



ISAAC ASIMOV

FRONTIERE



OSCAR MONDADORI

ISAAC ASIMOV

FRONTIERE

Traduzione di
Fabrizio Pezzoli

ARNOLDO MONDADORI EDITORE

© 1987, 1988, 1989 Nightfall Inc.
Titolo originale dell'opera: Frontiers
© 1994 Arnoldo Mondadori Editore S.p.A., Milano

I edizione Oscar Bestsellers saggi aprile 1994

ISBN 88-04-38205-8

Questo volume è stato stampato presso Arnoldo Mondadori Editore S.p.A. Stabilimento Nuova Stampa - Cles (TN)
Stampato in Italia - Printed in Italy

INDICE

<u>Frontiere.....</u>	<u>8</u>
<u>INTRODUZIONE.....</u>	<u>9</u>
<u>PARTE PRIMA</u>	
<u>Frontiere dell'uomo primitivo.....</u>	<u>11</u>
I nostri progenitori.....	12
Quanto siamo vecchi?.....	14
Sulle zampe posteriori.....	16
Le mani, finalmente.....	17
Un osso parla più di mille libri.....	19
Il primo idioma umano.....	21
La prima scoperta dell'uomo.....	23
Alimentare i fuochi.....	25
Il celacantide, nostro cugino.....	27
L'implacabile crescita della popolazione.....	29
<u>PARTE SECONDA</u>	
<u>Frontiere della scienza.....</u>	<u>32</u>
I luminosissimi raggi X.....	33
Un premio in ritardo.....	35
L'elemento più nobile.....	36
Aumentare la temperatura.....	38
Il supremo acceleratore atomico.....	40
I due nulla.....	42
Supercritico.....	43
Una questione di priorità.....	45
All'improvviso, entra in gioco il tallio.....	47
Spezzare il legame.....	48
Un sogno si avvera.....	50
Invecchiando.....	52
L'inafferrabile quark.....	54
Quante particelle?.....	55
Dominare l'antimateria.....	57
Migliorare il diamante.....	59
La fusione fredda.....	60
Perché proprio il trizio?.....	62
Scomparso per sempre.....	64
La forma più semplice.....	66
I microorganismi pericolosi.....	68
Il lampo spia.....	69

Il progetto Genoma.....	71
Un primo sguardo alla molecola del DNA.....	73
Una capocchia di spillo.....	75
Il nostro orologio biologico.....	76

PARTE TERZA

Frontiere della Terra.....	79
I movimenti della Terra.....	80
Le oscillazioni della Terra.....	82
I punti caldi oceanici.....	83
La grande frattura.....	85
Il calore centrale.....	87
La prima cellula.....	88
La conquista della terraferma.....	90
L'origine dei vegetali.....	92
Dinosauri ovunque.....	94
Sabbia compressa.....	96
Un nuovo indizio sulla scomparsa dei dinosauri.....	97
Fossili veri e falsi.....	99
Altre prove sui rettili piumati.....	101
La più grande creatura volante.....	103
Mostri del passato.....	105
La forma biologica di maggior successo.....	107
Le tartarughe migratrici.....	109
Il mammifero più strano.....	111
Acqua antica.....	112
Fulmini e vita.....	114
Stragi di massa.....	116
Il buco nell'ozono.....	118
L'ultima zona pulita.....	120
Più umido e più caldo.....	121
Il secondo bisestile.....	124
Una mappa troppo perfetta per essere vera.....	125
L'isola che non c'è.....	127
Quando la Terra era troppo calda e troppo fredda.....	129
Le glaciazioni e l'effetto altopiano.....	131
Misteri lunari e storia terrestre.....	133

PARTE QUARTA

Frontiere dello spazio.....	135
La crosta incrinata.....	136
Un'esplosione sulla Siberia.....	138
La cometa di Halley.....	140

Ancora sulla cometa di Halley.....	141
La molecola più grande.....	143
Il pianeta gemello.....	145
Microonde spaccanuvole.....	147
Rocce spaziali.....	149
Un asteroide evitato per un soffio.....	151
Diamanti dallo spazio.....	153
Il mondo morto.....	154
Il lento decadimento.....	156
Un vecchio affidabile.....	157
Andare verso l'energia.....	159
Un oceano di benzina.....	161
L'elusivo decimo pianeta.....	163
La piccola sonda delle conferme.....	164
Il satellite dall'orbita straordinariamente eccentrica.....	166
Attend alla fiammata!.....	168
Sfiorando il Sole.....	170
La nube invisibile.....	172
Questioni di nome.....	174
Plutone e Caronte: due mondi sconosciuti.....	175
Il caso del pianeta mancante.....	177
La luna cadente di Marte.....	179
Vita su Marte rivisitata.....	181
Un po' più luminoso.....	183
Inquinamento spaziale.....	185
Dove vogliamo andare?.....	186
La fine?.....	188
Siamo davvero soli?.....	190

PARTE QUINTA

Frontiere dell'universo.....	192
La supernova più vicina.....	193
Caccia al pianeta.....	194
Ancora più lontano.....	196
Esplosioni rivelatrici.....	198
La sorpresa del neutrone.....	200
Le invisibili nebulose.....	201
L'onda più debole.....	203
La prova della relatività.....	205
Neutrini lontani.....	207
Il cronometro a nana bianca.....	209
L'emissione di raggi gamma.....	211
Inghiottire una stella.....	212

Il metro ad ammassi globulari.....	214
Scherzi della gravità.....	216
Gli oggetti intermedi e la massa mancante.....	218
Galassie in collisione.....	220
A dieci miliardi di anni luce.....	221
Vedere il passato.....	223
Il telescopio più rapido.....	225
Il più antico compleanno.....	227
Superstelle?.....	229
La baby pulsar.....	230
Al di là dell'ai di là.....	232
Dove finisce l'universo.....	236

Frontiere

A Red Evans,
un modello esemplare
di lettore fedele

INTRODUZIONE

Da quando gli uomini hanno imparato a pensare in modo analitico e a utilizzare i materiali a loro disposizione per rendere più facile e sicura la vita, abbiamo dovuto varcare una serie infinita di frontiere. Nelle scienze, questi confini sono stati ogni volta porti d'imbarco per l'ignoto, e le scoperte e il progresso sono stati doverosamente preceduti da accurati resoconti.

Un procedimento analogo, che passi in rassegna i diversi argomenti, risulta essenziale per ogni scrittore che si proponga di spiegare le complessità della scienza moderna a chi già non abbia una certa conoscenza della materia. Ho sempre ritenuto valida questa massima, ma me ne convinsi ancor più a partire dal 1986, quando iniziai una collaborazione giornalistica con il *Los Angeles Times Syndicate* per il quale presi a scrivere un articolo sulla scienza con cadenza settimanale. Quell'esperienza è stata una vera fonte di divertimento e ha sollecitato in me il desiderio di ampliare quel lavoro fino a fargli prendere forma di libro. *Frontiere*, dunque, è una raccolta di osservazioni ad ampio spettro che passa in rassegna i più recenti progressi della scienza e che riesamina e valuta le storiche conquiste che ci hanno condotto a mettere meglio a fuoco il nostro sapere. La mia speranza è che l'approccio informale di questa raccolta serva ad aprire nuovi orizzonti nella mente di coloro che condividono la mia stessa meraviglia di fronte alle affascinanti frontiere che incontriamo procedendo verso una migliore comprensione del nostro universo apparentemente senza limiti.

Durante la preparazione di questo volume, mi sono accorto che il suo contenuto ha una natura piuttosto eccentrica. Ho la tendenza a seguire i miei interessi, e alcuni argomenti semplicemente mi interessano più di certi altri. Per questa ragione, la discussione si accentrerà sulla fisica e sull'astronomia più che sulla medicina, per esempio, che riceve dai quotidiani e dalle riviste un'attenzione di gran lunga maggiore a tutte le altre branche della scienza messe insieme.

Dato che questo libro tratta le frontiere della scienza, le conclusioni dei vari saggi che lo compongono risultano talvolta incerte e provvisorie. Dopo tutto, la scienza è incerta e provvisoria: è sempre sul chi va là, pronta ad ampliarsi o a correggersi. Perciò, quando nel libro faccio menzione di una recente scoperta circa la concentrazione di ossigeno nell'atmosfera centomila anni fa, menziono allo stesso modo i miei dubbi personali circa la validità dei risultati finora ottenuti. Oppure prendo in esame la scoperta apparentemente sensazionale dei cosiddetti archi di luce nel cielo e poi faccio

presente che questi archi sembrano essersi dimostrati una sorta di illusione ottica.

I risultati raggiunti dagli scienziati su certi argomenti e certe frontiere sono spesso piuttosto contraddittori, ma ciò è caratteristico di una frontiera. Per esempio, in numerosi saggi fra quelli che compongono il presente volume, sollevo la questione dell'età dell'universo. In qualche caso, alcune recenti scoperte tendono a far pensare che l'universo abbia 10 miliardi di anni, mentre in altri casi si indica l'età dell'universo sui 20 miliardi di anni. E dunque, qual è l'età esatta? La risposta è che non lo possiamo stabilire con certezza. È un punto difficile da determinare, e diverse linee di ricerca a questo riguardo puntano in direzioni differenti. Ciò non indica un difetto nella scienza, ma uno dei suoi vanti: la discussione è libera e aperta sui punti controversi e ci sono molte strade per giungere alla conclusione esatta, sebbene alcune possano dimostrarsi dei vicoli ciechi. Sicuramente verrà il giorno in cui la questione dell'età dell'universo sarà risolta, così come è stata risolta in passato la questione dell'età della Terra. Fino a quel giorno, il lettore potrà ugualmente voler conoscere i diversi modi di affrontare il problema e a soppesare da sé i valori relativi delle varie discussioni e dei diversi risultati finora ottenuti.

Infine, inevitabilmente il lettore troverà una considerevole sovrapposizione di argomenti in alcuni di questi saggi. Dopo tutto, ciascuno di essi è stato scritto per reggersi da solo. Per questo, due saggi riguardanti la stessa materia possono richiedere un'analoga descrizione preliminare per introdurre l'argomento. Posso soltanto invocare comprensione e indulgenza.

Nonostante questi avvertimenti, però, spero proprio che *Frontiere* dia al lettore la sensazione di ciò che molti scienziati stanno scoprendo *in questi ultimi tempi*. La scienza è un soggetto notevolmente vivo, e non lo è mai stato più di adesso. Numerosi scienziati, oggi, con tecniche sempre più avanzate a loro disposizione, stanno indagando ogni sfera possibile e immaginabile, con entusiasmo sempre maggiore, ben più che in passato. Di conseguenza, i campi del sapere umano si stanno energicamente e sorprendentemente ampliando come mai prima d'ora.

Isaac Asimov, 1 ottobre 1989

PARTE PRIMA
Frontiere dell'uomo primitivo

I nostri progenitori

La specie umana è giunta da poco sulla Terra. La nostra comparsa è relativamente recente se paragonata all'incredibile età della Terra. Nondimeno, siamo quaggiù da ben più tempo di quello che siamo soliti pensare. E gli scienziati non la smettono di stupirsi, periodicamente, con nuove datazioni che dimostrano come noi o, meglio, i nostri progenitori abbiano origini sempre più remote.

Fino all'età moderna, gli eruditi e gli uomini di scienza occidentali davano per scontato che l'umanità (e la Terra stessa) avesse più o meno un'età di soli seimila anni, poiché è questo che sembrava suggerire la lettura della Bibbia. Tuttavia, fin dal lontano 1797, un inglese, John Frere, scoprì alcuni utensili di selce modellati in maniera rudimentale, i quali probabilmente erano stati forgiati dalle mani di esseri umani primitivi. Gli utensili furono scoperti sottoterra, a una profondità di quattro metri circa. Degli oggetti che restino per lungo tempo immobili e intatti al suolo vengono lentamente ricoperti dalla polvere e dal fango che poi si solidifica trasformandosi in roccia, e qualunque utensile sepolto così in profondità deve essere un bel pezzo più vecchio di seimila anni.

Successivamente, un francese di nome Edouard Lartet scoprì un'antica zanna di mammut sulla quale era incisa una splendida raffigurazione del mammut stesso. Poteva soltanto essere stata incisa da un essere umano vissuto nello stesso periodo durante il quale erano vissuti i mammut, da lunghissimo tempo estinti.

Con il passare del tempo, furono scoperti ossa e frammenti di ossa appartenuti a organismi che non erano certamente esseri umani, ma che nella struttura scheletrica erano più simili agli esseri umani che alle scimmie. Questi esseri furono chiamati *ominidi*, e rappresentano una lunga serie di organismi che furono gli antenati - o rami collaterali - dell'uomo moderno: *Homo sapiens*.

Gli ominidi avevano indubbiamente un'età remota, ma quanto remota?

Gli scienziati poterono solo fare delle supposizioni piuttosto imprecise basandosi sulla profondità alla quale i vari resti furono scoperti, e sul tipo di ossa di altri animali ritrovate in prossimità dei reperti. Sorse il sospetto che gli ominidi potessero essere esistiti sulla Terra centinaia di migliaia di anni fa, ma una vera e propria datazione non fu mai precisata.

Nel 1896, tuttavia, fu scoperta la radioattività. Si scoprì che certi tipi di atomi erano instabili e decadevano a un ritmo fisso, che poteva essere misurato. In virtù di ciò, si scoprì che l'uranio decade trasformandosi in piombo con un periodo di dimezza-

mento di 4,6 miliardi di anni. Nel 1907, un americano, Bertram B. Boltwood, suggerì che le rocce che contenevano uranio avrebbero anche dovuto contenere piombo. Dalle proporzioni di uranio e di piombo, si poteva calcolare quanto uranio era decaduto e perciò l'età della roccia.

Quello fu l'inizio della "datazione radioattiva", la quale poté essere usata per determinare l'età delle rocce rimaste indisturbate per un certo periodo di tempo. Alcune delle rocce scoperte, secondo la datazione radioattiva, erano restate indisturbate per circa 3,5 miliardi di anni, per cui la Terra doveva per forza essere ben più vecchia di quella data. Le meteoriti, che erano rimaste indisturbate fin dalle origini dell'universo, indicavano età di circa 4,6 miliardi di anni, che è la stessa cifra con la quale generalmente si indica oggi l'età della Terra, e del sistema solare.

Naturalmente, se si scoprono ossa di ominidi incassate nella roccia, e se si determina l'età della roccia, si saprà di conseguenza anche l'età delle ossa. Non tutte le rocce contengono abbastanza uranio da permettere una determinazione della loro età, ma tutte hanno in sé almeno un po' di potassio, un elemento piuttosto comune. Alcuni atomi di potassio sono radioattivi e decadono trasformandosi in argo, un gas inerte, con un periodo di dimezzamento pari a 1,3 miliardi di anni. Misurando il potassio e le microscopiche bollicine di argo intrappolate nella roccia, si può determinare il tempo passato da quando si è formata la roccia e vi sono state rimaste inglobate le ossa.

Naturalmente, con il passare del tempo, le tecniche di datazione sono state perfezionate, e oggi gli ominidi risultano più antichi di quel che si pensava in precedenza. Nel settembre 1987, in Kenya, alcuni scienziati dell'Università dello Utah hanno stabilito l'età di certe rocce contenenti utensili primitivi. In precedenza si era stabilito che quelle rocce avessero 500 mila anni, ma le nuove misurazioni suggerivano un valore pari almeno a 700 mila e con ogni probabilità anche 900 mila.

E ci sono degli ominidi ancora più antichi. Sembrano essersi sviluppati soprattutto nell'Africa meridionale e orientale, e non c'è da stupirsi dato che proprio laggiù vivono i nostri parenti non-ominidi più prossimi: gli scimpanzé e i gorilla. Nella gola di Oldoway, nell'Africa orientale, furono scoperti, incassati nella roccia, utensili primitivi e crani di ominidi che sorpresero non poco gli scienziati, dato che la loro datazione indicava 1,8 milioni di anni. Quegli ominidi facevano parte del nostro stesso genere, *Homo*, e i loro reperti furono attribuiti all'*Homo habilis*.

Prima della comparsa dell'*Homo habilis* vissero ominidi ancor più primitivi, troppo diversi da noi per essere considerati del genere *Homo*, ma che tuttavia erano nonostante tutto ominidi. Per esempio, avevano le anche e le gambe proprio come le nostre ed erano in grado di camminare in posizione eretta con la nostra stessa facilità. Il più antico di questi ominidi porta il nome di *Australopithecus afarensis*. Sono state scoperte ossa fossili che sembrano situarlo temporalmente a circa 4 milioni di anni fa.

Senza ombra di dubbio, ci devono essere reperti ancora più antichi. Pare ragionevole supporre che sulla Terra siano esistiti ominidi da almeno 5 milioni di anni. Ciò farebbe sì che la specie umana e i suoi antenati ominidi siano ottocento volte più vecchi di quanto pensassero gli eruditi fino a due secoli fa. Ma, giusto per mantenere il senso delle proporzioni, gli ominidi sono esistiti solamente nell'ultimo millesimo dell'arco di esistenza della Terra.

Quanto siamo vecchi?

Quanto siamo vecchi? E riferendomi a *noi* intendo indicare il gruppo di organismi conosciuto in modo vario come "uomo attuale", "uomo moderno", "essere umano", vale a dire *Homo sapiens sapiens*. La risposta può essere, come si sta rivelando di recente, che siamo vecchi più del doppio di quel che pensavamo.

Per capire ciò che significa, facciamo un passo indietro fino al 1856. Nella Germania occidentale, nella valle del fiume Neander (*Neandertal* in tedesco), alcuni sterratori che lavoravano in una miniera di calcare s'imbatterono in alcune ossa. Non c'era niente di strano in un ritrovamento del genere. Di solito, si gettavano via le ossa e si proseguiva il lavoro. E lo stesso destino fu riservato alle ossa scoperte quel giorno. Ma la notizia del ritrovamento giunse agli orecchi di un professore che insegnava in una scuola non molto lontana dalla miniera. Il professore si diede da fare per raggiungere il luogo del ritrovamento e per mettere in salvo quattordici ossa, incluso un cranio.

Le ossa erano chiaramente umane, ma rivelavano (soprattutto il cranio) alcune interessanti differenze con quelle degli esseri umani normali. Il cranio aveva visiere sovraorbitali molto pronunciate. La fronte era bassa e sfuggente, con occipite sporgente, e sfuggente era pure il mento. Inoltre presentava denti insolitamente prominenti. Quei resti furono sbrigativamente chiamati "uomo di Neandertal", e immediatamente sorse una vivace controversia. Si trattava forse dei resti di un antico e primitivo antenato dei moderni esseri umani, o si trattava invece di ossa appartenute a un comune essere umano riesumato dagli sterratori?

In seguito, numerosi altri reperti ossei che includevano lo stesso tipo di cranio furono scoperti in altre parti d'Europa e nel Medio Oriente. Non ci potevano essere così tanti individui con lo stesso tipo di deformazione cranica. Fu perciò accettata l'idea che l'uomo di Neandertal fosse in effetti un modello di progenitore, un tipo di essere umano alquanto primitivo. Gli antropologi cominciarono a fare riferimento all'uomo di Neandertal come *all'Homo neanderthalensis*. L'uomo moderno fu chiamato *Homo sapiens*, intendendo per *sapiens* "sapiente" o "intelligente". Entrambi appartenevano al genere *Homo*.

Tuttavia, alla fine risultò che le differenze fra l'uomo di Neandertal e l'uomo moderno erano talmente minime che gli antropologi cominciarono a pensare ai membri di due sottospecie. L'uomo di Neandertal fu chiamato definitivamente *Homo sapiens neanderthalensis* e l'uomo moderno fu chiamato *Homo sapiens sapiens*.

L'uomo di Neandertal può aver avuto origine da un "primo uomo" ancora più antico, un antenato ancora più primitivo vissuto circa 250 mila anni fa. In certe epoche e in certi luoghi, alcuni uomini di Neandertal subirono i lievi cambiamenti evolutivisti necessari per ottenere gli attributi moderni. Non sappiamo esattamente quando né dove, poiché gli uomini di Neandertal erano poco numerosi e troppo forti e scaltri per morire in situazioni nelle quali i loro resti si sarebbero fossilizzati. È per questo che i fossili in nostro possesso sono troppo pochi per poterne giudicare l'origine.

Ciò nonostante, sono stati rinvenuti antichi scheletri che sono esattamente come gli scheletri moderni, e su questa base dovremmo concludere che l'uomo moderno è

comparso almeno 40 mila anni fa. Questo sviluppo si dev'essere verificato nell'Africa settentrionale, benché non si possa affatto affermarlo con certezza.

Gli ultimi scheletri di uomo di Neandertal ritrovati hanno circa 35 mila anni. Inoltre, per un certo periodo, l'uomo moderno e l'uomo di Neandertal sono vissuti contemporaneamente sulla Terra, principalmente in Europa, dato che la maggior parte dei resti fossili ritrovati sono stati scoperti in Europa. Così pare che l'uomo di Neandertal e l'uomo moderno siano vissuti insieme per soli cinquemila anni prima che l'uomo di Neandertal si estinguesse.

Presumibilmente, quando le due sottospecie si incontrarono, ebbero problemi di competizione a causa del cibo e dei territori abitabili, e l'uomo di Neandertal dovette soccombere. Perché? Non si sa con certezza. Ci sono prove che inducono a pensare che gli uomini di Neandertal fossero più diffusi e più forti degli uomini moderni. Ma probabilmente erano meno agili.

O forse gli uomini moderni erano più ingegnosi. La mia teoria preferita è che l'uomo moderno abbia inventato armi per combattere e per cacciare a distanza, come le fionde, l'arco e le frecce, con le quali attaccava l'uomo di Neandertal riuscendo a evitare il pericolo di un combattimento ravvicinato. È probabile perciò che i poveri neandertaliani abbiano perso quasi tutte le battaglie e siano diminuiti di numero in modo rapido e costante lasciando a una quantità sempre maggiore di appartenenti alla specie *Homo sapiens sapiens* l'incontrastato dominio della Terra.

Ma uno studio pubblicato nel febbraio 1988 da un gruppo di antropologi francesi e israeliani ha sollevato nuovi interrogativi sulla relazione tra gli uomini primitivi e i neandertaliani. Lo studio riporta in ogni dettaglio le recenti scoperte fatte in una miniera in Israele dove si sono rinvenuti resti di scheletri di una trentina di esseri umani, apparentemente classificabili come *Homo sapiens sapiens*. Insieme alle ossa sono stati trovati alcuni utensili di pietra che sono stati sottoposti all'esame della datazione con una tecnica denominata *termoluminescenza* (la luce prodotta da un riscaldamento). Se i risultati sono esatti, gli scheletri hanno circa 90 mila anni.

Se così fosse, significherebbe che l'uomo moderno si era differenziato dal gruppo detto di Neandertal in un'epoca due volte più remota rispetto a quello che si era pensato finora, e che c'è stato così tanto tempo in più per permettere lo sviluppo delle differenze fra le due sottospecie che forse non se ne rinviene traccia nelle ossa. Forse, se i risultati si dimostrano validi, gli antropologi decideranno di considerare di nuovo l'uomo di Neandertal e l'uomo moderno due specie diverse e distinte.

Inoltre, se l'uomo di Neandertal e l'uomo moderno non sono coesistiti sulla Terra per soli 5 mila anni bensì per 55 mila anni, perché mai l'uomo moderno ha impiegato così tanto tempo per raggiungere la supremazia sull'uomo di Neandertal e spazzarlo via dal pianeta? Forse che i neandertaliani erano più astuti di quel che abbiamo creduto finora? Hanno resistito più caparbiamente alla sopraffazione della specie rivale e combattuto con maggiore tenacia?

Adesso gli scienziati dovranno fare i conti con questi interrogativi. Ma è un pensiero ben triste che al giorno d'oggi l'uomo moderno, se davvero ci provasse, potrebbe probabilmente spazzare via dalla faccia della Terra l'intera sua specie in 55 mila secondi.

Sulle zampe posteriori

I più antichi ominidi - creature simili più agli uomini che alle scimmie - sono gli australopitechi. Questo termine derivante dal greco è improprio, perché significa "scimmie del sud". Certo, gli australopitechi sono "del sud" dato che i loro resti fossili furono scoperti per la prima volta nell'emisfero australe (in Sudafrica, per essere esatti), ma *non erano* scimmie.

Avevano, sì, la struttura e le dimensioni di piccole scimmie, e può darsi che i loro cervelli non fossero più grandi di quelli degli scimpanzé, ma camminavano in posizione eretta, avevano piedi, anche e colonna vertebrale proprio come noi, e quindi dovevano muoversi come noi.

La capacità di camminare sulle zampe posteriori è la più antica tra le caratteristiche umane. Gli australopitechi hanno cominciato a camminare in posizione eretta circa quattro milioni di anni fa. Nessun'altra specie l'ha fatto. Gli scimpanzé e i gorilla hanno "piedi" con il primo dito opponibile agli altri, per cui hanno in effetti quattro mani. Si sollevano sulle zampe posteriori solo raramente e a fatica. Non hanno certo piedi simili ai nostri, che non sono dotati di alluci opponibili alle altre dita e sono adatti solo per camminare. Non hanno neppure la colonna vertebrale incurvata a S, come la nostra, e nemmeno la tipica struttura del bacino con l'attaccatura delle due ossa iliache, che rende più agevole per noi mantenere la posizione eretta per lunghi periodi di tempo.

Ma perché mai gli australopitechi hanno sviluppato la capacità di restare in posizione eretta? Che benefici ne hanno ricavato? Che valore di sopravvivenza aveva questa dote? Una possibile risposta è che ciò dava loro un'altezza maggiore, più utile per avvistare il cibo o il pericolo da lontano. Quanto a questo, però, la necessità di sollevarsi sulle zampe posteriori era solo occasionale e temporanea.

Un'opinione un po' romantica suggerisce che sollevarsi sulle zampe posteriori permette di avere libere le braccia. Ciò avrebbe reso possibile sviluppare le mani, e poi utilizzarle per manipolare l'ambiente in cui gli australopitechi vivevano, per toccare e conoscere, e per fabbricare utensili primitivi. Tutto ciò ebbe come ricompensa occhi e cervelli migliori, cosicché il nostro cervello poté svilupparsi e crescere, e noi diventammo pienamente umani.

Senza alcun dubbio, questo fu un effetto collaterale *definitivo*, ma non certo immediato. Dopo che i primi australopitechi cominciarono a deambulare sulle gambe, continuarono a esistere per due milioni di anni prima che i loro discendenti sviluppassero un cervello abbastanza grande da consentire loro di fabbricare utensili di pietra e acquisire gradualmente i primi segni di un intelletto paragonabile al nostro.

Ma, allora, che vantaggio avevano gli australopitechi a camminare in posizione eretta nei due milioni di anni durante i quali avevano un cervello di dimensioni ridotte, senza poter usare le mani per fabbricare utensili?

Mary Leakey (che forse è la più famosa scopritrice di resti di ominidi, insieme al suo ultimo marito, Louis, e a suo figlio, Richard) suggerisce che forse gli australopitechi si cibavano di carogne. Non erano abbastanza grossi da uccidere i grandi erbivori africani, né abbastanza astuti da organizzare battute di caccia. Quindi si impadro-

nivano dei resti degli animali uccisi da predatori come i leoni e i leopardi. In breve, avevano lo stesso comportamento degli sciacalli, delle iene e degli avvoltoi, il che è un pensiero piuttosto imbarazzante, ora come ora.

Se gli australopitechi avessero aspettato l'uccisione di una preda da parte di un carnivoro nel loro territorio abituale, avrebbero dovuto aspettare a lungo. La maggior parte degli animali che si cibano di carogne sono obbligati a fare così, perché la necessità di aver cura dei piccoli spesso li inchioda alle immediate vicinanze delle loro tane.

Gli australopitechi, invece, sviluppando la capacità di camminare in posizione eretta ebbero le braccia libere... non per costruire utensili, ma per portarsi appresso i loro rampolli.

Ci immaginiamo dunque questi ominidi piccoli di statura che portano in braccio i propri figli, stretti fra gli arti anteriori mentre se ne vanno in giro sugli arti posteriori, con passi corti e rapidi, al seguito di branchi di bestie selvatiche e di zebre, in attesa che i predatori uccidano qualcosa da poter mangiare.

Per combinazione, anche mia moglie Janet (che è una psichiatra) aveva riflettuto a lungo su alcuni degli aspetti della stazione eretta e da qualche anno si è convinta che il motivo più importante era il trasporto dei piccoli.

Mi ha suggerito che, a causa della quasi completa mancanza di peli tipica degli esseri umani, i piccoli non potevano afferrarsi alla pelliccia della madre e che perciò dovevano essere trasportati in braccio. Naturalmente non sappiamo *quando*, nel corso dell'evoluzione della specie umana, si perse la caratteristica dei peli su tutto il corpo. Non sappiamo se gli australopitechi fossero pelosi come le scimmie oppure privi di peli come noi, o una via di mezzo. Se però la pelliccia cominciò a sparire (specie nelle femmine) all'incirca nello stesso periodo in cui comparve la stazione eretta, il bisogno di trasportare i piccoli potrebbe aver dato un'ulteriore spinta in quella direzione.

Mia moglie sottolinea anche il fatto che probabilmente i piccoli erano più tranquilli quando venivano tenuti con il braccio sinistro, più vicino al suono del battito cardiaco, al quale erano abituati da quando si trovavano nell'utero. E questo lasciava libero il braccio destro per interagire con l'ambiente. La predominanza dell'uso della mano destra negli esseri umani (il 90 per cento di noi usa la destra) può aver avuto origine proprio da questo momento evolutivo. Dopo tutto i nostri cugini, le scimmie, non danno alcun segno di prediligere una mano anziché l'altra, e usano con la stessa destrezza l'arto destro o quello sinistro.

Le mani, finalmente

La scoperta, abbastanza recente, di alcune piccole ossa ha sollevato alcune interessanti domande sulla fabbricazione degli utensili fra le creature primitive che più assomigliano agli esseri umani.

Questi ominidi primitivi erano gli *australopithecines*, un termine che significa "scimmie del sud" perché gli scheletri fossili appartenenti alla loro specie furono sco-

perti per la prima volta in Sudafrica, e perché, a quanto pare, la loro presenza sulla Terra fu circoscritta ai soli territori dell'Africa meridionale e orientale. Tuttavia non erano scimmie, dato che le ossa delle loro anche e delle gambe sono molto simili alle nostre, e dato che camminavano in posizione eretta esattamente come noi.

I primissimi australopitechi devono essersi evoluti all'incirca cinque milioni di anni fa. E gli ultimi della loro specie si estinsero forse un milione di anni fa. Ciò significa che gli australopitechi sono esistiti per quattro milioni di anni e quindi possono a ben ragione essere considerati una razza di grande successo.

I primi australopitechi erano piccoli di statura, alti meno di un metro e venti, e pesavano solo una trentina di chili, più o meno. Il loro cervello aveva dimensioni inferiori rispetto a quello degli scimpanzé, tuttavia deambulavano sulle zampe posteriori, in posizione eretta, ed erano probabilmente più perspicaci degli scimpanzé.

Con il trascorrere dei secoli, gli australopitechi si evolvettero suddividendosi in diverse specie. Gli scienziati moderni, esaminando e catalogando le loro ossa fossili, hanno identificato almeno quattro specie. In generale, con il passare del tempo, gli australopitechi divennero più alti e svilupparono un cervello più grande.

All'incirca due milioni e 500 mila anni fa fece la sua comparsa la specie *Australopithecus robustus*: creature alte circa un metro e cinquanta e pesanti almeno una cinquantina di chili. Il loro cervello era tre volte più piccolo del nostro, ma leggermente più grande di quello di un gorilla. Gli esemplari più grandi di australopiteco "robusto" dovevano raggiungere dimensioni simili alle nostre.

Un semplice aumento di peso e di statura, tuttavia, da solo non è sufficiente a rendere gli australopitechi più umani.

Circa due milioni di anni fa, una certa specie di australopitechi (non identificata con precisione) sviluppò un cranio di dimensioni molto vicine a quelle del cranio dell'uomo moderno, più di qualunque altro australopiteco in precedenza. La nuova creatura si avvicinava talmente a noi che fu classificata nel nostro stesso genere e le fu dato l'onore del nome *Homo*, che in latino significa "uomo".

Il primo esemplare del genere *Homo* di cui si abbia notizia è *l'Homo habilis*, una creatura piuttosto piccola, certamente più piccola degli australopitechi di maggiori dimensioni. Dall'*Homo habilis* discende, subito dopo, *l'Homo erectus*, dalla corporatura più grande e dal cervello più sviluppato, che fu il primo ominide ad avventurarsi fuori dell'Africa e a diffondersi in Asia. E, infine, dall'*Homo erectus* discende *l'Homo sapiens*, prima una specie denominata "uomo di Neandertal" e poi l'"uomo moderno", vale a dire noi.

Habilis deriva dal latino e significa "abile" o "capace". Perciò *Homo habilis* significa "uomo abile". Venne chiamato così perché nel luogo in cui furono ritrovati i suoi resti fossili vennero anche scoperti alcuni minuscoli oggetti di pietra che sembravano utensili. Nei dintorni dei fossili di australopitechi, invece, non erano mai stati ritrovati utensili del genere.

A quanto sembra, dunque, soltanto le creature del genere *Homo* avevano abbastanza acume e ingegno da modellare e usare utensili di pietra. Benché deambulassero sugli arti posteriori come noi, gli australopitechi avevano certamente un cervello troppo ridotto per saper modellare la pietra, e ciò anche quando il loro cervello raggiunse all'incirca le dimensioni di quello dell'*Homo habilis*.

Questa è una delle tante frustrazioni che ci assalgono quando tentiamo di studiare i fossili degli ominidi. Non ci sono molti reperti dai quali cominciare. Quello di cui disponiamo consiste in larga parte di crani, denti, ossa iliache e femori. Non si sono ritrovate ossa delle mani, ed è proprio la mano, subito dopo il cranio, l'aspetto più caratteristico dell'umanità.

Ma di recente, in una caverna del Sudafrica, sono stati scoperti alcuni resti fossili della specie *Australopithecus robustus* che comprendono anche le ossa della mano.

Le mani, finalmente.

Ne è venuto fuori che gli australopitechi di dimensioni più grandi avevano mani con pollici opponibili, strutturate più o meno come le nostre. Gli australopitechi, almeno quelli della specie più evoluta e più recente, di dimensioni maggiori, avevano mani umane sotto ogni punto di vista.

Pare dunque ragionevole supporre che gli appartenenti alla specie *Australopithecus robustus*, con mani umane e con un cervello grande quasi quanto quello dell'*Homo habilis*, fossero in grado di maneggiare utensili.

Ma ci sono utensili e utensili. È probabile che gli australopitechi usassero rami d'albero o femori a mo' di clava. Magari modellavano in qualche modo il legno o le ossa per ricavarne utensili un po' più elaborati, ma il legno e le ossa non resistono all'usura del tempo come la pietra ed è per questo che non sono stati ritrovati resti lignei e ossei databili a milioni di anni fa. Inoltre è necessaria molta pazienza e una maggiore abilità per fabbricare gli strumenti di pietra più utili, ed è proprio qui che probabilmente gli australopitechi sono venuti meno.

Per scoprire se usassero utensili di pietra dovremmo ritrovarli insieme ai resti fossili di questi nostri antenati. Fino a questo momento, tutti gli utensili di pietra ritrovati nel corso di ricerche e scavi sono attribuiti a creature appartenenti al genere *Homo*. Le ultime scoperte indicano che ricerche più accurate e opinioni un po' meno preconette forse ci permetteranno di stabilire che anche creature diverse dal genere *Homo* maneggiavano attrezzi di pietra.

Un osso parla più di mille libri

La capacità di parlare, di produrre una varietà di suoni complessi con rapidità e chiarezza sufficienti a comunicare informazioni e idee astratte, è un aspetto peculiarmente ed esclusivamente umano. Ma prima che comparisse sulla Terra l'"uomo moderno" (*Homo sapiens sapiens*), circa 50 mila anni fa, esisteva forse qualche altra creatura con la stessa facoltà? Molti antropologi rispondono di no, ma pare che una stupefacente scoperta fatta poco tempo fa possa rovesciare questa risposta.

Perfino i nostri parenti più prossimi, i grandi primati, non parlano e, quel che è più importante, *non possono* parlare. La laringe di una scimmia (detta anche "cavità vocale") e la regione circostante non sono formate in modo tale da permettere alla scimmia di produrre la rapida varietà di suoni che produciamo noi. È stato insegnato a scimpanzé e gorilla a comunicare idee semplici, ma soltanto tramite segni e gesti. An-

che per le scimmie più "intelligenti" e più addestrate, parlare sarebbe facile quanto spiccare il volo. Non sono anatomicamente attrezzate per farlo.

Lo stesso vale per gli altri animali. Certi uccelli, come i pappagalli e alcune specie di corvi, pur avendo un'anatomia della gola totalmente diversa dalla nostra, possono essere addestrati a imitare suoni umani, ma naturalmente senza comprenderli. I delfini riescono a produrre una gamma di suoni ancora più estesa della nostra, ma non è chiaro se utilizzino questi suoni per esprimere concetti come fanno gli esseri umani.

Tutto questo, però, non risolve la questione relativa a *quando* i progenitori del genere umano incominciarono a parlare. Gli ominidi più primitivi dell'"uomo moderno" erano in grado di farlo?

Sembra improbabile che gli ominidi più primitivi - gli australopitechi, *'Homo habilis* e *'Homo erectus* - che vissero da cinque milioni a 200 mila anni fa, fossero in grado di parlare. I loro cervelli semplicemente non erano sviluppati a sufficienza e avevano dimensioni troppo ridotte.

L'unica probabilità resta l'uomo di Neandertal, che fece la sua comparsa sulla Terra al più tardi 300 mila anni fa e si estinse 30 mila anni fa. I suoi resti ossei dimostrano che era tanto simile a noi da essere spesso considerato una sottospecie dell'"uomo moderno": *'Homo sapiens neanderthalensis*. Le dimensioni del suo cervello erano pari alle nostre, persino superiori anche se solo di un soffio, ma la materia cerebrale di cui era composto era concentrata principalmente nella parte posteriore della scatola cranica... qualunque cosa ciò possa significare.

La domanda, dunque, è la seguente: l'uomo di Neandertal era o non era in grado di parlare? La chiave per un'eventuale risposta si trova nello ioide, un ossicino a forma di forcilla situato alla base della lingua ("ioide" deriva dal greco e significa per l'appunto "a forma di forcilla"). Non è collegato a nessun altro osso, ma soltanto alla laringe tramite undici piccoli muscoli divisi in due gruppi. Questi mini-muscoli sollevano e abbassano la laringe rendendo possibile l'emissione di vocali e consonanti in rapida successione. Senza lo ioide, non saremmo in grado di far compiere alla laringe i movimenti necessari per articolare le parole, e per questo potremmo definire lo ioide "l'osso parlante".

Fino a oggi, i resti di scheletri dell'uomo di Neandertal non hanno mai incluso uno ioide, perciò sembra ragionevole concludere che i neandertaliani non erano in grado di parlare. Forse riuscivano a comunicare fra loro abbastanza bene, ma soltanto per mezzo di un linguaggio gestuale e vari grugniti modulati.

Tuttavia, una prova simile non è conclusiva. Lo ioide è un ossicino molto piccolo, lungo solo due centimetri e mezzo, con due strette protuberanze a corno agli estremi che gli danno la caratteristica forma a forcilla, e non è collegato a nessun altro osso. Quando un cadavere si decompone, lo ioide si stacca dai tessuti che lo trattenevano e può andare a finire lontano dal resto dello scheletro. In realtà, nei nostri reperti non è presente nessun altro residuo della laringe, per cui non possiamo essere davvero sicuri che gli uomini di Neandertal non sapessero parlare.

Ma nell'aprile del 1989 è stata annunciata una sorprendente scoperta, a opera di Baruch Arensburg dell'Università di Tel Aviv e dei suoi collaboratori dell'Università di Bordeaux e della Moorhead State University del Minnesota. In una grotta sul Monte Carmelo, in Israele, erano stati rinvenuti i resti di alcuni uomini di Neandertal,

compreso uno ioide che aveva quasi esattamente la forma e le dimensioni di quello posseduto dagli uomini di oggi. L'età dell'ossicino è stimata a 60 mila anni.

Il sottinteso è che l'uomo di Neandertal fosse anatomicamente in grado di parlare. Ed essendo coesistito con l'uomo moderno per circa 50 mila anni, potrebbe aver appreso l'uso della parola dai suoi "cugini" più evoluti.

Devo ammettere che ho un interesse personale in questa faccenda. Gli scrittori di fantascienza si occupano spesso dei tempi preistorici, e in particolare dell'uomo di Neandertal. Parecchi anni fa, nel 1939, il mio amico Lester del Rey scrisse un toccante racconto intitolato *The Day Is Done* ("Il giorno è finito") che aveva come soggetto l'ultimo uomo di Neandertal. Questo superstite veniva trattato con ogni riguardo dai numerosi "uomini moderni" che lo circondavano, ma alla fine moriva di disperazione per il senso d'inferiorità che lo affliggeva. Il motivo era uno solo: non era capace di parlare.

Non ho mai accettato il finale di quel racconto. Sentivo che l'uomo di Neandertal era troppo simile a noi per essere incapace di parlare, e a mia volta, nel 1958, scrissi un racconto intitolato *The Ugly Little Boy* ("L'ultimo nato"), nel quale un bambino di Neandertal viene trasferito nel presente e impara a parlare la nostra lingua con la stessa facilità di un uomo di oggi.

Io e Lester abbiamo discusso più volte di questa faccenda. Prometto che cercherò di essere il più gentile possibile al momento di rifilargli la stoccata della scoperta dello ioide.

Il primo idioma umano

Quando gli uomini di Cro-Magnon dipinsero le loro colorate figure di animali in fondo alle caverne delle attuali Francia e Spagna, 25 mila anni fa, quale lingua parlavano? Che ci crediate o no, ci sono scienziati che stanno seriamente tentando di rispondere a questa domanda.

