dall'astro, e appare straordinariamente bella e complessa.

Quando il numero delle macchie è basso, ci sono pochi "raggi", e la corona appare come un alone senza forma, ed è poco appariscente.

Purtroppo durante il periodo del minimo di Maunder gli astronomi non avevano l'abitudine di spostarsi per il mondo a seguire le eclissi totali (non era facile, allora, superare le grandi distanze), e così solo pochissime delle oltre sessanta eclissi che si verificarono furono studiate nei dettagli.

Tuttavia, quelle che vennero analizzate mostrarono sempre una corona del tipo che si produce quando le macchie solari sono al minimo.

Le aurore boreali e le alterazioni della corona erano altrettante tessere di un solo mosaico, e anche se all'epoca non c'era ragione di associarle per un verso o per l'altro, alle macchie solari, tutti e tre i fenomeni combaciano esattamente come dovrebbero.

Aggiungiamo ora un'altra tessera, la più rivelatrice...

Nel biossido di carbonio atmosferico c'è sempre un po' di carbonio-14 radioattivo: è prodotto dall'impatto dei raggi cosmici con gli atomi di azoto presenti nell'atmosfera. Le piante assorbono il biossido di carbonio e l'incorporano nei loro tessuti. Se in un particolare anno, nel biossido di carbonio atmosferico c'è una maggior quantità di carbonio-14, allora il tessuto delle piante è più ricco del solito di quell'atomo radioattivo. La presenza di carbonio-14, leggermente superiore o inferiore al normale che sia, è comunque straordinariamente esigua, ma gli atomi radioattivi possono essere scoperti con grande accuratezza e precisione, anche solo da una traccia.

Ora, quando il Sole è magneticamente attivo il suo campo si espande con tale ampiezza che la stessa Terra ne è avviluppata. Il campo deflette una parte dei raggi cosmici, sicché il carbonio-14 che si forma e si deposita nei tessuti delle piante è meno del solito.

Quando il campo magnetico solare si ritira, e le macchie si riducono al minimo, la Terra non è più protetta, e viene colpita da una maggiore quantità di raggi cosmici, e la produzione e il deposito di carbonio-14 aumentano di nuovo.

In breve, i tessuti vegetali formatisi negli anni di "minima" del ciclo delle macchie

sono insolitamente ricchi di carbonio-14, mentre quelli formatisi negli anni di "massima" ne sono insolitamente poveri.

Gli alberi presentano degli ispessimenti nel legno, che somigliano ad anelli; se noi conosciamo l'anno in cui un albero è stato tagliato e contiamo a ritroso gli anelli a partire dalla corteccia, possiamo associare ogni anello a un determinato anno.

Se si tagliano e si analizzano separatamente i vari anelli in base al loro contenuto di carbonio-14 (tenendo conto che questo diminuisce con gli anni, perché gli atomi decadono seguendo un ritmo determinato) si può ricostruire un ciclo completo delle macchie solari senza aver dato neppure un'occhiata ai resoconti astronomici. (È un procedimento un po' rischioso, comunque, perché possono esserci altri fattori che alterano il tasso di carbonio-14 e che non hanno a che fare col campo magnetico del Sole).

Per la cronaca, gli anelli che datano alla seconda metà del XVII secolo sono insolitamente ricchi di carbonio-14, il che è un'ulteriore conferma del minimo di Maunder.

In effetti i dati ottenibili dagli anelli degli alberi sono indispensabili per due motivi. Primo, non dipendono dalle semplici registrazioni di osservazioni umane, naturalmente soggettive ed incomplete. Secondo, mentre le osservazioni dell'uomo si fanno via via più scarse mentre retrocediamo oltre il 1700, le informazioni che ci vengono dagli alberi abbracciano periodi molto più lunghi.

Se ci serviamo dei pini di California, gli alberi di maggiore longevità, possiamo studiare le variazioni del carbonio-14 per cinquemila anni, cioè coprire tutto l'arco della storia conosciuta.

John A. Eddy riferisce che sembrano essere circa dodici, durante gli ultimi cinquemila anni, i periodi in cui l'attività magnetica solare si è abbassata, e che i periodi di attività minima sono durati dai cinquanta ai duecento anni. Il minimo di Maunder è solo l'ultimo di questi.

Prima di quello di Maunder ci fu un periodo di minima dal 1400 al 1510; d'altra parte ci sono stati periodi di attività particolarmente intensa, come quello compreso tra il 1100 e il 1300.

Sembra dunque che nell'esistenza delle macchie solari esista un ciclo di più lunga durata, a cui si sovrappone quello di breve durata scoperto da Schwabe. Ci sono periodi in cui il Sole è quieto, il campo magnetico è debole e regolare, e le macchie solari e i fenomeni connessi sono virtualmente assenti, e periodi in cui il Sole è attivo, il campo magnetico subisce forti oscillazioni d'intensità e allora le macchie e i fenomeni associati raggiungono i loro culmini decennali.

Ma che cosa provoca questa vistosa oscillazione che dai minimi di Maunder va ai culmini di Schwabe?

Ho detto prima che le macchie sembrano causate da scarsa omogeneità nella rotazione delle varie parti della superficie solare. Cosa succederebbe, se questo inconveniente non si verificasse?

Dagli schizzi di macchie solari eseguiti dall'astronomo tedesco Johannes Hevelius nel 1644, proprio all'inizio del minimo di Maunder, sembrerebbe che a quell'epoca il Sole ruotasse in maniera del tutto omogenea. Dunque niente turbamenti, niente linee magnetiche sconvolte, ma solo un tranquillo e controllato campo magnetico: le

condizioni del minimo di Maunder, appunto.

Ma perché il Sole ruota a volte in maniera omogenea, dando luogo ai minimi di Maunder, e a volte in maniera sfasata, dando luogo ai culmini di Schwabe?

Sono lieto di poter rispondere a questa interessante domanda in modo chiaro e conciso: nessuno lo sa.

Che cosa accadde sulla Terra durante il minimo di Maunder? Ecco, durante quel periodo l'Europa patì una "piccola era glaciale", e il clima fu più freddo di quanto fosse mai stato prima o sarebbe stato poi. Anche il minimo precedente, dal 1400 al 1510, fu caratterizzato da clima freddo: la colonia norvegese in Groenlandia perì sotto la morsa del gelo dopo aver resistito per oltre quattro secoli.

Ma queste sono solo piccole coincidenze. Io ho un esempio migliore da portare.

Che probabilità ci sono che un sovrano possa regnare per settant'anni? Molto poche, ovviamente. Solo un re, nella storia europea, è riuscito a governare per tanto tempo: Luigi XIV di Francia.

Dato un regno di tale lunghezza, e un minimo di Maunder di uguale durata, quante sono le probabilità contrarie alla loro perfetta coincidenza? Enormi, suppongo, ma sta di fatto che Luigi XIV ascese al trono alla scomparsa di suo padre nel 1643 e vi rimase fino alla morte, nel 1715. Regnò cioè esattamente durante il minimo di Maunder.

Nella sua infanzia, il futuro Luigi XIV era stato costretto a lasciare Parigi per sottrarsi alla cattura da parte dei nobili ribelli durante la guerra della Fronda. Non si dimenticò mai né di Parigi né di quei nobili.

Dopo aver preso in mano le redini del governo alla morte del suo ministro Giulio Mazarino, avvenuta nel 1661, re Luigi decise di fare in modo che il fatto non succedesse mai più. Così, lasciata Parigi, stabilì la nuova capitale a Versailles. Instaurò quindi un elaborato codice d'etichetta, così da ridurre l'orgogliosa nobiltà a una classe di lacché priva di velleità rivoluzionarie.

In breve, fece di se stesso un simbolo, senza rivali, dello stato (« Lo stato sono io », disse), mentre il resto della corte avrebbe brillato unicamente di luce riflessa.

Assunse quindi come proprio simbolo il dominatore del sistema solare, da cui tutti gli altri corpi traggono luce, e si fece chiamare Re Sole.

E così, il sovrano il cui lungo regno coincise col periodo in cui il Sole splendette della più pura e immacolata maestà, è tuttora conosciuto con quell'appellativo.

Ecco una bella coincidenza, che resterà tale finché gli irrazionali non si lambiccheranno il cervello per darle un significato che non ha.

I mini-buchi di Hawking

The Road Lo Infinity, 1978
Traduzione di Giuseppe Lippi
Urania n. 791 (8 luglio 1979)

Quando vendetti il mio primo racconto di fantascienza, giusto quarant'anni fa, mio padre, tremendamente impressionato di scoprirsi membro della famiglia di un'importante personalità del mondo letterario mi disse: « D'ora in poi, devi comportarti con grande dignità, Isaac ». Per tutta risposta scoppiai a ridere.

Per quanto ne sapevo io a quell'epoca, mio padre aveva ragione, perché allora la gente pensava che gli scrittori dovessero avere l'aria di rospi boriosi. Io però non ce l'avrei mai fatta a darmi quel tono. Ero giovanissimo, allora, ma avevo già avuto occasione di sondare la mia psiche per scoprire che non possedevo la minima traccia di "dignità", e che non l'avrei mai sviluppata.

E infatti, così è stato.

Questo rende difficile alla gente trattarmi col timore e la reverenza dovutimi; così, quando il mio buon amico e fotografo ufficiale della fantascienza Jay Kay Klein volle sapere quanto sarebbe stato grosso un buco nero costituito da un corpo di massa normale, non ebbe scrupoli a mettere la cosa in questi termini: « Quanto sarebbe grosso Isaac Asimov se venisse compresso in un buco nero? »

Un altro caro amico, il fisico Milton Rothman, vecchio appassionato di fantascienza, si offrì di rispondere alla domanda. Per farlo, doveva conoscere la mia massa, e, facendo una supposizione sfortunatamente esatta, fornì a Jay Kay la risposta.

Il pensiero che io avrei potuto oppormi a essere compresso in un buco nero non servì a trattenere né Jay né Milt, anche se nessuno dei due si sarebbe mai sognato di fare lo stesso con i miei colleghi L. Sprague de Camp o Robert A. Heinlein, che possiedono entrambi una dignità innata, né tantomeno con Harlan Ellison, che li avrebbe fatti a pezzi se ci avessero provato. Ma nessuno si preoccupa del buon vecchio Isaac.

Comunque, da quel fatidico giorno io ho perso più di sette chili, e quindi i calcoli vanno rifatti. Dal principio, naturalmente.

Tutti i buchi neri hanno un raggio, detto "di Schwarzschild", dal nome dell'astronomo tedesco Karl Schwarzschild, che ne determinò il valore molto prima che i buchi neri diventassero un argomento di moda nei salotti. (Schwarzschild morì nel 1916). Il raggio da lui calcolato è la distanza fra il centro di un buco nero e un punto qualunque posto sulla sfera immaginaria che lo circonda, dove la velocità di fuga è uguale alla velocità della luce.

Niente può sfuggire a un buco nero (affermazione che modificherò più avanti) una volta che sia passato vicino al suo centro a una distanza inferiore al raggio di Schwarzschild. Questo, secondo il punto di vista convenzionale, è il luogo del "non ritorno". Quindi noi lo chiameremo semplicemente raggio del buco nero, e il doppio

del raggio di Schwarzschild sarà il diametro del buco nero.

Per calcolare il diametro di un buco nero bisogna servirsi dell'equazione

$$D = \frac{4GM}{C^2}$$

dove *D* è il diametro del buco nero, *G* è la costante gravitazionale, *C* la velocità della luce e *M* la massa del buco nero.

Ora come ora, la mia massa è di 74,8 chilogrammi, e sostituendo nell'equazione 74,8 al valore *M*, vediamo che se io venissi compresso in un buco nero, avrei un diametro di soli $2{,}22 \times 10^{-25}$ metri. È veramente difficile immaginare quanto sarei piccolo! Ci vorrebbero infatti dieci miliardi di oggetti delle mie dimensioni per raggiungere il diametro di un solo protone!

Lavorare con oggetti tanto piccoli è chiaramente impossibile. Consideriamo invece i corpi celesti, e chiediamoci quale diametro avrebbero se compressi in un buco nero.

Cominciamo con la Luna, che ha una massa svariati miliardi di bilioni di volte superiore alla mia, poi prendiamo la Terra, che ha una massa 81 volte superiore a quella della Luna, poi Giove, la cui massa è 318 volte quella della Terra, quindi il Sole, che ha 1.048 volte la massa di Giove, poi l'ammasso globulare nella costellazione di Ercole, che ha una massa pari a circa un milione di volte quella del Sole, poi l'intera Galassia che ha 150.000 volte la massa dell'ammasso globulare di Ercole, e infine consideriamo tutto l'universo, la cui massa è forse cento miliardi di volte quella della nostra Galassia.

Ecco i risultati:

Oggetto	Massa (in chilogrammi)	Diametro del buco nero (in metri)
Luna	$7{,}35 \times 10^{22}$	$2{,}18 \times 10^{-4}$
Terra	$5{,}98 \times 10^{24}$	$1{,}78 \times 10^{-2}$
Giove	$1{,}90 \times 10^{27}$	5,64
Sole	$1{,}99 \times 10^{30}$	$5{,}91 \times 10^{3}$
Ammasso globulare	2×10^{36}	6×10^{9}
Galassia	3×10^{41}	9×10^{14}
Universo	3×10^{52}	9×10^{25}

I numeri esponenziali sono facili da usare, ma non permettono necessariamente di figurarsi, alla prima occhiata, le grandezze che rappresentano. Consideriamo allora i diametri di tutti questi buchi neri da un altro punto di vista. Per cominciare, usiamo una terminologia più comoda. Invece di dire "un buco nero con la massa della Luna" diciamo semplicemente B-Luna, e così anche per gli altri corpi.

Il diametro del B-Luna è circa un quinto di millimetro, una dimensione che lo

renderebbe appena visibile senza la lente d'ingrandimento (ma lo straordinario è che avrebbe lo stesso una massa pari a quella della Luna!).

Il B-Terra misurerebbe 1,78 cm di diametro: le dimensioni di una biglia.

Con il B-Giove cominceremmo a vedere qualcosa di più consistente, poiché misurerebbe 5,64 metri di diametro: riempirebbe cioè un ampio soggiorno alto due piani.

Il B-Sole misurerebbe 5,91 chilometri di diametro, e avrebbe il volume di un piccolo asteroide.

Il B-Ammasso misurerebbe 6 milioni di chilometri di diametro, e avrebbe circa ottanta volte il volume del Sole.

Il B-Galassia avrebbe un diametro di circa un bilione di chilometri (circa un decimo di un anno luce) e sarebbe molto più ampio dell'orbita di Plutone.

Infine il B-Universo avrebbe un diametro di dieci miliardi di anni luce: una dimensione più che rispettabile.

Avrete notato, dall'equazione che ho usato, che il diametro di un buco nero è proporzionale alla sua massa, oppure, il che è la stessa cosa, che la massa è proporzionale al diametro.

Questo è un fatto curioso e non coincide con quello che ci aspetteremmo in oggetti normali.

Sappiamo dalla geometria che il volume di una sfera è proporzionale al cubo del suo diametro. In altre parole, il volume di una sfera che misura due metri di diametro è pari a 2 x 2 x 2, ovvero è otto volte il volume di una sfera del diametro di un metro. (Ciò rimane vero anche per i cubi e per ogni altro solido di qualunque forma, fintanto che non cambiano forma e proporzioni, pur ingrandendosi o rimpicciolendo.)

Prendiamo ad esempio una sfera composta di una sostanza di una certa densità: se questa densità non cambia all'ingrandirsi o al rimpicciolire della sfera, allora la massa della sfera è proporzionale al volume. Se una sfera grossa ha un volume otto volte superiore a quello di una sfera piccola, anche la massa della sfera più grande sarà di otto volte la massa della piccola. Ne consegue che, a patto di mantenere costante la densità, la massa di una sfera è proporzionale al cubo del suo diametro; o, per dirlo alla rovescia, il diametro di una sfera è proporzionale alla radice cubica della sua massa.

Come mai, allora, in un buco nero il diametro non è proporzionale alla radice cubica della massa, ma è direttamente proporzionale alla massa?

La risposta sta nel fatto che nel caso dei buchi neri la densità non si mantiene costante. Un buco nero grande è meno denso di uno piccolo, e in un buco nero grande è compressa una massa, inferiore a quella che vi aspettereste dal suo volume. Per questa ragione la massa di un buco nero con un diametro di due metri non è otto volte ma solo due volte (il doppio) quella di un buco con un diametro di un metro.

Per dare un senso a tutto questo, considerate quello che succede quando un qualsiasi corpo viene compresso.

Poniamo che l'attrazione esercitata dalla Terra su di voi, che vi trovate sulla superficie del pianeta, sia di 70 chilogrammi. Quest'attrazione aumenterà se la distanza fra voi e il centro della Terra diminuisce, a condizione che l'intera massa terrestre rimanga tra voi e il centro del pianeta.

Se, per ipotesi, cercaste di avvicinarvi al centro della Terra scavando una galleria attraverso la crosta e il mantello, vi lascereste alle spalle una quantità sempre maggiore di massa terrestre, che si contrapporrebbe all'attrazione, e pertanto, avvicinandovi al centro, voi sperimentereste un'attrazione gravitazionale sempre più debole. Arrivati finalmente al centro della Terra, non avvertireste più nessuna attrazione e vi trovereste in condizioni di gravità zero.

Se però la Terra venisse compressa in una sfera sempre più piccola, senza perdere nemmeno un briciolo della sua massa (col che la sua densità aumenterebbe costantemente) e voi rimaneste sulla superficie mentre questo avviene, vi avvicinereste ugualmente al centro, ma l'intera massa terrestre rimarrebbe tra voi e il centro. Quindi l'attrazione gravitazionale su di voi aumenterebbe fino a portarvi sulla via dell'infinito, poiché una volta che la Terra fosse stata compressa a volume zero e densità infinita, voi vi trovereste nel suo centro a densità infinita, e anche l'attrazione gravitazionale non sarebbe niente di meno che infinita.

A un certo punto del processo di compressione, inoltre, la gravità di superficie raggiungerebbe lo stadio in cui la velocità di fuga è pari a quella della luce: questo punto contrassegnerebbe il raggio di Schwarzschild, e la cosa accadrebbe per ogni corpo dotato di una massa, non importa quanto piccola.

Naturalmente, più grande è la massa di un corpo, maggiore sarà la sua gravità di superficie, e minore la necessità di comprimerlo per sviluppare una gravità di superficie abbastanza intensa da produrre una velocità di fuga pari a quella della luce. Poiché i corpi con gravità maggiore hanno meno bisogno di essere compressi, quando diventano buchi neri essi raggiungono un livello di densità minore. Supponiamo per esempio di calcolare la densità dei buchi neri di cui abbiamo parlato prima. Sarebbe qualcosa del genere:

Buco nero	Densità (in kg per metro cubo)
—	—
B-Luna	$4,2 \times 10^{34}$
B-Terra	$6,4 \times 10^{30}$
B-Giove	$6,3 \times 10^{25}$
B-Sole	$5,8 \times 10^{21}$
B-Ammasso globulare	$5,6 \times 10^{7}$
B-Galassia	$2,5 \times 10^{-3}$
B-Universo	$2,5 \times 10^{-25}$

Ci siamo abituati a pensare che i buchi neri siano estremamente densi, e la cosa è ragionevole se pensiamo a buchi neri con masse non superiori a quelle di una singola stella. La densità dell'acqua è di 1.000 chilogrammi per metro cubo, sicché il B-Sole è un miliardo di miliardi di volte più denso dell'acqua.

I buchi neri di dimensioni inferiori a quelle di una stella sono ancora più densi: il B-Luna è dieci bilioni di volte più denso del B-Sole, mentre la densità del B-Asimov sarebbe 1,6 x 1.077 chilogrammi per metro cubo. A questa densità, l'intero universo

potrebbe essere contenuto nel volume di un atomo comune.

Le cose invece sono diverse se consideriamo i buchi neri di dimensioni superstellari. Il B-Ammasso è solo un centinaio di migliaia di volte più denso dell'acqua, e il B-Galassia è molto meno denso dell'acqua. In particolare, il B-Galassia ha una densità media pari a circa 1/500 di quella dell'aria sulla superficie della Terra. Ovviamente entro l'estensione del B-Galassia, che è un decimo di anno luce, la densità può non essere uniforme dappertutto; è anzi facile immaginare che essa aumenti gradualmente a mano a mano che ci si avvicina al centro. Se questo è vero, allora le regioni periferiche saranno estremamente poco dense. In altre parole, la maggior parte di un simile buco nero ci si presenterebbe, in termini di densità, come prossima al vuoto assoluto.

Questo è tanto più vero nel caso del B-Universo, il cui diametro non sarebbe molto più piccolo del diametro dell'universo reale, e la densità media non sarebbe molto più grande di quanto sia nell'universo che ci è familiare.

Ma il caso paradossale si presenta se ipotizziamo che l'universo abbia in realtà una massa maggiore di quella che io ho prospettato. Gli astronomi, ora come ora, credono di no, ma possono sbagliarsi: ci sono indizi che fanno pensare che le galassie siano circondate da nubi di stelle e gas, esterne ai loro confini osservabili, che aggiungerebbero una massa imprevista sia alle galassie sia all'universo in generale. Senza contare che potrebbero esistere molti più buchi neri, e molto più grandi, di quanto gli astronomi ritengano, e così via.

Supponiamo, dunque, che la massa dell'universo sia un centinaio di volte maggiore di quanto ho detto all'inizio dell'articolo. In questo caso il B-Universo avrebbe un diametro di 9×10^{27} metri, ovvero di un bilione di anni luce, pari a quaranta volte il diametro dell'universo osservabile. La densità media del B-Universo sarebbe, in questo nuovo caso, di circa $2{,}5 \times 10^{-29}$ chilogrammi per metro cubo, cioè più o meno corrispondente a quella che forse è la densità media dell'universo reale.

In altre parole, se l'universo avesse davvero una massa maggiore di quella che gli astronomi credono, esso sarebbe già adesso, di fatto, un buco nero, e questo spiegherebbe una quantità di cose.

Per esempio, se l'universo avesse una massa maggiore di quella attualmente calcolata, esso non si espanderebbe per l'eternità. L'attrazione gravitazionale globale arresterebbe gradualmente questa espansione, che poi cederebbe il posto a una contrazione, dapprima molto lenta, ma con una leggera accelerazione costante.

Se l'universo fosse un buco nero, se ne vedrebbe facilmente la dimostrazione: nessuna sua parte potrebbe spingersi oltre il raggio di Schwarzschild, che rappresenterebbe il limite (diametro) massimo raggiungibile con l'espansione, dopodiché (o magari anche prima) comincerebbe la contrazione.

Durante il periodo di espansione, in cui attualmente ci troviamo, è possibile che le condizioni esistenti al centro delle galassie, degli ammassi globulari, delle stelle più grandi, producano buchi neri di massa e dimensioni di gran lunga inferiori a quelle del B-Universo. Questi buchi più piccoli, ovviamente all'interno del B-Universo, hanno masse che probabilmente vanno da tre, volte a dieci miliardi di volte quella del Sole. Tutti sono perciò relativamente piccoli, con diametri che vanno da quello di un asteroide di dimensioni limitate a quello di un grande sistema planetario. La materia,

all'interno di questi buchi neri, è di solito compressa a una densità enorme e ha scarse possibilità di espansione entro i confini del buco nero.

Durante il periodo di contrazione dell'universo si formeranno piccoli buchi neri supplementari, e una percentuale di materia via via maggiore vi verrà strettamente compressa, essendo incapace di spezzare le catene dei rispettivi raggi di Schwarzschild.

Alla fine, però, la contrazione spingerà i buchi neri a unirsi in un unico, grandissimo buco nero, che avrà la massa dell'universo. Questa situazione, tuttavia, non è stabile: anche l'unico, grande B-Universo ha il suo raggio di Schwarzschild che si estende per mezzo bilione di anni luce in ogni direzione, e che non si è affatto modificato durante il grande ciclo di espansione e contrazione.

Essendoci dunque uno spazio enorme in cui espandersi di nuovo, "l'uovo cosmico" appena formatosi (scaldandosi, nel processo di fusione, a temperature inimmaginabili) prontamente si gonfierà di nuovo verso l'esterno in un'esplosione di ampiezza incalcolabile, e il tutto ricomincerà daccapo.

Il fisico inglese Stephen Hawking ha applicato la meccanica dei quanti alle equazioni relativistiche usate per scoprire le proprietà dei buchi neri, e ha scoperto che l'opinione diffusa, secondo la quale niente può sfuggire ad un buco nero, va leggermente modificata.

L'energia di un buco nero ruotante si converte talvolta in una coppia particella/antiparticella situata esattamente alla distanza corrispondente al raggio di Schwarzschild. Le due particelle si muovono ovviamente in direzioni opposte: una si muoverà verso l'interno del buco nero, e l'altra si muoverà verso l'esterno, tanto da sfuggirne. Il risultato è una lenta fuga di massa fuori dal buco nero, accompagnata da radiazioni elettromagnetiche; in altre parole il buco nero subisce una specie di evaporazione.

Questo accade solamente alla superficie del buco nero. Ora, più grande è la sua massa, più un buco nero è ampio, e più piccola è la percentuale del suo volume totale prossima alla superficie. In un buco nero piccolissimo, invece, quasi tutta la materia si trova vicina alla superficie, e di conseguenza è quasi tutta soggetta all'effetto di evaporazione.

Il modo più semplice per capire questo punto è quello di supporre che i buchi neri abbiano una temperatura e che stiano bollendo, per così dire. Dato poi che più sono piccoli, più sono caldi, i più piccoli evaporano più presto. In realtà, gli effetti quantici fanno sì che i buchi neri irradino la loro massa in una quantità e a una velocità equivalenti a quelle che si produrrebbero se essi fossero a una temperatura di $10^{23}/M$ rispetto allo zero assoluto, dove M è la massa del buco nero in chilogrammi.

Un B-Giove, quindi, si comporterebbe come se si trovasse a una temperatura di 0,0005 gradi Kelvin, cioè sarebbe solo un duemillesimo di grado sopra lo zero assoluto e gli ci vorrebbe un tempo lunghissimo per evaporare. Qualunque oggetto con una massa superiore a quella di un B-Giove sarebbe dunque ancora più prossimo allo zero assoluto, e l'evaporazione sarebbe di così piccola entità e talmente lenta da poter essere ignorata.

Ciò è tanto più vero dal momento che, più grande è un buco nero, più è probabile

che si imbatta in materia da assorbire. Di conseguenza maggiore è la massa del buco nero, più è verosimile che esso si accresca, aumentando ulteriormente la propria massa. Il B-Giove, per esempio, farà incetta di materia a un ritmo abbastanza veloce da rimpiazzare molte volte quella che perde nell'evaporazione. In questo modo la sua temperatura si abbasserà sempre di più, e non ci sarà pericolo che esso scompaia, fino al momento in cui (se mai verrà) si fonderà nell'uovo cosmico.

Nonostante le modifiche apportate da questi calcoli, dunque, possiamo ancora considerare i buchi neri come immutabili e, affermando che niente ne sfugge, commettere un errore del tutto trascurabile.

Occupiamoci adesso dei buchi neri più piccoli del B-Giove. Il B-Terra è a una temperatura di 0,016 gradi Kelvin, cioè è ancora solo un sedicesimo di grado sopra lo zero assoluto, e il B-Luna ha una temperatura di 1,4 gradi Kelvin. Quindi anche quest'ultimo non evapora poi troppo; ma se prendiamo dei buchi neri ancora più piccoli...

Ehi, un momento! Di dove vengono tutti questi buchi neri piccoli? Il solo processo a noi noto con cui si può formare un buco nero è l'esplosione in supernova di una stella gigante, che darà luogo a un buco nero con una massa un po' superiore a quella del Sole. Al centro delle galassie giganti, un buco nero originato da una singola stella potrà accrescersi fino a raggiungere una massa pari a miliardi di volte quella del Sole, grazie all'assorbimento di nuova materia, all'inghiottimento di intere stelle o alla fusione con altri, buchi neri. Alla fine tutto l'universo si condenserà, sia pur momentaneamente, nell'uovo cosmico.

Ma allora, in questo processo come saltano fuori dei buchi neri "piccoli"?

Per quanto ne sappiamo, tenuto conto dei processi che si verificano oggi nell'universo, non siamo neppure in grado di provare l'esistenza di un buco nero "piccolo" quanto il Sole. Non parliamo poi di quelli ancora più minuscoli!

Stephen Hawking, tuttavia, ha suggerito una teoria completamente nuova circa la formazione dei buchi neri, secondo una meccanica che si è prodotta all'origine dell'universo stesso, e che ora non può più ripetersi.

All'epoca del "big bang", suppone il fisico inglese, l'indescrivibile violenza dell'esplosione avrebbe determinato qua e là pressioni locali più forti di quelle esistenti oggi anche al centro dei corpi più densi e massicci. Alcuni frammenti di materia, quindi, sarebbero stati sottoposti a una compressione enorme, che li avrebbe avvicinati a un volume zero e a una densità infinita, portandoli a diventare buchi neri. Qualsiasi quantità di materia, anche di massa minima, potrebbe dunque avere originato un buco nero.

Hawking, che chiama questi piccoli buchi neri "mini-buchi neri", afferma che si sarebbero formati solo all'epoca del "big bang", e mai più in seguito, che quelli attualmente esistenti sono vecchi quanto l'universo, e che possono essercene fino a trecento per anno luce cubo.

Essendocene di tutte le dimensioni, alcuni sarebbero così piccoli da avere una temperatura effettiva alquanto elevata, e un'evaporazione altrettanto apprezzabile. Un buco nero con la massa del grande asteroide Cerere avrebbe una temperatura effettiva di 8,5 gradi Kelvin, e uno con la massa del piccolo asteroide Icaro (che è appena di cinque bilioni di chilogrammi) avrebbe una temperatura effettiva di venti miliardi di

gradi Kelvin. E, più sono piccoli, più questi B-asteroidi evaporano in fretta. (Un B-Asimov avrebbe una temperatura di un miliardo di bilioni di gradi.)

Questi mini-buchi neri potrebbero evaporare più velocemente ,di quanto non riescano ad assorbire materia, e in tal caso la loro durata non sarebbe eterna. Se trascuriamo il fattore accrescimento, la durata di un buco nero è 10^{-19} M^3 secondi, dove M è la massa in chilogrammi.

Se un B-Sole non acquisisse nuova materia, gli ci vorrebbero qualcosa come 3×10^{64} anni per evaporare completamente.

Il che non sarà l'eternità, ma qualcosa che le assomiglia molto, specialmente considerando che un B-Sole raccoglierà "sempre" nuova materia.

Al contrario, un B-Asimov evaporerebbe così rapidamente che durerebbe appena un centobilionesimo di secondo. Sarebbe quindi del tutto inutile comprimermi in un buco nero, perché esploderei istantaneamente in una micro-versione del "big bang".

Ma allora, quanto piccolo può essere un buco nero per durare quindici miliardi di anni, cioè più o meno il lasso di tempo trascorso dal "big bang" del nostro universo?

Vediamo di calcolarlo noi:, questo lasso di tempo, cioè l'età attuale dell'universo, si può scrivere anche così: $4{,}73 \times 10^{17}$ secondi. Possiamo perciò ricavarne l'uguaglianza 10^{-19} $M^3 = 4{,}73 \times 10^{17}$, e trovare il valore di M.

Il risultato è $1{,}68 \times 10^{12}$ chilogrammi, e un buco nero di tale massa e al suo stato naturale, sarebbe l'equivalente di un asteroide sferico con circa un chilometro di diametro.

In altre parole, ogni mini-buco nero di massa inferiore a quella di un asteroide con il diametro di un chilometro oggi non esisterebbe più, dato che, supponendo che non avesse raccolto materia nel frattempo, sarebbe svanito nel periodo trascorso dal "big bang" a oggi; e tanto più piccolo era allora, tanto più presto è scomparso.

Ogni mini-buco nero di massa superiore a quella di un asteroide con il diametro di un chilometro, invece, dovrebbe esistere tuttora, anche se non si fosse per niente accresciuto. Non solo, dato che la durata di vita aumenta rapidamente con l'aumentare della massa, se la massa del mini-buco nero fosse solo del 10% maggiore di quella di un asteroide con il diametro di un chilometro, il mini-buco nero sarebbe sicuro di vivere per altri venti miliardi di anni.

Se invece il mini-buco nero avesse esattamente la massa di quell'asteroide di un chilometro di diametro, e non l'avesse mai aumentata, dovrebbe essere prossimo a concludere la sua esistenza proprio in questo periodo.

E, cosa molto importante, la sua non sarebbe una fine tranquilla. Quando un mini-buco nero evapora, la sua massa decresce, e questa diminuzione provoca un aumento della temperatura effettiva e della velocità di evaporazione. In altri termini, più un mini-buco nero evapora, più in fretta continua a evaporare... più in fretta, sempre più in fretta, finché l'ultimo milione di chilogrammi svanisce in dieci secondi.

L'esplosione finale (che, per la quantità di materia coinvolta, è violentissima) si risolve nella produzione di una pioggia di raggi gamma, le cui caratteristiche sono state esattamente calcolate da Stephen Hawking.

Ed Hawking raccomanda agli astronomi di cercare con attenzione questo particolare tipo di raggi gamma: se i loro strumenti li rilevassero, infatti, sarebbe impossibile attribuirne la causa ad altro che alla scomparsa di un mini-buco nero

formatosi all'epoca del "big bang" e la cui massa è stata sufficiente a farlo durare fino a oggi.

Per quanto ne so, questi raggi gamma non sono stati ancora scoperti, ma forse lo saranno in futuro. E se questo avverrà, allora sapremo che alcuni frammenti di materia sono pronti (dandogli tempo sufficiente) a ripercorrere il loro cammino sulla via dell'infinito.

Umano, troppo umano

Alas, All Human, 1978
Traduzione di Laura Serra
Urania n. 827 (16 marzo 1980)

Quando, nel lontano Medioevo, stavo facendo delle ricerche per laurearmi, mi trovai di fronte a una novità. Il mio professore, Charles R. Dawson, aveva imposto un nuovo tipo di *notes* che si poteva comprare alla libreria dell'università per una ragguardevole somma di monete del regno.

Il *notes* era fatto di pagine doppie numerate. Ciascuna doppia pagina consisteva di un foglio bianco saldamente cucito alla legatura e di un foglio giallo forato vicino alla legatura, in modo da poter essere staccato di netto.

Bisognava mettere un foglio di carta carbone fra il foglio bianco e quello giallo, scrivere i dati degli esperimenti, e alla fine di ciascuna giornata staccare i fogli gialli e consegnarli al professor Dawson. Lui esaminava dettagliatamente quelle pagine con noi studenti circa una volta alla settimana.

Le esercitazioni mi mettevano spesso in difficoltà perché, caro lettore, io in laboratorio non sono affatto bravo. Mi manca l'abilità manuale. Quando negli esperimenti ci sono di mezzo io, le provette cadono in terra e i reagenti rifiutano di comportarsi come di consueto. Questa fu una delle varie ragioni per cui, quando fu il momento, scelsi senza difficoltà lo scrivere e la teoria anziché la pratica e gli esperimenti.

Quando cominciai il mio lavoro di ricerca all'università, uno dei primi compiti che mi vennero affidati fu quello di imparare le tecniche sperimentali necessarie alle varie indagini che il nostro gruppo conduceva. Feci un certo numero di osservazioni, tutte in condizioni diverse, e poi riportai i risultati sulla carta millimetrata. In teoria, gli indici avrebbero dovuto disporsi su una curva piana. In realtà, invece, gli indici che apparivano sulla mia carta millimetrata erano sparsi sul foglio come vi fossero stati sparati da un fucile da caccia. In mezzo a tutta quella confusione tracciai la mia curva, la chiamai "curva di schioppo" e consegnai la copia carbone.

Il mio professore sorrise quando gli allungai il foglio assicurandolo che col tempo avrei fatto di meglio.

E così feci... un pochino. Ma venne la guerra e fu solo dopo quattro anni che tornai al laboratorio. C'era sempre il professor Dawson, che aveva conservato la mia curva di schioppo per farla vedere agli studenti.

Io dissi: — Diamine, professore, non dovreste mettermi alla berlina in quel modo.

E lui disse, molto serio: — Non ti metto alla berlina, Isaac. Anzi, esalto la tua onestà.

Rimasi perplesso, ma non espressi la mia perplessità. Dissi solo: — Grazie — e me ne andai.

Dopo di allora più di una volta cercai di capire che cosa avesse inteso il professore con quella frase. Lui aveva deliberatamente inventato quel sistema del *notes* con le doppie pagine proprio per sapere esattamente cosa facevamo ogni giorno, e se la mia

tecnica sperimentale era irrimediabilmente dilettantesca, non mi restava altra scelta che lasciarne le prove sulla carta carbone.

Poi un giorno, nove anni dopo aver preso la mia seconda laurea, quella in filosofia, ripensai a tutta la faccenda e d'un tratto capii che avrei potuto non segnare i dati direttamente sul *notes*.

Avrei potuto segnarli su un qualsiasi pezzo di carta e poi riportare le osservazioni, chiare e bene ordinate, sulle pagine del notes. E così facendo avrei potuto scartare tutte quelle osservazioni che non andavano bene.

E, una volta spintomi così lontano nella mia tardiva analisi, pensai anche che sarebbe stato possibile perfino cambiare i dati per renderli più plausibili, od inventarne qualcuno per provare una tesi e riportarlo dopo sulle pagine del *notes*.

D'un tratto capii perché il professor Dawson aveva ritenuto la mia curva di schioppo una dimostrazione di onestà, e mi sentii terribilmente imbarazzato.

Mi piace credere di essere onesto, ma la curva di schioppo non era affatto una prova di onestà. Non provava altro che la mia ingenuità.

Mi sentii imbarazzato anche per un'altra ragione. Mi sentii imbarazzato per essere arrivato a capire finalmente la cosa. In tutti quegli anni l'imbroglio scientifico era stato letteralmente inconcepibile per me, ed ora che l'avevo concepito, mi sentivo in colpa. Tra l'altro, proprio allora ero contento di avere deciso di fare lo scrittore a tempo pieno. Ma ora che avevo pensato all'imbroglio, avrei mai potuto fidarmi ancora di me stesso?

Tentai di esorcizzare quella sensazione scrivendo il mio primo romanzo giallo, nel quale uno studente falsificava i dati degli esperimenti e come diretto risultato veniva ucciso.

Ed ultimamente, ho riportato ancora una volta l'attenzione su questo tema...

La scienza in teoria è un meccanismo che ricerca la verità e che si auto-corregge. Possono esserci errori e giudizi sbagliati dovuti a dati incompleti od inesatti, ma nel meccanismo della scienza si va sempre dal meno vero al più vero!

Gli scienziati, tuttavia, non sono la Scienza. Per quanto gloriosa, nobile e soprannaturalmente incorruttibile sia la Scienza, gli scienziati sono purtroppo umani, troppo umani.

Anche se è scortese pensare che uno scienziato possa essere disonesto, e anche se ci si spezza il cuore quando, una volta ogni tanto, scopriamo che uno scienziato è stato davvero disonesto, non possiamo permetterci di non prendere in considerazione la cosa.

Nessuna osservazione scientifica può entrare nei libri dei conti della Scienza senza prima essere stata confermata dal successo di esperimenti indipendenti l'uno dall'altro. Questo perché ogni osservatore ed ogni strumento hanno delle imperfezioni e dei difetti congeniti per cui, anche quando l'osservatore sia perfettamente onesto, l'osservazione può essere soggetta a errore. Se un altro osservatore, con un altro strumento e con altre imperfezioni e difetti, fa la stessa osservazione, allora si potrà dire che questa osservazione ha una discreta possibilità di rispondere alla verità oggettiva.

Questo serve anche, tra l'altro, a prendere in considerazione il fatto che non si può partire dal presupposto della perfetta onestà. Serve insomma a controbilanciare l'eventualità di una disonestà scientifica.

La disonestà scientifica si presenta con vari gradi, alcuni dei quali appaiono quasi perdonabili.

Nei tempi antichi un tipo di disonestà intellettuale era quello di far passare le proprie opere per opere di un personaggio molto importante del passato.

E si può capirne bene la ragione. Poiché i libri allora si dovevano copiare diligentemente a mano, era difficile che fosse accettato qualsiasi autore. Forse l'unico modo per presentare le proprie opere al pubblico era di far credere che fossero state scritte da Mosè, o da Aristotele, o da Ippocrate.

Se l'opera del fraudolento autore era inutile e sciocca, attribuirne la paternità ad un grande personaggio del passato metteva in subbuglio tutta la dottrina e confondeva la storia finché non si riusciva ad accertare la verità.

Ma particolarmente tragico è il caso di un autore che, dopo avere prodotto una grande opera, si veda privato della sua paternità.

Un fatto del genere capitò ad un grande alchimista, l'arabo Abu Musa Jabir ibn Hayyan (721-815). Quando le sue opere furono tradotte in latino, nella trascrizione il suo nome diventò "Geber", e tale rimase da allora in poi.

Geber, tra le altre cose, preparò la biacca di piombo[10], l'acido acetico, il cloruro d'ammonio e l'acido nitrico debole. Inoltre, cosa più importante di tutte, descrisse molto accuratamente i metodi seguiti ed instaurò l'uso (non sempre seguito) di rendere possibile agli altri la ripetizione degli esperimenti e la verifica della bontà dei risultati.

Intorno al 1300 visse un altro alchimista, che fece la più importante di tutte le scoperte alchimistiche. Fu il primo a descrivere la preparazione dell'acido solforico, il più importante prodotto della moderna industria chimica di base che non si trovi libero in natura.

Questo alchimista, per riuscire ad essere pubblicato, attribuì le proprie scoperte a Geber, e fu pubblicato sotto il nome di lui. Il risultato è che ci riferiamo a lui come al "falso Geber". Così, l'uomo che fece questa grande scoperta ci è completamente sconosciuto: ne ignoriamo il nome, la nazionalità, perfino il sesso, perché avrebbe potuto benissimo essere una donna.

Ancor peggiore è il peccato contrario, quello di attribuirsi quello che è altrui.

Un caso classico è quello di cui fu vittima il matematico italiano Niccolò Tartaglia (1500-1557), che fu il primo a elaborare un metodo generale per risolvere le equazioni cubiche. A quei tempi i matematici si sottoponevano l'un l'altro dei problemi, e la loro fama dipendeva dalla loro abilità a risolverli. Tartaglia riusciva a risolvere problemi che implicavano equazioni cubiche ed a sottoporre agli altri matematici problemi che essi trovavano insolubili. A quei tempi, era naturale che simili scoperte venissero tenute segrete.

Un altro matematico italiano, Girolamo Cardano (1501-1576) a forza di lusinghe indusse Tartaglia a confidargli il metodo: Cardano promise solennemente a Tartaglia di tenere segreta la scoperta, ed invece si affrettò a darla alle stampe. Cardano ammise in verità di avere appreso il metodo da Tartaglia, ma non lo ammise a voce molto alta, per cui il metodo per risolvere le equazioni cubiche è ancora oggi definito "regola di

---

[10] Pigmento bianco costituito da carbonato basico di piombo, usato come pigmento base per vernici e, in passato, per cosmetici. (*N.d.R. - DeMauro Dizionario della lingua italiana*)

Cardano".

In un certo senso, Cardano era giustificato. Le scoperte scientifiche che non vengono pubblicate sono in complesso inutili alla scienza. Oggi è considerata decisiva la pubblicazione e la fama va, per unanime consenso, al primo che pubblica e non al primo che scopre. Tale regola non esisteva al tempo di Cardano, ma se l'applichiamo retrospettivamente, vediamo che in ogni caso la fama sarebbe dovuta andare a Cardano.

(Naturalmente, quando la pubblicazione delle scoperte sia, senza colpa dello scopritore, ritardata, lo scopritore può perdere tutta la fama cui avrebbe diritto, e di simili casi ce ne sono stati abbastanza nella storia della scienza. Ma questo è l'inevitabile effetto collaterale di una regola che, in generale, è valida.)

Si può giustificare molto di più il fatto che Cardano pubblicò il metodo di Tartaglia che il suo avere infranto la promessa fatta a quest'ultimo. Voglio dire che pubblicare il metodo non fu, dal punto di vista scientifico, una cosa disonesta, ma fu subdolo il modo in cui Cardano arrivò a farlo.

Per passare ad un altro esempio, lo zoologo inglese Richard Owen (1804-1892) avversava moltissimo la teoria evoluzionistica di Darwin, soprattutto perché Darwin postulava cambiamenti casuali che parevano negare che ci fosse uno scopo nell'Universo.

Dissentire dalle teorie di Darwin era pieno diritto di Owen. Era anche diritto di Owen confutare la teoria darwiniana sia con le parole sia con gli scritti. È però sleale scrivere, come fece Owen, una serie di articoli anonimi citando le proprie opere con riverenza ed approvazione.

Fa sempre effetto, naturalmente, citare personaggi autorevoli. Fa molto meno effetto citare se stessi. Far credere di star facendo la prima cosa quando in realtà si sta facendo la seconda, è disonesto, ed è disonesto anche se si è ritenuti delle autorità indiscusse. C'è una fondamentale differenza psicologica.

Owen, sempre tenendosi nell'anonimato, fomentò anche discussioni antidarwiniane volgari e viscerali, che lui si sarebbe vergognato di fare in prima persona.

Un altro tipo di magagna nasce dal fatto che gli scienziati sono soggetti ad innamorarsi delle proprie idee. È sempre con profondo rammarico che si ammette di essere in errore. Di solito si fanno i salti mortali pur di salvare le proprie teorie, e capita che ci si rimane attaccati anche quando tutti gli altri le hanno abbandonate da tempo. La cosa è talmente umana che non c'è quasi bisogno di commentarla, ma diventa importante quando lo scienziato che vi è coinvolto è vecchio, famoso e rispettato.

Esempio eccellente è quello del chimico svedese Jöns Jakob Berzelius (1779-1848), uno dei più grandi chimici della storia della scienza. Negli anni della vecchiaia, Berzelius diventò un gran conservatore, dal punto di vista scientifico. Aveva elaborato una teoria della struttura organica dalla quale non derogava mai, e dalla quale tutti gli altri chimici del mondo non osavano discostarsi per timore dei suoi strali.

Il chimico francese Auguste Laurent (1807-1853) presentò nel 1836 una teoria alternativa che oggi noi sappiamo essere più vicina alla verità. Laurent accumulò prove molto solide a sostegno della sua teoria, e tra quelli che lo appoggiarono ci fu il chimico francese Jean Baptiste Dumas (1800-1884).

Berzelius contrattaccò furiosamente e Dumas allora, non osando mettersi contro

quel grande uomo, si ritrasse in buon ordine, abbandonando Laurent. Ma questi tenne duro e continuò ad accumulare prove. La ricompensa fu che venne escluso dai più famosi laboratori. Si ritiene che abbia contratto la tubercolosi proprio perché fu costretto a lavorare in laboratori di provincia poco riscaldati, cosa che lo portò ad una morte prematura.

Dopo la morte di Berzelius le teorie di Laurent vennero in auge e Dumas, forte del fatto che in un primo tempo le aveva appoggiate, cercò di ottenere una fetta non indifferente di gloria, dimostrando così di essere abbastanza disonesto, dopo avere già dimostrato di essere abbastanza codardo.

L'*eslablishment* scientifico molto spesso fa così fatica a convincersi della bontà delle nuove idee che il fisico tedesco Max Planck (1858-1947) disse una volta, lamentandosi, che l'unico modo per fare accettare all'ambiente scientifico le scoperte rivoluzionarie è di aspettare che tutti i vecchi scienziati muoiano.

Tra i vari peccati, c'è anche l'eccessiva bramosia di fare una qualche scoperta. E perfino lo scienziato più rigidamente onesto può essere indotto in tentazione.

Prendete il caso del diamante. Sia la grafite sia il diamante sono composti di carbonio puro. Se la grafite viene sottoposta a intensa pressione, i suoi atomi dovrebbero disporsi secondo la configurazione di quelli del diamante. Non occorre poi una pressione eccessiva se la temperatura viene elevata tanto da permettere agli atomi di muoversi a loro agio. Occorrerebbe dunque una giusta combinazione di alta pressione ed alta temperatura.

Il chimico francese Ferdinand Frédéric Henri Moissan (1852-1907) decise di dedicarsi all'impresa. Pensò che il carbonio si sarebbe dovuto sciogliere nel ferro fuso. Se il ferro fuso veniva lasciato solidificare, nel processo doveva contrarsi, e facendolo avrebbe dovuto esercitare una forte pressione sul carbonio sciolto. La combinazione di alta temperatura e di forte pressione avrebbe dovuto portare l'esperimento al successo. Se il ferro si fosse sciolto, nel residuo si sarebbero dovuti trovare dei piccoli diamanti.