Ma come lo si potrebbe scoprire? Le antiche popolazioni primitive possono lasciarsi indietro ossa e utensili, e perfino la loro arte, ma non certo testimonianze scritte della lingua che usavano. Per farlo avrebbero dovuto essere capaci di scrivere, tanto per cominciare, e la scrittura è stata inventata solo 5 mila anni fa, all'incirca.

In un certo qual modo, tuttavia, gli uomini primitivi ci hanno lasciato testimonianze scritte dei loro idiomi, dal momento che le lingue non sono del tutto indipendenti tra loro. Ci sono parecchie somiglianze, per esempio, fra lingue come il portoghese, lo spagnolo, il catalano, il provenzale, il francese, l'italiano e - che ci crediate o no - il romeno. Queste lingue vengono definite "romanze", perché non soltanto sono molto simili ma derivano tutte dall'antica lingua dei Romani, vale a dire il latino.

Questo non è certo un mistero. Ai tempi dell'Impero Romano, il latino era una sorta di lingua franca, diffusa nella maggior parte dell'Europa occidentale. Dopo la caduta dell'impero, con il temporaneo declino dell'istruzione scolastica e di altri aspetti della civiltà, i dialetti latini nelle varie regioni dell'ex impero caddero in disuso e si

trasformarono a poco a poco in lingue autonome. Tuttavia si possono ancora cogliere molte similitudini nel vocabolario e nella grammatica degli idiomi appartenenti a quel ceppo linguistico.

Supponiamo per un momento di avere soltanto queste lingue romanze, e che il latino dal quale derivano sia completamente scomparso, al punto che non ne resti alcuna testimonianza scritta. Non sarebbe possibile prendere in esame le varie lingue romanze, studiarne le somiglianze e ricostruire la lingua comune dalla quale si sono sviluppate? Se qualcuno facesse davvero un'operazione del genere, la ricostruzione della lingua alla quale giungerebbe non sarebbe forse qualcosa di simile al latino?

Se si volesse andare ancora più indietro nel tempo, si potrebbe osservare che esistono numerose analogie tra il latino e il greco antico. I romani se ne rendevano perfettamente conto. Adottarono perciò le più sofisticate regole grammaticali usate nel greco, e le applicarono alla propria lingua. Non doveva quindi esistere un idioma ancora più antico, dal quale sono derivati sia il greco sia il latino?

La sorprendente risposta a questo interrogativo è venuta quando la lingua inglese cominciò a diffondersi in India nel corso del 1700. Lo scopo principale degli inglesi era lo sfruttamento delle risorse del paese per arricchire il regno britannico, ma naturalmente fra loro c'erano anche molti studiosi che per varie ragioni si interessavano alla civiltà dell'India. Fra gli altri c'era un tal Sir William Jones che si mise a studiare un antico idioma indiano, il sanscrito, il quale, come il latino, da tempo non era più in uso ma aveva dato origine alle moderne varianti della lingua indiana.

Il sanscrito sopravviveva però in antichi racconti epici e in scritti religiosi o di carattere sacro. Nel corso dei suoi studi, Jones scoprì nel vocabolario e nella grammatica del sanscrito numerose analogie sia con il latino sia con il greco antico. Inoltre, e questa fu la grande sorpresa, c'erano numerose somiglianze con le antiche lingue teutoniche, come per esempio il gotico, l'alto tedesco antico e il norvegese antico (norreno). Jones scoprì persino analogie con il persiano e con gli idiomi celtici.

Di conseguenza, nel 1786 Sir William Jones giunse alla conclusione che esisteva una famiglia linguistica "indo europea" composta di varie lingue autonome, in uso dall'Irlanda all'India, che probabilmente erano scaturite da un'unica fonte. Possiamo dunque immaginare che all'incirca nel 7000 a.C. esistesse una "tribù indo europea" che viveva, forse, in quella che oggi viene chiamata Turchia. Questa tribù si diffuse in ogni direzione, portando con sé il proprio idioma. La lingua originaria della tribù, però, subì diverse trasformazioni locali quando i vari gruppi si staccarono completamente gli uni dagli altri e si isolarono in località lontane. Studiando tutte le analogie tra le varie lingue appartenenti al ceppo "indo europeo", non si potrebbe dunque elaborare una sorta di unica lingua collettiva, un "proto-indoeuropeo" che possa davvero assomigliare all'idioma originario parlato da quella tribù intorno al 7000 a.C?

Una simile ipotesi divenne ancora più attendibile quando, nel Ventesimo secolo, furono elaborate le regole secondo le quali una lingua cambia con il passare del tempo. Tra i vari studiosi che si applicarono a quel lavoro filologico ci furono, fra gli altri, i fratelli Grimm, oggi conosciuti soprattutto per l'importante raccolta di fiabe della tradizione tedesca che ci hanno lasciato.

Esistono, però, altre famiglie linguistiche non indoeuropee. Ci sono le lingue semitiche, tra le quali si annoverano l'arabo, l'ebraico, l'aramaico e l'assiro. Ci sono le lin-

gue camitiche, tra le quali sono compresi idiomi diffusi nel remoto passato in Egitto, in Etiopia e in tutto il Nordafrica. Ci sono le lingue uralo-altaiche, che comprendono il turco, l'ungherese e il finnico (in altre parole, se la Turchia era davvero la patria originale degli indoeuropei, le vicissitudini della storia hanno fatto in modo che in Turchia al giorno d'oggi si parli una lingua non appartenente al ceppo indoeuropeo).

Poi ci sono le diverse varietà di lingue e dialetti parlati dagli indiani d'America, dagli africani neri, dai cinesi e dagli altri asiatici, dai polinesiani, dagli aborigeni australiani e così via.

Ci sono persino lingue che non hanno apparentemente alcuna relazione con nessun'altra, come per esempio l'antico sumero e il basco moderno.

Ma, forse, se tutte le lingue conosciute fossero analizzate e studiate a fondo sarebbe possibile elaborare un idioma originale dal quale tutte discendono... Sarebbe certo un compito gravoso, per non dire immane, ma senza dubbio sarebbe un'operazione estremamente interessante per i linguisti.

Questo *argomento è stato* discusso nel 1989 da Vitaly Schevoroshkiy dell'Università del Michigan in un convegno internazionale di linguisti che hanno svolto separatamente diverse ricerche a questo riguardo.

Oltretutto, sarebbe un tentativo utilissimo poiché se si riuscisse a scoprire come la lingua dell'uomo si è sviluppata nel corso della storia, è probabile che diventerebbe chiaro anche come si sono svolte le migrazioni e gli spostamenti geografici dei primi membri della popolazione *Homo sapiens*.

La prima scoperta dell'uomo

Una prima importantissima scoperta fatta dagli esseri umani o, meglio, dai più primitivi ominidi fu l'uso del fuoco. Tuttavia non abbiamo mai saputo con esattezza quanto tempo fa avvenne questa scoperta. Ma recentemente due archeologi sudafricani hanno dimostrato che la scoperta del fuoco potrebbe risalire a parecchio tempo prima di quello che si pensava.

Si noti che non si sta parlando tanto della scoperta del fuoco in sé. Il fuoco era un avvenimento piuttosto comune, fin da quando le foreste fecero la loro apparizione sulla Terra, circa 400 milioni di anni fa. Gli alberi e le foreste primeve potevano bruciare e, colpite dai fulmini, in effetti bruciarono, centinaia di milioni di anni prima che gli esseri umani facessero la loro comparsa. Gli animali erano terrorizzati da questi enormi incendi, e li fuggivano sempre.

Gli esseri umani o pre-umani, invece, furono i primi organismi che non si diedero semplicemente alla fuga di fronte al pericolo del fuoco. Impararono a domarlo e a farne buon uso. Portavano con ogni cautela un ramo d'albero in fiamme in un luogo adatto, lo mettevano al riparo, ne alimentavano la fiamma con altri rami secchi e con pezzi di legno, e mantenevano acceso il focolare.

In un primo tempo, gli esseri umani o i loro antenati dovettero dipendere dai fulmini per accendere il fuoco. Se il focolare si spegneva dovevano ricorrere a una tribù vi-

cina oppure aspettare che un altro fulmine durante un forte temporale incendiasse un albero. Furono necessarie molte migliaia di anni prima che gli esseri umani imparassero ad accendere il fuoco da soli, a essere - per così dire - artefici di fulmini. Non sappiamo esattamente quando ciò avvenne, né come avvenne.

Nondimeno, proprio l'uso del fuoco, anche da parte di creature che non erano capaci di accenderlo da sole, costituì un enorme vantaggio. Con il fuoco si poteva avere la luce anche di notte e il calore anche d'inverno. Il fuoco aumentò il numero delle ore giornaliere disponibili per ogni tipo di attività e permise agli esseri umani di ampliare i propri territori abitabili oltre i limiti dei tropici, e di vivere in regioni notevolmente più fredde. Il fuoco spaventava e teneva lontani gli altri animali, inclusi i grandi predatori, cosicché gli esseri umani potevano dormire in tutta sicurezza nelle loro caverne, sulla cui soglia erano sempre accesi e vivi i fuochi di bivacco. E questo contribuì ad aumentare la sicurezza degli esseri umani.

Il fuoco poteva arrostitire la carne e renderla più saporita, e ne ammorbidiva le fibre cosicché risultava più facile da masticare. Poteva rosolare i chicchi di grano e le granaglie in genere, e renderle molli e commestibili, aumentando grandemente le risorse alimentari disponibili. Inoltre il fuoco uccideva microbi, germi e parassiti presenti nel cibo, riducendo i pericoli di malattie.

Infine, gli esseri umani impararono a indurire l'argilla cuocendola, e ciò rese possibile la fabbricazione di vasi e di orci in terracotta. Impararono anche a fondere la sabbia per ricavarne vetro e a rendere incandescenti altri minerali ricavandone metalli. In breve, il fuoco fu l'indispensabile inizio della tecnologia umana. Questa è una delle ragioni per cui non importa affatto quanto siano intelligenti i delfini o certe altre creature marine: senza il fuoco non potranno mai sviluppare neppure la più rozza tecnologia. E il fuoco non può essere certo acceso in un mondo d'acqua.

Quando fu usato per la prima volta il fuoco? Fino ai primi anni Ottanta le più antiche tracce di fuochi di bivacco furono quelle scoperte nelle grotte di Zhoukoudian, nei pressi di Beijing (Pechino), la capitale della Cina. In quella remota località furono trovati i resti di antichi fuochi di bivacco risalenti a circa 500 mila anni fa.

Nessun essere umano del genere *Homo sapiens* visse in quelle grotte. Infatti, *l'Homo sapiens* a quell'epoca non si era ancora evoluto. Gli abitanti di quelle caverne erano semplici ominidi del genere *Homo erectus*, più simili a uomini moderni che a scimmie, ma dotati di un cervello grande poco più della metà del nostro.

Ciò nonostante, la sua intelligenza fu sufficiente per fargli scoprire come mantenere vivo il fuoco e come usarlo, e almeno per questo dovremmo essere riconoscenti nei confronti di questo nostro antenato.

Ma la scoperta fatta in Cina si può considerare davvero il più antico documento dell'uso del fuoco?

Forse no, dal momento che il primo dicembre 1988 due archeologi, C.K. Brain e A. Sillen, hanno annunciato la scoperta di fuochi di bivacco molto più antichi in certe grotte in Sudafrica, una cinquantina di chilometri a ovest di Pretoria.

In queste grotte sono stati rinvenuti resti di ossa che presentano tracce di combustione. Le ossa fresche sono piene di midollo e ricoperte di grasso. Se esposte alla fiamma di un comune fuoco di legna, si incendiano e bruciano con fiamma molto luminosa e con calore intenso, proprio come una torcia resinosa. A quanto pare, i primi-

tivi abitanti di quelle caverne hanno utilizzato le ossa come torce per illuminare le caverne e riscaldarsi quando faceva freddo.

Le ossa bruciate che sono state ritrovate hanno un'età di un milione e 500 mila anni, e sono quindi tre volte più antiche dei primitivi fuochi di bivacco scoperti a Zhoukoudian. Negli strati inferiori delle caverne sudafricane non c'erano segni di ossa carbonizzate, ma, una volta comparse, risultano presenti in ogni strato successivo fino a quelli più recenti. In altre parole, una volta che il fuoco fu scoperto continuò a essere usato in seguito. Era troppo utile per lasciarlo cadere nell'oblio.

Gli abitanti di quelle antiche caverne in Sudafrica erano i primissimi esemplari di *Homo erectus*, perciò sembra che quegli antichi ominidi abbiano incominciato a servirsi del fuoco piuttosto alla svelta dopo l'evoluzione della loro specie.

Infatti, ci sono prove che in quelle stesse caverne è vissuto in un periodo precedente un tipo di ominide ancora più primitivo, denominato *Australopithecus robustus*. A quanto pare, questa specie cominciò a estinguersi non molto tempo dopo che i fuochi nelle caverne entrarono nell'uso corrente, cedendo quindi il dominio della Terra all'*Homo erectus* e al suo discendente, *Homo sapiens*.

Il Australopithecus robustus ci ha forse lasciato in eredità l'uso del fuoco prima di scomparire? A parer mio, non è molto probabile. Tuttavia è possibile.

Alimentare i fuochi

La prima fonte di energia dell'uomo, a parte la sua forza fisica, fu il fuoco, ovvero la combustione di materiali infiammabili facilmente reperibili nei dintorni del luogo abitato. Il progresso può portare ad altre fonti di energia, ma rimarrà sempre la fondamentale esigenza di bruciare il combustibile, e gli scienziati continueranno sempre a cercare combustibili più efficienti e che non si esauriscano troppo facilmente.

Quasi tutti i tipi di combustibile contengono atomi di carbonio o di idrogeno oppure entrambi. Il carbonio e l'idrogeno si combinano con l'ossigeno producendo luce e calore. Questi tre tipi di atomo sono molto comuni nell'ambiente.

I primi combustibili utilizzati dagli esseri umani furono il legno e, in misura notevolmente minore, i grassi e gli olii ricavati dalle piante e dagli animali. Legno, grassi e olii sono combustibili rinnovabili poiché gli esseri viventi si moltiplicano, crescono e producono altro legno, altri olii e grassi che possono sostituire ciò che è bruciato.

Ma non in misura sufficiente. Con l'aumento demografico degli uomini e il loro progresso tecnologico, furono necessari altri materiali combustibili e in misura crescente. Nel complesso, veniva utilizzato più combustibile di quello che la natura produceva. Le foreste si ridussero notevolmente.

In effetti l'umanità non avrebbe mai conosciuto la rivoluzione industriale, nel corso della quale crebbe notevolmente il bisogno di energia, se non fossero entrati in uso nuovi tipi di combustibile, principalmente carbone, petrolio e gas naturale. Il carbone è ciò che resta del legname prodotto centinaia di milioni di anni fa ed è composto principalmente di carbonio oltre che di una minima quantità di idrogeno. Il petrolio e

il gas naturale sono i residui di microscopiche creature che vissero centinaia di milioni di anni fa. Anch'essi sono composti di atomi di carbonio e di idrogeno.

Attualmente, noi utilizziamo quantità enormi di questi "combustibili fossili" (così chiamati perché derivanti da primordiali forme di vita), che però si rinnovano in quantità minuscole e con una lentezza spaventosa. In effetti stiamo vivendo delle grandi risorse fornite dalla natura, e le stiamo dissipando. Alla fine, le nostre riserve di carbone, di petrolio e di gas naturale saranno consumate per sempre. E non potremo certo ricominciare a bruciare legna, dato che al ritmo attuale le foreste - che continuano a essere quotidianamente ridotte - sarebbero rapidamente spazzate via dalla faccia della Terra.

Per giunta, al di là del fatto che ce ne siano ancora in abbondanza, i combustibili che stiamo usando sono pericolosi. Sia il carbone sia il petrolio contengono in quantità ridotta atomi di azoto e di zolfo, i quali nella combustione producono ossidi estremamente velenosi e acidi. L'atmosfera viene inquinata e aumentano le malattie alle vie respiratorie. Entrando nel ciclo atmosferico producono inoltre le famigerate piogge acide, che uccidono laghi e foreste.

Anche gli atomi di carbonio sono pericolosi, poiché bruciando producono anidride carbonica, facendo lentamente aumentare la presenza di questo gas nell'atmosfera. La concentrazione attuale è ancora molto ridotta, ma una delle caratteristiche dell'anidride carbonica è di essere un gas che mantiene efficacemente il calore, per cui anche un aumento minimo del tasso di anidride carbonica nell'atmosfera è in grado di cambiare il clima della Terra peggiorandolo notevolmente.

Per queste ragioni - disponibilità limitata e pericolosità dei combustibili fossili - gli scienziati stanno cercando fonti di energia alternative.

Ho menzionato i pericoli relativi alla combustione dell'azoto, dello zolfo e del carbonio, ma che dire dell'idrogeno? L'idrogeno brucia molto più facilmente degli elementi appena citati e nella combustione produce un'energia considerevolmente maggiore. E, soprattutto, l'idrogeno durante la combustione produce soltanto acqua, che è del tutto innocua.

Per essere esatti, l'idrogeno brucia così facilmente perché ha la tendenza a esplodere, ma la stessa proprietà ce l'hanno la benzina e il gas naturale. Dobbiamo soltanto maneggiarli con estrema cautela.

Il vero problema è che l'idrogeno non si trova allo stato libero in natura. Non si può semplicemente tagliarlo come si tagliano gli alberi, o estrarlo da una miniera come il carbone, e nemmeno si può trivellarlo dal sottosuolo come il petrolio. Dev'essere prodotto chimicamente in laboratorio ricavandolo da sostanze che lo contengono.

Per esempio, carbone, petrolio e gas naturale contengono atomi di idrogeno, e da essi si può ricavare idrogeno puro. Ma per farlo occorre molta energia. Si deve bruciare una certa quantità di petrolio per ricavare idrogeno da altro petrolio e, in questo modo, si finisce per avere meno combustibile di quello disponibile all'inizio.

Gli scienziati stanno cercando di trovare un modo per produrre idrogeno da altri combustibili senza impiegare energia. In genere, però, le reazioni chimiche che non consumano energia richiedono l'uso di catalizzatori, e trovare il catalizzatore giusto non è facile. Inoltre, quando tutti i combustibili saranno esauriti non ci sarà più alcun modo per ottenere l'idrogeno, con o senza catalizzatori.

Non c'è nient'altro, a parte i combustibili, che contenga idrogeno? Ma certo: c'è l'acqua. Un ottavo del suo peso atomico è idrogeno. L'unico problema è che per ricavare idrogeno dall'acqua è ancora necessaria dell'energia. Le piante lo fanno per mezzo della fotosintesi clorofilliana, nella quale utilizzano la luce del Sole come fonte di energia. Gli scienziati stanno cercando di riprodurre in laboratorio il sistema della fotosintesi, rendendolo inoltre più rapido ed efficiente. Una volta scoperto il modo, si potrebbe trasformare l'acqua in idrogeno (con l'aiuto della luce solare), bruciare l'idrogeno per ottenerne energia e ricavarne di nuovo acqua. Un combustibile simile non si esaurirebbe mai: durerebbe finché dura il Sole.

Il celacantide, nostro cugino

In confronto alla Terra così com'è, o persino com'era in passato, l'acqua è una migliore e ben più mite arena per la vita. La prova è che molte forme di vertebrati terrestri sono tornate a forme di vita marine adattandosi a vivere nell'acqua. Basti pensare ai serpenti marini, alle testuggini, ai pinguini, alle foche, ai trichechi, ai delfini e alle balene.

D'altro canto, certi vertebrati marini sembrano essersi avventurati sulla terraferma ed essersi evoluti fuori dall'acqua: questo avvenne una sola volta, 370 milioni di anni fa. In seguito non successe mai più... la terra è ben poco accogliente.

Circa 370 milioni di anni fa i vertebrati che dominavano il mondo acquatico erano i pesci. Ne esistevano due specie principali: quelli con pinne lobate e quelli con pinne a raggiera. Questi ultimi avevano pinne formate da una sottile e delicata membrana rinforzata da un certo numero di raggi cartilaginei che facevano aprire la pinna a modo di ventaglio. Pinne di questo tipo erano eccellenti per spostarsi nell'acqua.

I pesci con pinne lobate, dette anche peduncolate perché assomigliavano a zampe, vivevano in acqua dolce e le loro pinne erano principalmente dei lobi carnosissimi, forniti a malapena di una piccola frangia. Questo tipo di pinne non funzionava altrettanto bene per gli spostamenti, ma aveva un indubbio vantaggio. Quando, durante un periodo di siccità, il livello di uno stagno si abbassava troppo, un pesce con pinne lobate poteva emergere dall'acqua e muoversi sulla terraferma, avanzando a fatica sui propri peduncoli rigidi e spingendosi alla ricerca di uno stagno più grande.

A poco a poco le pinne lobate o, meglio, peduncolate subirono un'evoluzione cosicché i pesci con questo tipo di pinne furono in grado di muoversi sulla terraferma con maggiore facilità e di restarci più a lungo. Alla fine, avendo acquisito la capacità di restare fuori dell'acqua a tempo indeterminato, si adattarono a una vita terrestre, almeno da adulti. Tuttavia, erano ancora costretti a ritornare in acqua per deporre le uova.

Infine, una particolare specie di anfibi sviluppò un tipo di uovo che poteva essere deposto sulla terraferma, e nacquero così i primi rettili. I rettili continuarono a svilupparsi e a trasformarsi: da alcune diramazioni si svilupparono gli uccelli, da altre i mammiferi (inclusi, alla fine, noi). Dunque, gli antenati di tutti i vertebrati terrestri,

inclusi gli uomini, sono una particolare specie di pesci forniti di pinne peduncolate.

Nell'acqua, però, le pinne peduncolate non avevano la stessa efficacia e praticità delle pinne a raggiera, con le quali non potevano assolutamente competere. Le pinne a raggiera erano di gran lunga migliori per nuotare. Circa 150 milioni di anni fa, quando i dinosauri avevano ancora il dominio della Terra, i pesci dotati di pinne peduncolate si estinsero. Tutto ciò che ne rimase fu la loro progenie evoluta: i vertebrati terrestri.

O così si pensava. Il 25 dicembre del 1938, un motopeschereccio che stava pescando nelle acque al largo del Sudafrica raccolse nelle reti uno strano pesce lungo circa un metro e mezzo. Fu portato in un museo locale dove una certa signorina Latimer decise di consultare uno zoologo sudafricano, tal J.L.B. Smith. Lo studioso convocato esaminò il pesce e si rese subito conto di trovarsi di fronte a un inatteso e stupefacente regalo di Natale. Era un pesce con pinne peduncolate, a lobo, e al momento della cattura era senz'altro vivo, benché fosse morto quando lo avevano tirato fuori dall'acqua.

Evidentemente, una particolare specie di pesci con pinne peduncolate era riuscita ad adattarsi all'acqua salata e si era avventurata nel mare stabilendo il proprio ambiente biologico a medie profondità oceaniche. Quei pesci erano sfuggiti all'estinzione ma erano estremamente rari e si erano tenuti ben lontani da ogni possibilità di essere scoperti, cosicché gli zoologi non si erano mai accorti della loro esistenza. Questi pesci con pinne peduncolate, adattati all'acqua salata, furono chiamati "celacantidi".

I celacantidi non appartenevano alla stessa specie di pesci con pinne peduncolate che era emersa dall'acqua spingendosi sulla terraferma e che si era sviluppata in altre forme di vita animale, dando origine agli anfibi, ai rettili e a tutti i vertebrati. Appartenevano invece a un ramo collaterale che aveva scelto di rimanere nell'acqua. I celacantidi non discendono dunque dai nostri stessi antenati primordiali, ma da una linea collaterale. Comunque, benché non sia possibile definirli nostri nonni, sono per lo meno nostri cugini. Di tutti i pesci del mare, sono quelli con i quali siamo più direttamente imparentati.

In seguito vennero catturati altri celacantidi: circa una decina all'anno. Dal momento che non sono abituati alla vita in prossimità della superficie, in genere vengono pescati già morti o morenti. Di conseguenza, non abbiamo ancora avuto la possibilità di esaminarli da vivi, né sono mai stati studiati nel loro ambiente naturale.

Uno zoologo tedesco, Hans Fricke, di recente ha affermato di essere riuscito a osservare alcuni celacantidi vivi con l'aiuto di un piccolo batiscafo immerso in prossimità delle Isole Comore, nell'Oceano Indiano, dove vive il celacantide.

Fricke è tuttora impegnato ad analizzare le fotografie raccolte, che non sono ancora state rese pubbliche. Comunque lo zoologo afferma che il celacantide si muove molto lentamente nell'acqua. A quanto pare, è ancora un "nuotatore in erba". Mentre i pesci forniti di pinne a raggiera usano la pinna caudale per la propulsione e le pinne dorsali e ventrali principalmente per mantenere l'assetto e per virare, i celacantidi utilizzano le proprie pinne ventrali, che sono simmetriche e peduncolate, come delle pagaie. Letteralmente, "vogano" nell'acqua.

Questa tecnica di spostamento non è certo efficace come quella usata dai pesci con pinne a raggiera, ma significa che sulla terraferma il celacantide - e presumibilmente

anche altri pesci dotati di pinne peduncolate - troverebbe più naturale camminare, dato che con il suo particolare modo di vogare compie essenzialmente gli stessi movimenti di chi cammina. Di conseguenza, dovrebbe adattarsi facilmente alla vita terrestre.

Fricke afferma anche che i celacantidi superstiti sono talmente pochi che ulteriori catture, per quanto rare, potrebbero portare la specie all'estinzione. Dopo che questi eccezionali pesci sono riusciti a sopravvivere così a lungo, la loro estinzione per mano dell'uomo sarebbe una vera vergogna. Da noi si meriterebbero qualcosa di più... dopo tutto, sono i nostri cugini.

L'implacabile crescita della popolazione

Più o meno all'inizio del 1987, forse qualche settimana prima o dopo, la popolazione della Terra ha raggiunto i cinque miliardi di persone. L'incertezza nasce dal fatto che in molte regioni del nostro pianeta non vengono eseguiti censimenti accurati, perciò dobbiamo basarci su stime approssimative.

La cifra di cinque miliardi è notevole, ma forse non sembrerà al lettore così catastrofica. Riflettiamo però su quanto segue: l'uomo moderno fece la sua comparsa sulla Terra circa 50 mila anni fa, e la popolazione umana sull'intero pianeta non ha raggiunto il miliardo fino al 1810. Attorno al 1925 è stata raggiunta la cifra di due miliardi. In altri termini, la popolazione umana ha impiegato 50 mila anni per raggiungere la cifra totale di un miliardo, 115 anni per raddoppiare e soltanto trent'anni per triplicare (ha raggiunto i tre miliardi nel 1955). Poi, le sono bastati 21 anni per aumentare di un altro miliardo, dopo di che nell'arco di neppure un decennio l'esplosione demografica ha raggiunto la bella cifra di cinque miliardi. Probabilmente ci vorranno soltanto altri nove anni per raggiungere i sei miliardi.

È ovvio notare che la popolazione umana aumenta vertiginosamente. E ciò non sorprende più di tanto, dato che, dal momento che ci sono molte più persone, nascono di conseguenza molti più bambini. Per giunta, dato che il grado di civiltà è cresciuto notevolmente, la vita dell'uomo si è fatta sempre più sicura e il tasso di mortalità è diminuito. Nell'ultimo secolo e mezzo questo fenomeno si è accentuato, grazie ai progressi della scienza e della medicina. (Quello che conta non è quanti bambini sono nati, ma di quanto il numero delle nascite supera il numero dei decessi.)

È una strada pericolosa. L'implacabile ascesa della popolazione umana significa che ci devono essere sempre più aree abitabili per gli esseri umani, e così i grandi territori selvaggi stanno per essere spazzati via dalla faccia della Terra. Per sostenere l'aumento demografico dev'essere strappata alla Terra una quantità sempre maggiore di risorse naturali. Di conseguenza, inquinamento e contaminazioni ambientali di un tipo o dell'altro devono essere prodotti in quantità sempre maggiori. Stiamo distruggendo il nostro pianeta.

Fino a quando potremo continuare? Non per molto. È probabile che la Terra non possa dare sostentamento a un numero di persone molto maggiore. Ho sentito dire dai

più deliranti ottimisti che con il progresso della scienza e con la fine degli sprechi richiesti dalla guerra e dai preparativi bellici, la Terra può benissimo essere in grado di mantenere una popolazione di 50 miliardi di abitanti. Ho enormi dubbi a questo proposito ma, anche se fosse vero, all'attuale ritmo di crescita demografica la popolazione terrestre raggiungerà i 50 miliardi in poco più di un secolo, nel 2100. E dopo?

Forse potremo trasferire la popolazione in eccesso sulla Luna o su Marte, oppure farla vivere su mondi artificiali in orbita attorno alla Terra. A questo scopo, nel prossimo secolo dovremmo trasferire nello spazio 45 miliardi di persone semplicemente per mantenere la popolazione della Terra all'attuale cifra di cinque miliardi. Qualcuno pensa davvero che ci si possa riuscire?

Proviamo a portare la questione alle estreme conseguenze. Si calcola che tutta la materia nell'universo ammonti a circa 200 miliardi di miliardi di miliardi di miliardi di tonnellate. Supponiamo di immaginare per un attimo che in un modo o nell'altro si riesca a superare ogni ostacolo, a inviare istantaneamente esseri umani in ogni angolo dell'universo e a trasformare tutte le stelle e i pianeti in modo che producano cibo e ossigeno. Potendo consumare ogni sorta di sostanza, la popolazione umana aumenterebbe fino a raggiungere la cifra di 4 mila miliardi di miliardi di miliardi di persone. Quanto tempo sarebbe necessario? Un miliardo di anni? Mille miliardi di anni?

Be', non proprio. All'attuale ritmo di crescita demografica, nell'ipotesi che continui senza variazioni e a tempo indeterminato, basterebbero 3500 anni.

Entro l'anno 6500 avremmo conquistato l'intero universo riempiendolo di esseri umani. Ovviamente non andrà così, e quindi l'aumento demografico dev'essere fermato... e presto! Ma come?

In effetti l'implacabile aumento di popolazione può essere fermato soltanto in due modi. Innanzitutto si può aumentare il tasso di mortalità fino a quando il numero dei decessi non supera il numero delle nascite. Oppure si può diminuire il tasso di natalità fino a quando le nascite non diventano meno numerose dei decessi.

Il metodo usato dalla natura per ridurre la popolazione in eccesso è quello di aumentare il tasso di mortalità. Quando una specie si moltiplica in modo eccessivo, ecco che intervengono le carestie - e con esse le malattie - e i predatori hanno la meglio. In breve, se non facciamo nulla il tasso di mortalità aumenterà senza bisogno del nostro aiuto. L'umanità subirà carestie, epidemie e guerre, e la popolazione terrestre verrà catastroficamente ridotta. In questo processo la civiltà sarà spazzata via dalla faccia del pianeta. È fuori di dubbio che qualsiasi persona con la testa a posto considererebbe questa soluzione la meno appropriata e auspicabile.

L'alternativa, come ho affermato poc'anzi, è quella di ridurre il tasso di natalità. L'astensione volontaria dalla pratica del sesso risolverebbe il problema, ma non è ragionevole aspettarsi che una cosa simile avvenga su larga scala. Mancando questa possibilità, la gente deve imparare a usare correttamente i vari metodi anticoncezionali. Questo tipo di educazione viene incoraggiato e diffuso sempre più in varie parti del mondo. In Cina, per esempio, il tasso di natalità è diminuito drasticamente, ed è lentamente diminuito anche nel resto del mondo, dopo aver raggiunto l'apice nel 1970, il che è certo un segno promettente. Ma non è ancora abbastanza.

Ci sono persone che considerano immorale la contraccezione. Ma sono forse mora-

li, mi chiedo, la distruzione della civiltà e le stragi di massa?

PARTE SECONDA
Frontiere della scienza

I luminosissimi raggi X

Al giorno d'oggi gli scienziati sono in grado di fotografare le molecole con un "tempo di posa" di 1/10.000.000.000 di secondo. Questo intervallo è talmente breve che gli atomi nelle molecole non hanno il tempo di muoversi troppo e perciò nell'immagine scattata sono "bloccati", per così dire, nel mezzo di un movimento.

Le origini di questa tecnica risalgono a circa tre quarti di secolo fa, quando si scoprì che i raggi X erano formati da onde particolarmente minuscole, tanto piccole da potersi insinuare fra un atomo e l'altro nelle sostanze cristalline.

Nei cristalli gli atomi sono disposti secondo un modello geometrico ordinato: in varie file distinte, in righe allineate e a strati. Nel 1912, lo scienziato tedesco Max von Laue dimostrò che un fascio di raggi X che colpisca le disposizioni geometriche degli atomi di un cristallo subisce una *diffrazione*, viene cioè deviato dalla sua direzione originale. Se, dopo essere passati attraverso il cristallo, i raggi X colpiscono una lastra fotografica, formano una serie di punti la cui simmetria dipende da come sono stati diffratti dai diversi strati di atomi. Da queste *immagini di diffrazione* gli scienziati hanno potuto calcolare le posizioni degli strati di atomi e scoprire così la struttura dei cristalli.

Questo procedimento è stato esteso dai cristalli di sostanze semplici come il sale, fino a molecole complesse come le proteine e gli acidi nucleici. In questo modo, gli scienziati hanno scoperto la struttura atomica dell'emoglobina - la proteina che trasporta l'ossigeno, responsabile del colore rosso del sangue - e dell'acido desossiribonucleico, cioè il DNA, la molecola responsabile della trasmissione dei caratteri ereditari.

Tuttavia c'era un tranello. Il metodo più comune per generare un fascio di raggi X era far sì che una corrente di elettroni ad alta velocità colpisse un oggetto metallico. L'improvviso rallentamento degli elettroni conseguente alla collisione produceva i raggi X. Ma quel tipo di raggi X era talmente debole e poco luminoso che per ottenere buone immagini di diffrazione spesso si doveva esporre l'oggetto ai raggi X per ore o persino per giorni.

In un tempo così lungo, ogni atomo si muoverà vibrando attorno a un certo punto fisso. Di conseguenza l'immagine di diffrazione, pur mostrando la struttura di quel punto, non poteva spiegare come si comportassero gli atomi nel corso delle loro vibrazioni, il che costituiva uno svantaggio considerevole nel caso di molecole complesse. Inoltre, un'esposizione così prolungata ai raggi X aumentava la possibilità che

un raggio potesse danneggiare un atomo e alterarne la disposizione, specialmente nel caso di proteine e di altre molecole dalla struttura atomica molto fragile e complessa.

C'è un altro modo per ottenere i raggi X. Gli elettroni hanno la caratteristica di turbinare in circolo sotto l'influenza di un forte campo magnetico. Per costringere gli elettroni a uscire dai loro percorsi rettilinei è necessaria una grande quantità di energia, e questa energia scaturisce in senso centrifugo sotto forma di raggi X. Oltretutto, si tratta di raggi di notevole potenza.

In anni recenti, questi raggi di elettroni turbinanti sono stati utilizzati per produrre lampi ultrabrevi di raggi X ultrapotenti. Nell'autunno del 1987, alcuni scienziati del MIT - Massachusetts Institute of Technology - sono riusciti a utilizzare un lampo di raggi X della durata di pochi millisecondi per ottenere un'immagine di diffrazione dell'emoglobina. L'esperimento ha avuto ottimi risultati, tuttavia la rapidità del lampo utilizzato non era ancora sufficiente per "congelare" la molecola in una condizione di immobilità assoluta.

Adesso, però, sono stati prodotti fasci di raggi X talmente potenti che una molecola complessa importante per il tessuto vivente può essere esposta ai raggi per un decimillesimo di secondo soltanto. Un raggio così potente viene prodotto facendo in modo che gli elettroni, oltre a roteare, si spostino avanti e indietro. A questo scopo si utilizza uno strumento particolare, detto *ondulatore*, impiegato con successo alla Cornell University.

I potenti raggi ottenuti con questo procedimento determinano con esattezza la posizione di ciascun atomo a metà di una vibrazione, senza che ci sia tempo perché i raggi X producano qualche danno agli atomi. Se poi le immagini di diffrazione sono ricavate in tempi diversi, gli atomi saranno visti in posizioni leggermente diverse, e potranno essere determinati i movimenti della molecola. Questo potrebbe metterci in condizione di procurarci inedite informazioni su come operano queste molecole all'interno delle cellule viventi.

Ma il tranello (c'è sempre un tranello) consiste nel fatto che un ondulatore occupa un bel po' di spazio ed è molto costoso. Simili esperimenti con i raggi X ultrarapidi non possono essere svolti in tutti i laboratori: per forza di cose sono limitati a pochi centri ad altissima tecnologia.

Di recente, alcuni scienziati hanno intrapreso un progetto per costruire, forse nel 1995, uno strumento costituito da molti ondulatori, trentacinque per la precisione, ciascuno dei quali molto più potente di quello attualmente in uso alla Cornell University.

Gli ultrapotenti raggi X che potrebbe produrre sarebbero ideali per studiare, per esempio, la struttura dei nuovi materiali superconduttori. Aiuterebbero gli scienziati a determinare quali disposizioni atomiche sarebbero necessarie per ottenere la superconduttività ad alta temperatura. Potrebbero essere impiegati per studiare la struttura delle meteoriti, e ottenere così un'immagine più precisa della costituzione chimica originaria del sistema solare. Potrebbero essere usati per determinare la presenza delle varie impurità microscopiche all'interno dei più diversi materiali, nel caso che le impurità fossero desiderabili oppure indesiderabili.

Per raggi X di questo tipo, le applicazioni sarebbero infinite.

Un premio in ritardo

Il premio Nobel per la fisica del 1986 è andato per metà a un ingegnere elettronico tedesco di nome Ernest A.F. Ruska. Che cos'ha fatto per meritarselo? Ha costruito il primo microscopio elettronico funzionante.

I comuni microscopi, quelli che quasi tutti abbiamo avuto occasione di usare al tempo della scuola, fanno uso di onde luminose. Queste onde luminose vengono messe a fuoco dalle lenti del microscopio in modo tale che gli oggetti anche più minuscoli, troppo piccoli per essere visti a occhio nudo, vengano ingranditi di parecchie volte così da essere esaminati in ogni dettaglio. Però l'ingrandimento è limitato. Un microscopio che utilizzi una sorgente luminosa può "vedere" soltanto gli oggetti che siano grandi almeno quanto un'onda luminosa. Su un oggetto che abbia dimensioni più piccole la luce letteralmente "scivola via".

Supponiamo invece che si utilizzino i raggi X, che sono formati da onde luminose grandi un millesimo, o anche meno, delle normali onde luminose. In tal caso si riuscirebbero a distinguere oggetti mille volte più piccoli di quelli visibili con i comuni microscopi. Il problema è che i raggi X sono troppo *energetici*: passano attraverso gli oggetti che dovrebbero rendere visibili, cosicché non si riesce a vedere nulla.

Tuttavia, nel 1924, fu dimostrato che gli elettroni - che allora tutti ritenevano minuscole particelle di materia - avevano le stesse proprietà delle onde luminose. Utilizzando campi elettronici in maniera appropriata, gli elettroni potevano essere messi a fuoco proprio come le onde luminose. Per di più, le onde elettroniche avevano le dimensioni dei raggi X e non passavano attraverso la materia con altrettanta facilità. Gli elettroni, infatti, rimbalzano sulla materia proprio come la luce e permettono di "vedere", per mezzo delle minuscole onde elettroniche, molto di più di quello che viene reso visibile da onde luminose più lunghe.

Sette anni più tardi, nel 1931, Ruska costruì il primo microscopio in grado di "illuminare la materia" per mezzo di un fascio di elettroni. Ma perché Ruska non ebbe il Nobel *allora*? Perché l'ha ottenuto solo nel 1986, cinquantacinque anni più tardi, all'età di ottant'anni? E fortuna volle che fosse ancora vivo!

In realtà, il primo congegno costruito da Ruska era piuttosto primitivo e non funzionava certo come i microscopi di oggi, ma comunque mostrava la strada da seguire e certamente avrebbe condotto gli studiosi a enormi progressi. Perché tutto questo ritardo, allora?

Quando Alfred B. Nobel morì, nel 1896, lasciando un ingente patrimonio come dotazione per la sua famosa serie di premi da attribuire con cadenza annuale, intendeva che si onorassero gli scienziati meritevoli di aver fatto o scoperto qualcosa di veramente importante nell'anno in corso. Tuttavia, in seguito divenne evidente che non era sempre così facile stabilire quale scoperta fosse davvero importante.

Talvolta una scoperta sembrava significativa, e invece con l'andar del tempo si concludeva con un nulla di fatto. Nel 1908, per esempio, il fisico francese Gabriel J. Lippmann ricevette il premio Nobel per la scoperta di un sistema di fotografia a colori che in seguito venne abbandonato. Nel 1903, il medico danese Niels R. Finsen ricevette il premio Nobel per avere scoperto come curare la dermatosi per mezzo della

luce, una tecnica che in seguito si rivelò del tutto inutile. Nel 1926 un altro medico danese, Johannes A. G. Fibiger, conseguì il premio Nobel per la medicina perché aveva scoperto che un certo tipo di tumore poteva essere causato da un verme parassita, mentre pochi anni dopo risultò che il verme in questione non aveva alcuna relazione con quel male.

L'esperienza insegnò quindi ai membri del comitato di assegnazione del premio Nobel che era meglio non essere affrettati. Indipendentemente da quanto potesse sembrare sensazionale una certa scoperta, era meglio aspettare che mantenesse le promesse. Qualche volta, naturalmente, una scoperta si dimostra incontrovertibile, per cui i giudici non possono aspettare. Nel 1956, due giovani fisici cinesi scoprirono che una certa proprietà, a cui diedero il nome di "parità", non ha bisogno di essere conservata. Ciò sconvolse profondamente alcuni principi basilari della fisica, e i due ricercatori cinesi ebbero il Nobel l'anno successivo. E dimostrarono di averlo davvero meritato.