Oggi noi sappiamo fin nei minimi particolari in quali condizioni la grafite si trasforma in carbonio e sappiamo, senz'ombra di dubbio, che le condizioni create da Moissan per il suo esperimento erano del tutto insufficienti. Moissan non avrebbe mai potuto produrre diamanti.

Ed invece lo fece.

Nel 1893 espose vari diamanti piccolissimi e impuri ed un frammento di diamante incolore lungo più di mezzo millimetro, dicendo che li aveva ottenuti dalla grafite.

Come poteva essere vero? Era dunque possibile che Moissan avesse mentito? Ma a che gli sarebbe giovato, visto che la mancanza di conferme da parte di altri che avessero effettuato il suo stesso esperimento avrebbe dimostrato la sua malafede?

Ma pur tenendo conto di quest'ultima considerazione, niente impedisce di pensare che Moissan fosse impazzito e desiderasse dimostrare la sua teoria a qualsiasi costo. La maggior parte degli storici della scienza preferiscono pensare che uno degli assistenti di Moissan abbia tirato fuori la storia dei diamanti per giocare un tiro mancino al maestro. Moissan avrebbe abboccato ed annunciato l'esperimento, costringendo così l'assistente burlone ad andare fino in fondo alla sua burla.

Ancora più tipico è il caso del fisico francese René-Prosper Blondlot (1849-1930).

Nel 1895, il fisico tedesco Wilhelm Konrad Roentgen (1845-1923) aveva scoperto i

raggi X e nel 1901 aveva ricevuto il primo Premio Nobel per la fisica. Altre strane radiazioni erano state scoperte in quel periodo: i raggi catodici, i raggi anodici, i raggi Becquerel. Simili scoperte ricoprivano di gloria i loro autori, e Blondlot, abbastanza naturalmente in fondo, anelava alla gloria.

Nel 1903 annunciò l'esistenza dei "raggi N" (così chiamati in onore dell'università di Nancy, dove lui lavorava). Li produceva sottoponendo solidi come l'acciaio temperato a sforzi di trazione. I raggi potevano essere individuati e studiati grazie al fatto (diceva Blondlot) che illuminavano uno schermo di vernice fosforescente, che era già debolmente luminoso. Blondlot affermava di avere constatato l'accrescersi della luminosità, e altrettanto affermavano altri fisici. Il problema, però, era che le fotografie non mostravano quest'accresciuta luminosità, e che nessuno strumento più obiettivo dell'occhio umano ansioso di vedere quella certa cosa confermava le affermazioni di Blondlot. Un giorno, uno spettatore si mise in tasca di nascosto un pezzo indispensabile dello strumento che Blondlot usava.

Blondlot, che non se n'era accorto, continuò a vedere la luminosità e a "illustrare" il fenomeno. Alla fine lo spettatore mostrò a tutti il pezzo che si era messo in tasca e Blondlot, furioso, cercò di picchiarlo.

Dunque Blondlot barava deliberatamente? In certo qual modo credo di no. Semplicemente, voleva credere disperatamente ad una certa cosa, e finiva col crederci.

L'eccessiva bramosia di scoprire o di dimostrare una cosa può portare addirittura a falsificare i dati.

Prendiamo per esempio il botanico austriaco Gregor Mendel (1822-1884). Fondò la genetica ed elaborò molto correttamente le leggi fondamentali dell'ereditarietà. E lo fece incrociando ceppi di piselli che differivano per caratteristiche ben distinte. Esaminando i discendenti, scoprì che nella terza generazione il rapporto tra carattere dominante e carattere recessivo era di 3:1.

Alla luce delle successive conoscenze, tuttavia, ci rendiamo conto che i dati che ottenne appaiono un po' troppo perfetti. Le cifre avrebbero dovuto essere un po' meno ordinate. Alcuni ritengono che Mendel trovasse dei pretesti per correggere i valori che si allontanavano troppo dalle regole generali che lui aveva stabilito.

Questo non toglie nulla all'importanza delle sue scoperte, ma è certo che l'argomento dell'ereditarietà affascina profondamente gli esseri umani. Siamo molto più interessati al rapporto esistente tra noi ed i nostri antenati che ai diamanti, alle radiazioni invisibili ed alla struttura dei composti organici.

Per questo alcune persone sono ansiose di considerare l'ereditarietà responsabile in massima parte delle caratteristiche dei singoli individui e dei gruppi d'individui, mentre altre sono ansiose di considerarne responsabile l'ambiente. Generalmente, gli aristocratici ed i conservatori tendono a vedere la responsabilità nell'ereditarietà, mentre i democratici ed i radicali tendono a vederla nell'ambiente. Per quanto mi riguarda sono d'accordo con questi ultimi.

È molto probabile che in questa faccenda ci si faccia condizionare molto dalle passioni, al punto da voler sostenere a tutti i costi l'una o l'altra delle due convinzioni. È chiaro che, quando si comincia ad affrontare in modo così emotivo la questione, si finisce facilmente per non voler riconoscere la realtà dei dati.

Mettiamo che uno creda al massimo (molto più di me) nel condizionamento causato

dall'ambiente. L'ereditarietà gli sembrerà una sciocchezza. Crederà che qualsiasi cosa si erediti la si possa cambiare attraverso l'influenza dell'ambiente e trasmettere ai figli, i quali a loro volta potranno ulteriormente cambiarla, e così via. Questo concetto, che presuppone un'estrema plasticità degli organismi, è stato definito "ereditarietà dei caratteri acquisiti".

Il biologo austriaco Paul Kammerer (1880-1926) credeva nell'ereditarietà dei caratteri acquisiti. Cercò di dimostrarla lavorando, dal 1918 in poi, con le salamandre ed i rospi. Ci sono alcune specie di rospi il cui maschio ha le zampe di colore scuro. La femmina non le ha scure, ma Kammerer cercò di creare delle condizioni ambientali che potessero far sì che la femmina iscurisse le zampe, anche se quello delle zampe scure non era un suo carattere ereditario.

Kammerer affermò di essere riuscito nell'intento e descrisse nelle sue carte le zampe scure del rospo femmina, ma non permise che altri scienziati controllassero le sue affermazioni. Alla fine alcuni scienziati riuscirono a farsi consegnare qualche rospo femmina, e scoprirono che le zampe erano state scurite con inchiostro di China. Evidentemente Kammerer era giunto a questo perché spinto dal desiderio pazzesco di "dimostrare" la sua tesi. Dopo che il suo trucco fu smascherato, Kammerer si uccise.

Pulsioni altrettanto forti inducono a voler dimostrare il contrario, a voler dimostrare, per esempio, che l'intelligenza è un fatto ereditario e che ben poco possono fare l'istruzione e l'ambiente civilizzato per migliorare uno stupido.

Questo porta acqua al mulino di quelli che sono ai gradini più alti della scala economica e sociale, e che tendono a voler mantenere lo *status quo*. Gli altoborghesi hanno così la confortevole sensazione che i loro simili che stanno nel fango ci stiano perché hanno ereditato dei difetti irrimediabili, per i quali ben poco si può fare.

Autorevole sostenitore di questa teoria fu lo psicologo Cyril Lodowic Burt (1883-1971). Inglese, di estrazione altoborghese, dopo avere studiato a Oxford insegnò sia a Oxford sia a Cambridge. Studiò il QI di un certo numero di bambini mettendolo in correlazione con la professione dei genitori: liberi professionisti, uomini di chiesa, impiegati, operai specializzati, operai semispecializzati, operai non specializzati.

Burt scoprì che il QI rispecchiava perfettamente la professione dei genitori. Più bassa era la posizione del genitore nella scala sociale, più basso era il QI del bambino. Sembrava una dimostrazione perfetta del fatto che i poveri è giusto che restino al loro posto. Secondo la teoria di Burt, per esempio, era logico aspettarsi che (in media) un Isaac Asimov, essendo figlio di un bottegaio, diventasse bottegaio lui stesso, e non aspirasse a competere coi migliori di lui.

Dopo la morte di Burt, tuttavia, nacque qualche dubbio a proposito dei dati da lui registrati. Nelle sue statistiche c'era una perfezione che sollevava giusti sospetti, che crebbero sempre più. Sul numero di *Science* del 29 settembre 1978 apparve un articolo intitolato: "Il caso Cyril Burt: nuove scoperte". L'articolo era firmato da D.D. Dorfman, professore di psicologia presso l'università dell'Iowa. Il sottotitolo dell'articolo era: "È stato dimostrato, senza possibilità di dubbio, che l'eminente studioso inglese falsificò i dati relativi al rapporto tra QI e classe sociale di appartenenza".

Dunque le cose stavano così. Burt, come Kammerer, desiderava credere a una certa cosa, e per dimostrarla s'inventò i dati. Almeno, queste furono le conclusioni del professor Dorfman.

Parecchio prima ch'io sospettassi delle pastette di Burt, avevo scritto un articolo intitolato "Riflessione sul pensiero", in cui denunciavo i test d'intelligenza ed esprimevo la mia disapprovazione per quegli psicologi che ritengono che i test del QI servano a determinare cose come l'inferiorità razziale.

Uno psicologo inglese che era uno dei più attivi sul versante dei QI lesse l'articolo, che gli fu mostrato da suo figlio, e s'infuriò. Il 25 settembre 1978 mi scrisse una lettera in cui sosteneva che i test del QI sono giusti dal punto di vista socioculturale e che i neri sono sempre di 12 punti inferiori ai bianchi anche quando l'ambiente e le possibilità d'istruzione sono simili. Mi suggerì anche di occuparmi di cose in cui fossi competente.

Quando ricevetti la lettera avevo ormai letto l'articolo di Dorfman su *Science* e notato che lo psicologo che mi aveva scritto aveva difeso a spada tratta Burt contro "l'assassinio maccartistico della sua reputazione". Aveva anche descritto chiaramente Burt come "un implacabile critico dell'operato degli altri quando questo si allontanava in qualche modo dagli standard più alti di accuratezza e di coerenza logica", ed aveva affermato che Burt "era tipo da fare polpette di tutti i lavori scadenti od inattendibili". In altre parole, era chiaro che Burt non solo era disonesto, ma era anche un ipocrita.

Così, nella mia breve risposta ad X, gli chiesi quanto del suo lavoro fosse basato sulle scoperte di Cyril Burt.

Mi scrisse una seconda lettera l'11 ottobre. Mi aspettavo un'altra vigorosa difesa di Burt, ma chiaramente X si era fatto più guardingo a questo proposito. Scriveva: "La questione di Burt e delle sue ricerche non è affatto pertinente: nel mio libro io ho rianalizzato tutti i dati disponibili, tralasciando completamente il contributo di Burt. Ai fini della conclusione ultima, prenderlo o meno in considerazione non fa alcuna differenza".

Gli risposi spiegando che secondo me l'opera di Burt era assolutamente pertinente. Essa dimostrava che gli scienziati che vogliono sostenere l'ereditarietà contro l'ambiente possono essere così terribilmente condizionati dalle loro passioni da giungere. ad abbassarsi fino al punto di falsificare i dati per dimostrare le loro teorie.

Date le premesse, conclusi, qualsiasi risultato che servisse alla propria causa doveva essere accolto con beneficio d'inventario.

Sono sicuro che il mio corrispondente è un uomo onesto, e non vorrei mai al mondo gettare qualche dubbio sulla sua opera. Tuttavia, il campo che si occupa dell'intelligenza umana e della sua misurazione resta ancora ambiguo. C'è una tale incertezza che è possibile trovar qualcuno pieno di onestà ed integrità che ti viene fuori, con risultati il cui valore è molto discutibile.

Io semplicemente credo che non sia giusto usare i test di QI per produrre risultati di valore discutibile atti a giustificare le idee dei razzisti ed a creare le condizioni per provocare il tipo di tragedia di cui siamo già stati testimoni in questo secolo.

È chiaro che anche le mie idee sono sospette. Anch'io potrei essere un tipo ansioso di dimostrare a tutti i costi una certa cosa, come lo era Burt, ma se devo correre il rischio (onesto) di sbagliare, preferisco correre il rischio di sbagliare combattendo contro il razzismo.

E questo è tutto.

L’incostante Luna

The Inconstant Moon, 1979
Traduzione di Laura Serra
Urania n. 840 (15 giugno 1980)

Quando avevo vent’anni, m’innamorai per la prima volta. Era l’amore più banale, più insignificante e più innocente che si potesse immaginare, ma avevo solo vent’anni ed ero immaturo per la mia età.

Un bel giorno accompagnai l’amata al luna park, dove c’erano i giochi più spericolati, e mi fermai davanti alle montagne russe.

Non ero mai stato sulle montagne russe, ma sapevo esattamente cos’erano... in teoria. Avevo sentito più volte le urla laceranti delle ragazze mentre il veicolo si precipitava giù, ed avevo osservato come tutte si aggrappassero ai loro accompagnatori.

Pensavo che se io e la mia amica fossimo andati sulle montagne russe, lei si sarebbe messa ad urlare e si sarebbe aggrappata forte a me, ed ero sicuro (pur non avendo alcuna esperienza in merito) che la sensazione di vicinanza che ne sarebbe seguita sarebbe stata molto piacevole. Perciò proposi all’amata di andare sulle montagne russe, e lei acconsentì senza scomporsi.

Mentre ci avvicinavamo piano alla vetta della prima montagna, ricordo che mi misi a pensare alla possibilità di baciare la ragazza nel momento in cui lei si fosse stretta a me in preda al terrore.

Cercai persino di mettere in pratica il mio esecrabile piano appena raggiungemmo la cima ed iniziammo la discesa.

Ma fui bloccato da una terribile scoperta: m’accorsi infatti di essere affetto da una grave forma (fino allora insospettata) di acrofobia, ovvero la paura patologica di stare in alto e di cadere dall’alto.

Fui io a stringermi forte alla ragazza (che si dimostrò indifferente ad entrambe le sensazioni: quella di cadere dall’alto, e quella di essere toccata da me), e non ebbi nemmeno modo di gustare quello stretto contatto. Infatti in quel momento avrei voluto con tutto me stesso soltanto una cosa: che la ragazza fosse la solida Terra.

Sopravvissi al viaggio, ma dimostrai di non possedere affatto il maschio sangue freddo di cui avrei voluto fare sfoggio e, manco a dirlo, non conquistai la ragazza (probabilmente, non l’avrei conquistata comunque).

Naturalmente non dovete pensare che le cose stiano peggio di come stanno. Sono solo contrario all’idea di cadere io, idea che considero molto brutta. Ma non è che mi renda insonne l’idea che altre cose cadano. Non mi sono mai preoccupato, per esempio, del fatto che la Luna possa cadere. (Non che sia così assurdo preoccuparsi di una cosa del genere. Newton lo fece, e finì con elaborare la teoria della gravitazione universale.)

Si dà il caso, però, che La Luna non cada. Anzi, fa esattamente il contrario, ed è proprio questo l’argomento di cui voglio parlare questa volta.

In un precedente articolo ho parlato del modo in cui le maree indeboliscono l'energia rotazionale della Terra, inducendo così la Terra stessa a rallentare la velocità di rotazione assiale e provocando un allungamento della durata del giorno dell'ordine di un secondo ogni 62.500 anni.

La Luna ha un'energia rotazionale inferiore a quella della Terra ed è soggetta all'effetto di marea esercitato dalla Terra (che ha una massa più grande) superiore a quello che la Terra subisce dalla Luna (che ha una massa inferiore) e quindi ha allungato la propria giornata più rapidamente di quanto non abbia fatto la Terra. Il periodo di rotazione della Luna è adesso di 27,32 giorni, un periodo che è esattamente uguale al suo periodo di rivoluzione intorno alla Terra (in rapporto alle stelle).

È stato proprio l'effetto di marea della Terra sulla Luna a rallentare la rotazione di quest'ultima al punto da costringerla a presentarci sempre la stessa faccia. Così come la Terra presenta il fenomeno dei rigonfiamenti in conseguenza della trazione in direzione della Luna (dovuta all'attrazione gravitazionale), anche la Luna, sottoposta a trazione in direzione della Terra, presenta lo stesso fenomeno, con un rigonfiamento che si trova nel punto più vicino alla Terra, e l'altro rigonfiamento nel punto diametralmente opposto. Ma da quando ci presenta sempre la stessa faccia, la Luna mostra sempre lo stesso rigonfiamento alla Terra. La Luna così non ruota passando attraverso i due rigonfiamenti (come invece fa la Terra), e l'effetto di marea è cessato. Perciò la giornata lunare non si allunga più come in passato.

La Luna è però tuttora soggetta ad un *piccolo* effetto di marea esercitato dalla Terra.

L'orbita della Luna è leggermente ellittica, e questo significa che la Luna si trova più vicina alla Terra durante una metà della sua orbita che durante l'altra metà. Quando la Luna è più vicina della media alla Terra, si muove un po' più velocemente della media: quando invece è più lontana, si muove un po' più lentamente.

D'altro canto, qualunque sia la distanza in un dato momento della Luna dalla Terra, la velocità di rotazione della Luna è assolutamente costante.

Quando la Luna è nella metà più vicina della sua orbita, la sua velocità orbitale, più intensa, sopravanza quella di rotazione, e la superficie della Luna (come è vista dalla Terra) sembra spostarsi molto lentamente da est ad ovest. Quando invece la Luna è nella metà più lontana della sua orbita, la velocità orbitale, più debole, è superata dalla velocità di rotazione, e la superficie della Luna (sempre per come è vista dalla Terra) sembra spostarsi molto lentamente da ovest ad est.

Questa lieve oscillazione della superficie della Luna, prima in ma direzione (per due settimane), poi in quella opposta (nelle altre due settimane), è chiamata "librazione", dalla parola latina *libra*, "bilancia". (La Luna sembra oscillare leggermente avanti e indietro intorno a un punto d'equilibrio, come fa la bilancia quanto su uno dei due piatti viene posto un piccolo peso.)

A causa della librazione, il rigonfiamento causato dall'effetto di marea si muove leggermente consumando energia rotazionale. Questo tende a smorzare a poco a poco la librazione, e a costringere la Luna ad oscillare sempre meno. Come conseguenza, la Luna si trova ad avere un'orbita via via meno ellittica e più circolare. Se l'orbita della Luna fosse perfettamente circolare, il ritmo di rotazione e di rivoluzione coinciderebbero, e la librazione finirebbe.

Il fatto che la Luna non ruoti sul piano dell'equatore terrestre fa sì che entri in gioco

una trazione eccentrica da parte del rigonfiamento equatoriale terrestre, il che provoca un ulteriore effetto di marea che può essere bilanciato dal leggero spostarsi della Luna sul piano equatoriale.

Gli effetti di marea secondari che ho appena descritto sono più deboli di quello che a poco a poco rallenta la rotazione di un pianeta o di un satellite sicché, anche se è passato abbastanza tempo da permettere alla Luna di rallentare la sua rotazione tanto da farla coincidere col periodo di rivoluzione, non ne è però passato abbastanza da permetterle di cambiare l'orbita da ellittica in circolare.

Proviamo però a prendere in considerazione i due satelliti di Marte. Essi furono catturati dall'orbita di Marte probabilmente abbastanza tardi nella storia del pianeta. Sicuramente un tempo ruotavano intorno a Marte secondo orbite abbastanza ellittiche ed alquanto inclinate. Ma, essendo essi piccoli e dotati di poca energia rotazionale, l'effetto di marea di Marte li ha soggiogati. Non solo mostrano sempre la stessa faccia a Marte, ma ruotano anche in orbite esattamente circolari sul piano dell'equatore del pianeta.

Ma non potrebbe un giorno succedere anche alla Terra di rivolgere alla Luna sempre la stessa faccia, in conseguenza del rallentamento provocato sulla sua rotazione dall'effetto di marea esercitato dalla Luna?

Sappiamo che il periodo di rotazione della Terra sta rallentando. Poiché la Luna ha un effetto di marea sulla Terra inferiore a quello che quest'ultima ha sulla Luna, e poiché la Terra ha un'energia rotazionale molto superiore a quella mai avuta dalla Luna, la Terra rallenta il ritmo di rotazione molto più gradualmente di quanto non abbia fatto in passato il suo satellite.

Tuttavia, un giorno, *un giorno*, non rallenterà il ritmo di rotazione della Terra fino al punto da eguagliare il periodo di rivoluzione della Luna intorno alla Terra stessa? Quando questo accadesse (e la Terra quindi mostrasse sempre la stessa faccia alla Luna), il rigonfiamento dovuto all'effetto di marea sarebbe stazionario anche sulla Terra, e né la Terra né la Luna sarebbero più soggette al reciproco effetto di marca, Questo fa pensare che a quel punto non sarebbero più possibili ulteriori cambiamenti...

Quando questo succedesse, sarebbe logico supporre che la Terra avesse un mese lungo 27,32 giorni, e che Terra e Luna girassero l'una intorno all'altra come palle all'estremità di un manubrio: ed il manubrio di collegamento sarebbe l'ormai inconsistente effetto di marca.

Bene, in realtà le cose non starebbero così. Quando si verificasse la rotazione-tipo-manubrio, il periodo di rotazione della Terra non sarebbe di 27,32 giorni.

Per capirne il perché, facciamo alcune considerazioni.

Quando l'energia rotazionale scompare non può veramente scomparire, per via della legge di conservazione dell'energia, ma può cambiare forma (come in effetti fa). Essa si trasforma in calore. La perdita di energia rotazionale è così lenta che il calore formatosi come conseguenza è insignificante e si aggiunge, solo impercettibilmente, al calore ricavato dal Sole (che dev'essere, come appunto è, disperso durante la notte).

La Terra, man mano che rallenta la sua rotazione, perde anche momento angolare, e neppure quest'ultimo può scomparire veramente per via del principio di conservazione

del momento angolare.

La perdita dev'essere in qualche modo compensata da un guadagno altrove.

Il momento angolare (senza entrare nel merito delle formule matematiche che lo definiscono) dipende da due cose: dalla velocità media di rotazione assiale di tutte le parti del corpo rotante, e dalla distanza media dall'asse di tutte le parti del corpo rotante. Il momento angolare sale man mano che la velocità o la distanza aumentano, e diminuisce man mano che la velocità o la distanza diminuiscono.

Quando il momento angolare rotazionale diminuisce a causa del rallentamento io della velocità di rotazione, rallentamento dovuto all'effetto di marea, la perdita potrebbe essere compensata (in ossequio al principio di conservazione del momento angolare) se la distanza media di tutte le parti della Terra dall'asse di rotazione aumentasse. In altre parole, tutto andrebbe bene se una Terra che rallentasse la propria rotazione potesse espandersi in grandezza. Ma questo non può accadere. La Terra non può espandersi in barba alla trazione della sua stessa gravità.

Se non accadde questo, che cosa accadde allora?

Ebbene, la Terra e la Luna girano l'una intorno all'altra in una rivoluzione mensile, sicché esiste un momento angolare relativo alla rivoluzione, così come esiste per ciascuno dei due corpi celesti un momento angolare relativo alla rotazione. Il nostro pianeta ed il suo satellite girano intorno al centro di gravità del sistema Terra-Luna.

Dove si trovi il centro di gravità dipende da una cosa che potremmo definire il principio dell'altalena. Se due persone di uguale massa si sedessero alle estremità opposte di un'altalena, l'altalena sarebbe in equilibrio se il fulcro fosse esattamente sotto il centro dell'asse. Se una delle due persone avesse più massa dell'altra, il fulcro dovrebbe essere più vicino alla persona più pesante. Per l'esattezza, la massa della persona A moltiplicata per la sua distanza dal fulcro dev'essere uguale alla massa della persona B moltiplicata per la sua distanza dal fulcro. Se la persona A ha una massa che è dieci volte quella della persona B, la A dev'essere a 1/10 di distanza dal fulcro rispetto alla B.

Immaginate la Terra e la Luna alle estremità opposte di una bilancia il cui fulcro sia il "centro di gravità". La Terra ha una massa che è 81,3 volte quella della Luna. Perciò, la distanza del centro della Terra dal centro di gravità dev'essere 1/81,3 della distanza del centro della Luna dal centro di gravità. La distanza media del centro della Terra dal centro della Luna è di 384.404 chilometri (238.869 miglia). Se calcoliamo 1/81,3 di questa distanza, otteniamo 4.728 chilometri (2.938 miglia).

Il che significa che il centro della Terra è a 4.728 chilometri dal centro di gravità, mentre il centro della Luna è, naturalmente, a 379.676 chilometri (235.931 miglia) da esso. Sia la Luna sia la Terra ruotano intorno a questo centro di gravità una volta ogni 27,32 giorni: la Luna compie un'orbita ampia, mentre la Terra ne compie una molto più piccola.

In effetti, il centro di gravità, essendo a soli 4.728 chilometri dal centro della Terra, è più vicino a quest'ultimo di quanto non lo sia la superficie stessa della Terra. Il centro di gravità del sistema Terra-Luna si trova pertanto a 1.650 chilometri (1.025 miglia) *sotto* la superficie della Terra.

Si può perciò dire, senza paura di essere troppo inesatti, che la Luna ruota attorno alla Terra. Non si può comunque dire che ruoti intorno al centro esatto della Terra.

Se l'orbita della Luna fosse perfettamente circolare, anche il centro della Terra descriverebbe un cerchio esatto, benché di un diametro 81,3 volte inferiore. In realtà, invece, l'orbita della Luna è leggermente ellittica, il che vuol dire che la distanza fra la Luna e la Terra aumenta e diminuisce lievemente nel giro di un mese. Di conseguenza, l'ubicazione del centro di gravità si sposta leggermente, allontanandosi ed avvicinandosi alternativamente al centro della Terra.

Nel punto più lontano, il centro di gravità del sistema Terra-Luna è a 5.001 chilometri (3.107 miglia) dal centro della Terra: nel punto più vicino, è a 4.383 chilometri (2.724 miglia) da esso. La sua ubicazione varia perciò dai 1.377 ai 1.995 chilometri (dalle 867 alle 1.240 miglia) sotto la superficie della Terra.

È quindi possibilissimo compensare la perdita di momento angolare della rotazione con un eguale guadagno di momento angolare della rivoluzione. Questo guadagno si verificherà soltanto se aumenterà la distanza della Terra e della Luna dal centro di gravità.

In altre parole, come l'effetto di marea della Luna rallenta molto gradualmente la velocità di rotazione della Terra, esso altrettanto gradualmente aumenta la distanza della Luna da noi. Per cui, come ho detto all'inizio dell'articolo, la Luna non ci cadrà affatto addosso, ma anzi fa esattamente il contrario: si allontana da noi.

Man mano che la Luna si allontana da noi, il suo diametro apparente diminuisce. Nel lontano passato, la Luna era nettamente più vicina a noi, e perciò appariva più grande. Nel lontano futuro, essa sarà decisamente più lontana e perciò apparirà più piccola.

Questo significa che in futuro non si vedranno più, dalla superficie della Terra, le eclissi totali di Sole. Al momento attuale, la Luna ha già un diametro apparente un po' più piccolo di quello del Sole, per cui anche quando si trova direttamente davanti al Sole, tende spesso a non oscurarlo tutto.

Tutt'intorno ad essa resta un sottile orlo luminoso, una sorta di anello, ed abbiamo così la cosiddetta "eclissi anulare". Questo avviene perché il diametro angolare medio del Sole è di 0, 533°, mentre quello della Luna è di 0,518°.

Se l'orbita della Luna intorno alla Terra fosse esattamente circolare, e l'orbita della Terra intorno al Sole altrettanto, ci sarebbero al massimo solo eclissi anulari, e non ci sarebbe mai nessuna eclissi totale.

Tuttavia, l'orbita della Terra è leggermente ellittica, sicché la distanza del nostro pianeta dal Sole varia. Il Sole dunque tende ad essere un po' più lontano della media durante una metà dell'anno, ed un po' più vicino della media durante l'altra metà. Ho già spiegato come questo valga anche per la Luna nel suo ciclo mensile.

Il Sole appare sempre più piccolo quando è più lontano: il suo diametro angolare è allora di 0,524°.

La Luna appare sempre più grande quando è più vicina: il suo diametro angolare è allora di 0,558°.

C'è dunque la possibilità di un'eclissi totale di Sole quando il Sole è più lontano (e più piccolo) del solito, o quando la Luna è più vicina (e più grande) del solito (o quando si verificano entrambe le sopracitate circostanze).

Poiché, a causa dell'effetto di marea, la Luna si allontana, il suo diametro apparente

diminuirà e, se supponiamo che il Sole nel frattempo mantenga costante la propria distanza (come in effetti farà), verrà allora il momento in cui la Luna, anche quando sarà più vicina, avrà un diametro angolare di meno di 0,524°. A tal punto, dalla superficie della Terra non sarà più possibile, in nessun modo, vedere un'eclissi totale di Sole.

Per arrivare ad avere un diametro apparente (nel momento di maggior vicinanza) non più grande di quello del Sole (nel suo momento di maggior lontananza), la Luna dovrà passare dall'attuale punto di maggior vicinanza di 356.334 chilometri (221.426 miglia), ad uno di 379.455 chilometri (235.793 miglia).

Perché questo accada, la Luna dovrà allontanarsi di 23.121 chilometri (14.367 miglia).

Quanto tempo le occorrerà per allontanarsi di così tanto?

Al momento attuale la Luna si sta allontanando da noi al ritmo di 3 centimetri all'anno o, pressappoco, di 2,5 millimetri a rivoluzione.

A questo ritmo occorrerebbero alla Luna circa 750 milioni di anni per allontanarsi di così tanto. In realtà, dovrebbero volercene di più, poiché mano a mano che il nostro satellite si allontana, il suo effetto di marea s'indebolisce ed il ritmo d'allontanamento rallenta lentamente. Ho il sospetto che per arrivare ad allontanarsi di 23.121 chilometri, la Luna piegherebbe quasi un miliardo di anni.

La situazione dunque non è poi così brutta. Il numero di eclissi totali per ogni secolo diminuirà gradualmente, aumenterà invece gradualmente il numero di eclissi anulari: la durata delle eclissi totali che, sebbene in minor numero, continueranno a verificarsi, sarà sempre più breve, ma prima che le eclissi totali cessino del tutto, passerà quasi un miliardo di anni.

E, volendo guardare indietro anziché avanti, se teniamo conto del fatto che in passato gli effetti di marea erano più forti, solo 600 milioni di anni fa, quando si stavano formando i primi trilobiti, le eclissi anulari erano probabilmente impossibili. Ogni volta che la Luna, che allora appariva leggermente più grande di adesso, passava direttamente davanti al Sole, l'eclissi doveva essere indubbiamente totale.

Torniamo al rallentamento della velocità di rotazione della Terra.

Appena essa rallenta, aumentano la distanza dalla Luna ed il suo periodo di rivoluzione intorno alla Terra. (Inoltre, gli effetti di marea faranno sì che il periodo di rotazione della Luna rallenti in concomitanza con il rallentamento del suo periodo di rivoluzione.)

Così, quando la Luna si sarà allontanata tanto da rendere impossibili le eclissi totali, il mese non sarà più, relativamente alle stelle, di 27,32 giorni, ma di 29,98. E mano a mano che la Luna continuerà ad allontanarsi, anche il mese continuerà ad allungarsi. Quando il periodo di rotazione della Terra si sarà allungato fino a diventare dì 27,32 giorni (i giorni dell'attuale periodo di rivoluzione della Luna), il periodo di rivoluzione sarà notevolmente più lungo, e la rotazione della Terra dovrà continuare a rallentare prima che la Terra e la Luna comincino a girarsi intorno come se fossero i poli di un manubrio.

È possibile che la Terra finisca col non arrivare mai a questa specie di *rendez-vous*? Che per quanto essa ruoti piano, la Luna si allontani talmente che il periodo di rivolu-

zione resti sempre più lungo?

No. La rotazione della Terra *arriverà* al *rendez-vous*. Quando tale notazione sarà rallentata tanto che il giorno sarà uguale a 47 degli attuali giorni, la Luna si sarà talmente allontanata, che il suo periodo di rivoluzione sarà anch'esso uguale a 47 dei giorni attuali.

A quell'epoca, la distanza della Luna dalla Terra sarà, in media, di 551.620 chilometri (342.780 miglia), e il diametro angolare del nostro satellite sarà di circa 0,361°.

Allora la Terra e la Luna gireranno l'una intorno all'altra come poli di un manubrio. Se non ci fosse nessuna interferenza dall'esterno, continuerebbero a girare così in eterno.

Ma c'è un'interferenza dall'esterno. C'è il Sole.

Il Sole, come la Luna, esercita un effetto di marea sulla Terra, un effetto però di grado diverso rispetto a quello della Luna. L'effetto di marea provocato sulla Terra dal Sole e dalla Luna varia in modo direttamente proporzionale alla massa di questi ultimi e in modo inversamente proporzionale al cubo delle distanze.

La massa del Sole è 27 milioni di volte quella della Luna. Tuttavia, la distanza del Sole dalla Terra è 389,17 volte quella della Luna dalla Terra, ed il cubo di 389,17 è circa 58.950.000. Se dividiamo ventisette milioni per 58.950.000, scopriamo che l'effetto di marea del Sole sulla Terra è solo il 46% circa di quello esercitato dalla Luna.

L'effetto di marea sulla Terra di tutti gli altri corpi celesti, a parte il Sole e la Luna, è insignificante. Possiamo dire allora che l'effetto di marea totale che viene esercitato sulla Terra è causato pressappoco per 2/3 dalla Luna, e per 1/3 dal Sole.

L'allungarsi della durata del giorno di un secondo ogni 62.500 anni è il risultato degli effetti combinati di marea di Sole e Luna, ed è sempre l'insieme di entrambi gli effetti ad essere bilanciato dall'allontanamento della Luna.

Ma una volta che la Terra e la Luna raggiungessero la situazione tipo-poli-opposti-di-un-manubrio, l'effetto di marea della Luna praticamente svanirebbe, e lascerebbe in campo soltanto l'effetto di marea del Sole. Senza entrare in dettagli, l'effetto di marea del Sole su Terra e Luna insieme sarebbe tale da aumentare la velocità di rotazione di entrambe e da compensare l'aumento di momento angolare della rotazione con una diminuzione di momento angolare della rivoluzione.

In altre parole, la Luna comincerebbe a muoversi a spirale avvicinandosi sempre più alla Terra. (Ed allora, finalmente, si accingerebbe davvero a caderci addosso.)

La Luna dunque arriverebbe sempre più vicina alla Terra, ed a prima vista parrebbe che il suo avvicinarsi non dovesse incontrare ostacoli...

Ma, in realtà, la Luna non arriverebbe mai a fracassarsi sulla Terra.

Appena la Luna cominciasse ad avvicinarsi alla Terra, l'effetto di marea della Terra sulla Luna aumenterebbe. Una volta che il centro della Luna si trovasse a soli 15 mila chilometri (9.600 miglia) dal centro della Terra, e la superficie lunare fosse a soli 7.400 chilometri (4.600 miglia) dalla superficie terrestre, la Luna compirebbe intorno alla Terra una rivoluzione ogni 5,3 ore. A quel punto l'effetto di marea esercitato dalla Terra sulla Luna sarebbe 15 mila volte quello attuale. (E 500 mila volte quello che la Luna esercita su di noi attualmente).

In tali condizioni, l'effetto dì marea della Terra comincerebbe a disgregare la Luna in un certo numero di frammenti considerevolmente grandi. Questi si scontrerebbero, disgregandosi ulteriormente per via dell'aumentare dell'effetto di marea, e si spargerebbero sull'intera orbita della Luna, formando un piatto anello circolare sul piano equatoriale della Terra.

In breve, la Terra si ritroverebbe intorno un anello di estensione minore di quello di Saturno, ma composto di una materia molto più densa. Gli anelli della Terra sarebbero anche molto più luminosi, perché sarebbero molto più vicini al Sole (nonostante il fatto che sarebbero composti di scure rocce lunari anziché di ghiaccio come lo sono quelli di Saturno).

Quando tutto questo accadrà, ci saranno esseri umani in grado di contemplare quei magnifici anelli? No, a meno che a quell'epoca non avessimo lasciato da un pezzo la Terra e non stessimo contemplando lo spettacolo da una certa distanza di sicurezza.

All'epoca della disintegrazione della Luna, l'effetto di marea di quest'ultima sulla Terra sarebbe 15 mila volte quello attuale. Essendo molto inferiore all'effetto di marea della Terra sulla Luna, non sarebbe sufficiente a disintegrare la Terra, anche perché quest'ultima è tenuta insieme da una più intensa forza gravitazionale.

L'effetto di marea della Luna sarebbe però abbastanza forte da creare maree alte molti chilometri: gli oceani inonderebbero così tutti i continenti con le conseguenze immaginabili.

Dopo la disintegrazione della Luna, l'effetto di marea non sarebbe più concentrato, ma arriverebbe a noi da tutte le direzioni, e da piccoli frammenti, per cui finirebbe con l'esaurirsi e con lo scomparire: ma a quel punto, dopo milioni di anni di enormi maree, il danno sarebbe già stato fatto.

In simili condizioni, la vita di terraferma, e forse qualsiasi tipo di vita, potrebbe difficilmente continuare ad esistere.

Questa tuttavia è un'osservazione abbastanza superflua, dato che a quell'epoca la Terra avrebbe cessato da molto tempo di ospitare la vita in qualsiasi forma.

Torniamo un attimo alla rotazione descritta tipo-poli-di-un-manubrio, con il giorno terrestre pari a 47 dei nostri attuali giorni.

Immaginate cosa vorrebbe dire avere il Sole che ci picchia in testa per circa 560 ore, tra un'alba ed un tramonto. È vero che nelle regioni polari il Sole splende continuamente per più tempo di così, ma è anche vero che sfiora appena l'orizzonte. Provate ad immaginare 560 ore tra l'alba ed il tramonto ai tropici, col Sole alto nel cielo. Appare a tutti chiaro che in pieno pomeriggio gli oceani sarebbero molto vicini a bollire (probabilmente, bollirebbero sul serio).

Basterebbe questo a rendere difficilmente abitabile la Terra, anche senza prendere in considerazione il fatto che nel corso della lunga notte di 560 ore, la Terra precipiterebbe in condizioni ambientali sul tipo di quelle antartiche.

L'escursione enorme che sarebbe il risultato del lunghissimo giorno e della lunghissima notte renderebbe difficilissima, se non impossibile, la continuazione della vita sul pianeta.

E tuttavia anche questa osservazione lascia abbastanza il tempo che trova, come si può ben capire se si prova a calcolare il tempo che occorrerebbe alla Luna per allonta-

narsi tanto da arrivare ad un periodo di rivoluzione di 47 giorni.

A quell'epoca, la Luna si sarebbe allontanata di 167.200 chilometri (104.000 miglia) rispetto all'attuale posizione.

Se l'attuale ritmo di allontanamento di 3 centimetri all'anno dovesse continuare, allora ci vorrebbero circa 55.700.000.000 di anni perché la Luna arrivasse a far coincidere il proprio periodo di rivoluzione col periodo di rotazione della Terra.

Ma il ritmo di allontanamento non continuerà sempre in modo uguale. Mano a mano che la Luna si allontana, infatti, il suo effetto di marea sulla Terra s'indebolisce, il rallentamento della velocità di rotazione della Terra diminuisce a sua volta, e, conseguentemente diminuisce pure il ritmo d'allontanamento della Luna.

La mia ipotesi è che ci vorrebbero almeno 70 miliardi di anni perché si raggiungesse la situazione descritta tipo-poli-di-manubrio.

E non lascia dunque il tempo che trova una simile considerazione, visto che fra 7 miliardi di anni (giusto un decimo della suddetta cifra) il Sole si espanderà fino a diventare una gigante rossa, distruggendo così fisicamente e definitivamente sia la Terra sia la Luna?

Nel corso dei 7 miliardi di anni la Terra, prima di essere resa inabitabile dal calore del Sole in espansione, rallenterebbe la propria velocità di rotazione fino a generare un giorno di 55 ore. In effetti però, tenendo conto del fatto che l'effetto di marea della Luna sulla Terra diminuirebbe d'intensità, ho l'impressione che il giorno non arriverebbe a essere di 55 ore, ma di 48, circa il doppio, insomma, di quello che è adesso.

A quel punto il giorno sarebbe molto più caldo di adesso, e la notte molto più fredda. La Terra non sarebbe più un pianeta confortevole com'è ora, ma sarebbe ancora abitabile (ammesso che questa fosse la nostra unica preoccupazione).

In realtà, l'abitabilità del pianeta non durerebbe a lungo, perché anche ammesso che l'umanità sopravvivesse per sette miliardi di anni, il Sole, espandendosi in una gigante rossa, spazzerà via completamente la vita dalla Terra molto prima che lo possa fare il rallentamento della velocità di rotazione.

La mano di Dio

The Finger of God, 1980
Traduzione di Lia Volpatti
Urania n. 864 (30 novembre 1980)

Nel 1775 la Gran Bretagna inviò un esercito nel Nordamerica, alla guida del generale Edward Braddock, con lo scopo di fermare l'espansione francese nella Pennsylvania occidentale.

Braddock prese in simpatia un ventitreenne originario della Virginia che aveva già combattuto (senza successo) i francesi e lo nominò aiutante di campo. Era l'unico coloniale entrato a far parte di un gruppo di inglesi.

Braddock guidò i suoi uomini verso una località dove oggi sorge Pittsburg e tentò di combattere alla maniera con cui si combatteva sui campi di battaglia europei, cioè con tutti gli uomini allineati che sparavano all'unisono una raffica di colpi, dietro ordine. I loro avversari erano francesi ed indiani ciascuno dei quali, dato che la battaglia si svolgeva in una foresta più o meno incolta, si teneva nascosto dietro un albero.

Francesi ed indiani spararono a più non posso da dietro gli alberi e falciarono gli inglesi che, con quelle uniformi rosse, rappresentavano un bersaglio facile. Gli inglesi, invece, non avevano bersagli precisi contro cui sparare ed ogni qual volta cercavano di mettersi al riparo, venivano rispediti in linea da Braddock con urla e imprecazioni.

Gli inglesi furono massacrati, è ovvio, e Braddock stesso fu mortalmente ferito. Morì dopo quattro giorni di agonia. Le sue ultime parole furono:

— Chi l'avrebbe mai detto?

Se qualcuno dell'esercito sopravvisse fu grazie all'aiutante di campo originario della Virginia il quale, quando gli inglesi finalmente ruppero le fila e si diedero alla fuga, coprì la loro ritirata facendo combattere le sue stesse truppe della Virginia secondo lo stile indiano.

Il giovane se la cavò senza nemmeno una scalfittura. Due cavalli sui quali montava furono atterrati. Quattro pallottole gli forarono la giacca senza sfiorarlo. Era l'unico aiutante di campo rimasto vivo (ed integro) in quella carneficina.

Il nome del giovane, e penso che già l'abbiate capito, era George Washington.

Ho sentito questa storia per la prima volta a scuola, quando avevo circa dieci anni. L'insegnante, che chiamerò signor Smith, ne parlava con molta emozione e ci disse che era stata senz'altro la mano di Dio a salvare Washington. Era stato salvato, disse, perché vent'anni più tardi potesse guidare le colonie verso la vittoria nella Guerra d'Indipendenza americana e fondare in questo modo gli Stati Uniti d'America.

Ascoltavo questa storia con profondo scetticismo. Prima di tutto pensavo che Dio non era americano e che quindi gli dovessero stare a cuore le sorti di tutti i paesi, in egual misura. Se fosse stato veramente efficiente avrebbe dovuto inventare un sistema più semplice per raggiungere lo scopo, evitando i combattimenti e risparmiando così tante vite. Ma poi, di colpo, mi arrivò un pensiero sconcertante ed alzai la mano.

L'insegnante mi consentì di parlare e io dissi: — Come potete affermare che sia

stata la mano di Dio, signor Smith? Per quanto ne sappiamo, in quella battaglia può essere morto qualcuno che, se fosse sopravvissuto, avrebbe anche potuto essere meglio di George Washington ed escogitare un sistema incruento per portarci all'indipendenza.

Il signor Smith avvampò. Gli occhi sembravano schizzargli fuori dalle orbite. Mi puntò un dito contro ed urlò:

— State cercando di dirmi che chiunque avrebbe potuto essere meglio di George Washington?

Io avevo dieci anni e, terrorizzato, feci marcia indietro. Ma solo apparentemente. Dentro di me tenni duro, convinto che fosse una cosa molto sciocca raccontare un episodio soltanto per dimostrare l'esistenza della mano di Dio. In qualsiasi tipo di conflitto, sia tra individui, sia tra nazioni, quello che per il vincitore rappresenta la mano di Dio, per il perdente rappresenta invece, e sicuramente, l'orma dello zoccolo del Diavolo.

Eppure, che tentazione è il gioco della "mano di Dio"! Ho finito il mese scorso un saggio sulla scoperta della fissione dell'uranio, nel quale, ho messo in risalto una serie di fortunati incidenti che hanno fatto sì che il primo passo in questo senso venisse fatto negli Stati Uniti invece che nella Germania nazista. Ed è tale il sollievo che le cose siano andate in questo modo che si potrebbe persino supporre che io abbia pensato che Dio ci avesse messo la mano.

Be', io non c'entro.

Consideriamo la situazione di Leo Szilard nel 1939. Come molti certo sapranno, egli continuava a pensare all'idea di una reazione nucleare a catena. Il suo primo tentativo in questo senso comportava l'interazione di un neutrone con un nucleo di berillio in modo tale che venissero liberati due neutroni. Tuttavia, ci voleva un neutrone veloce e carico di energia per interagire con il nucleo di berillio, e venivano liberati soltanto neutroni lenti, neutroni con energia troppo scarsa per interagire con ulteriori nuclei di berillio.

L'uranio, d'altro canto, passa attraverso la fissione se stimolato da neutroni "lenti". In realtà, libera, nel processo, neutroni veloci, che non sono così efficienti nello spezzare i nuclei di uranio quanto i neutroni lenti. (Vanno troppo in fretta e non indugiano attorno ad un nucleo quanto basta per ottenere una buona possibilità di reazione.)

Tuttavia, mentre non si può dare maggiore velocità ai neutroni lenti, si possono invece rallentare i neutroni veloci. Dunque se si inizia la fissione dell'uranio e si rallentano i neutroni prodotti, si può di conseguenza continuare la fissione dell'uranio in accelerazione per produrre una bomba di una potenza devastatrice senza precedenti.

Nel 1939 era chiaro a Szilard che il mondo si trovava sull'orlo di una guerra, che la Germania nazista avrebbe potuto vincere tale guerra, e che quella nazione rappresentava uno spaventoso pericolo per il mondo civile.

Szilard era altresì convinto che fosse possibile mettere a punto, nel corso della guerra, una bomba a fissione nucleare e gli sembrava ovvio che chiunque avesse fabbricato ed usato questa bomba avrebbe vinto la guerra, anche se si fosse trovato, prima dell'uso, sull'orlo della sconfitta. Chi dunque avrebbe avuto per primo la bomba nucleare, la Germania o gli Stati Uniti? (C'era anche una possibilità "esterna" riguar-

dante la Gran Bretagna e la Francia. Nessuno, in quel momento, pensava che l'Unione Sovietica od il Giappone potessero avere una simile opportunità).

In sostanza, Szilard può aver pensato che le probabilità giocavano in favore della Germania per varie ragioni:

1) La tradizione scientifica in Germania era molto più forte che negli Stati Uniti. Dal 1850 al 1914, la Germania aveva avuto il primato mondiale per la ricerca scientifica, mentre gli Stati Uniti erano rimasti così indietro che un americano che desiderasse intraprendere una carriera scientifica doveva per forza recarsi in Germania per perfezionare la sua tesi di laurea. La Germania era forte, soprattutto in fisica nucleare, e le sperimentazioni per la fissione nucleare erano state tutte fatte in Germania.

2) La Germania era sotto il controllo assoluto di Adolf Hitler, il quale, se avesse cominciato a credere nella possibilità di una bomba nucleare, avrebbe, senza nessuna esitazione, buttato le risorse intere del paese su questo progetto. Non esisteva problema di denaro. Gli Stati Uniti, d'altro canto, erano una democrazia guidata da gente per la quale lo scopo principale era la rielezione. Investire un sacco di soldi in un oscuro progetto fantascientifico avrebbe significato rischiare il seggio al Congresso.

3) La Germania era una società chiusa, e se Hitler avesse mostrato interesse nella possibilità di una bomba nucleare, qualsiasi scoperta tedesca in questa direzione sarebbe stata tenuta segreta. Negli Stati Uniti, invece, tutte le scoperte sarebbero state rese pubbliche e discusse e la Germania avrebbe tratto vantaggio da qualsiasi progresso fatto in America... e non viceversa.

Szilard sentì che, per quanto era in suo potere, doveva spostare il peso della bilancia in favore degli Stati Uniti.

Ho elencato i tre punti in ordine decrescente di difficoltà. Il primo punto, per esempio, cioè la tradizione scientifica tedesca e la carenza in questo campo degli Stati Uniti, erano un dato storico e non ci si poteva far nulla... tranne il fatto che qualcosa stava modificandosi ed io penso che Szilard lo sapesse benissimo.

Sin dalla prima guerra mondiale la Germania era andata perdendo la sua preminenza in campo scientifico mentre gli Stati Uniti stavano recuperando terreno. Inoltre Hitler, sotto questo aspetto, era il miglior alleato di Szilard. Le paranoiche idee razziste di Hitler avevano fiaccato la scienza tedesca ed avevano riempito l'occidente di scienziati-esuli in grado di costruire una bomba nucleare per gli Stati Uniti con, inoltre, forti motivazioni per farlo.

Infatti, si potrebbe immaginare come un "se" della storia, un Hitler diverso da quello reale, non ossessionato dalla mania della "purezza della razza". In questo caso, tutti coloro che erano stati costretti a lasciare la Germania in nome di questa "purezza", sarebbero rimasti alloro posto. Non c'è motivo di dubitare che avrebbero potuto essere dei cittadini normalmente patriottici e che avrebbero potuto contribuire alla fabbricazione di una bomba nucleare per la Germania piuttosto che per gli Stati Uniti. La Germania potrebbe essere ora la nazione che domina il pianeta.

Potremmo dire "che ironia!" e stupirci del modo con cui Hitler ha sconfitto se stesso e parlare ancora di mano di Dio, se non fosse per il fatto che questo evento ha dei precedenti. È accaduto per lo meno due volte nella storia europea, in maniera spettacolare. La Spagna di Filippo III sfrattò i Saraceni (cristiani di discendenza moresca) e la Francia di Luigi XIV sfrattò gli Ugonotti (cristiani di fede protestante). In entrambi i

casi la nazione responsabile dello sfratto ha agito in nome della "purezza" perdendo una parte preziosa della popolazione, indebolendosi perennemente e rafforzando in proporzione il nemico.

L'umanità ha forse imparato questa lezione? Certamente no. Proprio ora il Vietnam sta sfrattando i vietnamiti di origine cinese ed è assolutamente certo che, come conseguenza, il Vietnam ne uscirà fiaccato.

Non ci vuole la mano di Dio per far sì che gli esseri umani diano più importanza ai pregiudizi che al buon senso. Sarei più tentato di credere il contrario.

Torniamo a Szilard. Non poteva certo giocare sul fatto che Hitler avesse indebolito la scienza tedesca per salvare la situazione e così dovette ricorrere ai punti 2 e 3.

Cominciò una campagna scrivendo lettere nelle quali sottolineava le possibilità di creare una bomba nucleare e chiedendo agli scienziati che lavoravano in questo campo di tenere segreto il loro lavoro. Era difficile per gli scienziati seguire queste norme. Le comunicazioni "aperte" tra gli scienziati stessi, nonché le pubblicazioni sui lavori compiuti, stanno alla base del progresso scientifico.

Eppure il caso non aveva precedenti e a poco a poco Szilard riuscì a spuntarla. Nell'aprile del 1940 si era creato un sistema volontario di autocensura sull'argomento e la discussione pubblica sulla fissione nucleare cessò di colpo. Szilard aveva tenuto conto del punto 3. e questo significava che la Germania non poteva più contare sulla nostra gentilezza nell'aiutarla a distruggerci.

Ma nello stesso tempo si cominciò a sospettare che la Germania non avesse bisogno del nostro aiuto. Nell'aprile 1940 Hitler era arrivato ad un accordo con l'Unione Sovietica, aveva dato l'avvio alla guerra, distrutto la Polonia, acquisito il controllo della Danimarca e della Norvegia e tutto questo mentre Gran Bretagna e Francia restavano in uno stato di paralisi. Poco dopo la vittoria di Szilard, Hitler prese la Francia e cominciò a sottoporre la Gran Bretagna a spietati bombardamenti aerei. E nel 1941 si voltò contro l'Unione Sovietica, abbandonò i Balcani e penetrò in Russia.

Sembrava in grado di conquistare tutta l'Europa, e forse anche il mondo intero, "senza" armi nucleari.

Era quindi importante che gli Stati Uniti fabbricassero una bomba nucleare non solo per un problema di preminenza scientifica ma forse come ultima possibilità di difesa contro l'altrimenti inevitabile sconfitta. Ed avevamo solo pochi anni di tempo.

È difficile ora, per coloro che non sono vissuti in quel periodo, capire la disperazione di quei giorni. C'era il rischio che gli Stati Uniti sprecassero tempo e possibilità mentre la Germania era sempre all'avanguardia nell'elaborazione e nell'uso di armi nuove e mai sperimentate.

Consideriamo, per esempio, il caso della missilistica. La missilistica moderna cominciò negli Stati Uniti, nel 1926, con Robert Goddard, ma Goddard rimase un caso isolato. Il Governo non sembrava disposto ad aiutare le ricerche in quel campo. È dubbio se nei vent'anni tra il 1926 ed il 1946 ci possa essere stato un solo deputato del Congresso disposto a sostenere la missilistica o comunque abbastanza di sani princìpi da rischiare, su questo, la rielezione.

In Germania la situazione era diversa. L'impulso dato dal Governo alla missilistica cominciò molto presto per cui, nel 1944, le V-2 stavano già bombardando l'Inghilterra.

Di conseguenza non possiamo fare altro che stupirci del fatto che la Germania non abbia vinto la guerra. Ancora una volta si riproponeva il caso: Hitler aveva sconfitto se stesso. Intanto, il suo interesse nella missilistica soffocò il suo interesse per la bomba nucleare. Nell'emergenza di una guerra, sembrava che dentro di sé avesse spazio sufficiente solo per un segreto bellico per volta.

Ma, cosa ancor più importante, il desiderio di Hitler di far marciare a passo d'oca le sue truppe attraverso tutta l'Europa, mentre lui era ancora vivo ed abbastanza giovane da godere della distruzione che si lasciavano dietro, lo spinse a una guerra prematura. Sospetto che non volesse costruire una macchina bellica che qualche successore avrebbe poi potuto usare per conquistare il mondo.

Dopotutto, anche in questo caso esistevano precedenti storici e Hitler, appassionato studioso di storia, lo sapeva. Filippo il Macedone aveva messo insieme un esercito che suo figlio, Alessandro, aveva usato per conquistare l'Impero Persiano e fu il figlio ad essere chiamato "il Grande".

Un esempio più recente. Federico Guglielmo I di Prussia[11] aveva costruito un esercito perfetto del quale suo figlio Federico II si era servito per sconfiggere gli eserciti austriaci e francesi, e fu il figlio ad essere chiamato "il Grande".

Forse Hitler voleva essere Filippo ed Alessandro insieme e non voleva rischiare di aspettare troppo?

Nel 1939, comunque, aveva solo 50 anni ed avrebbe anche potuto rischiare di aspettare, diciamo, per cinque anni. Nel qual caso, avrebbe anche potuto essere sicuro che le potenze occidentali avrebbero perso tempo. Alla Gran Bretagna ed alla Francia avrebbe fatto piacere che la Germania, dopo Monaco, non facesse altre richieste territoriali e sarebbero passate all'estremo opposto pur di evitare di irritare Hitler. Franklin D. Roosevelt, nel 1940, non si sarebbe presentato per la terza candidatura se il mondo fosse stato in pace, o altrimenti, se l'avesse fatto, ne sarebbe uscito sconfitto e il suo successore, chiunque potesse essere, sarebbe stato certamente meno abile nel tollerare le idee isolazioniste negli Stati Uniti.

Hitler allora avrebbe potuto approntare programmi più intensi per sviluppare sia la missilistica sia la bomba nucleare, senza nessuna concorrenza da parte dell'Occidente. L'Unione Sovietica avrebbe potuto lavorare in entrambe le direzioni, ne sono certo, ma ho il sospetto che Hitler sarebbe arrivato primo.

Quindi, nel 1944 o 1945, Hitler avrebbe potuto avere missili e bombe nucleari pronti o per lo meno quasi pronti per una rapida produzione e per un perfezionamento, se necessario. Avrebbe potuto dare il via alla guerra e serbare le armi segrete in caso di emergenza. Se la guerra fosse andata inaspettatamente male o fosse durata troppo oppure ancora se fosse sorto il sospetto che, dal di là dell'oceano, gli Stati Uniti avrebbero potuto superare la Germania nella produzione di armi convenzionali, un paio di bombe nucleari fatte esplodere sulle città americane da qualche sottomarino al largo delle coste sarebbero state sufficienti, così credo, a porre fine a tutto, e Hitler avrebbe avuto il dominio del mondo.

Ma tutto questo non accadde. Hitler, senza il senno del poi, può non aver avuto una visione di tutto questo, ma io sarei propenso a credere che nessuna di queste possi-

---

[11] Friedrich Wilhelm Hohenzollern (1688-1740), re di Prussia dal 1713 fino alla sua morte. (*N.d.R.*)

bilità lo avrebbero interessato. Semplicemente non voleva aspettare più a lungo perché non voleva correre il rischio di perdere il credito di una conquista. E così perse invece la sua unica possibilità.

La mano di Dio? Perché mai? Non c'è bisogno dell'intervento del Cielo per far sì che un egomaniaco paranoico agisca come tale.

Ma Szilard non poteva contare su tutto questo. Non poteva prevedere il futuro e non poteva essere certo che Hitler sarebbe stato intempestivo. Certamente non sembrava che lo fosse nel 1941.

No! Gli Stati Uniti dovevano avere la bomba nucleare e non c'era modo di poterla costruire senza un massiccio programma governativo, e molto dispendioso per di più, che sostenesse la ricerca e la costruzione. Ma come convincere il governo ad investire dei soldi? Il Congresso! Neanche da pensarci. Con il mondo che bruciava da tutte le parti, la Camera dei deputati rinnovò la leva per un solo voto. Un deputato si oppose al rinnovo dicendo che nel caso ci fosse stata una invasione, tutti gli americani "avrebbero imbracciato le armi". Non disse quali armi né come gli americani sarebbero stati addestrati a maneggiarle.

La cosa migliore era tentare col presidente Roosevelt. Ma lui era soltanto il presidente e sarebbe stato senz'altro svuotato di potere dal Congresso e dal popolo stesso se avesse speso un sacco di soldi per qualcosa non di uso immediato e tangibile per la maggior parte degli elettori. Allo scopo di ottenere qualcosa, si poteva convincere Roosevelt dell'urgenza della situazione, convincerlo al punto tale da fargli rischiare un suicidio politico.

Ma come si poteva convincere Roosevelt a tal punto? Era una questione scientifica, certo, ma assomigliava tanto alla fantascienza e non c'è nulla che mandi in bestia gli stupidi di questo mondo quanto qualcosa che assomigli alla fantascienza. Per aggirare questo ostacolo la questione avrebbe dovuto essere presentata da qualche scienziato di così chiara fama che nessuno avrebbe osato mettere in dubbio le sue dichiarazioni.

C'era un solo scienziato vivente tanto famoso da essere diventato ormai leggenda, anche per coloro che di scienza non sapevano nulla tranne forse il fatto che due più due fa qualcosa che sta tra il tre ed il cinque. Si trattava di Albert Einstein (1879-1955).

Szilard chiese aiuto a due amici, Eugene Paul Wigner[12] ed Edward Teller. Erano, tutti e tre, brillanti fisici nucleari, di origine ungherese, fuggiti da Hitler. E tutt'e tre si rendevano perfettamente conto del pericolo che incombeva sul mondo e della necessità di avere la bomba nucleare per parare la minaccia nazista.

Non fu facile convincere Einstein a firmare la lettera. Era un pacifista convinto, non voleva dare in mano ad esseri umani un'arma tanto terribile. D'altro canto capiva il pericolo e l'incredibile dilemma nel quale si dibatteva il mondo. Sarebbe stato un male, in entrambi i casi, ma lui doveva fare una scelta, e mise il suo nome in calce alla lettera che Szilard aveva scritto per lui.

La lettera arrivò a Roosevelt ed il nome di Einstein apparentemente fornì la spinta necessaria. Roosevelt decise di rischiare il fallimento totale e di autorizzare un progetto segreto per l'elaborazione della bomba nucleare, un progetto che alla fine dove-

[12] Nome americanizzato di Wigner Pál Jenõ (1902-1995).

va costare due miliardi di dollari. (Si può ben capire il ridicolo che avrebbe coperto Roosevelt se il progetto fosse fallito).

Anche una decisione presidenziale doveva sottostare ad una certa trafila burocratica e fu soltanto alla fine dell'anno, in un particolare sabato, che Roosevelt finalmente firmò l'ordine che metteva in moto quello che si sarebbe chiamato "Progetto Manhattan", un nome qualsiasi scelto per nasconderne lo scopo reale.

Se si tiene conto di quello che è successo dopo, bisogna ammettere che fu un chiaro esempio di pericolo scampato per miracolo. È una vecchia abitudine americana quella di non fare nulla di importante durante il fine-settimana. Ed anche i presidenti sono americani, dopo tutto.

Se Roosevelt avesse rimandato la firma al lunedì, chissà quando mai quell'ordine sarebbe stato firmato. Forse non sarebbe stato firmato affatto.

Il giorno in cui l'ordine fu firmato era sabato, 6 dicembre 1941 ed il giorno successivo era domenica, 7 dicembre 1941, cioè il giorno dell'attacco giapponese a Pearl Harbor. Dopo di che, per un certo periodo, a Washington ci fu solo il caos.

L'ordine, comunque, fu firmato l'ultimo giorno possibile (la mano di Dio o l'orma del Diavolo?) e la bomba nucleare fu costruita. Gli Stati Uniti furono i primi ad averla.

Szilard aveva vinto.

E poi venne fuori che della bomba non c'era assolutamente bisogno. La Germania di Hitler non aveva affatto iniziato la progettazione per una bomba atomica e la costruzione dei missili era arrivata troppo tardi per farle vincere la guerra.

Il 30 aprile 1945 Hitler morì suicida e l'8 maggio la Germania si arrese. Il mondo poteva tirare il fiato.

Il Giappone stava ancora combattendo, ma la sua flotta se n'era andata, i suoi eserciti sconfitti, le città ridotte in cenere; anche lui era sul punto di arrendersi.

Molti scienziati che erano stati ansiosi di mettere a punto una bomba nucleare ora non ne sentivano più la necessità. Era stato necessario averla per battere sul campo i nazisti, per cercare di prevenire la sconfitta. E l'orrore della bomba, a quel tempo, sembrava comunque essere preferibile all'orrore di un mondo in mano ai nazisti.

Ma una volta che la Germania era stata distrutta, che i giapponesi erano sul punto di cedere, perché non fermare il progetto, tenerlo per riserva per altre future eventuali emergenze, oppure rivelare quale lavoro era stato fatto e metterlo sotto controllo internazionale? Oppure ancora, perché non fare qualcosa, "qualsiasi cosa" per evitare quello che avrebbe potuto succedere e che poi è successo? Cioè un mondo con opposte potenze armate fino ai denti di armi nucleari, un mondo con la spada di Damocle della distruzione totale sempre sulla testa?

Eppure il progetto della bomba atomica andò avanti. Il 16 luglio 1945 ad Alamogordo, New Mexico, si verificò la prima esplosione di bomba nucleare nella storia del mondo. Il 6 agosto 1945 scoppiò la seconda bomba nucleare, ad Hiroshima, Giappone, ed il 9 agosto dello stesso anno, a Nagasaki. I giapponesi si arresero formalmente il 2 settembre.

Perché? Si sarebbe potuta giustificare l'esplosione di Alamogordo. Dopo tutto, il lavoro e gli investimenti erano stati immensi e c'era una, se vogliamo, irresistibile curiosità a verificare se la bomba funzionasse o meno.

Ma poi, perché usarla su un nemico già in agonia?

I motivi addotti dopo l'evento furono che i giapponesi fanatici, duri a morire, non si sarebbero mai arresi. Gli americani che avrebbero invaso le isole giapponesi sarebbero stati attaccati dal nemico con incredibile ferocia, causando la morte di almeno centomila americani e, diciamo, cinquecentomila giapponesi. Bombardare due città avrebbe significato un risparmio netto di centinaia di migliaia di americani e giapponesi e di conseguenza sarebbe stato un gesto umanitario.

Non l'ho creduto allora e non lo credo ora.

Tuttavia i giapponesi non erano il vero nemico, in quel momento. Il vero nemico era il nostro alleato, l'Unione Sovietica.

Alla Conferenza di Yalta, tenutasi nel febbraio 1945, l'Unione Sovietica aveva promesso di dichiarare guerra al Giappone tre mesi dopo la resa nazista, perché aveva bisogno di questo periodo di tempo per trasferire uomini e scorte attraverso cinquemila miglia, dai confini occidentali dell'Unione Sovietica ai confini orientali. E su questo si convenne.

Nonostante tutte le battute che si possono fare sul fatto che non ci si può fidare dell'Unione Sovietica, bisogna ammettere che l'Unione Sovietica rispetta fino alla lettera uno specifico accordo. (Può violarne lo spirito, ma questa è un'altra faccenda.) Se diceva tre mesi, significava tre mesi, e tre mesi dopo l'8 maggio 1945 è 1'8 agosto 1945. Quel giorno, infatti, l'Unione Sovietica dichiarò guerra al Giappone.

Gli Stati Uniti, d'altronde, stavano combattendo i giapponesi da tre anni e mezzo. Era una guerra amara e noi dovevamo vendicare l'umiliazione di Pearl Harbor. Volevamo essere certi di prenderci tutto il credito della vittoria. Se il Giappone si fosse arreso dopo che l'esercito russo si era spinto in Manciuria, poteva sembrare che fosse stata la Russia ad infliggere il colpo finale e noi avremmo perso il credito. Per cui ci affrettammo come pazzi per avere almeno una bomba nucleare da lanciare su una città giapponese "prima" che arrivassero i russi, e ce la facemmo per due giorni. Dopo di che l'entrata dell'Unione Sovietica fu soltanto un dettaglio e tutto il mondo sapeva "chi" in realtà avesse sconfitto il Giappone. Gli Stati Uniti.

Inoltre, noi sapevamo molto bene che, una volta finita la guerra, saremmo stati in competizione con l'Unione Sovietica per l'influenza in Europa. Era quindi necessario far sapere alla Russia che eravamo in possesso di questa terribile arma. Inoltre dovevamo Fare molto di più che parlarne, o farla scoppiare a vuoto in qualche deserto o nell'oceano. Doveva essere usata su una città, perché la distruzione e la morte che portava fossero visibili a tutti. E dovevamo farlo in fretta, prima che i giapponesi si arrendessero e ci privassero così di un nemico su cui farlo. Nagasaki ed Hiroshima furono dimostrazioni a sangue freddo fatte ad uso dell'Unione Sovietica. Per lo meno, così la vedo io.

È possibile controbattere che questo per lo meno evitò una guerra tra America e Russia negli anni successivi alla Seconda Guerra Mondiale. Ed anche questo significava milioni di vite salvate, ed ancora una volta il bombardamento nucleare di città giapponesi poteva essere salutato come un gesto umanitario. E si potrebbe anche aggiungere che riuscire ad ultimare la bomba in tempo perché il bombardamento venisse effettuato prima che la resa giapponese ne avesse vanificato l'uso, è un altro esempio dell'intervento della mano di Dio.

D'altro canto, potremmo anche argomentare che lo stretto margine che ci consentì

la costruzione e l'uso della bomba nucleare alla fine della Seconda Guerra Mondiale diede agli Stati Uniti una tale fiducia e sicurezza in se stessi che non ritennero di fare alcun tentativo di conciliazione con l'Unione Sovietica, in un momento in cui questa era talmente fiaccata dalla guerra contro la Germania che avrebbe anche potuto accettare questa conciliazione.

È possibile aggiungere ancora che questa sicurezza in noi stessi ci ha portato poi a commettere una serie di errori nella politica estera per i quali stiamo pagando ora?

La mano di Dio? L'orma del Diavolo? O forse dovremmo piantarla di cercare cause sovrannaturali e guardare un po' più da vicino l'umana follia? Credo che non ci serva altro che questo.

Il calcolo degli eoni

Counting the Eons, 1980
Traduzione di Loredana Longhini
Urania n. 884 (19 aprile 1981)

Nella sezione "Recensioni" del *New York Times* di oggi, domenica, (mentre scrivo) c'è un articolo intitolato "Che cosa leggono i cinesi" scritto da Lloyd Haft dell'Università di Leyden in Olanda.

Iniziai a leggere l'articolo con una domanda che mi martellava in testa e che era (come voi tutti potete immaginare) «Mi leggono?».

Cominciai a nutrire qualche speranza quando, alla fine della prima pagina, si affermava che ad una certa Fiera del Libro in Cina era stata scritta sulla lavagna un'introduzione relativa ad un particolare ramo letterario. Era intitolata "Che cos'è la fantascienza" e la trattazione non era affatto male. Si trattava, ovviamente, di un'esposizione di *Dalla Terra alla Luna* di Jules Verne[13] e, più oltre, scoprii che non si faceva alcun cenno alla moderna narrativa scientifica, a meno di volervi includere *Il pianeta di mister Sammler* di Saul Bellow[14].

Continuai a leggere, piuttosto scoraggiato. Verso la fine dell'articolo veniva menzionata la nuova rivista cinese *Dushu* (Lettura) che si occupava dei libri tradotti in cinese. Ed ecco apparire la frase magica: «Tra i libri recensiti ultimamente vi figurano *Le lettere di D.H. Lawrence*, *Io, Asimov*, ovviamente di Isaac Asimov e *Buono come oro* di Joseph Heller[15]».

Ne fui felice. Dunque i cinesi avevano sentito parlare di me. Tuttavia *Io, Asimov* non è uno dei miei romanzi e neppure uno dei miei soliti libri che non appartengono alla narrativa. È il primo volume della mia autobiografia, in cui sono stato incautamente franco. Non potevo fare a meno di rendermi conto che ora tutti sapevano la mia età, perfino i cinesi. Il fatto innegabile è che io sono nato il 2 gennaio 1920.

Infatti Doubleday lo rese spiacevolmente evidente perché quando il mio libro fu pubblicato nel 1979 misero sotto il titolo l'avviso in stampatello "Autobiografia di Isaac Asimov 1920-1954" e lo bordarono di nero. Il che deve aver fatto dire a molti «Poveretto! Morire a 34 anni! Mi chiedo chi ha continuato a scrivere sotto il suo nome negli ultimi 25 anni».

Il secondo volume della mia autobiografia è uscito nel 1980. È intitolato *In Joy Still Felt*, ed ha il sottotitolo "Autobiografia di Isaac Asimov 1954-1978". Adesso la gente dirà: «Poveretto! Morire a 24 anni! Come ha fatto a scrivere tutti quei libri in una vita cosi breve?».

Be', non sono morto neanche nel 1978, mucchio di sapientoni, ma se devo meditare sul fatto che sono arrivato all'inizio della mezza età, posso rifarmi parlando di oggetti

---

[13] *De la Terre à la Lune* (1865) di Jules Verne (1828-1905).
[14] *Mr. Sammler's Planet* (1970) di Saul Bellow (1915-2005).
[15] *Good as Gold* (1979) di Joseph Heller (1923-1999).

anche più vecchi di me.

La Terra per esempio.

Che età ha la Terra? Prima del 18° secolo, nella tradizione occidentale ci si basava sulla Bibbia e partendo dai dati in essa contenuti si arrivava per la maggior parte ad un calcolo di sei/settemila anni. Il più famoso di questi calcoli era quello fatto dall'arcivescovo James Ussher della Chiesa Anglicana che, nel 1658, sulla base di studi biblici affermò che la creazione della Terra era avvenuta alle ore 8 pomeridiane del 22 ottobre dell'anno 4004 prima di Cristo. (Non penso che facesse riferimento all'ora di Greenwich. Forse pensava che la Terra fosse piatta.)

La prima persona nella tradizione occidentale che cercò di spingere l'indagine al di là del limite biblico fu il naturalista francese Georges Louis Leclerc de Buffon, che nel 1745 osò suggerire che la Terra non era stata creata dal Verbo di Dio ma dalla collisione di un corpo massiccio (che egli chiamò "cometa") con il Sole. Egli riteneva che questo fosse accaduto 75.000 anni fa e che la vita fosse probabilmente iniziata 40.000 anni fa. Fu un'affermazione molto ardita per quell'epoca, che gli creò non poche difficoltà con i teologi. Per sua fortuna Buffon non era uno degli attuali intransigenti controversialisti, ma sapeva come ritirarsi garbatamente quando l'ignoranza si faceva scudo della Bibbia.

Venne poi la volta del geologo scozzese James Hutton che, nel 1785, pubblicò un libro intitolato *La teoria della Terra*, nel quale descrisse accuratamente i lenti cambiamenti che avvengono oggi sulla crosta terrestre. Egli affermò che alcune rocce avevano fatto da sedimento e che si erano poi compresse fino ad indurirsi; che altre erano emerse dalle profondità terrestri sotto forma di lava fusa per poi raffreddarsi e solidificarsi; che le rocce esposte erano state erose dall'azione del vento e dell'acqua. Tutto il processo era avvenuto con estrema lentezza.

La grande intuizione di Hutton fu che le forze che ora agiscono lentamente per cambiare la superficie terrestre hanno agito sempre allo stesso modo e con gli stessi tempi durante tutto il passato della Terra. Si tratta del "principio d'uniformismo".

Nei decenni che seguirono i geologi cominciarono a cercare di usare il principio d'uniformismo per calcolare l'età della Terra o almeno quella di alcuni fenomeni geologici. Riuscirono a calcolare approssimativamente il tempo necessario perché una roccia sedimentaria raggiungesse un dato spessore, o quanto impiegava il delta di un particolare fiume a formarsi dal fango trascinato a valle. Quantunque i calcoli fossero approssimati al meglio e ogni tanto richiedessero anche qualche congettura, sembrava perfettamente chiaro che per giustificare quanto esisteva sulla Terra, la sua età non avrebbe potuto essere decine di migliaia d'anni, come aveva creduto Buffon, ma piuttosto di centinaia di milioni di anni.

Prendiamo l'oceano, per esempio. Contiene un 3,3% di sale e questo sale, si credeva, era portato nell'oceano ad un ritmo impercettibile dalla pioggia che, precipitando sui continenti, scioglieva i residui di sale dalle rocce e dal suolo e li portava all'oceano.

Se si calcolava il contenuto salino dei fiumi e poi quanta acqua (e perciò quanto sale sciolto) i fiumi riversavano nell'oceano annualmente, e si presumeva che gli oceani all'inizio fossero formati d'acqua dolce, si poteva ipotizzare che ci sarebbero voluti

circa un miliardo di anni perché l'oceano raggiungesse l'attuale presenza salma. Questo significava che la Terra aveva almeno un miliardo di anni, od un eone, in quanto definiamo eone un miliardo di anni.

Alcuni geologi non accettavano la teoria dell'uniformismo, tuttavia non potevano negare l'età della Terra. Essi suggerivano invece una serie di catastrofi ("catastrofismo"), ciascuna delle quali aveva dato forma ad un nuovo pianeta, la cui ultima versione sarebbe stata quella della Genesi. William Buckland, un geologo inglese che era anche sacerdote, si atteneva fermamente alla Bibbia, ma ammetteva che vi potevano essere stati milioni di anni durante i quali era esistita una Terra "pre-adamitica".

Charles Lyell era uno dei discepoli di Buckland. Era uniformista ed il suo *Princìpi di geologia*, pubblicato in tre volumi tra il 1830 ed il 1833 distrusse il catastrofismo.

L'idea di una lunga età terrestre fondata sulle osservazioni geologiche piaceva ai biologi, che durante la prima metà del XIX secolo cominciarono a scoprire che vi erano forme di vita apparse sulla Terra e poi scomparse molti, molti anni prima. Vi era già sentore di teoria evolutiva e un sempre maggior numero di biologi osava sfidare le ire dei teologi ipotizzando che la vita non si era formata in un batter d'occhio per decreto divino, ma che si era evoluta lentamente come risultato di piccolissimi e continui cambiamenti.

Tutto questo raggiunse il culmine con il naturalista Charles Darwin, un amico di Lyell che era rimasto grandemente influenzato dal suo libro. Nel 1859 Darwin pubblicò *L'origine delle specie per selezione naturale* con il quale tolse all'intelligenza divina il compito di plasmare le attuali forme di vita e lo attribuì al lento e casuale cambiamento evolutivo, per il quale ci voleva tempo, molto tempo. Un miliardo di anni non era affatto troppo per la Terra.

Tuttavia, contro la forza combinata della geologia e della biologia vi erano fisica ed astronomia. Negli anni attorno al 1840 venne accettata dai fisici la legge della conservazione dell'energia il cui principale sostenitore era il fisico tedesco Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz (1821-1894) che affrontò il problema di stabilire la sorgente dell'energia solare.

Fino ad allora, nessuno se n'era troppo preoccupato. I fuochi terrestri avevano bisogno di essere continuamente ravvivati, ma si pensava che il fuoco celeste obbedisse ad altre leggi ed era quindi una questione di fede il fatto che i cieli erano perfetti ed immutabili, almeno finché a Dio non fosse piaciuto porvi fine.

Ma Helmholtz, applicando la legge della conservazione dell'energia, sapeva che l'energia solare, profusa incessantemente in tutte le direzioni durante tutta la sua vita (considerando che una piccolissima, evanescente frazione si fermava sulla Terra, mentre il resto si perdeva, sprecato, nello spazio vuoto) aveva bisogno di una sorgente, di un' immensa sorgente.

Nel 1854 era arrivato alla conclusione che l'unica sorgente possibile (date le conoscenze d'allora) fosse la contrazione. Tutta la sostanza dell'immenso Sole convergeva verso il suo centro sotto la sua gigantesca attrazione gravitazionale e l'energia cinetica di quell'enorme caduta veniva trasformata in energia radiante. Si poteva avere l'impressione che il Sole non dovesse splendere a lungo, ma esso era così enorme che la contrazione di soltanto un decimillesimo del suo raggio poteva fornirgli una quantità d'energia sufficiente per duemila anni al ritmo con cui irradiava quell'energia.

Durante l'intero periodo della civilizzazione umana, la contrazione solare necessaria perché il Sole continuasse a splendere sarebbe stata molto piccola e certamente impercettibile all'osservatore casuale.

Ma se si includevano le lunghissime ere preistoriche? Il medico scozzese William Thomson (poi divenuto Lord Kelvin, 1824-1907) calcolò che se il Sole avesse continuato ad irradiare all'attuale ritmo per venticinque milioni di anni, per fornire energia con eguale costanza durante tutto quel periodo avrebbe dovuto contrarsi da un raggio di 150.000.000 di chilometri al presente raggio di 1.400.000 chilometri. E se il raggio solare fosse stato di 150.000.000 di chilometri in passato, allora la sua immensa massa avrebbe riempito l'orbita terrestre, e la Terra avrebbe potuto formarsi e raffreddarsi soltanto quando il Sole si fosse contratto fino a raggiungere una dimensione considerevolmente più piccola. Ragionando a questo modo, la Terra non avrebbe potuto avere più di 25 milioni di anni.

Kelvin affrontò il problema da due altre angolazioni. Era consapevole che l'attrito della marea rallentava la velocità di rotazione della Terra e che in passato essa aveva girato su se stessa più velocemente del momento attuale. Quando fu abbastanza calda da cominciare a fondersi, la Terra produsse un rigonfiamento equatoriale. Kelvin calcolò a quale velocità la Terra avrebbe dovuto girare sul proprio asse per produrre un rigonfiamento equatoriale delle dimensioni attuali. Risultò che questa velocità di rotazione avrebbe dovuto essere quella che la Terra aveva circa 100 milioni di anni fa, quindi quello era pressappoco il periodo in cui essa avrebbe dovuto cominciare a solidificarsi.

Infine, se la Terra aveva originariamente fatto parte del Sole, come credevano gli astronomi di quel tempo, avrebbe dovuto iniziare a vivere alla temperatura del Sole, cioè a 4.500°C. Quanto tempo ci sarebbe voluto perché gli strati esterni della Terra si raffreddassero fino a raggiungere l'attuale gradevole temperatura? Kelvin decise nuovamente che la risposta probabile era 100 milioni di anni, ma verso la fine del secolo egli ricalcolò i suoi dati alla luce delle nuove conoscenze sulle proprietà fisiche della crosta terrestre e stabilì che si sarebbe potuto trattare di soli 20 milioni di anni.

Durante la seconda metà del secolo XIX, poi, la fisica, la più rispettata ed inoppugnabile delle scienze, assegnò alla Terra una vita di non più di 0,1 eoni o forse anche 0,02, con grande disagio dei biologi, che volevano, e avevano bisogno, di un tempo molto più lungo.

Tuttavia, nel 1896 fu scoperta la radioattività e la fisica ne fu improvvisamente rivoluzionata. Innanzi tutto fu scoperta una nuova fonte d'energia. Essa fu poi chiamata "energia nucleare" quando, principalmente dai risultati delle ricerche sulle sostanze radioattive e sulle loro radiazioni, si scoprì che l'atomo aveva una struttura e che la maggior parte della sua massa era contenuta entro un piccolissimo nucleo centrale.

Ciascun atomo radioattivo, disgregandosi, emanava una microscopica particella d'energia, ma tutti gli atomi della crosta terrestre, disgregandosi a poco a poco, emettevano abbastanza energia da mantenere all'infinito la crosta terrestre all'attuale temperatura. E questo vanificò il valore del calcolo di Kelvin. La Terra avrebbe potuto trovarsi alla temperatura, solare più di un miliardo di anni fa, avrebbe potuto raffred-

darsi rapidamente in 20 milioni di anni, fino all'attuale temperatura, e poi raggiungere un punto di stabilità e raffreddarsi solo molto, molto lentamente.

Il fisico britannico Ernest Rutherford (1871-1937), che presto avrebbe scoperto il nucleo atomico, illustrò il ruolo della radioattività in questo contesto nel 1904, avendo il vecchio Kelvin tra gli ascoltatori della sua relazione. Rutherford era perfettamente conscio della presenza di Kelvin, e quando arrivò al punto cruciale e vide lo sguardo bieco dell'ottantenne Kelvin fisso su di lui, aggiunse in fretta che Kelvin stesso aveva detto che le sue conclusioni sarebbero state corrette soltanto se non fosse stata scoperta una qualche fonte sconosciuta d'energia. La straordinaria predizione di Kelvin era corretta, affermò Rutherford: infatti era stata scoperta una sconosciuta fonte d'energia. Al che il viso di Kelvin si rilassò e si aprì ad un sorriso.

(Tuttavia Kelvin non ne fu lusingato al punto di accettare il nuovo punto di vista. Morì nel 1907, e fino all'ultimo rifiutò di accettare quel concetto di nuovo conio che era la radioattività.)

Anche altri argomenti a favore della teoria di una breve vita terrestre non ebbero successo. Ci si rese subito conto che l'energia nucleare appariva una più probabile sorgente di radiazione solare di qualsiasi altra cosa e il concetto helmholziano della contrazione solare venne completamente scartato. Se invece i fisici facevano assegnamento sull'energia solare, il Sole avrebbe potuto splendere per un eone o più senza variazioni notevoli di dimensione. I dettagli di questa teoria furono messi a punto negli anni Trenta.

Per quanto riguardava la rotazione terrestre e le dimensioni del rigonfiamento equatoriale, questo faceva presumere che una volta solidificatasi la Terra, la sua crosta non avesse subìto grandi variazioni. Tuttavia vi erano prove del contrario e la tesi di Kelvin venne quindi abbandonata. La scoperta della tettonica negli anni Cinquanta e Sessanta distrusse definitivamente questa teoria.

Rutherford nei suoi studi mostrò (sempre nel 1904) che un particolare tipo di atomo radioattivo si disgregava ad un ritmo fisso. Ogni singolo atomo poteva disgregarsi in un momento imprecisato, ma un gran numero di atomi di un particolare tipo, presi assieme, obbedivano alle regole di quella che è chiamata "reazione di prim'ordine".

In questa reazione metà degli atomi si sarebbe disgregata dopo un certo intervallo di tempo, diciamo *x* anni. Metà di quelli che rimanevano si sarebbe disgregata dopo altri *x* anni; metà di quelli che rimanevano ancora dopo altri *x* anni, e così via. Questo periodo di *x* anni, Rutherford lo chiamò "periodo radioattivo". Ciascun tipo di atomo radioattivo aveva il suo caratteristico periodo radioattivo, da molto breve a molto lungo.

Non si rivelò compito difficile determinare i periodi radioattivi. L'uranio, il primo elemento rivelatosi radioattivo, consiste di due tipi di atomi, l'uranio 238 e l'uranio 235. Il primo ha un periodo radioattivo di 4.500 milioni di anni, o 4,5 eoni. Il secondo ha un periodo radioattivo di 0,7 eoni. L'elemento torio consiste esclusivamente di atomi di torio 232, che ha un periodo radioattivo di 13,9 eoni.

Sempre nel 1904 il fisico americano Bertram Borden Boltwood produsse la prova definitiva che l'uranio 238, l'uranio 235 ed il torio 232 generano, singolarmente, una serie piuttosto lunga di discendenti radioattivi, tutti i componenti della quale riman-

gono nei minerali d'uranio e di torio in delicato equilibrio, se i minerali restano integri e indisturbati.

Nel 1905 Boltwood dimostrò che si trovava sempre piombo nei minerali contenenti uranio e che questi poteva essere il prodotto finale stabile della serie. Il che risultò esatto. L'uranio 238 inizia una serie radioattiva che termina con il piombo stabile 206; l'uranio 235 termina con il piombo stabile 207 ed il torio 232 termina con il piombo stabile 208.

Ripensando alla sua teoria, Boltwood dimostrò nel 1907 che poteva essere possibile determinare l'età di una roccia – o almeno il periodo di tempo in cui essa era rimasta integra e indisturbata – in questo modo. Misurando la quantità di uranio e di piombo di un pezzo di roccia e conoscendo il periodo di vita radioattivo degli atomi dell'uranio 238, si sarebbe potuto calcolare quanto tempo c'era voluto perché quella data quantità di piombo si formasse da quella data quantità di uranio.

C'è, però, un tranello. Il piombo non esiste soltanto perché si forma dal disgregarsi dell'uranio e del torio. Il piombo esiste sulla crosta terrestre indipendentemente dalla disgregazione radioattiva. C'è del piombo in rocce che non contengono tracce rilevabili né d'uranio né di torio e che probabilmente non ne hanno mai contenute.

In questo caso, se abbiamo una roccia che contiene sia uranio sia piombo, potrebbe darsi che tutto il piombo formatosi dall'uranio e dalla roccia sia giaciuto indisturbato per un tempo lunghissimo; o che la maggior parte del piombo sia stato presente fin dall'inizio e ben poco se ne sia aggiunto attraverso la disgregazione dell'uranio, nel qual caso la roccia potrebbe essere molto giovane.

Come si può stabilire qual è la risposta giusta?

Dobbiamo prendere in considerazione il piombo. Esso è costituito da quattro isotopi stabili: il piombo 204, il piombo 206, il piombo 207 ed il piombo 208. Di questi, il piombo 206, 207 e 208 avrebbero potuto essere presenti sin dall'inizio, ma una parte si sarebbe potuta formare dal rispettivo disgregarsi dell'uranio 238 e 235 e del torio 232.

Tuttavia il piombo 204 è l'unico isotopo del piombo che non si forma dalla disgregazione di un qualsiasi atomo radioattivo che si presenti naturalmente. Tutto il piombo 204 che esiste sulla crosta terrestre era già presente al formarsi della Terra.

Supponiamo allora di prendere in considerazione il piombo proveniente da sorgenti dove non c'è mai stata traccia né di uranio né di torio, per quel che ne possiamo sapere. In questo caso, la proporzione dei vari isotopi di piombo è la seguente:

piombo 204 = 1.0
piombo 206 = 15.7
piombo 207 = 15.1
piombo 208 = 34.9

Se in una roccia di piombo contenente uranio e piombo si stabilisce la quantità di piombo 04 e la si moltiplica per 15,7, si determina la quantità di piombo 206 presente all'inizio. Qualsiasi quantitativo di piombo 206 presente che superi quel valore è li solo a causa della disgregazione dell' uranio 238. Sapendo che il periodo radioattivo dell'uranio 238 è di 4,5 eoni, si può scoprire quanto tempo è stato necessario perché si formasse quella quantità supplementare di piombo 206 e quindi per quanto tempo la

roccia è rimasta allo stato solido.

(Naturalmente, se la roccia dovesse liquefarsi, gli atomi di uranio e di piombo si muoverebbero liberamente, subirebbero differenti reazioni chimiche e si separerebbero. È soltanto mentre la roccia rimane intera che essi vengono imprigionati ed obbligati a rimanere assieme, stabili.)

Qualsiasi quantità di piombo 207 presente, maggiore di 15,1 volte la quantità di piombo 204, è presente per la disgregazione dell'uranio 235. Qualsiasi quantità di piombo 208 presente, maggiore di 34,9 volte la quantità di piombo 204, è presente per la disgregazione del torio 232.

L'uranio 235 è presente in misura molto minore dell'uranio 238. Il torio 232, benché sia pressappoco comune quanto l'uranio 238, ha un periodo radioattivo che è tre volte quello dell'uranio 238 e perciò si disgrega soltanto ad un terzo della sua velocità. Ne risulta che l'uranio 235 e il torio danno una minore contribuzione di piombo che non l'uranio 238 e per stabilire l'età delle rocce il più utile è il contenuto di piombo 206.

Nonostante tutto questo è auspicabile che tutt'e tre le suddivisioni diano risultati simili, altrimenti si potrebbe giustamente sospettare che vi sia qualcosa di sbagliato.

Nell'insieme i risultati sono frammentari. La Terra è un pianeta geologicamente attivo. L'azione dell'acqua, dell'aria e della vita lasciano intatte poche parti della crosta terrestre. L'azione vulcanica e lo spostamento della crosta terrestre rappresentano continui cambiamenti su larga scala. È difficile trovare un pezzo di roccia che sia rimasto intatto ed integro per un periodo molto lungo.

Eppure tali rocce sono state trovate, e i dati risultanti dai vari isotopi di piombo concordavano perfettamente. Alcune rocce sulla Terra sono chiaramente rimaste intatte non soltanto per un eone, ma per due e persino tre eoni. In una regione dell'Africa una volta chiamata Rhodesia del sud ed ora chiamata Zimbabwe, è stato trovato un pezzo di granito vecchio di 3,3 eoni.

Un'età di 3,3 coni per la Terra rappresenta solo un minimo. La storia della Terra è stata indubbiamente più turbolenta nella sua infanzia di quanto lo sia nella sua presente quieta mezza età. Le rocce più vecchie o sono sepolte a profondità irragiungibili o semplicemente non esistono più. Forse ogni frammento di materiale solido sulla crosta terrestre prima o poi si è fuso, raffreddato, fuso e raffreddato parecchie volte durante i primi stadi della esistenza della Terra, per cui ben poco che sia più vecchio di tre eoni sopravvive intatto, e solo per caso.

Neppure attraverso lo studio della Terra stessa si può forse calcolare di quanto l'età della Terra superi i 3,3 eoni.

C'è una via d'uscita?

Sì, c'è. Tutte le attuali teorie sull'origine della Terra suppongono che si sia formata assieme al resto del sistema solare durante un singolo processo. In altre parole, se sapessimo l'età della Luna o di Marte o del Sole, sapremmo l'età della Terra. Quello che veramente cerchiamo è l'età del sistema solare.

In generale, essendo tutte le cose uguali, più piccolo è il mondo, e più probabile è che esso sia geologicamente morto e che presumibilmente parti di esso siano rimaste solide dai primordi del sistema solare. Questo significa che se potessimo analizzare le rocce della superficie lunare, potremmo calcolare l'età del sistema solare e quella della

Terra più facilmente che non analizzando qualsiasi cosa sulla Terra.

Nel 1969 abbiamo finalmente raggiunto la Luna e abbiamo ottenuto rocce lunari da analizzare. La loro età, almeno sulle regioni montuose, tende a datare da 4 a 4,2 eoni, più di qualsiasi cosa esistente sulla Terra. Eppure anche questo è un minimo. Prima di 4 miliardi di anni fa (per non dire quanto tempo prima se avessimo solo rocce lunari su cui basarci) la crosta della Luna venne in gran parte polverizzata, distrutta e forse in larga misura fusa dalle collisioni che diedero origine a tutti quei crateri e mari lunari.

E anche qui c'è una via d'uscita. Infatti avevamo qualcosa di meglio della Luna, già prima di avere posto piede sulla Luna. Ci sono i meteoriti, pezzi di detriti solidi che possono aver girato attorno al Sole già formati e intatti mentre la Luna tremava sotto le esplosioni finali della materia che si fondeva per formarla.

Delle due maggiori forme di meteoriti, quelli di ferro non contengono rilevanti quantità di uranio o torio. La piccola quantità di piombo che contengono, a giudicare dal contenuto di piombo 204, era presente sin dall'inizio.

I meteoriti di roccia tuttavia contengono uranio e torio in quantità sufficiente a rendere possibile una stima della loro, età, che risulta essere di circa 4 eoni e mezzo. Questo, per una curiosa coincidenza (e niente di più) è giusto sufficiente perché metà del contenuto originario di uranio 238 si sia disgregato.

Vi sono altri metodi per determinare l'età del sistema solare, ma non è necessario approfondirli. La cosa importante è che tutti sono straordinariamente concordi, per cui gli astronomi confidano che il sistema solare (e quindi la Terra) abbia un'età di 4,6 eoni, ovvero 4.600 milioni di anni. Questo significa che la più vecchia roccia trovata sulla Terra è rimasta solida ed intatta per il 72 per cento della totale esistenza della Terra.

Si tratta solo del sistema solare. Il sistema solare è un puntino di materia incastrato nella nostra Galassia, che a sua volta non è che una delle molte, molte galassie.

Il sistema solare si è formato nello stesso periodo della nostra Galassia, ed in generale di tutto l'Universo? Oppure il nostre Sole ed il suo seguito di pianeti è un ritardatario, nato in un universo già vecchio di eoni, e forse di infiniti eoni?

Ritorneremo sull'argomento un'altra volta.

La Supernova che ci aspetta

Ready and Waiting, 1983
Traduzione di Guido Boreani
Urania n. 946 (12 giugno 1983)

Attorno al 130 avanti Cristo, l'astronomo greco Ipparco compilò un elenco delle stelle, il primo di cui siamo a conoscenza. Vi erano elencati circa 850 astri, con i nomi allora in uso, la latitudine e longitudine rispetto all'eclittica (la traiettoria seguita dal sole sullo sfondo del cielo stellato), e la posizione esatta del sole all'equinozio di primavera.

Perché lo fece? Secondo Plinio, che ne scrisse due secoli dopo, fu perché « aveva scoperto una nuova stella ».

Sarà bene ricordare che prima dell'invenzione del telescopio quasi tutti gli astronomi davano per scontato che *tutte* le stelle fossero visibili per chi avesse la vista abbastanza acuta. Il concetto di stella invisibile era un po' come una contraddizione in termini. Se era invisibile, non era una stella.

Però la luminosità delle stelle non è costante, e alcune sono cosi tenui che è molto difficile vederle. Non era possibile che certe, poche magari, fossero talmente fioche da non essere visibili, nemmeno da un occhio particolarmente acuto? Una simile possibilità, a noi che ci pensiamo oggi col senno di poi, appare tanto logica che ci meravigliamo che qualcuno non sia stato in grado di immaginarla.

Il problema è che fino a quattro secoli e mezzo fa gli esseri umani vivevano in un universo che aveva per centro la Terra, e credevano fermamente che ogni cosa, nell'Universo intero, fosse stata creata al solo scopo di esercitare un qualche effetto sugli esseri umani. (Molti vivono in un universo simile anche oggi.)

Si poteva cosi pensare che le stelle esistevano solo perché erano così belle da appagare la nostra vista e da commuoverci col loro fascino meraviglioso.

Oppure, chi era più materialista, poteva pensare che le stelle formassero un complesso crittogramma, contro il quale gli oggetti mobili come il Sole, la Luna, i pianeti, le comete e le meteore segnavano dei percorsi da cui si potevano trarre segnali per la condotta degli uomini.