Ciò nonostante, in genere bisogna fare un po' di anticamera. Nel 1905 Albert Einstein diede una spiegazione dell'effetto fotoelettrico tramite la teoria dei quanti, fornendo un grande contributo all'affermazione di una delle due maggiori intuizioni scientifiche del Ventesimo secolo. Ricevette il premio Nobel sedici anni più tardi, nel 1921. (Nel frattempo Einstein aveva dimostrato la validità di un'altra sua scoperta nel campo della fisica, la relatività, un'impresa persino più grande della precedente. Ma non fu per la teoria della relatività che gli venne assegnato il Nobel.)

Nel 1911, il medico americano Francis P. Rous scoprì un virus che sembrava dare origine al cancro. Fu una scoperta utile e importante, ma il premio Nobel non gli venne conferito che nel 1966: un'altra attesa di cinquantacinque anni, come nel caso di Ruska. Rous aveva ottantasei anni a quell'epoca.

Naturalmente, talvolta gli scienziati non sono così longevi e finiscono per non riceverlo mai, il Nobel, per quanto il loro lavoro lo meriti. Nel 1914, il fisico inglese Henry G.J. Moseley elaborò la teoria dei cosiddetti "numeri atomici" che chiari il concetto di elemento chimico: senza dubbio era una scoperta da Nobel. Infatti, numerosi uomini di scienza che seguirono le orme di Moseley, negli anni successivi conseguirono il premio Nobel per le loro scoperte.

Moseley invece non lo ricevette mai, per una ragione tanto semplice quanto tragica: nello stesso anno della sua scoperta scoppiò la prima guerra mondiale, e Moseley si arruolò. Nel 1915, l'anno successivo, fu ucciso a Gallipoli. Aveva ventisette anni. Una delle menti più acute di quell'epoca fu spenta senza scopo nel corso di una battaglia malamente condotta: un simbolo della follia e della futilità della guerra.

L'elemento più nobile

Tutto ciò che vediamo intorno a noi sulla Terra è costituito da insiemi di atomi, ma alcuni tipi di atomo sono particolarmente riluttanti a combinarsi con gli altri. Nondimeno, durante i primi mesi del 1988 il chimico americano W. Koch dimostrò che an-

che l'atomo meno socievole può essere persuaso a entrare in una combinazione.

Gli atomi che hanno minori probabilità di associarsi appartengono al gruppo di elementi conosciuti con il nome di "gas nobili" (sono detti "nobili" perché gli attributi del riserbo e dell'esclusività sono in genere associati con la nobiltà).

In natura esistono sei gas nobili i quali, in ordine crescente di grandezza, sono: l'elio, il neon, l'argo, il cripto, lo xenon e il radon. In condizioni normali, nessun gas nobile si combina con altri atomi: ne esistono soltanto atomi isolati.

Questi atomi sono indifferenti anche alla presenza di altri atomi del loro stesso tipo, tanto che non tendono a unirsi neanche quando sono sul punto di formare dei liquidi. E infatti non diventano mai liquidi a temperatura ambiente: si trovano tutti nell'atmosfera allo stato gassoso.

Nel 1894 fu scoperto il primo gas nobile, l'argo, che è anche il più abbondante. Rappresenta infatti l'uno per cento della nostra atmosfera. Gli altri gas nobili, che sulla Terra esistono in quantità minime, furono scoperti pochi anni più tardi.

Gli atomi dei vari elementi si combinano tra loro quando un atomo cede o mette in comune i propri elettroni con un altro atomo. I gas nobili non fanno altrettanto perché i loro elettroni sono disposti in modo così simmetrico all'interno dell'atomo che qualsiasi cambiamento richiederebbe una considerevole quantità di energia. L'energia richiesta è talmente grande da rendere il fenomeno estremamente poco probabile in natura.

Un atomo di gas nobile di dimensioni notevoli, come quello del radon, ha gli elettroni esterni (quelli coinvolti nelle combinazioni chimiche) molto lontani dal nucleo. Di conseguenza, l'attrazione fra gli elettroni più esterni e il nucleo risulta relativamente debole. Per questa ragione il radon è il meno nobile dei gas nobili, cioè è il più facile da combinare con altri elementi una volta predisposte le condizioni opportune.

Più piccolo è l'atomo di gas nobile, più vicini sono al nucleo gli elettroni esterni, che quindi vengono trattenuti con maggior forza rendendo più difficili le combinazioni.

Di fatto, alcuni chimici sono riusciti a costringere i gas nobili con atomi più grandi - il cripto, lo xenon e il radon - a combinarsi con altri atomi come il fluoro e l'ossigeno, che sono elementi particolarmente avidi di elettroni.

Gli altri gas nobili - l'elio, il neon e l'argo - hanno atomi talmente piccoli e sono quindi talmente nobili da riuscire a mantenere l'isolamento qualunque sia la tecnica usata dai chimici.

Il gas nobile con l'atomo più piccolo è l'elio. Tra gli elementi, è quello che ha meno probabilità di formare combinazioni. È l'elemento più nobile in assoluto. È talmente restio ad associarsi persino con gli altri atomi di elio che non si trasforma in liquido fino a quando non si raggiunge una temperatura di soli 4 gradi sopra lo zero assoluto, vale a dire $-269\text{ }^{\circ}\text{C}$. L'elio liquido è il liquido più freddo che esista e ha un'importanza capitale per lo studio delle basse temperature.

L'elio è presente nell'atmosfera soltanto in piccolissime tracce, ma ne viene prodotto di nuovo nel decadimento di elementi radioattivi come l'uranio e il torio. Il gas nobile così formato si accumula nel sottosuolo e a volte capita che certi pozzi di trivellazione del petrolio estraggano anche elio. Si tratta di una risorsa limitata, che però non si è ancora esaurita.

Ciascun atomo di elio ha soltanto due elettroni, legati con tanta forza al nucleo che scaltarli richiede molta più energia di quella richiesta per rimuovere un elettrone da qualunque altro elemento. Come si può, allora, costringere un atomo di elio a cedere un elettrone, o a metterlo in comune, ed entrare in combinazione con un altro atomo?

Per prevedere il comportamento degli elettroni i chimici usano un sistema matematico denominato "meccanica quantistica", formulato negli anni Venti. Il chimico Koch ne applicò i principi allo studio dell'elio.

Supponiamo, per esempio, che un atomo di berillio - che dispone di quattro elettroni - si combini con un atomo di ossigeno - che ne ha otto -: l'atomo di berillio cede due elettroni a due atomi di ossigeno e come risultato si crea un legame reciproco. La meccanica quantistica dimostra che il lato dell'atomo di berillio non rivolto verso l'ossigeno risulta molto povero di elettroni.

Secondo le equazioni quantistiche, se si aggiunge un atomo di elio quest'ultimo dovrebbe mettere in comune i suoi due elettroni con la parte dell'atomo di berillio più "povera", dando origine a una combinazione elio-berillio-ossigeno.

Sembra che nessun'altra combinazione di atomi sia in grado di produrre le giuste condizioni per catturare gli atomi di elio, ed è probabile che anche la combinazione elio-berillio-ossigeno si possa formare soltanto a temperature tanto basse da trasformare l'aria in liquido. Adesso i chimici dovranno lavorare con temperature bassissime per dare una conferma sperimentale alla teoria, cioè per imprigionare l'elio in una combinazione, sconfiggendo quindi il più nobile tra gli atomi.

Aumentare la temperatura

Gli scienziati generalmente non si aspettano di raggiungere la perfezione, ma talvolta ci riescono. Nel 1911 il fisico olandese Heike K. Onnes stava diminuendo la temperatura del mercurio verso lo zero assoluto. Lo *zero assoluto* è la temperatura più bassa possibile ed equivale a $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$. Onnes voleva verificare la conducibilità elettrica del mercurio a bassa temperatura; si aspettava che la resistenza elettrica diminuisse gradualmente a mano a mano che diminuiva la temperatura.

Invece non fu così. A 4,12 gradi sopra lo zero assoluto - poco meno di $-269\text{ }^{\circ}\text{C}$ - la resistenza all'improvviso sparì completamente. La conduttività elettrica del mercurio divenne *perfetta*. Una corrente elettrica applicata a un anello di mercurio congelato a una temperatura inferiore a 4,12 gradi assoluti continuerebbe a scorrere in cerchio, senza diminuire d'intensità, all'infinito. Il fenomeno venne chiamato *super conduttività*.

La superconduttività fu scoperta anche in altri elementi quando si provò ad abbassarne il più possibile la temperatura. Alcuni diventavano superconduttivi a temperature ancora più basse di quella necessaria per il mercurio. Altri invece a temperature più alte. Il record di massima temperatura è stato stabilito dal tecnezio, un metallo radioattivo, che diventa superconduttivo a 11,2 gradi sopra lo zero assoluto.

Il fenomeno della superconduttività non ha soltanto un interesse teorico. Infatti, se

si potesse trasmettere l'elettricità attraverso speciali cavi superconduttivi non ci sarebbe nessuno spreco dovuto alla resistenza dei conduttori, e ciò farebbe risparmiare miliardi di dollari. Sarebbe possibile usare la superconduttività anche per produrre potentissimi magneti che sarebbero fondamentali nella costruzione di un gigantesco acceleratore di particelle atomiche; oppure nel settore dei computer e in molti altri campi dell'alta tecnologia moderna.

Tuttavia, c'è un tranello. Per poter mantenere un solido a una temperatura estremamente bassa, lo si deve tenere immerso in un liquido che bolla a quella stessa temperatura. Il liquido non si può riscaldare oltre il suo punto di ebollizione: si limita a evaporare a poco a poco. Se si aggiunge dell'altro liquido, la temperatura ultrafredda può essere mantenuta senza difficoltà.

Purtroppo, però, al di sotto dei 14 gradi assoluti esiste soltanto un elemento allo stato liquido: l'elio. Ogni altra sostanza, persino l'aria che ci circonda, a quella temperatura diventa solida.

L'elio liquido bolle a 4 gradi sopra lo zero assoluto, cioè a $-269\text{ }^{\circ}\text{C}$. Qualsiasi sostanza immersa nell'elio liquido in ebollizione resta a tempo indeterminato a una temperatura di 4 gradi assoluti. Però, l'elio è molto raro ed è estremamente difficile mantenerlo a una temperatura abbastanza bassa da evitare che evapori rapidamente, il che limita seriamente l'utilizzazione pratica della superconduttività.

Subito dopo l'elio, i liquidi più freddi sono l'idrogeno liquido e il neon liquido. L'idrogeno raggiunge lo stato liquido tra i 14 e i 20 gradi assoluti. Qualsiasi sostanza immersa nell'idrogeno liquido in ebollizione resta a tempo indeterminato a 20 gradi sopra lo zero assoluto. Il neon raggiunge lo stato liquido tra i 25 e i 27 gradi assoluti. Qualsiasi sostanza immersa nel neon liquido in ebollizione resta a tempo indeterminato a 27 gradi sopra lo zero assoluto.

L'idrogeno è un elemento molto comune in natura, ma i suoi vapori sono esplosivi. Il neon è relativamente raro, ma è certo più comune dell'elio e, come l'elio, è completamente inerte. Mantenere allo stato liquido l'idrogeno o il neon, inoltre, è molto più facile e meno costoso che nel caso dell'elio.

Di conseguenza, l'aspirazione dei fisici è stata per molto tempo quella di trovare una sostanza che fosse superconduttiva alla temperatura dell'idrogeno liquido. Gli elementi puri sono esclusi, ma esiste un'alternativa.

Quando due o più elementi solidi (in genere metallici) vengono mescolati, di frequente la "mistura", o lega, assume proprietà diverse da quelle dei singoli componenti. Quando gli scienziati studiarono le leghe metalliche, ne scoprirono alcune che si dimostravano superconduttive a temperature più alte di quelle degli elementi puri. Nel 1968 si scoprì che una lega composta da niobio, alluminio e germanio era superconduttiva a 21 gradi sopra lo zero assoluto. Nei successivi diciotto anni furono corrette le percentuali relative dei tre elementi e nel 1984 fu scoperta una lega di niobio e germanio che era superconduttiva a 24 gradi sopra lo zero assoluto. La superconduttività nell'idrogeno liquido era diventata possibile. Ma solo per un pelo.

Poi, verso la fine del 1986, ci furono ben due annunci a sorpresa. All'Università di Houston, nel Texas, fu reso noto che una lega composta da lantanio, bario, rame e ossigeno era superconduttiva a 40 gradi assoluti. Ma c'era un tranello. Per mantenere la superconduttività a una temperatura così alta, la lega doveva essere sottoposta a una

pressione di centinaia di migliaia di chilogrammi per centimetro quadrato. Ai Bell Laboratories, tuttavia, fu reso noto in quegli stessi giorni che era stata scoperta una lega superconduttiva a 36 gradi sopra lo zero assoluto e a pressione normale. Sembra quindi che la superconduttività nell'idrogeno liquido sia sulla giusta strada per diventare realizzabile in pratica, oltre che in teoria.

Forse in futuro si raggiungeranno temperature superconduttive ancora più elevate. Temperature di 78 gradi sopra lo zero assoluto sono teoricamente possibili, il che permetterebbe di utilizzare l'azoto liquido (un elemento molto comune e del tutto sicuro).

L'ideale sarebbe la superconduttività a temperatura ambiente. E non è detto che non ci arriveremo, un giorno o l'altro.

Il supremo acceleratore atomico

All'inizio furono chiamati "frantumatori di atomi". In seguito, venne dato loro un nome più preciso e scientifico: "acceleratori di particelle". Ma non faceva scena. Per il pubblico si chiamano ancora "frantumatori di atomi".

L'idea degli acceleratori di particelle è proprio quella che il nome suggerisce: minuscole particelle subatomiche, dotate di carica elettrica, vengono accelerate per mezzo di magneti. Alla fine, quando raggiungono la velocità massima, vengono scagliate contro un bersaglio.

Più alta è la velocità delle particelle - e più alta è la loro massa - più forte risulta la collisione e maggiore è l'energia prodotta. L'energia viene parzialmente convertita in massa con la conseguente produzione di nuove particelle, alcune delle quali hanno una massa tale da non essere mai state osservate in natura.

Il primo acceleratore di particelle, costruito nel 1928, produceva particelle ad alta velocità con energie di quasi 400 mila elettronvolt. Le particelle venivano accelerate in linea retta, cosicché per raggiungere energie maggiori si dovevano costruire macchine sempre più lunghe, che diventarono ben presto difficili da gestire.

Nel 1931, Ernest O. Lawrence dell'Università della California ebbe la brillante idea di far muovere le particelle in una spirale situata fra i poli di un elettromagnete. Battezzò l'apparecchio "ciclotrone". In questo tipo di acceleratore le particelle potevano coprire una grande distanza all'interno della spirale senza richiedere troppo spazio. Il primo ciclotrone costruito da Lawrence, per intenderci, era largo soltanto una trentina di centimetri e per giunta costava molto poco, pur producendo particelle con un'energia di 1,25 milioni di elettronvolt.

Subito la tendenza fu quella di costruire ciclotroni più grandi per ricavarne energia in misura ancora maggiore. Nel 1939, l'Università di California ne possedeva uno che misurava un metro e mezzo circa di larghezza, e produceva particelle con energie di 20 milioni di elettronvolt.

Il modello fu continuamente migliorato fino ad arrivare, verso la fine della seconda guerra mondiale, ad energie tra i 200 e i 400 milioni di elettronvolt. Nel 1949 si arri-

vò a generare energie fino a 24 miliardi di elettronvolt.

Strumenti simili erano in grado di produrre grandi quantità di "antiparticelle", come per esempio gli antiprotoni, previsti dalle teorie ma mai osservati in natura... finché non vennero prodotte energie sufficienti per *crearli*.

Ma per costruire "frantumatori di atomi" (o acceleratori che dir si voglia) sempre più potenti, le particelle devono coprire orbite a spirale via via più ampie. Di conseguenza le macchine odierne sono larghe chilometri. Gli attuali acceleratori richiedono l'impiego di elettromagneti enormi, che per avere potenza sufficiente devono operare in condizione di superconduttività al fine di non disperdere l'energia. Questo è possibile soltanto se i conduttori sono immersi nell'elio liquido, a una temperatura tra lo zero e i 4 gradi assoluti.

Tenendo conto di quel che ho detto, è chiaro che gli attuali acceleratori di particelle sono diventati enormemente costosi. Nessuno può sostenere le spese per costruirli, se non i governi delle nazioni più ricche; e talvolta soltanto unendo le forze di più nazioni.

Il più grande acceleratore degli Stati Uniti si trova a Batavia, nell'Illinois. Misura oltre 6 chilometri di circonferenza, ma non è certo il più grande del mondo. L'Unione Sovietica e un gruppo di nazioni dell'Europa occidentale possiedono, uno a testa, acceleratori di particelle più grandi di quello di Batavia, e stanno progettando di costruirne di nuovi, ancora più grandi. I sovietici ne hanno in progetto uno che misurerebbe circa 21 chilometri di circonferenza, mentre il consorzio europeo uno che dovrebbe arrivare a 26.

Le più recenti scoperte nel campo della fisica subatomica sono state fatte in Europa, e gli Stati Uniti temono di perdere il primato nella ricerca di base. Restano ancora da produrre importanti particelle, come il sesto quark previsto dalla teoria ma non ancora osservato. C'è la cosiddetta particella di Higgs, teoricamente importantissima, ma che ancora sfugge agli scienziati. E oltre alle molte particelle mai scoperte, come per esempio i monopoli magnetici, chissà quante ce ne sono di cui nessuno prevede l'esistenza.

Di conseguenza, gli Stati Uniti hanno in progetto la costruzione di un acceleratore di particelle che avrà una circonferenza di oltre 83 chilometri e che costerà non meno di 6 miliardi di dollari. Finalmente saremo in grado di produrre particelle con energie venti volte maggiori di quelle generate da qualsiasi altro acceleratore al mondo. Inoltre, le particelle saranno accelerate partendo da direzioni opposte e si frantumeranno a vicenda scontrandosi frontalmente.

Ma ha qualche utilità scoprire particelle sempre più rare e a energie sempre più alte? Certamente sì, poiché quando l'universo ebbe inizio con il big bang, furono coinvolte nella creazione energie incredibili, energie che non avremo mai la possibilità di raggiungere e riprodurre. Più alte saranno le energie che produrremo, più probabilità avremo di capire che cosa avvenne all'inizio e maggiore sarà la nostra conoscenza dell'universo.

Tuttavia, è probabile che non saremo in grado di spingerci molto più in là. Affrontare una spesa superiore a 6 miliardi di dollari per impianti di ricerca ancora più grandi potrebbe dimostrarsi controproducente. Alcuni scienziati temono, infatti, che una spesa simile costringerebbe il governo a diminuire drasticamente lo stanziamento di

fondi in altri campi di ricerca, altrettanto fondamentali.

I due nulla

Nel 1988 il premio Nobel per la fisica è stato assegnato a tre americani: Leon Lederman, Melvin Schwartz e Jack Steinberger per il lavoro svolto su particelle subatomiche che più di ogni altra cosa si avvicinano al nulla.

Si tratta dei cosiddetti "neutrini". Non hanno massa. Non hanno carica elettrica. Sono talmente indifferenti alla materia da attraversare 1600 miliardi di chilometri di piombo senza essere arrestati, se non in pochi casi, durante il tragitto. È con queste particelle talmente insignificanti da avvicinarsi al nulla che i tre fisici summenzionati, vincitori del premio Nobel, hanno lavorato nei primi anni Sessanta.

Erano interessati alla cosiddetta *interazione debole*, uno dei quattro modi in cui le particelle possono interagire: l'interazione gravitazionale tiene unito l'universo; l'interazione forte tiene uniti i nuclei degli atomi; l'interazione elettromagnetica tiene uniti gli atomi e le molecole; l'interazione debole, infine, permette che alcuni nuclei si disgreghino.

Era molto difficile studiare l'interazione debole, ma a Melvin Schwartz venne l'idea di utilizzare raggi di neutrini, i quali sono soggetti soltanto all'interazione debole. Questa è la ragione principale per cui possono passare attraverso la materia come se non esistesse.

Ma come si può produrre un raggio di neutrini? Un primo metodo è quello di cominciare con un raggio di protoni, che sono dotati di massa e di carica elettrica e possono quindi essere accelerati con facilità a energie molto alte. Il raggio di protoni può poi essere indirizzato contro un bersaglio in modo che produca una sottilissima scarica di particelle energetiche. Fra queste particelle si trovano i "pioni", che rapidamente decadono trasformandosi in "muoni" e neutrini.

Lederman, Schwartz e Steinberger si associarono per lavorare su raggi di quel tipo. Indirizzarono la scarica di particelle contro una serie di lastre d'acciaio corazzato ricavate da una nave da guerra in demolizione. Gli strati d'acciaio del bersaglio, con uno spessore complessivo di dieci metri, fermavano tutte le particelle tranne i neutrini e lasciavano emergere un raggio fatto esclusivamente di neutrini.

Per poi utilizzare il raggio di neutrini allo scopo di studiare l'interazione debole era necessario che i neutrini fossero assorbiti dalla materia e producessero delle alterazioni. I neutrini passano attraverso la materia, ma non sempre. In un raggio composto da migliaia di miliardi di neutrini la maggior parte passa oltre, ma alcune decine vengono fermati, e questo permette di studiarli.

Per prima cosa è necessario capire quali sono le differenze tra i vari tipi di neutrini, se ce ne sono. I neutrini si formano in due modi: dal decadimento di un pione in un muone, e dal decadimento di un muone in un elettrone. Di conseguenza, esistono due tipi di neutrino: quello "muonico", che accompagna la formazione di un muone, e quello "elettronico", che accompagna la formazione di un elettrone.

Il muone è identico a un elettrone in tutto e per tutto tranne che in un particolare: il muone ha una massa circa 200 volte superiore. È una specie di "elettrone pesante". Il neutrino muonico e il neutrino elettronico, tuttavia, non presentano differenze di questo tipo: risultano uguali in ogni misurazione fatta dai tre fisici americani. Ciò significava forse che le due particelle erano perfettamente identiche?

I tre fisici decisero di tentare con quello che adesso viene definito l'esperimento dei due neutrini", utilizzando i raggi di neutrini che ormai sapevano produrre. Questi raggi erano tutti composti di neutrini muonici e dunque, quando fossero stati assorbiti dalla materia, avrebbero dovuto formare dei muoni.

Se i neutrini muonici fossero diversi da quelli elettronici dovrebbero produrre soltanto muoni. Se invece fossero identici, allora il raggio di neutrini dovrebbe produrre sia elettroni sia muoni, e con ogni probabilità in quantità uguali.

Per otto mesi, Lederman, Schwartz e Steinberger continuarono a bombardare la materia con raggi di neutrini. Centinaia di miliardi di neutrini muonici entrarono in collisione con la materia, e in quegli otto mesi ne furono fermati soltanto cinquanta. Ognuno di loro produsse un muone.

Evidentemente neutrini muonici ed elettronici sono particelle diverse, benché ancora oggi i fisici non sappiano che cosa li renda diversi. Tutte le proprietà misurabili che caratterizzano i due tipi di neutrino sembrano identiche, ma anche se gli scienziati non sono in grado di distinguerli le altre particelle subatomiche ci riescono benissimo. Esistono quindi due diversi tipi di nulla.

In realtà, le cose sono ancora più complicate: circa dodici anni dopo l'esperimento dei due neutrini, ne entrò in campo un terzo, il "neutrino tauonico". Quest'ultimo, presumibilmente, è diverso da ciascuno degli altri due, e ci mette di fronte a ben tre nulla che si differenziano tra loro in un modo che non siamo capaci di scoprire.

Ciò nonostante, questa differenza non individuabile è diventata la base per formulare complesse teorie sulla struttura della materia. L'esperimento dei due neutrini è un premio Nobel ben meritato.

Supercritico

Domanda: Qual è quella cosa che non è un liquido e neppure un gas, ma un po'tutti e due?

Risposta: Il "fluido supercritico", e gli scienziati sono alla ricerca di un modo per servirsene.

Di norma i liquidi e i gas sono sostanze decisamente diverse. Un liquido ha un volume ben definito: può, per esempio, riempire un recipiente solo per metà. Un gas, invece, non ha un volume definito: riempie sempre completamente qualunque recipiente.

Un liquido può sciogliere dei solidi o altri liquidi. Un gas no.

Un liquido è molto più denso di un gas. Per esempio, L'acqua è 1250 volte più densa del suo stesso vapore. In altri termini, un litro di acqua pesa 1250 volte di più di un

litro di vapore.

Per mezzo del calore, si può trasformare un liquido in gas. Perciò, se si scalda dell'acqua portandola al punto di ebollizione, comincerà a produrre bolle e infine evaporerà. Il punto di ebollizione dell'acqua, a livello del mare, è di 100 °C.

Se però si desidera impedire l'ebollizione a 100 °C, basta applicare una certa pressione allo scopo di "tenere insieme", per così dire, le molecole. A mano a mano che la temperatura sale, si deve applicare una pressione sempre maggiore, finché, al di sopra di una certa temperatura, nessuna pressione sarà più sufficiente.

Questa temperatura limite, superata la quale il liquido bollerà con qualunque pressione, viene chiamata *temperatura critica*. La temperatura critica dell'acqua è di 374,2 °C. La *pressione critica* che mantiene l'acqua allo stato liquido a quella temperatura è pari a 218,3 volte la pressione atmosferica normale.

Al di sopra di quella temperatura e di quella pressione, si ha *l'acqua supercritica*. Come il vapore, l'acqua supercritica non ha un volume definito e quindi può riempire qualunque recipiente. Tuttavia è molto più densa del vapore: ha una densità di un terzo rispetto all'acqua allo stato liquido. E possiede una proprietà ancor più sorprendente: è in grado di sciogliere le sostanze proprio come l'acqua allo stato liquido.

Ogni liquido ha la sua particolare temperatura critica e la sua pressione critica, che possono essere superiori o inferiori a quelle dell'acqua. Lo scoprì nel 1869 il chimico irlandese Thomas Andrews. L'anidride carbonica, per esempio, ha una temperatura critica di 31 °C e una pressione critica di 72,85 atmosfere. L'idrogeno ha una temperatura critica di -204 °C e una pressione critica di 12,8 atmosfere.

Ovviamente, sulla superficie della Terra non esistono in natura fluidi supercritici, ma potrebbero esistere nel nucleo dei pianeti dove le temperature e le pressioni sono abbastanza elevate. L'interno di Giove, il pianeta gigante, per esempio, è costituito in larga misura di idrogeno supercritico a una temperatura di decine di migliaia di gradi.

Anche nei laboratori gli scienziati riescono a produrre temperature e pressioni abbastanza elevate da formare fluidi supercritici. All'Università del Maine l'ingegnere chimico Erdogan Kiran ha progettato una camera d'acciaio all'interno della quale possono essere prodotte pressioni fino a mille atmosfere, e temperature abbastanza elevate da produrre fluidi supercritici. Al suo interno si può persino osservare, attraverso pannelli trasparenti spessi circa un centimetro e mezzo e fatti con una durissima sostanza sintetica, lo scioglimento di alcune sostanze nel fluido supercritico.

I fluidi supercritici, come quelli normali, sciolgono alcune sostanze più facilmente di altre, perciò si possono impiegare per estrarre da una miscela alcuni dei suoi componenti. Tuttavia, se il fluido supercritico è troppo caldo può danneggiare le molecole della sostanza che sta sciogliendo e persino le molecole dalle quali la sta separando.

L'acqua supercritica è certamente troppo calda per utilizzarla in questo processo senza danneggiare le sostanze da separare, soprattutto quelle organiche che sono dotate di molecole molto grandi e instabili. In tal caso, perché non utilizzare l'anidride carbonica supercritica, che è molto più fredda e richiede pressioni più basse?

In Germania l'anidride carbonica supercritica è stata utilizzata per estrarre la caffeina dai chicchi di caffè, lasciando ogni altra sostanza intatta, mentre i normali solventi liquidi tendono a rimuovere anche altri ingredienti insieme alla caffeina. Per giunta, è possibile che lascino residui che alla lunga si rivelerebbero pericolosi. Invece quando

viene rimossa l'anidride carbonica supercritica, con il suo "carico" di caffeina, non resta proprio nulla di pericoloso: quando viene normalizzata la pressione, qualunque traccia di fluido supercritico non fa che riprendere il suo stato gassoso e sparire completamente. Il caffè decaffeinato prodotto in questo modo dovrebbe avere un gusto identico a quello del caffè originario.

Si spera che i fluidi supercritici possano essere impiegati per altri procedimenti analoghi, sempre con la stessa efficienza e in maniera del tutto innocua. Magari potrebbero servire per estrarre l'olio dalle patatine fritte, ottenendo così un alimento a basso numero di calorie senza menomarne il gusto. Oppure per eliminare l'intenso odore dagli olii di fegato di pesce, lasciandone inalterato il valore nutritivo. I fluidi supercritici promettono bene anche nel campo della depurazione dei prodotti medicinali e nel campo degli studi sui protoni, sugli acidi nucleici e su altre molecole complesse.

Una questione di priorità

Due progressi a lungo sperati si stanno attualmente scontrando per questioni di priorità. Gli scienziati si trovano di fronte a un dilemma di non facile soluzione, l'alternativa tra il rischiare miliardi di dollari oppure ostacolare la ricerca scientifica per decenni.

In primo luogo, la superconduttività, un settore nel quale si sono verificate nuove scoperte molto stimolanti, oltre che inattese. Il passaggio di corrente elettrica senza dispersioni e senza produzione di calore che si era ottenuto alla bassissima temperatura dell'elio liquido all'improvviso sembra possibile anche alla temperatura decisamente superiore dell'azoto liquido, rendendo l'intero processo molto meno costoso e ben più pratico.

In secondo luogo, il "supercollisore". Esiste già il progetto di un nuovo, enorme acceleratore di particelle, che misurerebbe circa 26 chilometri di diametro e 82 di circonferenza, e che costerebbe miliardi di dollari. Con un impianto simile, gli scienziati sperano di ottenere nuovi dati sui "mattoni" fondamentali della materia e sull'origine dell'universo.

Ed ecco il dilemma.

Per costruire il nuovo acceleratore di particelle si deve impiegare un'enorme quantità di energia elettrica per produrre potentissimi magneti da disporre lungo gli 82 chilometri di circonferenza dell'impianto. Questi magneti dovrebbero produrre un campo elettromagnetico talmente potente da accelerare due fasci di particelle quasi alla velocità della luce e farli quindi scontrare in modo da produrre collisioni ad altissima energia.

A questo scopo i magneti devono essere raffreddati a temperature molto basse perché diventino superconduttori. Solo così, eliminando dispersioni di corrente e surriscaldamenti, i magneti possono raggiungere la necessaria potenza. Ciò significa che il nuovo supercollisore deve usare una quantità enorme di costosissimo elio liquido e

macchinari altrettanto costosi per mantenere l'elio allo stato liquido il più a lungo possibile.

Alcuni scienziati hanno messo in dubbio la convenienza di simili spese. Non che l'impianto non sia in grado di portare con ogni probabilità a nuove e importanti conoscenze che in nessun altro modo si potrebbero ottenere, ma la questione è un'altra: i fondi stanziabili per la ricerca sono limitati. Se il supercollisore succhia da solo miliardi di dollari, resterebbero solo gli spiccioli per le altre ricerche. Quel che si otterrebbe nel campo della fisica subatomica potrebbe non compensare la perdita di nuove conoscenze in altri settori. Si tratta di un discorso particolarmente difficile, dal momento che non sappiamo quali sarebbero le nuove conoscenze acquisite né quelle perdute.

Tuttavia, i nuovi sviluppi nel campo della superconduttività offrono solide argomentazioni a chi si oppone al costosissimo supercollisore: presto sarà possibile utilizzare nuovi materiali che permetteranno la superconduttività alla temperatura dell'azoto liquido, quindi forse è meglio che i fisici aspettino ancora un po'.

L'azoto liquido è molto meno costoso dell'elio liquido ed è molto meno difficile mantenerlo alla temperatura giusta. In questo modo il costo del nuovo impianto sarebbe ridotto del 10/15 per cento.

In realtà, fra non molto si potrebbero ottenere materiali superconduttori a temperature ancora più alte, che permetterebbero di realizzare magneti di gran lunga più potenti e quindi campi magnetici capaci di incurvare maggiormente la traiettoria delle particelle subatomiche a elevata velocità. Come risultato, si potrebbero ottenere le stesse velocità con un cerchio di circa 3 chilometri di diametro, e l'appezzamento di terreno richiesto per l'impianto sarebbe ridotto all'uno per cento dell'area attualmente necessaria, con una analoga riduzione di attrezzature. Di conseguenza, i fondi sarebbero drasticamente ridotti, con un risparmio di alcuni miliardi di dollari che potrebbero essere destinati ad altri campi di ricerca senza ostacolare affatto il progresso della fisica subatomica.

Sembrerebbe un'ottima notizia, ma alcuni fisici subatomici sollevano obiezioni, quando non arrivano a un'aperta opposizione. Fino a oggi i nuovi materiali superconduttori sono stati realizzati soltanto in laboratorio. Quanto tempo ci vorrà prima che possano essere prodotti in quantità e con le proprietà richieste per permettere di costruire potenti elettromagneti superconduttori? Si presenteranno difficoltà di ogni genere e nella fase di progettazione dovranno essere superati ostacoli e ritardi. Persino i problemi apparentemente più semplici potrebbero richiedere anni per essere risolti.

In altre parole, può darsi che i fisici debbano attendere una decina di anni prima di avere a disposizione i nuovi materiali superconduttori, e per quella data la situazione politica ed economica potrebbe non rendere più disponibili i miliardi di dollari necessari per la costruzione del supercollisore. I fisici naturalmente non vogliono correre rischi: i fondi per loro sono già stati stanziati e sono perciò riluttanti a lasciar perdere, anche se solo per un po'.

Be', dunque... attendere o non attendere? Questo è il problema.

All'improvviso, entra in gioco il tallio

Alcuni elementi chimici, come l'oro e l'ossigeno, sono familiari a tutti. Altri, invece, come il neodimio e il lutezio, non lo sono per niente. Ma di quando in quando alcuni elementi noti soltanto ai chimici fanno improvvisamente notizia: è quel che è successo al tallio.

Il tallio fu scoperto nel 1861 dal fisico inglese William Crookes. Crookes stava studiando le lunghezze d'onda della luce emanata da minerali surriscaldati quando scoprì una bellissima riga di colore verde chiaro a una lunghezza d'onda assente dalle tabelle degli elementi fino ad allora conosciuti. Ne seguì le tracce e individuò così un elemento fino a quel momento sconosciuto, al quale diede il nome di "tallio", dal greco *thallos* che significa "ramoscello verde", in ricordo della riga spettrale verde che lo aveva messo sulla buona strada.

Tuttavia non sembrava il nuovo elemento avesse qualche particolare utilità. Le sue caratteristiche lo avvicinano molto al piombo, anche se è un po' più denso e si fonde a una temperatura leggermente più bassa. Inoltre, è velenoso. Così la prima utilizzazione pratica per il tallio - ideata nel 1920, quasi sessant'anni dopo la sua scoperta - fu come veleno per topi.

Ma oggi esiste un problema aperto: la superconduttività. Alcune sostanze perdono completamente la loro resistenza elettrica a temperature molto basse, un comportamento che può essere importantissimo in varie branche della scienza e della tecnologia. Di conseguenza si parla della superconduttività in relazione a treni levitati magneticamente, a potentissimi acceleratori di particelle, a computer più piccoli e veloci, e alla fusione nucleare controllata.

Fino al 1986, tuttavia, non si conosceva nessuna sostanza che diventasse superconduttrice a temperature superiori ai 23 gradi Kelvin, ovvero 23 gradi sopra lo zero assoluto: una temperatura bassissima, se consideriamo che la normale "temperatura ambiente" è circa 300 gradi Kelvin e che perfino in Antartide la temperatura non scende mai al di sotto dei 200 gradi Kelvin.

Ma fino a quel momento si erano fatti esperimenti di superconduttività soltanto con i metalli. Nel 1986 due scienziati operanti a Zurigo, il fisico svizzero Karl Alex Mueller e il suo collega tedesco Johannes Georg Bednorz, che svolgevano esperimenti con sostanze ceramiche (miscele di ossidi metallici), scoprirono la superconduttività a temperature superiori ai 36 °K. L'anno successivo, nel 1987, prontamente fu loro assegnato il premio Nobel.

Le ceramiche che Mueller e Bednorz stavano studiando erano a base di ossido di rame. Pare che la superconduttività dipendesse dal movimento degli elettroni tra strati contigui di atomi di rame e di ossigeno. Nondimeno, per ottenere alte temperature, dovevano essere presenti anche altri atomi, di elementi come il bario, l'ittrio e il lantanio. In particolare, sembrava necessaria la presenza di elementi appartenenti al gruppo cosiddetto delle "terre rare".

Non c'era modo di accertare come lavorasse ciascuna di queste miscele ceramiche. I chimici hanno provato a mescolare diversi ossidi, incluso il basilare ossido di rame, in proporzioni diverse, e a farli "cuocere" in forno a varie temperature e per vari pe-

riodi di tempo, per poi vedere che cosa succedeva. Era chimica per così dire "da libro di cucina", e le miscele non erano certo affidabili. Una particolare miscela poteva risultare dotata di superconduttività ad alta temperatura durante un esperimento, e contraddire miserevolmente i risultati nell'infornata successiva. Tutto dipendeva da come si fondevano le particelle della ceramica sotto l'effetto del calore.

Le temperature più alte che permettevano la superconduttività restarono comunque inferiori ai 100 °K. Di tanto in tanto viene annunciato che in un certo esperimento si sono raggiunte temperature più alte, ma in genere si tratta di errori. Comunque, anche una temperatura vicina ai 100 °K è elevatissima in confronto ai risultati di qualche anno fa, pur essendo ancora inferiore a quella dell'Antartide. Gli scienziati vorrebbero ottenere la superconduttività a temperature decisamente più alte.

Di recente, il chimico americano Alan Herman ha fatto un tentativo: al posto delle terre rare ha utilizzato atomi di tallio, che hanno all'incirca le stesse dimensioni e una struttura molecolare simile.

Nel maggio 1987 si è scoperta una ceramica senza terre rare superconduttiva a una temperatura di 80 °K.

La "ricetta" originale indicava come ingredienti gli ossidi di rame, di bario e di tallio, ma durante i primi mesi del 1988 Herman provò ad aggiungere alla miscela un po' di calcio, ottenendo una temperatura di 105 °K. Questa miscela contenente tallio è stata la prima e l'unica a oltrepassare la soglia dei 100 °K: nessun'altra ha avuto altrettanto successo.

Pareva che le sue proprietà dipendessero quasi interamente da quanti strati di atomi di rame-ossigeno erano racchiusi fra gli strati di atomi di tallio. La prima ceramica al tallio aveva un unico strato rame-ossigeno contenuto fra strati di tallio; quella superconduttiva a 105 °K ne aveva due.

Diventava quindi importante trovare una ceramica al tallio che racchiudesse tre strati di rame-ossigeno fra quelli di tallio, e quando ci si riuscì si ottenne una temperatura di superconduttività di 125 °K. Non si è sicuri di quanti strati ancora sia possibile accumulare, ma comunque ci sono alcune ragioni teoriche per ritenere che la temperatura non possa essere ulteriormente aumentata. Però, se si potessero disporre a "sandwich" almeno dieci strati di rame-ossigeno insieme con il tallio e gli altri elementi, potrebbero essere raggiunte temperature di superconduttività di almeno 200 °K: la barriera della temperatura antartica sarebbe finalmente infranta.

Ciò nonostante, il tallio rimane comunque molto velenoso e potrebbe essere pericoloso usarlo nell'industria. In ogni caso, per quanto gli scienziati possano cercare un'altra sostanza che serva allo stesso scopo e dia gli stessi risultati, il tallio avrà comunque giocato un ruolo di primo piano nella scienza contemporanea, contribuendo non poco al progresso delle nostre capacità tecnologiche.

Spezzare il legame

Se piantate uno spillo in un palloncino, quanto tempo ci vuole perché esploda? Di

certo non troppo, ma si potrebbe comunque misurarlo per mezzo della fotografia ad alta velocità. Dopo tutto la gomma, anche se tesa, impiega un po' di tempo prima di lacerarsi sotto la pressione.

Ma supponiamo di prendere una molecola con un diametro di due miliardesimi di centimetro e di farle qualcosa che equivalga a "bucarla" con uno spillo... quanto tempo ci vuole perché si frantumi? Di gran lunga meno di quanto ne occorre al palloncino. E di recente alcuni scienziati sono stati in grado di misurare quel brevissimo lasso di tempo.

Una molecola è composta di un gruppo di atomi. Gli atomi aderiscono gli uni agli altri perché i minuscoli elettroni presenti nelle loro regioni esterne si sovrappongono quando sono abbastanza vicini gli uni agli altri (in altri termini, coppie di elettroni esterni si dispongono su orbite comuni ai due nuclei interessati). Questa sovrapposizione produce una situazione stabile che tende a mantenersi, ma per mantenerla gli atomi devono continuare a restare vicini. Il risultato è quello che viene definito *legame chimico*.

Due atomi che formino un legame chimico non rimangono immobili. A qualsiasi temperatura al di sopra dello zero assoluto tendono a muoversi in ogni direzione secondo un modello casuale. Non possono muoversi liberamente, dal momento che esiste il legame, ma continuano a provarci, per così dire. Due atomi trattenuti da un legame chimico possono separarsi un po', ma subito vengono riportati vicini. Si allontanano di nuovo, e di nuovo vengono riportati in posizione e così via. Di conseguenza, i due atomi "vibrano sul posto".