O anche, con un pensiero più sublime, si poteva immaginare che le stelle avevano lo scopo di suscitare negli animi un senso di indegnità, e di suggerire l'esistenza di un'entità trascendente, al di là della portata della comprensione umana. (« Narrano i cieli la gloria di Dio, l'opere sue proclama il firmamento ». Salmi 19.2)

In un Universo con al centro la Terra, cioè l'uomo, l'idea di una stella invisibile non aveva alcun senso. Che scopo avrebbe mai avuto? Se non la si vedeva, non serviva né all'estetismo, né al materialismo, né alla religione.

Tuttavia Ipparco, che, dopo aver passato lungo tempo a scrutare i cieli e a determinare la posizione dei pianeti sullo sfondo stellato, conosceva ormai a memoria il disegno formato dalle circa mille stelle più luminose, guardò il cielo notturno e vide una stella che non aveva mai visto prima.

Poteva immaginare solo che fosse una stella *nuova,* una che si era appena formata. E solo temporaneamente, anche, perché in seguito scomparve di nuovo. (Plinio non lo dice, ma possiamo essere sicuri che fu così.)

Ipparco deve aver pensato che una simile intrusione celeste fosse un evento notevole, e dev'essersi chiesto se era un fatto frequente. A dire la verità non esistevano notizie precedenti di nuove stelle, ma un avvenimento così silenzioso poteva anche essere passato inosservato. Per cui preparò il suo elenco, di modo che qualche futuro astronomo, al minimo sospetto di novità, potesse consultano per assicurarsi se nella posizione in cui era stata vista una stella prima, non ci fosse niente.

Nei secoli che seguirono il lavoro di Ipparco, furono a volte notate, anche se di rado, nuove stelle. L'11 novembre 1572 ne apparve una particolarmente notevole nella costellazione di Cassiopea. Un astronomo danese di 25 anni, Tycho Brahe, la osservò attentamente, e scrisse al riguardo un libretto di 52 pagine che lo rese in breve tempo l'astronomo più famoso d'Europa.

Tycho (nell'uso comune è rimasto, chissà perché, il solo nome) diede al suo libro un titolo lunghissimo, che viene di solito riassunto in *Sulla nuova stella.* Dal momento che il libro è scritto in latino, il titolo esatto è *De nova stella.* Da allora ogni "stella nuova" viene detta *nova,* che in latino significa appunto "nuova".

Ed ecco che nel 1609 Galileo costruì il suo primo telescopio, lo puntò verso il cielo e vide che, apparentemente, rendeva più luminosa ogni stella e che molte di esse, troppo tenui per essere visibili a occhio nudo, grazie al telescopio potevano essere viste e studiate. Galileo scopri che esistevano moltissime stelle invisibili a occhio nudo, molte di più di quelle visibili. E se una di queste, per qualche ragione, fosse divenuta più luminosa, in modo da essere visibile a occhio nudo, sarebbe stata creduta, prima dell'invenzione del telescopio, una stella "nuova".

Nel 1596, per esempio, l'astronomo tedesco David Fabricius aveva notato, nella costellazione di Cetus, una stella di terza grandezza, che impallidì e scomparve. La ritenne un'altra stella effimera, apparsa e scomparsa come quelle di Ipparco e di Tycho. Durante il secolo successivo, però, quella stella fu rivista nel medesimo punto in diverse occasioni. Col telescopio si scoprì che era sempre presente, ma che la sua luminosità era molto irregolare. Quando era più tenue non era visibile a occhio nudo, ma riusciva a splendere a diverse gradazioni di brillantezza visibile, fino a raggiungere temporaneamente, nel 1779, la prima grandezza. Venne chiamata "Mira" (meravigliosa), sebbene il suo nome scientifico sia Omicron Ceti.

Al giorno d'oggi una stella viene definita "nuova" quando comincia a risplendere con chiarezza all'improvviso, anche se rimane così tenue da non poter essere vista a occhio nudo. Ci sono anche stelle che risplendono e si attenuano con regolarità, ma si tratta di "stelle variabili" e non vengono considerate "novae".

Ora che possiamo contare sull'aiuto del telescopio, le novae non sono più rare e meravigliose come un tempo. Mediamente, il 25% delle apparizioni avvengono nella nostra Galassia, sebbene molte rimangono celate dalle nubi di pulviscolo che ci impediscono di vedere con chiarezza al di fuori del nostro angolo di Galassia.

Una nova solitamente appare senza preavviso, ed è scoperta solo dopo che ha cominciato a brillare. Dopodiché può venire osservata fino a che si attenua e

scompare, tornando a essere quello che era, presumibilmente, in origine.

Col passare degli anni si sono studiate sempre più "post-novae" di questo genere, finché, negli anni '50, divenne chiaro che erano tutte, senza eccezione, stelle gemelle. Si scoprì infatti che le novae sono una coppia di stelle con un centro gravitazionale comune, e cosi vicine l'una all'altra da causare reciprocamente notevoli influenze di marea. Una delle due è invariabilmente una nana bianca, mentre l'altra è una stella normale.

La spiegazione del fenomeno è semplice. L'influenza di marea della nana bianca trae materia ricca di idrogeno fuori dalla sua gemella normale. Questa materia si disporrà ad anello attorno alla nana, per poi formare una spirale che punta verso il suo centro. Avvicinandosi alla nana, questa materia è soggetta a un campo gravitazionale crescente, che la condensa e produce la fusione dell'idrogeno che la forma. La nana bianca brilla sempre un po' di più che se fosse singola, per lo scintillio della nuvola di idrogeno strappata alla sua compagna.

Ogni tanto, però, grandi quantità di materia si staccano dalla stella principale (senza dubbio a causa di attività più intensa del normale sulla sua superficie), e sulla nana bianca scende un ammontare relativamente elevato di idrogeno, oppure l'idrogeno che scende con regolarità sulla nana si accumula fino a esplodere. Ciò produrrà una luce molte volte maggiore di quella della nana stessa, e vista dalla Terra, la stella diventerà improvvisamente molto più luminosa di come era prima. E poi, ovviamente, l'idrogeno si consuma e lo splendore della stella si attenua fino alla volta successiva.

Ma la storia non finisce qui.

Nel 1885, nelle regioni centrali dì quella che era allora conosciuta come la nebulosa di Andromeda, fu osservata una stella, in un punto dove non ne era mai stata vista nessuna. La sua luminosità durò per breve tempo, poi si attenuò e scomparve. Anche al massimo dello splendore non risultava visibile a occhio nudo, e fu considerata un esemplare poco importante. Il fatto che emettesse una quantità di luce pari a quella dell'intera nebulosa di Andromeda, non fu ritenuto degno di nota.

Proviamo a supporre però che la nebulosa di Andromeda non sia un ammasso relativamente vicino di gas e pulviscolo, come ritenevano molti astronomi dell'epoca, e che invece si tratti di un agglomerato di stelle molto distante. Alcuni astronomi sospettavano un fatto del genere.

Nel 1910, l'americano Herbert Doust Curtis studiò la nebulosa e osservò che nel suo interno si potevano scorgere tenui lampi, che attribuì alle novae. Se la nebulosa di Andromeda fosse stata lontanissima, le sue stelle, viste dalla Terra, sarebbero state talmente indistinte che la nebulosa sarebbe apparsa come una nebbia. Le novae avrebbero brillato abbastanza per poter essere individuate una per una con un buon telescopio, ma sarebbero state lo stesso troppo fievoli in confronto alle stelle della nostra Galassia.

Curtis individuò un gran numero di novae nella nebulosa di Andromeda, molte di più di quante apparivano nello stesso momento in altri settori di cielo con le stesse dimensioni. Ne concluse che la nebulosa era effettivamente una galassia, che conteneva così tante stelle che le novae erano di conseguenza numerosissime. Aveva ragione. La Galassia di Andromeda (cosi la chiamiamo adesso) dista da noi circa

700.000 parsec (un parsec equivale a 3,26 anni luce) cioè più di 30 volte della stella più lontana della nostra Galassia.

Ma in questo caso, la nova del 1885 come aveva potuto diventare cosi luminosa da essere quasi visibile a occhio nudo? L'opinione di Curtis, nel 1918, era che si trattasse di una nova eccezionale, dalla luminosità straordinaria. Infatti, se la nebulosa di Andromeda era in realtà una galassia grande come la nostra, ne conseguiva che la nova del 1885 aveva brillato da sola come un'intera galassia, e che era stata temporaneamente miliardi di volte più luminosa del nostro Sole. Solitamente le novae hanno una luminosità temporanea di qualche centinaio di migliaia di volte maggiore del Sole.

Negli anni '30, l'astronomo svizzero Fritz Zwicky effettuò un'accurata ricerca sulle novae extragalattiche che avessero raggiunto una luminosità pari a quella di una galassia, e diede a questa varietà ultra-luminosa il nome di "supernovae". (La nova del 1885 viene ora chiamata "S Andromedae", dove la S sta per supernova.)

Mentre una nova può ripetersi più volte, cioè ogni volta che accumula una sufficiente quantità di idrogeno dalla sua stella gemella, le supernovae sono fenomeni unici.

Una supernova è una grande stella che ha consumato tutto il combustibile nel suo nucleo e che, non riuscendo più a sostenere la propria spinta gravitazionale, collassa. Così facendo, l'energia cinetica causata dal movimento verso l'interno si converte in calore, e l'idrogeno ancora esistente negli strati più esterni viene riscaldato e compresso al punto da innescare una reazione di fusione. L'idrogeno si consuma tutto in una volta e la stella esplode, bruciando tutta la sua energia in brevissimo tempo e rilucendo temporaneamente con un bagliore che supera quello di un'intera galassia di stelle.

Dopo l'esplosione rimane solo una piccola stella di neutroni che non esploderà mai più.

Potete facilmente immaginare che le supernovae sono molto più rare delle novae: infatti abbiamo mediamente una supernova ogni circa 250 novae. In una galassia come la nostra, dovrebbe essercene una ogni dieci anni, ma sono quasi tutte nascoste da nubi di pulviscolo, per cui, nell'angolo di Galassia alla portata dei nostri occhi e dei nostri telescopi ottici, una supernova sarà osservata si e no ogni tre secoli.

Naturalmente una supernova è molto più spettacolare di una nova vista dalla stessa distanza, e allora ci si domanda: nella nostra parte di Galassia è stata mai vista una supernova?

La risposta è si.

La "stella nuova" vista da Tycho era senza dubbio una supernova. Cominciò a risplendere con rapidità, fino a divenire più luminosa di Venere. Era visibile anche di giorno, e di notte riusciva a proiettare vaghe ombre. Restò luminosissima per un paio di settimane, e fu visibile ad occhio nudo per un anno e mezzo, prima di sparire definitivamente.

Nel 1604 l'astronomo tedesco Giovanni Keplero osservò un'altra supernova, meno brillante però di quella di Tycho, dato che non riuscì mai ad uguagliare lo splendore di Marte. Evidentemente era molto più distante di quella di Tycho.

Così, due supernovae furono chiaramente visibili dalla Terra nel breve spazio di trentadue anni. Se Tycho, che morì nel 1601 all'età di 54 anni, fosse vissuto per altri

tre, le avrebbe viste tutte e due. E da allora, ironia della sorte, nei quattrocento anni successivi, *non è comparsa alcuna supernova vicina a noi.* Gli strumenti astronomici si sono evoluti incredibilmente (telescopi, spettroscopi, macchine fotografiche, radio-telescopi, satelliti), ma niente supernovae. La più vicina a noi è stata S Andromedae.

Ci sono state altre supernovae prima di Tycho?

Sì, senz'altro. Nel 1054 (probabilmente il 4 luglio, quasi una celebrazione anticipata dell'indipendenza americana) una supernova iniziò a risplendere nella costellazione del Toro, e fu segnalata dagli astronomi cinesi. Anche questa era più luminosa di Venere, all'inizio, e anche lei scomparve lentamente.. Rimase visibile di giorno per tre settimane, e di notte per due anni.

A parte il Sole e la Luna, era l'oggetto più luminoso in cielo a memoria d'uomo, e, curiosamente, non sono sopravvissute osservazioni sulla supernova del Toro da fonte araba od europea.

Comunque questa storia ha un seguito. L'inglese John Bevis osservò per primo, nel 1731, una piccola chiazza nebulosa nel Toro. L'astronomo francese Charles Messier, quarant'anni dopo, pubblicò un elenco di oggetti nebulosi, e la chiazza del Toro era la prima in lista. Per questo motivo è stata a volte chiamata M1.

L'irlandese William Parsons (Lord Rosse), la studiò nel 1844 e, notando alcune appendici a forma di chela che si estendevano in tutte le direzioni, la chiamò Nebulosa del Granchio, nome accettato ancora oggi.

Ma non solo la Nebulosa del Granchio si trova nel punto esatto in cui apparve la supernova del 1054, ma è evidentemente il risultato di un'esplosione. Le nuvole di gas al suo interno sono spinte in fuori a una velocità che è stato possibile misurare, e risulta evidente che l'esplosione ha avuto luogo nove secoli fa.

L'astronomo tedesco-americano Walter Beade, scoprì, nel 1942, una piccola stella al centro della Nebulosa del Granchio. Nel 1969 si chiarì che si trattava di una "pulsar", una stella a neutroni dalla rotazione rapidissima. Questa pulsar è la più giovane che si conosca, dal momento che è quella che ruota più velocemente (trenta volte al secondo), ed è quanto rimane della stella gigante che esplose nel 1054.

La Nebulosa del Granchio è lontana da noi circa 2000 parsec, una distanza non molto grande secondo le medie galattiche, per cui non desta stupore che lo spettacolo sia stato così meraviglioso. (Le supernovae del 1572 e del 1604, più lontane, non hanno lasciato tracce di stelle a neutroni.)

È possibile che si siano verificati avvenimenti ancor più sorprendenti nella preistoria.

Circa 11.000 anni fa, quando nel Medio Oriente gli esseri umani stavano iniziando a sviluppare l'agricoltura, esplose una stella distante solo 460 parsec, meno di un quarto della distanza della supernova del 1054.

La sua luminosità, al punto di massimo splendore, deve essere stata pari a quella della Luna piena, e questa apparizione di una seconda luna fissa rispetto alle altre stelle e che non aveva né disco né fasi visibili deve aver profondamente stupito i nostri antenati non ancora civilizzati.

Naturalmente non esistono testimonianze di questo avvenimento, anche se alcuni simboli su reperti preistorici possono indicare che fu notato qualcosa di insolito nel cielo, ma abbiamo alcune prove indirette.

L'astronomo russo-americano Otto Struve scoprì nel 1930 una grande zona di nebulosità nella costellazione di Vela.

Questa nebulosità ha la forma di una conchiglia di gas e pulviscolo e fu messa dall'esplosione della supernova di Vela di 11.000 anni fa. Questo fenomeno è dello stesso tipo della Nebulosa del Granchio: avendo potuto espandersi per un periodo dodici volte più lungo, è molto più grande.

Studiata dettagliatamente dall'australiano Colin S. Gum, è ora conosciuta come Nebulosa di Gum. Il punto più vicino della nebulosa dista da noi solo 92 parsec e, alla velocità a cui si sta ora espandendo, attraverserà il sistema solare fra 4.000 anni circa. Comunque, la materia che contiene si è talmente diradata (e lo sarà ancor di più fra 4.000 anni), che non avrà alcun effetto su di noi.

Quando apparirà la prossima supernova visibile? E quale sarà la stella che esploderà?

Se solo avessimo potuto seguire con tutti gli strumenti moderni il processo di esplosione di una supernova vicina, saremmo in grado di rispondere a queste domande con notevole precisione, ma, come ho detto, per quanto riguarda gli avvenimenti di questo genere, siamo alla fine del quarto secolo di silenzio.

Però qualcosa sappiamo. Sappiamo per esempio che più una stella ha massa e più rapidamente consuma l'energia del suo nucleo, più breve sarà la sua vita come stella della sequenza principale, e più veloce e catastrofico sarà il suo collasso.

Anche una stella grande come il nostro Sole espellerà solo una piccola parte della sua massa, quando sarà il momento, e si trasformerà lentamente in una nana bianca. La parte di massa espulsa si espanderà formando una "nebulosa planetaria", cosi chiamata perché si dispone ad anello attorno alla stella, e, circa un secolo fa, si pensava che quest'anello fosse il primo passo verso la formazione dei pianeti.

Per avere una vera esplosione con conseguente collasso e stella a neutroni, una stella deve avere come minimo assoluto una massa pari a 1,4 volte quella del Sole, e, molto probabilmente, si avrà una buona esplosione solo con una stella che abbia una massa di 10 o 20 volte quella del Sole.

Stelle simili sono molto rare. Non esiste più di una stella su 200.000 che abbia massa sufficiente per essere una buona supernova. Tuttavia ne restano circa 100.000.000 nella nostra Galassia e forse 300.000 nella parte a noi visibile. Queste stelle giganti hanno una vita nella sequenza principale che va da uno a dieci milioni di anni (in confronto ai dieci-dodici miliardi del Sole), per cui, su scala astronomica, esplodono frequentemente.

Ci si potrebbe chiedere come mai le stelle giganti non sono esplose tutte, se si forma una supernova ogni dieci anni. A questa velocità, dovrebbero essere scomparse tutte nel giro di un miliardo di anni, mentre la Galassia ha quasi 15 miliardi di anni. E se le stelle giganti durano solo pochi milioni di anni com'è che non sono scomparse tutte nell'infanzia della Galassia?

Il fatto è che se ne formano continuamente, e che tutte le stelle giganti esistenti ora nella nostra Galassia si sono formate circa dieci milioni di anni fa.

Non è possibile tenerle d'occhio tutte costantemente, ma non ce n'è bisogno. Quando una stella comincia a trasformarsi in supernova è facile accorgersene, così ci

si concentra solo su quelle che hanno iniziato il processo.

Quando una stella raggiunge il termine della sua vita nella sequenza principale, comincia a espandersi. Diviene rossastra, perché la sua superficie si raffredda espandendosi. Diventa una gigante rossa, trasformazione comune a tutte le stelle. Anche il nostro Sole, in futuro, fra 5-7 miliardi di anni, diventerà una gigante rossa, e la Terra verrà distrutta durante la trasformazione.

Tanto maggiore è la massa di una stella, tanto più notevole sarà naturalmente lo stadio di gigante rossa, cosicché dobbiamo tener d'occhio solo queste, e non tutte le stelle con forte massa.

La gigante rossa più vicina a noi è Scheat, nella costellazione di Pegaso. Dista solo cinquanta parsec e ha un diametro che è 110 volte quello del Sole. Come gigante rossa è piccola, e se ha già raggiunto le dimensioni massime, significa che non ha una massa più grande del Sole e che probabilmente non diventerà mai una supernova. Se invece si sta ancora espandendo, ci vorrà tempo prima che esploda.

Mira dista da noi circa 70 parsec, il suo diametro è 420 volte quello del Sole e ha una massa molto più grande.

Tuttavia esistono giganti rosse con una massa ancor maggiore, e si trovano a circa 150 parsec da noi. Una è Ras Algethi, in Ercole, con un diametro pari a 500 volte quello del Sole, un'altra è Antares, dello Scorpione, con un diametro 640 volte il Sole.

Betelgeuse, in Orione, è ancora più grande, è pulsante, e ha una luminosità variabile. Questo potrebbe essere un indizio di quell'instabilità che solitamente precede un'esplosione. E come se la stella riuscisse a resistere al collasso e, crescendo la pressione del nucleo, ne venisse spremuta ancora un po' d'energia, cosi che la stella si espande di nuovo.

Recentemente però è stata scoperta quella che potrebbe essere la candidata più probabile. Si tratta di Eta Carinae, nella costellazione omonima. E una gigante rossa enorme, più grande di Betelgeuse, e ha una massa Stimata di cento volte il Sole.

È circondata da una nube di gas densi e in espansione, che emette, potremmo dire, negli spasimi dell'agonia. E ciò che più conta è che è soggetta a variazioni marcate e irregolari della luminosità, che possono essere dovute sia alla pulsazione sia al fatto che la vediamo a volte attraverso squarci della nube che la circonda.

Però, è molto luminosa. Nel 1840 era la seconda stella, per luminosità, dopo Sirio (sebbene Eta Carinae sia un migliaio di volte più lontana da noi di Sirio).

In questo periodo Eta Carinae è molto fioca e non è visibile a occhio nudo. Le sue radiazioni vengono assorbite dalla nube di gas, che le riemette sotto forma di raggi infrarossi. Si può valutare agevolmente l'enorme quantità di energia emanata da questa stella poiché le sue radiazioni infrarosse sono le più forti di tutto il cielo fuori dal nostro sistema solare.

Infine, gli astronomi hanno scoperto che nella nube emessa dalla stella compare anche l'azoto, che, secondo loro, è un indizio ulteriore dell'ultimo stadio prima della trasformazione in supernova. Ci sono perciò buone probabilità che Eta Carinae non duri più di 10.000 anni al massimo, ma potrebbe esplodere anche domani. Dal momento che la sua luce impiega 9.000 anni a raggiungerci, potrebbe essere già esplosa, e la luce dell'esplosione potrebbe essere già in viaggio verso noi. Gli astronomi aspettano.

Dov'è il trucco? In due punti. Primo, Eta Carinae dista circa 2.750 parsec, cioè più di venti volte Betelgeuse, e la sua brillantezza verrebbe in qualche modo attenuata dalla distanza.

Secondo, la costellazione di Carina, è situata nel cielo meridionale, e la supernova, quando verrà, non sarà visibile dall'Europa e da buona parte degli Stati Uniti.

Ma non si può avere tutto.

Dove cadde l'asteroide?

Yes! With a Bang!, 1981
Traduzione di Laura Serra
Urania n. 950 (7 agosto 1983)

Come scienziato, amo pensare di saper distinguere le ipotesi scientificamente infondate da quelle degne di considerazione, e non esito a liquidare come assurde tutte le storie sui dischi volanti, il triangolo delle Bermude ed il potere delle piramidi.

Quando invece mi trovo davanti ad ipotesi scientificamente attendibili, ma *drammatiche* ed insolite, allora si risveglia in me lo scrittore di fantascienza. Mi cominciano a brillare gli occhi, e le pulsazioni accelerano. Di fronte, poi, a più ipotesi ugualmente plausibili e tutte drammatiche, non esito a scegliere quella che preferisco: in genere la più drammatica.

Alcuni anni fa scrissi qualcosa sul misterioso strato di sedimento ricco di iridio trovato in Italia[16] e che, in seguito a esame cronologico era risultato risalire alla fine del Cretaceo, ovvero a quando, circa 70 milioni di anni fa, scomparvero i dinosauri. Coincidenza? Ne dubitavo. Doveva esserci un flesso. Di solito la materia extraterrestre è più ricca di iridio perché sulla Terra la maggior parte dell'iridio si trova al centro del nostro pianeta. Perché escludere che una *pioggia* di materia extraterrestre avesse ucciso i dinosauri? Ma una pioggia dovuta a cosa? Una supernova? Una meteorite? Un'esplosione solare?

Tendevo ad escludere l'ipotesi della supernova. Per avere causato effetti tanto disastrosi, la supenova avrebbe dovuto trovarsi relativamente vicina, mentre le osservazioni astronomiche escludono che 70 milioni di anni fa una stella di quel tipo possa essersi trovata nelle vicinanze della Terra. Inoltre, se l'iridio fosse stato depositato da una supernova avrebbe presentato una percentuale anomala di isotopi, il che non è stato riscontrato. Infine, avrebbero dovuto esserci tracce anche di plutonio-244, prodotto dall'esplosione della stella. Quell'elemento ha infatti una vita talmente lunga, che la sua presenza non avrebbe potuto sfuggire all'analisi.

Anche l'ipotesi di una meteorite sembrava, da escludere. Nessun segno di collisione nel luogo in cui si trovava l'iridio. E poi, anche ammesso che una meteorite avesse colpito quella che adesso è l'Italia, come avrebbe potuto uccidere dinosauri che si trovavano a migliaia di chilometri di distanza?

E così abbracciai l'ipotesi dell'esplosione solare. Dopotutto, tra i minimi di Maunder[17] e le deficienze del neutrino, il Sole appariva in certo senso spaventosamente instabile. Anche solo una piccola esplosione, praticamente

---

[16] L'iridio è stato trovato vicino Gubbio nel 1980, dal premio nobel per la chimica Luis Alvarez, suo figlio e Frank Asaro. (*N.d.R.*)

[17] Il minimo di Maunder è il nome dato al periodo che va circa dal 1645 al 1715 d.C., quando le macchie solari divennero estremamente rare, come notato dagli astronomi del tempo. È così chiamato dal nome dell'astronomo solare Edward Walter Maunder (1851-1928), il quale scoprì la mancanza di macchie solari in quel periodo studiando le cronache dell'epoca. (*N.d.R. - Wikipedia*)

insignificante per il Sole, sarebbe bastata ad inondarci di materia stellare ed a produrre sulla Terra un'ondata di caldo tale da distruggere parecchie forme di vita.

Secondo me, dunque, l'estinzione dei dinosauri era da imputare ad un singhiozzo solare.

Devo anche dire che scelsi questa spiegazione perché sotto un certo profilo era la più allarmante. Infatti, pur restando possibile l'esplosione di una supernova nel lontano passato, o l'impatto con una grossa meteorite, ci sono tutte le ragioni per credere che ancora per alcuni milioni di anni nessuna stella esploderà nelle nostre vicinanze, e nessuna grossa meteorite ci incontrerà sulla sua traiettoria. Data invece l'incertezza sulla composizione degli strati interni del Sole, come possiamo essere sicuri che alla nostra stella non capiterà di avere un'altra volta il singhiozzo?

Adesso però sembra che la mia ipotesi dell'esplosione solare fosse sbagliata, e ne sono lieto. Anche se l'eventualità di una quasi totale eliminazione delle forme di vita terrestri accende la mia fantasia di scrittore, non desidero affatto la conferma di una simile eventualità.

Durante il 1980 si sono accumulate prove in favore dell'ipotesi della meteorite, che avevo considerato la meno probabile.

In un mio articolo avevo scritto: «Mi piacerebbe che venisse fatta un'analisi completa su campioni di rocce di 70 milioni di anni fa prelevati in diversi punti della Terra, perché l'esplosione solare dovrebbe aver interessato tutta la superficie terrestre».

Questa analisi è stata fatta, in Danimarca e in altre zone d'Europa, e anche nel nord Pacifico e nella Nuova Zelanda, e la quantità anomala di iridio si riscontra dappertutto e sempre nello stesso strato, quello che risale alla fine del Cretaceo.

Io avevo sostenuto che simili risultati avrebbero favorito l'ipotesi dell'esplosione solare, ma era chiaro che avrebbero favorito anche quella della supernova, dal momento che anche l'esplosione di quest'ultima avrebbe influito su tutta la superficie terrestre. Non avevo capito, invece, che avrebbe suffragato pure l'ipotesi della meteorite, fatte salve determinate circostanze.

Nel mio articolo sostenevo tra l'altro che, qualunque fosse stata la causa, il risultato avrebbe dovuto essere un aumento della percentuale di altri elementi oltre all'indio.

Anche questa ipotesi è stata sottoposta a verifica, e si sono scoperti indici più alti per metalli come l'osmio, il palladio, il nichel e l'oro, oltre che l'iridio, con una concentrazione relativa che si avvicina a quella presente in genere nelle meteoriti.

Di conseguenza si è cominciato a favorire l'ipotesi dell'impatto di una meteorite. Poiché quel particolare strato di sedimento è diffuso in tutto il mondo, la meteorite dovrebbe essere stata enormemente grande e avere colpito con tale violenza il pianeta, da disintegrarsi in modo da far piovere la propria polvere sulla Terra intera, e non solo sulla regione circostante il luogo dell'impatto. Ecco perché in Italia non si sono trovati segni di impatto: perché non è avvenuto lì.

Ed è su questo punto che io non ho saputo avere l'intuizione giusta. Riflettendo sull'ipotesi della meteorite, avevo completamente tralasciato di considerare l'eventualità di un impatto violento, con conseguenze di portata planetaria.

E quando dico di portata planetaria, lo intendo letteralmente. Per produrre gli effetti che riscontriamo, la meteorite avrebbe dovuto avere un diametro di dieci chilometri. Non sarebbe stata una semplice meteorite, ma un asteroide.

Ma da dove sarebbe potuto venire un oggetto così grande?

Dallo spazio intorno a noi, naturalmente. I cosiddetti sfiora-Terra possono arrivare pericolosamente vicini all'orbita della Terra. La maggior parte di essi ha un diametro di circa un chilometro, e anche se uno così sarebbe sufficiente a causare devastazioni, non potrebbe certo provocare la quasi eliminazione di tutte le forme di vita sul pianeta.

Tuttavia ogni tanto ci sono anche meteoriti più grandi. Eros, il più grande degli sfiora-Terra e il primo ad essere stato scoperto (1898), ha il diametro maggiore di 24 chilometri. A quanto pare con Eros siamo al sicuro, visto che la sua orbita nel punto di maggior vicinanza dista 22,5 milioni di chilometri dall'orbita della Terra. Tuttavia, un corpo celeste simile ad Eros e capace di avvicinarsi maggiormente al nostro pianeta potrebbe essere esistito ed essersi polverizzato nell'impatto con la Terra settanta milioni di anni fa.

Sì, ma qualunque sfiora-Terra con un'orbita tale da mandarlo a scontrarsi con il nostro pianeta l'avrebbe sicuramente fatto molto tempo fa, ben più di settanta milioni di anni fa. Ed una volta scomparsi gli asteroidi dotati di orbite pericolose per noi (miliardi di anni fa), lo spazio non sarebbe forse stato libero da insidie? E questo non sarebbe un argomento contro l'ipotesi di una meteorite abbattutasi sulla Terra solo 70 milioni di anni fa?

Sarebbe vero se gli sfiora-Terra avessero orbite non soggette ad alterazioni. Ma così non è né può essere. Gli sfiora-Terra si trovano nel sistema solare interno, e ogni tanto passano relativamente vicino a uno dei grandi corpi celesti interni: Marte, Terra, Luna, Venere e Mercurio. Ogni volta il loro moto risente dell'influenza gravitazionale dei corpi celesti più grandi. Gli sfiora-Terra sono soggetti allora a perturbazioni, ovvero cambiano orbita. Il cambiamento è molto lieve se la distanza tra l'asteroide e il pianeta che perturba è grande, pronunciato se invece la distanza è piccola.

(Anche gli sfiora-Terra producono perturbazioni nei corpi celesti grandi, ma queste sono inversamente proporzionali alle relative masse, e poiché i grandi corpi celesti hanno masse miliardi di volte gli sfiora-Terra, le loro perturbazioni sono insignificanti.)

Il risultato delle perturbazioni è che, in periodi di tempo relativamente lunghi, tutti gli sfiora-Terra deviano sensibilmente dalla loro orbita, per intersecare quella della Terra.

Una volta che sia accaduto ciò, è ovvio che ben presto (astronomicamente parlando) avvenga una collisione.

A lungo andare, dunque, non solo si avranno collisioni, ma l'incidenza di queste non diminuirà molto col passare del tempo.

Certo, ogni sfiora-Terra che colpisce la Terra (od uno degli altri pianeti grandi del sistema solare interno), è uno in meno. Per di più, ogni tanto succede che uno sfiora-Terra in seguito a perturbazione adotti un'orbita che lo conduce definitivamente fuori del sistema solare. In compenso però accade che asteroidi che non sono sfiora-Terra lo diventino per perturbazione, sicché per noi sorgono periodicamente nuovi pericoli.

In realtà, la Terra è soggetta ad una serie innumerevole di collisioni, e ciò che la salva è il fatto che in pratica si tratta sempre di collisioni con corpi celesti minuscoli. Questo non perché la Terra abbia una particolare affinità per i corpi celesti minuscoli, ma solo perché ci sono più corpi celesti piccoli che grandi.

Così, il numero di particelle grandi quanto granelli di sabbia che colpiscono la Terra (o che penetrano nella sua atmosfera) e scendono lentamente giù in forma di polvere meteorica, è dell'ordine di trilioni al giorno. Le particelle un pochino più grosse che arrivano al massimo alle dimensioni di una capocchia di spillo, e che sono abbastanza grandi da surriscaldarsi producendo un lampo incandescente, ma non abbastanza grandi da sopravvivere nemmeno in parte all'attraversamento dell'atmosfera, sono meno delle precedenti. tuttavia sempre nell'ordine di milioni. Come le altre, anch'esse giungono al suolo in forma di semplice polvere.

Il numero di corpi celesti grandi come sassi e sassolini e dunque abbastanza grossi da sopravvivere all'attraversamento dell'atmosfera e da raggiungere il terreno in forma di meteoriti è ancora più limitato: di questi oggetti ne cadrà forse uno all'anno in tutto il mondo. E, nell'ambito di tale categoria, più sarà grande la meteorite, più sarà lungo l'intervallo tra un impatto e l'altro.

In media, un asteroide del diametro di dieci chilometri potrebbe colpire la Terra ogni cento milioni di anni. (I valori medi sono piuttosto ingannevoli, naturalmente, e non sono da prendere proprio alla lettera. Esiste una minima possibilità che due meteoriti della grandezza che abbiamo detto colpiscano la Terra a distanza di un anno l'una dall'altra, e la minima possibilità che la Terra non sia mai stata colpita da simili corpi celesti in tutta la sua esistenza. Le possibilità più concrete sono però che la Terra, una volta eliminata, quattro miliardi di anni fa, la maggior parte della materia che si trovava disordinatamente all'interno della sua orbita, sia stata colpita circa quaranta volte da meteoriti discretamente grandi.)

Immagino che gli astronomi abbiamo avuto buone ragioni per sostenere l'ipotesi di impatti relativamente frequenti fin da quando fu scoperto Eros, e ragioni ancora migliori per sostenerla allorché di decennio in decennio si scoprirono sempre più sfiora-Terra, alcuni dei quali avevano orbite che si avvicinavano in modo inquietante a quella del nostro pianeta.

In concomitanza, alcuni scienziati furono attratti dall'ipotesi che una catastrofe avesse determinato la drammatica scomparsa dei dinosauri. C'erano stati altri episodi di "grandi scomparse", ma quella che ebbe luogo settanta milioni di anni fa è stata non solo la più recente e quindi la meglio documentata dalle testimonianze fossili, e anche quella che ha coinvolto gli animali più grandi che siano mai comparsi sul nostro pianeta.

Nel 1973, senza avere a disposizione prove concrete, Harold Clayton Urey (1893-1981) formulò l'ipotesi che fosse stato l'impatto con una meteorite a determinare l'estinzione dei dinosauri.

La maggior parte degli scienziati però non se la sentì di avallare l'idea della catastrofe. Innanzitutto sospettavano che l'"improvvisa" scomparsa dei dinosauri potesse non essere stata così improvvisa. Gli enormi rettili avrebbero potuto estinguersi nell'arco di qualche centinaio di migliaia di anni: per le testimonianze fossili, probabilmente anche una fine così diluita nel tempo sarebbe risultata brusca. Scartata quest'ipotesi, si pensò che fosse più convincente l'idea di un cambiamento graduale dell'ambiente terrestre: un abbassamento della temperatura, un aumento della salinità negli oceani, un prosciugamento dei mari meno profondi, il sollevarsi di una catena montuosa...

È stato solo quando si è scoperta l'anomala percentuale di iridio che si è cominciato a riconsiderare l'ipotesi della catastrofe.

Ma perché mai quell'impatto avrebbe dovuto determinare l'estinzione dei dinosauri?

In realtà, le cose andarono peggio di così: non si estinsero solo i dinosauri, ma anche altri rettili affascinanti come i plesiosauri, gli ittiosauri, gli pterosauri. Altrettanto successe alle ammoniti invertebrate, e ad un'infinità di creature microscopiche.

Come poté succedere?

Proviamo ad immaginare un asteroide del diametro di dieci chilometri, che precipiti verso il nostro pianeta. Un mostro del genere avrebbe prodotto un lampo gigantesco e, al momento dell' impatto, un rombo terrificante. Il rumore si sarebbe udito in tutto il mondo.

In una parola, 1,5 trilioni di tonnellate di materia avrebbero colpito la Terra alla velocità di circa 25 chilometri al secondo. L'enorme energia cinetica dell'impatto avrebbe ridotto l'asteroide e le regioni intorno al luogo dell'urto a polvere e vapore, e avrebbe scagliato nella stratosfera una quantità di polvere equivalente a dieci o ventimila volte la massa dell'asteroide stesso.

Tutta questa polvere si sarebbe depositata di nuovo sulla Terra, e quella porzione di essa che un tempo aveva composto l'asteroide avrebbe formato lo strato di sedimento contenente una percentuale insolita di iridio, osmio, palladio, ecc.

La polvere però non si sarebbe depositata subito. Sarebbe occorso tempo. Le esplosioni dei vulcani di Krakatoa e Tombara scagliarono nella stratosfera una nube di polvere che vi rimase un paio d'anni, e in quantità sufficiente a produrre effetti ben visibili. Il vulcano Tambora, che fu quello che scagliò nella stratosfera la quantità più grande di polvere, portò via abbastanza luce del sole da produrre, nel 1816, il famoso "anno senza estate"[18].

Tuttavia il vulcano Tambora scagliò al massimo mezzo trilione di tonnellate di polvere nell'atmosfera, mentre l'asteroide che avrebbe colpito la Terra alla fine del Cretaceo dovrebbe avere scagliato almeno quarantamila volte quella quantità. Se l'esplosione di Tambora produsse un anno senza estate, cosa potrebbe avere prodotto l'impatto dell'asteroide?

Si calcola che la polvere generata da quell'enorme urto avrebbe riempito la stratosfera al punto da impedire semplicemente alla luce del sole di passare.

---

[18] Questo anno, chiamato anche "anno della povertà", vede la distruzione dei raccolti dell'Europa settentrionale, degli USA del nord-est e del Canada orientale. La causa fu lo squilibrio climatico che abbassò improvvisamente e drasticamente la temperatura. A giugno alcune tempeste di neve provocarono diversi morti nel Canada e nel New England. Lo storico John D. Post ha definito quest'anno «L'ultima grande crisi di sopravvivenza nel mondo occidentale». Altri storici vedono negli effetti catastrofici di questo anno il motivo in più che spinse gli americani alla conquista del West, alla ricerca di climi migliori. In Italia per circa un anno ci fu il fenomeno della neve rossa. La mancanza di foraggio vide la diminuzione dell'uso dei cavalli come mezzo di trasporto; fu così che il barone Karl Drais si adoperò a creare il "Dandy horse", o velocipede, il prototipo della moderna bicicletta. Inoltre, le incessanti nevicate dei quell'anno, costrinsero a casa, in una notte in Inghilterra, Percy Bissey Shelley, sua moglie Mary e John W. Polidori. Per passare il tempo, Mary Shelley scrisse "Frankenstein" e John Polidori "Il vampiro", romanzo che ispirerà Bram Stoker per il suo "Dracula". (*N.d.R. - Wikipedia*)

Dopo che l'impatto avesse avuto luogo, e che l'atmosfera avesse smesso di vibrare per il rumore assordante, e che la Terra stessa avesse smesso di rimbombare per il colpo, e che i vulcani, i terremoti, gli tsunami avessero fatto del loro peggio, sarebbe sopraggiunto qualcosa di ancora più terribile: una strisciante oscurità.

Non so quanto tempo ci sarebbe voluto perché la polvere si diffondesse per tutto il mondo, ma proviamo ad immaginare un posto lontano migliaia di chilometri dal luogo dell'impatto, e in cui si fosse trovato un osservatore intelligente.

L'osservatore avrebbe sentito il rumore lontano, e in un primo tempo potrebbe non avere notato conseguenze; ben presto però avrebbe visto il sole diventare rosso, e restare rosso anche allo zenit. Ogni giorno il sole sarebbe diventato sempre più rosso e sempre più freddo. Ed una mattina, infine, il sole non sarebbe sorto affatto. Si sarebbe visto un cielo nero attenuato appena da un vago chiarore, e si sarebbe andati avanti così per molto tempo.

Si calcola che nel momento di massima densità della coltre di polvere solo 1/5.000.000 della luce del Sole sarebbe potuto passare, sicché la Terra avrebbe avuto una luce diffusa pari solo ad un decimo di quella della luna piena. Oltre al sole, anche la luna, i pianeti e le stelle sarebbero stati invisibili nel cielo. E ciò sarebbe continuato, con intensità gradatamente decrescente, per un periodo di tre anni.

Se le cose fossero andate realmente così, in quel lungo inverno buio la vegetazione terrestre sarebbe morta, e con essa sarebbero morti gli animali erbivori, e con essi sarebbero morti anche i carnivori. Fra questi ci sarebbero stati anche i dinosauri, naturalmente, e la loro estinzione sarebbero stata allora veramente repentina come alcuni avevano supposto, perché sarebbe avvenuta nell'arco di tre soli anni.

Naturalmente, l'ipotesi dell'impatto di un asteroide solleva problemi. Spiega facilmente l'estinzione di tre quarti delle specie che esistevano sulla Terra alla fine del Cretaceo; il problema è spiegare come il rimanente quarto riuscì a sopravvivere. Come mai non scomparvero tutte le forme di vita?

Potremmo ipotizzare che spore, semi e radici siano rimasti in letargo durante il lungo inverno, e che poi si siano rianimati quando la coltre di polvere cominciò a diradarsi, il Sole riprese a splendere ed il calore s'infiltrò di nuovo sulla superficie della Terra. Il plancton riapparve negli oceani, e macchie verdi tornarono a rallegrare la terra desolata.

A poco a poco, la vegetazione si diffuse sempre di più sul pianeta, finché il mondo tornò ad essere caldo, verde... e popolato solo da sopravvissuti.

Alcuni animali erano riusciti a mantenersi in vita alla meglio cibandosi dei resti delle forme viventi morte, di carcasse congelate, e di semi; anche loro si rianimarono quando il Sole tornò a splendere, e la Terra ancora una volta brulicò di vita animale. I grandi dinosauri non calpestava no più il terreno coi loro passi rimbombanti, e il loro posto fu rimpiazzato dallo scalpiccio nervoso dei piccoli mammiferi e dal frullare d'ali degli uccellini.

Sembra un quadro convincente, ma i paleontologi dovranno spiegare perché certe specie si estinsero e certe sopravvissero, e qualunque spiegazione troveranno, ci sarà certamente. qualcuno che dirà: — Allora come mai sopravvisse la specie A, che non poté assolutamente sfruttare il metodo di sopravvivenza che dite voi? — Oppure: — Come mai allora non sopravvisse la specie B?

Alcuni paleontologi sono talmente scoraggiati dalle difficoltà, che ritengono che i risultati che si sono avuti non siano stati prodotti dall'impatto di un asteroide, con conseguente coltre di polvere nella stratosfera. Preferiscono ricorrere all'ipotesi di un cambiamento lento, più selettivo e meno drammatico. Scegliendo questa strada, però, non solo dovranno spiegare la dinamica delle estinzioni, ma anche lo strato di sedimento con alta percentuale di iridio che si trova in tutto il mondo.

Ma se uno sfiora-Terra avesse colpito effettivamente il nostro pianeta settanta milioni di anni fa con tale violenza da spedire tutta quella polvere nella stratosfera, avrebbe dovuto lasciarsi alle spalle un ricordino, ovvero un cratere scavato nella crosta terrestre. Tale cratere avrebbe dovuto avere un diametro di 175 chilometri ed un'estensione pari a quella dello stato del Rhode Island. Dovrebbe essere visibile ancora oggi, e quindi non possiamo che chiederci dove sia.

Certo, i settanta milioni di anni trascorsi dall'epoca della sua formazione avrebbero permesso al vento, all'acqua, agli agenti atmosferici di eroderlo fino al punto di renderlo quasi invisibile. Quasi, non del tutto.

Dovrebbero essere rimaste strutture circolari visibili dall'aereo: una formazione di rocce, o magari un lago circolare.

Sulla Terra ci sono qui e là formazioni del genere. Il Great Meteor Crater in Arizona è l'esempio più ovvio, ma è troppo piccolo per il nostro caso e si formò solo alcune decine di migliaia di anni fa. Tuttavia, nella zona orientale della provincia di Quebec c'è un lago circolare del diametro di circa settanta chilometri e vecchio forse 210 milioni di anni.

Se il lago circolare della provincia di Quebec è tuttora visibile, a maggior ragione dovrebbe essere visibile il cratere prodotto dall'asteroide, che sarebbe sei volte più grande di quel lago e vecchio solo un terzo di esso. Dov'è, allora?

Nessun mistero. Ci sono sette probabilità contro tre che l'asteroide abbia colpito l'oceano, e così in effetti dev'essere stato. Il bolide piombò fischiando nell'acqua, poi perforò il fondo del mare scagliando in aria una nube di vapore acqueo misto a polvere e detriti.

Il cratere, allora, dovrebbe trovarsi da qualche parte sul fondo del mare, se gli spostamenti tettonici della crosta terrestre non l'hanno cancellato. Se esplorassimo il fondo marino accuratamente potremmo riuscire ancora a trovarne le tracce. Se lo scoprissimo, sarebbe una prova estremamente convincente a favore dell'ipotesi dell'asteroide, e questo potrebbe fornirci la migliore delle scuse per spedire un batiscafo ad esplorare i fondali.

Naturalmente, un impatto in mare avrebbe dato origine ad uno tsunami, ovvero un enorme spruzzo d'acqua. Tutte le isole ed i continenti del mondo sarebbero stati raggiunti da quell'incredibile rigurgito di oceano, alcuni ovviamente più di altri. Anche un episodio come questo avrebbe contribuito alla distruzione della vita di terra, ed occorre tenere conto quando si ragiona delle estinzioni.

Ma a questo punto vorrei parlare dell'ipotesi formulata da un mio buon amico, l'astronomo Fred Whipple[19]. Fred mi ha mandato in anticipo la copia di una articolo

---

[19] Fred Lawrence Whipple (1906-2004) fu un eminente ed illuminato astronomo statunitense. Fra le sue tante invenzioni, basti citare una protezione per le lenti dei telescopi contro l'impatto dei piccoli

intitolato *Dove cadde l' asteroide del Cretaceo-Terziario?*

Secondo lui, l'asteroide potrebbe avere colpito la Terra vicino al punto di giunzione di due delle masse rocciose che costituiscono la crosta terrestre. Whipple ha calcolato che in un impatto casuale ci sarebbe solo una probabilità su venticinque che l'asteroide atterrasse in un raggio di duecento chilometri da un simile punto di giunzione. Le probabilità dunque sono scarse, ma non remotissime.

Se fosse avvenuto in o vicino ad un punto di giunzione, l'impatto avrebbe perforato molto più sensibilmente la crosta, avrebbe determinato un periodo molto più prolungato di attività vulcanica, ed un'effusione molto più grande di terra nuova. Questa avrebbe cancellato qualsiasi cratere si fosse formato, ma in compenso avrebbe costituito un fenomeno ben riconoscibile.

Whipple si chiede se ci siano pezzi di terra abbastanza grandi e di formazione relativamente recente che si trovano a cavalcioni di un punto di giunzione, e risponde che esiste una sola terra che soddisfa i requisiti: l'Islanda, situata *a cavalcioni* del punto di giunzione dell'Eurasia e del Nordamerica.

Whipple sottolinea poi che in Italia, dove avvenne la prima scoperta sulla percentuale anomala di iridio, questa è trenta volte i valori normali, mentre in Danimarca lo è centosessanta volte. Ma la Danimarca è più vicina dell'Italia all'Islanda (pur tenendo conto dei movimenti delle masse rocciose in settanta milioni di anni), e possiamo supporre che alcune porzioni di materiale dell'asteroide scagliato in aria non fossero polverizzate, ma in pezzi grandi a sufficienza da depositarsi più rapidamente; a causa della vicinanza, la Danimarca avrebbe sofferto di un *fall-out* peggiore di quello dell'Italia. A conferma, diciamo che la Nuova Zelanda, molto più lontana dell'Italia dall'Islanda, ha una percentuale di iridio solo venti volte i valori normali.

Se compiendo le debite analisi si vedrà che la percentuale di iridio diminuisce in ragione alla distanza dall'Islanda, sarà impossibile confutare la teoria di Fred Whipple[20].

Un'ultima osservazione, questa volta farina del mio sacco. I lettori dei miei articoli scientifici sanno che amo collezionare coincidenze storiche. Trovo quindi interessante che in letteratura si menzioni un inverno durato tre anni, che condusse alla fine di un certo mondo e al costituirsi di un mondo nuovo.

Si tratta del *Fimbulwinter* (che significa "inverno terribile") di cui si parla nelle leggende norvegesi[21]. Durò tre anni e preluse alla battaglia finale di Ragnarök (la fine del mondo), in cui si fronteggiarono gli dèi ed i giganti, ed in cui il mondo così come lo si conosceva fu distrutto.

E qual'è la fonte da cui sappiamo del *Fimbulwinter*? Ma come, gli scritti di Snorri

---

meteoriti (lo "schermo Whipple"). Un asteroide porta il suo nome ("1940 Whipple") ed in Arizona gli è stato dedicato il Whipple Osservatory. (*N.d.R.*)

[20] L'articolo di Fred Whipple appare il 19 marzo 1981 sulla rivista *New Scientist*. Soltanto un anno dopo *Sky and Telescope* riporta la scoperta della metà di un cratere enorme nello Yucatán (Messico). Dopo anni di studi, si è riconosciuta l'altra metà del cratere in mare, ed ora il cratere di Chicxulub viene considerato il più possibile candidato come resto dell'impatto della cometa del Cretaceo (*N.d.R.*)

[21] Il nome originale è *Fimbulvetr*, e nei paesi nordici è diventato di uso colloquiale usarlo per descrivere un inverno particolarmente rigido. (*N.d.R.*)

Sturluson[22] (1179-1241), naturalmente; ovvero, di un islandese. Dunque il racconto del mitico *Fimbulwinter* ci viene proprio dal pasto dove ebbe luogo l'impatto, e dove quindi fu dato inizio al *Fimbulwinter* vero.

Qualche nesso, forse? Si tratta magari di memoria razziale? O di tradizione mistica tramandata nei secoli?

No, nessun nesso, non dopo settanta milioni di anni. La spiegazione è molto più semplice.

Considerando il clima della Scandinavia, è logico che gli scrittori scandinavi immaginassero la fine del mondo come un inverno senza fine. In climi più caldi, sarebbe stata immaginata una siccità lunga tre anni.

Quanto all'Islanda, a causa della geografia è stata l'ultimo paese di cultura scandinava a cadere sotto l'influenza del cristianesimo, per cui là le leggende pagane sono sopravvissute più che altrove.

Certo è una curiosa coincidenza.

---

[22] In realtà Sturluson, nel suo *Edda in prosa*, cita una fonte anteriore, il *Völuspá* ("la profezia del veggente"), raccolto nel manoscritto Codex Regius (1270 circa) e nel Codice Hausbók (1334 circa). Sono tutti scritti del XIII secolo, ma ordinarli e datarli con precisione è molto difficile, visto che sono rimasti sconosciuti fino al 1643, quando vennero rinvenuti in Islanda dal vescovo Brynjólfur Sveinsson. (*N.d.R. - Wikipedia*)

Gli eserciti della notte

The Armies of the Night, 1983
Traduzione di Laura Serra
Urania n. 981 (14 ottobre 1984)

Poiché ricopro la carica di vicepresidente, è diventata una regola che prenda la parola alle riunioni del club Mensa che si tengono a New York, e così feci anche lo scorso week-end. La Mensa, come forse saprete, è un'associazione internazionale di cui fanno parte persone che hanno un QI (quoziente d'intelligenza) molto alto, ed è un vero piacere partecipare alle riunioni, perché si ha modo di incontrare gente assai brillante e gradevole.

Ho tuttavia il sospetto che trovare gli sciocchi fra chi possiede un QI alto sia altrettanto facile che trovarli fra chi ne possiede uno basso.

Così, sono parecchi i soci della Mensa che apprezzano molto l'astrologia ed altre discipline "occulte". La sera in cui dovevo parlare io, per esempio, fui preceduto da un astrologo che andò avanti per un quarto d'ora a recitare una solfa senza senso, che mi annoiò oltre ogni dire.

Come se non bastasse, quel giorno ebbi anche un altro incontro con l'astrologia.

Gli iscritti alla Mensa hanno l'abitudine di lanciarsi sfide impegnandosi in ogni sorta di duello mentale, e capita che io sia spesso oggetto di queste sfide, benché faccia del mio meglio per non essere attaccato e benché mi limiti per lo più a schivare le stoccate quando la lotta è inevitabile. Almeno, schivarle è quello che tento di fare.

Lo scorso week-end, dunque, una donna giovane e bella mi si avvicinò (sapendo naturalmente chi ero) e mi disse, con aria aggressiva: — Che cosa pensate dell'astrologia?

Chiaramente, se aveva letto anche solo una minima parte dei miei scritti, doveva sapere quale fosse la mia opinione in merito, perciò capii che voleva lo scontro. Io invece non lo volevo, così, limitandomi a definire in modo blando la mia posizione, dissi: — Non mi entusiasma.

Doveva avere previsto una risposta del genere, perché chiese subito: — L'avete mai studiata?

Si sentiva sicura nel fare quella domanda, perché si rendeva conto che uno scrittore come me, che si occupa attivamente di divulgazione scientifica e che fa di tutto per tenersi aggiornato sulle ultime scoperte scientifiche, difficilmente ha il tempo di dedicarsi all'esame accurato delle varie astruserie demenziali da cui il pubblico è bombardato.

Fui tentato di rispondere di sì, perché conosco abbastanza l'astronomia per sapere che le ipotesi formulate dall'astrologia sono ridicole, e perché ho letto abbastanza opere di scienziati non digiuni d'astrologia per sapere che non si deve dare alcun credito a quest'ultima.

Se però avessi detto che m'interessavo di astrologia, mi avrebbe chiesto se avevo letto la famosa scempiaggine scritta dal noto astrologo Fesso Cretini e l'importante

idiozia scritta dall'altro grande astrologo Cretino Fessi, e così avrebbe scoperto non solo che non avevo studiato la materia, ma anche che le avevo mentito.

Perciò dissi, con un sorriso amabile: — No.

E lei, subito: — Se la studiaste, forse, potrebbe entusiasmarvi.

Continuando a raccogliere il meno possibile la sfida, obiettai: — Credo di no.

Era proprio il tipo di dichiarazione che voleva sentire. Trionfante, disse: — Ciò significa che siete un bigotto dalla mentalità ristretta, uno che rifiuta indagini obiettive perché teme che scuotano dalle fondamenta i suoi pregiudizi.

Avrei dovuto semplicemente alzare le spalle, sorridere ed allontanarmi, ma mi sentii indotto a replicare. — Poiché sono un essere umano, signorina — dissi, — credo effettivamente di avere una notevole tendenza alla bigotteria. Il motivo per cui cerco accuratamente di sfogarla sull'astrologia è che non voglio essere tentato di sfogarla su qualcosa che abbia anche solo l'ombra del rigore e della pulizia intellettuali. — Al che lei si allontanò infuriata.

Capite, il problema non era che io non mi ero preoccupato di studiare l'astrologia, ma che lei non si era minimamente preoccupata di studiare l'astronomia, sicché non sapeva quanto l'astrologia fosse priva di qualsiasi attendibilità.

Il guaio è che per gli americani, anche per quelli che magari hanno ricevuto un'educazione "illuminata", è diventata ormai una moda ignorare tutto della scienza, e farsi irretire da ignobili ciarlatanerie.

Questi spregiatori della scienza, la cui ignoranza gli impedisce di distinguere l'odore del nettare da quello della fogna, entrano così a far parte degli eserciti della notte, composti da teorici dell'idiozia, mercanti di spazzatura intellettuale, fruitori di balordaggini metafisiche.

In certo modo, però, la mia interlocutrice fece male a rinunciare così presto allo scontro. Se avesse voluto, avrebbe potuto tirare fuori dal suo arsenale armi più efficaci, con cui mi avrebbe indotto a continuare una discussione di patente inutilità.

Avrebbe potuto osservare, per esempio, che in passato c'erano astronomi che credevano nell'astrologia. John Campbell, una volta che discutevamo dell'argomento, ricorse proprio a questa considerazione per controbattere le mie accuse.

Pensate a Giovanni Keplero[23]. Era un astronomo illustre, il primo che enunciò le leggi sul moto dei pianeti, eppure stendeva oroscopi.

A quei tempi, tuttavia, come del resto anche in questi, gli astrologi erano più pagati degli astronomi, e Keplero doveva guadagnarsi da vivere. Dubito assai che credesse agli oroscopi che faceva, ma, anche se ci avesse creduto, il fatto sarebbe stato comunque irrilevante.

Quando Campbell, per convincermi dell'attendibilità dell'astrologia, osservò appunto che insigni astronomi se n'erano occupati, io obiettai: — Il greco Ipparco di Nicea[24] ed il danese Tycho Brahe[25], due dei più grandi astronomi di tutti i tempi, erano convinti che il Sole girasse intorno alla Terra, e che la Terra stesse ferma.

---

[23] Italianizzazione di Johannes Kepler (1571-1630). (*N.d.R.*)

[24] Ipparckhos (Ἵππαρχος) (circa 190 a.C.-circa 120 a.C.), astronomo, geografo e matematico dell'antica Grecia. Fra le tante cose, fu il primo a compilare una tavola trigonometrica. (*N.d.R.*)

[25] Tycho Brahe (1546-1601), astronomo danese. Fece costruire Uraniborg, che divenne uno dei primi istituti di ricerca. Uno dei suoi assistenti fu Johannes Kepler. (*N.d.R.*)

Benché nutra il massimo rispetto per quei due geni, mi permetto di non dare loro credito su questo particolare punto.

La giovane donna che mi aveva provocato avrebbe potuto anche osservare che la Luna ci influenza sicuramente, a causa delle maree, e che nonostante ciò la maggior parte degli astronomi sminuì per secoli l'importanza di questo fenomeno asserendo che ogni due alte maree la Luna non era neppure in cielo.

Il che era abbastanza vero, dal loro punto di vista. Se fossi vissuto all'epoca di Galileo, forse avrei a mia volta sottovalutato l'influenza della Luna, così come la sottovalutò lui, ed avrei sbagliato, proprio come sbagliò lui.

Tuttavia quello del nesso tra Luna e maree non era argomento che toccasse l'astrologia. Che tale nesso esistesse fu dimostrato dagli astronomi, non dagli astrologi, e certo: l'astrologia non diventò maggiormente attendibile per via di questa dimostrazione.

Il problema, quando si parla di astrologia, non è se la Luna influenzi le maree, ma se la Luna (o qualsiasi altro corpo celeste) influenzi a tal punto *noi*, da condizionare ogni nostra minima azione, rendendola strettamente dipendente da congiunzioni, opposizioni ed altri "aspetti".

La novità è che voi ed io sappiamo benissimo che l'astrologia non merita credito. Se avete ancora qualche dubbio, leggete la rubrica degli oroscopi di qualsiasi giornale, e ve lo toglierete subito. Voi che siete nati in un certo giorno, dicono gli astrologi, oggi state attenti a fare i vostri investimenti, e voi che siete nati in un altro giorno, guardatevi dal litigare con i vostri cari, e voi, nati in un altro giorno ancora, non abbiate paura di correre dei rischi. E via così all'infinito.

Ma in base a che cosa si fanno queste asserzioni?

Avete mai sentito un astrologo spiegare esattamente perché una particolare data di nascita dovrebbe influenzare in modo specifico il vostro comportamento? Potrà anche spiegarvi che quando Nettuno è in congiunzione con Saturno la, poniamo, situazione economica diventa instabile, ma vi spiegherà mai *perché* questo succeda? O come lui l'abbia scoperto?

Avete mai sentito dire che due astrologi abbiano discusso seriamente sull'effetto di una combinazione celeste insolita, e che ciascuno abbia addotto prove a sostegno della sua teoria? E avete mai sentito dire di un astrologo che abbia fatto una nuova scoperta o che abbia arricchito il bagaglio di conoscenze del suo campo?

L'astrologia consiste solo di una serie di asserzioni insignificanti. Gli unici casi in cui sembra darsi una minima patina di scientificità sono quelli in cui afferma per esempio che il numero, non so, di atleti nati con un ascendente marziano (o quel che è) è più alto del numero che si troverebbe partendo da una distribuzione casuale. In genere, però, anche questo tipo di osservazione, peraltro vaga, cade ad un esame più approfondito.

Facciamo un altro esempio. Alcuni anni fa venne pubblicato *L'effetto Giove* [26], un libro dove veniva avanzata una complessa ipotesi riguardante gli effetti di marea dei

---

[26] *Jupiter Effect* (1974) di John R. Gribbin e Stephen H. Plagemann. Sulla rivista *Mercury*, nel 1982, Jean Meeus pubblicò la contestazione delle tesi del libro. (*N.d.R.*)

pianeti sul Sole. Tali effetti esistono sul serio e Giove ne è l'agente principale, benché anche altri pianeti (soprattutto la stessa Terra) abbiano la loro parte nel fenomeno.

L'ipotesi formulata dagli autori attraverso argomentazioni scientifiche era che gli effetti di marea dei pianeti influenzassero l'attività solare (macchie solari ed eruzioni cromosferiche), che questa influenzasse il vento solare, e che il vento solare influenzasse a sua volta le Terra, agendo, benché in misura minima, sul delicato equilibrio della tettonica a zolle del nostro pianeta.

Ora, il libro usci prima del 1982, e si sapeva che nel marzo 1982 i pianeti si sarebbero trovati più vicini tra loro del solito. I loro effetti di marea combinati insieme, quindi, sarebbero stati leggermente più forti. Se le macchie solari avessero raggiunto il punto massimo nel 1982, forse, a causa del raggruppamento questo massimo sarebbe stato più intenso del solito, con conseguenze maggiormente visibili per la Terra. Se inoltre, e sottolineo *se*, la faglia di San Andreas[27] fosse stata sul punto di slittare (e la maggior parte dei sismologi ritiene che lo sia), causa gli effetti del vento solare il meccanismo dello slittamento avrebbe potuto innescarsi, provocando un terremoto.

Gli autori non nascondevano che la catena del loro ragionamento fosse molto lunga e tutt'altro che salda.

L'editore mi fece avere le bozze del libro e mi chiese di scrivere un'introduzione. Ero affascinato dall'ipotesi avanzata dagli autori, perciò scrissi l'introduzione, ma fu un errore. Non immaginavo quanta gente avrebbe letto il libro e quanto l'avrebbe preso sul serio, ad onta del fatto che sia gli autori, sia io avessimo chiarito che si trattava solo di un'ipotesi. Cominciai ad essere bombardato da lettere di lettori terrorizzati che mi domandavano cosa sarebbe successo nel marzo del 1982. All'inizio spedii al mittente le lettere scrivendoci su «Niente». Alla fine ero talmente esasperato, che a quel «Niente» aggiunsi tre punti esclamativi.

Successe che le macchie solari raggiunsero il massimo molto prima del 1982, sicché l'ipotesi andò in fumo. Era chiaro che non c'era necessariamente un nesso tra l'attività di marea dei pianeti ed il ciclo delle macchie. Uno degli autori disconobbe subito la teoria. (Anche se non l'avesse fatto, in fondo aveva sostenuto soltanto che un terremoto, che ci sarebbe stato comunque, forse avrebbe avuto luogo in po' prima, diciamo in marzo anziché in ottobre, a causa degli effetti planetari.)

Quando l'autore rinnegò la teoria, però, ormai era troppo tardi. *L'effetto Giove*, e soprattutto l'idea dell'"allineamento planetario", aveva catturato inesorabilmente l'attenzione degli eserciti della notte.

Capii dalle lettere che ricevetti che la gente credeva che i pianeti sarebbero stati allineati uno dietro l'altro diligentemente, come in fila indiana. (In realtà, anche nel momento in cui si trovarono più vicini, erano sempre sparsi nell'arco di un quarto della volta celeste.)

La gente era anche convinta che questo "allineamento" fosse un fenomeno strano, e che si verificasse solo ogni milione di anni, o giù di lì. In realtà, invece, tali raggruppamenti si formano circa ogni centoventicinque anni. Anzi, non molti anni fa ne ebbe

---

[27] La faglia di San Andreas (*San Andreas Fault*) è una faglia geologica che si estende per 1.287 chilometri attraverso la California. È famosa per i devastanti terremoti che si sono verificati nelle sue immediate vicinanze. (*N.d.R. - Wikipedia*)

luogo uno più serrato di quello del marzo 1982; in quell'occasione, però, i pianeti non si trovavano tutti dalla stessa parte del sole. Dal punto di vista dell'effetto di marea, non importa se i pianeti siano tutti dalla stessa parte del sole, o alcuni da una parte e altri dall'altra, purché si collochino su una linea approssimativamente diritta. Ma per gli eserciti della notte, a quanto sembra, l'allineamento è preoccupante solo se i pianeti sono tutti dalla stessa parte, forse perché così immaginano che il sistema solare si possa rovesciare.

Dirò di più; questi fanatici non si accontentavano dell'idea del terremoto. Avevano sparso in giro la voce che la California intera sarebbe scivolata in mare. Per qualcuno, anzi, nemmeno la perdita della California era sufficiente. Così si cominciò a sussurrare che il mondo intero sarebbe finito. Immagino che molte persone il "giorno dell'allineamento" si siano svegliate la mattina pronte ad affrontare chiunque o qualunque cosa si aspettassero di vedere, dopo che la parola FINE fosse apparsa in cielo a caratteri cubitali.

A proposito, mi sono chiesto più volte perché questi mentecatti si siano intestarditi a fissare un giorno specifico per "l'allineamento". Nei casi di raggruppamento planetario, i pianeti che si muovono lentamente nel cielo seguendo traiettorie separate, un particolare giorno si trovano ad un massimo grado di vicinanza tra loro. Ma il giorno prima di questo particolare giorno la distanza che li separa è più grande di una quantità veramente minima, ed aumenta di pochissimo il giorno ancora precedente. Qualunque fosse potuta essere l'influenza materiale dell'allineamento, sarebbe stata comunque circa uguale sia al momento della massima vicinanza, sia nei giorni immediatamente precedenti o seguenti. Ho però il sospetto che gli eserciti della notte pensassero che tutta la faccenda, funzionasse in modo abbastanza mistico, e che l'influsso soprannaturale si sarebbe esercitato appena i pianeti si fossero schierati ordinatamente uno dietro l'altro lungo una linea retta (il che naturalmente non è mai avvenuto).

In ogni caso, nel marzo del 1982 l'allineamento si verificò, ma non successe proprio niente di brutto.

Sapevo che era inutile sperare che qualcuno dei mentecatti si degnasse di dire: — Gesù, mi sono sbagliato. — Appena passato il giorno fatidico si sono subito buttati ad aspettare la prossima causa celeste della fine del mondo. Forse la cometa di Halley...

La gente ignorante ed irrazionale non si preoccupa nemmeno di verificare se le parole che usa siano giuste od errate. Prendiamo per esempio la parola "teoria". Una teoria, quando è avanzata da scienziati competenti, è un tentativo minuzioso ed accurato di spiegare una serie di fenomeni che altrimenti apparirebbero privi di collegamento reciproco. Una teoria scientifica si basa su numerose osservazioni, su ragionamenti serrati e, nei casi in cui occorrono, su attente deduzioni matematiche. Per essere dichiarata valida, deve trovare conferma presso altri scienziati, i quali procedono ad effettuare osservazioni e prove supplementari, e, ove sia possibile, deve formulare previsioni la cui esattezza va controllata. La teoria può essere migliorata e perfezionata, e in effetti lo è, a mano a mano che le osservazioni si fanno più numerose.

Ecco qui di seguito alcuni esempi di teorie che si sono dimostrate valide, e la data in cui furono formulate per la prima volta:

Teoria atomica: 1803, formulata da John Dalton (1776-1844).

Teoria dell'evoluzione: 1859, formulata da Charles Darwin (1809-1882).
Teoria dei quanti: 1900, introdotta da Max Planck (1858-1947).
Teoria della relatività: 1905, formulata da Albert Einstein (1885-1955).

Tutte queste teorie hanno subìto verifiche e conferme incessanti fin dall'epoca in cui furono avanzate e, sottoposte ai necessari perfezionamenti, hanno superato indenni tutte le sfide.

Nessun scienziato rispettabile mette in dubbio che gli atomi, l'evoluzione, i quanti o il moto relativistico esistano, anche se magari ci sono ancora qui e là dei dettagli da precisare meglio.

Che cosa *non* è una teoria scientifica? Una teoria scientifica *non* è assolutamente una congettura.

Molte persone che non sanno niente di scienza, trattano con leggerezza la teoria dell'evoluzione perché, dicono, «è solo una teoria». Si pensi che una persona dell'ingegno di Ronald Reagan, nel corso della campagna elettorale del 1980, rivolgendosi a un gruppo di fondamentalisti liquidò il concetto di evoluzione affermando appunto che era «solo una teoria».

Una volta, in un articolo, io stigmatizzai l'atteggiamento di uno di questi tizi che si permettono di dire che teorie scientifiche come quella dell'evoluzione siano "solo teorie", ed affermai che il tizio in questione, chiaramente, non sapeva nulla di scienza. In seguito a ciò, un quattordicenne mi scrisse una lettera nella quale dichiarava che le teorie erano soltanto "congetture assurde", e che lui lo sapeva bene, in quanto gliel'avevano detto i suoi insegnanti. Rinnegò con parole infiammate la validità della teoria dell'evoluzione e mi disse con orgoglio che a scuola pregava perché nessuna legge poteva impedirgli di farlo. Allegò alla lettera una busta affrancata, con il suo indirizzo, perché voleva sapere quale fosse la mia opinione sugli argomenti da lui toccati.

Giudicai più che giusto rispondergli. In poche righe gli chiesi di considerare attentamente l'eventualità che i suoi insegnanti fossero digiuni di scienza quanto lui. Gli suggerii inoltre che nella sua prossima preghiera implorasse Dio di concedergli un'istruzione, in modo che non dovesse restare così ignorante tutta la vita.

Questo episodio solleva interrogativi molto seri. Come possiamo impedire alla gente di essere ignorante, se quelli che avrebbero il compito di impartir loro un'educazione sono spesso essi stessi spaventosamente ignoranti?

Il sistema educativo americano fa acqua, e le nostre scuole sono particolarmente incapaci di garantire una valida istruzione scientifica per un insieme di ragioni.

Una di queste ragioni, suppongo, è che l'antica, osannata tradizione dei pionieri ha sempre visto con grande sospetto "l'apprendimento attraverso i libri", ed ha sempre ritenuto che il buon vecchio "senso comune" fosse l'unica cosa realmente necessaria.

Che gli Stati Uniti siano sopravvissuti ai loro pregiudizi e diventati i primi proprio nel campo della scienza e della tecnica lo si deve in parte a uomini geniali come Thomas Edison (1847-1931) ed Henry Ford (1863-1947), e in parte all'influsso delle numerose persone che avevano già ricevuto un'educazione europea o che, avendo assimilato il rispetto tipicamente europeo per la cultura, si erano preoccupate di impartire ai loro figli un'istruzione adeguata.

In seguito alle persecuzioni di Adolf Hitler, furono numerosissimi gli scienziati di

eccezionale statura che negli anni Trenta ripararono negli Stati Uniti, e gli effetti benefici della loro presenza e del loro insegnamento, che ha contribuito a formare altri scienziati di valore, si sentono ancora oggi, e sono serviti a mitigare le manchevolezze del sistema educativo americano.

Questi influssi benefici, però, non potranno continuare in eterno. A mano a mano che la nostra tecnologia diventa più complessa, appare sempre meno probabile che si possa fare affidamento sulla singola persona di genio. E l'errore di Hitler è difficile che venga ripetuto. I sovietici, per esempio, si adoperano in tutti i modi per impedire che persone che potrebbero tornare utili a coloro che essi considerano loro nemici escano definitivamente dal paese.

Tuttavia, in aggiunta alle manchevolezze generali, sembra proprio che il sistema scolastico americano sia peggiorato enormemente, in questi ultimi vent'anni. Si sentono in continuazione racconti spaventosi. Si sa per esempio che molta gente arriva all'università senza essere capace di scrivere una frase coerente. E chiunque sia disposto a guardare alla realtà americana con occhi obiettivi constaterà senza timore di sbagliare che stiamo perdendo rapidamente la nostra *leadership* scientifica, tecnologica ed industriale.

Non voglio però dividere semplicisticamente il mondo in buoni e cattivi, con un taglio netto. Molte persone che non sanno di scienza sono intelligenti e razionali. Ed esistono scienziati, anche grandi scienziati, che, in passato come ai nostri tempi, si sono lasciati irretire da astruserie senza capo né coda.

Non c'è da meravigliarsi, in fondo, che succedano fenomeni del genere. Il metodo scientifico impone al cervello un esercizio austero, direi quasi spartano. Nella migliore delle ipotesi consente piccoli progressi. La gioia della grande scoperta è qualcosa di rarissimo e riservato a poche persone, e anche queste poche persone non è che possano ripetere *Eureka* [28] molte volte. È naturale quindi che perfino gli scienziati siano tentati di allontanarsi dalla via della razionalità e di imboccare altre vie più comode per raggiungere la verità.

Una volta ero abbonato ad una rivista scientifica destinata agli studenti del liceo, e col passare degli anni mi accorsi che non ero più soddisfatto del contenuto degli articoli. Mi pareva che il direttore si mostrasse troppo favorevole all'astrologia e ad altre analoghe sciocchezze. Quando alcuni astronomi firmarono un documento in cui si denunciava l'astrologia, la rivista criticò quel gesto, domandandosi se gli astronomi avessero mai analizzato seriamente la disciplina che condannavano.

Io mi sentii allora indotto a scrivere alla rivista per stigmatizzare l'atteggiamento da essa assunto.

Il direttore rispose con una lunga lettera in cui cercava di spiegare che il metodo scientifico e razionale non era necessariamente l'unico adatto a farci raggiungere la verità, e che io avrei dovuto mostrarmi più tollerante verso le discipline che si pone-

---

[28] La parola *eùreka* (Ηύρηκα in greco) significa "ho trovato". È una famosa esclamazione attribuita ad Archimede quando, secondo la tradizione, scoprì che si poteva calcolare il volume di un corpo misurando il volume dell'acqua che veniva spostata quando il corpo veniva immerso. (*N.d.R. - Wikipedia*)

vano in concorrenza con quelle scientifiche.

La faccenda mi irritò. Gli mandai una lettera piuttosto breve in cui (per quel che mi ricordo) dicevo pressappoco così: — Ho qui la vostra lettera, in cui affermate che ragionare non è l'unico modo per giungere alla verità. Voi però, per spiegarmi questo e farmi capire il vostro punto di vista, usate proprio il ragionamento. Ebbene, vi prego di non offrirmi parole, ma *dimostrazioni*. Convincetemi per mezzo di un sogno, o di un'intuizione. Componetemi una sinfonia, dipingetemi un quadro, trasmettetemi una meditazione. Fate qualcosa, *qualsiasi cosa* che mi induca a mettermi dalla vostra parte, ma *senza* ricorrere al ragionamento.

Non si fece più vivo.

Infine, ecco qui un altro episodio di cui vi piacerà forse sapere. Tempo fa, la rivista *Science Digest* progettava di pubblicare un articolo su vari scienziati di valore della nostra epoca (compresi alcuni premi Nobel) che hanno abbracciato teorie astruse. Alcuni, per esempio, interpretano il funzionamento della mente umana alla luce di vaghi misticismi, altri cercano di penetrare i segreti della natura attraverso la meditazione, altri ancora sono fortemente influenzati da filosofie orientali, e cosi via. *Science Digest* mi spedì il manoscritto e mi chiese che cosa pensassi della questione.

In risposta scrissi una lettera, che fu inclusa in un riquadro (sotto il titolo *Follie della scienza*) che accompagnava l'articolo. Riporto qui la lettera per intero.

«Nel corso della storia, molti grandi scienziati sono stati affascinati da idee astruse. Giovanni Keplero era astrologo di professione. Isaac Newton tentò di trasformare metalli base in metalli nobili come l'oro e l'argento. John Napier, che inventò i logaritmi, elaborò un'interpretazione spaventosamente idiota dell'Apocalisse.

«L'elenco continua. William Herschel, l'astronomo che scoprì Urano, credeva che il Sole fosse, sotto un'atmosfera incandescente, buio, freddo ed abitabile. L'astronomo americano Percival Lowell era convinto di vedere veramente i famosi canali di Marte. Il chimico americano Robert Hare, spirito molto pratico, inventò un congegno con il quale riteneva di poter comunicare con i morti. Il fisico tedesco Wilhelm Weber ed il naturalista inglese Alfred Wallace, co-ideatore della moderna teoria dell'evoluzione, erano ferventi spiritualisti. Ed il fisico inglese Sir Oliver Lodge era uno zelante sostenitore delle ricerche parapsichiche.

«Conoscendo le debolezze degli scienziati del passato, sarei oltremodo stupito di scoprire che oggigiorno non ci siano più scienziati che s'innamorino di teorie che a menti inferiori come la mia appaiono assurde ed irrazionali.

«Purtroppo, la maggior parte di queste teorie non può subire alcuna verifica sperimentale, non può servire a elaborare previsioni, e non è formulata con argomentazioni stringenti, atte a convincere altri scienziati. Anzi, fra tutti questi ardenti visionari non ce ne sono due che siano interamente d'accordo tra loro. Tutti quanti dubitano l'uno della razionalità dell'altro.

«Naturalmente non si può escludere che da queste elucubrazioni che paiono senza senso venga fuori un giorno l'eccezione, l'idea geniale. È successo in passato, e ciò dovrebbe bastare a darci qualche speranza. Tuttavia, ho il sospetto che queste idee geniali saranno molto poche, e che verranno partorite a grande distanza l'una dall'altra, Per lo più, le teorie che sembrano assurde, anche quando sono grandi scienziati a

formularle, si rivelano appunto soltanto assurde».

Vi ho dunque raccontato come stanno le cose. Io sono un accanito sostenitore della razionalità, e critico tutto ciò che mi pare irrazionale, da qualunque parte venga.

Se su questo argomento siete d'accordo con me, devo avvertirvi che gli eserciti della notte sono in grande vantaggio; hanno infatti dalla loro parte un numero enorme di adepti e, per la loro stessa natura, sono refrattari a qualsiasi argomentazione razionale, per cui è del tutto improbabile che voi ed io possiamo avere la meglio.

Resteremo sempre una minoranza irrimediabilmente insignificante. Ma non stanchiamoci mai di esporre il nostro punto dì vista e di sostenere a spada tratta ciò che è giusto.

Il braccio del gigante

Arm af the Giant, 1983
Traduzione di Laura Serra
Urania n. 986 (23 dicembre 1984)

Oltre ad essere uno scrittore prolifico, sono anche un oratore prolifico, dal momento che in questi ultimi tempi tengo in media una conferenza alla settimana. Ma qualcosa distingue la mia carriera di scrittore da quella di oratore: esistono individui che esercitano la professione di critico letterario, ma non ne esistono che esercitino quella di critico dell'arte oratoria.

Vi assicuro che non sento affatto la mancanza di quest'ultima categoria. Come tutti gli scrittori che conosco, nutro scarsa considerazione per i critici, e l'ultima cosa che desidero è veder nascere nuove varietà di questa specie. Per quanto riguarda le mie conferenze, sono lieto che il pubblico mostri il suo gradimento con applausi ed ovazioni, sono contento che la gente, dopo che abbia parlato, mi venga a dire cose gratificanti, e sono oltremodo compiaciuto quando la persona che mi ha convinto a tenere la conferenza mi allunga l'assegno esprimendo totale soddisfazione.

Non mi pare un peccato quindi che nessuno si guadagni da vivere spiegando come e dove io abbia deluso le aspettative. Tuttavia a volte le reazioni critiche ci sono anche se uno non se le aspetta. (In altre parole, come un oscuro filosofo disse una volta, « non si può avere il favore di tutti ».)

Qualche tempo fa mi fu chiesto di tenere una conferenza al convegno dell'Associazione Psichiatrica. Quando chiesi di che cosa mai potessi parlare a duemila psichiatri, mi fu risposto con molta cordialità: « Di qualsiasi cosa vogliate ».

Cosi parlai dei robot, della loro influenza sulla società, e di che cosa ci riservi in futuro la robotica.

La conferenza si rivelò un grosso successo, e ne fui lieto. Mi accorsi però che Janet, mia moglie, che è psichiatra e che aveva preso posto nell'ultima fila per dare meno nell'occhio, appariva un pochino depressa. Le chiesi cos'avesse e lei mi disse che dopo un po' che avevo cominciato a parlare, una donna seduta accanto a lei si era messa a chiacchierare a voce alta con l'altra persona che le sedeva vicino. Janet allora le aveva chiesto se poteva per favore abbassare la voce.

Al che la donna aveva risposto: « Perché? Non lo troverà mica interessante? Dice solo un mucchio di scempiaggini narcisistiche ».

Io mi misi a ridere e dissi a Janet di non pensarci più. Non ho mai creduto di poter piacere a tutti.

Inoltre, la donna non aveva certo usato il termine "narcisistico" nel senso in cui lo usano gli psichiatri, ma nel senso privo di connotazioni drammatiche che gli si attribuisce comunemente. Il narcisista, per noi profani, è una persona anormalmente interessata a sé che non tiene in nessun conto gli altri, e capire che io sia narcisista in questo senso banalmente quotidiano non è una grande scoperta.

Anzi, quasi tutti sono narcisisti, nel detto senso, e di solito hanno meno scuse per

esserlo di quelle che sono riuscito ad elaborare io. La signora che mi aveva criticato, per esempio, si era dimostrata narcisista in quanto aveva deliberatamente espresso la sua disapprovazione per me in un modo atto e disturbare altre persone che al contrario di lei potevano essere interessate al mio discorso.

Non solo gli individui singoli, anche la specie umana è incredibilmente narcisista, e crede in ultima analisi di essere la ragione fondamentale dell'esistenza dell'universo. L'interesse degli esseri umani per cose che esulino dalla loro persona è limitato quasi del tutto agli oggetti che interferiscono con la loro vita, e l'interesse è direttamente proporzionale all'entità dell'interferenza.

Si calcola ad esempio che nell'universo conosciuto ci siano 1022 stelle, eppure l'umanità fissa in genere la sua attenzione su una sola di esse (il Sole), e questo unicamente perché quell'una risulta essere per caso la più vicina a noi.

Voglio dire, nessuno di noi può negare che il Sole sia la stella che abbia una grandezza apparente di gran lunga superiore a quella di tutte le altre stelle. Dopotutto, è l'unico astro che ci appare come un disco, anziché come un semplice puntolino luminoso. Benissimo, ma qual è la stella che per grandezza apparente viene subito dopo il Sole?

Per scoraggiare il narcisismo, dunque, parlerò di questa stella seconda al Sole per grandezza apparente.

La costellazione di Orione è generalmente considerata la più bella dell'emisfero boreale perché è molto grande, ha una forma particolarmente interessante ed è ricca di stelle luminose. Il nome le fu dato dai Greci, che avevano dato vita a numerose leggende riguardanti la figura di un gigante cacciatore chiamato Orione. Orione fu amato da Artemide, la dea della caccia, ma Apollo, fratello di lei, la indusse con uno stratagemma a uccidere il gigante. Addolorata e pentita, Artemide collocò Orione nel cielo, trasformandolo in costellazione.

Il gigante cacciatore è rappresentato nell'atto di difendersi dall'attacco del Toro, e regge con la mano sinistra uno scudo e con la destra una mazza pronta ad abbattersi sull'animale infuriato. Su ciascun braccio e su ciascuna gamba si trova una stella luminosa. Intorno alla vita è posta una linea orizzontale formata da tre stelle luminose (la cintura di Orione).

La più luminosa delle stelle di Orione è quella di colore rosso che brilla nel braccio destro, e il suo nome astronomico è Alpha Orionis.

All'inizio del medioevo gli arabi assimilarono la scienza greca e fecero propria anche la rappresentazione che i Greci avevano dato del cielo. Così la costellazione di Orione continuò ad avere per tutti la forma di un cacciatore gigante. Gli arabi avevano la saggia abitudine di dare il nome alle stelle in base alla loro posizione nella costellazione di appartenenza, così chiamarono Alpha Orionis *yid al-yawza*, cioè *braccio del gigante*. Per qualche misteriosa ragione, il traduttore europeo del testo arabo dove si parlava della stella trascrisse l'appellativo come se fosse stato *bayt al-yawza* (*casa del gigante*, che non ha senso) ed esso, latinizzato, diventò *Betelgeuse*, per cui la stella continua ad essere chiamata così.

Bene, si dà il caso che di Betelgeuse sappiamo molto più di qualsiasi altra stella, escluso il Sole.

Come mai?

Considerate che (tutte le altre caratteristiche essendo uguali) è più facile conoscere a fondo una stella vicina di una lontana; non a caso della superficie della Luna si sapeva parecchio molto prima che si avessero informazioni sulla superficie di Marte.

Considerate inoltre che (tutte le altre caratteristiche essendo uguali) è più facile conoscere a fondo una stella grande di una piccola; non a caso fino a poco tempo fa si sapeva assai di più sul pianeta Giove che sul satellite di Marte, Phobos, che è sì più vicino, ma notevolmente più piccolo.

Volendo apprendere numerose nozioni su una stella diversa dal nostro Sole, faremmo quindi bene a sceglierne una sia grande sia vicina.

Betelgeuse in realtà non è vicina; potrebbero esserci ben due milioni e mezzo di stelle più vicine a noi. Tuttavia, considerato che nella nostra galassia ci sono probabilmente trecento miliardi di astri, il numero di stelle più lontane da noi di Betelgeuse è centoventimila volte superiore al numero di quelle più vicine. Possiamo quindi dire che Betelgeuse si trova, dal punto di vista galattico, nei dintorni della Terra.

È inoltre possibile constatare che Betelgeuse sia insolitamente grande anche solo guardandola ad occhio nudo. Questa considerazione potrà sembrare strana, visto che tutte le stelle appaiono come semplici punti luminosi non soltanto ad occhio nudo, ma anche attraverso il più potente dei telescopi. Come facciamo, dunque, ad affermare con tanta sicurezza che un punto luminoso sia più grande di un altro osservandolo senza l'aiuto degli strumenti?

La risposta è semplice: le stelle rosse sono rosse perché la loro superficie è relativamente fredda. Poiché la loro superficie è fredda, dovrebbero essere poco luminose per area unitaria. Se appaiono invece brillanti, significa che sono insolitamente vicine a noi o, se così non è, che la superficie complessiva è insolitamente grande.

Così la stella Alpha Centauri C (Proxima Centauri) è più vicina a noi di qualsiasi altra stella, ma non tanto vicina da risultare visibile a occhio nudo. Il fatto è che è rossa e fredda, e per di più piccola. Betelgeuse è rossa come Alpha Centauri C ed è centocinquanta volta più lontana da noi di quest'ultima, eppure non solo è visibile ad occhio nudo, ma è anche compresa nel novero delle dieci-dodici stelle più luminose. Basta questo a farci capire che deve avere una superficie enorme.

Un ragionamento del genere lo fece il fisico americano di origine tedesca Albert Abraham Michelson (1852-1931). Nel 1881 Michelson inventò l'interferometro, uno strumento in grado di misurare con precisione determinate grandezze attraverso i fenomeni di interferenza prodotti da due fasci di luce. Le onde luminose di un fascio in alcuni punti annullavano quelle dell'altro, in altri invece le rinforzavano (a seconda che un'onda salisse mentre l'altra scendeva o entrambe salissero e scendessero insieme). Per mezzo di questo strumento si otteneva una serie di *strisce* di luce e buio alternate, strisce dalla cui ampiezza si potevano dedurre parecchie cose.

Se una stella, così com'era vista da noi, fosse stata veramente un punto e avesse avuto diametro zero, tutta la luce sarebbe arrivata a noi in un unico raggio e non vi sarebbero state interferenze di sorta. Se invece avesse avuto un determinato diametro (anche se piccolo), la luce proveniente da un lato dell'astro e quella proveniente

dall'altro lato avrebbe viaggiato in due raggi distinti che sarebbero confluiti verso il punto di osservazione formando un angolo minuscolo. I due raggi separati avrebbero interferito l'uno con l'altro, ma l'avrebbero fatto in modo estremamente lieve, e l'interferenza sarebbe stata difficile da individuare. Naturalmente, più grande fosse stata la stella, maggiore sarebbe stato l'angolo (pur sempre molto piccolo) e maggiore quindi la probabilità di scoprire l'interferenza.

Michelson usò un interferometro speciale lungo sei metri ed in grado di rilevare effetti di minima entità. Si servì anche di un telescopio di due metri e mezzo che era allora il più grande del mondo. Nel 1920 fu così misurato il diametro apparente di Betelgeuse. Era la prima volta che si dimostrasse attraverso calcoli concreti che una stella era qualcosa di più di un semplice punto luminoso, e la notizia finì sulla prima pagina del *New York Times*. Il diametro apparente della stella Betelgeuse risultò essere di circa 0,02 secondi d'arco.

Che cosa significa, in termini d'ampiezza, 0,02 secondi d'arco? Se provassimo ad immaginare centomila puntini luminosi come Betelgeuse messi fianco a fianco ed in contatto tra loro, vedremmo una sottile linea luminosa di lunghezza pari all'ampiezza della luna piena nel momento in cui è più vicina alla Terra. Se provassimo ad immaginare sessantacinque milioni di punti luminosi come Betelgeuse posti fianco a fianco e in contatto tra loro, vedremmo una sottile linea luminosa che circonderebbe il cielo come un equatore scintillante. Se poi immaginassimo infiniti puntini lumiosi del diametro apparente di Betelgeuse e li pensassimo tutti stretti l'uno all'altro nell'emisfero celeste, ne occorrerebbero all'incirca un quadrilione e un terzo (1.330.000.000.000.000) per riempire il cielo di uno splendore rosso.

Se ci si riflette e si considera che le stelle visibili sono soltanto seimila, ci si renderà conto di quanto vuoto sia in realtà il cielo nonostante il Sole, la Luna ed i seimila pianeti visibili del nostro sistema solare.

Betelgeuse è una stella variabile, ovvero la sua luminosità varia col tempo. Inoltre tale variazione non ha periodicità semplice, sicché Betelgeuse è una *variabile irregolare*. Ha una magnitudine di 0,85, cifra che esprime la sua luminosità media che a volte può arrivare a un indice di 0,4 ed altre a quello di 1,3.

La ragione di questa variabilità non è ignota. Il solo fatto che una stella sia una gigante rossa ci fa capire che si trovi nello stadio finale di *stella estesa*. Significa che presto non riuscirà più a tenere insieme la massa dei suoi strati esterni grazie all'energia fornita dalle reazioni di fusione che avvengono all'interno del suo nucleo, e che quindi collasserà (con o senza esplosione). Il fatto che Betelgeuse sia soggetta, per cosi dire, a tremolii, indica ulteriormente che è vicina alla fine. Il tremolio è dovuto probabilmente a piccoli collassi falliti; ogni volta che questi mancati collassi si verificano, la compressione riesce a spremere dalle regioni centrali un altro po' di energia, e così la stella si espande sempre di più.

Se le cose stessero davvero così, dovrebbero esserci cambiamenti rilevanti nel diametro di Betelgeuse misurato con l'interferometro. In effetti questi cambiamenti ci sono: il diametro apparente varia da 0,016 a 0,023 secondi d'arco.

Per dedurre dal diametro apparente quale sia in realtà la grandezza di Betelgeuse misurata in unità assolute, occorre conoscere la distanza che la stella ha dalla Terra, il che non è facile. Le distanze stellari maggiori di trenta parsec (cento anni luce) o giù

di lì sono difficili da determinare.

Dagli studi più recenti risulta che la distanza di Betelgeuse da noi è di duecento parsec (seicentocinquanta anni luce) e questa dovrebbe essere dunque la cifra più attendibile.

Una stella che abbia un diametro di 0,02 secondi d'arco, anche se è lontana duecento parsec dovrebbe avere un diametro reale di circa un miliardo e duecento milioni di chilometri (se i miei calcoli sono corretti). Betelgeuse ha quindi un diametro che è in media ottocentosessanta volte quello del Sole. Il suo volume sarebbe allora seicentoquaranta milioni di volte quello del Sole: ciò significa che, se Betelgeuse fosse una sfera cava, vi si potrebbero versare dentro seicentoquaranta milioni di sfere grandi come il Sole, prima di riempirla.

Se Betelgeuse si trovasse al posto del nostro Sole, la sua superficie arriverebbe fino alla fascia degli asteroidi, e la Terra si troverebbe a un quarto della distanza che separa il centro di Betelgeuse dalla sua superficie.

Quando Betelgeuse, stella pulsante, si espande fino alle sue dimensioni massime, il diametro diventa di un miliardo e quattrocentocinquanta milioni di chilometri, circa mille volte quello del Sole. Quando la pulsazione è al minimo, il diametro è di un miliardo di chilometri, ovvero settecentoquindici volte quello del Sole.

Nella fase di massima espansione la superficie di Betelgeuse, supposto che la stella si trovasse al posto del Sole, arriverebbe quasi all'orbita di Giove. In questa fase Betelgeuse ha un volume tre volte maggiore di quello che ha quando il diametro è al minimo. Se è vero che sia una stella che *respira affannosamente* perché prossima alla fine, bisogna dire che il suo respiro è *estremamente* affannoso.

Ammesso che sia davvero una stella gigante (di fatto appartiene alla classe delle *giganti rosse*), com'è la sua grandezza *apparente* rispetto a quella di altre stelle magari più piccole, ma più vicine?

Ho già detto ad esempio che Alpha Centauri C è la stella più vicina a noi. Fa parte di un gruppo di tre stelle la più grande delle quali è Alpha Centauri A. Alpha Centauri A è grande circa come il nostro Sole, si trova a una distanza di 1,35 parsec (un centocinquantesimo della distanza di Betelgeuse) ed il suo diametro apparente è solo di 0,0035 secondi d'arco, meno di un quinto di quello di Betelgeuse. Benché Alpha Centauri A sia così vicina, a causa delle sue dimensioni insignificanti non può apparirci grande come la lontana, ma gigantesca, Betelgeuse.

Sirio è più grande di Alpha Centauri A, ma è anche più lontana ed il suo diametro apparente è solo di 0,0032 secondi d'arco. Arturo ha un diametro di trentadue milioni di chilometri (ventitré volte quello del Sole), ma è distante undici parsec e il suo diametro apparente è di 0,0095 secondi d'arco. Aldebaran ha un diametro di cinquanta milioni di chilometri (trentasei volte quello del Sole), ma è lontana sedici parsec, sicché il suo diametro apparente è di 0,0011, circa la metà di quello di Betelgeuse.

Insomma, non ci sono stelle grandi a sufficienza o sufficientemente vicine (o entrambe le cose) da fare concorrenza a Betelgeuse. Quella che riesce ad emularla è un'altra gigante rossa, Antares, nella costellazione dello Scorpione. Si trova a una distanza di centotrenta parsec, sicché e più vicina di Betelgeuse, ma nonostante il vantaggio della vicinanza, è leggermente meno luminosa, per cui dev'essere sensibilmente più piccola.

Si dà il caso che Antares, alla distanza di cento trenta parsec, abbia un diametro apparente di 0,002 secondi d'arco, pari al valore medio di Betelgeuse, ma Amares non pulsa in modo rilevante. Ha perciò una grandezza apparente inferiore a quella di Betelgeuse al suo massimo.

In breve, fra tutte le stelle, Betelgeuse viene subito dopo il Sole per grandezza apparente.

Betelgeuse ha una temperatura di superficie misurata in 3.200 gradi Kelvin, mentre la temperatura di superficie del nostro Sole è di 7.500° K. Betelgeuse è una stella rossa calda, mentre il Sole è una stella bianca calda.

Se la temperatura di superficie del Sole dovesse di colpo ridursi a 3.200° K, la sua luce diventerebbe più rossa e l'illuminazione totale che fornirebbe sarebbe soltanto un quarantatreesimo di quella attuale.

Betelgeuse ha però una superficie che è 740.000 volte quella del Sole, per cui nel suo complesso la stella brilla di una luce 17.000 volte più intensa di quella del Sole stesso.

Gli astronomi usano il termine *magnitudine assoluta* per indicare la luminosità che una stella avrebbe se si trovasse esattamente a dieci parsec dalla Terra. Se vedessimo il Sole da una distanza di dieci parsec, esso avrebbe una magnitudine assoluta di 4,7, sarebbe, cioè, una stella opaca e poco appariscente.

Se a dieci parsec da noi si trovasse viceversa Betelgeuse, avrebbe una magnitudine assoluta di ~5,9. Brillerebbe rossa con una luminosità di 4,33 volte superiore a quella di Venere nel suo momento di massimo splendore.

Avrebbe anche un diametro apparente di 0,4 secondi d'arco, un diametro enorme per una stella, ma apparirebbe ugualmente come un semplice punto luminoso. Dopotutto, il pianeta Giove ha un diametro di 50 secondi d' arco, eppure ad occhio nudo lo vediamo pur sempre come un semplice punto luminoso.

Nonostante le dimensioni e la luminosità, Betelgeuse sotto certi aspetti non è la gigante che appare. Che dire ad esempio della sua massa, della quantità di materia che contiene?