Il legame chimico agisce come una minuscola molla. Più gli atomi si allontanano, più il legame interviene per riportarli in posizione. Tuttavia, se per qualunque ragione i due atomi si allontanano oltre un certo limite critico, il legame è sottoposto a uno sforzo eccessivo, proprio come accadrebbe con una molla, e si spezza. La molecola si rompe e gli atomi sono liberi.

Con l'aumento della temperatura gli atomi tendono a separarsi sempre di più, e oltre un certo livello la molecola si spezza. Ma tende a spezzarsi anche se l'energia viene aggiunta sotto un'altra forma. Il problema è quanto tempo ci vuole perché la molecola si spezzi una volta che è stata aggiunta energia a sufficienza?

Un'equipe di chimici del California Institute of Technology guidata da Ahmed Zewail ha fornito una risposta nel 1987. L'equipe ha lavorato con il monocianuro di iodio, una molecola composta di tre atomi - iodio, carbonio e azoto - collegati fianco a fianco. Se viene aggiunta abbastanza energia lo iodio si stacca, lasciando insieme soltanto il carbonio e l'azoto (un "gruppo cianuro").

Il trucco consiste nell'aggiungere energia per mezzo di un brevissimo impulso luminoso, il quale esclude un elettrone dal legame che unisce l'atomo di iodio al gruppo cianuro, indebolendo il legame stesso (come uno spillo indebolisce la gomma di un palloncino) al punto che l'atomo di iodio si stacca (come il palloncino che esplose). L'impulso luminoso è brevissimo: sessanta milionesimi di miliardesimi di secondo. Un lampo impercettibile e via, dopodiché i chimici possono attendere che il legame chimico danneggiato si spezzi.

Ma quando possono affermare con certezza che il legame si è spezzato?

Si dà il caso che il gruppo cianuro isolato assorba onde luminose di un certo tipo e

ne emetta altre di tipo diverso. Questo fenomeno è chiamato *fluorescenza* ed è molto facile da individuare. Il monocianuro di iodio non è fluorescente, perciò la comparsa di questo fenomeno significa che il legame chimico si è spezzato e che si è formato il gruppo cianuro.

Di conseguenza, è necessario che il ricercatore "spari" un breve impulso di luce laser sul monocianuro di iodio e poi che spari immediatamente dopo un secondo impulso per vedere se si manifesta fluorescenza. Il procedimento viene poi ripetuto più volte, con il secondo impulso luminoso sparato a intervalli sempre più brevi dopo il primo. Alla fine, il secondo impulso luminoso scatta così rapidamente che non si osserva fluorescenza: il legame non si è ancora spezzato.

In questo modo, i ricercatori hanno scoperto che il tempo necessario perché il legame chimico si spezzi dopo essere stato danneggiato è di 205 milionesimi di miliardesimi di secondo. Perché il legame chimico si spezzi, l'atomo di iodio deve allontanarsi di 50 milionesimi di centimetro dal gruppo cianuro. C'è forse modo di visualizzare l'intervallo ultrabreve impiegato da un legame chimico per spezzarsi? Be', ci si può provare.

La luce viaggia alla velocità di 299.792 chilometri al secondo. Questa è la massima velocità consentita nell'universo. È talmente elevata che un raggio di luce può fare il giro della Terra in un settimo di secondo, oppure viaggiare dalla Terra alla Luna in un secondo e un quarto. O ancora, viaggiare dalla Terra al Sole, molto più lontano della Luna, in otto minuti.

Quanta distanza coprirà allora il lampo luminoso in 205 milionesimi di miliardesimi di secondo? La risposta è un centosessantesimo di centimetro. In altre parole, il raggio ultrarapido emesso sotto forma di impulso laser colpisce la molecola e riesce a proseguire di un centosessantesimo di centimetro prima che il legame chimico si spezzi.

Un sogno si avvera

Nel 1865 un chimico risolse un problema grazie a un sogno e ora, 125 anni più tardi, gli scienziati hanno finalmente trovato una dimostrazione diretta. Guarda caso, il risultato indica che la soluzione del sogno era esatta.

Tutto cominciò così: intorno al 1860 i chimici stavano studiando il modo in cui gli atomi si combinano tra loro per formare le molecole. A quel tempo le proprietà delle molecole venivano spiegate in termini di legami atomici. Le poche e semplici regole sui modi in cui gli atomi si collegavano tra loro avevano prodotto dei modelli più o meno simili a un complesso gioco del meccano, che riuscivano a spiegare un numero enorme di fenomeni chimici.

Il più importante fautore di quelle ricerche era il chimico tedesco Friedrich A. Kekulé, il quale era tormentato da un grosso problema che i modelli da gioco del meccano non sembravano risolvere.

C'era di mezzo un composto chiamato benzene. Kekulé sapeva che ogni molecola

di benzene era composta da sei atomi di carbonio e da sei atomi di idrogeno, ma non c'era verso di metterli insieme in modo corretto. Indipendentemente da come venivano sistemati, il risultato era sempre una molecola molto attiva, che cioè doveva combinarsi facilmente con altri atomi e con altre molecole. Sfortunatamente, il benzene non si comportava così: era un composto molto stabile che solo raramente si combinava con altri atomi e molecole.

Finché esisteva questa discrepanza, l'intero sistema "gioco del meccano" rimaneva sospetto, e i chimici non erano affatto felici di dover cercare un nuovo tipo di modello.

Kekulé si applicò per anni alla ricerca di una soluzione; sistemò gli atomi di carbonio e idrogeno in ogni maniera possibile e immaginabile, ma non riuscì a trovare un modello soddisfacente. La soluzione giunse in un modo del tutto imprevisto. Un giorno che si trovava a Gand, in Belgio, Kekulé salì su un *trolley-bus* a cavalli che lo portò lemme lemme lungo i viali della città in direzione dell'università presso la quale insegnava. Era piuttosto stanco e, naturalmente, pensava al benzene. Quel problema lo stava consumando, tenendogli la mente occupata giorno e notte.

Sul trolley-bus, Kekulé si appisolò, ma il problema non lo abbandonò nemmeno nel sonno. Fece un sogno nel quale catene di atomi di carbonio si attorcigliavano collegandosi ad atomi di idrogeno, e a un certo punto una catena di atomi si piegava e si agganciava all'estremità opposta formando un piccolo esagono rotante di atomi di carbonio.

Il chimico tedesco si svegliò di soprassalto, comprendendo di aver trovato la soluzione. Tutti avevano dato per scontato che nel benzene i sei atomi di carbonio formassero una riga dritta con i sei atomi di idrogeno intorno. E se invece i sei atomi di carbonio fossero stati disposti ad anello?

Una volta arrivato al laboratorio, Kekulé cominciò a ragionare su una molecola di benzene consistente in un anello composto da sei atomi di carbonio, ciascuno dei quali unito a un atomo di idrogeno. Una disposizione del genere sarebbe stata molto simmetrica e di conseguenza avrebbe dato alla molecola una notevole stabilità. Rifletté inoltre sui diversi modi in cui altri atomi potevano eventualmente collegarsi a un anello del genere, e arrivò a una conclusione che corrispondeva esattamente al reale comportamento del benzene. Per esempio, sia nel modello sia nella realtà c'erano tre soli modi in cui due atomi di cloro potevano prendere il posto di due atomi di idrogeno.

Da allora, l'anello a sei atomi di carbonio venne accettato come una buona rappresentazione della realtà.

In realtà, l'anello di per sé non sarebbe sufficiente a rendere conto della stabilità del benzene, ma ai primi del Novecento si scoprì che gli atomi sono composti da minuscoli nuclei circondati da elettroni, e che sono gli elettroni a interagire per formare i legami fra gli atomi. Nel 1939, Linus Pauling dimostrò che, nel caso di molecole come il benzene, l'interazione degli elettroni produce una situazione molto stabile.

Ma sebbene ogni proprietà chimica del benzene scoperta anche dopo i tempi di Kekulé confermasse l'ipotesi di molecole di forma esagonale, questa era una dimostrazione indiretta.

Finalmente, nel 1981, nel centro ricerche dell'IBM fu inventato un apparecchio de-

nominato microscopio elettronico a scansione con effetto tunnel, che consiste in un ago di tungsteno estremamente sottile in grado di emettere elettroni nel vuoto. Gli elettroni emessi rimbalzano sulla superficie del materiale preso in esame. Dalla riflessione di questi elettroni, un computer elabora l'aspetto della superficie riflettente con tale ricchezza di dettagli da permettere di distinguere perfino gli atomi.

Sarebbe interessante far rimbalzare degli elettroni sulla superficie di un campione di benzene solido, ma ci vorrebbe qualcosa in grado di condurre elettricità e il benzene non è conduttore. Per giunta, anche allo stato solido le molecole di benzene si muovono tanto che l'immagine risulterebbe troppo sfocata per distinguere qualcosa.

Tuttavia si è tentato di eseguire l'esperimento. Il benzene è stato combinato con ossido di carbonio (CO) per "tenerlo fermo" ed è stato aggiunto del rodio, un metallo conduttore di elettricità. Così, nel 1988 si sono ottenute alcune immagini fotografiche che mostravano piccoli anelli di carbonio di forma esagonale: gli scienziati potevano finalmente vedere con i loro occhi il sogno di Kekulé. Era corretto.

Invecchiando

Qualche volta il linguaggio scientifico non si accorda con la lingua di uso corrente. Se ci si imbatte nell'espressione "radicale libero", per esempio, si può pensare a un estremista che non sia in prigione. In chimica, invece, questa espressione ha un significato del tutto diverso.

Nella terminologia chimica una *molecola* è composta da più di un atomo. Nella molecola, gli atomi sono collegati a vicenda tramite coppie di elettroni. Per esempio, un atomo di carbonio può essere collegato a quattro diversi atomi di idrogeno tramite quattro diverse coppie di elettroni. In certi casi, un atomo di idrogeno può spezzare il legame che lo unisce all'atomo di carbonio e liberarsi, portando con sé il proprio elettrone. Ciò che rimane della molecola originaria è un atomo di carbonio con soltanto tre atomi di idrogeno. Là dove dovrebbe trovarsi il quarto atomo di idrogeno c'è invece un elettrone non collegato a nulla.

La parte di molecola che contiene quell'unico elettrone viene chiamata *radicale*. L'elettrone singolo è molto attivo e tende a "tirare" con forza verso le molecole vicine allo scopo di attaccarsi a un atomo con il quale poter formare una nuova coppia di elettroni. Questo fenomeno è talmente rapido che di solito il radicale appena formato si limita a riafferrare l'atomo appena perduto prima che si possa allontanare. Ciò nonostante, se un radicale riesce a durare abbastanza a lungo e vagare nella sostanza fino ad attaccarsi all'atomo di una molecola vicina, durante la sua breve esistenza viene chiamato "radicale libero".

I radicali liberi si possono formare all'interno delle cellule, grazie a radiazioni come i raggi cosmici, i raggi X o i raggi ultravioletti del Sole, oppure grazie a certi elementi chimici. Una volta formati possono durare abbastanza a lungo da danneggiare le molecole circostanti. Quando le molecole danneggiate sono proteine, enzimi o, peggio ancora, molecole di acido desossiribonucleico (DNA) (la sostanza fonamen-

tale che costituisce i geni), la cellula accusa il colpo: i suoi meccanismi interni possono risultrarne seriamente alterati.

Il corpo umano possiede alcune particolari difese per prevenire o per correggere un danno provocato dai radicali liberi: sostanze come la vitamina C e la vitamina E, per esempio, sono in grado di cedere elettroni e in tal modo soddisfare l'appetito dei radicali liberi impedendo che attacchino altre molecole. Esistono inoltre dei meccanismi in grado di riparare le molecole danneggiate dai radicali liberi.

Tuttavia, non tutti i danni provocati dai radicali liberi possono essere evitati o riparati. Ciò significa che nel corso della vita i danni alle cellule si accumulano. Con il passare degli anni, un numero sempre maggiore di cellule viene storpiato e numerose parti essenziali della macchina-corpo diventano sempre più fragili e inefficienti.

Alcuni scienziati ritengono che siano questi danni progressivi a causare la vecchiaia e a portarci in ogni caso alla morte, anche in assenza di malattie o incidenti.

Se così fosse, allora per vivere più a lungo basterebbe individuare difese più energiche di quelle fornite dal corpo per bloccare i danni dei radicali liberi. Per esempio, esistono certi alberi, come il guaiaco, che hanno una vita eccezionalmente lunga. Il guaiaco, o creosoto, contiene in abbondanza una sostanza chiamata acido nordiidroguaiaretico (NDGA), in grado di provocare un "corto circuito" nei radicali liberi cedendo loro un elettrone, probabilmente con maggiore efficienza delle vitamine C ed E.

Un biochimico dell'Università di Louisville, John P. Richie Jr., ha recentemente sperimentato questa possibilità somministrando dosi di NDGA a un certo numero di zanzare femmina, che vivono in media 29 giorni: con la somministrazione di NDGA sono arrivate a 45 giorni, ovvero un aumento del 50 per cento. Se funzionasse anche con gli esseri umani, si potrebbe aumentare l'arco della nostra vita media da 75 a ben 113 anni.

È poco probabile che qualcuno pensi di sperimentare l'NDGA sugli esseri umani, ma l'osservazione fatta da Richie pare sostenere l'ipotesi che i radicali liberi siano gli agenti dell'invecchiamento. D'altro canto, ci potrebbero essere altri metodi, meno rischiosi, per impedire la formazione di radicali liberi o per favorirne la rimozione, estendendo così l'arco della vita umana.

Ma a questo punto ci si deve porre una domanda: se davvero si dimostrasse possibile prolungare la vita umana, sarebbe consigliabile farlo davvero?

Una vita umana più lunga accelererà ulteriormente l'incremento demografico e renderà necessario diminuire il tasso di natalità, in modo ancor più drastico di quanto sembri oggi opportuno. Ciò significa che ci saranno molti meno giovani. Il governo, la borsa e tutte le strutture che reggono la società saranno guidati per periodi sempre più lunghi da vecchi sempre più vecchi. I giovani, per pochi che siano, dovranno aspettare sempre più a lungo prima di avere la possibilità di prendere il timone. Tutto ciò importa a qualcuno?

Probabilmente sì. Non è solo questione di giovinezza: il fatto è che i giovani sono sangue nuovo, creature nuove. Ogni ragazzo rappresenta una nuova combinazione di geni in grado di produrre un cervello che potrebbe essere quel che ci vuole per affrontare e risolvere i problemi in modo nuovo e creativo. Una società tenuta rigidamente sotto il controllo di gente vecchia e longeva, con una trasfusione sempre più lenta di

nuove leve, tenderà a indebolirsi e a divenire statica, fino a raggiungere un definitivo declino. In realtà, la morte dell'individuo è necessaria per la salute e la prosperità della specie. Il vantaggio che io e voi potremmo avere da una vita più lunga verrebbe pagato con il generale declino dell'umanità.

L'inafferrabile quark

Fin dai tempi degli antichi greci, i filosofi hanno tentato di rispondere alla domanda: "Di quali elementi fondamentali è costituito l'universo?" Gli scienziati di oggi stanno ancora cercando una risposta, ma l'ultimo tassello del mosaico continua a sfuggire. Pare quasi scivolare di mano.

Per esempio, l'universo è costituito da un certo numero di elementi, sostanze semplici che non possono essere ulteriormente semplificate dai comuni metodi chimici. Gli scienziati ne hanno identificato oltre un centinaio. Ciascun elemento è costituito da atomi, particelle talmente minuscole che ne occorrono almeno cento milioni, allineate fianco a fianco, per raggiungere un solo centimetro. Possiamo dire perciò che l'universo è costituito da più di un centinaio di tipi diversi di atomi.

Ma gli atomi sono davvero ciò di cui è formato l'universo? O forse anche gli atomi sono formati da particelle più piccole ed elementari?

All'inizio del Ventesimo secolo, gli scienziati scoprirono che gli atomi hanno una struttura precisa. Gli strati esterni dell'atomo contengono gli elettroni, mentre al centro c'è un nucleo talmente piccolo che ne occorrerebbero centomila, in fila uno dietro l'altro, per raggiungere la misura di un solo atomo. Gli elettroni sono tutti identici, indipendentemente dal tipo di atomo nel quale si trovano. I nuclei invece sono diversi da atomo a atomo.

Tuttavia, i nuclei atomici sono a loro volta formati da due tipi di particelle: i protoni e i neutroni. Tutti i protoni e tutti i neutroni sono uguali indipendentemente dal tipo di nucleo nel quale si trovano. Nel corso dei primi anni Trenta, pareva proprio che la materia costitutiva dell'universo, in tutte le sue varietà apparentemente infinite, fosse composta da tre tipi di particelle: elettroni, protoni e neutroni.

Ma in realtà la faccenda è più complicata: esistono infatti ben tre varietà diverse di elettroni, e ognuna è associata a un neutrino diverso. Queste sei particelle hanno inoltre un'immagine speculare, il che significa che esistono dodici particelle del tipo "elettrone" (chiamate *leptoni*). Ciascuna è una *particella fondamentale*, nel senso che - per quanto ne sappiamo - non può essere scissa in nient'altro di più elementare. Per gli scienziati, dodici leptoni non sarebbero poi troppi.

Il neutrone e il protone sono diversi. In primo luogo, sia i neutroni sia i protoni hanno una massa 1800 volte superiore a quella degli elettroni. Di conseguenza rappresentano circa il 99,95 per cento dell'universo. In secondo luogo, nei decenni successivi agli anni Trenta gli scienziati cominciarono a identificare ogni genere di nuove particelle con massa superiore agli elettroni, ed erano letteralmente centinaia.

Queste particelle erano sì troppo numerose e rendevano l'universo talmente com-

plicato che ancora una volta gli scienziati furono costretti a domandarsi se queste nuove particelle non fossero composte da particelle ancora più piccole ed elementari.

Negli anni Sessanta alcuni scienziati ipotizzarono l'esistenza di alcune particelle che sarebbero i "blocchi costitutivi" di tutte le altre, e le chiamarono *quark*. I neutroni, i protoni e le altre particelle di massa ancora superiore - teorizzarono gli scienziati - sono tutti composti di tre quark. Le particelle più pesanti degli elettroni ma più leggere dei neutroni e dei protoni (i cosiddetti *mesoni*) sarebbero invece composte di due quark.

Da quel che risulta, esistono dodici diversi quark, proprio come ci sono dodici leptoni. Anche i quark sembrano essere, come i leptoni, particelle fondamentali, quindi si potrebbe affermare che l'intero universo in tutta la sua infinità varietà è costituito da dodici leptoni e da dodici quark, e che tutte le particelle esistenti sono leptoni o quark, o combinazioni di quark (oltre a certe particelle chiamate "bosoni" che permettono alle altre particelle di interagire). Il quadro complessivo pare abbastanza semplice; resta comunque un problema.

Gli scienziati sono in grado di individuare molto facilmente i leptoni liberi e di studiarli, ma non sono in grado di individuare i quark liberi. L'elettrone possiede una carica elettrica di una unità, e così il protone. Tutte le cariche elettriche sono multipli di quell'unità. Nondimeno, gli scienziati hanno calcolato che i quark dovrebbero avere cariche elettriche frazionarie. Ma come possiamo esserne sicuri, se non li abbiamo mai studiati allo stato libero?

Per la verità non possiamo essere sicuri neppure che i quark esistano: potrebbero essere puri artifici matematici. Per esempio, sappiamo che una banconota da mille lire è l'equivalente di dieci monete da cento lire, ma ciò non significa che se stracciamo la banconota da mille lire troveremo fra i frammenti dieci monete da cento. Le dieci monete da cento nella banconota da mille lire sono pura e semplice matematica.

Sarebbe facile identificare un quark libero tramite la sua carica elettrica frazionaria, che non esiste in nessun altro tipo di particella, ma nessuna carica elettrica frazionaria è mai stata scoperta. Verso la fine degli anni Settanta è stato annunciato più volte il successo di esperimenti in questo senso, ma i risultati non si sono mai dimostrati ripetibili.

I quark liberi devono esistere in condizioni estreme: per esempio al centro delle stelle di neutroni, oppure immediatamente dopo il big bang, la "grande esplosione primordiale" dalla quale avrebbe avuto origine l'universo. Ma com'è possibile riprodurre in laboratorio condizioni simili?

A questo punto emerge una piccola speranza. Forse sarà possibile costringere nuclei atomici particolarmente massivi a entrare in collisione ad altissima energia, disponendo di acceleratori di particelle abbastanza potenti. I nuclei disintegrati potrebbero allora liberare, per un tempo brevissimo, alcuni quark isolati, e in quel momento forse gli scienziati avrebbero la possibilità di dare un'occhiata a questi inafferrabili e fondamentali componenti dell'universo. *Forse*.

Quante particelle?

Quanti diversi tipi di particelle costituiscono l'universo e ogni cosa in esso contenuta? Quante ne rimangono da scoprire? I fisici sono sul punto di ottenere alcune risposte a queste importanti domande.

Esistono tre classi di particelle fondamentali (cioè particelle che non possono essere ridotte in qualcosa di più elementare): (1) i *leptoni*, (2) i *quark* e (3) i *bosoni*.

Il leptone più importante è l'elettrone, che si trova ovunque. C'è un elettrone pesante che si chiama "muone" e, benché non esista in natura in quantità rilevanti, può essere prodotto in laboratorio. C'è un elettrone ancora più pesante che si chiama "tauone" o "particella tau". Ciascuno dei tre è associato con un neutrino diverso, il che fa sì che ci siano complessivamente sei leptoni.

Esiste anche la cosiddetta "antimateria", identica alla materia comune in tutto fuorché in certe caratteristiche, come la carica elettrica, che sono opposte. L'antimateria non esiste nell'universo in quantità rilevanti, ma può essere prodotta in laboratorio. Comprendendo i sei diversi "antileptoni", in tutto si arriva a dodici particelle.

Anche i quark si presentano in sei varietà diverse. I più importanti sono i "quark u" e i "quark d", che sono i più leggeri ("u" sta per *up*, "su", e "d" sta per *down*, "giù"). Costituiscono i protoni e i neutroni, che si trovano ovunque. Più pesante è una particella più è difficile da formare. Il quark più pesante, il "quark t" ("t" sta per *top*, "alto"), ha una massa ottomila volte maggiore del quark più leggero. Non è ancora stato creato in laboratorio, ma gli scienziati sono certi che esista. Per ogni quark c'è un "antiquark", perciò esistono complessivamente dodici particelle di tipo quark.

I bosoni sono le particelle che rendono possibili le interazioni tra leptoni e quark. Esistono quattro tipi di interazione: gravitazionale, per la quale c'è un solo bosone; elettromagnetica, per la quale c'è un solo bosone; debole, per la quale ci sono tre bosoni; e infine l'interazione forte, per la quale ci sono otto bosoni. Ciò significa che complessivamente esistono tredici bosoni.

In totale, tra leptoni, antileptoni, quark, antiquark e bosoni si arriva a un totale di 37 particelle. Sono tutte qui? Be'...

Il bosone più pesante fra quelli che agiscono nell'interazione debole si chiama "particella di grado Z". Ha massa doppia rispetto al quark più massivo ed è stato formato e osservato per la prima volta nel 1984. La persona che ha diretto il lavoro di ricerca è il fisico italiano Carlo Rubbia, che grazie a questa scoperta ha conseguito il premio Nobel.

Una particella molto massiva viene formata costringendo due particelle normali a unirsi sotto la spinta di una grande forza. Le due particelle entrano in collisione provocando una pioggia di altre particelle e l'energia della collisione si converte in massa, cosicché le particelle risultanti possono avere una massa notevolmente superiore alle due particelle iniziali.

Attualmente, Carlo Rubbia lavora in un centro di ricerca nei pressi di Ginevra, in Svizzera, con il supercollisore elettroni-positroni noto come LEP (*Large Electron Positron*). In esso, un flusso di elettroni viene accelerato su una traiettoria circolare in una direzione, mentre un flusso di positroni (l'antiparticella degli elettroni) viene accelerato nella direzione opposta. I due flussi entrano in collisione e formano altre particelle: se l'energia è quella esatta, si formano particelle di grado Z.

La costruzione del LEP è iniziata nel 1981. Elettroni e positroni sarebbero passati

attraverso un tubo circolare, con una circonferenza di circa 27 chilometri. L'interno del tubo doveva essere in condizioni di vuoto assoluto, così da evitare che i flussi di elettroni e di positroni entrassero in collisione con le molecole dell'aria.

Quando finalmente il LEP entrò in funzione, nel luglio 1989, gli bastarono quattro settimane per formare la prima particella di grado Z.

Ma non fu il primo: era stato preceduto da due diversi impianti negli Stati Uniti. Tuttavia il LEP ha la capacità di calibrare esattamente la quantità di energia che produce, il che è fondamentale per formare particelle di grado Z. Ciò significa che quando comincerà a entrare in azione sul serio dovrebbe produrle in quantità. La speranza è che per la fine del 1989 il LEP avrà formato almeno 100 mila particelle di grado Z.

Con una quantità simile di particelle a disposizione, dovrebbe essere possibile stabilire con maggior precisione che in passato la massa di cui è dotata ciascuna particella. Inoltre, dovrebbe anche essere possibile stabilire quanto dura la particella di grado Z prima di disgregarsi. Finora si è calcolata una durata di circa un milionesimo di miliardesimo di secondo, ma gli scienziati hanno bisogno di cifre molto più precise.

Se le caratteristiche della particella di grado Z verranno individuate con sufficiente esattezza, gli scienziati sono convinti di poter dedurre quanti leptoni e quanti quark possano esistere; la risposta, si ritiene, sarà che esistono soltanto dodici leptoni e dodici quark, e che tutti eccetto il quark t sono stati scoperti.

Ma anche se così fosse, resta la possibilità che esistano particelle che non sono né leptoni né quark né bosoni, ma che rientrino in categorie diverse. L'universo potrebbe essere davvero molto più complicato di quel che sappiamo.

Dominare l'antimateria

Nella scienza non esiste nulla di più eccitante che prevedere teoricamente l'esistenza di qualcosa che nessuno ha mai osservato, se poi qualcuno lo osserva davvero. Un fatto simile è capitato a un fisico di nome Paul Dirac.

Nel 1928, Dirac stava valutando le proprietà degli elettroni secondo le nuovissime equazioni della meccanica quantistica. Gli pareva che le equazioni dimostrassero l'esistenza di *due* tipi di elettrone, di carica opposta. I normali elettroni hanno carica negativa, mentre quelli dell'altro tipo (*antielettroni*) dovevano avere carica positiva e per il resto essere del tutto identici.

Un elettrone con carica positiva non era mai stato osservato, e così ben pochi scienziati presero sul serio Dirac. Ma nel 1932 un altro fisico, Carl Anderson, che stava studiando i raggi cosmici, scoprì la traccia di una particella che si creava quando i raggi cosmici entravano in collisione con l'atmosfera. Questa particella lasciava una traccia esattamente identica a quella di un elettrone, però curvava nella direzione sbagliata, quindi doveva avere carica positiva. Si trattava di un antielettrone o, come lo chiamò Anderson a causa della sua carica elettrica, un "positrone".

A Dirac fu conferito il premio Nobel nel 1933 e Anderson lo ricevette nel 1936.

Ma le equazioni di Dirac si applicavano a varie particelle. Se l'elettrone aveva un opposto, a loro volta anche i protoni, i neutroni e molte altre particelle dovevano avere un opposto. Tutte queste antiparticelle dovevano ovviamente avere la capacità di riunirsi insieme per formare atomi che avessero caratteristiche opposte a quelli normali. E questi atomi "opposti" avrebbero costituito la cosiddetta "antimateria".

I protoni hanno una massa che è circa 1800 volte quella degli elettroni. Di conseguenza, per formare un antiprotone serve un'energia 1800 volte maggiore. Aspettare un raggio cosmico che avesse energia sufficiente avrebbe richiesto un bel po' di tempo, ma gli scienziati non dovettero attendere a lungo. Si stavano costruendo acceleratori di particelle sempre più grandi e, nel corso degli anni Cinquanta, alcuni divennero abbastanza potenti da produrre energie in grado di formare antiprotoni. Nel 1955 gli scienziati Emilio Segrè e Owen Chamberlain portarono a termine quest'impresa: scoprirono l'antiprotone e condivisero il premio Nobel nel 1959.

Sembra che ci sia pochissima antimateria "naturale" nell'universo, ma gli scienziati sono riusciti a crearla in laboratorio e questo risultato si deve principalmente al fatto che, per semplice deduzione matematica, tre decenni prima Dirac aveva messo in luce che l'impresa era possibile.

Tuttavia era molto difficile studiare in dettaglio l'antimateria prodotta in laboratorio, perché le antiparticelle prodotte erano dotate di un'energia enorme e si muovevano a velocità incredibili. Inoltre, ciascuna antiparticella era destinata a incontrarsi con una normale particella del suo stesso tipo entro una frazione di secondo, dal momento che attorno a loro esistevano migliaia di miliardi di particelle normali. Quando ciò avveniva, particella e antiparticella si annullavano trasformandosi in energia. Questo fenomeno viene definito *annichilazione reciproca*.

Sorgeva dunque il problema di dominare l'antimateria, vale a dire di rallentare le antiparticelle e di sottrarle immediatamente dalle migliaia di miliardi di particelle normali per evitarne l'istantanea distruzione. Solo così gli scienziati avrebbero avuto la possibilità di studiarle nei dettagli.

L'équipe di fisici europei che lavora a Ginevra - il centro di ricerca europeo dotato dei maggiori impianti per lo studio delle particelle atomiche - sembra sul punto di portare a termine questa impresa. Dagli anni Cinquanta in poi gli acceleratori di particelle hanno continuato a diventare sempre più potenti e quello di Ginevra è uno dei più potenti al mondo: è in grado di formare antiprotoni in gran quantità.

Questi antiprotoni sono poi costretti a passare attraverso del berillio metallico. Circa la metà interagisce con i protoni presenti nel metallo e si perde; il resto rimbalza sugli elettroni (con i quali non interagisce) negli strati esterni degli atomi ed emerge con un'energia molto ridotta.

Gli antiprotoni così "filtrati" passano in un contenitore sotto vuoto, dove ci sono pochissime particelle con cui collidere e annichilirsi. Il contenitore è mantenuto inoltre a una temperatura molto vicina allo zero assoluto per sottrarre ulteriore energia agli antiprotoni. Per giunta, il contenitore è situato in un campo magnetico che impedisce agli antiprotoni di urtare le pareti del contenitore, dove sarebbero annichiliti. Con questa tecnica gli antiprotoni possono essere mantenuti in vita per oltre dieci minuti, e probabilmente per periodi di tempo ancora più lunghi.

Ora, dunque, gli scienziati hanno la possibilità di misurare con precisione la massa

di un antiprotone. Secondo la teoria di Dirac dovrebbe essere uguale a quella del normale protone, e questo è ciò che gli scienziati si aspettano di scoprire. Se andrà così, allora la teoria di Dirac avrà una solidissima conferma.

Tuttavia, la scoperta di qualunque piccolo scostamento sarebbe tanto emozionante quanto sconcertante. Significherebbe che la teoria dev'essere modificata e ampliata. E ciò potrebbe aprire la porta a nuove e ancor più profonde conoscenze della natura dell'universo.

Migliorare il diamante

I diamanti sono la quintessenza delle pietre preziose: splendidi, brillanti, rari, e naturalmente costosissimi. Tuttavia pare che si sia sul punto di rendere i diamanti estremamente comuni, poco costosi e molto, molto utili.

Un diamante è carbonio allo stato puro e cristallino, e il carbonio è una delle sostanze più a buon mercato che esistano al mondo. Il carbone è carbonio, per esempio, e lo è anche la grafite che viene utilizzata per le mine delle matite.

Ma se il carbone e i diamanti sono entrambi composti di carbonio, che cosa mai li rende così diversi?

Dipende tutto dal modo in cui gli atomi di carbonio sono disposti. In ogni forma di carbonio, tranne che nei diamanti, gli atomi di carbonio si dispongono liberamente. Invece nei diamanti si dispongono in modo estremamente compatto e geometrico: ogni atomo di carbonio è stretto fra quattro altri atomi identici. Gli atomi di carbonio sono molto piccoli e formano tra loro dei legami particolarmente tenaci quando si dispongono geometricamente. Di conseguenza, i diamanti sono la sostanza più dura che si conosca.

Naturalmente il trucco consiste nel costringere gli atomi di carbonio ad assumere la tipica struttura compatta del diamante, e per farlo si deve riscaldare ad altissima temperatura del normale carbone per far sì che gli atomi di carbonio si muovano con la massima libertà. Il carbonio riscaldato viene poi sottoposto a un'enorme pressione per schiacciare gli atomi uno contro l'altro. Una simile combinazione di alta temperatura e alta pressione, però, è difficile da ottenere, e solo nel 1955 alcuni scienziati della General Electric riuscirono a trasformare del normale carbone in piccoli diamanti.

Ma non c'è modo di produrre diamanti a bassa temperatura e bassa pressione? È probabile di no, ma alcuni chimici sovietici hanno fatto esperimenti per diversi anni con una tecnica nuova e davvero ingegnosa.

Il trucco consiste nel produrre un gas che contenga singoli atomi di carbonio, e farli poi stratificare sopra un'altra sostanza. Per esempio si può partire dal metano, un gas molto comune. Ogni molecola di metano contiene un atomo di carbonio aggregato a quattro atomi di idrogeno.

Se il metano viene scaldato a sufficienza, la molecola si rompe in una miscela formata da atomi di carbonio e di idrogeno. Se poi il vapore viene fatto passare su una lastra di vetro, per esempio, gli atomi di carbonio liberi (che hanno una forte tendenza

ad aggregarsi) si combineranno con gli atomi della superficie del vetro: sul vetro si disporrà uno strato invisibile di carbonio, dello spessore di un solo atomo.

Se poi il vapore di metano surriscaldato continua a inondare la lastra di vetro, altri atomi di carbonio si aggregheranno a quelli già presenti formando uno strato più spesso. Dopo parecchi anni di sperimentazione, i chimici sovietici ebbero la soddisfazione (e forse la sorpresa) di scoprire che gli atomi di carbonio negli strati più grossi assumevano la struttura compatta del diamante.

In altre parole, il vetro non era semplicemente ricoperto da uno strato di carbonio: era ricoperto da una pellicola adamantina. Ed era necessaria soltanto l'alta temperatura per ottenere il vapore di metano; l'alta pressione non era più richiesta.

Immaginiamo degli occhiali, da vista o da sole, con le lenti ricoperte da una pellicola adamantina. Questo sottilissimo strato sarebbe del tutto trasparente e passerebbe inosservato, ma la superficie delle lenti avrebbe le stesse proprietà del diamante: non si potrebbe graffiare se non con un altro diamante.

Se il procedimento venisse reso abbastanza semplice è prevedibile che tutte le migliori lenti verrebbero prodotte con questo strato di diamante. Un simile vetro "adamantizzato", del costo pressoché simile a quello del vetro normale, sarebbe del tutto immune ai graffi, alle scalfitture e alle abrasioni.

Quel che più conta è che con le pellicole adamantine si potrebbero ricoprire altre superfici diverse dal vetro. Lamette da barba e coltelli così trattati non perderebbero mai l'affilatura anche se sottoposti al continuo logorio dell'uso quotidiano. Cuscinetti a sfere e utensili adamantizzati avrebbero una durata pressoché eterna. E dato che il diamante è impermeabile e potenzialmente inattaccabile dagli agenti chimici, i materiali adamantizzati sarebbero immuni alla ruggine e alla corrosione.

Il diamante è anche un isolante elettrico, oltre che un eccellente conduttore termico. Ciò significa che i componenti elettrici adamantizzati garantirebbero un'ottima resa tecnica. In tal modo, macchinari e strumentazioni elettroniche sarebbero meno danneggiate da campi elettrostatici vaganti e non accumulerebbero calore.

Un diamante può anche essere trasformato in un semiconduttore tramite l'appropriata aggiunta di boro o di fosforo. Simili semiconduttori sarebbero resistenti alle radiazioni e trasparenti ai raggi ultravioletti. Inoltre, i loro elettroni si muoverebbero a velocità maggiore di quelli degli altri semiconduttori. Grazie all'adamantizzazione si potrebbero compiere progressi enormi nel campo della tecnologia computerizzata.

Ciò che sorprende di più è una notizia giunta dall'Unione Sovietica (che detiene ancora il primato mondiale in questa tecnica) secondo la quale i nuovi metodi usati per produrre pellicole adamantine creerebbero negli atomi di carbonio una struttura distorta che renderebbe la pellicola ancor più dura dei normali diamanti. Gli scienziati sovietici non hanno ancora ben compreso di che tipo sia questa distorsione, né perché dovrebbe produrre pellicole adamantine più dure. Ma se i dati e le notizie finora resi noti verranno confermati, i possibili impieghi futuri dell'adamantizzazione diventerebbero inimmaginabili.

L'energia ricavata dalla fusione nucleare potrebbe essere un grande beneficio per l'umanità, una vera manna dal cielo. Il combustibile utilizzato non è l'uranio o il torio - elementi abbastanza rari in natura - come nel caso della fissione, ma il deuterio ("idrogeno pesante"), del quale gli oceani abbondano. Mentre i materiali per la fissione durerebbero migliaia di anni, quelli per la fusione ne durerebbero miliardi.

Ma ciò che più conta è che la fusione nucleare produce molte meno scorie radioattive e non richiede una grande "massa critica", come accade per la fissione, che crea il rischio di una fusione incontrollata del nocciolo. Nel caso della fusione nucleare, è possibile lavorare anche con quantità microscopiche di deuterio: se la reazione sfuggisse di mano, darebbe origine a un'esplosione relativamente piccola e nient'altro.

La fusione nucleare, inoltre, è una fonte di energia molto più copiosa e probabilmente molto più sicura. Se si riuscisse a ottenere un'energia di fusione funzionale e controllabile, i nostri problemi energetici sarebbero risolti per sempre!

Ma c'è un tranello. (Ce ne sono sempre.) Infatti i tentativi in questa direzione durano da anni, senza successo. Il problema è che per avere la fusione nucleare si devono far collidere due nuclei atomici. Ma i nuclei atomici sono dotati tutti di carica elettrica positiva, e perciò si respingono.

Ciò significa che due nuclei di idrogeno si sforzano in ogni modo di evitarsi, quando cerchiamo di farli scontrare. Per ottenere ciò che vogliamo noi, e non ciò che vogliono i due nuclei, dobbiamo imprimere una spinta particolarmente energica. A questo scopo è necessario scaldare l'idrogeno così che i nuclei si muovano tanto rapidamente (più alta è la temperatura, più rapido sarà il movimento) da non avere il tempo di sfuggire. Ma non basta scaldarli solo un po'... occorrono decine di milioni di gradi.

Il fenomeno della fusione si svolge al centro del Sole, dove la temperatura è di circa 15 milioni di gradi centigradi. Il nucleo centrale del Sole è sottoposto alla tremenda pressione degli strati esterni che, in combinazione con l'alta temperatura, costringe i nuclei atomici ad aggregarsi.

Non c'è modo di ottenere in laboratorio la pressione che esiste al centro del Sole, quindi non possiamo fare altro che aumentare la temperatura ancor di più: potrebbe essere necessario arrivare a centinaia di milioni di gradi. Per 35 anni abbiamo insistito nel tentativo, e fino a oggi non ci siamo riusciti.

Ma non esiste alcun modo per ottenere una fusione nucleare che funzioni a bassa temperatura? Non si può in alcun modo ottenere la fusione fredda?

Sì, una possibilità c'è.

A bassa temperatura il nucleo di un atomo di idrogeno ha un elettrone nell'orbita esterna che serve a proteggere il nucleo stesso. La presenza degli elettroni impedisce ai nuclei di avvicinarsi a vicenda, e a maggior ragione di entrare in collisione.

Però stiamo parlando di elettroni normali. Esiste un'altra particella - il *muone* - che è uguale all'elettrone in ogni caratteristica misurabile, tranne una: ha una massa 207 volte più grande.

Gli scienziati non sanno ancora perché esista, né perché abbia una massa tanto più grande quando è esattamente uguale all'elettrone in ogni altra caratteristica. Però esiste.

Un elettrone è in grado di bilanciare la carica del nucleo dell'idrogeno, che contiene sempre un solo protone, per formare un normale atomo di idrogeno. Quindi, anche

un muone può farlo. Perché no? È soltanto un elettrone più pesante. Un atomo così formato si chiama *atomo muonico*.

Ma il muone, essendo 207 volte più pesante di un elettrone, gira in un'orbita 207 volte più vicina al nucleo rispetto a quella dell'elettrone, quindi un atomo muonico è ben poco più grande del nucleo stesso. Di fatto, in determinate condizioni, un muone orbita attorno a *due* nuclei di idrogeno, costringendoli ad avvicinarsi parecchio l'uno all'altro anche a normale temperatura ambiente.

Questo comportamento è particolarmente utile quando uno dei due nuclei è deuterio e l'altro è trizio (una forma ancora più pesante di idrogeno). Il deuterio e il trizio si aggregano molto più facilmente di due nuclei di deuterio e, se sono tenuti insieme dai muoni, per la reazione basta la normale temperatura ambiente.

Per giunta, una volta avvenuta la fusione, il muone si stacca e va a orbitare attorno a un'altra coppia di nuclei (deuterio e trizio). Un singolo muone può operare la fusione di 150 coppie di nuclei, in media.

Naturalmente, ci sono i soliti tranelli. Il trizio è radioattivo ed esiste in natura soltanto in tracce. Dovrebbe essere prodotto in laboratorio, e non è certo facile. I muoni sono un problema ancor più grosso. Il trizio, una volta formato, dura in media dodici anni prima di decadere. I muoni, invece, durano soltanto 1/2000.000 di secondo, quindi devono essere prodotti di continuo. Infine, anche cinquanta fusioni per ciascun muone non sono sufficienti. Si dovrà trovare il modo di renderli più efficienti. Al Rutherford Laboratory di Oxford, in Gran Bretagna, si lavora proprio in questa direzione.

In conclusione, anche se si riuscisse a ottenere una temperatura abbastanza elevata per realizzare la fusione nucleare normale, la scoperta di un metodo "più freddo" sarebbe un bel vantaggio. A lungo andare si dimostrerebbe certo più semplice da maneggiare e molto meno costoso.

Perché proprio il trizio?

In questi ultimi tempi si sente parlare sempre più spesso di qualcosa che si chiama "trizio".

Si sente dire che c'è il pericolo di non averne più perché sono stati chiusi o stanno per essere chiusi gli stabilimenti che lo producono. Si sostiene che senza trizio non saremo più in grado di far esplodere nessuna bomba all'idrogeno, in caso di necessità. Saremo costretti a un involontario e unilaterale disarmo nucleare.

Ma che cos'è il trizio? E perché è necessario? Non è forse la sostanza che fa funzionare l'idrogeno contenuto in una bomba all'idrogeno? Non è forse questa la ragione per cui si chiama bomba all'idrogeno?

Sì, certo, ma lo stesso trizio è una forma di idrogeno. L'idrogeno ha tre forme (isotopi). Un atomo di idrogeno normale è composto da un nucleo contenente un solo protone, con un elettrone che vi orbita intorno. Tutti i tipi di idrogeno hanno un solo protone nel nucleo, ma alcuni possiedono anche uno o due neutroni. Un neutrone ha

lo stesso peso di un protone, ma non influisce sulla natura chimica dell'atomo.

Quindi, un normale atomo di idrogeno, con un solo protone nel nucleo, è chiamato *idrogeno 1*. Un atomo di idrogeno con due particelle nel nucleo, un protone e un neutrone, è due volte più pesante ed è chiamato *idrogeno 2*. Infine, un atomo di idrogeno con un protone e due neutroni è tre volte più pesante ed è chiamato *idrogeno 3*.

L'idrogeno 2 viene anche chiamato *deuterio*, un termine greco che significa "secondo", perché è effettivamente il secondo dei tre isotopi dell'idrogeno. Analogamente, l'idrogeno 3 viene chiamato *trizio*, dal greco, che significa "terzo".

L'idrogeno può essere sottoposto alla cosiddetta "fusione". I suoi atomi possono essere costretti a fondersi sotto l'influsso di un'elevata temperatura e di una pressione enorme, per formare atomi più grandi. Mentre ciò avviene, l'idrogeno libera grandi quantità di energia.

L'idrogeno 1 - detto anche *prozio*, cioè "primo", per distinguerlo dagli altri isotopi - "fonde" con grande difficoltà. Lo fa nel nucleo centrale del Sole, ma qui sulla Terra non siamo assolutamente in grado di riprodurre le condizioni estreme che si trovano nel Sole. L'idrogeno 2 fonde più facilmente, e l'idrogeno 3 meglio ancora.

Di conseguenza, per una bomba all'idrogeno conviene senz'altro utilizzare l'idrogeno 2 anziché l'idrogeno 1, e più ancora conviene utilizzare l'idrogeno 3, vale a dire il trizio. Però c'è un trabocchetto. Ogni 100 mila atomi di idrogeno esistenti sulla Terra, 99.985 sono idrogeno 1 e soltanto 15 sono idrogeno 2 (deuterio). Questo fatto, in sé, non è del tutto negativo. C'è talmente tanto idrogeno negli oceani e l'idrogeno 2 è talmente semplice da ottenere che ce ne potremmo procurare facilmente a tonnellate. Tuttavia, l'idrogeno 2 non è ancora sufficientemente facile da fondere per i nostri scopi. È necessaria almeno una certa quantità di idrogeno 3 (trizio), ma quest'ultimo esiste in natura soltanto in tracce insignificanti. Non possiamo assolutamente procurarcene una quantità significativa.

E perché? Perché l'idrogeno 1 e l'idrogeno 2 sono stabili: mantengono la loro identità per eoni, mentre l'idrogeno 3 è radioattivo. Decade trasformandosi in elio 3 (virtualmente inutile nella fusione nucleare) con un periodo di dimezzamento di dodici anni e mezzo. Perciò, ogni atomo di trizio che esisteva un tempo sulla Terra è definitivamente scomparso. La sola ragione per la quale ne esistono ancora alcune tracce in natura è che alcuni atomi di trizio vengono costantemente formati nell'atmosfera dai raggi cosmici.

Tuttavia, gli scienziati hanno imparato a produrre il trizio per mezzo di opportune reazioni nucleari, e col tempo sono stati costruiti stabilimenti nei quali queste reazioni potevano essere realizzate. Ma il trizio artificiale non basta per fabbricare bombe all'idrogeno composte soltanto di trizio; se ne può produrre soltanto pochissimo, da aggiungere al deuterio in qualità di "detonatore", vale a dire per dare inizio alla fusione. Il calore sviluppato dalla fusione iniziale basta poi a scatenare la reazione nel deuterio.

Ma gli impianti che producono il trizio devono restare in funzione, se vogliamo continuare ad avere delle bombe all'idrogeno, poiché il trizio che producono è soggetto al decadimento e non c'è nulla da fare per evitarlo. Dobbiamo continuare a produrlo almeno al suo stesso ritmo di decadimento per averne a sufficienza per il nostro arsenale di bombe all'idrogeno.

Il problema consiste nel fatto che gli stabilimenti che producono il trizio sono ormai vecchi, obsoleti, e anche poco sicuri. Disperdono la radioattività nell'ambiente e producono al tempo stesso una gran quantità di scorie radioattive delle quali ci si sbarazza in modo sconsiderato. Per anni tutto ciò è stato tenuto segreto; per anni non è stato fatto nessun intervento importante. Tutto è sempre stato taciuto e minimizzato in virtù della cosiddetta "sicurezza nazionale".

Il segreto adesso è trapelato e la gente naturalmente ha qualcosa da dire al riguardo. Tutti si oppongono al rischio di essere contaminati da radiazioni che provocano tumori, malformazioni fetali e perfino la morte, sia pure nell'interesse della sicurezza nazionale. Di conseguenza, gli impianti di produzione del trizio sono stati chiusi. Per rimetterli in sesto e renderli anche solo un minimo affidabili dovranno essere spesi parecchi miliardi di dollari e saranno necessari diversi anni. La costruzione di stabilimenti più sicuri richiederebbe ancor più tempo e denaro. E intanto il trizio di cui disponiamo decade giorno dopo giorno, a poco a poco. Questa è la situazione nella quale ci troviamo.

Perché gli impianti industriali non sono stati mantenuti in efficienza, modernizzati e sostituiti uno dopo l'altro secondo un programma preciso nel corso del tempo? Presumo che non sia avvenuto perché il governo ha preferito investire i suoi capitali altrove, e perché poteva sempre nascondere ogni difetto e ogni pericolo dietro la cortina fumogena della sicurezza nazionale.

È deprimente. Quanti altri difetti, quante crepe, quante altre cause di rovina verranno nascosti dal governo dietro la bandiera della "sicurezza nazionale"?

Scomparso per sempre

Nel 1960 scrissi un articolo per avvertire che si stava sprecando sconsideratamente una gran quantità di insostituibile elio; che, una volta sprecato, sarebbe stato perduto per sempre; che, infine, un giorno o l'altro ce ne saremmo pentiti. Molti anni più tardi, oggi, stiamo ancora sprecandolo a un ritmo enorme. La maggior parte dell'elio che si produce viene semplicemente lasciato sfuggire nell'atmosfera, e una volta lassù non è più possibile recuperarlo.

Perché? Dopo tutto, i vari elementi che esistono in natura, a eccezione di quelli radioattivi, non sono forse eterni? Possiamo utilizzare l'alluminio e gli altri metalli senza pericolo che si esauriscano dato che si possono riciclare all'infinito, anche se per farlo dobbiamo consumare energia. E lo stesso deve valere per l'elio.

Mille tonnellate di atmosfera contengono soltanto 750 grammi di elio. Se volessimo sprecare energia in quantità, potremmo sempre estrarre l'elio dall'aria che ci circonda, anche se ottenerlo in questo modo avrebbe un prezzo proibitivo.

Ma in natura esistono due gas talmente leggeri che la gravità della Terra non basta a trattenerli. L'idrogeno e l'elio, lentamente ma inesorabilmente, sfuggono all'atmosfera terrestre, si perdono nello spazio e scompaiono. I nostri vasti oceani sono per la maggior parte formati da idrogeno. Ogni tre atomi contenuti nell'oceano, due sono di

idrogeno. Per cui, considerata la lentezza della dispersione, ne resterà sempre in grande quantità, almeno finché la Terra si manterrà nelle attuali condizioni. L'elio, invece, è una sostanza molto rara in natura e, nel suo caso, la dispersione nell'atmosfera è un problema serio.

Ma allora perché è ancora presente in natura? Perché non è scomparso da tempo immemorabile? La risposta è contenuta nelle sue origini: l'elio si forma molto lentamente attraverso il decadimento degli atomi di uranio e di torio. Nel corso dei miliardi di anni durante i quali è esistita la Terra, si è accumulato nelle rocce e, in particolare, si è mescolato con il gas naturale nelle cavità della crosta terrestre. Noi, oggi, stiamo sfruttando l'elio così accumulato a un ritmo miliardi di volte superiore a quello necessario all'uranio e al torio per decadere e formare così nuovo elio.

Nel Texas e nel Wyoming ci sono alcuni pozzi di gas naturale particolarmente ricchi di elio, che da soli producono più del 90 per cento del fabbisogno mondiale di elio. Ma questi pozzi sono stati trivellati principalmente per il gas naturale, e quest'ultimo viene richiesto in quantità tali che si estrae anche molto più elio di quello richiesto. La soluzione più saggia sarebbe quella di separare l'elio dal gas naturale e di conservarlo in speciali depositi per uso futuro, ma costerebbe un sacco di soldi. E così tre quarti dell'elio estratto dai pozzi del Texas e del Wyoming vengono lasciati a disperdersi semplicemente nell'atmosfera, e sono perduti per sempre.

Perché abbiamo bisogno dell'elio? Innanzi tutto, perché è il secondo gas più leggero che esista, dopo l'idrogeno. Serve per esempio per gonfiare i palloncini. L'idrogeno andrebbe ancor meglio, ma ha una forte tendenza a bruciare (vi ricordate il dirigibile *Hindenburg*?). L'elio invece è assolutamente non infiammabile e non presenta pericoli di altro tipo.

Inoltre è il gas meno solubile in acqua. Viene usato per sostituire l'azoto quando è necessario respirare aria ad alta pressione perché riduce il pericolo di embolia gassosa, una condizione molto dolorosa che può provocare anche la morte.

L'elio non reagisce chimicamente con nessun altro elemento, perciò viene utilizzato nelle saldature metalliche come gas che circonda la fiamma incandescente: il materiale da saldare non reagisce con l'elio, come farebbe con l'aria, e la saldatura ha molte più probabilità di essere perfetta.

Infine, si consideri quel che segue. A 14 gradi sopra lo zero assoluto (14 °K) qualsiasi elemento, eccetto uno, si congela. L'ossigeno, l'azoto e l'idrogeno si congelano. Soltanto l'elio resta ancora allo stato gassoso.

L'elio non si liquefa fino a 4 gradi sopra lo zero assoluto (4 °K) e rimane liquido fino allo zero assoluto (-273 °C). Attualmente l'uso dell'elio liquido è il metodo migliore per mantenere la bassissima temperatura necessaria alla superconduttività. È vero che di recente sono stati scoperti materiali che si dimostrano superconduttori a temperature molto più alte, ma non sappiamo ancora quando potranno essere utilizzati in pratica. Oggi come oggi dobbiamo continuare a dipendere dall'elio liquido. Il più grande acceleratore di particelle in condizioni di superconduttività, già progettato e di prossima costruzione, avrà bisogno di milioni di metri cubi di elio ogni anno per restare in funzione.

Inoltre, anche se verrà realizzata la superconduttività ad alta temperatura, ci sono altri fenomeni da studiare alla temperatura estremamente bassa dell'elio liquido. Non

esistono altri sostituti immaginabili. È probabile che non arriveremo mai a capire i come e i perché dell'universo se all'improvviso le ricerche sulle basse temperature saranno definitivamente precluse.

Ma non esiste nessun modo di procurarsi dell'altro elio, se si permetterà che le riserve naturali della Terra svaniscano del tutto? Forse nello spazio. La fonte di elio più abbondante (molto più di quel che potremmo mai usare) e più vicina a noi è il Sole. Ma che probabilità ci sono di andare a prendere l'elio sul Sole? Esclusa questa strada, la fonte più vicina diventa il pianeta gigante, Giove, che è certo più accessibile... ma non di molto. Posso immaginare delle navette spaziali completamente automatizzate che vadano a raccogliere su Giove l'elio presente nella sua atmosfera esterna, ma ci vorranno ancora parecchi anni prima che si riesca a sviluppare la tecnologia necessaria per un progetto del genere. Se mai ci riusciremo.

La forma più semplice

Tre chimici - due americani (Donald J. Cram e Charles J. Pedersen) e un francese (Jean-Marie Lehn) - hanno condiviso il premio Nobel per la chimica nel 1987, sostanzialmente per aver semplificato una forma.

Si tratta della forma di una molecola enzimatica. Ogni cellula vivente ha migliaia di enzimi diversi, ciascuno dei quali in grado di provocare una determinata reazione chimica. In assenza dell'enzima, la reazione chimica procederebbe con estrema lentezza o non avverrebbe affatto. Con gli enzimi, invece, la cellula diventa un brulichio di reazioni rapide, interconnesse, che mantengono in attività la chimica della vita.

Come ci riescono?

Gli enzimi sono molecole proteiche e ogni molecola proteica è formata da una catena di amminoacidi. Esistono venti tipi di amminoacidi che possono entrare nella costituzione di una catena, e possono essere uniti in gran numero e in *qualsiasi* sequenza.

Ogni amminoacido è composto da una catena di tre atomi, uno d'azoto e due di carbonio (N-C-C). All'atomo di carbonio centrale è collegata una catena laterale, diversa in ogni tipo di amminoacido. Alcune sono brevi, altre lunghe; alcune sono dotate di carica elettrica, altre no; alcune hanno carica positiva, altre negativa.

Una volta che si sono concatenati, gli amminoacidi si piegano in un oggetto tridimensionale mentre le loro catene laterali formano una superficie grumosa e irregolare con cariche elettriche positive e negative sparse qua e là. Ogni diversa disposizione di amminoacidi produce una superficie con una propria forma caratteristica. Il numero delle disposizioni possibili è inimmaginabile.

Anche cominciando sempre con lo stesso amminoacido, i venti amminoacidi conosciuti si potrebbero allineare in più di 2,4 miliardi di miliardi di disposizioni, e ciascuna disposizione costituirebbe una molecola leggermente diversa dalle altre.

Le vere molecole proteiche, però, contengono molto più di venti amminoacidi. Di ogni tipo ce ne sono da poche unità a diverse decine. Il numero delle disposizioni

possibili degli amminoacidi in una molecola di emoglobina (che trasporta l'ossigeno dai polmoni a tutte le cellule del corpo) è di 10 alla 640. Cioè 1 seguito da 640 zeri! E soltanto una di queste disposizioni funziona alla perfezione.

Come fa il corpo umano a ottenere quell'unica disposizione per l'emoglobina? In ogni cellula sono presenti dei cromosomi composti da complesse molecole di acido desossiribonucleico (DNA). Alcune sezioni di queste molecole costituiscono i cosiddetti geni, che sono in grado di produrre repliche esatte di se stessi ogni qualvolta una cellula si divide. I cromosomi contengono le informazioni per guidare la formazione delle proteine secondo una particolare disposizione di amminoacidi.

Gli enzimi vengono prodotti a migliaia, e ciascuno in innumerevoli varietà molto simili tra loro. Ed è proprio per la natura e l'equilibrio degli enzimi, diversi da una forma biologica all'altra, che sulla Terra si sono evoluti attraverso le ere dai dieci ai venti milioni di diverse specie viventi. E per questa stessa ragione almeno due milioni di specie viventi esistono ancora oggi. E sempre per questo altri milioni di specie potrebbero evolversi in futuro. A causa delle lievi differenze negli enzimi, inoltre, ciascun individuo di una specie è diverso dall'altro, cosicché non esistono due esseri umani esattamente identici (neppure i gemelli più perfetti).

Gli enzimi lavorano attraverso la natura delle loro superfici. Un particolare enzima può avere una superficie sulla quale una certa molecola si adatta alla perfezione. Quella molecola viene mantenuta in posizione dando così all'enzima la possibilità di combinarsi con altre molecole e di essere sottoposto a un cambiamento chimico. Una volta che il cambiamento è avvenuto, la molecola non si adatta più alla superficie dell'enzima e viene perciò rilasciata.

Ciascun enzima ha un particolare sito attivo, una porzione della superficie perfettamente adatta alla piccola molecola della quale controlla la reazione chimica. È questo sito attivo che svolge il vero lavoro, ma l'enzima deve avere in aggiunta altre aree complesse che assicurino il suo adattamento a tutti gli altri enzimi in modo che il lavoro complessivo venga svolto in modo coordinato.

Una tale complessità rende le molecole enzimatiche grandi, instabili e facilmente disgregabili, ma ciò non crea problemi alla cellula vivente perché queste molecole si ricostituiscono con la stessa rapidità con la quale si disgregano.

Tuttavia, supponiamo per un momento di poter estrarre gli enzimi dalle cellule per provocare certe reazioni chimiche. Il problema è che si disgregano rapidamente e che noi non abbiamo né la capacità né le attrezzature adatte per ricostituirle abbastanza in fretta.

Ma che ne direste di fabbricare una piccola molecola che abbia la stessa forma del *sito attivo* di un enzima? Potrebbe anche non funzionare alla perfezione come un enzima, ma sarebbe comunque in grado di svolgere la propria funzione. La struttura più elementare ne faciliterebbe la produzione e inoltre una simile molecola sintetica semplificata sarebbe molto più stabile di un enzima.

Sono proprio queste molecole semplici che i tre chimici sono riusciti a riprodurre artificialmente.

Gli enzimi semplificati adesso vengono utilizzati nelle diagnosi mediche, e tutti riconoscono che è stato il lavoro di questi tre chimici a porre le basi della ricerca biomedica, un settore in rapidissimo sviluppo.

I microorganismi pericolosi

È sempre stato dato per scontato che uno scienziato abbia il diritto di compiere esperimenti su ciò che meglio crede. L'affannosa ricerca per ampliare le conoscenze scientifiche è sempre apparsa così nobile negli intenti, così elevata nei principi, spesso così utile nei risultati e nelle conseguenze, che anche le società più repressive e tiranniche l'hanno di solito lasciata in pace. Tuttavia nella sperimentazione sono insiti numerosi pericoli potenziali, e alcuni tipi di ricerca sono regolamentati... a buon diritto.

Per esempio, sarebbe insensato costruire un laboratorio per lo studio degli esplosivi in un'area urbana densamente popolata. Se certi esperimenti chimici producono odori nauseanti o gas velenosi, ci devono essere leggi per regolamentarli e per ridurre al minimo il disagio e il pericolo che potrebbero causare.

Allo stesso modo, l'uso di microorganismi geneticamente alterati (protozoi, batteri, virus) viene visto con un certo imbarazzo e con apprensione persino dagli stessi scienziati.

Al giorno d'oggi è perfettamente possibile alterare il contenuto genetico dei microorganismi per dar loro delle capacità che non possiedono in natura. Si possono fornire a un batterio certi geni che gli rendano possibile produrre in gran quantità insulina umana o altre proteine importanti per la medicina. Si possono sviluppare batteri che abbiano la capacità di eliminare le fuoruscite accidentali di petrolio nell'ambiente, o in grado di digerire altri tipi di scorie e di rifiuti altrimenti non eliminabili. Nuovi microorganismi di questo genere potrebbero contribuire efficacemente a ripulire e a disintossicare l'ambiente.

Questi progressi potenzialmente utilissimi sono soltanto un esempio della miriade di affascinanti applicazioni della nuova arte dell'*ingegneria genetica*.

Ciò nonostante, una volta che un microorganismo alterato viene liberato nell'ambiente, può diffondersi troppo e diventarne un "inquilino" permanente, con salde radici, impossibile poi da sradicare. E che succede se si scopre che, tutto sommato, il microorganismo alterato non è affatto utile come si pensava, anzi, è addirittura nocivo?

Troppo tardi? Non si può certo costringere una frittata a rientrare nell'uovo.

Supponiamo di scoprire che alterando un microorganismo abbiamo inavvertitamente creato una varietà in grado di produrre una tossina estremamente dannosa per l'uomo. Supponiamo anche che la suddetta varietà si moltiplichi rapidamente e si diffonda da persona a persona attraverso la contaminazione dell'acqua e dell'aria. È possibile che si arrivi a concludere di aver scatenato l'incredibile incubo di una nuova Peste Nera destinata a uccidere centinaia di milioni di persone in un'improvvisa e devastante pandemia.

In realtà, questo scenario non è molto probabile, ma supponiamo semplicemente di aver prodotto un batterio che provochi forti attacchi di diarrea o qualcosa di simile a un'influenza intestinale. Potrebbe anche non uccidere, ma il disagio sarebbe comunque grave. La furia della popolazione nei confronti dei responsabili sarebbe incontenibile.

Perciò è nel pubblico interesse avere un governo che regoli questo tipo di esperi-

menti, che insista su certe misure di sicurezza, faccia sì che i possibili effetti di qualunque microorganismo alterato siano scrupolosamente valutati dagli esperti prima di immetterlo nell'ambiente.

Ma una regolamentazione simile è delicatissima e può facilmente essere additata come irragionevole o insensata. E se gli uffici preposti all'applicazione e al controllo delle norme avessero tempi lunghissimi o una prudenza tale da rallentare eccessivamente l'ingegneria genetica?

Per esempio, uno scienziato di nome Gary Strobel della Montana State University lavorava su un batterio che produceva un antibiotico in grado di uccidere il fungo della moria dell'olmo, una malattia che rischiava di distruggere tutti gli olmi del mondo. Strobel alterò geneticamente il batterio per fargli produrre grandi quantità dell'antibiotico necessario. Successivamente iniettò i batteri in quattordici olmi campione per verificare se diventavano immuni alla malattia.

Quando trovò il tempo di dedicarsi alla trafila burocratica per presentare la necessaria domanda all'Environmental Protection Agency (EPA), l'ufficio governativo per la protezione ambientale, si rese conto che il tempo di attesa del permesso lo avrebbe costretto a rimandare di un anno intero il suo esperimento. Prese quindi la decisione di non aspettare ed eseguì l'esperimento senza autorizzazione.

Pensò che, tutto considerato, il batterio sarebbe rimasto all'interno degli alberi campione e di conseguenza non avrebbe avuto la possibilità di entrare in contatto con degli esseri umani. Pensò che non avrebbe avuto alcun effetto sulla popolazione locale, che lo scopo era buono e i rischi del tutto inesistenti.

L'EPA fu costretta a prendere una decisione in merito. Restarsene zitti avrebbe fatto sembrare l'ufficio preposto alla regolamentazione niente di più di una tigre di carta, priva di denti e di artigli, che chiunque potesse non rispettare e farla franca. L'alternativa era quella di punire lo scienziato che aveva compiuto l'esperimento con un semplice ammonimento, con una diffida, con una multa o addirittura con una pena detentiva. In effetti, la punizione poteva anche essere estesa al di là del singolo trasgressore. L'università presso la quale Strobel lavorava poteva perdere i fondi stanziati dal governo federale.

Una punizione severa poteva scatenare lo sdegno della comunità accademica e scientifica, ma anche mettere in guardia tutti i ricercatori perché non si ripettesse una sfida come quella del dottor Strobel.

Alla fine, Strobel fu costretto ad abbattere e a distruggere i suoi quattordici olmi per evitare spiacevoli conseguenze a se stesso e alla sua università.

Il lampo spia

Per diagnosticare un'infezione batterica si devono identificare i particolari batteri presenti. Si deve prelevare un campione di fluido corporeo, far crescere in provetta i batteri eventualmente presenti e studiarli. Dopo qualche giorno si è in grado di definire quale batterio ha causato l'infezione e decidere quali contromisure adottare. Ma c'è

una buona notizia: nel giro di pochi anni sarà possibile svolgere questa trafila in una decina di minuti e procurarsi il responso per mezzo di un lampo luminoso, un lampo molto speciale che non comporta alcun riscaldamento.

In genere la luce è associata al calore. Un corpo riscaldato a sufficienza irradia luce, come si osserva facilmente bruciando qualcosa. La combinazione di combustibile e ossigeno sprigiona luce e calore. Oppure si può far scorrere un certo quantitativo di corrente elettrica in un sottile filamento metallico, che si surriscalda e irradia luce. Questo tipo di luce, detta *luce incandescente*, non è molto efficiente perché la maggior parte dell'energia si perde sotto forma di calore.

Soltanto in tempi recenti si sono elaborate delle tecniche per far risplendere la luce ultravioletta sopra certe sostanze in polvere capaci di assorbire i raggi ultravioletti e di restituire l'energia ricevuta sotto forma di luce visibile, con una dispersione termica molto ridotta. Questo tipo di luce, detta *luce fluorescente*, è molto più efficiente della luce incandescente.

Ma in questo campo la natura ci ha battuti da milioni di anni. Ci sono forme di vita, per la maggior parte di tipo batterico e in larga misura marine, che irradiano un tipo di luce detta *bioluminescente*, in completa assenza di calore. Questo fenomeno è raro sulla Terra, anche se esistono le lucciole che a intermittenza fanno lampeggiare una debole lucina sull'addome. Lo fanno principalmente come segnale di richiamo per l'accoppiamento: grazie alla loro lucina riescono a individuarsi e a trovarsi nell'oscurità. Questo fenomeno è di grande interesse non solo per i biologi ma anche per i chimici, che sarebbero ben felici di capire come produrre quel tipo di luce.

La lucciola contiene un composto chimico piuttosto insolito che è stato denominato *luciferina* (dal latino "portatore di luce"). Normalmente, il composto non ha alcun effetto, ma in presenza di un enzima chiamato *luciferasi* (anch'esso presente nelle lucciole) è in grado di reagire con una molecola di adenosintrifosfato (ATP). Quest'ultima è una sostanza presente in tutte le cellule viventi, senza eccezione, dalle cellule dei batteri a quelle degli esseri umani.

L'ATP è un composto chimico "ad alta energia". La sua funzione è quella di liberare piccole quantità di energia nei punti in cui è richiesta (ecco perché deve essere presente ovunque e perché non potremmo vivere senza). Quando l'ATP trasmette energia alla molecola di luciferina, quest'ultima si trasforma in una molecola leggermente diversa, chiamata "ossiluciferina". L'ossiluciferina è piuttosto instabile e ha una forte tendenza a cedere l'energia ricevuta e a ritrasformarsi quasi immediatamente in luciferina, che è più stabile e meno energetica.

Nelle cellule viventi si formano ogni sorta di molecole energetiche. Di solito cedono energia trasmettendola a qualche altra molecola, che a sua volta la trasmette a una terza e così via. Sono questi scambi energetici che rendono possibili tutte le complesse reazioni chimiche che caratterizzano le creature viventi. Nel corso del processo viene prodotta una certa quantità di calore che, nel caso degli uccelli e dei mammiferi, mantiene costante la temperatura corporea.

Ma l'ossiluciferina fa eccezione. Infatti non cede la propria energia a un'altra molecola ma la libera sotto forma di un minuscolo lampo di luce, senza sprigionare calore, e questo insolito comportamento non è limitato alle cellule della lucciola: luciferina e luciferasi possono infatti essere estratte dalle cellule, e se si aggiunge una piccola

quantità di ATP (adenosintrifosfato) a una soluzione contenente queste due sostanze, la luciferina si trasforma in ossiluciferina, che decade subito in luciferina facendo risplendere la soluzione.

Dunque, supponiamo adesso di immergere un bastoncino in un campione di urina, e successivamente di immergere lo stesso bastoncino in un composto di luciferina e luciferasi. L'urina normale contiene pochissimo ATP, e ciò significa che al composto di luciferina e di luciferasi non succederà nulla. Ma se ci fosse un'infezione alle vie urinarie, e quindi la presenza di cellule batteriche (e, di conseguenza, di ATP) nell'urina? In questo caso, il composto di luciferina e luciferasi comincerebbe a emettere la sua tipica luminosità.

Per rendere il test più preciso si può trattare l'urina in modo tale da distruggere l'ATP eventualmente presente, a eccezione di quello contenuto nelle cellule batteriche. Si può inoltre evitare di affidarsi solo ai propri occhi ricorrendo ad attrezzature speciali, in grado di individuare qualsiasi impulso luminoso per quanto debole e in più di misurarne la brillantezza. Più brillante è la luce, più alta sarà la concentrazione di batteri.

Ovviamente ogni tipo di batterio contiene ATP e quindi causa una certa luminosità, ma è possibile usare degli antibiotici per uccidere i batteri che non interessano, lasciando vivi soltanto quelli che si intende analizzare. Così facendo, il test a base di luciferina-luciferasi sarà specifico.

In tal modo si potrà esaminare ogni genere di cibo e di bevanda con rapidità e precisione per verificare eventuali contaminazioni. Per esempio si potranno analizzare con facilità le uova e il pollame per scoprire l'eventuale presenza di salmonella, un batterio che provoca infezioni particolarmente spiacevoli e talvolta fatali.

C'è ancora parecchia strada da fare per rendere più pratici e precisi questi esami, ma i principi almeno sono stati delineati.

Il progetto Genoma

James Dewey Watson è uno dei più grandi biochimici d'America. Nel 1953, ha fornito un aiuto prezioso nella scoperta della struttura "a doppia elica" del DNA, l'elemento basilare della vita. Per i suoi sforzi in questo campo, nel 1962 ha condiviso con altri due ricercatori inglesi il premio Nobel per la medicina e la fisiologia. E, nell'autunno del 1988, è stato scelto per guidare il "progetto Genoma".

Che cos'è il progetto Genoma? Anzi, che cos'è il genoma?

Tanto per cominciare, l'infinita complessità della vita poggia sul fatto che in ogni cellula avvengono diverse migliaia di reazioni chimiche, simultanee e interconnesse tra loro. Non esistono due specie né, se è per questo, due individui della stessa specie che abbiano una chimica del tutto identica. È diversa persino nelle diverse cellule dello stesso individuo. La natura di ogni organismo, di ogni minuscolo briciolo di vita, è determinata da una moltitudine di reazioni chimiche interdipendenti.

Ciascuna reazione chimica è controllata da un particolare enzima, molecole grandi

e complesse composte da decine o da centinaia di unità più piccole (venti tipi di amminoacidi diversi) che sono disposte a catena. Se un amminoacido è fuori posto oppure è leggermente modificato pur essendo al suo posto, le particolari capacità dell'enzima possono risultare completamente alterate.

Ciascun enzima è prodotto secondo le direttive dei geni contenuti nei cromosomi, situati nel nucleo della cellula. Ciascun gene consiste di una lunga catena di molecole di acido nucleico, la cui struttura è stata determinata da Watson e dal suo collega inglese Francis Crick. L'acido nucleico è composto di migliaia di unità denominate "nucleotidi", di quattro varietà differenti, disposti in una doppia elica che assomiglia a un paio di molle come quelle delle reti metalliche. I quattro nucleotidi sono di solito conosciuti e citati con le sole iniziali dei loro nomi: A, C, G e T.

Se potessimo determinare l'esatta sequenza di tutti i nucleotidi negli acidi nucleici dei cromosomi umani, otterremmo una serie di lettere - AACGTGTCGAA... e così via - che costituirebbe il cosiddetto "genoma umano". Ogni terna di lettere rappresenta un particolare amminoacido. La sequenza delle varie terne determina la sequenza degli amminoacidi nell'enzima, e di conseguenza la sua struttura.

Se si giungesse a una conoscenza approfondita del genoma si farebbe un enorme passo avanti verso la comprensione dello schema biologico umano. Ciò, a sua volta, ci metterebbe in grado di comprendere tutte le reazioni chimiche che avvengono all'interno del corpo umano, e forse anche di capire in che modo si influenzano l'un l'altra.

Non è un progetto semplice. Nel corpo umano ci sono circa 50 mila enzimi che controllano 50 mila reazioni chimiche. Le molecole di acido nucleico che contengono l'informazione genetica che determina e dirige la formazione di questi enzimi sono costituite da sei miliardi di nucleotidi. Se questi nucleotidi venissero rappresentati con l'esatta successione di lettere, formerebbero un miliardo di parole che corrisponderebbero, grosso modo, a 360 libri, ciascuno delle dimensioni di un volume dell'*Encyclopaedia Britannica*... una massa di informazioni davvero enorme. Ma la completa conoscenza del corpo umano non richiede forse un'enorme quantità di informazioni?

Attualmente, solo un migliaio di nucleotidi sono stati messi nella giusta sequenza, un po' qui e un po' là, ma si stanno rapidamente migliorando e automatizzando i metodi per determinarne la successione. È probabile che nel giro di pochi decenni il genoma umano venga elaborato in ogni dettaglio.

Ma anche un risultato del genere non sarà sufficiente. Ci fornirà semplicemente il *genoma umano standard*, vale a dire il genoma riscontrabile in un essere umano di tipo comune, normale e di sana costituzione. Ma parecchie persone nascono con geni difettosi di un tipo o dell'altro e di conseguenza possono avere gravi anomalie metaboliche congenite ed ereditarie. Finora sono state identificate almeno quattromila anomalie inserite nel codice del genoma fin dalla nascita, ed è molto importante avere a disposizione un metodo per scoprirle al più presto possibile.

Per di più, anche tra gli esseri umani normali e di sana costituzione, i geni sono presenti in un assortimento tale che anche in assenza di gravi anomalie hanno comunque marcate caratteristiche individuali. I geni, in diverse varietà, determinano il colore degli occhi e dei capelli in una vasta gamma di tinte e di sfumature, determinano la

forma del naso e del mento e stabiliscono l'altezza e la struttura fisica di ogni individuo. Sarebbe utile identificare le varietà genetiche più importanti così da poter assegnare a ognuno il proprio genoma, che rappresenterebbe la sua particolare "impronta digitale" di acido nucleico.

Tutto ciò non significherebbe che ogni persona dovrà registrare il suo intero genoma composto di 360 volumi sul suo personal computer, naturalmente, bensì soltanto una nota delle principali variazioni caratteristiche.

Infine, gli scienziati potrebbero stabilire i genomi di ciascuno dei due milioni di specie vegetali, animali e di organismi microscopici attualmente viventi sulla Terra. Ciò potrà darci una comprensione approfondita dei legami e delle relazioni fra gli esseri viventi, oltre a una maggiore comprensione dell'evoluzione biologica.

Potremmo persino, in teoria, elaborare nuovi tipi di genomi che nessuna specie possiede e scoprire alcuni dei "come-sarebbe-potuto-essere" della biologia. Il dottor Watson si è assunto l'impegno di un progetto davvero enorme, ma è senz'altro qualificato per guidarlo.

Un primo sguardo alla molecola del DNA

Nel gennaio del 1989 alcuni scienziati sono riusciti a gettare un primo sguardo "diretto" a una molecola molto importante.

Da quasi quattro secoli gli uomini di scienza cercano di osservare gli oggetti troppo piccoli per essere visti a occhio nudo. All'inizio hanno usato lenti in grado di provocare una diffrazione nei raggi di luce, e in questo modo mettere a fuoco e ingrandire l'immagine dell'oggetto che rifletteva la luce. Lo strumento utilizzato a questo scopo era il microscopio.

Con il tempo, i microscopi furono migliorati fino a essere in grado d'ingrandire un oggetto mille volte. A quel punto, gli scienziati si scontrarono con una barriera fisica. La luce è costituita di onde luminose piccolissime, ma anche gli oggetti da osservare al microscopio sono piccolissimi e sotto un certo livello risultano più piccoli delle onde luminose utilizzate per vederli. La luce allora tende a "saltare" gli oggetti senza renderli visibili.

Per aggirare questo ostacolo si possono usare onde luminose più corte, come quelle ultraviolette, e per un po' gli scienziati hanno utilizzato i cosiddetti "ultramicroscopi", ma il miglioramento era limitato. Onde luminose ancora più corte non potevano essere messe a fuoco in modo appropriato.

Ma nel 1923 uno scienziato francese, Louis de Broglie, fece notare che anche le particelle subatomiche (di dimensioni inferiori all'atomo) dovevano avere proprietà ondulatorie. Nel 1925, lo scienziato americano Clinton J. Davisson riuscì a scoprire le onde prodotte dagli elettroni. Queste onde elettroniche erano molto più corte delle normali onde luminose. Di fatto, avevano una lunghezza d'onda all'incirca pari a quella dei raggi X, ma mentre i raggi X erano estremamente difficili da mettere a fuoco, gli elettroni e le loro onde potevano essere messi a fuoco per mezzo di opportuni

campi magnetici.

Il primo apparecchio usato per mettere a fuoco le onde elettroniche e per ingrandire gli oggetti nel modo appena descritto fu costruito nel 1932 da uno scienziato tedesco che si chiamava Ernest Ruska. Venne chiamato *microscopio elettronico*. Era piuttosto elementare, all'inizio, ma con il passare degli anni fu perfezionato e migliorato fino a ottenere ingrandimenti di 300 mila volte.

Per produrre l'immagine ingrandita con questo strumento, gli elettroni dovevano prima passare attraverso l'oggetto. Di conseguenza, gli scienziati dovevano lavorare con sezioni sottilissime degli oggetti da osservare. Ma successivamente fu trovato il modo di inviare sulla superficie dell'oggetto sottilissimi fasci elettronici in grado di "percepire" la zona esaminata e produrre quindi l'immagine ingrandita. Questo nuovo congegno fu chiamato *microscopio elettronico a scansione*.

Oggi, una versione ancora più recente produce un fascio di elettroni per mezzo di quello che gli scienziati chiamano "effetto tunnel". Lo strumento che sfrutta questo fenomeno si chiama "microscopio elettronico a scansione a effetto tunnel" ed è capace di prestazioni eccezionali. Può ingrandire un oggetto un milione di volte e di recente è stato usato per dare uno sguardo - uno sguardo che in effetti non era mai stato dato prima - a una molecola di acido desossiribonucleico (DNA). L'osservazione è avvenuta durante i primi mesi del 1988 al Lawrence Livermore Laboratory in California, a opera di Miguel B. Salmeron e dei suoi colleghi.

Il DNA è importantissimo perché porta in sé l'impronta digitale della vita. Ogni cellula contiene una serie di molecole di DNA che costantemente duplicano se stesse per rifornire le cellule figlie. Queste molecole di DNA sono presenti anche nello sperma e nell'ovulo, cosicché vengono trasmesse dai genitori ai figli. Ogni specie vivente ha un proprio DNA, e piccole differenze esistono anche nel DNA di individui diversi appartenenti alla stessa specie.

L'importanza del DNA fu scoperta nel 1944, e gli scienziati si misero al lavoro per capire in che modo queste molecole potessero riprodurre se stesse.

Nel 1953, lo scienziato inglese Francis H. C. Crick, e il suo collega americano James D. Watson, trovarono la soluzione. I raggi X, nel passare attraverso le molecole, tendono a cambiare la loro traiettoria, e fotografando lo schema di punti da essi prodotto si ottengono i cosiddetti "modelli di diffrazione" dai quali è possibile dedurre la forma della molecola. Dopo parecchio tempo, e dopo un lungo lavoro, finalmente risultò che la molecola di DNA consisteva di due complessi filamenti di atomi intrecciati "a doppia elica" (la stessa forma delle molle usate nelle reti metalliche per i letti). Ciascun filamento aveva una forma complicata, e si adattava esattamente all'altro.

Quando una molecola di DNA ne forma un'altra identica a se stessa, i due filamenti si svolgono. Ciascuno dei due raccoglie poi piccoli gruppi di atomi dal fluido cellulare e li unisce in un nuovo filamento che si adatta con precisione al modello originale. Ciascun filamento serve da modello per formare nuovi compagni per se stesso. Alla fine, quindi, ogni molecola di DNA produce due molecole esattamente identiche.

La scoperta della "doppia elica", vale a dire della struttura del DNA, fece meritare a Watson e a Crick il premio Nobel nel 1962. Il loro lavoro fu considerato un trionfo della deduzione scientifica: descrissero in ogni dettaglio l'aspetto "a doppia elica" del-

la molecola di DNA e il suo comportamento pur senza averla effettivamente osservata.

Quando, 36 anni dopo, vennero scattate delle fotografie della molecola di DNA con l'aiuto di un microscopio elettronico a scansione a effetto tunnel non era più necessaria alcuna deduzione. Nelle fotografie compariva proprio la doppia elica, perfettamente distinguibile. La molecola si avvolgeva "a chiocciola" precisamente come si supponeva. Dalle immagini è stato possibile ricavare la distanza tra una spira e l'altra: circa 1/2.000.000 di centimetro.

Salmeron e la sua équipe hanno in programma di perfezionare ulteriormente il procedimento per osservare i filamenti in dettagli ancor più precisi e nitidi. E tenteranno anche di fotografare altre molecole.

Una capocchia di spillo

È risaputo che nel Medioevo gli eruditi erano soliti dibattere la questione di quanti angeli potessero danzare sulla capocchia di uno spillo. Temo proprio di non sapere come sia finito il dibattito. Oggi, però, se gli scienziati si ponessero una simile domanda potrebbero arrivare a una conclusione sorprendente.

Se si parla di angeli, si parla di esseri soprannaturali, e ciò vuol dire che non sono legati alle leggi della natura. Perciò ogni angelo può, se lo desidera, non occupare alcuno spazio. Da questo punto di vista, sulla capocchia di uno spillo potrebbe danzare un numero infinito di angeli. Non so se sia questa la risposta dei dotti medioevali, ma anche se così fosse, non c'era modo di dimostrare la correttezza dell'ipotesi.