Certo ha una massa superiore a quella del Sole, ma non *enormemente* superiore. Di fatto si calcola che tale massa sia sedici volte quella del Sole. Sedici volte non è poi tanto.

Questa massa è sparsa in un volume che è in media seicentoquaranta milioni di volte quello del Sole, e la sua densità equivale a circa 1/35.000 della densità dell'aria che respiriamo. Quando Betelgeuse è nello stadio di massima espansione, la quantità di materia che contiene è sparsa in un volume ancora più grande, e la sua densità media diventa allora 1/55.000 di quella dell'aria.

Se travasassimo 1/35.000 di aria in un contenitore, avremmo ragione di dire di avere nel contenitore il vuoto. Non sarebbe un vuoto assoluto e nemmeno vicino a quello assoluto, ma sarebbe un vuoto nel senso pratico e quotidiano che diamo alla parola. Non è quindi assurdo vedere Betelgeuse (o qualsiasi gigante rossa) come una specie di vuoto caldo, di luminosità rossa.

Tuttavia Betelgeuse (e qualsiasi stella della sua specie) non ha una densità

distribuita in modo uniforme. La densità delle stelle cresce, più o meno progressivamente, a mano a mano che si penetra sotto la superficie ed è ovviamente massima al centro. Anche la temperatura al centro sale al massimo.

Le stelle per lo più sono, all'inizio, palle di idrogeno, ed è al centro, dove la temperatura e la densità sono più alte, che i nuclei si urtano con sufficiente violenza da dare luogo a una fusione. È dunque lì, nel centro, che l'idrogeno si fonde con l'elio e che si sviluppa l'energia. L'elio si accumula, formando un nucleo che aumenta progressivamente mentre la fusione continua.

La fusione dell'idrogeno continua ad aver luogo subito fuori del nucleo di elio, là dove l'idrogeno Stesso è alla massima temperatura e alla massima densità: e il nucleo di elio, a mano a mano che aumenta, diventa a sua volta sempre più caldo e denso. Alla fine, dopo milioni o addirittura miliardi di anni, la temperatura e la densità del nucleo di elio diventano sufficientemente alti da costringere anche i nuclei stabili di questo elemento a fondersi in nuclei di carbonio e di ossigeno. (I nuclei di carbonio sono composti da tre nuclei di elio, i nuclei di ossigeno da quattro).

La nuova ondata di calore sviluppata dalla fusione dell'elio induce la stella a espandersi, sicché la sua superficie si raffredda. In altre parole la stella, che fino ad allora era stata un corpo celeste caldo, bianco e relativamente piccolo, mentre al suo centro si forma e sviluppa un nuovo nucleo di carbonio e ossigeno si espande in una gigante rossa.

Questa è dunque la condizione in cui si trova Betelgeuse. Al suo centro c'è un nucleo di carbonio-ossigeno clic ha una temperatura di 100.000.000° K (mentre al centro del Sole la temperatura è di 15.000.000° K). Tale temperatura non è tuttavia ancora intensa a sufficienza da indurre carbonio e ossigeno a fondersi per formare nuclei ancora più complessi.

Illustri astronomi, basandosi su calcoli computerizzati che fanno riferimento alla teoria della reazione nucleare, hanno concluso che il nucleo di carbonio-ossigeno dovrebbe avere un diametro pari al doppio di quello della Terra, e una densità di circa 50.000 grammi per centimetro cubico (più di duemila volte quella del platino sulla Terra). Betelgeuse non è certo un vuoto caldo, di luminosità rossa in ogni sua parte...

Forse un cinquantesimo della massa totale di Betelgeuse è racchiuso in quel piccolo nucleo. Intorno ad esso c'è un involucro di elio che è probabilmente dieci volte il volume del nucleo, e contiene un altro cinquantesimo della massa totale. E fuori dell'involucro di elio ci sono le rarefatte regioni esterne, composte ancora soprattutto di idrogeno. L'elio continua a fondersi sulla superficie del nucleo di carbonio-ossigeno, e l'idrogeno continua a fondersi ai confini dell'involucro di elio.

L'idrogeno che si trova nel cuore delle rarefatte regioni esterne di Betelgeuse non può fondersi all'enorme velocità cui si sarebbe fuso al centro. L'elio, fondendosi in condizioni di maggiori densità e calore, produce molto meno energia per nucleo. Le due fusioni messe insieme riescono quindi a malapena a produrre calore sufficiente a mantenere Betelgeuse nella sua condizione di stella enormemente espansa. Ogni tanto, quando il combustibile viene meno, la stella comincia a contrarsi. La contrazione comprime l'idrogeno e l'elio ed accelera la fusione, sicché la stella torna a espandersi.

Col trascorrere del tempo ulteriori fusioni hanno luogo nella zona centrale, e ciascuna di esse produce meno energia per nucleo della fusione precedente, per cui la

situazione peggiora progressivamente. Poi, quando nel centro della stella si formano nuclei di ferro, non possono più verificarsi ulteriori reazioni di fusione capaci di produrre energia, e le contrazioni periodiche diventano sempre più intense. Alla fine la mancanza di combustibile diventa drammatica, e la stella collassa definitivamente. L'improvviso collasso comprime il materiale fusibile che ancora rimane, e gran parte di esso viene disperso da un'esplosione. Più massa ha la stella, più improvviso è il collasso e più catastrofica è l'esplosione. Una stella della grandezza del Sole collasserà lanciando una piccola parte del suo strato più esterno nello spazio. Questa materia esplosa formerà un involucro sferico di gas intorno alla stella collassata. Visto da lontano, l'involucro somiglierà a un anello di fumo; si sarà formata cosi una *nebulosa planetaria*. La stella collassata al centro sarà molto piccola e densa, una nana bianca.

Una stella notevolmente più grande del Sole, per esempio Betelgeuse, esploderà con sufficiente violenza da diventare una supernova. I resti compressi collasseranno oltre lo stadio di nana bianca e costituiranno una stella di neutroni o forse addirittura un buco nero.

Questo è indubbiamente il destino che attende Betelgeuse in un futuro relativamente vicino, ma per gli astronomi *futuro vicino* può significare centomila anni, per cui non vi conviene stare alzati la notte in attesa di contemplare l'evento. C'è almeno un'altra stella che probabilmente esploderà prima di Betelgeuse, e in ogni caso prima che esploda potrebbero passare alcune migliaia di anni.

In periferia

Out in the Boondocks, 1983
Traduzione di Laura Serra
Urania n. 1005 (15 settembre 1985)

Nel 1984 lo scrittore satirico François Rabelais scrisse: «Tutto arriva a colui che sa aspettare». L'aforisma, più o meno variato, da allora fu ripetuto incessantemente, e venne attribuito fra l'altro anche a Disraeli[29] e Longfellow. Oggi lo si recita di solito nella forma leggermente più concisa di "Tutto arriva a chi aspetta".

È una massima che su di me, però, non ha mai avuto molta presa. Ho sempre pensato che tante cose ci tocca aspettarle così a lungo, che è più probabile moriamo prima di ottenerle. Vi prego di notare che in fin dei conti tutti gli autori che hanno creato aforismi sul tema dell'attesa paziente che porta frutti hanno evitato con cura di porre un limite massimo a tale attesa.

Prendiamo ad esempio il mio caso. Fin dall'inizio della mia carriera di scrittore ho sempre avuto la sensazione che nessun mio libro sarebbe mai comparso nella lista dei *best-seller*, nonostante fossi disposto ad aspettare con tutta la buona volontà possibile.

Beninteso, non è che questa sensazione l'avessi perché i miei libri non abbiano successo. Alcuni hanno un buon successo. Devo dire anzi che sono venduti parecchio, ma solo nel corso di anni e decenni, mai *intensivamente*, in un periodo breve. Insomma il loro indice di vendita in, poniamo, una particolare settimana, non è mai stato tale da consentirgli di entrare nella lista dei *best-seller* del *New York Times*.

Col tempo ho imparato a rassegnarmi a questo stato di cose, e mi sono addirittura sforzato di convincermi che il mancato ingresso nell'elenco dei libri più venduti fosse il risultato della mia onestà e della mia virtù.

Dopotutto, quando scrivo io non tocco mai argomenti capaci di sollecitare il grasso pubblico: non illustro avventure sessuali corredandole di particolari clinici, né indulgo a descrivere ripetute e sgradevoli scene di violenza. In altre parole, non tratto temi atti a fare colpo sulla gente. I miei libri, e questo lo ritengo un fatto positivo, tendono ad essere cerebrali e sono incentrati soprattutto sulla discussione razionale dei motivi che inducono i personaggi a scegliere una linea d'azione piuttosto che un'altra. È chiaro che un tale tipo di narrativa può suscitare vivo interesse in un numero relativamente limitato, di lettori.

Mi sono sempre reso conto che questi pochi lettori dovevano avere un'intelligenza di parecchio superiore alla media ed essere particolarmente fedeli al genere che prediligevano. Li consideravo i *miei* lettori, ero loro affezionato e non li avrei mai cambiati per un trilione di lettori del tipo più comune.

Tuttavia a volte, nel cuore della notte, quando mi trovavo a tu per tu con me stesso, mi chiedevo che cosa sarebbe potuto succedere se, anche solo per un periodo limitato, *tutti* i lettori avessero avuto un'intelligenza superiore alla media ed i miei libri quindi,

---

[29] Benjamin Disraeli (1804-1881), primo conte di Beaconsfield, uomo di stato e scrittore. (*N.d.R.*)

giusto per una volta e per una settimana, fossero finiti sulla lista dei *best-seller*.

Poi però liquidavo quel pensiero, considerandolo pura fantasia.

Così nell'ottobre del 1982 ero ormai scrittore professionista da quarantaquattro anni, avevo pubblicato duecentosessantuno libri, e nemmeno uno di questi era comparso nell'elenco dei volumi più venduti. Da tempo ormai mi consolavo dicendomi che in fondo dovevo quasi sentirmi onorato e fiero di questo fatto. Dopotutto, quanti altri autori avrebbero potuto scrivere duecentosessantuno libri mancando così infallibilmente di fare centro?

Ma poi, l'8 ottobre del 1982, successe che la *Doubleday* pubblicò il mio duecentosessantaduesimo libro, cioè *L'orlo della Fondazione*, quarto volume del ciclo della Fondazione. Questo romanzo usciva ben trentadue anni dopo che avevo deciso che il terzo (*Seconda Fondazione*) sarebbe stato l'ultimo della serie. Durante tutti quegli anni avevo continuato risolutamente ad ignorare le suppliche dei miei lettori e dei redattori della *Doubleday*, che mi pregavano di scrivere un seguito al ciclo. (Ecco vedete, *loro* hanno continuato ad aspettare ed hanno avuto quello che volevano, come l'aforisma del buon vecchio François lasciava presagire).

Come aveva fiduciosamente predetto fin dall'inizio Hugh O'Neill, il redattore che seguì il mio lavoro, il libro entrò immediatamente nell'elenco dei *best-seller*. Il 17 ottobre trovai sulla soglia di casa il *New York Times* con il supplemento della domenica e lì, nella lista dei libri più venduti pubblicata nella sezione delle recensioni, c'era a chiare lettere *L'orlo della Fondazione* di Isaac Asimov.

Dopo quarantaquattro anni il mio duecentosessantaduesimo libro colpiva nel segno, anche se, proprio come i precedenti, non concedeva nulla al sesso, alla violenza ed alle tinte forti ed anche se era tutto cerebrale come gli altri, se non di più. Era stato solo necessario aspettare.

La *Doubleday* diede un grande party in mio onore e per un po' mi sentii frastornato ed al centro dell'universo. Il che mi riporta all'argomento di cui ho discusso il mese scorso.

In un articolo recentemente pubblicato parlavo del naturale desiderio della gente di essere al centro dell'universo. Agli albori della storia, dicevo, l'uomo aveva l'impressione di essere lui stesso il centro di tutto, poi quell'idea venne (con riluttanza) abbandonata ed al centro di tutto fu posto un qualche luogo di particolare importanza per la civiltà umana, quindi si cominciò a ritenere che misura dell'universo fosse l'intero pianeta Terra, ed infine il sistema solare nel suo complesso.

Ancora negli anni dal 1910 al 1920 appariva ragionevole supporre che il sistema solare fosse al centro della Galassia, o vicino ad esso (e si credeva allora che la Galassia rappresentasse pressoché la totalità dell'universo).

Dopotutto, i diversi corpi celesti sembravano disposti simmetricamente intorno a noi. La Via Lattea infatti, che è la Galassia vista attraverso il suo diametro longitudinale, divide il cielo in due metà più o meno uguali, nelle quali le stelle visibili ci appaiono distribuite in modo uniforme.

Per avere un buon motivo di sospettare che non ci troviamo in una posizione più o meno centrale, dovremmo scoprire nel cielo una qualche incontestabile simmetria.

E ne esiste una. La storia di questa asimmetria cominciò con un astronomo francese,

Charles Messier (1730-1817), che si specializzò nello studio delle comete. Fu tra quelli che per primi previdero il ritorno della cometa di HaIley nel 1759, un ritorno che era stato previsto dallo stesso Edmund Halley (1656-1742).

Dopo di allora Messier si immerse con sempre più entusiasmo nei suoi studi. Nei successivi quindici anni quasi tutte le scoperte di comete si dovettero a lui, e ventuno di queste scoperte le fece effettuando calcoli per suo conto. Fu la passione della sua vita; ad un certo punto, quando dovette accudire la moglie che si trovava sul tetto di morte e così mancò di identificare una nuova cometa, la cui scoperta fu invece annunciata da un astronomo francese che era in concorrenza con lui, pare (e c'è da crederci) che piangesse per la cometa sfuggitagli, rimanendo praticamente indifferente alla morte della moglie.

Ma c'era qualcosa che disturbava molto Messier: ogni volta che si metteva a cercare qualche piccolo oggetto indistinto che denunciasse la presenza di una cometa lontana diretta verso i dintorni del Sole, s'imbatteva in qualche piccolo oggetto indistinto che era *sempre* presente nel cielo. Si seccava non poco di vedere questi oggetti, perché in un primo momento si entusiasmava pensando di stare per scoprire una nuova cometa, e poi restava deluso.

Tra il 1774 ed il 1784 cominciò a compilare e pubblicare un elenco di centotre oggetti celesti che a suo avviso gli astronomi affetti dalla sua stessa passione avrebbero dovuto studiarsi bene per evitare di venire tratti in inganno e di scambiare per comete dei corpi celesti insignificanti. I corpi celesti dell'elenco sono ancora oggi noti col nome di "Messier 1", "Messier 2" e così via (oppure "M1", "M2" eccetera).

Tuttavia, come succede a volte, le comete scoperte da Messier risultarono di importanza relativa; mentre i corpi celesti "inutili" della lista si rivelarono di importanza fondamentale. Si dà il caso per esempio che il primissimo dell'elenco sia l'oggetto più importante del cielo oltre il sistema solare: la nebulosa del Granchio.

Un altro oggetto dell'elenco di Messier, l'M13, fu scoperto per la prima volta nel 1774 proprio da Edmund HaIley, il santo patrono di tutti i cacciatori di comete.

Nel 1781 l'astronomo inglese di origine tedesca William Herschel (1738-1822) ricevette una copia dell'elenco di Messier. Poiché la sua massima aspirazione era di riuscire ad analizzare tutti i corpi celesti del cielo, decise di controllare ciascuna voce dell'elenco, compresa, naturalmente, l'M13.

Herschel fu il primo a spiegare correttamente che cosa fossero quelli che adesso chiamiamo "ammassi globulari". Poiché l'M13 si trova nella costellazione di Ercole, è chiamato a volte "Grande ammasso di Ercole". Herschel scoprì anche altri ammassi globulari; risultò anzi che circa un quarto di tutti gli oggetti celesti dell'elenco di Messier era costituito da essi.

Questi ammassi sono composti da centinaia di migliaia di stelle; quelli più grandi ne contengono forse milioni. La densità stellare all'interno è enorme. Al centro di un grande ammasso globulare si possono trovare fino a 1.000 stelle per parsec cubico, mentre nei dintorni del nostro pianeta le stelle per parsec cubico sono solo 0,075.

Se fossimo al centro di un grande ammasso globulare (e potessimo sopravvivere al suo interno), vedremmo un cielo notturno riempito da circa ottanta milioni di stelle visibili, di cui (se la luminosità fosse distribuita là come è distribuita qui) più di duecentocinquantamila sarebbero di prima grandezza o anche più.

Eppure gli ammassi globulari sono così lontani, che le innumerevoli stelle riunite in essi formano unità che solo in alcuni casi sono visibili dalla Terra a occhio nudo, e che anche quando lo sono, lo sono a malapena.

Ma la caratteristica più singolare dei circa cento ammassi globulari conosciuti attualmente è che quasi tutti si trovano da un lato del cielo e pressoché nessuno dall'altro. Quasi un terzo del totale è collocato in quella parte di cielo che rientra sotto la costellazione del Sagittario. Questa asimmetria fu notata per la prima volta dal figlio di Herschel, John (1792-1871), anche lui famoso astronomo.

Si tratta dell'asimmetria più rilevante che si possa osservare in cielo, tuttavia di per sé non è sufficiente ad invalidare l'ipotesi che il sistema solare si trovi al centro della Galassia. In fin dei conti, si potrebbe sempre ritenere una pura coincidenza il fatto che gli ammassi globulari siano collocati tutti quanti da un solo lato del nostro cielo.

Un grosso passo avanti lo si fece nel 1904, quando l'astronoma americana Henrietta Swan Leavitt (1868-1921) verificò per prima che c'era una precisa relazione tra la lunghezza del periodo delle stelle variabili chiamate "Cefeidi" e la loro luminosità intrinseca.

Diventava quindi possibile, in teoria, confrontare la luminosità reale di una Cefeide con la sua luminosità apparente e calcolare in questo modo la sua distanza, una distanza troppo grande per poter essere calcolata con gli altri metodi conosciuti a quel tempo.

Nel 1913 l'astronomo danese Ejnar Hertzsprung (1873-1967) verificò la validità di quest'ipotesi calcolando per primo le distanze reali di alcune Cefeidi.

Arriviamo così all'astronomo americano Harlow Shapley (1885-1972), che a causa della sua infanzia poverissima riuscì con grande difficoltà a conseguire un'istruzione e diventò astronomo per caso. Si iscrisse all'Università del Missouri per diventare giornalista, ma poiché la Scuola di Giornalismo si sarebbe aperta solo di lì a un anno, cominciò, giusto per ingannare il tempo, a frequentare le lezioni di astronomia e... non tornò mai più al giornalismo.

Shapley cominciò ad interessarsi alle Cefeidi e nel 1913 aveva già dimostrato che non erano stelle binarie che si eclissavano l'un l'altra. Ipotizzò invece che fossero stelle pulsanti. Circa dieci anni dopo, l'astronomo inglese Arthur Stanley Eddington (1882-1944) elaborò con dovizia di dettagli la teoria delle pulsazioni delle Cefeidi, risolvendo così la questione.

Una volta arrivato all'Osservatorio di Mount Wilson, nel 1914, Shapley cominciò ad analizzare le stelle variabili negli ammassi globulari. Mentre le studiava scoprì che gli ammassi comprendevano delle stelle particolari, che furono chiamate "variabili del tipo RR Lyrae", dal nome della stella più nota appartenente a quella classe.

La luce di una variabile tipo RR Lyrae aumenta e diminuisce nello stesso identico modo in cui aumenta e diminuisce quella di una Cefeide, ma il periodo di variazione della prima è più piccolo. Le variabili tipo RR Lyrae hanno solitamente un periodo di variazione inferiore ad un giorno, mentre il periodo delle Cefeidi è di circa una settimana.

Shapley pensò che tale differenza non fosse significativa e che le variabili del tipo RR Lyrae fossero semplicemente delle Cefeidi dal periodo corto. Ritenne quindi che

la relazione tra luminosità e periodo calcolata dalla Leavitt per le Cefeidi valesse anche per le RR Lyrae. (E in questo, come risultò poi, ebbe ragione.)

Procedette quindi a valutare la luminosità e il periodo delle variabili tipo RR Lyrae in ciascuno dei novantatre ammassi globulari allora conosciuti ed ottenne immediatamente la distanza *relativa* di tali ammassi. Poiché sapeva in che direzione si trovavano ed aveva determinato le loro distanze relative, poté elaborare un modello tridimensionale della loro distribuzione.

Nel 1918 Shapley aveva ormai dimostrato (e la sua dimostrazione convinse ben presto anche gli altri astronomi) che gli ammassi globulari erano distribuiti con simmetria sferica intorno a un punto sul piano della Via Lattea, un punto, però, molto lontano dal sistema solare.

Se fosse stato vero che il sistema solare si trovava al centro della Galassia o vicino ad esso, gli ammassi globulari si sarebbero trovati circa al centro di un'estremità della Galassia, o poco oltre. La loro distribuzione irregolare nel cielo della Terra sarebbe stata quindi la spia di una reale distribuzione asimmetrica rispetto alla Galassia.

Tale ipotesi tuttavia non appariva ragionevole. Perché mai questi vasti agglomerati di stelle avrebbero dovuto trovare così interessante un'estremità della Galassia, quando tutta la nostra esperienza con la legge di gravitazione universale ci induceva a supporre che gli ammassi fossero piuttosto distribuiti simmetricamente intorno al *centro* della Galassia stessa?

Shapley avanzò l'ipotesi azzardata che gli ammassi globulari fossero effettivamente distribuiti intorno al centro, che quella che noi ritenevamo un'estremità della Galassia fosse in realtà il suo nucleo e che *noi*, e non gli ammassi globulari, ci trovassimo ad un'estremità dì essa.

Ma se così fosse stato, si sarebbe dovuta spiegare la simmetria di tutti gli altri oggetti esistenti in cielo. Ammesso che ci fossimo trovati davvero ad un'estremità della Galassia e che il centro fosse stato nella direzione del Sagittario, dove erano concentrati gli ammassi globulari, come si poteva spiegare che non vedessimo un numero di stelle di gran lunga maggiore nella direzione del Sagittario che in quella, opposta, dei Gemelli? Come mai la Via Lattea non era assai più luminosa nel Sagittario che nei Gemelli?

A tali domande andava data una risposta, tanto più che presto furono fornite prove a conferma dell'ipotesi di Shapley.

Negli anni tra il 1920 ed il 1930 si scoprì che le "nebulose a spirale" osservate qui e là nello spazio non erano masse gassose, come si era sospettato in un primo momento, ma vasti agglomerati di stelle, cioè vere e proprie galassie.

La galassia a spirale più vicina a noi si trova nella costellazione di Andromeda; da un attento esame di questa galassia risultò che anch'essa comprendeva ammassi globulari, i quali, tenendo conto della loro distanza assai maggiore, erano in tutto simili agli ammassi della nostra.

Essi erano distribuiti con simmetria sferica intorno al centro della loro galassia, proprio come Shapley sosteneva che fossero distribuiti gli ammassi globulari nella nostra.

Poiché si poté così constatare *direttamente* che gli ammassi nella galassia di Andromeda erano disposti intorno al centro, non c'era motivo di credere che i nostri si comportassero in modo diverso.

Si avanzò quindi l'ipotesi, la cui validità fu in seguito dimostrata oltre ogni possibilità di dubbio, che la nostra Via Lattea fosse una galassia a spirale molto simile a quella di Andromeda e che il sistema solare non si trovasse nel suo centro, ma assai lontano, in una delle braccia di spirale. Potrà sembrare forse un fatto umiliante, ma è così che stanno le cose.

Certo, noi ci troviamo effettivamente sul piano galattico o vicino ad esso, ed è per questo che la Via Lattea taglia il cielo in due metà uguali.

Ma la simmetria? Come mai la Via Lattea mostra dappertutto più o meno la stessa luminosità?

Se analizziamo la galassia di Andromeda e altre galassie a spirale abbastanza vicine da poter essere viste sufficientemente in dettaglio, scopriamo che le braccia di spirale sono piene di nubi di polvere che non contengono stelle e che quindi non sono illuminate. Sono le cosiddette "nebulose oscure".

Se nello spazio queste nebulose oscure si trovassero lontano dalle stelle, non verrebbero viste. Sarebbero, per così dire, "nero su nero". Se invece ci fossero agglomerati di stelle dietro di esse, le particelle di polvere all'interno delle nebulose oscure finirebbero per assorbire e disperdere la luce che avrebbero dietro, e gli osservatori vedrebbero le nubi come masse scure stagliate contro un chiarore stellare presente in tutte le direzioni.

Le braccia di spirale della nostra Galassia non fanno eccezione a questa regola.

William Herschel, nel corso della sua instancabile analisi di tutti i corpi celesti, notò che nella Via Lattea si rilevavano ogni tanto interruzioni molto marcate nella distribuzione delle numerose stelle deboli; in certe regioni non c'erano affatto stelle visibili. Herschel pensò che in tali regioni le stelle mancassero veramente e che questi tunnel di nulla che si allungavano attraverso quello che gli sembrava un agglomerato non troppo denso di stelle, nella Via Lattea, fossero orientati in modo da consentirci di guardare attraverso essi. «Sicuramente», affermò, «si tratta di buchi nel cielo».

Si scoprirono sempre più zone di questo tipo (ormai sono più di trecentocinquanta), ed alla fine apparve del tutto improbabile che ci fossero così tanti buchi senza stelle nello spazio. Verso il 1900 l'astronomo americano Edward Emerson Barnard (1857-1923) e l'astronomo tedesco Maximilian Franz Joseph Cornelius Wolf (1863-1932) ipotizzarono, l'uno indipendentemente dall'altro, che queste interruzioni nella Via Lattea fossero costituite da nubi nere di polvere e gas che oscuravano la luce delle numerose stelle che si trovavano dietro di esse.

Furono proprio le nebulose oscure a spiegare la simmetria della Via Lattea. La Via Lattea è così zeppa di queste nebulose, che la luce proveniente dalle regioni centrali e dalle braccia di spirale situate oltre il centro viene totalmente oscurata. Tutto quello che possiamo vedere dalla Terra sono i nostri dintorni delle braccia di spirale. Osservando la Via Lattea, riusciamo ad arrivare con lo sguardo ugualmente lontano, qualunque sia la direzione scelta, ed è questo il motivo per cui quello che *vediamo* del cielo è simmetrico.

Shapley non solo calcolò la distanza relativa degli ammassi globulari, ma elaborò anche un metodo statistico che gli consentì di valutare attraverso l'analisi delle variabili tipo RR Lyrae la distanza assoluta degli ammassi globulari dalla Terra. Il suo me-

todo di calcolo era valido, ma c'era un fattore che Shapley non prese in considerazione e che lo indusse a sopravvalutare le dimensioni della Galassia.

Ancora una volta c'era in ballo la questione dell'oscuramento della luce, un fenomeno che si verificava anche quando le nebulose oscure erano assenti.

Si pensi, tanto per fare un'analogia, all'atmosfera della Terra. Le nubi atmosferiche possono ovviamente oscurare il Sole, ma perfino l'aria "limpida" di un cielo senza nubi non è *completamente* trasparente. Parte della luce viene dispersa ed assorbita. Questo fenomeno è particolarmente visibile vicino all'orizzonte, dove la luce viaggia attraverso un'atmosfera assai più spessa, per raggiungere i nostri occhi od i nostri strumenti. Perciò il Sole all'orizzonte ha i raggi così indeboliti che spesso lo possiamo guardare senza rimanerne abbagliati; quanto alle stelle, esse possono venire oscurate fin quasi a diventare invisibili.

Analogamente, nello spazio sono distribuiti in modo sparso atomi, molecole e anche particelle di polvere. Lo spazio è, naturalmente, assai più "limpido" della nostra atmosfera, anche quando questa è più trasparente che mai, ma la luce delle stelle deve viaggiare per molti trilioni di chilometri per raggiungerci, e lungo una distanza così grande anche pezzetti di materia sparsi qui e là producono effetti cumulativi di rilievo.

Questo fu spiegato nel 1930 dall'astronomo svizzero-americano Robert Julius Trumpler (1886-1956), che dimostrò come la luminosità degli agglomerati di stelle diminuisse con la distanza un po' più rapidamente di quanto sarebbe dovuta diminuire se lo spazio fosse stato completamente sgombro. Trumpler ipotizzò perciò l'esistenza di materia interstellare estremamente rarefatta, e da allora la sua ipotesi è stata confermata da numerose prove.

Poiché la polvere presente nello spazio "vuoto"; un fenomeno di cui Shapley non tenne conto, oscurava le variabili del tipo RR Lyrae negli ammassi globulari, si calcolò che questi fossero un po' più lontani di quello che sono realmente. Una volta introdotta la correzione di Trumpler, le dimensioni della Galassia sono apparse leggermente ridotte rispetto ai calcoli di Shapley, e i valori trovati con il nuovo metodo sono accettati a tutt'oggi.

Attualmente si reputa che la Galassia sia un vasto oggetto lenticolare (o a forma di hamburger) che visto in sezione trasversale appare molto ampio nel senso della larghezza e relativamente stretto verso l'alto e verso il basso.

Il diametro longitudinale è di circa 30.000 parsec (o 100.000 anni luce, o trenta quadrilioni di chilometri). Lo spessore galattico è di circa 5.000 parsec al centro e di 950 parsec qui, dove c'è il sistema solare. Tanto per darvi un'idea di che cosa significhino queste cifre, la stella più vicina, Alpha Centauri, dista da noi circa 1,3 parsec, e se essa (o il Sole) fosse lontana 15 parsec, ad occhio nudo sarebbe appena visibile.

Il centro della Galassia dista dal nostro perimetro esterno circa 15.000 parsec, e noi ci troviamo a 9.000 parsec dal centro. Siamo quindi più che a metà strada lungo il tragitto che dal centro va fino al perimetro esterno, il quale perimetro si trova a 6.000 parsec da noi nella direzione che si allontana dal centro.

Attraverso l'analisi delle altre galassie compiuta nell'ultimo quarto di secolo abbiamo scoperto che nel centro delle galassie stesse hanno luogo fenomeni di inaspettata violenza. La violenza di questi eventi è anzi tale, che probabilmente la vita quale noi

la conosciamo è completamente impossibile nelle regioni centrali galattiche e forse esiste soltanto in periferia, dove ci troviamo noi.

È importante studiare questi avvenimenti da una distanza di sicurezza, perché una migliore comprensione di che cosa succeda nei centri galattici potrebbe dirci sull'universo molte cose che non potremmo apprendere altrimenti. Gli astronomi stanno facendo del loro meglio per scoprire la natura di tali fenomeni. Il guaio è che le distanze che ci separano dai centri delle altre galassie sono veramente troppo grandi. Se ci trovassimo un po' più vicino, avremmo grossi vantaggi pur continuando ad essere del tutto al sicuro.

Il centro della galassia gigante più vicina, la galassia di Andromeda, è lontano per esempio 700.000 parsec. L'unico centro galattico più vicino è quello della nostra stessa Via Lattea, che si trova a soli 9.000 parsec da noi, meno di 1/80 della distanza che ci separa dal nucleo della galassia di Andromeda. Purtroppo, però, non possiamo vedere il centro della nostra Galassia, benché sia così vicino.

Intendiamoci, quando dico che non possiamo vederlo mi riferisco al fatto che non possiamo vederlo attraverso la luce visibile, perché è costantemente oscurato dalla polvere galattica.

Sulla Terra, però, quando le nubi o la nebbia oscurano la visuale possiamo usare il radar. I fasci di onde radio corte emessi e ricevuti dalle nostre apparecchiature radar possono penetrare facilmente le nubi e la nebbia.

Nel 1931 l'ingegnere elettrotecnico americano Karl Guthe Jansk (1905-1950) individuò per primo radioonde nel cielo. Queste radioonde sarebbero potute provenire dal Sole che, quando l'attività delle macchie solari è al massimo o vicina al massimo, diventa la più potente radiosorgente del cielo (in quanto è incredibilmente vicino, se si usano come unità di misura le distanze stellari). Per caso però le macchie solari erano ben lontane dal punto di massima attività sicché Jansky individuò la radiosorgente più forte subito dopo il Sole, una sorgente che si trovava nella costellazione del Sagittario.

Sappiamo già che il centro galattico è situato nella direzione del Sagittario, ed indubbiamente il fascio di intense onde radio che Jansky localizzò proveniva da quel centro.

I radiotelescopi moderni si possono puntare con precisione sul luogo di provenienza della sorgente, che attualmente è stato ristretto ad un punto non più ampio di 0,001 secondi d'arco.

Si tratta dunque di una sorgente estremamente piccola. Il pianeta Giove, quando si trova nel punto più vicino a noi, ha un'ampiezza di 3.000 secondi d'arco, sicché la radiosorgente centrale galattica è solo 1/3.000.000 dell'ampiezza che ha Giove nel nostro cielo; e Giove ci appare soltanto come un puntino luminoso.

Naturalmente la sorgente situata nel centro galattico è enormemente più lontana di Giove, e se tenessimo conto di questa distanza, l'ampiezza sarebbe di circa tre miliardi di chilometri. Se trasferissimo (ovviamente in via ipotetica) la sorgente nella posizione del nostro Sole, ai nostri occhi essa apparirebbe come un'enorme gigante rossa che riempirebbe tutto lo spazio fino all'orbita del lontano Saturno.

Tuttavia, per quanto molto grande se rapportata alla scala del sistema solare, non è assolutamente tanto grande da giustificare una così forte emissione di energia. Una stella normale come il nostro Sole irradia calore a spese della fusione nucleare, ma

non c'è quantità immaginabile di fusione nucleare che possa, all'interno di qualcosa che ha le dimensioni della sorgente, produrre l'immensa energia che sembra produrre.

L'unica fonte di energia ancora più potente della fusione nucleare è il collasso gravitazionale. Sempre di più quindi gli astronomi propendono per l'ipotesi che al centro della nostra Galassia (e, forse, al centro di tutte le galassie e perfino di tutti i grandi ammassi globulari) ci sia un buco nero.

Il buco nero della nostra Galassia potrebbe avere una massa pari ad un milione di volte quella del nostro sole. Dovrebbe aumentare progressivamente, incamerando materia che prenderebbe dalla forte concentrazione esistente nel nucleo della Galassia (dove le stelle sono ancora più dense che nel nucleo degli ammassi globulari), e che convertirebbe in parte nell'energia che irradia.

Le galassie più grandi avrebbero buchi neri più massicci, che incamerando enormi quantità di materia irradierebbero ancora più energia. Nel centro straordinariamente luminoso delle galassie attive, come ad esempio le galassie Seyfert (individuate per la prima volta nel 1943 dall'astronomo americano Carl Keenan Seyfert [1911-1960]), devono avere luogo fenomeni ancora più violenti. Quanto alle quasar, che molti astronomi tendono sempre di più a ritenere super-galassie Seyfert, gli eventi che hanno luogo nel loro centro devono essere i più violenti in assoluto, tra tutti quelli che accadono nell'universo di oggi.

Potremmo forse capire meglio la violenza di questi fenomeni se studiassimo in dettaglio il centro non troppo distante della nostra Galassia, un centro la cui stessa esistenza non sospettavamo neppure fino ad una sessantina d'anni fa.

L'interno della Terra

Far, Far Below, 1985
Traduzione di Eladia Rossetto
Urania n. 1007 (13 ottobre 1985)

Qualche anno fa, un produttore hollywoodiano mi propose di scrivere la sceneggiatura di un film su un viaggio al centro della Terra.

Gli feci notare che ce n'era già stato uno di successo sull'argomento, con James Mason e Pat Boone[30], e lui mi disse che lo sapeva perfettamente ma che, da allora, la tecnica degli effetti speciali aveva fatto progressi enormi, per cui era possibile girarne una versione molto più spettacolare.

— Scientificamente accurata? — chiesi.

— Ma sicuro — mi rispose con slancio, senza rendersi esattamente conto di che cosa prometteva.

Glielo spiegai io. — Niente discese lungo caverne interminabili, — dissi, — né voragini al centro della Terra; niente mondi interni, mari sotterranei, dinosauri o cavernicoli. La Terra sarà descritta come compatta, piena di materiali ad altissime temperature.

Lui ebbe un momento di incertezza. — Ma riuscirai a ricavarne una storia interessante?

— Certamente, — dissi, con la tranquilla fiducia che nasce da una lunga esperienza.

— Benissimo, allora — concluse lui.

Così buttai giù un soggetto a mio parere interessantissimo e rigorosamente scientifico, a parte il fatto che le mie navi passavano senza difficoltà attraverso le pareti di roccia e rimanevano indenni anche in mezzo al ferro fuso (qualche licenza poetica ci vuole).

Dopo aver rintuzzato vari tentativi per introdurvi altre assurdità, quando già credevo di aver dato un quadro fedele del centro della Terra, i signori di Hollywood me lo bocciarono, inesorabilmente.

Se il cinema ci darà un futuro viaggio al centro della Terra, il pianeta sarà cavo all'interno, con un piccolo Sole radioattivo proprio in mezzo e ci saranno oceani sotterranei, dinosauri, cavernicoli ed attrici bellissime con abiti ridotti al minimo.

Ma senza il mio aiuto!

Ma perché si pensa che la Terra all'interno sia vuota? Forse l'idea è nata dalla presenza di caverne sul pianeta, alcune delle quali sono veri e propri labirinti, in parte ancora inesplorati. E siccome gli abissi già noti scendevano a volte a grandi profondità, era facile immaginare che alcuni arrivassero fin dove nessuno si sarebbe mai sognato di spingersi.

Anche la credenza comune in un mondo sotterraneo, dove hanno dimora le anime

---

[30] *Viaggio al centro della Terra* (Journey to the Center of the Earth, 1959) di Henry Levin.

dei morti, può essere stata all'origine della nozione della Terra vuota al centro, una volta ammesso che il nostro pianeta sia un corpo sferico. La *Divina Commedia* è la massima espressione letteraria di una Terra cava, che racchiude nel suo interno l'Inferno.

Una Terra vuota è anche una concezione altamente drammatica, ispiratrice di invenzioni interessanti e di avventure emozionanti.

Il primo racconto importante sulla Terra cava fu quello di un danese, Ludvig Holberg (1684-1754), che scrisse in latino *Nicolai Klimii iter subterraneum* ("Il viaggio sotterraneo di Nicholas Klim"). Pubblicato nel 1741, fu rapidamente tradotto in tutte le lingue europee. La storia prevedeva un Sole al centro della Terra, circondato da minuscoli pianeti che formavano un vero e proprio microsistema solare.

L'invenzione romanzesca fu tradotta in "scienza" da un certo John Cleeve Symmes (1742-1814), che sostenne che la Terra non era sferica, ma aveva la forma di una ciambella. Vicino al polo nord ed al polo sud si aprivano due grossi fori, che naturalmente erano intercomunicanti.

Symmes poteva tranquillamente fare queste affermazioni, perché ai suoi tempi le regioni polari erano ancora avvolte nel mistero ed era impossibile controllare se le due voragini esistevano o meno. Naturalmente Symmes trovò dei sostenitori convinti tra un buon numero di anime candide, per la nota regola che più si dicono assurdità, più c'è gente disposta a crederci (per rendersene conto, basta osservare il mondo contemporaneo).

L'idea fu una vera manna per gli scrittori di fantascienza. Edgar Allan Poe (1808-1848), nella *Discesa nel Maelstrom*, uscito nel 1842, descrive la drammatica avventura di una nave catturata da un gorgo gigantesco nelle regioni polari dove, cioè, l'oceano s'inabissa senza posa nella voragine nord di Symmes (c'è da sperare che le acque riaffiorino da qualche parte, altrimenti a quest'ora gli oceani sarebbero prosciugati). Jules Verne (1828-1905) evitò con cura le voragini sottomarine, ma nel *Viaggio al centro della Terra* del 1864, il punto di partenza è sempre situato nell'estremo nord – stavolta in un vulcano islandese. Gli esploratori di Verne, scendendo nelle viscere del pianeta, s'imbattono in un oceano, popolato di rettili giganteschi, di mastodonti e di cavernicoli.

Più vicini a noi, abbiamo i racconti di Edgar Rice Burroughs (1875-1950) che, a cominciare da *Il centro della Terra* del 1922, scrisse tutta una serie di avventure su Pellucidar (come aveva battezzato il mondo sotterraneo).

Eppure, già nel 1798 si sapeva che la Terra non è cava e che Symmes aveva parlato a vanvera.

Nel 1798, il fisico inglese Henry Cavendish (1731-1810) determinò con notevole precisione la massa del nostro pianeta in circa seimila milioni di miliardi di tonnellate. Oggi è calcolata in 5.976.000.000.000.000.000.000 tonnellate. Partendo da questi dati e dal volume noto del pianeta, si ottiene una densità media del materiale terrestre di 5.518 chilogrammi per metro cubo.

La densità dello strato roccioso della Terra è, comunque, pari a 2.600 chilogrammi per metro cubo, mentre la densità dell'oceano supera di poco i 1.000 chilogrammi per metro cubo. Se a questo punto il pianeta fosse cavo al suo interno, non si spieghereb-

bero né la sua densità media né la massa totale.

Se consideriamo la massa della Terra, ne concluderemo non soltanto che il pianeta non è vuoto all'interno, ma che è composto di un materiale molto più denso di quello della superficie.

O in altre parole: supponiamo che la massa della Terra sia di 6 mila milioni di miliardi di tonnellate e che questa massa immane sia interamente concentrata in un involucro relativamente sottile che racchiude una cavità centrale. Il tal caso, il campo gravitazionale sarebbe così intenso da stritolare l'involucro, accartocciandolo e trasformandolo in una sfera (o in uno sferoide schiacciato ai poli, se il corpo ruota attorno al proprio asse). Naturalmente non esisterebbero spazi vuoti, spazzati via dal campo gravitazionale.

Sulla Terra, beninteso, ci sono le caverne, ma si tratta di fenomeni limitati alla superficie, irregolarità trascurabili, paragonabili alle catene montuose ed alle valli che incrinano appena la liscia sfericità del nostro pianeta.

Lasciamo ora da parte le assurde invenzioni degli pseudo-scienziati ed il romanticismo degli scrittori di fantascienza, e diamo per scontato che la Terra sia densa e totalmente priva di spazi vuoti al suo interno. Il prossimo problema sarà: di che cosa è fatto il centro del pianeta?

Non è una risposta facile, perché, per il momento, non ci è possibile osservare direttamente il materiale di cui è composta la Terra se non a pochi chilometri di profondità. Mentre siamo in grado di percorrere 380.000 chilometri nello spazio e di riportare campioni di materia dalla superficie della Luna, non riusciamo nemmeno a scendere a quindici chilometri nelle viscere del pianeta. Mandare una sonda per 6.400 chilometri fino al centro della Terra resterà ancora un sogno per moltissimo tempo.

È possibile però ricavare deduzioni intelligenti dalle osservazioni condotte sulla superficie terrestre. La crosta del pianeta, per esempio, che ci è consentito di osservare direttamente, è di natura rocciosa. Secondo la conclusione più semplice, la Terra sarebbe composta interamente di roccia, e più scendiamo in profondità più la roccia sarebbe compatta, perché i vari strati premono sugli strati inferiori, sempre più compressi e dunque più densi.

Ora noi siamo in grado di studiare la risposta delle rocce alla compressione. È vero che solo di recente siamo riusciti ad ottenere (e in via temporanea) compressioni pari a quelle cui è sottoposto il centro della Terra, comunque si è accertato che la roccia non è sufficientemente comprimibile. Se dunque il nostro pianeta fosse, da un polo all'altro, un solo blocco di roccia, le densità al suo interno non sarebbero tali da spiegare una pressione media complessiva di 5.518 chilogrammi per metro cubo. Evidentemente l'interno della Terra è composto di un materiale più denso della roccia a pressione zero, e suscettibile di densità maggiori in condizioni di pressione più elevate.

Il nuovo materiale era comparso in scena per tempo.

Nel Cinquecento, il fisico inglese William Gilbert (1540-1603), nel corso di un esperimento con una sfera di "magnetite" (un ossido di ferro presente in natura), osservò il comportamento dell'ago magnetico in prossimità della sfera. L'ago si comportava esattamente come se rispondesse al campo magnetico terrestre, e fu facile concludere che la Terra era un magnete sferico.

Ma perché quel materiale aveva proprietà magnetiche? Le rocce che compongono la crosta terrestre non sono normalmente magnetiche e la magnetite rappresenta un'eccezione trascurabile. Supponiamo, allora, che il centro della Terra sia di magnetite solida. Questo minerale, a pressione zero, ha una densità di 5.200 chilogrammi per metro cubo, il doppio cioè di quella delle rocce normali della crosta terrestre, e di conseguenza, sotto le alte pressioni del centro del pianeta avrebbe una densità maggiore, rispetto a quelle rocce. Ma neanche la magnetite raggiungerebbe una densità sufficiente.

Facciamo allora l'ipotesi che l'interno della Terra sia formato da una massa di ferro solido. Questa massa avrebbe proprietà magnetiche e la densità del ferro, a pressione zero, è di 7.860 chilogrammi per metro cubo, tre volte quella delle rocce della crosta terrestre. Questa volta la densità sarebbe sufficiente.

Verso il 1820, gli scienziati convennero che i meteoriti erano frammenti di materia solida che arrivavano sulla Terra dallo spazio. Studiando i meteoriti, si notò che ne esistevano di due tipi, i "rocciosi" e i "ferrosi". I primi erano costituiti da materiali non molto diversi da quelli della crosta terrestre gli altri, invece, erano composti quasi interamente da un insieme di ferro e nichel, nella proporzione di nove a uno. (Il nichel, come il ferro, possiede proprietà magnetiche. Il composto ferro-nichel potrebbe servire da magnete planetario.)

Nell'Ottocento si riteneva che gli asteroidi fossero avanzi di un pianeta che ruotava in orbita tra Marte e Giove e che, per qualche misterioso motivo, era esploso. Era dunque ragionevole supporre che l'esterno della crosta di quel pianeta fosse di natura rocciosa, mentre l'interno era in ferro e nichel, come i due tipi di meteoriti.

Nel 1866, un geologo francese, Gabriel-Auguste Daubrée (1814-1896), avanzò l'ipotesi che anche la Terra avesse una struttura analoga, e cioè una crosta rocciosa attorno ad un nucleo centrale di ferro e nichel.

Le profondità terrestri, però, non presentavano solo differenze chimiche. Intanto era evidente che l'interno della Terra era caldo, come dimostravano, senza possibilità di dubbio, le eruzioni vulcaniche. (L'idea di un Inferno di "fuoco e zolfo" si è ispirata sicuramente all'attività vulcanica).

In tempi più recenti si sono avute prove più sofisticate del calore esistente al centro del pianeta. Così si spiegavano, per esempio, le immani energie dei terremoti: mentre il tipo di cristallizzazione di diverse rocce della crosta terrestre rivela l'esposizione a temperature ed a pressioni elevatissime, probabilmente perché si trovavano a grande profondità. E non basta. Scavando miniere sempre più profonde. si notò che la temperatura aumentava man mano che si scendeva nelle viscere della Terra. Ma quel calore, di dove proveniva? Secondo una teoria sulle origini del nostro mondo, i pianeti del sistema solare facevano parte del Sole. La Terra, che inizialmente aveva la stessa temperatura dell'astro, era andata via via raffreddandosi. Perdendo calore, la crosta esterna si era solidificata, mentre la roccia, agendo da isolante, aveva fatto sì che il centro del pianeta si raffreddasse molto lentamente, tanto che ancora oggi è caldo. Alcuni scienziati si presero la briga di calcolare il tempo impiegato dalla Terra per raffreddarsi ed arrivarono alla conclusione che l'età del nostro pianeta non superava i dieci milioni di anni.

Poi, l'idea di una Terra figlia del Sole fu gradatamente abbandonata. I particolari meccanici dell'operazione dell'espulsione dei pianeti dal Sole e del loro inserimento

nell'orbita attuale si rivelarono un problema insolubile. Inoltre, verso il 1920, era ormai chiaro che l'interno del Sole era immensamente più caldo della sua superficie. per cui i frammenti di materia solare, schizzando nello spazio, anziché condensarsi in pianeti, sarebbero evaporati all'istante.

Una teoria rivale, dovuta in origine all'astronomo francese Pierre Simon de Laplace (1749-1827), fu ampiamente sviluppata, nel 1944, dall'astronomo tedesco Carl Friedrich von Weizsäcker (1912) che le diede anche una veste moderna.

Secondo le opinioni più recenti, il Sole ed i suoi pianeti si sono formati simultaneamente, in seguito all'agglomerazione di altri corpi più piccoli, e l'elevata temperatura interna della Terra è il risultato della conversione in calore dell'energia cinetica di tutti quei corpi.