Gli scienziati odierni, comunque, sono legati alle leggi della natura. Di conseguenza, se si domandano per esempio quante parole si possono incidere sulla capocchia di uno spillo, sanno già che il numero non può essere infinito. Ogni lettera prende un certo spazio... e non ce n'è molto, di spazio, sulla capocchia di uno spillo. A occhio, sembrerebbe un'impresa inciderne anche solo una.

Certo, capita di leggere che qualcuno è riuscito a incidere il *Padre nostro* proprio sulla capocchia di uno spillo: immagino che ci si possa riuscire, avendo a disposizione una potente lente d'ingrandimento e uno stilo sottilissimo... nonché una mano fermissima. Gente simile incide le microscopiche lettere in modo che qualcun altro, armato a sua volta di lente d'ingrandimento, possa leggere: «Padre nostro, che sei nei Cieli...» e restare così a bocca aperta.

E uno scienziato, invece, che cosa sarebbe in grado di fare? Be', per esempio potrebbe usare un sottilissimo raggio di elettroni, anziché uno stilo. Alcuni ricercatori dell'Università di Liverpool hanno reso noto di aver utilizzato un raggio elettronico messo a fuoco con tale precisione da produrre incisioni della larghezza di due atomi. Solchi del genere sarebbero talmente sottili da permettere di tracciare un milione di righe nella larghezza di un normale tratto di penna a sfera. Naturalmente non si potrebbe tracciarle a mano libera: il più lieve tremolio confonderebbe senza speranza le righe. Il raggio elettronico deve quindi essere controllato da un computer.

Ma torniamo alla capocchia di spillo. In genere ha un diametro pari a circa un millimetro, e la grandezza di un atomo è tale (meno di 1/40.000.000 di centimetro) che in quel millimetro ce ne stanno circa 4 mila miliardi.

Supponiamo di immaginare questi atomi raggruppati in quadrati di 12 atomi per lato, ognuno contenente quindi 144 atomi. Sulla capocchia dello spillo ce ne starebbero 28 miliardi, ed entro ogni quadrato potrebbe essere incisa una lettera (alcuni verrebbero lasciati bianchi, come spazi interparola).

Dal momento che ogni parola è composta in media da sei lettere (contando anche lo spazio fra una parola e l'altra), i 28 miliardi di quadrati potrebbero contenere 4,7 miliardi di parole.

Un bel mucchio di parole, non c'è che dire! Esaminando la mia *Encyclopaedia Britannica* sono giunto alla conclusione che contenga circa 50 milioni di parole. Ciò significa che è possibile far entrare sulla capocchia dello spillo tutti i volumi dell'*Encyclopaedia Britannica*, usando poco più dell'un per cento dello spazio disponibile. Anche se ogni lettera incisa fosse dieci volte più grande della dimensione minima da me suggerita, l'*Encyclopaedia Britannica* ci starebbe comunque.

Gli studiosi dell'Università di Liverpool hanno dimostrato che questa operazione è possibile anche in pratica incidendo su una capocchia di spillo una pagina dell'enciclopedia, e occupando tanto poco spazio da far prevedere che sarebbero riusciti a farcela stare tutta. (Naturalmente non ha molto senso riportare l'intera *Encyclopaedia Britannica* su una capocchia di spillo, se non per dimostrare quanto complicata sia l'operazione).

Il raggio elettronico può essere usato, con maggiore profitto, come strumento d'analisi per rilevare quali elementi siano presenti in un certo punto. Un problema al quale può essere applicato è quello dei materiali superconduttori, che hanno comportamenti diversi a seconda delle proporzioni degli elementi presenti. Focalizzando il raggio sui punti di giuntura fra gli strati cristallini del superconduttore si provoca un'emissione di raggi X, la cui lunghezza d'onda dipende dal tipo di atomi presenti. In questo modo il raggio elettronico è in grado di identificare quali sono gli elementi presenti e in che quantità.

Con ogni probabilità, simili analisi ci darebbero molte informazioni sulla superconduttività e ci aiuterebbero a utilizzarla nelle varie tecnologie in modi che cambierebbero completamente la nostra società.

Inoltre, la capacità di incidere la materia in modo così infinitesimale potrebbe essere utile nella produzione di microcircuiti sui chip dei computer. Si potrebbero inserire miliardi di microcircuiti su un chip lungo mezzo centimetro, e se si usassero materiali superconduttori non ci sarebbe neanche il rischio di un'eccessiva produzione di calore. Si potrebbero costruire computer enormemente complessi e arrivare a produrre una vera intelligenza artificiale... pari alla nostra, se non superiore. Se poi decidessimo di farlo, naturalmente, è un'altra questione.

Il nostro orologio biologico

Per un periodo di quattro mesi, all'inizio del 1989, una ragazza italiana di nome Stefania Follini è rimasta volontariamente sotto terra, all'interno di un modulo di plexiglas che misurava 6 metri per 3,5 (all'incirca delle dimensioni di un soggiorno spazioso). Il suo abitacolo si trovava a una decina di metri di profondità nei pressi di Carlsbad, nel New Mexico. Non c'erano orologi, non c'era il sole, non c'era alcun modo per misurare il passaggio del tempo. Stefania ha svolto il suo lavoro da sola, in condizioni confortevoli ma in assenza del tempo.

La domanda era: "Come reagirà, in una situazione simile, il suo *orologio biologico*, cioè il suo senso del tempo interiore?" Risposta: l'orologio biologico se n'è andato in mille pezzi durante il prolungato periodo trascorso senza contatti con l'esterno.

Noi tutti possediamo un orologio biologico, che regola le nostre funzioni corporali: in breve, abbiamo un ritmo naturale.

Quando è ora di mangiare abbiamo fame. Quando si avvicina l'ora di dormire ci sentiamo assonnati. Non dobbiamo guardare l'orologio per sapere che è ora di mangiare o di dormire.

Ci alziamo al mattino più o meno all'ora giusta, anche quando non è il sole a svegliarci. (Quale nota personale, aggiungo che io mi sveglio prestissimo. Mi alzo dal letto alle cinque precise, estate o inverno, col sole, con la pioggia o con il buio. Di solito non sonnecchio mai più di una decina di minuti prima di alzarmi e non possiedo sveglie.)

Chiaramente, il ritmo che riguarda il sonno e la veglia ci mantiene più o meno in orario con il sole. La maggior parte dei nostri ritmi ha una base notte-giorno; si tratta dei *ritmi circadiani* (dal latino "intorno a un giorno").

Ci sono anche ritmi mensili per varie forme di vita marina costiera, dato che ci sono alte e basse maree in accordo alle posizioni della Luna e del Sole. Ci sono ritmi annuali che governano vari fenomeni come le migrazioni stagionali degli uccelli e di altri animali. Senza alcun dubbio anche gli esseri umani hanno ritmi su base più lunga, ma quelli giornalieri sono senz'altro più evidenti.

Il ritmo dei pasti e del sonno non è l'unico a svolgersi sulla base delle ventiquattr'ore. Succede anche per l'umore. Se per esempio vi svegliate nel cuore della notte e vi mettete a riflettere su un problema, vi sembrerà che presenti difficoltà insuperabili. Lo stesso problema riconsiderato alle undici del mattino apparirà invece piuttosto banale. Il problema non è cambiato, ma è cambiato il vostro stato d'animo, l'atteggiamento.

Da un punto di vista medico i ritmi circadiani possono essere decisivi. La reazione di una persona allo stimolo delle droghe o il tipo di risposta allergica variano anche secondo i ritmi circadiani. Nel prescrivere le cure e la somministrazione di farmaci alcuni medici stanno imparando a tenerne conto. Per giunta, il ritmo non è necessariamente lo stesso in ogni individuo. Ci sono "tipi mattinieri" e "tipi notturni".

Qualsiasi cosa scombuscoli il ritmo al quale risponde il corpo umano può diminuirne in modo notevole l'efficienza psicofisica. Per esempio, le persone che a causa del lavoro si sottopongono a turni alternati diurni e notturni possono avere difficoltà a reagire alle emergenze, perché sono costretti a far fronte ai problemi delle undici con la condizione fisica delle tre.

I lunghi viaggi aerei, verso est o verso ovest, vi fanno arrivare in un'ora locale mol-

to diversa da quella che avete lasciato, e di nuovo vi trovate fuori ritmo: questo fenomeno viene chiamato *jet lag*. I viaggiatori vengono avvertiti di aspettare un po', di acclimatarsi e di abituarsi ai nuovi ritmi prima di prendere decisioni importanti.

Allora, che cos'è successo all'orologio biologico di Stefania Follini durante i quattro mesi trascorsi in assenza di tempo misurato, in un limbo nel quale l'esterno non le dava alcuna informazione per regolare i suoi ritmi? Il suo senso del tempo si è drasticamente confuso. È piombata in ritmi raddoppiati rispetto a quelli normali. Lavorava per periodi lunghi fino a trenta ore consecutive. Dormiva per periodi da ventidue a ventiquattr'ore filate. Aveva intervalli più lunghi fra un pasto e l'altro... ed è calata di quasi otto chili. Il suo ciclo mestruale (un ritmo grossomodo mensile) si è interrotto completamente. Ha finito per convincersi di essere rimasta sottoterra per due mesi, anziché per i quattro effettivi, e quando è ritornata in superficie, in maggio, pensava che fosse metà marzo.

Questi studi sull'orologio biologico sono importanti dal punto di vista teorico, certo, ma hanno anche degli aspetti pratici.

Infatti, i segnali esterni che ci mantengono sul ritmo giusto saranno sempre disponibili finché ci troveremo sulla superficie della Terra, ma verrà un giorno in cui ci avventureremo nello spazio. Sulla Luna il "giorno" dura due settimane, e così la "notte". Su una stazione spaziale orbitante il "giorno" e la "notte" potrebbero durare un paio di minuti. In una base sotterranea sulla Terra, o in un insediamento spaziale privo di finestre potrebbero non esserci affatto né giorno né notte.

Sarebbe necessario allora, in ognuna di queste circostanze, avere modo di realizzare una successione artificiale di giorni e notti che durasse esattamente ventiquattr'ore. Dopo tutto, i nostri corpi si sono evoluti per eoni adattandosi a questo ritmo, e dobbiamo rispettarlo.

PARTE TERZA
Frontiere della Terra

I movimenti della Terra

Sebbene gli abitanti della Florida ancora non si debbano preoccupare di levare le tende, gli scienziati hanno provato che il Nordamerica sta scivolando lentamente verso il Polo Nord, e alcuni credono che un simile spostamento della superficie terrestre abbia causato l'estinzione dei dinosauri settanta milioni di anni fa.

È la posizione dei poli che ci permette di dire come avviene questo spostamento. Negli ultimi ottant'anni, il Polo Nord si è spostato di circa dieci metri in direzione del Canada orientale, vale a dire 12,5 centimetri all'anno. Questo non perché il polo si stia muovendo ma perché la crosta terrestre sottostante si sposta, avvicinandosi al polo in modo obliquo.

Questo movimento non è certo allarmante, ma se proseguirà allo stesso ritmo e nella stessa direzione, nel giro di dieci milioni di anni New York scoprirà di essere 1300 chilometri più vicina al Polo Nord. Naturalmente il movimento della crosta terrestre può cambiare velocità e direzione nel corso dei millenni, quindi non siamo in grado di prevedere in che punto si troverà un luogo particolare fra qualche milione di anni, né sappiamo in che punto si trovava milioni di anni fa.

Per quanto riguarda il futuro potremmo lasciar perdere; il passato però è tutta un'altra faccenda, perché il corso dell'evoluzione probabilmente è dipeso anche dalla posizione delle masse terrestri rispetto ai poli.

Una delle ragioni di questi spostamenti è stata capita con chiarezza una trentina di anni fa. Nella crosta terrestre (litosfera) sono presenti alcune fratture interne che la dividono in cinque o sei grandi "zolle tettoniche", più alcune altre più piccole. Ognuna di queste zolle è in lento movimento rispetto alle altre (o almeno così si ritiene) a causa dell'effetto di deriva dovuto ai lenti e vorticosi movimenti della roccia fusa sottostante.

Le zolle possono includere sulla loro superficie interi continenti; la zolla nordamericana, per esempio, sorregge l'intero Nordamerica. Se questa zolla si sta muovendo lentamente in direzione nord, il Nordamerica si muove di conseguenza verso settentrione avvicinandosi al Polo Nord.

Tuttavia, pare che questi movimenti non siano gli unici responsabili degli spostamenti subiti dai continenti. C'è un ulteriore movimento dell'intera massa terrestre a una velocità paragonabile a quella della deriva dei continenti. È possibile che, di quando in quando, il movimento complessivo sia anche più veloce.

Ma ne sono davvero sicuri, gli scienziati? Un geologo inglese, Roy Livermore, si è

preso l'impegno di dimostrarlo. Per cominciare, ha misurato l'attuale ritmo di spostamento delle zolle.

Poi ha studiato gli allineamenti magnetici in vecchi campioni di roccia, ottenendo l'antica posizione del polo nord magnetico, che non coincide esattamente con il Polo Nord ma rappresenta una buona approssimazione come media nel corso di milioni di anni.

Conoscendo i movimenti delle zolle e gli allineamenti magnetici, ha potuto calcolare dove fosse situato il Polo Nord, in relazione ai continenti, in varie date nel passato; è stato così chiarito il movimento delle zolle nel corso di alcuni milioni di anni.

Ma che dire del movimento complessivo dell'intera massa terrestre?

Per determinarlo, Livermore e i suoi colleghi hanno studiato certi *punti caldi* del nostro pianeta nei quali la roccia incandescente sottostante riesce a infiltrarsi nella crosta terrestre superiore e a farsi strada fino a emergere in superficie. Questi punti caldi non si spostano come le zolle, poiché queste ultime fanno parte della crosta esterna mentre i punti caldi hanno origine al di sotto della crosta terrestre. Di conseguenza, mentre la zolla del Pacifico si è spostata, i relativi punti caldi hanno formato una serie di isole vulcaniche che costituiscono le attuali Hawaii. Se questa catena di isole avesse cambiato direzione, ciò indicherebbe un movimento dell'intera massa terrestre.

Dai suoi studi Livermore ha dedotto che negli ultimi novanta milioni di anni il Polo Nord si è spostato di circa 5 millimetri all'anno, in media, per un totale di circa 450 chilometri. Tuttavia, fra settanta e cento milioni di anni fa, quando le linee dei punti caldi si sono incurvate, il movimento totale sembra di circa 1600 chilometri. Anche se il movimento totale fosse distribuito sull'intero periodo di trenta milioni di anni, sarebbe comunque tre volte superiore al ritmo attuale. Se fosse avvenuto in un tempo più breve, sarebbe ancora più veloce. Questo rapido spostamento della crosta terrestre fu probabilmente dovuto a un movimento dell'intera massa terrestre, piuttosto che ai movimenti delle zolle, che dovrebbero avere un ritmo costante.

Che cosa potrebbe causare un movimento dell'intera massa terrestre? La spiegazione più probabile è un cambiamento nella distribuzione della massa terrestre. Durante una glaciazione, enormi quantità di acqua si spostano dagli oceani all'immensa calotta ghiacciata dell'Artide. Questo spostamento di massa verso settentrione provoca una lieve inclinazione dell'asse terrestre.

E ancora, quando due zolle entrano in collisione, come quando l'India entrò in collisione con l'Asia circa quaranta milioni di anni fa, la maggior parte della crosta terrestre esterna scivola sopra l'incandescente fluido roccioso sottostante e viene distribuita sul pianeta. Anche questo provoca uno spostamento di massa, che può addirittura arrivare al di sotto della crosta terrestre.

Sembra che alcuni di questi spostamenti siano avvenuti settanta milioni di anni fa. Qualunque sia la loro natura, potrebbero essere la causa dell'estinzione dei dinosauri, che risale all'incirca a 65 milioni di anni fa? Per ora, gli scienziati non possono far altro che porsi la domanda.

Le oscillazioni della Terra

La Terra ruota attorno al suo asse. Se fosse una sfera perfetta, esattamente simmetrica, perfettamente rigida e perfettamente sola nello spazio, ruoterebbe in eterno attorno a un asse costante. Ma nulla di tutto ciò è vero, quindi la Terra oscilla. Fino al luglio del 1988, si conoscevano tre diversi tipi di oscillazione. In quella data ne venne scoperta una quarta.

Quando si studiano i movimenti giornalieri delle stelle, si scopre che compiono dei cerchi intorno a un certo punto del cielo situato sopra il Polo Nord. (La Stella Polare è in prossimità di quel punto, ma non esattamente lì.) Studiando le stelle anno dopo anno, si osserva che quel punto centrale si sposta, e questo avviene a causa della rotazione dell'asse terrestre dato che la Terra non è una sfera perfetta ma è schiacciata ai poli e leggermente bombata all'equatore.

La Luna e il Sole esercitano un'attrazione sulla protuberanza equatoriale della Terra e fanno sì che il suo asse abbia un lento movimento conico che si completa in circa 26 mila anni. Questo effetto è chiamato *precessione degli equinozi*, perché, quale risultato del movimento di rotazione, gli equinozi subiscono un leggero anticipo ogni anno rispetto all'anno precedente. Questa oscillazione principale fu scoperta dagli antichi greci.

L'asse attorno al quale ruota la Terra non descrive un cerchio perfetto durante la rotazione. L'attrazione lunare varia leggermente con il tempo perché qualche volta la Luna è un po' più vicina alla Terra e qualche volta un po' più lontana. Ciò produce un'oscillazione minore nel cerchio di precessione, che si ripete ogni 19 anni.

La scoperta di questa seconda oscillazione fu fatta nel 1748 da un astronomo inglese, James Bradley, dopo un attento studio della posizione delle stelle. Il relativo movimento ondulatorio viene chiamato *nutazione*, un termine latino che significa "annuire", perché l'asse terrestre sembra annuire lievemente mentre compie la rotazione sul cerchio di precessione degli equinozi.

Ma non è finita. Già nel 1765 il matematico svizzero Leonhard Euler, meglio noto come Eulero, affermò che i poli della Terra avrebbero dovuto muoversi in piccoli cerchi nel corso dell'anno. Simili movimenti erano troppo limitati per poterli individuare a quel tempo, ma con il passare dei decenni furono perfezionati i telescopi e altri strumenti di osservazione fino a quando, nel 1892, l'astronomo americano Seth C. Chandler riuscì a scoprire i relativi impercettibili spostamenti delle stelle. La nuova scoperta prese il nome di *oscillazione di Chandler*.

L'oscillazione di Chandler è un approssimativo movimento circolare dei poli. Il cerchio è completato in circa 430 giorni. Non è un cerchio perfetto, varia di anno in anno. Si tratta di un'oscillazione minima, tant'è vero che il cambiamento di posizione dei poli nel corso di un anno è solo di una decina di metri. Il fatto che un simile spostamento sia rilevabile dà una misura di quanto siano diventati precisi gli strumenti astronomici.

Se questo fosse stato il movimento predetto da Eulero, avrebbe dovuto diminuire gradualmente dopo un po'. Invece continua a essere presente. Gli astronomi credono che ciò avvenga perché la distribuzione della materia all'interno della Terra cambia di

tanto in tanto. Di solito il cambiamento è conseguente a un grande terremoto che sposta l'equilibrio della massa rocciosa liquida all'interno della Terra... non molto, ma quel che basta per dare una lieve spinta di torsione alla rotazione terrestre che lentamente sposta il polo di qualche metro. Naturalmente, più forte è il terremoto, maggiore è la deviazione, e questa è precisamente la ragione per cui l'oscillazione di Chandler è maggiore in certi anni piuttosto che in altri.

Ma non è necessario che si verifichi un terremoto perché la Terra subisca delle oscillazioni. Qualunque spostamento nella distribuzione della massa terrestre, per quanto lieve, produce delle oscillazioni, come affermò nel 1862 lo scienziato inglese Lord Kelvin. Più piccolo è lo spostamento, naturalmente, più piccola sarà l'oscillazione.

I metodi per scoprire i cambiamenti di posizione della Luna o dei satelliti artificiali sono migliorati di continuo. Adesso si possono far rimbalzare raggi laser sui corpi sospesi nello spazio e, misurando il tempo che impiegano per ritornare alla base, scoprire variazioni di posizione fino a 4 o 5 centimetri. Usando questa tecnica, alcuni scienziati del Jet Propulsion Laboratory di Pasadena, in California, e dell'Atmospheric and Environmental Research di Cambridge, nel Massachusetts, hanno scoperto una quarta oscillazione che fa ruotare l'asse terrestre con un periodo compreso fra due settimane e un paio di mesi. Il cerchio di oscillazione ha un diametro variabile fra i 6 e i 60 centimetri, pari cioè a circa un trentesimo dell'oscillazione di Chandler.

Attraverso un accurato studio dei rapporti meteorologici dei satelliti gli scienziati sono giunti alla conclusione che questa quarta lievissima oscillazione sia prodotta da una variazione nella distribuzione della massa quando forti venti colpiscono violentemente la Terra. Altri fattori potrebbero essere l'avanzata e la ritirata delle grandi coltri nevose, gli uragani che provocano il movimento delle acque, e via dicendo.

È stupefacente pensare che fenomeni così familiari come le raffiche di vento, lo scorrere dei fiumi, o lo scioglimento delle nevi sulle catene montuose possano provocare una piccola oscillazione nella massa enorme della Terra. Ma a quanto pare è proprio così.

I punti caldi oceanici

Un'altra ipotesi sull'origine della vita è risultata insoddisfacente e gli scienziati sono di nuovo soli di fronte a un rebus sul quale meditano da oltre mezzo secolo.

Tracce evidenti di cellule batteriche sono state trovate in campioni di roccia datati 3,5 miliardi di anni fa. La Terra ha un'età stimata di 4,6 miliardi di anni. Dunque, in un certo periodo nel corso dei primi miliardi di anni di esistenza della Terra, alcuni esseri viventi si sono evoluti da sostanze chimiche non-viventi. Ma come? Quali sono i dettagli?

Il problema è che non c'era nessuno a quell'epoca che potesse compiere delle osservazioni, e che noi non disponiamo di una macchina del tempo con la quale viaggiare nel remoto passato. Non possiamo fare altro che meditare sulla questione tenendo

conto di quel che siamo in grado di osservare sulla Terra e nell'universo oggi come oggi.

Gli scienziati hanno elaborato la struttura chimica generale della Terra all'inizio della sua esistenza. Per esempio, in origine l'atmosfera della Terra non conteneva ossigeno: infatti l'ossigeno è il prodotto di una vita più recente. L'atmosfera originale della Terra era composta in larga misura di anidride carbonica e di azoto, e forse una certa quantità di metano e di ammoniaca. Gli oceani erano probabilmente pieni di anidride carbonica disciolta, come l'acqua di seltz; oppure erano pieni di ammoniaca, come un detersivo; o forse erano pieni sia di anidride carbonica sia di ammoniaca.

L'energia arrivava sulla Terra nell'aria e nell'oceano sotto forma di luce solare, ricca di raggi ultravioletti perché, in assenza di ossigeno, nell'atmosfera superiore non si era formato uno strato di ozono che fermasse la luce ultravioletta. C'era anche un'intensa attività vulcanica che forniva calore, oltre a fulmini che fornivano energia elettrica.

L'energia avrebbe trasformato l'anidride carbonica o il metano presenti nell'aria e negli oceani in composti carbonici via via sempre più complessi fino a quando non fecero la loro comparsa le proprietà della vita.

Gli scienziati hanno tentato di trovare la soluzione dell'esatto percorso per mezzo del quale tutto ciò sarebbe avvenuto, ma nessuna ipotesi appare soddisfacente. Abbiamo bisogno di ulteriori informazioni. Ecco perché ci fu un notevole disappunto quando risultò che non esisteva alcun composto carbonico nel suolo lunare e neppure in quello marziano. Se tali composti fossero stati presenti, avrebbero potuto rappresentare una base di partenza per la comprensione dell'origine della vita.

Anche se è possibile che le nostre difficoltà derivino dal fatto che finora abbiamo puntato in una direzione completamente sbagliata.

Nel 1977, per esempio, alcune ricerche compiute a grande profondità per mezzo di un batiscafo hanno rivelato l'esistenza di certi punti particolari sul fondo dell'oceano nei quali il calore degli strati interni della Terra affiorava sul fondo marino producendo "camini" dai quali fuoriusciva acqua calda, ricca di minerali, che saliva verso l'alto nell'oceano nettamente più freddo. Intorno a questi "punti caldi oceanici" c'era vita batterica. I batteri presenti ricavano l'energia di cui avevano bisogno dalle reazioni chimiche che avvenivano nei minerali che in continuazione sgorgavano verso l'alto, in particolare quelli contenenti atomi di zolfo.

Numerosi microorganismi animali si nutrivano dei batteri, altre forme di vita si nutrivano di questi microorganismi, e animali più grandi si cibavano dei più piccoli. Un'intera comunità biologica, la cui esistenza non era mai stata neppure sospettata, dipendeva dall'energia di questi punti caldi anziché dall'energia del Sole.

Forse la vita si è formata sulla superficie dell'oceano, come abbiamo pensato per decenni, e le spinte evoluzionistiche hanno costretto certe specie di batteri a cercare un altro ecosistema nelle profondità del mare, facendoli adattare alla vita nei punti caldi. Nondimeno, gli scienziati non sono stati in grado di elaborare una spiegazione convincente del modo in cui questo sarebbe avvenuto.

Quindi forse è possibile che la vita si sia sviluppata proprio attorno ai punti caldi, e che dai punti caldi si sia diffusa in tutto l'oceano fino a raggiungere la superficie. Se così fosse, si spiegherebbe allora l'incapacità degli scienziati di elaborare uno scena-

rio delle origini della vita sulla superficie oceanica: non ne sono venuti a capo perché la vita non ha avuto origine lì.

Certe osservazioni sembrano sostenere questa teoria. Pare che i punti caldi siano sempre esistiti fin dal tempo in cui l'oceano si è formato, molto prima che la vita si sviluppasse sulla Terra. È attendibile inoltre che questi sfoghi ad alta temperatura abbiano fornito un ambiente stabile per miliardi di anni. La loro posizione sul fondo dell'oceano avrebbe protetto le fragili origini della vita dagli effetti dirompenti della forte luce ultravioletta, dai disturbi provocati dall'attività vulcanica sulla superficie terrestre e dal bombardamento di meteoriti, tutti fenomeni assai comuni nei primi tempi di esistenza del nostro pianeta. Inoltre, c'è da aggiungere che i minerali dei quali sono ricchi i punti caldi sono proprio i più importanti per lo sviluppo della vita.

Per un certo periodo, quindi, sorse la speranza di elaborare una spiegazione dell'origine della vita con l'aiuto di queste nuove condizioni.

Nel 1988, tuttavia, due scienziati, S. I. Miller e J. L. Bada, hanno pubblicato uno studio approfondito sulle condizioni ambientali nei cosiddetti punti caldi del pianeta e sui modi in cui queste condizioni avrebbero potuto influenzare lo sviluppo delle molecole organiche che si stavano formando.

Ne è risultata la deludente conclusione che i punti caldi sono in effetti troppo caldi. L'alta temperatura che li caratterizza provocherebbe in pochi minuti una decomposizione in sostanze più semplici di qualsiasi amminoacido (il componente basilare delle proteine) che venisse formato. Qualunque zucchero si formasse sarebbe decomposto in pochi secondi. Né le proteine né gli acidi nucleici, essenziali alla vita, avrebbero mai potuto formarsi in quelle condizioni.

E così i batteri che rappresentano la base della vita nei punti caldi oceanici devono avere avuto origine da qualche altra parte. Con questa conclusione, la ricerca degli scienziati sulle origini della vita torna ancora alla superficie dell'oceano.

La grande frattura

Il terremoto più catastrofico di tutta la storia degli Stati Uniti avvenne il 7 febbraio del 1812, non in California bensì lungo il Mississippi. L'epicentro fu nel punto in cui oggi sorge la città di New Madrid, nel Missouri. Sessantamila ettari di foresta furono distrutti, il corso del Mississippi fu deviato in parecchi punti, alcune paludi furono prosciugate mentre si formarono diversi laghi. La scossa fu avvertita fino a Boston.

Ciò nonostante, a quel tempo il territorio interessato era in larga parte disabitato. Per quel che ne sappiamo, non ci fu nessuna vittima e in pratica non fu arrecato nessun danno a proprietà private. Di conseguenza, il ricordo di quel terremoto sbiadì con il passare del tempo.

In confronto, il terremoto di San Francisco del 1906 fu una bazzecola, ma causò cinquecento vittime e distrusse edifici per circa 60 milioni di dollari, sia direttamente sia dagli incendi che seguirono. Ciò fece del terremoto del 1906 la catastrofe naturale più famosa nota e drammatica nella storia degli Stati Uniti.

Il confine tra la zolla del Pacifico e quella Nordamericana è una grande frattura della crosta terrestre che passa attraverso la California occidentale da San Francisco a Los Angeles. Questa grande frattura è chiamata faglia di San Andreas. La zolla del Pacifico gira lentamente in senso antiorario. Di conseguenza, l'estremo margine occidentale della California si sta muovendo in direzione nord.

Se la faglia fosse netta e uniforme, il margine occidentale della California scivolerebbe verso nord di qualche millimetro all'anno e il movimento sarebbe quasi del tutto impercettibile, tranne che per i delicati strumenti scientifici di misurazione. Certamente, non darebbe fastidio a nessuno. Purtroppo non è così.

I margini delle due zolle tettoniche sono caratterizzati da un'immensa pressione lungo una linea rocciosa irregolare. L'attrito di un bordo contro l'altro è enorme, e la zolla del Pacifico esercita una forza crescente per ruotare. È un po' come quando si tenta di svitare il coperchio di un barattolo di vetro: si esercita una pressione sempre maggiore, sbuffando e facendo forza stringendo il barattolo finché alla fine l'attrito è vinto e il coperchio all'improvviso si svita.

Allo stesso modo, la torsione inesorabile della zolla del Pacifico esercita una pressione sempre maggiore sulla faglia di San Andreas fino a quando in un punto o nell'altro vince l'attrito e si muove. La faglia di San Andreas, nella regione vicino a San Francisco, nel 1906 si è mossa in pochi minuti di sei metri. La scossa provocata dall'attrito fra un margine irregolare che urta sfregando contro l'altro provoca le terribili vibrazioni che chiamiamo terremoti. Nessun altro genere di catastrofe naturale, tranne l'impatto di un gigantesca meteorite, è in grado di fare tante vittime e di provocare tante distruzioni in così breve tempo come le vibrazioni causate dal bordo di una zolla tettonica che sfrega improvvisamente contro il bordo di un'altra zolla in seguito a un movimento di rotazione.

Una volta fermato il movimento, la pressione non viene più esercitata. Lentamente la faglia si consolida e possono trascorrere decenni prima che la pressione si accumuli fino a scatenare un altro terremoto.

Tuttavia, anche se i terremoti di forte intensità sono pochi, spesso ci sono assestamenti minori in località diverse lungo le faglie. (Quella di San Andreas è soltanto una fra le tante, benché sia di gran lunga la più famosa.) Il risultato è un vero e proprio stillicidio di terremoti minori che provocano pochi danni e sono persino benefici, dal momento che liberano un po' di pressione e rimandano l'inevitabile data del grande sommovimento.

Naturalmente gli scienziati sono intenzionati a scoprire il più possibile a riguardo dei movimenti delle faglie, in modo da poter predire i terremoti e permettere agli abitanti delle zone interessate di evacuare l'area e di mettere al sicuro le loro proprietà.

Un possibile indizio viene dal fatto che la faglia di San Andreas, nei suoi assestamenti minori, libera una certa quantità di energia che viene convertita dall'attrito in calore disperso nell'ambiente. Per oltre vent'anni gli scienziati hanno misurato il calore liberato dalla faglia rilevando una temperatura sempre compresa fra il dieci e il venti per cento di quel che si aspettavano.

Però hanno misurato il calore rilasciato sulla superficie terrestre, o vicino alla superficie, ed è possibile che la maggior parte del calore venga liberata due o tre chilometri sotto la superficie, poiché la grande frattura è di tipo profondo. Per questa ra-

gione, verso la fine del 1986 alcuni scienziati hanno eseguito una trivellazione a oltre cinque chilometri di profondità, a circa tre chilometri dalla faglia, in una regione a nordest di Los Angeles.

Probabilmente si scoprirà che il calore misurato dagli strumenti in fondo al pozzo di trivellazione ha la temperatura prevista dagli scienziati. Ma allora ci sarebbe da chiedersi perché il flusso di calore sia così in basso sotto la superficie terrestre. Oppure potrebbero scoprire che il calore in fondo al pozzo di trivellazione ha una temperatura simile a quella misurata in superficie. In questo caso, bisognerebbe chiedersi perché pur sviluppando così poco calore la faglia di San Andreas sia in grado di creare grandi terremoti.

In un caso o nell'altro, molto probabilmente avremo maggiori informazioni sui terremoti e su come prevederne l'arrivo.

Il calore centrale

A che ritmo cresce la temperatura interna della Terra a mano a mano che scendiamo in profondità nel sottosuolo? E qual è la temperatura al centro della Terra? Questi interrogativi sono importanti perché la loro soluzione potrebbe fornire indizi su come si è formata la Terra e su come i materiali radioattivi sono in essa distribuiti. Potremmo anche essere in grado di stimare le temperature interne di altri pianeti del sistema solare e imparare a conoscerli meglio.

Sappiamo che la Terra si fa via via più calda a mano a mano che si scava in profondità. Una conferma sono le condizioni che si trovano sul fondo delle miniere, l'esistenza di sorgenti calde e l'attività dei vulcani. Ci deve anche essere una fonte di energia di una potenza tale da alimentare i terremoti.

Sfortunatamente, le varie stime circa la temperatura che si trova al centro della Terra variano dai quattromila ai seimila gradi centigradi e fino a oggi sembra non ci sia modo di accertare la temperatura esatta.

Tuttavia, conosciamo con maggior sicurezza alcune altre caratteristiche dell'interno della Terra. Per anni, gli scienziati hanno studiato le onde sismiche dei terremoti. Queste onde viaggiano su traiettorie curve, dal cui studio possiamo determinare la densità della Terra a varie profondità.

Il nostro pianeta è composto di roccia, per quanto possiamo accertare noi scavando, ma la roccia non aumenterebbe abbastanza rapidamente di densità col variare della profondità. Gli unici materiali considerevolmente più densi della roccia sono i metalli, e il metallo più comune e diffuso è il ferro. Di conseguenza, i geologi sono convinti che la Terra abbia un "nucleo" ferroso circondato da un "mantello" roccioso.

È noto che talune onde sismiche sono in grado di propagarsi attraverso la materia solida ma non attraverso i liquidi. Queste onde penetrano nel mantello, ma non sono in grado di arrivare al nucleo centrale. Per questa ragione, i geologi si sono convinti che il mantello possa in qualche modo ammorbidirsi a mano a mano che la temperatura aumenta con la profondità, ma che rimanga comunque solido. Il nucleo ferroso,

invece, è liquido.

Ciò non costituisce una sorpresa. La roccia fonde a circa duemila gradi in condizioni normali, mentre il ferro a soli 1500 gradi. Una temperatura che sia insufficiente per fondere il mantello sarebbe invece sufficiente per fondere il nucleo.

Ciò nonostante, questo non ci rivela affatto quanto sia alta la temperatura al confine tra il mantello e il nucleo. I punti di fusione della roccia e del ferro salgono in proporzione alla pressione e la pressione aumenta costantemente a mano a mano che si scende in profondità nella crosta terrestre. (Quando la roccia che si trova in profondità viene costretta a emergere in superficie attraverso i vulcani, il punto di fusione si abbassa perché diminuisce drasticamente la pressione. I vulcani eruttano quindi un tipo di roccia liquida che si chiama *lava*.)

Penetrando maggiormente in profondità nel nucleo, la pressione continua ad aumentare e il punto di fusione del ferro continua a salire. In realtà, il punto di fusione del ferro sale più velocemente della temperatura, cosicché a 120 chilometri dal centro esatto della Terra il nucleo ferroso si trasforma in un "nucleo interno" solido. La pressione ha fatto salire talmente il punto di fusione del ferro che la temperatura, anche se continua ad aumentare, non è più abbastanza elevata per fondere il nucleo interno.

Se sapessimo in che modo il punto di fusione della roccia e del ferro aumentano con la pressione, conosceremmo la temperatura esatta necessaria alla fusione del ferro ma non della roccia al confine tra il mantello e il nucleo esterno. Conosceremmo anche la temperatura che esiste al confine tra il nucleo esterno e quello interno, poiché sarebbe la temperatura del punto di fusione del ferro a quella precisa pressione. Nondimeno, fino a poco tempo fa, i punti di fusione della roccia e del ferro potevano essere determinati solo a pressioni notevolmente inferiori rispetto a quelle che si trovano in profondità nella Terra, e ciò rendeva estremamente difficile avere delle stime precise.

All'inizio del 1987 alcune nuove tecniche, con le quali si potevano raggiungere pressioni e temperature molto alte per brevissimo tempo, ci hanno dato il punto di fusione a pressioni dieci o dodici volte superiori a quelle ottenute in precedenza. Di conseguenza, si è scoperto che il ferro fonde a 4500 °C alla pressione presente fra il mantello e il nucleo esterno. Fonde invece a 7300 °C alla pressione che si trova fra il nucleo esterno e quello interno.

Naturalmente, gli scienziati non pensano che il ferro del nucleo sia puro: contiene altri elementi, specialmente zolfo, e questi ultimi potrebbero abbassare il punto di fusione di almeno mille gradi. Viene perciò stimato che la temperatura effettiva sia di 3500 °C al limite del nucleo esterno, di 6300 °C al limite del nucleo interno e di 6600 °C al centro della Terra.

Quest'ultima è una temperatura ben più elevata di quel che si era pensato. Risulta quindi che il centro della Terra ha una temperatura mille volte più elevata della fotosfera, cioè della superficie del Sole.

La prima cellula

Di recente gli scienziati sono stati coinvolti nella discussione riguardante l'aspetto della prima cellula vivente evolutasi. Non è facile trovare una risposta, considerando che la prima cellula vivente può essere comparsa sulla Terra 3,5 miliardi di anni fa e considerando anche che non abbiamo a disposizione una macchina del tempo per fare un giretto nel passato e dare un'occhiata di persona.

Ciò nonostante, se ne può discutere.

Tanto per cominciare, tutte le piante e gli animali sono costituiti di cellule e ognuna di queste cellule, che appartenga a un essere umano, a un lombrico o a una margherita, possiede certe caratteristiche peculiari. Per prima cosa, all'interno di ciascuna cellula c'è un oggettino più o meno rotondo ben differenziato dal resto della cellula che contiene al suo interno i cromosomi e gli altri materiali necessari per la riproduzione della cellula. Questo oggettino rotondo si chiama *nucleo cellulare*. Tutte le cellule che lo possiedono sono chiamate *eucarioti*, un termine che deriva dal greco antico e significa "vero nucleo".

Le cellule del nostro corpo sono eucariotiche, così come sono eucariotiche le cellule delle piante e degli altri animali, e persino quelle degli organismi unicellulari come le amebe. Tuttavia, è molto improbabile che la prima cellula fosse un eucariota, perché gli eucarioti sono cellule notevolmente complesse. Devono per forza aver avuto dei predecessori più semplici.

Anche al giorno d'oggi esistono cellule più semplici che *non* hanno un nucleo interno. Queste cellule semplificate sono considerevolmente piccole e i materiali necessari per la riproduzione cellulare sono distribuiti uniformemente. Si potrebbe affermare che la cellula non ha nucleo, o che è tutto nucleo. In ogni caso queste minuscole cellule senza nucleo sono chiamate *procarioti*, da un termine greco che significa "precedente il nucleo", perché devono essere comparse sulla Terra per prime e perché gli eucarioti devono essersi evoluti da loro.

I batteri sono un esempio di cellule procariotiche. Quelli più noti si suddividono in due gruppi. Ci sono i batteri di tipo comune che non sono in grado di alimentarsi autonomamente e che devono perciò vivere di materie organiche. Ci sono poi i batteri provvisti di clorofilla, che sono in grado di alimentarsi autonomamente. Questi ultimi vengono talvolta chiamati *cianobatteri*, da un termine greco che significa "azzurro", perché la clorofilla dà loro una lieve tinta verdazzurra.

Batteri e cianobatteri sono accomunati nell'unica definizione di *eubatteri*, derivata dal greco, che vuol dire "veri batteri". Gli eubatteri si procurano energia sia nel modo in cui lo fanno i vegetali sia vivendo di materia organica come gli animali, cosicché appaiono simili a tutti gli altri organismi.

Ci sono però tre gruppi di procarioti che si procurano l'energia in maniera assai singolare, ed è possibile che siano esistiti prima degli eubatteri. I tre gruppi sono accomunati nell'unica definizione di *archeobatteri*, che in greco significa "antichi batteri"; sono: (1) gli *aiobatteri* ("batteri del sale"), particolarmente diffusi nelle zone dove la concentrazione salina è tale che ucciderebbe qualsiasi altro tipo di cellula, e utilizzano la luce solare quale fonte di energia; (2) i *metanigeni* ("produttori di metano"), che vivono nelle sorgenti calde prive di ossigeno e trasformano l'anidride carbonica in metano; (3) gli *eociti* ("cellule degli albori"), che vivono nelle sorgenti calde ricche di zolfo e producono cambiamenti chimici nei composti solfurei.

L'interrogativo che sorge è: quale di questi tre tipi di archeobatteri è comparso per primo sulla Terra e in che modo si è sviluppato in altre forme più complesse?

Un modo per rispondere è considerare che tutte le cellule, che si tratti di eucarioti, eubatteri o archeobatteri, contengono acidi nucleici. Gli acidi nucleici sono costituiti di catene di nucleotidi, ed è possibile identificare quali nucleotidi sono presenti nella catena. Specie batteriche strettamente imparentate hanno acidi nucleici con catene nucleotidiche molto simili. In effetti, è il lento cambiamento della catena nucleotidica che produce l'evoluzione.

Gli scienziati possono fare delle stime di quanto spesso avvengano i cambiamenti e, studiando le differenze nelle catene, possono giudicare quanto strettamente possano essere imparentate due specie e quanto tempo prima possa essere esistito un antenato comune. Naturalmente, questa è una tecnica che presenta notevoli difficoltà.

James A. Lake dell'UCLA (University of California Los Angeles) nella primavera del 1988 ha reso noti i risultati di un nuovo programma computerizzato che analizza le catene nucleotidiche nei *ribosomi* (corpuscoli cellulari essenziali alla sintesi delle proteine) di vari tipi di cellula.

Egli è convinto che i risultati ottenuti dimostrino che le cellule più antiche siano gli eociti, e che 3,5 miliardi di anni fa le prime cellule che si formarono si trovassero in sorgenti calde piene di composti sulfurei.

Inoltre, i suoi risultati dimostrano che i discendenti di quei primi eociti si sono scissi in due rami collaterali distinti. Dal primo ramo discendono gli altri procarioti: i metanigeni, gli alobatteri e gli eubatteri. Dal secondo ramo discendono gli eucarioti. In altre parole, siamo i diretti discendenti degli eociti, e i procarioti sono i nostri cugini alla lontana.

Naturalmente su questo argomento la discussione è appena cominciata, e sarà certamente molto accesa.

La conquista della terraferma

Per decenni gli scienziati hanno creduto che la vita sulla Terra avesse avuto origine circa 400 milioni di anni fa. Ma una recente scoperta indica che le prime creature terrestri, certi animaletti scavatori che furono probabilmente gli antenati del moderno millepiedi, potrebbero essere apparse sulla Terra 50 milioni di anni prima.

Il nostro pianeta ha un'età di circa 4,6 miliardi di anni. Per nove decimi della sua esistenza, le terre emerse sono state completamente sterili.

Ciò non significa che non ci fosse assolutamente vita sulla Terra. Alcune forme biologiche semplici, molto simili alle microscopiche cellule batteriche odierne, comparvero circa un miliardo di anni dopo la formazione della Terra, ma erano presenti nei mari e non sulla terraferma. Per 3 miliardi di anni dopo la loro comparsa, la vita continuò a esistere soltanto nelle acque che occupavano gran parte del pianeta, e cioè nei fiumi, negli stagni, nei laghi e negli oceani. La terraferma restava intatta e disabitata.

Ciò non sorprende affatto, poiché in confronto all'oceano e all'acqua dolce, la terra emersa è un ambiente ostile alla vita.

Nel mare, le temperature sono uniformi e variano solo leggermente fra il giorno e la notte, l'estate e l'inverno. Sulla terraferma le temperature subiscono notevoli variazioni.

L'acqua, un elemento assolutamente essenziale a qualsiasi forma di vita, è sempre presente nel mare, e la vita marina non corre affatto il pericolo di restarne senza. Sulla terraferma invece l'acqua non è sempre disponibile e gli esseri viventi sono costantemente in pericolo di disidratazione. (Persino gli esseri umani muoiono di quando in quando di sete.)

La spinta idrostatica dell'acqua cancella in gran parte l'effetto della forza di gravità, cosicché i pesci possono muoversi con facilità in tre dimensioni. E non importa affatto quanto diventino grossi e pesanti gli animali. Balene di cento tonnellate si destreggiano senza alcun problema. Sulla terraferma invece non c'è alcuna spinta idrostatica e tutte le forme di vita subiscono in pieno l'effetto della gravità. Alcune forme biologiche di piccole dimensioni hanno sviluppato le ali e possono volare spostandosi nell'aria anche se al prezzo di un grande dispendio di energia, ma la maggior parte degli esseri che vivono sulla terraferma può soltanto muoversi e viaggiare sulla superficie. Per muoversi più rapidamente gli animali terrestri devono sviluppare zampe robuste, eppure anche così non riescono certo a raggiungere le dimensioni dei più grandi animali marini.

Infine, gli strati superiori del mare filtrano le radiazioni dannose. Sulla terraferma, i raggi solari diretti contengono un po' di luce ultravioletta nociva che riesce a penetrare lo strato di ozono.

Per alcune forme di vita marina c'è voluto un sacco di tempo per sviluppare caratteristiche che rendessero possibile sopravvivere sulla terraferma. Certi pesci con pinne carnose furono in grado di saltellare fuori dall'acqua percorrendo brevi distanze sulla terraferma per spostarsi da uno stagno nel quale l'acqua stava diventando sgradevolmente salmastra a un altro stagno, più grande. Questi pesci avevano una primitiva forma di polmoni con i quali potevano inghiottire un po' d'aria. Lentamente, dalle pinne peduncolate si svilupparono zampe vere e proprie, e questi pesci divennero i primi anfibi. (I loro discendenti sopravvivono ancor oggi: sono le rane e i rospi.)

Tutto ciò avvenne circa 350 milioni di anni fa. I vertebrati evolutisi da quei primi anfibi, inclusi gli esseri umani, sono vissuti sulla terraferma fin da allora. Gli anfibi erano provvisti di scheletri ossei. Grazie alla robustezza che lo scheletro forniva alla loro struttura, poterono svilupparsi fisicamente e diventare così i primi animali di grandi dimensioni, in effetti i più grandi fino ad allora apparsi sulla terraferma. Alcuni raggiungevano le dimensioni dei moderni coccodrilli.

Gli anfibi in questione hanno lasciato resti fossili che gli scienziati possono studiare, ma comunque non possono essere stati loro i primi a conquistare la terraferma. Prima ci furono animali più piccoli sprovvisti di ossa: ragni, lumache, insetti, e così via. E di questi è molto più difficile trovare tracce.

Prima che gli animali potessero conquistare la terraferma, dovette svilupparsi del cibo del quale si potessero nutrire. Alcune semplici forme di vita vegetale, perciò, devono aver preso possesso della terraferma prima degli animali. Fino a relativamente

poco tempo fa, si pensava che la vita vegetale avesse raggiunto la terraferma all'incirca 400 milioni di anni fa.

Durante i primi mesi del 1987, tuttavia, due geologi dell'Università dell'Oregon hanno riportato alla luce la prova che una semplice forma di vita è molto più antica di quanto si pensava. I due geologi hanno dissotterrato nella Pennsylvania centrale alcuni strati di roccia che, come indicano certe particolari caratteristiche, 450 milioni di anni fa erano stati semplice terriccio.

In quell'antico terreno diventato roccioso erano impressi alcuni cunicoli che non sembrano affatto naturali. L'aumento della densità verso la cima dei buchi e alcune incrostazioni chimiche nelle pareti dei cunicoli sembravano causate da minuscoli animali.

Dalla natura dei cunicoli si poteva dedurre alcune caratteristiche degli animali che li hanno scavati. Dovevano essere animali con una lunga storia di vita sulla terraferma, di un genere che scavava nel sottosuolo, con una certa forma particolare, un certo modello di crescita, e così via. Molto probabilmente si trattava di forme biologiche estinte da lunghissimo tempo, ma che dovevano essere parenti alla lontana dei moderni millepiedi, così chiamati per il gran numero di zampe benché il numero preciso degli arti sia notevolmente inferiore a mille.

E dal momento che i millepiedi non potevano esistere senza che ci fosse del cibo adatto a loro, prima del loro arrivo doveva essersi diffusa sulla terraferma una forma di vita vegetale molto semplice, sul tipo del muschio. Ciò significa che probabilmente la data della conquista della terraferma va spostata indietro di almeno 50 milioni di anni. Al tempo in cui i nostri antenati, gli anfibi, fecero la loro comparsa sulla terraferma, i millepiedi dovevano essere già presenti da cento milioni di anni.

Nondimeno, anche con questa sensibile estensione temporale, sul nostro pianeta c'è stata vita terrestre soltanto durante l'ultimo dieci per cento della sua esistenza.

L'origine dei vegetali

Due gruppi di scienziati si stanno intestardendo su una controversia circa i dettagli dell'evoluzione dei vegetali.

Si tratta di un interrogativo importante, perché le piante verdi utilizzano l'energia solare per trasformare sostanze semplici come l'anidride carbonica, l'acqua e i minerali nelle sostanze complesse che vanno a costituire il tessuto stesso delle piante. Tutti gli animali, incluso l'uomo, per sopravvivere dipendono direttamente e indirettamente dai tessuti vegetali. Tutti gli animali si nutrono infatti di vegetali oppure di altri animali che si nutrono di vegetali.

Per di più, formando i propri tessuti dalle sostanze semplici, le piante verdi liberano ossigeno. Questo è esattamente il modo in cui si è formato l'ossigeno contenuto nella nostra atmosfera. Ed è questo stesso ossigeno che viene respirato da tutte le forme di vita animale, incluso l'uomo, e che le tiene in vita.

Siccome il cibo e l'ossigeno sono un preziosissimo dono delle piante verdi al mon-

do animale, incluso l'uomo, qualsiasi cosa possa spiegare come i vegetali sono comparsi sulla Terra e si sono evoluti è di profondo interesse per tutti noi.

Tutte le piante verdi, così come tutti gli animali, sono costituite di unità microscopiche chiamate *cellule*. Le cellule, sebbene molto piccole, hanno una struttura complessa e sono a loro volta costituite di strutture ancora più minuscole chiamate *organuli*.

Per esempio, ogni cellula possiede un nucleo contenente la materia genetica che le permette di riprodursi conservando le proprie caratteristiche. Ogni cellula contiene i *mitocondri*, nei quali le molecole alimentari vengono combinate con l'ossigeno per produrre energia. Ogni cellula contiene poi i *ribosomi*, nei quali si formano le sue molecole proteiche, e così via.

Le cellule vegetali sono provviste di un particolare organulo che le cellule animali non possiedono. Contengono infatti i *cloroplasti*, che hanno la capacità di utilizzare l'energia solare per produrre il cibo e l'ossigeno indispensabili alla vita del mondo animale. Le cellule animali sono del tutto sprovviste di cloroplasti.

Come si sono evolute queste microscopiche e complicate cellule delle quali i vegetali e gli animali sono costituiti? *Quando* si formarono per la prima volta?

Gli scienziati che studiano i reperti fossili cercando di esplorare l'oscuro passato delle varie forme biologiche sono dell'opinione che le prime cellule complesse (quelle che costituiscono le piante e gli animali) si sono formate circa 1,4 miliardi di anni fa. A quel tempo, tuttavia, il pianeta Terra esisteva già da 3,2 miliardi di anni. Di conseguenza, le prime cellule complesse hanno avuto un tempo lunghissimo per evolversi.

È possibile che prima di quelle cellule originali ci fossero altre cellule più piccole e primitive, esistite quali uniche forme di vita durante un periodo forse di due miliardi di anni. Minuscole cellule primitive di quel genere esistono ancora al giorno d'oggi in forma di batteri tanto microscopici che ce ne vorrebbero mille per riempire una sola cellula vegetale o animale.

Le cellule batteriche non sono provviste della ricca collezione di organuli che contraddistingue le cellule vegetali e animali, e si presentano in varietà diverse. Alcuni scienziati pensano che circa 1,4 miliardi di anni fa diversi tipi di cellule batteriche si siano combinate per formare le cellule più complesse. I nuclei ebbero origine da cellule batteriche che si specializzarono nel controllo genetico. I mitocondri un tempo erano cellule batteriche che si specializzarono nella produzione di energia, i ribosomi erano cellule batteriche che si specializzarono nella sintesi delle proteine e così via.

In particolare, i cloroplasti erano cellule batteriche che si specializzarono nello sfruttamento dell'energia solare. Ancora oggi esistono organismi simili agli antenati dei cloroplasti: sono i cosiddetti *cianobatteri*.

Da un certo punto di vista, tuttavia, i cianobatteri e i cloroplasti presentano delle differenze. I cloroplasti delle cellule vegetali contengono due sostanze molto simili, essenziali per assorbire i raggi luminosi. Si tratta della "clorofilla *a*" e della "clorofilla *b*". I cianobatteri, invece, contengono soltanto clorofilla *a*. Può darsi che le cellule cloroplastiche, dopo essersi formate, abbiano sviluppato per evoluzione la clorofilla *b* come secondo componente.

Tuttavia, nel 1985 fu individuata in alcuni stagni dell'Olanda una varietà di ciano-

batteri denominata *Prochlorothrix*, che conteneva sia clorofilla *a* sia clorofilla *b*. Forse quella varietà era una discendente diretta dei cianobatteri originali, diventati in seguito i cloroplasti che attualmente si trovano nelle cellule vegetali.

Per verificare l'esattezza dell'ipotesi è stata studiata la delicata struttura molecolare dei *Prochlorothrix* e dei cloroplasti, al fine di individuarne le somiglianze.

Clifford W. Morden e Susan S. Golden della Texas A. & M. University hanno studiato una proteina fondamentale che esiste sia nei *Prochlorothrix* sia nei cloroplasti. I due studiosi hanno scoperto che le proteine di entrambi presentano importanti somiglianze e che questo aspetto distingue i due tipi di cellule dagli altri cianobatteri. Da ciò sembrerebbe che i *Prochlorothrix* e i cloroplasti abbiano un antenato in comune.

Tuttavia, Sean Turner e i suoi colleghi dell'Indiana University, nel corso dei loro studi sugli acidi nucleici dei *Prochlorothrix* e dei cloroplasti, hanno scoperto alcune differenze significative secondo le quali sembra che in realtà i due non siano strettamente imparentati.

Ovviamente, è necessario studiarli più a fondo.

Sta di fatto che la tecnica impiegata in queste analisi molecolari potrebbe addirittura essere utile per trovare la soluzione dello sviluppo evolutivo delle cellule in generale.

Dinosauri ovunque

Le varie discipline scientifiche sono strettamente interconnesse. Scoprire qualcosa in un campo spesso vuol dire far luce anche in altri campi.

Per esempio, nel novembre del 1986 l'Istituto Antartico Argentino ha annunciato la scoperta di ossa fossili sull'Isola James Ross, un lembo di terra al largo delle coste dell'Antartide nel punto in cui il continente ghiacciato si avvicina maggiormente all'estremità meridionale dell'America del Sud. Le ossa sono inequivocabilmente quelle di un dinosauro appartenente all'ordine degli ornitiscidi.

Resti fossili di dinosauri erano già stati localizzati su tutte le altre masse continentali della Terra. La presenza di questi antichi rettili anche sul continente antartico rende però i dinosauri un fenomeno realmente diffuso in ogni parte del mondo.

La scoperta, tuttavia, è meno importante per i dinosauri di quanto non lo sia per l'Antartide. Come era in grado di vivere un dinosauro nelle regioni antartiche? I dinosauri non potevano certo adattarsi alle estreme temperature polari. In realtà, nel 1968 furono scoperti in Antartide i resti fossili di antichi esseri anfibi, e gli anfibi - i cui esempi moderni più noti sono le rane e i rospi - sono ancor meno adattabili al clima antartico.

Inoltre, non è molto probabile che i dinosauri si siano evoluti su tutti i continenti in modo indipendente. Quindi, se si sono evoluti su un certo continente, come sono riusciti ad attraversare l'oceano per raggiungere gli altri?

La risposta è che sono stati i continenti, e non i dinosauri, a spostarsi. Circa trent'anni fa si scoprì che la crosta terrestre era costituita di grandi placche, o zolle, i cui

bordi si adattavano alla perfezione ma che erano in lento movimento. Alcune zolle tendevano a separarsi, altre entravano in collisione, una di esse poteva lentamente sciogliersi sotto un'altra. Improvvisamente, lo studio della cosiddetta *tettonica a zolle* faceva luce su quasi tutto quello che fino ad allora era stato un mistero nel campo della geologia: i vulcani, i terremoti, le catene insulari, gli abissi marini, e così via.

Le zolle portavano sulle spalle, per così dire, i vari continenti. Quando si spostavano, i continenti si spostavano con loro. Di quando in quando le zolle avrebbero riunito tutti i continenti trasformando la terraferma in un'unica, enorme massa terrestre chiamata Pangea (dal greco, che significa "tutta una terra"). In seguito, altri spostamenti delle zolle allontanavano di nuovo le diverse masse continentali.

Con ogni probabilità Pangea si formò e si separò numerose volte nel corso della storia del pianeta, una storia di oltre quattro miliardi di anni. L'ultima volta che Pangea si formò fu all'incirca 225 milioni di anni fa. Restò integra per milioni di anni, fino a quando cominciò a mostrare segni di fratture e di separazione.

A quel tempo, tuttavia, i primi dinosauri si erano evoluti e avevano avuto il tempo di diffondersi ovunque, in ogni parte di Pangea. Pare che in quel periodo tutta la massa terrestre si trovasse nelle zone temperate e ai tropici, di modo che i dinosauri erano in grado di vivere dovunque con ragionevole agio.

Circa 200 milioni di anni fa Pangea si suddivise in quattro parti. La porzione settentrionale era costituita da quelle che adesso sono l'America del Nord, l'Europa e l'Asia. La porzione meridionale invece era costituita da quelle che adesso sono l'America del Sud e l'Africa. Nella parte più meridionale del globo c'era anche una terza porzione costituita da quelle che adesso sono l'Antartide e l'Australia, mentre un pezzo più piccolo era quel che adesso è l'India.

Con il passar del tempo l'America del Nord si staccò dall'Europa e dall'Asia, mentre l'America del Sud si separò dall'Africa. (Se si osserva un planisfero si vedrà come l'America del Sud orientale combacerebbe perfettamente con l'Africa occidentale se soltanto si potesse accostarle.) L'India si spostò verso nord e circa 50 milioni di anni fa entrò in collisione con l'Asia. Nel punto in cui le due enormi masse terrestri si urtarono i due lembi estremi si accartocciarono lentamente e si formò così la grande catena dell'Himalaya. Anche l'Antartide e l'Australia si separarono.

Ciascun continente, separandosi dagli altri, portò con sé il proprio carico di dinosauri. Circa 65 milioni di anni fa, quando i dinosauri per una ragione o per l'altra si estinsero, i continenti erano ben separati e oggi ognuno ha la sua quantità di fossili di dinosauro.

Anche l'Antartide aveva i suoi dinosauri, così come aveva gli anfibi, le piante e tutti gli animali che si erano diffusi sulla terraferma al tempo dei dinosauri. Il destino dell'Antartide, tuttavia, fu molto più tragico di quello degli altri continenti, poiché la zolla che la sosteneva la portò a sud verso il polo. A poco a poco, in un arco di tempo di cento milioni di anni, subì un lento raffreddamento. Pian piano, la vita vegetale si fece sempre più scarsa. Anche la vita animale cominciò a diradarsi. Il clima si fece gelido, con lunghi inverni abbondantemente nevosi ed estati più brevi e fredde. Alla fine, arrivò il ghiaccio.

Oggi il continente antartico, situato più o meno sul Polo Sud, è il frigorifero del mondo. I nove decimi di tutto il ghiaccio della Terra si trovano nella calotta dell'An-

tartide. Quel ghiaccio, con uno spessore di parecchi chilometri, ricopre in effetti i ricchi giacimenti di fossili che potremmo scoprire se il suolo dell'Antartide fosse spoglio e all'asciutto.

E così il ritrovamento dei resti fossili di dinosauro in Antartide costituisce un'altra prova schiacciante a favore della teoria dei lenti e inesorabili movimenti della crosta terrestre.

Sabbia compressa

Sono nove anni ormai che gli scienziati discutono accanitamente a riguardo di una nuova spiegazione sulla scomparsa dei dinosauri, 65 milioni di anni fa. Ma può darsi che la questione sia stata finalmente risolta.

Nel 1980 fu reso noto che in un sottile strato di sedimenti risalente a 65 milioni di anni fa si era trovata un'insolita concentrazione di iridio, un metallo raro. Qualche scienziato suggerì che poteva avere origine dall'impatto contro la Terra di un asteroide di notevoli dimensioni o di una cometa. L'asteroide avrebbe perforato la crosta terrestre, provocato l'eruzione dei vulcani, causato enormi incendi e maremoti, e sollevato nella stratosfera tanta cenere e polvere da escludere la luce solare dalla Terra per un lungo periodo di tempo. Ciò avrebbe portato a morte certa gran parte della vita del pianeta, inclusi tutti i dinosauri.

Non c'è alcun dubbio che 65 milioni di anni fa ci fu una "grande moria" e che avvenne una tremenda catastrofe, ma non tutti gli scienziati hanno prontamente accettato l'ipotesi che questo avvenimento sia stato il risultato di un gigantesco scontro tra corpi celesti. Nel 1987, per esempio, l'attenzione fu richiamata sul fatto che se la Terra improvvisamente avesse sopportato un periodo di vulcanismo esplosivo, con numerosi vulcani che eruttavano più o meno simultaneamente ciò sarebbe stato più che sufficiente per produrre una catastrofe di dimensioni incalcolabili, tale da poter causare le estinzioni di massa avvenute.

E così tutta la faccenda si arenò in uno scontro di opposte teorie, la teoria dell'impatto contro la teoria del vulcanismo.

Il problema non è meramente accademico, poiché un giorno o l'altro ci potremmo trovare ancora di fronte a una catastrofe, di un tipo o dell'altro (benché nel caso di un oggetto cosmico che colpisca la Terra, in futuro potremmo essere in grado di prevederle ed evitarne l'impatto). Quindi abbiamo la necessità di conoscere il più possibile gli effetti di questi avvenimenti, per poter pianificare i provvedimenti da adottare.

Di conseguenza, gli scienziati si sono impegnati per anni nel tentativo di trovare altre prove a sostegno dell'una teoria o dell'altra.

Nel 1961, uno scienziato sovietico di nome S. M. Stishov scoprì che se si sottoponeva a un'enorme pressione il biossido di silicio (sabbia a elevato grado di purezza) i suoi atomi si avvicinavano moltissimo e la sostanza diventava particolarmente densa. Un centimetro cubo di questa sabbia compressa pesava ben più di un centimetro cubo di sabbia normale. Da allora, questa sabbia compressa viene chiamata *stisciovite*.

La stisciovite non è molto stabile. I suoi atomi sono troppo vicini gli uni agli altri per cui tendono a separarsi e a diventare di nuovo sabbia normale. Tuttavia sono collegati tanto saldamente che il cambiamento avviene con estrema lentezza... la stisciovite può restare così com'è per milioni di anni. La stessa cosa avviene per i diamanti. Gli atomi di carbonio nei diamanti sono estremamente compressi e hanno la tendenza a sparpagliarsi e a diventare comune carbone. Ma anche nel loro caso occorrono milioni di anni, in condizioni normali.

È possibile però accelerare il cambiamento ricorrendo a una temperatura abbastanza elevata. L'alta temperatura aggiunge energia agli atomi e permette loro di staccarsi gli uni dagli altri per assumere la configurazione usuale. Quindi, scaldando la stisciovite a 850 °C per trenta minuti, la si trasforma in sabbia normale. (Si può anche ricavare del carbone da un diamante surriscaldandolo in assenza di aria, ma chi mai sarebbe disposto a farlo?)

La stisciovite è stata prodotta in laboratorio. Ma esiste anche in natura? Certamente, ma solo in certe condizioni, quando cioè la sabbia viene sottoposta in natura a un'enorme pressione.

Per esempio, è stata trovata della stisciovite in alcune località dov'erano avvenuti test nucleari, a causa dell'onda d'urto.

Pare certo che la stisciovite sia presente anche in profondità sotto la crosta terrestre, dove le pressioni sono estremamente alte. In questo caso, potrebbe essere riportata in superficie dalle eruzioni vulcaniche. Ma le eruzioni sono estremamente calde, al punto che la roccia viene liquefatta: se dalla bocca di un vulcano emergesse della stisciovite sarebbe immediatamente trasformata in normale biossido di silicio. E, per la verità, non è mai stata scoperta della stisciovite in prossimità di un'eruzione vulcanica.

Si può affermare dunque che la presenza della stisciovite indicherebbe un impatto e non certo un'attività vulcanica.

Ebbene, John F. McHone e numerosi suoi assistenti dell'Arizona State University hanno studiato a fondo alcuni strati rocciosi nei dintorni di Raton, nel New Mexico, strati datati 65 milioni di anni e che quindi risalgono al tempo in cui i dinosauri si estinsero.

Il gruppo di studiosi ha fatto uso di tecniche moderne per determinare la disposizione degli atomi nelle materie solide - risonanza magnetica nucleare e diffrazione dei raggi X - e il primo marzo del 1989 hanno reso noto di avere definitivamente individuato la struttura atomica propria della stisciovite.

Alla luce di quanto scoperto, sembra che 65 milioni di anni fa si sia verificato un immenso impatto che avrebbe formato tonnellate di stisciovite. Quest'ultima fu lanciata in alto e rimase per un certo tempo in sospensione nella stratosfera prima di tornare a posarsi sulla Terra.

Dunque non fu una violenta attività vulcanica a uccidere i dinosauri: fu l'impatto.

Un nuovo indizio sulla scomparsa dei dinosauri

Una decina di anni fa fu avanzata l'ipotesi che i dinosauri e altre specie furono totalmente eliminati, 65 milioni di anni fa, dall'impatto contro la Terra di un grande meteorite o di una cometa. Altri scienziati invece affermarono che i dinosauri furono eliminati da un'estesa attività vulcanica o da altre anomalie climatiche. Ciò nonostante, i sostenitori della teoria dell'impatto sono risultati vincitori, e ora è stata presentata una nuova prova schiacciante che potrebbe definitivamente risolvere la disputa.

Jeffrey L. Bada dello Scripps Institution of Oceanography di La Jolla, in California, ha scoperto alcuni amminoacidi nei sedimenti stratificatisi 65 milioni di anni fa.

Gli amminoacidi sono le unità costitutive delle proteine. Ogni molecola proteica è formata da una o più catene di amminoacidi, in numero compreso fra un minimo di una decina fino a diverse centinaia. In generale, gli amminoacidi sulla Terra vengono prodotti soltanto dai tessuti viventi.

In questo caso non ci dovrebbe essere niente di particolarmente insolito nel fatto di trovare amminoacidi in sostanze sedimentate 65 milioni di anni fa. Dopo tutto, in quel periodo c'era vita in abbondanza sul nostro pianeta e tutte le forme di vita animale o vegetale producevano amminoacidi. Perché mai non se ne sarebbero dovuti trovare?

Dunque, in primo luogo esistono moltissimi tipi di amminoacidi teoricamente possibili, ma le proteine formate dagli organismi viventi ne usano soltanto venti. In secondo luogo, tutte le forme biologiche - che si tratti di virus, querce, serpenti, stelle marine o esseri umani - sintetizzano e utilizzano gli stessi venti amminoacidi, con rarissime eccezioni.

Nessuno sa perché gli organismi viventi utilizzino proprio questi venti, e tanto meno si sa cosa c'è che non va con tutti gli altri amminoacidi che non vengono utilizzati.

Gli amminoacidi scoperti da Bada negli strati rocciosi nel giugno 1989 sono l'isovalina e l'acido alfa-amminoisobutirrico, che non si trovano nelle proteine e, per quanto ne sappiamo, non vengono sintetizzati da quasi nessun essere vivente. Una rara varietà di fungo sintetizza una certa quantità di isovalina, ma si tratta di un fatto eccezionale.

Sono stati trovati amminoacidi da qualche altra parte? Be', sì. Ci sono certe meteoriti chiamate *condriti carbonacee* che contengono piccole quantità di acqua e di composti carbonici. Fra i composti carbonici ci sono alcuni amminoacidi, e fra gli amminoacidi trovati in talune meteoriti c'è presenza di isovalina e di acido alfa-amminoisobutirrico. Dunque è possibile che gli amminoacidi scoperti siano il risultato dell'immenso impatto di un meteorite o di una cometa che li conteneva e che li avrebbe sparsi ovunque sulla superficie della Terra.

Possiamo esserne certi? Dopo tutto, quel certo tipo di fungo raro sintetizza effettivamente dell'isovalina. Forse 65 milioni di anni fa alcuni animali che si sono in seguito estinti erano in grado di sintetizzare quantità notevoli di questi amminoacidi, rari oggi ma per nulla rari a quel tempo.

No, possiamo essere abbastanza sicuri che ciò non avvenne. Gli amminoacidi, come molte altre sostanze importanti per la vita, hanno molecole asimmetriche e possono esistere in due configurazioni diverse, una sinistrorsa e una destrorsa, proprio come i guanti e le scarpe. Il fatto è che gli enzimi degli esseri viventi producono am-

minoacidi tutti di configurazione sinistrorsa, il che facilita la costituzione delle catene necessarie per la formazione di molecole proteiche. Un insieme di configurazioni sinistrorse e destrorse, invece, non sarebbe in grado di formare nulla. Naturalmente, una catena di amminoacidi composta tutta di configurazioni destrorse andrebbe altrettanto bene, ma quando la vita sul nostro pianeta ebbe inizio, 3,5 miliardi di anni fa, il caso volle che si utilizzassero configurazioni sinistrorse e da allora gli amminoacidi hanno mantenuto la stessa natura. Persino il fungo che sintetizza l'isovalina contiene soltanto isovalina con configurazione sinistrorsa.

Tuttavia, se gli amminoacidi vengono sintetizzati tramite processi casuali o artificiali, come fanno i chimici, appaiono configurazioni sinistrorse e destrorse in quantità uguali. Nessuna delle due configurazioni prevale sull'altra. Gli amminoacidi trovati nelle meteoriti sono presenti con configurazioni destrorse e sinistrorse in egual quantità. Ciò conferma che furono sintetizzati attraverso reazioni chimiche che non coinvolsero gli enzimi degli organismi viventi.

Anche gli amminoacidi scoperti nei sedimenti risalenti a 65 milioni di anni fa sono stati trovati con configurazioni sinistrorse e destrorse in egual quantità. Questo conferma piuttosto chiaramente che furono sintetizzate non da esseri viventi sulla superficie terrestre, bensì da processi chimici avvenuti in un meteorite o in una cometa.

Naturalmente questa scoperta pone alcune domande. Come è possibile che gli amminoacidi non siano stati distrutti dal calore sprigionato dall'impatto? La risposta non è facile. Gli amminoacidi non sono molecole molto resistenti e non dovrebbero essere in grado di resistere a un calore del genere. Ma forse si trovavano molto all'interno dell'oggetto entrato in collisione con la Terra e questo li protesse.

Ancora più sconcertante è il fatto che questi amminoacidi "extraterrestri" non si trovano esattamente sulla linea di stratificazione del sedimento che segna la data di 65 milioni di anni fa, ma un po' più in alto o più in basso. Forse in origine si trovavano nello strato sedimentario giusto, ma col passare del tempo sono riusciti a penetrare nella roccia un po' più in alto o un po' più in basso. Questa ipotesi non è molto convincente, ma il dottor Bada sta svolgendo accurate ricerche sugli strati rocciosi di altre zone e forse alcuni dati supplementari forniranno una spiegazione migliore.

Fossili veri e falsi

È possibile che il più importante reperto fossile che sia mai stato scoperto non sia nient'altro che un falso? Alcuni scienziati lo hanno affermato con decisione, creando un grande trambusto.

Il fossile in questione fu scoperto nel 1861 e si stima che abbia 140 milioni di anni. Si tratta dell'impronta, in una lastra di roccia, di un animale lungo circa 90 centimetri e simile a una lucertola. Ha mascelle provviste di denti, niente becco, collo lungo e coda lunga, sterno piatto: proprio come una lucertola.

Era ovvio dedurre che l'animale impresso nella roccia fosse un rettile di tipo molto antico, antenato delle odierne lucertole... se non fosse per un'unica differenza: la co-

siddetta lucertola aveva penne e piume. L'impronta del suo piumaggio è inequivocabile nel reperto fossile. Le penne sono sistemate in doppia fila lungo tutta la coda e sono presenti anche sugli arti anteriori.

Nel mondo attuale, ogni uccello conosciuto è provvisto di piume e di penne, e tutti gli esseri viventi che non siano uccelli ne sono sprovvisti. Perciò si è pensato che il fossile fosse quel che restava di un uccello molto antico e primitivo. Si chiama *archeopterix*, un termine greco che significa "antica ala".

L'*archeopterix* è l'esempio più noto di fossile di una forma biologica che sembra cadere esattamente a cavallo tra due importanti specie animali attuali. È per metà rettile e per metà uccello ed è perciò un esempio perfetto di rettile nel processo di evoluzione in uccello.

Si tratta di un uccello talmente primitivo che, nella migliore delle ipotesi, doveva essere in grado soltanto di veleggiare a pochi metri da terra. Qualsiasi cosa oltre un semplice volo basso e mal sostenuto non sembrerebbe possibile per l'*archeopterix*. Naturalmente ci si potrebbe chiedere a che servivano le penne e le piume se, quando si svilupparono, non rendevano possibile il volo. Non ha certo senso pensare che un inutile piumaggio primitivo si sarebbe evoluto semplicemente perché un giorno avrebbe potuto essere utile.

La risposta data dagli evoluzionisti è che se le penne e le piume aiutavano l'uccello anche solo a librarsi e a veleggiare, già questo sarebbe stato utile, e che la situazione sarebbe lentamente migliorata fino a rendere possibile il volo vero e proprio. In realtà, è possibile che piume e penne non si siano evolute allo scopo di spiccare il volo, all'inizio, ma come una specie di "rete" con la quale catturare gli insetti. Il loro uso nel volo e la capacità di essere una protezione per il corpo si sarebbero sviluppati successivamente come caratteristiche secondarie.

Tuttavia, nel 1985 l'astronomo inglese Fred Hoyle, con il sostegno di due colleghi, affermò che l'*archeopterix* era semplicemente un tipo primitivo di lucertola e che quando il fossile fu scoperto sulla lastra di roccia che riportava l'impronta era stato steso su uno strato di cemento adesivo. In quel cemento erano state inserite in bell'ordine e compresse delle penne moderne allo scopo di produrre l'impronta di una sorta di lucertola-uccello.

Presumibilmente ciò fu fatto da qualcuno che aveva solo l'intenzione di giocare un bello scherzo agli scienziati. (Burle del genere sono veramente successe, sia prima del 1861 sia dopo.) Oppure si trattò di qualche evoluzionista fanatico, bramoso di produrre prove "scientifiche" a favore della sua teoria, che non si fece scrupolo di imbrogliare per quella che considerava una buona causa.

Nondimeno, anche se l'*archeopterix* fu davvero contraffatto, ciò non invaliderebbe la teoria evoluzionistica, le cui basi non poggiano certo su un unico fossile bensì su un gran numero di reperti e su altri dati indiretti. Anche se non esistesse nessun fossile, ci sarebbero abbastanza prove fisiche, fisiologiche, biochimiche e anatomiche per convincere gli scienziati che l'evoluzione è a tutti gli effetti una realtà.

Ciò nonostante, non si può certo negare che i fossili offrano la testimonianza più chiara dell'evoluzione e che l'*archeopterix* sia il più splendido pezzo unico di questo tipo di prove.

Gli scienziati, in generale, hanno reagito con rabbia e disprezzo all'affermazione di

Hoyle, il quale a tutt'oggi non ha alcun seguace nella comunità scientifica. (L'astronomo inglese ha sostenuto numerose teorie impopolari, come per esempio che l'universo avrebbe avuto origine da una creazione continua di materia e non dal big bang, e che nelle nubi cosmiche e nelle comete si formerebbero semplici forme biologiche. Molti uomini di scienza, perciò, lo respingono come una sorta di pecora nera da non prendere sul serio.)

Il Natural History Museum di Londra, nel quale è conservato il fossile di *archeopteryx*, è convinto della sua autenticità e fa rilevare che esistono piccole, microscopiche corrispondenze che confermerebbero la contemporaneità delle impronte di ossa e penne. Di recente Hoyle ha chiesto di poter prelevare un piccolissimo campione del fossile, non più grande di una capocchia di spillo, per sottoporlo a una serie di esami, ma il museo non gli ha accordato il permesso e ha dichiarato che le analisi di Hoyle, chiaramente di parte, non proverebbero nulla in un modo o nell'altro.

Personalmente non sono rimasto molto impressionato dalle pretese di Hoyle. Per via di un fatto: dubito che un falsificatore imbroglione del secolo scorso possa aver prodotto l'impronta delle penne talmente bene da ingannare i paleontologi moderni (persino il celebre falso dell'"uomo di Piltdown" li trasse in inganno solo temporaneamente). E, quel che è più importante, sono stati ritrovati almeno due altri fossili di *archeopteryx*, anche loro provvisti di penne disposte esattamente come nel primo fossile.

Tre falsi identici? È mille volte più incredibile di un rettile piumato.

Altre prove sui rettili piumati

I fossili di maggior valore sono quelli che rappresentano forme biologiche intermedie fra due gruppi di organismi ben distinti, perché dimostrano in modo visibile la realtà dell'evoluzione. Un affioramento superficiale di calcare a Cuenca, in Spagna, ha fornito nei primi mesi del 1988 quel che sembra essere un altro esempio di questo tipo di fossili. Appartiene a un antico uccello che forse è vissuto 125 milioni di anni fa.

Per molta gente, la cosa più difficile da capire della teoria evoluzionistica è come faccia una creatura a evolversi. Gli uccelli, per esempio, sono provvisti di penne e di piume, di un certo tipo di becco, di muscoli speciali adatti a muovere le ali, di ossa cave e leggere e di molte altre caratteristiche, tutte essenziali per volare ed essere un uccello.

Come possono svilupparsi tutte queste caratteristiche fino a produrre un organismo funzionale? È sensato pensare che il processo inizi con lo sviluppo di un'ala rudimentale, inutile per il volo? Perché mai dovrebbe essere sviluppato un organo simile? Eppure, se immaginiamo l'evoluzione di una creatura da lucertola a uccello, c'è da chiedersi come possa un simile sviluppo avvenire senza fasi intermedie.

La risposta sembrerebbe che gli sviluppi avvengono un po' alla volta, pezzo per pezzo, ma che il valore di ogni singolo cambiamento nel momento in cui comincia

non è necessariamente lo stesso di quando si è pienamente sviluppato.

Si consideri, per esempio, *l'archeopterix*, il primo organismo vivente etichettato come uccello e che fece la sua comparsa sulla Terra circa 150 milioni di anni fa. La sola ragione per cui lo si definisce un uccello è che era provvisto di penne le quali, al giorno d'oggi, sono una peculiarità esclusiva degli uccelli.

A parte il piumaggio, però, è una lucertola. Ha testa di lucertola con mascella dentata, una lunga coda e così via. Le penne sono disposte anche lungo gli arti anteriori e, in doppia fila, lungo la coda, ma è molto dubbio che *l'archeopterix* fosse in grado di volare nel senso moderno del termine. Al giorno d'oggi gli uccelli capaci di volare hanno tutti uno sterno con carena al quale sono attaccati potenti muscoli pettorali atti al volo. *L'archeopterix* invece possiede soltanto una piccola carena.

E allora perché mai avrebbe sviluppato il piumaggio? Una possibilità è che le penne fossero un espediente per intrappolare gli insetti, una sorta di rete. Probabilmente *l'archeopterix* poteva correre velocemente sulle zampe posteriori (proprio come certe lucertole al giorno d'oggi) e tenere aperte le zampe anteriori, piumate, per catturare gli insetti di cui si cibava. Penne e piume avrebbero esteso l'apertura degli arti anteriori e gli insetti vi si sarebbero impigliati.

Il piumaggio, tuttavia, avrebbe anche avuto funzione di paracadute. Se un *archeopterix* avesse spiccato un balzo, probabilmente sarebbe rimasto in aria un po' più a lungo perché penne e piume avrebbero fornito una superficie maggiore. Avrebbe potuto arrampicarsi su un albero e poi lasciarsi cadere planando e coprendo una certa distanza. Ciò gli sarebbe stato molto utile poiché gli dava una maggiore probabilità di sfuggire ai predatori.

Forse questa capacità di spiccare lunghi balzi spostandosi più lontano era talmente utile che qualunque mutazione successiva nella stessa direzione avrebbe aumentato le sue probabilità di sopravvivenza e gli avrebbe consentito di generare un numero maggiore di piccoli con quella particolare caratteristica ormai ereditaria.

A poco a poco la capacità vera e propria di volare sarebbe stata migliorata, così come si sarebbero sviluppate altre caratteristiche: un migliore sterno a carena a cui si potevano attaccare muscoli più forti, ossa più leggere, un corpo più compatto e affusolato, una coda più corta, e così via.

Questa ipotesi è stata confermata dalla recente scoperta, in Spagna, delle ossa fossili di un'altra creatura fornita di penne, che sembrerebbe avere 25 milioni di anni meno dell'*archeopterix*. Questa creatura pennuta avrebbe quindi avuto a disposizione un arco di tempo molto lungo per sviluppare altre caratteristiche tipiche degli uccelli.

In confronto all'*archeopterix*, che era grande più o meno come un corvo, il fossile più recente era molto piccolo: aveva circa le dimensioni di un pettirosso. (Più piccolo è un organismo, più gli risulta facile volare.)

Per quanto riguarda l'aspetto, il nuovo fossile non si è completamente discostato dai suoi antenati lucertole. Gli arti posteriori e l'osso pelvico sono abbastanza rudimentali, primitivi, molto più simili a quelli di una lucertola che a quelli di un uccello.

Ciò nonostante, il fossile è provvisto di un osso cartilagineo della spalla, situato accanto alla scapola, il *coracoide*, che negli uccelli moderni aiuta a trasformare la contrazione di un muscolo in un potente colpo d'ala. La semplice presenza del coracoide è una prova evidente che il fossile appartiene a un uccello capace di volare.

Per di più, nella parte inferiore della colonna vertebrale il fossile ha un osso che si chiama *pigostilo*, che gli uccelli moderni hanno alla base della coda. Ciò significa che l'antica creatura aveva una coda di uccello anziché una coda di lucertola. La coda di un uccello è provvista di penne timoniere che hanno funzione di freni durante il volo, quando l'uccello sta per toccar terra. E questa è l'ennesima prova che quell'antica creatura era a tutti gli effetti in grado di volare.