Inoltre, nel primo decennio del Novecento, si scoprì che l'uranio ed il torio, uniti agli isotopi dei più comuni potassio e rubidio, erano soggetti a collasso radioattivo, con conseguente emissione di calore. La quantità per chilogrammo al secondo era insignificante, ma su scala planetaria bastava per sprigionare un calore notevole, che si mantenne per miliardi di anni, riducendosi solo leggermente.

L'interno della Terra, dunque, non si raffreddava poi tanto in fretta e l'età del pianeta non era di 25 milioni di anni, bensì di 4.600 milioni – che è poi l'età dell'intero sistema solare.

Ma, a parte la questione dell'origine del calore della Terra e della velocità di raffreddamento, rimaneva sempre il problema di come fosse l'interno del pianeta.

Si ritenne inizialmente che, data l'alta temperatura e la profondità, ad ottanta chilometri al di sotto della crosta terrestre tutto fosse allo stato fluido, per cui la Terra era essenzialmente un'enorme palla di liquido, avvolta da una crosta solida relativamente sottile. Si oppose all'ipotesi il fisico scozzese Lord Kelvin (1824-1907), che fece osservare che una crosta solida così sottile sarebbe stata estremamente fragile e non avrebbe resistito all'azione di attrazione della Luna e del Sole. Effettivamente gli effetti delle maree sulla superficie solida del pianeta dimostrano che la Terra è dura come l'acciaio.

Verso gli inizi del nostro secolo si avanzò l'ipotesi che le alte temperature all'interno fossero, per così dire, neutralizzate dalle alte pressioni. Sebbene le temperature fossero così elevate da fondere la roccia ed il metallo alla pressione normale di superficie, l'aumento della pressione nelle viscere del pianeta manteneva la materia allo stato solido, benché, al centro, la temperatura toccasse i 6.000°C. In altre parole la Terra, al suo interno, era solida (o almeno così pareva).

A questo punto, sorse un altro problema. Nel 1895, il chimico francese Pierre Curie (1859-1906) dimostrò che le sostanze magnetiche si smagnetizzano quando la temperatura supera un determinato livello (il "punto Curie") che, per il ferro, è di 760°C. Ora, la temperatura al centro della Terra è senz'altro superiore a questi valori e dunque il centro del pianeta non giustifica il magnetismo terrestre. Per un certo tempo, questo fatto rimase un enigma.

Sul finire del XIX secolo gli scienziati cominciarono a studiare più attentamente i sismi, e scoprirono, in modo del tutto inaspettato, una nuova tecnica per conoscere l'interno della Terra.

Il primo “sismografo” capace di intercettare le onde vibratorie scatenate dai terremoti fu inventato nel 1855 dall’italiano Luigi Palmieri (1807-1896) e fu notevolmente perfezionato dal geologo inglese John Milne (1850-1913), che installò una catena di sismografi in Giappone ed in altri paesi. Con lui, nasceva la sismologia moderna.

Quando si verifica un terremoto, le vibrazioni vengono registrate dai vari sismografi in momenti diversi, a seconda della distanza degli apparecchi dall’epicentro del terremoto. Questo fatto ha permesso di misurare la velocità di propagazione delle onde sismiche lungo la crosta terrestre.

Nel 1899 le vibrazioni di un terremoto in Giappone furono registrate 64 minuti dopo in Germania. Ora, se le onde avessero viaggiato lungo la superficie ricurva del pianeta non sarebbero arrivate così rapidamente in Germania. Era evidente che avevano preso una scorciatoia e che avevano tagliato dritto attraverso le viscere della Terra.

Nel 1902 il geologo irlandese Richard Dixon Oldham (1858-1936), studiando le onde scatenate da un sisma in Guatemala, riuscì a dimostrare che, nell’attraversare gli strati più profondi del pianeta, le onde viaggiavano a velocità inferiore a quella con cui superavano gli strati superficiali.

Propagandosi nelle viscere della Terra le onde, in seguito alla variazione di velocità determinata dalla profondità, subivano una brusca deviazione, esattamente come le onde luminose s’incurvano e si rifrangono quando passano dall’aria al vetro o viceversa o le onde sonore che si flettono se attraversano strati d’aria con densità e temperatura diverse.

Grazie al percorso curvilineo seguito all’interno, le onde sismiche raggiungevano soltanto certe parti della superficie terrestre, escludendone altre, per cui si veniva a creare una “zona d’ombra” dove le vibrazioni non erano avvertite, mentre erano regolarmente registrate in località sia più vicine sia più lontane dall’epicentro.

Nello studiare la natura della zona d’ombra ed il tempo impiegati dalle onde sismiche per raggiungere vari punti della superficie terrestre, il geologo tedesco Beno Gutenberg (1889-1960) nel 1912 dimostrò che le onde, quando penetravano oltre una data profondità, subivano una brusca e violenta decelerazione e mutavano nettamente di direzione. Secondo i suoi calcoli, quel punto si trovava a circa 2.900 chilometri sotto la superficie del pianeta.

Era un confine nettissimo (la “discontinuità di Gutenberg”). che divideva la Terra in due grandi regioni. Nel nucleo centrale c’era una sfera di 2.900 chilometri di raggio costituita presumibilmente di ferro e nichel. Tutt’attorno, cioè per la maggior parte del pianeta, c’era un “mantello” di roccia. Il brusco mutamento di velocità delle onde sismiche, quando passavano dal mantello al nucleo, o viceversa, era la miglior prova del cambiamento subitaneo dello stato chimico delle due regioni.

All’interno del mantello, o del nucleo, le onde viaggiavano seguendo un percorso leggermente curvilineo, che rivelava l’aumentare della densità via via che si scendeva, da una densità di superficie di 2.600 chilogrammi per metro cubo, si passava, nei sondaggi fino a 2.000 chilometri di profondità, a 5.700 chilogrammi per metro cubo. Penetrando ancora più a fondo nel nucleo, la densità aveva una brusca impennata a 9.700 chilogrammi per metro cubo e continuava a crescere, fino a raggiungere, nel centro esatto del pianeta, i 300 chilogrammi per metro cubo. Queste cifre convalidavano l’ipotesi di un mantello roccioso con all’interno un nucleo di nichel.

Nel 1909 un geologo croato, Andrija Mohorovičić (1857-1936), mentre studiava un terremoto nei Balcani, scoprì un lieve mutamento di velocità delle onde a circa 30 chilometri di profondità (la "discontinuità di Mohorovičić"). Era evidente che il mantello roccioso presentava un sottile strato superficiale, detto normalmente "crosta".

Crosta e mantello sono entrambi composti di materiali rocciosi, ma si diversificano nella struttura chimica. La crosta, infatti, è ricca di silicato d'alluminio, mentre il mantello (a giudicare dai dati sismici e mettendo a confronto in condizioni di laboratorio, la velocità delle onde attraverso il mantello ed attraverso rocce di composizione varia) abbonda di silicato di magnesio.

Il problema se l'interno della Terra sia solido o liquido rimaneva comunque aperto. Ancora nel 1920 prevaleva l'opinione che fosse solido.

E non soltanto si pensava che il nucleo rimanesse allo stato solido anche a temperature altissime, per via della pressione enorme, ma l'ipotesi pareva trovare conferma nella recente scoperta della radioattività. Le sostanze radioattive, come l'uranio ed il torio, erano tutte concentrate nel mantello, anzi proprio negli strati superiori, dato che queste sostanze legano meglio con la roccia che non col ferro-nichel. C'era dunque la possibilità che il mantello fosse caldo, mentre il nucleo era relativamente più freddo, e di conseguenza il ferro, rimanendo al di sotto del punto di Curie, conservava il proprio magnetismo.

Esistono, comunque, due tipi di onde sismiche: le onde trasversali, che hanno oscillazioni verticali come le onde luminose e si muovono ad angolo retto rispetto alla direzione di propagazione delle onde. Sono le "onde S". Le "lungitudinali" oscillano orizzontalmente, come le onde sonore. e seguono la direzione di propagazione delle onde. Queste sono le "onde P".

Le onde longitudinali, come le onde P, passano attraverso qualunque sostanza, liquida, solida od aeriforme. Le trasversali, invece, come le onde S, attraversano i solidi o corrono alla superficie dei liquidi, ma non passano attraverso i liquidi né gli aeriformi.

Oklham fu il primo ad osservare l'esistenza di questi due tipi di onde sismiche e nel 1914, ormai sicuro di non aver mai visto delle onde S attraversare il nucleo, si convinse che fosse liquido.

Gutenherg, d'altro canto, era persuaso che il nucleo fosse solido, e godeva di tale prestigio che soltanto nel 1925 i geologi si arresero al fatto che le onde S non passavano attraverso il nucleo. Ed anche cosi esitarono ancora, prima di riconoscere che il nucleo era liquido.

Nel 1926, l'astronomo inglese Harold Jeffrey (1891) calcolò la durezza del mantello in base ai dati dell'onda sismica e dimostrò che era molto più rigido della Terra (secondo i dati ricavati dalle maree). Ma allora il nucleo, che era evidentemente meno duro del pianeta, era presumibilmente liquido. Da quel momento, prevalse l'opinione che il nucleo del pianeta fosse dì ferro-nichel fuso.

Un nucleo di ferro liquefatto era senz'altro al di sopra del punto di Curie, ma la rotazione terrestre probabilmente determina dei vortici, che a loro volta producono effetti magnetici, i quali spiegherebbero, indipendentemente dal punto di Curie, il campo magnetico terrestre.

Infine, nel 1936, la geologa danese Inge Lehmann osservò che le onde P, che

attraversavano il nucleo passando vicinissime al centro della Terra, subivano un lieve, subitaneo aumento della velocità. Secondo la studiosa, al centro della Terra esisteva un "nucleo interno", e più esattamente una sfera di 1.250 chilometri di raggio.

Ma in che cosa differiscono i due nuclei? È opinione comune che mentre il nucleo esterno è allo stato liquido, le pressioni che agiscono proprio nel centro del pianeta sono così elevate da solidificare il ferro-nichel, per cui, in ultima analisi, il nucleo interno sarebbe solido.

Ecco dunque a che punto è la questione, a parte certe controversie in atto sulla natura chimica del nucleo. Secondo alcuni, un nucleo di ferro-nichel puro sarebbe troppo denso rispetto alla densità complessiva del pianeta, e dunque il nucleo conterrebbe una quantità rilevante di ossigeno, che ne riduce la densità. Insomma il nucleo sarebbe in ferro-nichel un po' arrugginito.

Concludiamo ricordando che il nucleo interno solido rappresenta all'incirca lo 0,8 per cento del volume della Terra; il nucleo liquido il 15,4 per cento; il mantello roccioso l'82,8 per cento e la crosta rocciosa l'1 per cento.

In termini di massa, il nucleo metallico denso (sia esterno sia interno) rappresenta un terzo dell'intera massa del pianeta, mentre gli altri due terzi sono costituiti dagli strati rocciosi esterni (mantello e crosta).

La chimica del vuoto

1986
Traduzione di Laura Serra
Urania n. 1049 (24 maggio 1987)

L'anno scorso partecipai, assieme alla mia cara moglie Janet, al banchetto annuale dei "giallisti" d'America, durante il quale vengono assegnati i premi per la narrativa del settore. Abbiamo un atteggiamento un po' romantico nei confronti di questa cerimonia, perché, ventisei anni fa, ci conoscemmo proprio a uno di tali banchetti.

In ogni caso, mi era stato chiesto di consegnare l'Edgar per il miglior romanzo poliziesco dell'anno. Poiché l'Edgar era il premio più ambito, veniva consegnato per ultimo, così sedemmo pazientemente per tutta la durata della cerimonia, mentre una decina di oratori si alternavano sul podio cercando di essere più spiritosi e divertenti che mai.

Janet cominciò a sentirsi in ansia. Sapeva che l'occasione che mi si offriva, di consegnare un Edgar particolarmente importante, mi lasciava giusto un tantino freddo, in quanto l'associazione non mi aveva mai nemmeno candidato al premio. Era sicura che mentre ascoltavo tutte quelle battute e dimostrazioni di abilità oratoria stessi studiando il modo e il mezzo per superare tutti quanti.

Così si protese verso di me e disse: — Isaac, è tutta la sera che quei poveri candidati al premio per il miglior romanzo sono in preda ad una terribile tensione. Non farla lunga. Nomina solo i cinque titoli e gli autori e poi leggi chi è il vincitore.

— Sì, cara — dissi (sono un marito straordinariamente educato). — Annuncerò solo i candidati ed il vincitore.

Poi arrivò il momento ed io, saltando sul podio con il mio solito fare giovanile, lessi una frase contenuta nella lettera formale che mi avevano spedito per spiegarmi come dovessi comportarmi in occasione della consegna del premio. La lettera avvertiva che alcuni dei nomi sarebbero stati molto difficili da pronunciare e che se avessi avuto qualche problema avrei dovuto chiamare la sede dell'associazione, dove mi avrebbero insegnato la corretta pronuncia.

Ripiegai quindi la lettera, la infilai in tasca, dissi che ero fiero che la società americana fosse multi-etnica e pluralistica e che non mi sarei mai sognato di chiedere aiuto. Avrei pronunciato tutti i nomi difficili meglio che potevo, se il pubblico avesse portato pazienza.

Poi guardai l'elenco dei cinque candidati, che per caso, per la più pura delle coincidenze, comprendeva solo nomi semplicissimi, di chiara origine anglosassone. Lessi tutti i titoli dei libri, poi esitai davanti ai nomi degli autori, li scrutai ansiosamente, quindi li pronunciai a poco a poco con una certa difficoltà, mentre a ogni sforzo venivo ricompensato da uno scroscio di risate. Quando ebbi finito, allungai la mano verso la busta che conteneva il nome del vincitore, dissi mesto che probabilmente conteneva il nome più complicato di tutti e che mi sarebbe così toccato pronunciarlo una seconda volta. Infatti il vincitore era Ross Thomas, un nome che

pronunciai con grande difficoltà. Strappai al pubblico la sesta e più scrosciante risata e tornai al mio posto.

— Ho soltanto letto i nomi, cara —dissi a Janet.

Per fortuna, quando scrivo questi articoli, non c'e al mio fianco nessuno che mi inciti ad essere stringato, per cui adesso riprenderò con tutta tranquillità dal punto in cui ero rimasto nell'articolo della volta scorsa.

La volta scorsa ho parlato del vuoto, degli spazi quasi vuoti che si trovano nelle immediate vicinanze di grandi corpi celesti. Secondo i parametri terrestri, il vuoto è appunto vuoto e non contiene niente, ma non niente del tutto. Contiene, qui e là, tenui nubi di polvere e gas. Persino il vuoto più spinto, lo spazio lontanissimo da qualsiasi stella, deve contenere atomi sparsi di qualche tipo...

Il problema è: di *quale* tipo?

C'è un modo per analizzare un vuoto quasi totale che si trovi ad enorme distanza e per chiarire la natura della materia assai rarefatta che contiene?

Un abbozzo di risposta arrivò nel 1904. Un astronomo tedesco, Johannes Franz Hartmann (1865-1936), stava studiando le righe spettrali di una stella binaria, Delta Orionis. Le due stelle del sistema binario erano troppo vicine perché con il telescopio le si potessero vedere come oggetti separati, ma nel moto di rivoluzione reciproco una si allontanava da noi mentre l'altra si avvicinava, poi questa si allontanava mentre la gemella si avvicinava.

Entrambe le stelle avevano righe spettrali, quando una si allontanava e l'altra si avvicinava, una serie di righe si spostava verso il rosso dello spettro, mentre l'altra si spostava verso il viola. Quando le stelle invertivano il loro movimento, altrettanto facevano le righe spettrali. In altre parole, le righe spettrali del sistema binario diventavano doppie quando le due stelle giravano l'una intorno all'altra, poi si univano quando una stella eclissava l'altra, quindi tornavano doppie nella direzione opposta, e questo più e più volte.

Ma Hartmann notò che una particolare riga *non si spostava*. Era quella che rappresentava gli atomi di un elemento: il calcio. Il calcio non può far parte né dell'una né dall'altra stella, perché entrambe si muovono. Deve appartenere a qualcosa di fisso rispetto alle stelle, e quel qualcosa dev'essere costituito dai lievi fili di gas interstellare che si trovano tra le stelle e la Terra. Questi pennacchi sono estremamente tenui, ma negli anni luce che separano la binaria da noi gli atomi diventano sempre più numerosi, e la luce delle stelle ne incontra abbastanza, lungo la strada, da far sì che la lunghezza d'onda del calcio sia assorbita in modo rilevabile dagli strumenti. Hartmann aveva insomma scoperto che il calcio era tra i componenti del gas interstellare.

Naturalmente quest'idea non fu accettata subito. Erano state compiute altre analisi, con risultati contraddittori, ed erano state formulate le più disparate teorie in contrasto tra loro. Soltanto nel 1926 il lavoro dell'astronomo inglese Arthur Stanley Eddington (1882-1944) dimostrò in maniera convincente che l'ipotesi del gas interstellare fosse corretta. A quell'epoca erano stati individuati nel gas interstellare anche altri tipi di atomi, come quelli del sodio, del potassio e del titanio.

Questi metalli sono relativamente comuni sulla Terra e, presumibilmente, nell'universo in genere. Ormai si sapeva, però, che l'idrogeno è l'elemento di gran

lunga predominante nell'universo e si pensava che dovesse essere predominante anche nel gas interstellare. Circa il 90% di tutti gli atomi dell'universo è costituito da atomi di idrogeno, ed il 9% da atomi di elio. Tutto il resto messo assieme rappresenta al massimo solo l'1% circa. Che senso ha che si individuino i costituenti minori e non quelli che sono in maggioranza schiacciante?

La risposta è semplice. Succede che atomi come quelli del calcio assorbano in misura notevole certe lunghezze d'onda di luce visibile, mentre l'idrogeno e l'elio no. Perciò, quando si studia lo spettro della luce visibile, si individuano nel vuoto le righe scure del calcio e di altri atomi del genere, mentre, nel caso dell'idrogeno e dell'elio, non si riesce a vedere niente.

Solo in una particolare condizione l'idrogeno diventa visibile. L'atomo di idrogeno è composto da un nucleo dotato di una carica positiva che viene annullata dalla carica negativa del singolo elettrone alla periferia dell'atomo. Il nucleo e l'elettrone insieme costituiscono un "atomo di idrogeno neutro". Se c'è però una stella molto calda nelle vicinanze, la radiazione energetica che essa emana sottrae l'elettrone al nucleo, lasciando dietro di sé un "idrogenione". Ogni tanto l'idrogenione si ricombina con l'elettrone, cedendo la quantità di energia che era occorsa per separarli, e tale quantità può essere individuata.

Queste emissioni di idrogenioni furono notate nelle nebulose brillanti e servirono anche a studiare le giovani stelle calde di cui abbondavano i bracci di spirale delle galassie, dato che le intense radiazioni di queste stelle producevano considerevoli quantità di idrogeno ionizzato rilevabili per vari anni luce intorno ad esse. Nel 1951 l'astronomo americano William Wilson Morgan (1906) riuscì a rappresentare sulla carta le curve di idrogeno ionizzato che delimitavano i bracci di spirale della nostra galassia, in uno dei quali si trova il nostro Sole. Si era già ipotizzato che la nostra galassia avesse una struttura a spirale, ma quella era la prima prova diretta a suffragio della teoria.

Gli idrogenioni, però, furono trovati solo in certi punti della galassia. Quest'ultima era composta soprattutto da stelle piccole e poco luminose. Lo spazio fra tali stelle consisteva di un sottile gas formato da atomi di idrogeno neutri, che risultavano invisibili per quanto concerneva gli spettri di luce normali. Tuttavia, proprio mentre ci si serviva dell'idrogeno ionizzato per rappresentare sulla carta i bracci di spirale della galassia, la situazione cambiò per quel che riguardava gli atomi di idrogeno neutri.

Nel 1940 l'esercito tedesco aveva occupato i Paesi Bassi, che erano finiti così sotto l'ombra tenebrosa della tirannia nazista. La normale ricerca astronomica diventò impossibile, ed un giovane astronomo olandese, Hendrikk Christoffell Van de Hulst (1918) fu costretto a cercare di combinare qualcosa usando solo carta e penna.

L'atomo di idrogeno neutro può esistere in due forme. In una l'elettrone ed il nucleo ruotano nella stessa direzione, nell'altra in direzioni opposte. Le due forme hanno un contenuto di energia leggermente diverso. Può capitare che un fotone vagante di luce stellare sia assorbito dalla forma contenente meno energia, la quale si trasforma allora nella forma contenente più energia. Quest'ultima prima o poi si converte nell'altra e cede l'energia che ha assorbito.

Nel 1944 Van de Hulst dimostrò che l'energia veniva ceduta in forma di fotone di microonde con lunghezza d'onda di 21 centimetri (un fotone, cioè, che aveva circa un

40 milionesimo dell'energia della luce visibile). In media, i singoli atomi di idrogeno emetterebbero la lunghezza d'onda di 21 centimetri solo ogni milione di anni, ma nello spazio extra-atmosferico ci sono in complesso così tanti atomi di idrogeno, che in qualsiasi momento dato moltissimi di essi cedono questi fotoni di microonde, i quali potrebbero, in teoria, essere individuati.

Prima della seconda guerra mondiale, però, mancavano gli strumenti per individuare fotoni così deboli.

Ma negli anni di poco precedenti la guerra fu inventato il radar, e durante il conflitto le ricerche in questo campo furono intensissime. Si dà il caso che il radar funzioni con raggi di microonde, e verso la fine della guerra furono elaborate molte tecniche di rivelazione delle microonde. La radioastronomia era diventata una realtà.

Usando le nuove tecniche, l'astronomo americano Edward Mills Purcell (1912) individuò nel 1951 la radiazione di 21 centimetri. Così diventava possibile studiare il freddo idrogeno interstellare e raccogliere quindi moltissime informazioni sulla galassia.

Si potevano inoltre utilizzare le nuove tecniche della radioastronomia per scoprire altri componenti del gas interstellare.

Per esempio, il nucleo a una sola carica del normale atomo di idrogeno è composto da un protone e nient'altro. Vi sono però alcuni atomi di idrogeno il cui nucleo è costituito da un protone e un neutrone. Tale nucleo ha ancora un'unica carica positiva, ma è due volte più pesante del comune nucleo di idrogeno. Questo atomo di idrogeno più pesante è chiamato di solito "deuterio".

Il deuterio, come l'idrogeno normale, ha due stati d'energia, e nel passare da quello a maggior contenuto energetico a quello a minor contenuto energetico emette un fotone di microonde con lunghezza d'onda di 91 centimetri. Questa radiazione fu individuata da astronomi americani all'università di Chicago nel 1966, e adesso sappiamo che circa il 5% dell'idrogeno interstellare è in forma di deuterio. Quello stesso anno, un astronomo sovietico individuò le caratteristiche microonde emesse dall'atomo di elio.

I dodici atomi che si trovano più facilmente nell'universo (e, quindi, nel gas interstellare) sono, in ordine decrescente di abbondanza, l'idrogeno (H), l'elio (He), l'ossigeno (O), il neon (Ne), l'azoto (N), il carbonio (C), il silicio (Si), il magnesio (Mg), il ferro (Fe), lo zolfo (S), l'argo (Ar) e l'alluminio (Al).

Come ho detto in precedenza, l'idrogeno e l'elio messi assieme costituiscono il 99% degli atomi dell'universo. Se prescindiamo da questi, i restanti dieci elementi elencati rappresentano più del 99,5% di tutti gli altri atomi. In breve, meno di uno su 20 mila atomi dell'universo è di un tipo diverso da quelli riportati nella lista. Quindi possiamo non tenerne conto, nelle riflessioni che seguono.

Proviamo a chiederci se gli atomi del gas interstellare possano esistere, là nello spazio, in una forma che non sia quella di singoli atomi. Possono, due o più atomi, combinarsi per formare una molecola?

Per combinarsi devono prima collidere, e nel vuoto interstellare i singoli atomi sono così lontani, che la collisione si verifica solo molto raramente. Tuttavia le collisioni di fatto avvengono, e poiché l'universo, così com'è, esiste da più o meno 10-14 miliardi di anni, ci saranno state nel corso del tempo molte, molte collisioni e si

saranno formate molte molecole. Certo le molecole, una volta formatesi, devono resistere a ulteriori collisioni con radiazioni e particelle energetiche che tenderebbero a disgregarle di nuovo, ma tra formazione e disgregazione dovrebbe esserci un equilibrio tale, da permettere che nello spazio esista in qualsivoglia momento un certo numero di molecole.

E che tipo di molecole sarebbero? Possiamo innanzitutto eliminare tutti gli atomi che non appartengono al mio elenco di dodici: sarebbero infatti troppo pochi per partecipare alla creazione di molecole in concentrazioni tali da essere individuabili. Dei dodici elencati possiamo tralasciarne tre, dato che gli atomi di elio, neon ed argo non si combinano con altri atomi in nessuna delle condizioni a noi note.

Quanto al silicio, al magnesio, al ferro e all'alluminio, è improbabile che formino piccole molecole; tendono piuttosto a diventare sempre più numerosi ed a formare particelle di polvere con altri atomi, come quelli di ossigeno.

Queste particelle di polvere rappresentano solo l'1% circa della massa del gas interstellare, ma la loro presenza si nota bene. I singoli atomi e le piccole molecole di gas interstellare non assorbono grandi quantità di luce solare, per cui lo spazio extra-atmosferico, è in genere, trasparente.

La polvere invece assorbe molto la luce solare. Una massa di polvere assorbe 100 mila volte più luce stellare di un'equivalente massa di gas. Le stelle che si trovano dietro (relativamente alla Terra) quelle zone di spazio dove la polvere interstellare è moderatamente abbondante, appaiono più scure e più rosse. Se la polvere è abbastanza abbondante, le stelle vengono nascoste completamente e abbiamo le "nebulose oscure" che ho menzionato nell'articolo della volta scorsa. (Nello spazio si trovano atomi come quelli che di solito compongono le particelle di polvere, che o non si sono ancora legati alle particelle, o si sono staccati da esse. Questi atomi spiegano righe spettrali come quelle individuate per la prima volta da Hartmann.)

Se pensiamo dunque a molecole vere e non a particelle di polvere, dobbiamo prendere in considerazione solo cinque tipi di atomi: idrogeno, ossigeno, azoto, carbonio e zolfo, in tale ordine decrescente di abbondanza.

Le combinazioni di questi atomi esistono in quantità individuabili? La risposta è "sì", perché alcune combinazioni in effetti emettono delle radiazioni nella regione di luce visibile quando perdono energia assorbita, e queste combinazioni furono individuate dai norma gli strumenti spettroscopici fin dal 1941. Tre combinazioni di questo tipo sono quella carbonio-azoto, il cianuro (CN), quella carbonio-idrogeno, il metino (CH), e il metino con un elettrone mancante (CH^+).

Queste tre combinazioni non possono esistere sulla Terra. Potrebbero formarsi, naturalmente, ma sarebbero molto attive e ben presto si unirebbero ad altri atomi o molecole dell'ambiente per creare molecole più complesse e più stabili. Nel gas interstellare però vi sono così poche collisioni, che queste combinazioni instabili continuano per forza a esistere almeno per un certo tempo.

Non ci sono altre probabili combinazioni di molecole adatte ad emettere radiazioni nella regione della luce visibile, così per un po' parve che gli astronomi non potessero scoprire altro. Nel 1953, però, l'astronomo sovietico Iosif Samuilovich Shklovskij (1916-1985) osservò che gli atomi di ossigeno erano più comuni di quelli di carbonio ed azoto, sicché la combinazione ossigeno-idrogeno, l'idrossile (OH), era sicuramente

più comune del cianuro o del metino. Anche l'idrossile era instabile e non poteva esistere per lungo tempo sulla Terra, ma nei tenui pennacchi di gas dello spazio interstellare sì. Tuttavia non avrebbe ceduto luce visibile, bensì fotoni di microonde.

I calcoli dimostravano che l'idrossile cedeva quattro diverse e caratteristiche lunghezze d'onda di microonde, che rappresentavano, per così dire, le sue "impronte digitali". Nell'ottobre del 1963 fu individuata l'impronta digitale dell'idrossile e gli astronomi quindi ebbero in mano la chiave per compiere ulteriori identificazioni.

Per esempio, dato che l'idrogeno è di gran lunga il più comune dei componenti del gas interstellare, si può prevedere che in circa il 99,8% delle collisioni casuali siano coinvolti due atomi di idrogeno. Ciò significa che una combinazione idrogeno-idrogeno, la molecola di idrogeno (HH, o H_2), dovrebbe essere la molecola più comune nello spazio. Nel 1970, le caratteristiche microonde irradiate dalla molecola di idrogeno furono individuate nelle nubi di gas interstellare.

Al momento attuale sono state individuate nello spazio tredici diverse combinazioni di due atomi. Esse sono HH, CO, CH^+, CN, CS, CC, OH, NO, NS, SO SiO e SiS. Nelle ultime due è coinvolto l'atomo di silicio, e potrebbe trattarsi dì iniziali particelle di polvere. Notate anche che in sei delle tredici è coinvolto l'atomo di carbonio.

A metà degli anni Sessanta gli astronomi non pensavano certo di individuare nello spazio combinazioni contenenti tre o più atomi. Erano sicuri che per un occasionale colpo di fortuna una combinazione di due atomi si potesse unire ad un atomo di idrogeno, o (meno probabilmente) a qualche altro tipo di atomo, o (ipotesi meno probabile di tutte) ad un'altra combinazione di due atomi. Tuttavia pareva che perfino nelle nubi di gas, dove la densità degli atomi era maggiore che nello spazio interstellare nel suo complesso, e dove era più probabile che avvenissero collisioni, difficilmente potessero formarsi in questo modo combinazioni di tre o più atomi.

Nel 1968, però, ci fu la grande sorpresa che portò una rivoluzione in questo campo e favorì la nascita della nuova scienza dell'"astrochimica". Nel novembre di quell'anno furono individuate delle microonde: le "impronte digitali" della molecola dell'acqua (H_2O) e della molecola dell'ammoniaca (NH_3). La molecola dell'acqua, come vedete, consiste di tre atomi, e quella dell'ammoniaca di quattro.

Tali molecole sono molto stabili e si trovano facilmente sui corpi planetari. La Terra ha interi oceani di acqua, ed i giganti gassosi hanno atmosfere ricche di ammoniaca. Il problema, però, è come queste complesse molecole abbiano potuto formarsi in quantità individuali nelle nubi di gas interstellare, dove è improbabile che le collisioni necessarie avvengano spesso.

Ormai nello spazio interstellare sono state individuate non meno di tredici diverse combinazioni di tre atomi, otto delle quali contengono un atomo di carbonio. Inoltre sono state scoperte nove combinazioni diverse di quattro atomi, Otto delle quali contengono un atomo di carbonio (la molecola di ammoniaca è l'unica che non lo contenga).

L'ultimo elenco che ho visto comprendeva ventiquattro combinazioni di più di quattro atomi, tutte quante contenenti atomi di carbonio. La più grande è una molecola di tredici atomi composta di una stringa di undici atomi di carbonio, con un atomo di idrogeno ad un'estremità ed un atomo di azoto all'altra estremità.

Più complesse sono queste molecole interstellari, più misterioso è l'enigma della loro formazione. Innanzitutto, più grande è la molecola, più è "malferma" e più è probabile quindi che venga disgregata da elettroni vaganti di luce stellare. Si ha l'impressione, però, che le particelle di polvere presenti nelle nubi di gas interstellare servano a proteggere le molecole in formazione e a permettere loro di continuare ad esistere.

Sono state avanzate varie ipotesi sulle diverse collisioni che potrebbero avvenire in condizioni diverse, e con calcoli basati su queste ipotesi sono stati stabiliti i tipi di molecole che si formano ed il loro numero. Nessuno dei calcoli è esatto, ma alcuni hanno una buona approssimazione. La conclusione generale è che la chimica interstellare è strana, a causa delle condizioni molto insolite (in confronto a quelle a cui siamo abituati), ma non è abnorme. Ossia le leggi chimiche e fisiche che vengono seguite durante il processo di formazione delle grandi molecole interstellari sono le stesse che vediamo in funzione sulla Terra.

È interessante che delle 59 diverse molecole individuate nello spazio, 46 contengano atomi di carbonio, comprese tutte le combinazioni formate da più di tre atomi, tranne una. Sembrerebbe che nello spazio extra-atmosferico, in condizioni di quasi vuoto e in una situazione estremamente diversa da quella riscontrabile sulla Terra, sia tuttavia sempre e soltanto sull'atomo di carbonio che si costruisce la complessità. Il che suffraga per esempio l'ipotesi che avanzai nel mio articolo *The One and Only* (*F & SF*, novembre 1972).

Pare che gli astronomi siano unanimamente convinti che le 59 diverse combinazioni di atomi finora individuate non siano *tutte* quelle esistenti. Di combinazioni potrebbero essercene centinaia o migliaia nelle nubi di gas, ma individuarle è un problema. È chiaro che più la molecola è complessa, più è interessante; ma meno sono le quantità che si formano e più è difficile individuarle.

È per esempio plausibile immaginare che, nascoste tra gli anni luce cubi di una nube di gas, vi possano essere qui e là tracce di semplici molecole di zucchero o di amminoacidi. Queste tracce, se sommate lungo l'intero, enorme volume, potrebbero ammontare a tonnellate e tonnellate, ma poiché sono così sparse forse non verranno scoperte nel futuro prossimo.

È assai importante capire esattamente come si siano formate le molecole che abbiamo già individuato. Se riusciremo ad elaborare un'ipotesi accettabile, potremo forse calcolare quali altri molecole più complesse si possano creare. E forse ci troveremo di fronte a realtà davvero sorprendenti.

L'astronomo inglese Fred Hoyle, per esempio, già sospetta che nelle nubi interstellari si possano formare molecole abbastanza complesse da possedere alcune delle proprietà della vita, anche se è praticamente l'unico a nutrire questa convinzione.

Tuttavia pare in effetti molto probabile che le nubi di gas interstellari siano importanti per la creazione della vita, anche se di per sé non contengono vita.

Il nostro sistema solare è nato per condensazione da una nube interstellare di polvere e gas, e anche se i solidi blocchi che componevano la Terra si saranno riscaldati a tal punto, nel processo, che i composti del carbonio complessi, se per caso ne esistevano saranno andati distrutti, la Terra primitiva forse era circondata da un sottile residuo di gas contenente varie molecole organiche. Per lo più questo gas fu

probabilmente spazzato via dal primo vento solare, ma parte di esso forse penetrò nell'atmosfera iniziale della Terra e nell'oceano.

In altre parole, sbagliamo a cercare di far risalire l'origine della vita sulla Terra a materiale elementare, a molecole molto semplici? Forse la Terra cominciò da un certo numero di molecole più complesse, e fin dall'inizio era, almeno parzialmente, avviata lungo la strada della vita.

I più piccoli frammenti di materia del sistema solare forse conservano queste molecole originarie. Ci sono per esempio delle condriti carbonacee, un tipo di meteoriti, che contengono piccole quantità di amminoacidi e molecole simili a quelle dei grassi.

Anche le comete possono contenerne. Anzi, Fred Hoyle ritiene che le comete siano focolai di vita primitiva, e che in esse esistano addirittura molecole complesse come quelle dei virus. Ha perfino avanzato l'ipotesi che se una cometa ci sfiorasse, potrebbe venir depositato nell'atmosfera della Terra un tipo di virus patogeno dal quale gli esseri umani sarebbero in grado di difendersi ben poco, o addirittura niente.

Che sia questa l'origine delle improvvise pandemie che ogni tanto affliggono il nostro pianeta, come ad esempio la "morte nera" del quattordicesimo secolo? O, poiché sembra che la Terra sia passata attraverso la coda della cometa di Halley nel 1910, si potrebbe azzardare l'ipotesi che nell'atmosfera siano rimasti alcuni virus che alla fine si sarebbero riprodotti sino a provocare la grande epidemia di influenza del 1918.

Non credo minimamente a queste teorie, e mi risulta che nessuno scienziato approvi le speculazioni più azzardate di Hoyle, ma mi sorprende che nessuno ne abbia ancora tratto spunto per qualche storia di fantascienza.

O forse (visto che non riesco più a leggere tutti i racconti e romanzi di fantascienza che escono) c'è qualcuno che ha già sfruttato l'idea?

Caldo, freddo e con... fusione

Hot, Cold and Con... fusion, 1990
Traduzione di Roldano Romanelli
Urania n. 1157 (14 luglio 1991)

La scienza è interculturale, e così pure gli errori scientifici. E non mi riferisco agli inganni perpetrati volontariamente, ma alle cantonate prese in buona fede da ricercatori competenti.

Un classico esempio è la presunta scoperta, effettuata nel 1903 dal fisico francese René P. Blondlot, dei cosiddetti "Raggi-N". Si potrebbe essere tentati di ritenere che l'eccessivo entusiasmo di fronte ad un risultato scientifico sorprendente ma ambiguo sia un tipico atteggiamento riconducibile alla superficiale esuberanza, ai volubili umori comunemente attribuiti al popolo francese... Ma sarebbe un giudizio ingiusto. Cose del genere accadono ovunque.

Nel 1962 il fisico sovietico Boris Deryagin annunciò la scoperta della "poliacqua". Pareva trattarsi di una nuova forma di acqua rintracciabile nei condotti capillari, dove la compressione imposta dalle particolari condizioni ambientali avrebbe costretto le molecole del liquido elemento a un'inusitata concentrazione. Fu reso noto che la poliacqua era 1,4 volte più densa dell'acqua normale e bolliva a 500°C invece che ai soliti 100.

Chimici di tutto il mondo si misero immediatamente a ripetere le esperienze condotte da Deryagin, confermando i risultati da lui ottenuti. Fu ipotizzato che la poliacqua giocasse un ruolo importante nella struttura delle cellule umane, e l'entusiasmo andò alle stelle.

Ma poi dai laboratori si cominciò a mormorare che certe peculiari caratteristiche fisico-chimiche della poliacqua sarebbero apparse anche nell'eventualità che le pareti interne dei contenitori avessero ceduto al liquido un po' del loro vetro... Non era possibile che la poliacqua fosse in realtà una soluzione di silicato di sodio e calcio? Risultò esser proprio così, e la "poliacqua" andò a farsi benedire esattamente come i "Raggi-N".

Prendiamo allora il caso di Percival Lowell, puro americano di schietta stirpe bostoniana ed astronomo di prim'ordine. Egli affermò di avere individuato canali sulla superficie marziana, ne disegnò mappe estremamente dettagliate, e si disse assolutamente convinto che essi denotassero la presenza di una civiltà tecnologicamente avanzata e venissero utilizzati per irrigare i deserti delle regioni equatoriali con acqua proveniente dalle calotte polari.

Anche altri, osservando Marte, videro i canali, però numerosi astronomi non confermarono affatto tali osservazioni. Nel corso degli anni, ulteriori e sempre più accurate indagini continuarono a sgretolare il modello marziano propugnato da Lowell, e oggi noi tutti sappiamo per certo, grazie all'esplorazione del "pianeta rosso" per mezzo di sonde, che i canali non esistono. Lowell era rimasto vittima di un'illusione ottica.

Dovremmo forse dedurne che le scoperte sorprendenti siano sempre sbagliate? Ma no, che diamine!

Nel 1938 il chimico tedesco Otto Hahn, dopo aver bombardato dell'uranio con neutroni, giunse alla conclusione che gli esiti osservati potevano spiegarsi solo supponendo una scissione (o "fissione"), più o meno a metà, dei nuclei di uranio. Si trattava di un fatto assolutamente inaudito, e Hahn, non volendo mettere a repentaglio la propria reputazione, preferì non farne parola.

La chimica austriaca Lise Meitner, sua compagna di ricerche per più di trent'anni, redasse una monografia sulla fissione dell'uranio e ne parlò al nipote, il fisico Otto Frisch, il quale a sua volta ne informò Niels Bohr poco prima che questi si recasse negli Stati Uniti per partecipare ad un convegno scientifico. Bohr rese la cosa di pubblico dominio, e i fisici americani si precipitarono immediatamente ai loro laboratori, condussero gli opportuni esperimenti, e confermarono la fissione dell'uranio. Coi risultati che ben conosciamo.

L'accennato fenomeno della fissione nucleare mi porta inevitabilmente a parlare del suo contrario, e cioè la fusione. Mentre nella fissione un nucleo pesante viene scisso in due metà disuguali, nella fusione sono due nuclei leggeri ad unirsi formando un nucleo di maggiore massa.

La fissione, in un certo senso, è facile da ottenere. Taluni atomi pesanti si trovano già di per sé sul punto di frantumarsi. Le forze nucleari a breve raggio sono infatti appena sufficienti a tenere insieme certi atomi complessi, la cui naturale vibrazione li mantiene costantemente in bilico sull'orlo della fissione spontanea. Gli atomi di uranio sono un esempio ben noto ditale tendenza alla lenta disintegrazione.

Se somministriamo al nucleo una piccola quantità di energia, la fissione può verificarsi all'istante, soprattutto nel caso di atomi particolarmente instabili come quelli dell'uranio 235. In pratica si spara contro l'atomo un neutrone che, essendo privo di carica elettrica, non viene respinto dal nucleo, carico positivamente, ma vi penetra, aumentandone l'instabilità e provocandone l'immediata fissione.

La fusione è senza dubbio più complicata. È necessario portare due piccoli nuclei ad unirsi strettamente, se li si vuole costringere a fondersi insieme: i nuclei però, tutti provvisti di carica positiva, tendono invece a respingersi vigorosamente. Indurli ad avvicinarsi l'un l'altro quanto basti ad innescare la fusione è impresa di enorme difficoltà, quasi impossibile a realizzarsi.

Eppure le reazioni di fusione ricorrono assai sovente, nell'universo, producendosi in effetti spontaneamente in ogni concentrazione di materia che: 1) sia costituita in massima parte da idrogeno e, 2) possieda una massa non inferiore a circa 1/5 di quella del Sole.

Rispetto alla Terra, il più vicino luogo dell'universo in cui la fusione si verifichi su larga scala è il centro del Sole.

E vediamo praticamente come funziona la cosa. Innanzitutto la parte interna del Sole possiede una temperatura di milioni di gradi. In tale situazione gli atomi sono totalmente ionizzati, ridotti a nudi nuclei privati del guscio elettronico. Questo è un fatto molto importante, poiché in condizioni normali di temperatura e pressione gli atomi sono circondati da una "nube" di elettroni che agiscono da respingenti,

impedendo ulteriormente ai nuclei di avvicinarsi l'un l'altro.

Altro effetto determinante dovuto alle altissime temperature presenti all'interno del Sole è che i nuclei si muovono a velocità estremamente elevate, molto più rapidamente degli atomi terrestri. Quanto più veloci sono i nuclei, tanto maggiore è l'energia da essi posseduta, e alle temperature solari i nuclei hanno energia sufficiente a vincere la reciproca repulsione e giungere a scontrarsi impetuosamente.

Inoltre, il campo gravitazionale della nostra stella attrae gli strati gassosi esterni a premere spaventosamente contro i più interni, costringendo i nuclei ad ammassarsi tanto vicini che la densità, al centro del Sole, è migliaia di volte superiore a quella della materia presente nel normale ambiente terrestre.

In tali esasperate condizioni, i velocissimi e ravvicinatissimi nuclei non hanno molta scelta: finiscono inevitabilmente per scontrarsi.

È quindi evidente che la fusione sia incentivata sia dall'alta temperatura, sia dall'alta densità. Quanto più vi è abbondanza dell'una, tanto meno vi è necessità dell'altra, e viceversa. In pratica, per innescare la fusione è indispensabile creare, e mantenere per un tempo sufficiente, certe combinazioni di temperatura e densità. I valori opportuni per ciascuno dei tre parametri sono noti. Basta solo conseguirli simultaneamente. E poiché, pur ipotizzando le circostanze più favorevoli, vi è sempre necessità di temperature estremamente elevate, il risultato è stato definito "fusione calda".

È possibile realizzare sulla Terra la cosiddetta fusione calda? Senza alcun dubbio. Lo stiamo facendo da quasi quarant'anni, ormai, con un ordigno detto bomba all'idrogeno, la quale, in effetti, non è altro che una bomba a fusione nucleare. Basta infatti prendere una sostanza i cui atomi siano suscettibili di fusione, come l'idrogeno, e sottoporla, per un tempo assai breve, alla combinazione di temperatura e pressione ottenibile da una "banale" bomba a fissione usata come innesco.

Sarà qui opportuno ricordare che esistono tre isotopi dell'idrogeno. C'è l'idrogeno normale (detto idrogeno 1), il cui nucleo è costituito di un solo protone; il deuterio (o idrogeno 2), con un nucleo contenente un protone e un neutrone; e il tritio (idrogeno 3), nel cui nucleo sono presenti un protone e due neutroni.

Il deuterio si fonde più facilmente dell'idrogeno normale, e il tritio con facilità ancora maggiore. L'isotopo di gran lunga più diffuso in natura, responsabile delle reazioni termonucleari all'interno del Sole, è l'idrogeno 1, ma sulla Terra il suo utilizzo comporterebbe eccessive difficoltà. Ci si potrebbe servire del tritio, ma trattandosi di un elemento radioattivo che decade nell'arco di pochi anni, rarissimo in natura, andrebbe sintetizzato di continuo, e usarlo da solo creerebbe non pochi problemi di ordine pratico.

Quello che si fa per costruire le bombe a fusione è utilizzare il deuterio, non eccessivamente raro in natura e facilmente ottenibile in grandi quantità, in unione a una piccola percentuale di tritio. La bomba a fissione innesca la fusione del tritio col deuterio, e da ciò si genera una quantità di calore sufficiente a innescare la più difficile fusione del deuterio con se stesso.

È stato di recente rivelato che le nostre centrali nucleari adibite alla produzione di tritio hanno continuato per anni a diffondere radioattività nell'ambiente.

Adesso le centrali di produzione del tritio sono state chiuse; ciò significa che le

nostre scorte di tritio si stanno lentamente riducendo, e quando si saranno del tutto esaurite non saremo più in grado di far esplodere le nostre bombe H a meno che non vengano realizzati nuovi impianti per la produzione di tritio, il che richiederebbe anni di lavoro e miliardi di dollari.

Ma ciò che c'interessa, almeno nel presente saggio, non sono le bombe all'idrogeno. Vorremmo invece riuscire capire se vi sia un sistema per ottenere la fusione nucleare in modo controllato, *senza* bombe a fissione come detonatori e *senza* apocalittiche esplosioni come prodotto finale.

Quel che ci piacerebbe fare, in altre parole, sarebbe fondere una piccola quantità d'idrogeno, e usare l'energia ottenuta per fonderne un altro poco, e così via... e sempre solo un pochettino alla volta, per non correre il rischio di provocare indesiderate esplosioni. Non tutta l'energia prodotta sarebbe necessaria al mantenimento della reazione di fusione, e la quantità eccedente potremmo usarla per altri scopi. La fusione nucleare controllata diverrebbe una sorgente di energia pulita e praticamente illimitata.

Per conseguire un simile risultato dobbiamo mettere in gioco la corretta combinazione di temperatura e pressione per un opportuno lasso di tempo. E siccome né la tecnologia attuale né quella prevedibilmente sviluppabile nel prossimo futuro ci consentiranno di portare il deuterio a livelli di densità apprezzabili, dobbiamo ovviare a tale carenza sottoponendo i nostri nuclei a temperature molto superiori a quelle presenti all'interno del Sole. Invece di dieci milioni di gradi, ce ne servono cento milioni.

Sono ormai più di trent'anni che i fisici stanno cercando di realizzare le condizioni necessarie. Per esempio tenendo confinato il deuterio gassoso all'interno d'intensi campi magnetici mentre la temperatura viene elevata. Oppure bersagliando da più parti il deuterio solido con potenti raggi laser, in modo da portarlo alla temperatura voluta con, tale rapidità che gli atomi non abbiano il tempo di disperdersi.

Nessun tentativo, sinora, è stato coronato da successo. Nonostante l'utilizzo di giganteschi dispositivi del costo di svariati milioni di dollari, non si è ancora riusciti a condurre il deuterio al punto d'innesco del processo di fusione.

Ma potrebbe esistere qualche altro sistema per dare il via alla fusione?

Non sarebbe possibile indurre i nuclei di deuterio a una maggiore socievolezza *senza* riscaldarli? È concepibile qualche ingegnoso espediente per ottenere il loro avvicinamento a temperatura ambiente? In tal caso si tratterebbe di "fusione fredda". Vediamo un po'...

In condizioni normali gli atomi di deuterio sono elettricamente neutri, in quanto la carica negativa dell'elettrone controbilancia la carica positiva del protone presente nel nucleo, cosicché due atomi di idrogeno 2 possono venire in contatto senza problemi. In tale situazione, fra i protoni dei due nuclei intercorre una distanza pari all'incirca al diametro di un atomo (più o meno un centomilionesimo di centimetro).

Ogni particella possiede, oltre a quelle "materiali", anche caratteristiche ondulatorie: un protone può essere considerato come un'onda provvista, in ogni suo punto, di proprietà corpuscolari (la questione non è correttamente rappresentabile se non facendo ricorso a complesse formule matematiche, ma per i nostri scopi il semplificato riferimento alla duplice natura onda-particella è sufficiente). La probabilità che la particella si trovi in una specifica zona dell'onda dipende

dall'intensità ditale zona. Il centro dell'onda è la zona più intensa, e l'intensità decresce rapidamente con la distanza. Ciò significa che il protone si trova di solito presso il centro dell'onda, sebbene esso possa talvolta situarsi anche fuori centro.

In pratica, ciascuno dei nostri due protoni potrebbe trovarsi abbastanza fuori centro da entrare in effettivo contatto con l'altro, dando luogo alla fusione. Tale fenomeno è definito "effetto tunnel", in quanto la particella che ne è interessata, in virtù delle sue proprietà ondulatorie, sembra aprirsi un passaggio attraverso un'apparentemente (secondo la meccanica classica) invalicabile barriera di potenziale. Finché fra i due protoni intercorre una distanza pari al diametro dell'atomo di idrogeno, la possibilità del verificarsi dell'effetto tunnel rimane talmente remota da farmi dubitare che un numero significativo ditali fusioni possa avere avuto luogo nell'intera storia dell'universo.

E se provassimo a utilizzare atomi di minor diametro?

Sempre per via delle sue proprietà ondulatorie, la minima distanza cui l'elettrone può giungere rispetto al protone non può essere inferiore a quella dell'onda caratteristica del più basso livello energetico. E anche quando l'elettrone "orbita" sul livello più basso, l'atomo d'idrogeno, pur a dimensione minima, rimane troppo grande per consentire la fusione.

Si dà tuttavia il caso che esista una particella, chiamata muone, la quale è assolutamente identica all'elettrone tranne che per due aspetti. Prima differenza, la massa. Il muone è 207 volte più massiccio dell'elettrone, e ciò comporta che l'onda a esso associata è proporzionalmente più breve di quella associata all'elettrone. Se nell'atomo di idrogeno sostituiamo dunque l'elettrone con un muone, quest'ultimo, grazie alla "brevità" della sua onda, potrà giungere molto più vicino al nucleo, in effetti, il cosiddetto "deuterio muonico" possiede solo un centesimo del diametro di un normale atomo di deuterio, e siccome il muone ha esattamente la medesima carica negativa di un elettrone, il deuterio muonico è lui pure elettricamente neutro, e due atomi di deuterio muonico possono entrare facilmente in contatto.

Date le premesse, i due protoni si verrebbero in tal caso a trovare abbastanza vicini da consentire l'agevole verificarsi dell'effetto tunnel, il che a sua volta provocherebbe l'inizio della fusione a temperatura ambiente.

Ma allora, mi direte, dove sta il problema? Nella seconda differenza. Infatti, diversamente dall'elettrone, il muone non è stabile. Mentre un elettrone, abbandonato a se stesso, durerebbe immutato all'infinito, il muone, in circa un milionesimo di secondo, si scinde in un elettrone e due neutrini, lasciando davvero poco tempo all'innesco del processo di fusione. La fusione fredda tramite catalizzazione muonica è dunque teoricamente possibile ma per ora, a meno di qualche imprevedibile passo avanti, assolutamente impraticabile.

Altri sistemi? Gli atomi d'idrogeno, i più piccoli che si conosca, possono talvolta introdursi e fissarsi negli interstizi cristallini di elementi formati da atomi più grandi. Caso classico è quello del palladio, uno dei metalli appartenenti al gruppo del platino. A temperatura ambiente, il palladio è capace di assorbire idrogeno, o deuterio, in misura pari a novecento volte il proprio volume.

Gli atomi di deuterio, una volta riversatisi all'interno del palladio, sono molto più ravvicinati di quanto normalmente non siano nel deuterio gassoso. E, fatto assai

importante, sono anche trattenuti saldamente al loro posto da parte degli atomi di palladio.

Alla luce di quanto sopra, non sembrerà ozioso domandarsi se il loro forzato ravvicinamento possa essere sufficiente a provocare un effetto tunnel abbastanza intenso da divenire rilevabile e, di conseguenza, un processo di fusione degno di nota. Due chimici, l'americano Stanley Pons dell'Università dello Utah e l'inglese Martin Fleischmann dell'Università di Southampton. giunti alla determinazione che valeva la pena di fare un tentativo in tal senso, hanno lavorato cinque anni e mezzo, autofinanziandosi con un centinaio di migliaia di dollari, nel tentativo di ottenere la fusione fredda per mezzo di semplici celle elettrolitiche che qualunque abile studente di chimica sarebbe stato in grado di approntare, ed ecco cosa sono riusciti a ottenere.

Sono partiti da un recipiente di acqua pesante (composta, cioè, di atomi di deuterio invece che normale idrogeno). Hanno aggiunto un poco di litio per farlo reagire con l'acqua pesante e creare ioni in grado di trasportare una corrente elettrica. Quindi hanno fatto passare corrente attraverso la soluzione immergendo in essa due elettrodi, uno di platino e uno di palladio. La corrente elettrica ha dissociato l'acqua pesante in ossigeno e deuterio, e il deuterio è stato assorbito dall'elettrodo di palladio. Man mano che l'acqua si dissociava, una crescente quantità di deuterio veniva assorbita dal palladio, sinché a un certo punto ha avuto luogo la reazione di fusione fredda.

Come hanno fatto, i due chimici, a concludere che tale reazione era veramente avvenuta? Semplice: verificando che l'elettrodo di palladio sviluppava un calore quattro volte superiore a quello che il sistema riceveva dall'esterno. Da qualche parte questo calore doveva pur venire, e poiché nessun'altra delle fonti da loro ipotizzabili poteva esserne considerata responsabile, i due hanno stabilito che esso si generava da una reazione di fusione fredda.

Benissimo. Pons e Fleischmann sono due ricercatori di chiara fama, autori di importanti ricerche, e debbono essere trattati con tutto il rispetto dovuto alla loro eccellente reputazione.

Ma...

Se qualcuno escogitasse un sistema *pratico* per produrre una fusione fredda *utilizzabile*, e fosse il primo in assoluto, costui si trasformerebbe all'istante nel più famoso chimico del mondo e si beccherebbe senza alcun dubbio il Premio Nobel, e se ottenesse i relativi brevetti diverrebbe oltretutto enormemente ricco. E quindi perfettamente naturale, assolutamente umano, che Pons e Fleischmann abbiano desiderato riuscire nell'impresa. E nulla di strano nel fatto che, non appena ottenuto un qualche promettente segno di fusione fredda, abbiano senz'altro deciso di avercela fatta davvero, anche se forse non era proprio così. In fondo, la natura umana è fatta così.

Prima di procedere alla divulgazione del risultato, si obietterà, avrebbero dovuto attendere di esserne *assolutamente* certi, ma se è assai facile raccomandare la prudenza, è molto difficile metterla in pratica.

Dopotutto, se non fossero stati i primi in assoluto, a Pons e Fleischmann, personalmente, non ne sarebbe venuto nulla. Nell'esperimento da essi realizzato non vi sono elementi di particolare eccentricità. Tutti gli scienziati sanno della propensione del palladio nei confronti dell'idrogeno, comprendono l'effetto tunnel, conoscono la

catalisi muonica e sono in grado di approntare celle elettrolitiche. Vai a capire quanti chimici e fisici potevano esservi, in tutto il mondo, segretamente al lavoro per ottenere la fusione fredda pronubo il palladio... In effetti, Pons e Fleischmann sapevano che alla Brigham Young University alcuni ricercatori stavano operando in tale direzione.

Sembra che i due gruppi si fossero messi d'accordo per inviare contemporaneamente la propria relazione a *Nature,* un periodico di gran prestigio, il 24 marzo 1989. Però Pons e Fleischmann non hanno resistito alla tentazione di arrivare indiscutibilmente primi, e hanno bruciato sul tempo i colleghi tenendo una conferenza stampa il 23 marzo e spiattellando ai giornalisti la sbalorditiva novità.

Il che ha mandato gli scienziati (soprattutto i fisici) su tutte le furie, per una serie di motivi che ora esporrò.

1) Rivelare alla stampa non specializzata un'importante scoperta scientifica non è il modo corretto di procedere. Bisogna invece scrivere una dettagliata relazione scientifica, inviarla a una rinomata rivista scientifica, attendere che venga passata al vaglio da parte di esperti della materia, e accettare se necessario di sottoporla a revisione: solo dopo questa trafila si giunge alla pubblicazione. Il tutto potrà apparire alquanto burocratico, ma non se ne può fare a meno se si vuoi mantenere la scienza in carreggiata. Pons e Fleischmann hanno invece eseguito una spettacolare e autogratificatoria uscita pubblica propagandando gli esiti di un lavoro che avrebbe potuto essere incompleto o ambiguo. Se un simile modus operandi si diffondesse, la ricerca scientifica rischierebbe di precipitare nel caos.

2) Pons e Fleischmann non hanno mai rivelato i particolari del loro procedimento, manifestando anche in ciò scarso rigore scientifico. Ogni scienziato, naturalmente, avrebbe desiderato ripetere l'esperimento per conto proprio, allo scopo di confermarne se possibile i risultati e di metterne eventualmente in luce risvolti inediti (una cosa del genere avvenne, come ho accennato, nel caso della fissione dell'uranio). Anche quando i due ricercatori si sono finalmente decisi a presentare una relazione a *Nature,* si è trattato di uno scritto talmente lacunoso che la direzione della rivista ha sollecitato loro le necessarie integrazioni, ma Pons e Fleischmann si sono rifiutati di fornire ulteriori dettagli.

3) I due, a quanto pare, hanno omesso l'effettuazione di alcune indispensabili verifiche. Per esempio, non hanno ripetuto l'esperimento utilizzando acqua normale. Perché anche se sulla base delle loro premesse operative il deuterio fosse giunto a fusione, *non* altrettanto avrebbe dovuto fare l'idrogeno normale. E se invece si fosse sviluppato calore anche in presenza di idrogeno 1, allora la sorgente ditale calore avrebbe dovuto necessariamente essere qualcosa di diverso dalla fusione.

4) La prova maggiore portata da Pons e Fleischmann a sostegno della fusione consiste nello sviluppo di calore, ma si dà il caso che il calore possa derivare da un'infinità di fonti, essendo normalmente prodotto da ogni concepibile forma di energia. Non basta dire: questo non può essere, quest'altro nemmeno, e allora dev'essere per forza fusione. È un genere di dimostrazione negativa assolutamente fuorviante, in quanto potrebbe trattarsi benissimo di un qualche altro fenomeno — del tutto diverso dalla fusione — che il ricercatore ignora o al quale, semplicemente, non ha pensato. Ciò di cui abbiamo bisogno sono osservazioni a sostegno della fusione, e non argomentazioni circa l'assenza di altre reazioni. Per esempio, se atomi di deuterio

si fossero fusi avrebbero dovuto creare neutroni di tritio e, probabilmente, elio 4. Il che non è stato osservato.

Gli scienziati della Brigham Young University hanno sì riferito la presenza di neutroni, ma solo in quantità pari a circa un centomillesimo di quelli necessari a generare il calore osservato da Pons e Fleischmann. Talmente pochi, in effetti, che sarebbe assai difficile dimostrare essersi trattato di neutroni in qualche modo diversi da quelli sempre e comunque presenti nell'ambiente.

5) Immediatamente dopo l'annuncio, il governatore dello Utah ha chiesto al governo federale un finanziamento di alcuni milioni di dollari allo scopo di promuovere lo sviluppo industriale della fusione fredda prima che i giapponesi riescano a impadronirsi dell'idea dandole concreta attuazione nel loro paese. Tale circostanza ha conferito alla vicenda una sgradevole impronta commerciale, mettendo in piena evidenza, alla base dell'incompletezza e dell'eccessiva precipitazione caratterizzanti l'esperimento, una motivazione di carattere economico.

6) Durante un convegno di chimici, Pons e Fleischmann hanno avuto la malaugurata idea d'insinuare che la loro categoria aveva recato soccorso ai fisici realizzando quasi gratis quello che i fisici stessi non erano stati capaci di ottenere nemmeno a prezzo di svariati milioni di dollari. Che bisogno c'era di mettersi a sfottere così un lavoro onesto e razionale? I fisici, esseri umani pure loro, hanno rabbiosamente rimbeccato i chimici, e quello che avrebbe dovuto essere un civile, costruttivo dibattito scientifico è degenerato in un'incresciosa farsa a suon d'ingiurie.

Fatto sta che, a distanza di oltre un anno dal primo trionfale comunicato, appare sempre più improbabile che la fusione fredda di Pons e Fleischmann possa venire confermata da chicchessia: essa sembra invece destinata a dissolversi nel nulla non diversamente da quanto fecero a suo tempo i canali di Marte, i "Raggi-N" e la "poliacqua". Peccato davvero, in quanto il mondo potrebbe trarre senza dubbio grandi benefici da un efficace impiego della fusione fredda.

Comunque, volendo concludere su una nota positiva, c'è da osservare che, pur se la clamorosa impresa di Pons e Fleischmann dovesse irrevocabilmente finire col rivelarsi null'altro che un illusorio miraggio, essa avrà però dato impulso a un poderoso sforzo di ricerca nel campo delle celle elettrolitiche con elettrodi in palladio, e chissà che non possano scaturirne risultati interessanti. Magari addirittura la fusione fredda ottenuta per altre vie. E certo quello che io mi auguro, sebbene debba ammettere che non mi sentirei assolutamente di scommetterci.

Su Tolkien e altre cose

Concerning Tolkien, 1991
Traduzione di Piero Anselmi
Urania n. 1220 (12 dicembre 1993)

Nella mia introduzione al primo volume di questa serie (vedi *Urania* n. 1186), ho brevemente menzionato il fatto che nell'inventare un universo multintelligente che servisse da sfondo a queste storie, mi ero ispirato alla *Pattuglia galattica* di E.E. Smith[31].

Ed è vero, ma, ripensandoci bene, mi sono accorto che c'era anche un altro influsso, forse ancora più forte del primo. Perché, mi sono chiesto, m'è venuta alla mente la *Pattuglia galattica* e non *Il Signore degli Anelli*?

Eppure, non esiste alcun mistero su questa ipotesi. La *Pattuglia galattica* è fantascienza, mentre *Il Signore degli Anelli* è fantasy, e mentre stavo meditando sullo sfondo da dare a questo *Universo asimoviano* il mio pensiero era unicamente fantascientifico.

Ma adesso, consentitemi di staccarmi dalla fantascienza e di rivolgere il pensiero ad *Il Signore degli Anelli*.

L'autore di questo capolavoro è stato John Ronald Reuel Tolkien (1892-1973), che scriveva come J.R.R. Tolkien. Era nato in Sudafrica ma viveva in Gran Bretagna dov'era docente ad Oxford.

Nel 1937 aveva pubblicato un volume per ragazzi intitolato *Lo Hobbit*. Secondo me, non era molto riuscito. Tolkien era ancora alla ricerca della sua strada. Aveva ancora la tendenza alle lunghe descrizioni con una sorta di impacciato pudore.

Tuttavia, man mano che la storia procedeva, quest'impaccio scompariva, e Tolkien riguadagnava lentamente il tempo perduto. L'eroe era Bilbo Baggins, lo hobbit del titolo, una creatura umanoide alta circa la metà di un uomo. La storia riguarda la ricerca compiuta da parte di un gruppo di un tesoro che una volta apparteneva loro e che ora era custodito da un drago malevolo. Baggins li accompagnava per ordine di Gandalf, un mago che quando faceva la sua prima apparizione ricordava molto un congiurato.

Baggins li segue controvoglia, perché è spaventato a morte. Tuttavia, man mano che la storia procede, s'accresce anche il suo eroismo – in modo molto convincente – e nelle scene conclusive la figura dominante è lui, dimostrando di avere più cervello, più iniziativa, e più eroismo di tutti gli altri personaggi della storia.

Nel 1950 Tolkien decise di rielaborare il romanzo e di scrivere un seguito in tre volumi, pensati più per gli adulti che per i ragazzi. Bilbo faceva la sua apparizione fin dall'inizio, che ricalca molto l'atmosfera dell'Hobbit, ma ben presto egli passa la mano al nipote Frodo, che è l'eroe de *Il Signore degli Anelli*, e con questa scelta l'atmosfera cambia, s'approfondisce, diviene sempre più coinvolgente.

---

[31] *Pattuglia galattica* (Galactic Patrol, 1937) di Edward Elmer Smith (1890-1965). (*N.d.R.*)

Al centro dell'azione c'è un anello, nel quale s'è accidentalmente imbattuto Bilbo nel corso di *Lo Hobbit*, e che solo ora si scopre essere la chiave del potere universale.

La storia si trasforma nella saga della lotta fra Bene e Male. Il primo è rappresentato da Frodo ed i suoi amici oltre che dal suo mentore, Gandalf, che ora viene tratteggiato come una figura dai poteri quasi infiniti e, persino, come una sorta di raffigurazione di Cristo. Il Male è rappresentato dalla figura di Satana, qui chiamato Sauron, che vuole per sé l'anello per stabilire una volta per tutte il suo potere in modo permanente ed assoluto. Compito dei nostri eroi, e di Frodo in particolare, è di far sì che l'anello venga distrutto, e a tale scopo devono intraprendere un viaggio spaventosamente pericoloso.

Le forze del Bene prevalgono, ma le difficoltà sono così enormi, la scrittura così sagace che la *suspense* rimane anche dopo ripetute letture. (Io ho letto *Il Signore degli Anelli* cinque volte.)

Uno si chiede cosa mai avesse in mente Tolkien. In effetti, a me non piace cercare d'indovinare i pensieri e le motivazioni di un autore. Per esperienza personale, so che un abile analista può scoprire molte più motivazioni in un romanzo di quante il suo autore sia disposto ad ammettere. (Ebbene sì, anch'io sono stato vittima di tali studi, ma so anche che, malgrado le mie veementi negazioni che volessi dire questo e non quello, non posso saggiamente dire quanto ciò che uno scrive venga o meno dalla sua mente conscia.)

Ho letto che anche Tolkien ha rifiutato qualsiasi riferimento della sua saga agli avvenimenti del giorno così come tutti i contorti simbolismi che si sono voluti leggere nei suoi romanzi, ma io non credo a questi dinieghi.

A me appare ovvio che Tolkien, tra la stesura di *Lo Hobbit* e quella di *Il Signore degli Anelli*, abbia vissuto in modo drammatico il periodo in cui Hitler e la Germania prendevano il controllo dell'Europa continentale nello spazio di dieci mesi, lo stesso in cui la Gran Bretagna si trovava a fronteggiare un nemico ultrapotente senza alleati al suo fianco.

Se questo non è Frodo contro Sauron, allora cos'è? E Frodo vinse.

Un'altra osservazione. Cos'è questo anello del potere per cui tutti si battono? Era un anello del Male che prese il controllo del proprio possessore piegandolo, inconsapevolmente ed involontariamente, verso il Male. Anche Frodo, alla fine, ne viene intossicato e quasi non riesce a portare a termine la missione. È ovvio che l'anello è qualcosa che uno teme ma che perversamente persegue, qualcosa che quando uno ce l'ha non può gettarla.

E questo cosa simbolizza?

La risposta mi è venuta e quando m'è brillata nella mente m'è apparsa ovvia – da un'osservazione fatta da mia moglie Janet.

Sauron regna su un territorio chiamato Mordor, una terra disseccata in cui nulla cresce, una terra distrutta dalla malvagità di Sauron, nella quale Frodo deve entrare per portare il suo incarico a compimento. Mordor viene descritto come un luogo orripilante.

Bene, un giorno io e Janet stavamo percorrendo l'autostrada del New Jersey, e stavamo transitando accanto a una zona occupata da una raffineria. Era una terra disseccata in cui nulla cresceva ed attraversata da strutture tubolari orrende, quelle di

tutte le raffinerie per intenderci. Sfiati di gas bruciavano in alti pennacchi sulle cime di altissime ciminiere, ed il puzzo del petrolio permeava l'aria.

Jane guardò quel panorama con occhi pensosi e disse: — Ecco, questo è Mordor.

Sì, lo era proprio. Ed era questo che stava nella mente di Tolkien. L'anello rappresenta la tecnologia industriale, che sradica la terra verde e la rimpiazza con orrende strutture sotto un manto di inquinamento industriale.

Ma la tecnologia significa potere, ed anche se distrugge il circondario, e se anche distruggesse la Terra stessa nessuno fra quanti l'hanno sviluppata oserebbe gettarla via, né ci penserebbe. Per esempio, tutti sappiamo che le automobili che girano in America inquinano ed insozzano l'atmosfera, uccidendo persone con problemi respiratori. Eppure è concepibile che gli americani gettino via le loro auto o che ne riducano drasticamente l'uso? No; l'anello della tecnologia li tiene nella sua stretta, e loro non lo molleranno nemmeno nel momento in cui si trovassero a lottare per respirare e sopravvivere.

(Per vostra informazione, io non condivido fino in fondo la visione di Tolkien. Non sono un insegnante di Oxford abituato ai riposanti piaceri della classe medio-alta inglese nei giorni preindustriali. So molto bene che la massa dell'umanità, inclusi io e voi, deriva tutti i suoi comfort dall'avanzamento della tecnologia, né voglio abbandonarli perché una classe medio-alta inglese sostituisca le macchine con la servitù. Mentre riconosco i pericoli della tecnologia, desidero anche che questi stessi pericoli vengano corretti mantenendone intatti i benefici.)

Adesso, la domanda chiave: tutto ciò cos'ha a che fare con questa serie?

Il Signore degli Anelli è ambientato in una terra mitica, in cui la stessa geografia è irriconoscibile. Esistono esseri umani, e ci sono numerosi segnali che indicano che stanno prendendo piede, e che ben presto la "Terra di Mezzo" – il mondo di Tolkien – diventerà la Terra su cui viviamo noi.

Oltre agli esseri umani, c'è anche una grande varietà di altre creature. Ci sono fauni, che sono più belli e intelligenti degli esseri umani, e che sono praticamente immortali. Sono creature che abitano le splendide foreste e che potrebbero, per Tolkien, rappresentare le classi dominanti dell'Inghilterra preindustriale.

Ci sono anche i nani, forti e dalle lunghe esistenze e che sono la virtuale personificazione delle foreste; maghi come Gandalf e, ovviamente, anche Hobbit, che chiaramente rappresentano i buoni contadini dei tempi preindustriali.

Dalla parte del Male ci stanno gli orchi, chiamati goblin ne *Lo Hobbit*, e che, almeno per me, rappresentano i lavoratori industriali così come possono essere visualizzati dallo sguardo disapprovante di Tolkien e di quelli della sua classe. In *Lo Hobbit* ci sono troll che parlano il dialetto londinese, ma ben presto l'autore decise di abbandonare questa rappresentazione perché troppo scoperta.

Ci sono anche creature singole che sembrano esistere solo come entità uniche. Dalla parte del Bene c'è Tom Bombadil, che rappresenta la natura; da quella del Male c'è Shelob, ragno mostruoso, che potrebbe rappresentare le conglomerazioni di multinazionali ultrapotenti che attualmente dominano l'economia internazionale.

Ci sono superlupi dalla parte del Male, superaquile e superorsi dalla parte del Bene.

E poi c'è Gollum che, apparentemente, è un Hobbit corrotto dal lungo possesso dell'anello, e che è la più ambigua di tutte le figure della storia. In lui si combatte

sempre l'eterna battaglia fra Bene e Male, e anche se appare come la figura più debole e indifesa di tutta la saga, egli s'ingegna, come può, per ottenere il massimo possibile. Di fatto egli è colui che, senza apparire, porta la storia alla sua soddisfacente conclusione.

Ho sempre simpatizzato con Gollum, e l'ho sempre considerato più un trasgressore che un vero peccatore.

Questa ricca mescolanza di differenti tipi di creature intelligenti porta una forza inimmaginabile oltre che una grande varietà ad *Il Signore degli Anelli*, ed è questo che dovevo avere in mente quando ho pensato a un universo in cui convivessero differenti tipi di creature intelligenti.

Robot intelligenti
ed organismi cibernetici

Intelligent Robots and Cybernetics Organism, 1992
Traduzione di Elisabetta Svaluto Moreolo
Urania n. 1239 (4 settembre 1994)

1. Robot intelligenti

I robot non devono essere dotati di intelligenza particolare per essere giudicati intelligenti: se uno di essi fosse in grado di eseguire ordini elementari, di svolgere i lavori domestici, o di far funzionare meccanismi semplici in modo facile e ripetitivo, potremmo dichiararci perfettamente soddisfatti.

Realizzare un robot è piuttosto difficile, perché è necessario inerire un computer molto compatto nell'equivalente di una teca cranica, se vogliamo che la nostra macchina abbia una forma vagamente umana. Ma anche costruire un computer sufficientemente complesso delle dimensioni di un cervello umano non è cosa facile.

Ma a prescindere dai robot, perché dovremmo darci la pena di realizzare un computer così compatto? Nel corso degli anni, le componenti dei calcolatori sono diventate sempre più piccole: dai tubi a vuoto ai transistor, ai minuscoli circuiti integrati, ai chip di silicio. Proviamo ad immaginare di costruire un computer sempre più grande oltre a creare componenti sempre più piccole.

Più un cervello aumenta di dimensioni e minore è la sua efficienza, perché gli impulsi nervosi non viaggiano ad una velocità molto elevata: quelli più veloci raggiungono al massimo i sei chilometri al minuto. Un impulso nervoso attraversa il cervello, da un'estremità all'altra, in un quattrocentoquarantesimo di secondo, ma se il cervello fosse lungo quindici metri, ci impiegherebbe due minuti e mezzo. In pratica, le complicazioni derivanti da un cervello di tali dimensioni sarebbero enormi, basti pensare alle lunghe attese che richiederebbero la trasmissione e l'elaborazione delle informazioni.

Ma i calcolatori utilizzano impulsi elettronici che viaggiano a più di diciassette milioni di chilometri al minuto. Pertanto, in un computer largo 640 chilometri l'impulso elettrico coprirebbe l'intera distanza in un quattrocentoquarantesimo di secondo. Da questo punto di vista, almeno, un computer di simili gigantesche proporzioni sarebbe ancora in grado di elaborare le informazioni alla stessa velocità del cervello umano

Se perciò immaginiamo di costruire calcolatori sempre più grandi con componenti sempre più sofisticate, non è possibile ipotizzare che un giorno saranno in grado di fare tutto quello che fa un cervello umano?

Esiste un limite teorico all'intelligenza che può raggiungere un computer?

Io ritengo di no: ogni volta che riusciamo a introdurre in un determinato volume un numero maggiore di componenti elettroniche più complesse, il computer acquisisce

ulteriori capacità. Perciò ogni volta che costruiamo un calcolatore più grande, mantenendo inalterata la densità di complessità di ogni suo settore, il calcolatore sa fare più cose.

Di conseguenza, se un giorno riuscissimo a realizzare un computer abbastanza complesso ed abbastanza grande, perché non dovrebbe possedere la stessa intelligenza dell'uomo?

Immagino che questa ipotesi incontri lo scetticismo di molte persone che obietteranno: «Come può una macchina comporre una sinfonia, creare un'opera d'arte o elaborare una nuova teoria scientifica?».

A queste domande sono sempre tentato di ribattere con un'altra domanda: «Tu ne sei capace?». Ma, naturalmente, se anche il mio interlocutore fosse una persona qualunque, esistono persone fuori dall'ordinario dotate di autentico genio: tuttavia, la loro genialità è semplicemente dovuta alla complessa organizzazione degli atomi e delle molecole del loro cervello, perché nel loro cervello non ci sono altro che atomi e molecole. Se ponessimo atomi e molecole in un ordine particolarmente complesso all'interno di un computer, anche il computer sarebbe capace di produrre cose geniali; e se le sue componenti non sono minuscole e sofisticate come le cellule del cervello umano, si può ovviare a questo inconveniente costruendo un computer più grande.

Le persone, però, potrebbero eccepire che «i computer fanno soltanto quello per cui sono stati programmati».

A questa osservazione si può rispondere così: «È vero. Ma anche il cervello umano fa soltanto quello per cui è stato programmato... dai geni dell'individuo. Il programma del cervello prevede, fra le altre capacità, quella dell'apprendimento, ma questa specializzazione può essere inserita anche nella programmazione di un computer».

Ma allora, se è possibile costruire un computer intelligente come un essere umano, perché non può essere reso ancora più intelligente?

Davvero, perché no? In fondo, forse l'evoluzione consiste proprio in questo. Nel corso di tre miliardi di anni, lo sviluppo casuale di atomi di molecole ha prodotto, attraverso progressi lentissimi, una specie in grado di compiere il passo successivo nell'arco di una mandata di secoli o addirittura di decenni. E a quel punto le cose cominceranno a muoversi davvero. Ma se i computer diventassero più intelligenti degli esseri umani, non potrebbero prendere il nostro posto? Be', perché no? Potrebbero essere tanto gentili quanto intelligenti e far declinare la nostra specie per puro attrito. Potrebbero tenere qualche esemplare umano come animale domestico o di riserva. Del resto, pensiamo a quello che stiamo facendo a noi stessi, alle altre creature che popolano il pianeta ed alla Terra: forse sarebbe davvero ora che qualcuno prendesse il nostro posto. Forse, il vero pericolo è che non riusciremo a costruire robot così sofisticati in tempo utile.

Pensateci!

2. L'unione fa la forza

Ho accennato alla possibilità che un giorno i robot possano diventare così-intelligenti da sostituirsi a noi. Ho anche aggiunto, con una vena di cinismo; che, considerato il nostro comportamento, potrebbe essere una buona cosa. Dall'epoca a cui risalgono queste mie osservazioni, gli automi hanno assunto un ruolo sempre più importante nel mondo dell'industria e, pur continuando ad essere piuttosto ottusi sul piano delle capacità cognitive e dell'elaborazione intellettiva, stanno facendo progressi rapidissimi.

Forse, a questo punto, dovremmo approfondire l'analisi dell'ipotesi che un giorno i robot (o i computer, che, di fatto, sono il meccanismo motore degli automi) possano prendere il nostro posto. Il risultato finale dipenderà, naturalmente, dal grado di intelligenza che riusciranno a raggiungere e se riusciranno a superare il nostro in misura tale da considerarci, nella migliore delle ipotesi, alla stregua di animali domestici, o, nel caso peggiore, di parassiti. Questo impila che l'intelligenza sia semplicemente qualcosa che può essere misurata con uno strumento, come un righello od un termometro (o un test di quoziente intellettivo), e quindi possa essere espressa da un numero. Se il quoziente medio di intelligenza umana è 100, non appena l'intelligenza media dei computer supererà questo valore saremo nei guai.

Ma è così che funziona? È evidente che una qualità così sottile e complessa come l'intelligenza deve possedere numerose sfaccettature: in altre parole devono esistere diverse specie di intelligenza. Io presumo che ci voglia intelligenza per scrivere un componimento di senso compiuto, per scegliere le parole giuste ed ordinarle in modo corretto. Analogamente, presumo che ci voglia intelligenza per studiare un congegno tecnico complesso, capire come funziona e come perfezionarlo (o ripararlo se smettesse di funzionare). Come scrittore, io possiedo un alto grado di intelligenza, ma come tecnico la mia intelligenza è scarsa: questo che cosa significa, che sono un genio o un idiota? La risposta è: né l'uno né l'altro. Ho soltanto maggiori capacità in un campo rispetto ad un altro, come tutti gli esseri umani.

Proviamo a riflettere, a questo punto, sulle origini dell'intelligenza umana e su quelle dell'intelligenza artificiale. Il cervello umano è composto essenzialmente di proteine ed acidi nucleici, è il prodotto di più di tre miliardi di anni di evoluzione casuale, e le forze motrici del suo sviluppo sono l'adattamento e la sopravvivenza; i computer, invece, sono fatti essenzialmente di metallo e di oscillazioni di elettroni: sono il frutto di circa quarant'anni di progettazione umana e la forza motrice del loro sviluppo è il desiderio dell'uomo di soddisfare alcuni bisogni percepiti come tali. Se esistono tante varietà di intelligenza umana, non è ovvio pensare che intelligenza umana e intelligenza artificiale saranno sempre profondamente diverse per il semplice fatto che hanno origine diversa, natura fisica diversa e si sono sviluppate in condizioni differenti e sotto l'impulso di fattori che non hanno niente in comune fra di loro?

In apparenza sembra che i calcolatori, anche quelli relativamente più semplici e meno evoluti, possiedano capacità straordinarie: hanno memorie enormi, il potere di richiamare informazioni in modo praticamente istantaneo e infallibile, e sono in grado di eseguire un gran numero di operazioni aritmetiche ripetitive senza mostrare alcun

segno di stanchezza e senza commettere errori. Se queste capacità costituiscono una misura di intelligenza, i computer sono già molto più intelligenti di noi. È proprio in virtù di questa loro superiorità che li usiamo per milioni di scopi diversi e che sappiamo che, se smettessero di funzionare tutti contemporaneamente, la nostra economia andrebbe a carte quarantotto.

Ma queste capacità dei computer non sono la sola misura dell'intelligenza. Anzi, noi attribuiamo così poco valore a tali capacità che, per quanta un calcolatore sia veloce e sofisticato, continuiamo a considerarlo soltanto un regolo cresciuto e privo di vera intelligenza. Per quanto riguarda questa qualità, la specialità dell'uomo sembra sia la capacità di considerare i problemi nella loro globalità, di pervenire alle soluzioni per deduzione ed intuizione, di concepire combinazioni nuove, di fare congetture creative e straordinariamente ricettive. E non possiamo programmare un computer per fare altrettanto? No, è molto improbabile perché queste nostre capacità dipendono da meccanismi dell'intelligenza che noi stessi non conosciamo.

Pertanto, sembra che i computer siano destinati a raggiungere livelli sempre più elevati di intelligenza "analitica", mentre gli esseri umani (grazie alle nuove conoscenze sul funzionamento del cervello ed allo sviluppo dell'ingegneria genetica) potranno sviluppare in misura sempre crescente la loro intelligenza di tipo più "sintetico". Ogni forma di intelligenza ha i propri pregi e, unendo le forze e compensando le reciproche lacune, l'intelligenza umana e quella artificiale possono progredire molto più rapidamente di quanto potrebbero fare ciascuna singolarmente. Non assisteremo, perciò, ad una gara o alla vittoria dell'una forma di intelligenza sull'altra, ma al lavoro sinergico di entrambe nell'ambito delle leggi della natura.

3. Organismi cibernetici

Un robot è un robot ed un organismo è un organismo.

Un organismo vivente, come tutti sappiamo, è formato da cellule. Da un punto di vista molecolare, le molecole base dell'organismo sono gli acidi nucleici e le proteine, che galleggiano in un mezzo acquoso, ed il tutto è sostenuto da una struttura ossea. È inutile proseguire nella descrizione perché sappiamo tutti di che cosa si tratta, dato che ognuno di noi ne è un esempio.

Un robot, invece è (come viene normalmente rappresentato in fantascienza) un oggetto, di forma più o meno antropomorfa, costruito di metallo resistente ed antiruggine. In genere, gli scrittori di fantascienza sono avari di dettagli, sia perché, per lo più, non sono rilevanti ai fini della narrazione, sia perché sono in seria difficoltà a fornire descrizioni particolareggiate.

Comunque, l'impressione che si ricava dai loro racconti è che, al posto dei vasi sanguigni, i robot possiedano un impianto elettrico, fatto di fili lungo i quali scorre l'elettricità. La fonte ultima dell'energia non viene nominata o si sottintende che sia della stessa natura dell'energia nucleare.

E il cervello dei robot?

Nei miei primi racconti sugli automi, che scrissi fra il 1939 e il 1940, immaginai un

“cervello positronico”, fatto di un tipo poroso di lega di platino ed iridio: la scelta del materiale era motivata dal fatto che si tratta di un metallo particolarmente inerte e poco suscettibile alle modificazioni chimiche, mentre la sua natura porosa rispondeva all’esigenza di avere una grande superficie per la formazione degli impulsi elettrici. Infine, il cervello era “positronico” perché quattro anni prima che io scrivessi il mio primo racconto[32], gli scienziati avevano scoperto il positrone, come antiparticella dell’elettrone, e l’aggettivo “positronico” suonava straordinariamente fantascientifico.

Oggi, naturalmente, il mio cervello positronico di platino ed iridio è superato: per la verità, già dieci anni dopo essere stato inventato era antiquato, perché già alla fine degli anni ’40 ci eravamo resi conto che il cervello di un robot doveva essere una specie di computer. Anzi, se un robot doveva essere sofisticato come i protagonisti dei miei romanzi più recenti, il suo cervello-computer doveva essere complesso come quello umano: perciò doveva essere fatto di microchip non più grandi delle cellule cerebrali.

Ma adesso cerchiamo di immaginare un essere che non sia né un organismo vivente né un robot, ma una combinazione di entrambi: una specie di organismo-robot, che potremmo chiamare “orbot”. Ma “orbot” è un termine piuttosto misero, in pratica è “robot” con le prime due lettere invertite. Ma anche “orgabot” è una soluzione infelice.

Potremmo definirlo allora robot-organismo, o peggio, “robatismo”, oppure “roborg”. Al mio orecchio “roborg” non suona male, ma non possiamo adottare questo termine perché, nel frattempo, è successo un fatto nuovo.

Una generazione fa, Norbert Weiner (1894-1964) ha definito la scienza dei computer “cibernetica”; perciò, quando consideriamo un essere che è in parte un organismo vivente ed in parte è un robot, ricordando che un robot è di natura cibernetica, potremmo chiamarlo un “ciberorganismo”, o semplicemente “cyborg”: ed è proprio questo il termine che è entrato nell’uso corrente.

Per capire che cosa sia un cyborg, partiamo dall’organismo umano e approdiamo al robot; e quando saremo giunti alla fine di questo percorso, ripartiremo dal robot per approdare all’essere umano.

Per passare da un essere umano ad un robot dobbiamo cominciare a sostituire alcuni suoi organi con componenti meccaniche. In parte lo abbiamo già fatto. Per esempio, io ho un buon numero di denti otturati, in cui smalto e dentina sono stati sostituiti dal metallo, ed il metallo, si sa, è il materiale robotico per eccellenza.

Le protesi dentarie non sono necessariamente di metallo; infatti, io ho alcuni denti ricostruiti in porcellana. È difficile distinguere a prima vista la porcellana dalla dentina: eppure, nonostante la dentina abbia l’aspetto e, entro certi limiti, anche la struttura chimica della porcellana, è un tessuto vivo, mentre la porcellana non lo è.

Ma possiamo citare altri esempi. Anni fa, nel corso di un intervento chirurgico ho subìto l’incisione longitudinale dello sterno che, da allora è tenuto unito da una serie di punti metallici. Mia cognata ha una protesi dell’articolazione dell’anca. Ci sono persone che hanno braccia o gambe artificiali, arti che la tecnologia rende sempre più

---

[32] *Uno strano compagno di giochi* (Strange Playfellow, 1940), in seguito rimaneggiato dallo stesso Asimov e riproposto con il titolo *Robbie* nella sua antologia *Io, Robot* (I, Robot, 1950).

funzionali e più complessi. Ci sono persone che hanno vissuto per giorni o addirittura per mesi con un cuore artificiale e altre che vivono per anni con il pacemaker.

Possiamo quindi immaginare che alcune parti del corpo umano vengano, una dopo l'altra, sostituite da congegni ingegneristici o protesi fatte di materiale inorganico. C'è qualche organo che faremmo fatica a sostituire, anche con l'immaginazione?

Penso che nessuno abbia esitazioni al riguardo: possiamo sostituire qualunque parte del nostro corpo – arti, cuore, fegato, ossa e così via – e restare autentici esseri umani. Saremmo esseri umani con protesi artificiali, ma sempre esseri umani.

E il cervello, invece?

Se c'è un organo che ci rende umani quello è senz'altro il cervello. Se c'è qualcosa che fa di ciascuno di noi un individuo umano è quel complesso insieme di emozioni, capacità di apprendimento e di ricordi, che è specifico del cervello di ciascuna persona. Non si può sostituire il cervello con un congegno pensante costruito in laboratorio: al suo posto bisogna inserire qualcosa che incorpori tutto ciò che un cervello naturale ha imparato, che possieda tutta la sua memoria e che riproduca il suo stesso sistema di funzionamento.

Un arto artificiale può funzionare in modo diverso da un arto naturale, ma servire allo stesso scopo; un'analoga considerazione vale per un polmone, un rene od il fegato artificiali. Il cervello artificiale, invece, deve essere la copia perfetta dell'organo che sostituisce: in caso contrario, infatti, l'essere umano non sarà più lo stesso essere umano.

Pertanto è il cervello il punto d'arresto nel passaggio fra l'organismo umano ed il robot.

E l'opposto?

In *L'uomo bicentenario*[33], ho descritto il passaggio dell'eroe-robot, Andrew Martin, da automa ad uomo. A poco a poco, Andrew si era fatto modificare, fino ad assumere l'aspetto esteriore di un essere umano. Possedeva un'intelligenza pari, se non superiore, a quella di un uomo; era artista, storico, scienziato ed amministratore.

Aveva imposto leggi a tutela dei diritti dei robot ed aveva conquistato il rispetto e l'ammirazione di tutti.

Eppure non era mai riuscito a farsi accettare come uomo. Il punto di arresto anche in quel caso era il cervello: Andrew si era reso conto che avrebbe dovuto affrontare quel problema, prima di abbattere l'ultima barriera.

Perciò arriviamo alla dicotomia, corpo e cervello. Il cyborg per eccellenza è quella creatura in cui corpo e cervello sono di natura diversa. Questo significa che possono esistere due categorie di cyborg completi:

a) quelli con cervello robotico e corpo umano, e
b) quelli con cervello umano e corpo di robot.

È indubbio che nel giudicare un essere umano (od un robot), il primo elemento che valutiamo è il suo aspetto esteriore.

Immagino un uomo che veda una donna bellissima e la fissi rapito. «Che donna stupenda» dice o pensa, e fantastica di innamorarsi di lei. Nei romanzi credo che

---

[33] *Robot NDR-113* (The Positronic Man, 1992), scritto con Robert Silverberg. Dal romanzo breve è stato tratto il film *L'uomo bicentenario*.

questo accada abitualmente. E, naturalmente, anche una donna, alla vista di un uomo di superlativa bellezza, proverà un'analoga attrazione.

Se ci si innamora di una donna o di un uomo particolarmente belli, è assai poco probabile che ci si interroghi in modo approfondito sulla sua intelligenza, sul suo carattere, sulla sua capacità di giudizio e su altre simili qualità. Se alla fine si scopre che la bellezza è il suo unico pregio, si ha il diritto ad essere scusati e di lasciarsi guidare, per una volta, almeno, dal riflesso condizionato della risposta erotica. A lungo andare, naturalmente, ci si stancherà della bellezza priva di contenuti, ma chi può sapere quanto tempo occorrerà per scoprirlo?

D'altro canto, è più improbabile che una persona dotata di grandi virtù, ma d'aspetto insignificante, attiri la nostra attenzione, a meno che non siamo così intelligenti da intuire le sue qualità e da decidere di condividere con lei il nostro futuro, che sarà, con ogni probabilità, gratificante e felice.

Quello che intendo dire è che un cyborg con cervello robotico e corpo umano verrebbe accettato dalla maggior parte delle persone, se non da tutti, come un essere umano, mentre un cyborg con il cervello di uomo ed il corpo di robot verrebbe considerato dai più, se non da tutti, un robot. In altre parole, siamo, almeno per la maggior parte delle persone, ciò che sembriamo essere.

In ogni caso, questi due cyborg con caratteristiche opposte pongono problemi diversi agli esseri umani.

Proviamo a domandarci, per esempio, che senso abbia trasferire un cervello robotico in un corpo umano: un cervello robotico sta molto meglio nel corpo di un automa, che è assai meno vulnerabile di quello umano. Potremmo trovarci di fronte al caso di un corpo umano giovane e vigoroso, il cui cervello sia stato compromesso da un trauma o da una malattia, e potremmo domandarci: «Perché sprecare questo corpo stupendo? Inseriamogli un cervello robotico in modo che possa continuare a vivere».

Ma l'essere umano generato da una simile operazione non sarebbe più quello originale: sarebbe un individuo nuovo. Con un simile espediente non si restituirebbe la vita ad una persona, ma si manterrebbe in vita un corpo privo di mente. E, per quanto bello, un corpo umano (privo del suo cervello) è povera cosa; ogni giorno nascono mezzo milione di nuovi corpi: non c'è alcun bisogno di salvarne uno con il cervello fuori uso.

Che cosa dire, invece, dell'ipotesi opposta, cioè quella di inserire un cervello umano nel corpo di un automa? Il cervello umano non è eterno, ma può vivere fino a novant'anni in condizioni di efficienza. Esistono molti casi di persone novantenni piene di acume e perfettamente in vado di ragionare, così come esistono menti raffinate che, dopo soli venti o trent'anni, scompaiono perché una malattia od un trauma ha compromesso il corpo che le ospitava. In questi casi, si è tentati dall'idea di trasferire un cervello tanto dotato in un corpo artificiale per consentirgli di vivere ancora molti anni.

Perciò, quando parliamo di cyborg, tendiamo a pensare quasi esclusivamente ad un corpo robotico dotato di cervello umano ed a considerarlo un robot.

Potremmo sostenere che una mente umana è una mente umana e che è questo che conta, non l'involucro meccanico all'interno del quale si trova e, probabilmente, è vero. Sono sicuro che qualsiasi giudice razionale sentenzierebbe che un cyborg dotato

di cervello umano ha gli stessi diritti legali di un uomo in carne e ossa: il diritto alla libertà, il diritto di voto e così via.

Eppure immaginiamo che ad un cyborg venga chiesto: «Dimostra di possedere un cervello umano e non robotico prima che io ti riconosca il godimento dei diritti umani».

Il modo più semplice il cui il cyborg può provare la propria natura umana consiste nel dimostrare di non essere vincolato dalle Tre Leggi della Robotica. Poiché le Tre Leggi impongono un comportamento socialmente accettabile, questo significa che il cyborg dovrà dare prova di essere capace di comportamento umano (cattivo, per esempio). In altre parole, il cyborg potrebbe dimostrare la propria natura umana assestando un bel pugno al giudice e rompendogli una mandibola, cosa che un robot non sarebbe in grado di fare. (In uno dei miei racconti, *La prova*[34], pubblicato nel 1946, sono ricorso a questo espediente proprio per dimostrare che un personaggio non era un robot... ma in quel caso c'era l'inganno).

Tuttavia, se un cyborg deve comportarsi sempre in modo violento per dimostrare di possedere un cervello umano, difficilmente riuscirà a farsi molti amici.

Inoltre, anche se sarà accettato come uomo, anche se potrà votare, affittare una camera in un hotel e fare tutte le altre cose che fanno gli esseri umani, la sua condizione lo renderà comunque diverso; sarà più forte e il suo pugno potrebbe essere considerato un'arma letale: la legge potrebbe vietargli di colpire un altro essere umano, perfino per legittima difesa e non potrebbe partecipare ad alcuna competizione sportiva.

Ma è proprio necessario trasferire il cervello di un uomo in un telaio di metallo? Perché non utilizzare come contenitore un corpo fatto di porcellana, plastica e fibre sintetiche, più simile al corpo umano?

Ma, sapete, io penso che in ogni caso un cyborg continuerebbe ad avere vita difficile nel nostro mondo. Resterebbe comunque un diverso e, per quanto minima fosse la sua diversità, agli occhi degli esseri umani sarebbe sempre motivo di discriminazione.

Sappiamo che talvolta persone con un corpo umano ed un cervello umano si odiano per una pigmentazione leggermente diversa della pelle, o per una irrilevante differenza nella forma del naso, degli occhi, delle labbra o dei capelli.

Sappiamo che persone perfettamente simili sul piano delle caratteristiche fisiche che, nel corso della storia, hanno rappresentato motivo di odio, si combattono per questioni che non sono razziali ma culturali, religiose, politiche o semplicemente linguistiche.

Dobbiamo ammetterlo: i cyborg incontrerebbero sempre un sacco di problemi in mezzo agli uomini, nonostante tutto.

---

[34] *Evidence*, raccolto nell'antologia *Io, Robot* (1950).