Sfortunatamente non si è trovato il cranio, cosicché non possiamo dire fino a che punto assomigliasse a quello degli uccelli moderni né che tipo di becco avesse, ammesso che l'avesse. Tuttavia, è possibile che ulteriori ricerche portino alla scoperta di fossili simili e che tramite essi si possa un giorno rispondere a tutti gli interrogativi del caso. Per ora, abbiamo scoperto il primo uccello che fosse in grado di volare e, grazie a esso, abbiamo aumentato le nostre conoscenze sull'evoluzione degli uccelli.

La più grande creatura volante

Circa 65 milioni di anni fa gli pterosauri, un ordine che includeva i più grandi animali volanti, si estinsero all'improvviso. La loro scomparsa ci ha lasciati alcuni interrogativi, uno dei quali particolarmente sconcertante: come riuscivano a volare questi rettili alati, alcuni dei quali erano grandi quasi quanto un piccolo aeroplano? Ancora oggi gli scienziati non ne sono sicuri, ma hanno proposto alcune teorie affascinanti.

I rettili volanti conosciuti con il nome di *pterosauri* (un termine derivato dal greco che significa "lucertole alate") si sono evoluti almeno 200 milioni di anni fa. Sebbene alcuni non fossero più grandi di un passero, altri erano tra i più mastodontici animali volanti mai esistiti. Circa 70 milioni di anni fa, il *pteranodonte* (dal greco, "alato senza denti") aveva un'apertura alare che arrivava a otto metri, quasi tre volte quella di un albatro. Per la verità, era quasi tutto ali, con un corpo di piccole dimensioni: probabilmente non pesava più di venti chili.

Nel 1971, però, furono scoperti nel Texas i resti di uno pterosauro con un'apertura alare di almeno 15 metri. Sicuramente doveva essere più pesante di qualunque altro essere alato mai vissuto sulla Terra. Attraverso lo studio di questi e di altri resti fossili, come alcune ossa iliache scoperte di recente in Europa, gli scienziati stanno tentando di trovare la soluzione dell'enigma.

Gli unici indizi per capire come volavano queste creature, a parte i resti fossili dello pterosauro, provengono dall'esame degli altri tre gruppi di animali volanti ancora esistenti.

Volare è un'impresa difficilissima. È necessario che l'energia sia concentrata in determinati punti, per battere le ali in modo da sollevarsi da terra e restare sospesi. Oggi, le uniche specie volanti a sangue freddo, come i rettili, sono gli insetti. A causa del sangue freddo sono in grado di produrre soltanto un'energia relativamente bassa. Riescono a spiccare il volo e a spostarsi volando perché sono piccoli, talmente piccoli che l'attrazione gravitazionale esercita su di loro un effetto piuttosto scarso. Persino l'aria più rarefatta, nel loro caso, riesce a compensare a sufficienza l'attrazione gravi-

tazionale. L'insetto più grande del mondo è il *goliato* (derivato da "Golia", il gigante biblico), un coleottero scarabeide africano che pesa circa 110 grammi.

I due altri gruppi di animali volanti, gli uccelli e i pipistrelli, sono a sangue caldo e possono produrre più energia per volare. Ma, essendo a sangue caldo, devono avere il corpo isolato termicamente, dato che non possono permettersi di sprecare l'energia prodotta con tanta fatica. Di conseguenza, gli uccelli hanno il corpo coperto di penne e piume, un metodo particolarmente efficace per diminuire la perdita di calore. I pipistrelli invece hanno il corpo ricoperto di pelo, il che è un po' meno efficace.

Sia gli uccelli sia i pipistrelli, grazie alla grande quantità di energia che sono in grado di produrre, possono volare pur essendo considerevolmente più grandi degli insetti. Ma anche così, non sono certo grandi quanto gli animali terrestri.

Il pipistrello più grande del mondo è un frugivoro che vive in Indonesia. Può raggiungere una lunghezza di quaranta centimetri e ha un'apertura alare di circa un metro e ottanta. Tuttavia il suo corpo è per la maggior parte costituito di una grande membrana alare e il suo peso complessivo raggiunge a malapena i 900 grammi: otto volte il peso dell'insetto più grande del mondo.

L'uccello più pesante capace di volare, *l'otarda di Kori* che vive in Africa orientale e meridionale, può raggiungere il peso di 18 chili, vale a dire venti volte il peso del pipistrello più grande. Con un peso simile, però, riesce a volare a fatica. Alcuni albatry, che non sono certo così pesanti, hanno l'apertura alare più grande del mondo: raggiungono infatti i tre metri di ampiezza.

Gli pterosauri avevano ali a membrana come i pipistrelli ma, mentre nei pipistrelli la membrana si allunga sopra tutte le dita eccetto il pollice, la membrana degli pterosauri era attaccata al quarto dito, cresciuto a dismisura e costituito da quattro falangi particolarmente allungate. Le prime tre dita erano molto più piccole, simili ad artigli, e non facevano parte dell'ala membranosa.

E dunque: come facevano a volare?

Attualmente, tutti i rettili sono a sangue freddo e hanno la tendenza a essere lenti in confronto agli uccelli e ai mammiferi. È naturale, dunque, che in un primo tempo gli pterosauri siano stati considerati animali a sangue freddo, incapaci di produrre energia a sufficienza per volare bene. Furono elaborate di conseguenza alcune rappresentazioni grafiche nelle quali gli pterosauri si arrampicavano a fatica in cima a picchi rocciosi e a precipizi scoscesi per poi spiccare un salto nel vuoto e librarsi in volo planato, a caccia della preda.

Ma una simile impresa sarebbe stata terribilmente difficile, e così in seguito la comunità scientifica cominciò a considerarli a tutti gli effetti esseri che si libravano in volo ad ala battente. Dal momento che questo tipo di volo richiede un'energia enorme, e tenendo in considerazione la mole degli pterosauri, un numero sempre maggiore di scienziati cominciò a ritenere che fossero animali a sangue caldo, e dunque che avessero il corpo ricoperto di peli anziché di piume. (Se avessero avuto penne e piume, con ogni probabilità ne avremmo scoperto qualche sporadica impronta sui fossili di pterosauro, ma così non è stato.)

Per rendersi conto di quanto dovesse essere arduo per queste creature il volo ad ala battente, si consideri la dimostrazione avvenuta nel maggio 1986 alla Base Aerea Militare di Andrews, nei pressi di Washington, D.C., con uno pterosauro artificiale simi-

le a quello scoperto nel Texas. Il modello utilizzato, un gigante di 20 chilogrammi con un'apertura alare di 5,5 metri, era stato costruito per la Smithsonian Institution ed era costato 700 mila dollari, circa 900 milioni di lire. Riuscì a restare in aria soltanto per un minuto prima di schiantarsi al suolo di fronte a una folla di spettatori convenuti per il Giorno delle Forze Armate.

Ma anche ammesso che gli pterosauri riuscissero in un modo o nell'altro a volare, in che modo camminavano? In Germania sono state scoperte due serie di ossa iliache di pterosauro, praticamente intatte. Da questi reperti si può dedurre che i femori dello pterosauro sporgevano verso l'esterno. In questo caso è probabile che gli pterosauri camminassero dondolando come le anatre, e che avessero un'andatura particolarmente sgraziata. Di conseguenza possiamo dedurre che quando non erano in volo restavano appesi ai rami degli alberi e alle rocce sporgenti.

Erano, in altri termini, molto simili a pipistrelli giganti, anche se la loro struttura ossea era quella dei rettili e con ogni probabilità deponevano uova anziché generare cuccioli vivi come i pipistrelli, che sono mammiferi.

Mostri del passato

Nel novembre 1987 fu annunciata la scoperta di un nuovo mostro del passato. Un cranio e altre ossa appartenenti a un uccello marino, lontano parente dei moderni pellicani, furono scoperti in alcuni strati rocciosi datati trenta milioni di anni fa nel corso degli scavi per un nuovo aeroporto a Charleston, nel South Carolina. L'antico animale fu chiamato "pseudodotron". Mettiamo a confronto questo mostro con il più grande uccello marino oggi esistente, l'albatro urlatore. Mentre quest'ultimo ha un'apertura alare che sfiora i 3,5 metri di ampiezza, l'antico "pellicano" ne aveva una di quasi 6 metri. Ma pure una misura del genere non impressiona più di tanto se si considera che un tipo di avvoltoio ormai estinto, il più grande uccello terrestre di ogni tempo che fosse in grado di volare, per quanto ne sappiamo aveva un'apertura alare di sette metri e mezzo. Il più grande pterosauro finora conosciuto, un rettile volante vissuto 65 milioni di anni fa e anche più, aveva un'apertura alare di oltre 12 metri.

C'è da chiedersi come facessero queste creature a volare. L'attuale uccello più pesante e capace di volare è l'otarda di Kori, che pesa più o meno 18 chili e vola con notevole difficoltà. Gli albatro sono più leggeri e non pesano più di dieci chili, e malgrado la loro grande apertura alare incontrano notevoli difficoltà in fase di decollo. Quando sono in volo, passano la maggior parte del tempo a veleggiare nel vento piuttosto che a battere le ali, sfruttando quindi le correnti ascensionali più che i muscoli.

Tuttavia, è probabile che il "pellicano" estinto raggiungesse i quaranta chili. Dalla sua struttura ossea sembra che fosse in grado di muovere le ali solo su e giù, ma non di batterle per ricavarne una spinta in avanti. Senza dubbio, il "pellicano" riusciva solo a veleggiare sfruttando le correnti d'aria, ma in questo caso è ovvio chiedersi come riusciva a salire abbastanza in alto da poter veleggiare. E in che modo decollava? È un mistero. E si potrebbe dire lo stesso anche per l'avvoltoio ormai estinto e per

i grandi pterosauri.

Un altro enigma riguarda il perché gli animali del passato fossero molto più grandi di quelli odierni. Il più grosso primate vivente è il gorilla di pianura, che è alto come un uomo e può raggiungere un peso di 180 chilogrammi. Qualche milione di anni fa, però, viveva una specie di primati ancora più grande, il *gigantopiteco* ("scimmia gigante"), che arrivava quasi a tre metri di altezza e che in alcuni esemplari poteva raggiungere i trecento chili.

Il più grande mammifero terrestre vivente è l'elefante africano, che raggiunge i tre metri e mezzo alla spalla e può pesare fino a sei tonnellate. Tuttavia, in un periodo compreso tra venti e quaranta milioni di anni fa è vissuto un rinoceronte gigante (sprovvisto di corno sul muso), il *beluciterio* ("bestia del Belucistan"), che sfiorava i cinque metri e mezzo, l'altezza della giraffa più alta. Dalla testa alla coda era lungo otto metri e mezzo e pesava almeno 18 tonnellate.

E circa 150 milioni di anni fa è vissuto un dinosauro gigante chiamato *brachiosau- ro* ("lucertola con le braccia"), che è in assoluto l'animale terrestre più grande mai esistito. Era alto sei metri e mezzo alla spalla e aveva un collo lunghissimo che gli sollevava la testa a un'altezza di 12 metri, abbastanza da sbirciare nelle finestre del quarto piano di un edificio moderno. Doveva pesare circa 75 tonnellate, tredici volte di più di un moderno elefante.

Ma prendiamo in considerazione gli uccelli. I più grandi volatili attuali sono di gran lunga troppo pesanti per volare, ma sono pur sempre uccelli. Lo struzzo detiene il record di uccello più grande del mondo, fra le specie viventi. La sua testa, in cima al lungo collo, può arrivare a due metri e mezzo da terra. Può raggiungere un peso di 130 chili ed è in grado di correre a 65 chilometri all'ora.

Ciò nonostante, qualche secolo fa viveva in Nuova Zelanda il moa gigante, un uccello molto simile allo struzzo, che arrivava con la testa a un'altezza di quattro metri e sfiorava i 230 chili. Fra gli uccelli estinti, il moa detiene il record di altezza, ma non di peso. Intorno al 1600, infatti, viveva ancora in Madagascar il cosiddetto "uccello elefante", altrimenti noto come *epiornite*. Aveva un'altezza di "soli" tre metri, ma pesava quasi 450 chili. Deponeva le uova più grandi che si conoscano, con una capacità di oltre 8 litri, sette volte quella di un uovo di struzzo.

E per quanto riguarda gli insetti? Esistono coleotteri lunghi fino a 18 centimetri, alcuni dei quali arrivano a un peso di cento grammi. Ma circa trecento milioni di anni fa esistevano libellule con corpi lunghi oltre trenta centimetri e un'apertura alare di settanta centimetri.

Ma allora la vita è peggiorata? Credo di no. Penso che a lungo andare risulterà chiaro che le dimensioni ridotte e l'agilità funzionano meglio delle grandi dimensioni e del passo pesante. Inoltre, anche ai giorni nostri abbiamo più di un'occasione per stupirci.

Dopo tutto, l'animale più grande di tutti i tempi è tuttora in vita. Si tratta della balena azzurra, che può raggiungere i 28 metri di lunghezza (due volte di più del più grande dinosauro mai esistito) e un peso di 120 tonnellate.

Ed è anche molto improbabile che siano mai esistiti alberi più alti degli attuali redwood nordamericani (insieme ad alcune altre specie), che raggiungono più o meno i 120 metri di altezza. E ancora oggi vivono gli alberi più mastodontici di tutti i tempi,

che sono al contempo la più grande forma biologica mai esistita. Si tratta delle sequoie, che in alcuni casi arrivano a pesare seimila tonnellate (cinquanta volte il peso della più grande balena azzurra).

Infine, al giorno d'oggi vive la specie animale più intelligente di tutti i tempi, l'unica in grado di sviluppare la filosofia, la scienza, la tecnologia, l'arte, la letteratura, l'unica a far uso del fuoco, a utilizzare l'elettricità e a metter piede sulla Luna. Si tratta dell'*Homo sapiens* e, secondo i tempi geologici, noi siamo venuti al mondo soltanto ieri.

La forma biologica di maggior successo

Nel 1980 il Museo Americano di Storia Naturale di New York ha acquistato dalla Columbia University una vasta collezione di minerali, che comprendeva diversi campioni di ambra. Verso la fine del 1987 il curatore del museo, David Grimaldi, stava esaminando quei campioni quando scoprì di avere sotto gli occhi un'ape di ottanta milioni di anni.

Forse non sarebbe stata un'esperienza gradevole per chi pensa agli insetti solo come a un fastidio, ma sta di fatto che proprio loro sono la forma biologica di maggior successo sulla Terra. Un alieno proveniente da un lontano pianeta potrebbe benissimo riferire ai suoi superiori che il nostro pianeta è un mondo pieno di insetti con una presenza trascurabile di altri tipi di vita.

In effetti si conoscono quasi un milione di specie diverse di insetti, il che è un numero di gran lunga più consistente del totale di tutte le altre specie *messe insieme*: circa cinque specie su sei sono insetti.

Per di più, questo conto considera soltanto le forme biologiche conosciute. Esistono parecchi milioni di specie non ancora scoperte, catalogate e descritte, specialmente nelle foreste tropicali, e si ritiene che quasi tutte siano di insetti. Il numero totale di specie va da due a cinque milioni, ed è probabile che gli insetti rappresentino il 97 per cento degli animali esistenti.

Perché gli insetti hanno tanto successo? Perché sono piccoli, molto fecondi e depongono un numero illimitato di uova. In un ettaro di terra umida è facile che ci siano quasi dieci milioni di singoli insetti.

Ciò significa anche che sono molto difficili da eliminare. Uccidete 99 individui su cento e in un batter d'occhio i sopravvissuti deporranno uova a sufficienza per reintegrare la popolazione. In effetti, sebbene gli esseri umani abbiano condotto a totale estinzione varie forme di vita animale, come per esempio i mammut e i mastodonti, e seguitino a metterne in pericolo numerose altre, sembra che siano mai riusciti a eliminare una sola specie di insetti. Scarafaggi e zanzare abbondano e prosperano, per esempio, benché ogni mano e ogni piede dell'umanità siano pronti a schiacciarli.

L'intenso ricambio nella popolazione fa sì che fra gli insetti l'evoluzione proceda a un ritmo rapidissimo, e che quindi compaiano nuove specie dotate di nuove caratteristiche molto più spesso che tra gli altri animali. Di quando in quando l'uomo cerca di

sterminare gli insetti usando potenti insetticidi, e li uccidiamo a miliardi. Tuttavia, ci sono sempre alcuni individui che si dimostrano resistenti a ogni tipo di insetticida. Restano dunque sul terreno alcuni superstiti che in breve generano milioni di discendenti, tutti geneticamente resistenti a quel particolare veleno e quindi ineliminabili. Nello spazio di pochi anni, l'insetticida utilizzato per la prima grande strage perde ogni efficacia e si deve cercare un prodotto nuovo.

I paleontologi di tutto il mondo gradirebbero moltissimo conoscere dettagliatamente lo sviluppo evolutivo degli insetti, ma c'è una difficoltà. Gli insetti sono così piccoli che raramente se ne trovano resti fossili. Le tracce più antiche che esistano sono quelle dei primitivi "coda a molla", un tipo di insetto privo di ali, che quando si trovava in pericolo era in grado al massimo di scappare a grandi salti. Questo insetto visse sulla Terra almeno 370 milioni di anni fa. (Una specie simile esiste ancor oggi. Si tratta di esapodi apterigoti che appartengono all'ordine dei *collemboli*, caratterizzati dalla presenza di un organo saltatore, detto "furca", situato sotto la coda.)

Circa 280 milioni di anni fa si evolvette un tipo di libellula gigante provvista di un'apertura alare di circa settanta centimetri, in assoluto i più grandi insetti mai esistiti.

Ma le testimonianze evolutivistiche sugli insetti sono colme di lacune. Di recente, però, si è presentata una fortunata opportunità: nel corso del tempo, di tanto in tanto qualche insetto è restato intrappolato nella resina vischiosa e adesiva che trasudava da antichi sempreverdi ormai estinti. Quella resina si è fossilizzata trasformandosi nella sostanza che oggi viene chiamata ambra. Nell'ambra sono rimasti perfettamente conservati per milioni di anni numerosi insetti. Gli esemplari più antichi scoperti in questo modo hanno un'età di 120 milioni di anni.

L'ape trovata nel blocco d'ambra proveniente dalla contea di Burlington, nel New Jersey, non è così antica, ma ha un'età almeno doppia di ogni ape trovata finora. Eppure, anche dopo ottanta milioni di anni, la si può vedere incastonata nell'ambra con estrema chiarezza e in ogni dettaglio.

La sorpresa è costituita dal fatto che, nonostante gli ottanta milioni di anni, si tratta di un'ape di tipo moderno, non molto diversa da quelle attuali. È un'ape mellifica senza pungiglione che appartiene a una famiglia tuttora esistente nelle regioni tropicali. Probabilmente ottanta milioni di anni fa il New Jersey era molto più caldo di quel che è oggi.

Per essere arrivate a uno stadio di sviluppo così avanzato già ottanta milioni di anni fa, è probabile che l'origine delle api risalga almeno ad altri ottanta milioni di anni prima. Questo fatto è molto importante in relazione ai vegetali. Finora si è pensato che le piante da fiore si siano evolute insieme alle api e ad altri insetti simili, dal momento che le due specie sono interconnesse. Le api vivono essenzialmente del nettare dei fiori, e i fiori si riproducono grazie alle api che trasportano il polline. Si pensa che le piante da fiore abbiano avuto origine circa 135 milioni di anni fa, ma se le api sono più antiche, allora lo sono anche i fiori.

I paleontologi continuano a cercare. Ogni insetto trovato nell'ambra è prezioso.

Le tartarughe migratrici

L'indagine scientifica non è sempre in grado di stabilire con esattezza come stanno le cose, ma a volte può dimostrare che ciò che è talmente spettacolare da sembrare vero in realtà non è vero per niente. Un fatto simile è successo nella primavera del 1989 in relazione, indovinate un po', alle tartarughe verdi.

Molti animali abitualmente emigrano: procreano in un luogo particolare e cercano nutrimento in un'altra località anche a migliaia di chilometri di distanza. Ciò significa che devono saper ritrovare la strada affidandosi soltanto al proprio istinto.

Le testuggini franche, più note come tartarughe verdi, trovano nutrimento lungo le coste del Brasile, ma verso la fine di ogni anno qualcosa le spinge verso oriente attraverso l'Oceano Atlantico in un viaggio che dura due mesi. Alla fine, arrivano sulle spiagge dell'isola Ascensione, un minuscolo lembo di terra nel bel mezzo dell'Atlantico, circa 2200 chilometri a est del Brasile. Laggiù si accoppiano e depongono le uova, dopo di che fanno ritorno alle coste del Brasile (altri 2200 chilometri di viaggio e altri due mesi) e vi rimangono per un anno, fino al momento di ripartire.

Anche le tartarughe che nascono sull'isola Ascensione e che riescono a sopravvivere si mettono in viaggio verso il Brasile, per poi fare ritorno sull'isola alla fine dell'anno. In realtà, è un fatto piuttosto comune per gli animali coprire lunghe distanze per tornare al luogo di nascita e lì riprodursi. Si tratta di un fenomeno che viene chiamato *migrazione natale*. I biologi hanno diverse ipotesi sui modi in cui questi animali riescono a orientarsi, ma c'è una domanda che rimane del tutto priva di risposte: perché.

Perché le tartarughe affrontano un viaggio così lungo? Che cos'ha l'isola Ascensione che altre località non hanno? In effetti, alcune tartarughe verdi depongono le uova altrove. C'è una località al largo della Florida, e ce n'è un'altra al largo del Venezuela, ma l'isola Ascensione è in assoluto il luogo più frequentato.

Qualche anno fa, nel 1974, Patrick Coleman e Archie Carr, due biologi della Florida, hanno proposto un'ipotesi interessante. L'isola Ascensione è molto vicina alla dorsale dell'Atlantico centrale dove, circa quaranta milioni di anni fa, l'Africa e l'America del Sud quasi si toccavano. A quell'epoca la testuggine franca o tartaruga verde si sarebbe nutrita lungo le coste dell'attuale Brasile e avrebbe nuotato al massimo per tre o quattro chilometri per andare a riprodursi all'isola Ascensione.

Ma era in arrivo l'Oceano Atlantico... Dalla dorsale sottomarina stavano colando grandi quantità di roccia fluida e incandescente che solidificandosi costringeva le due masse terrestri a separarsi (*espansione del fondo marino*). Ogni anno, il territorio di nutrimento sulle coste e al largo del Brasile si allontanava di qualche centimetro dalla dorsale sottomarina e dall'isola Ascensione. Ogni anno, la tartaruga verde doveva nuotare qualche centimetro di più per raggiungere le spiagge dell'isola sulla quale si riproduceva. Le singole tartarughe non potevano percepire il graduale allontanamento della spiaggia, ma anno dopo anno, centimetro dopo centimetro, dopo quaranta milioni di anni il viaggio arrivò a essere lungo 2200 chilometri all'andata e altrettanti al ritorno.

La possibilità che l'espansione del fondo marino avesse ingannato le tartarughe era

talmente spettacolare che per tutti gli anni Settanta l'ipotesi di Coleman e Carr riscosse un enorme successo. Ma Stephen Jay Gould della Harvard University era scettico. Affermò che nel corso di quaranta milioni di anni l'isola Ascensione doveva essersi trovata numerose volte sprovvista di spiagge e che di tanto in tanto doveva essersi addirittura trovata sotto il livello del mare. Un evento simile avrebbe per forza spezzato l'incantesimo.

Ma è possibile che non esista un modo di risolvere la controversia?

Due scienziati dell'Università della Georgia, Brian W. Bowen e John C. Avise, insieme con Anne B. Meylan del Florida Institute of Marine Research, hanno preso in esame le molecole di acido nucleico presenti nei mitocondri delle cellule di tartaruga.

Le suddette molecole sono ereditarie, vengono cioè trasmesse di generazione in generazione, e cambiano lentamente con il passare degli anni (è questo fenomeno che rende possibile l'evoluzione). Le tartarughe che vanno a riprodursi sull'isola Ascensione hanno acidi nucleici che cambiano lentamente, e così dicasi delle tartarughe che depongono le uova al largo della Florida e quelle che lo fanno al largo del Venezuela.

Ciò nonostante, se le tartarughe sono sempre rimaste attaccate per decine di milioni di anni a quei particolari luoghi di riproduzione, ciascun gruppo dovrebbe aver subito una serie diversa di cambiamenti e le tre relative sequenze di acidi nucleici dovrebbero attualmente essersi diversificate. Oggi gli scienziati hanno diversi metodi per stabilire di quanto si siano allontanate.

È risultato che alcune differenze esistono davvero, ma molto più superficiali di quello che ci si sarebbe aspettato dopo tanti milioni di anni. La differenza è tale da suggerire una separazione di soli quarantamila anni, piuttosto che di quaranta milioni.

Questo lascia due sole possibilità. Nel primo caso significa che l'istinto della migrazione natale non è tutto sommato infallibile. Una piccola quantità di tartarughe verdi col passare del tempo si è confusa ed è finita sulle spiagge sbagliate. Si sono accoppiate e hanno depresso le uova mescolando i propri acidi nucleici con quelli delle tartarughe che vivevano nelle nuove località. Anche una percentuale minima di "dispersione" di questo tipo annullerebbe la maggior parte della differenza.

L'altra possibilità è che le tartarughe siano in generale molto più flessibili di quel che si pensa. Quarantamila anni fa alcune "esploratrici" potrebbero aver scoperto le spiagge dell'isola Ascensione che magari si erano appena formate e prima non esistevano affatto. Le esploratrici colonizzarono l'isola e da allora continuarono a utilizzarla. Altre tartarughe, invece, utilizzarono spiagge diverse.

Se gli scienziati potessero in un modo o nell'altro stabilire che l'isola Ascensione esiste così com'è da quaranta milioni di anni, questo aiuterebbe a decidere qual è la teoria giusta. Sembra comunque più probabile che per alcuni periodi l'isola sia stata completamente sommersa e che le tartarughe siano in effetti più flessibili di quel che si immaginava.

E se, un giorno o l'altro, le spiagge dell'isola Ascensione diventassero inutilizzabili, le tartarughe potrebbero benissimo sceglierne altre. Il che è forse una teoria meno spettacolare, ma certo molto più sensata.

Il mammifero più strano

Il mammifero più strano di cui si abbia notizia sembra essere persino più strano di quel che si pensava. Era talmente bizzarro che quando il primo esemplare, impagliato, giunse in Inghilterra nel 1800 gli zoologi stentaronο a crederci. Proveniva dall'Australia, un continente a quell'epoca ancora in gran parte inesplorato.

L'animale in questione, di una specie tuttora vivente, ha un corpo lungo quasi 60 centimetri ed è provvisto di una folta copertura di peli che lo identifica chiaramente come un mammifero, dato che soltanto i mammiferi hanno la pelliccia. (Per di più, allatta i suoi piccoli, e soltanto i mammiferi producono latte.) Però ha il becco, un becco piatto ed elastico che assomiglia molto a quello dell'anatra, qualcosa che nessun altro mammifero possiede. È fornito pure di speroni velenosi sulle caviglie delle zampe posteriori, un'altra cosa che nessun altro mammifero possiede.

Sebbene sia un animale a sangue caldo, questo particolare mammifero non mantiene una temperatura corporea costante come gli altri. Per giunta, poi, sotto la coda ha un unico orifizio per gli escrementi, simile a quello dei rettili e degli uccelli, invece dei due orifizi che hanno tutti i mammiferi. Inoltre, la struttura cranica allungata ricorda quasi quella dei rettili.

E la cosa più strana in assoluto - una caratteristica che non fu scoperta fino al 1884 - è che questa creatura *depone le uova* tramite quell'unico orifizio posteriore, proprio come gli uccelli e i rettili.

Il nome comune di questo mammifero è "platipo becco d'anatra". Non c'è bisogno di spiegare il "becco d'anatra", mentre "platipo" deriva dal greco e significa "piede piatto". Viene anche chiamato *ornitorinco*, sempre dal greco, che sta per "becco d'uccello".

Non è l'unico mammifero che depone uova, poiché in Australia e in Nuova Guinea vivono altre due specie di "formichieri spinosi" (altrimenti noti come *echidna*) con le quali è strettamente imparentato. Queste tre specie di mammiferi ovipari vengono definite *monotremi*, un termine greco che significa "una sola apertura".

I monotremi - insieme ai marsupiali, dei quali è un esempio il canguro, che dà alla luce piccoli vivi ma alquanto immaturi - sembrano essere gli ultimi residui viventi dei mammiferi primitivi, evolutisi soltanto parzialmente dallo stadio di rettile. Sono sopravvissuti soltanto in Australia e in Nuova Guinea, che si sono separate dagli altri continenti prima che si sviluppassero i mammiferi di livello superiore.

Ciò nonostante, i monotremi non hanno smesso di evolversi. Anche se non hanno mai sviluppato alcune caratteristiche peculiari dei mammiferi - come la placenta, che permette ai mammiferi superiori di mettere al mondo piccoli vivi e ben sviluppati - hanno però sviluppato indipendentemente certi insoliti tratti distintivi di tipo superiore. Lo sperone velenoso dell'ornitorinco ne è un esempio.

Oltre a ciò, l'ornitorinco è un animale d'acqua dolce. Benché respiri aria come tutti gli altri mammiferi - e come gli uccelli e i rettili - passa la maggior parte del tempo sul fondo dei fiumi per cacciare le piccole forme di vita acquatica delle quali si nutre: gamberetti d'acqua dolce e così via.

Come riesca a trovare il suo cibo quando i fiumi sono spesso limacciosi e oscuri,

quando cioè gli occhi diventano relativamente inutili, è un vero mistero. In realtà, quando si trova sott'acqua, l'ornitorinco chiude gli occhi, le orecchie e il naso. Quindi pare che riesca a trovare il cibo soltanto per mezzo del tatto... anche se in realtà si dirige verso i gamberetti e i suoi bocconcini preferiti prima ancora di essersi avvicinato abbastanza da toccarli.

Nel 1986 alcuni scienziati dell'Australian National University di Canberra hanno scoperto che il platipo ha un "sesto senso" molto speciale. Lungo il margine del becco ha delle terminazioni nervose sensibili ai piccoli campi elettrici. Può essere che anche gli altri monotremi, cioè le echidne, abbiano lo stesso tipo di sensori elettrici.

Se così fosse, si tratterebbe dell'ennesima particolarità esclusiva dei monotremi, dal momento che nessun altro mammifero sembra avere tali sensori, come pure i rettili. Solo qualche pesce possiede organi simili.

Il senso elettrico dell'ornitorinco, però, è molto più versatile e utile di quello dei pesci. Alcuni di essi rispondono soltanto alle correnti elettriche continue, altri soltanto alle correnti alternate. L'ornitorinco, invece, risponde a entrambi i tipi di corrente e inoltre i suoi sensori sono collegati a un nervo diverso da quello dei pesci. Ciò dimostra che la sua abilità non si è sviluppata da quella dei pesci, ma in modo indipendente.

A cosa serve questo particolare senso? Be', tutti gli animali viventi sono dotati di nervi e di muscoli. Nel movimento, i nervi e i muscoli vengono attivati da certe piccole correnti elettriche che vi fluiscono. L'ornitorinco individua il campo elettrico generato da queste piccole correnti e da dove proviene. Ciò gli permette di "vedere" la preda per mezzo dell'elettricità.

In aggiunta, l'attrito prodotto dall'acqua contro il fondo del fiume e contro gli argini crea dei minuscoli campi elettrici indipendentemente dagli animali che vi nuotano, e l'ornitorinco è in grado di rilevare anche quelli. Ciò gli permette di sapere esattamente quali irregolarità presenta il letto del fiume e quindi di muoversi in tutta sicurezza senza l'uso degli altri cinque sensi.

D'altro canto, questo stesso senso elettrico può essere la causa della grande difficoltà che si incontra nel tenere l'ornitorinco in cattività. L'acqua del suo ambiente artificiale deve essere fatta circolare tramite pompe elettriche, e ciò può stimolare eccessivamente lo speciale senso della bestiola, danneggiandone la salute.

Acqua antica

Le vecchie miniere di sale sarebbero adatte a conservarvi le scorie nucleari? Come possiamo avere la garanzia che dopo migliaia di anni l'acqua del sottosuolo non si infiltrerà nelle miniere, facendo arrugginire i contenitori sigillati e trascinando con sé le scorie diffondendole nel terreno e contaminando tutto quello con cui verranno a contatto?

A questo riguardo, un modo di verificare il futuro è quello di prendere in considerazione il passato. Le miniere di sale si sono formate perché nel lontano passato alcu-

ni golfi oceanici poco profondi, surriscaldati dal sole e in condizioni di scarsa piovosità, si sono gradualmente seccati.

A mano a mano che il golfo si seccava, rimaneva troppo poca acqua per mantenere in soluzione il contenuto salino. Si formava così una crosta di cristalli di sale, cristalli che crescevano rapidamente nella calura del giorno. A poco a poco si formava uno strato di sale sempre più consistente, fino a quando non rimaneva che una vasta superficie piatta completamente arida e salata. Successivamente, con il passare degli anni, sabbia e polvere si depositavano sopra la crosta salina e, alla fine, lo strato di sale restava sepolto in profondità sotto il terreno che si andava raccogliendo. Da ultimo, ecco che una miniera di sale veniva scavata dall'uomo.

Quando la crosta salina cedeva, di tanto in tanto un acquazzone copriva di acqua dolce il sale. L'acqua piovana poteva, per un breve periodo di tempo, sciogliere piccole quantità di sale. Ma poi le nuvole temporalesche si allontanavano e il sole, implacabile, picchiava di nuovo sopra la terra incrostata di sale e faceva evaporare ogni più piccolo residuo di acqua.

Talvolta si svolgeva una vera e propria gara tra l'evaporazione dell'acqua e la crescita dei cristalli di sale. Occasionalmente, un cristallo si formava in modo talmente rapido che cresceva attorno a una gocciolina di acqua, cosicché anche oggi è possibile trovare nelle miniere di sale cristalli contenenti minuscole gocce d'acqua. Quest'acqua può risalire ai tempi in cui il golfo si era prosciugato per la prima volta, centinaia di milioni di anni fa.

Ma è davvero così importante poter disporre di quest'acqua antica, per non dire antichissima? Dopo tutto, al contrario del vino l'acqua non migliora con il passare del tempo.

Ma anche se il tempo non la cambia, la cambia l'evaporazione.

Ogni molecola di acqua è costituita da due atomi di idrogeno e un atomo di ossigeno. Gli atomi di idrogeno hanno un peso atomico pari a 1, mentre quelli di ossigeno hanno un peso atomico pari a 16. Di conseguenza, ogni molecola di acqua pesa $1 + 1 + 16 = 18$. Tuttavia, un numero limitatissimo di atomi di idrogeno (uno su 6500) ha un peso atomico 2. Per giunta, un atomo di ossigeno su 500 ha un peso atomico 18, e uno su 2500 ha un peso atomico 17. Di conseguenza, ci sono alcune molecole d'acqua - pochissime per la verità - che invece di pesare 18 pesano 19, 20, 21 o 22, in relazione a quanti atomi di idrogeno pesante e di ossigeno pesante riescono a incorporare.

Al giorno d'oggi è possibile determinare il peso medio delle molecole contenute in un campione d'acqua pura con la precisione di una cifra decimale. Dato che l'acqua contiene sempre la stessa piccola percentuale di atomi pesanti, il peso molecolare medio che resta è leggermente superiore a 18, sia che il campione provenga dal vostro rubinetto sia che provenga dal bel mezzo dell'oceano.

Tuttavia, le molecole più leggere evaporano un pochino più in fretta, perché riescono a staccarsi dalla massa d'acqua con maggiore facilità. Di conseguenza, se una notevole quantità di acqua evapora, la poca che resta è più ricca di molecole pesanti. Il peso medio di queste molecole "superstiti" è moderatamente più alto di quello di un normale campione.

Ora prendiamo in considerazione i cristalli di sale contenenti goccioline d'acqua. Dal momento che si può calcolare l'età dei cristalli di sale, alcuni geologi dell'Arizona

State University facendo indagini di questo tipo hanno scoperto un cristallo di 400 milioni di anni... e la minuscola goccia d'acqua in esso contenuta è il campione di acqua più antico che si conosca finora. Alcuni campioni di sale provenienti da una delle località potenzialmente destinate a diventare depositi di scorie nucleari hanno 250 milioni di anni.

L'acqua contenuta in questi cristalli di sale stava evaporando, nel momento in cui è rimasta intrappolata. Perciò dovrebbe essere più ricca di atomi pesanti e avere un peso molecolare medio decisamente più alto del normale... purché l'acqua antica fosse rimasta intatta e incontaminata. Se l'acqua del sottosuolo si fosse invece infiltrata nella salina e in un modo o nell'altro fosse riuscita a penetrare nei cristalli di sale, allora l'acqua ritenuta antica sarebbe invece relativamente nuova. Non sarebbe evaporata troppo nella fresca oscurità della miniera, e le sue molecole avrebbero un peso medio piuttosto basso.

I geologi dell'Arizona State University hanno individuato l'acqua nei cristalli di sale illuminandoli e studiandoli col microscopio a bassa potenza. In centinaia di casi hanno estratto le minuscole gocce di acqua e hanno verificato il peso delle molecole.

Le analisi dimostrano che le molecole sono generalmente pesanti, il che porta a concludere che l'acqua nei cristalli è rimasta incontaminata per centinaia di milioni di anni. Perciò, le miniere di sale possono davvero essere ottimi depositi per le scorie nucleari.

Fulmini e vita

La pioggia acida non è sempre dannosa. Esistono alcuni tipi di pioggia acida che non soltanto hanno effetti positivi, ma che giocano un ruolo attivo nella protezione della vita terrestre. E alcuni recenti esperimenti pare abbiano dimostrato che un certo tipo di pioggia acida ha conseguenze ancor più positive di quel che si pensava.

Ecco come funziona.

Uno degli elementi fondamentali che devono essere presenti nelle molecole-chiave del tessuto vivente è l'azoto. Gli atomi di azoto sono presenti nel terreno quali parte delle sostanze minerali denominate "nitrati". I nitrati sono, tutti quanti, facilmente solubili. Ciò significa che quando le piante assorbono acqua dal terreno, assorbono con essa un po' di nitrati. Le piante utilizzano i nitrati come materia prima per la formazione di composti a base di azoto importantissimi per la vita: in modo particolare acidi nucleici e acidi proteici.

Gli animali che si nutrono di vegetali o che mangiano gli erbivori, disgregano le proteine e gli acidi nucleici in sostanze più semplici, li assorbono e li riutilizzano per ricostituire le proprie personali varietà di proteine e di acidi nucleici.

Tutta la vita terrestre dipende dai nitrati presenti nel terreno. Tuttavia, dal momento che i nitrati sono solubili, la pioggia tende a dilavarli sottraendoli al suolo e raccogliendoli nei ruscelli e nei torrenti, poi li fa confluire nei fiumi e infine li versa in mare. Con il passare del tempo, tutti i nitrati verrebbero eliminati dal terreno, e anche

se la vita continuerebbe negli oceani - dove finirebbero tutti i nitrati - la terra diventerebbe un deserto. A meno che non si potessero rimpiazzare i nitrati sottratti dall'acqua.

Quattro quinti dell'atmosfera terrestre sono costituiti di azoto puro. Se un po' di questo azoto potesse essere *fissato*, vale a dire combinato con altri elementi, allora potrebbe essere utilizzato dai vegetali. Ma l'azoto è un elemento, per così dire, molto riservato, ed è riluttante a combinarsi con altri atomi.

Eppure, nel terreno i nitrati sono tuttora presenti e vengono regolarmente *rimpiazzati*. Come? In primo luogo, gli esseri umani hanno imparato a fissare l'azoto in grandi quantità e i nitrati che vengono così prodotti possono essere utilizzati come fertilizzanti. Tuttavia, questa capacità umana è recente: è stata sviluppata soltanto una settantina di anni fa. E dunque? Come ha fatto a cavarsela la vita, prima di allora?

Per combinazione, ci sono alcuni batteri che hanno l'insolita capacità di costringere l'azoto gassoso dell'atmosfera a entrare in combinazione con altri atomi. Questi batteri vengono chiamati per l'appunto *azotobatteri*. Si trovano, in particolare, in piccole protuberanze attaccate alle radici delle leguminose, come per esempio i piselli o i fagioli. Gli azotobatteri sono di vitale importanza per le tutte le forme di vita, compresi gli esseri umani.

E, poi, ci sono i fulmini. Ogni volta che un fulmine si scarica nell'atmosfera, riscalda momentaneamente l'aria circostante a temperature insolitamente alte. L'aria si raffredda molto in fretta, ma non prima che il calore riesca a provocare l'unione di alcune molecole di azoto e di ossigeno in biossido d'azoto. Quest'ultimo è solubile in acqua (e in genere ai fulmini si accompagna la pioggia) dove si trasforma in acido nitrico, il quale produce un tipo particolare di pioggia acida. Quando l'acido nitrico tocca terra viene trasformato dagli azotobatteri in vari nitrati, i quali contribuiscono a fertilizzare il terreno rendendo possibile la vita sulla Terra.

Fino a poco tempo fa si pensava che i fulmini fossero responsabili di circa il dieci per cento dei nitrati presenti nel terreno. Si era giunti a questa percentuale attraverso lo studio dei fulmini riprodotti in laboratorio. Ma recentemente due scienziati americani, Edward Franzblau e Carl Popp del New Mexico Institute of Mining and Technology, hanno esplorato la natura senza mediazioni. Hanno elaborato un metodo per calcolare la quantità di biossido di azoto che si forma nei fulmini veri durante i temporali.

Dopo aver preso in esame sessanta fulmini, hanno calcolato che ciascuno produce circa un miliardo di miliardi di miliardi di molecole di biossido di azoto. Il che corrisponde a circa 45 chili di sostanza. E, in media, sulla Terra si scaricano circa cento fulmini al secondo. Ciò significa che lampi e saette producono quasi cinque tonnellate di biossido di azoto al secondo. Franzblau e Popp hanno perciò calcolato che i fulmini forniscono alla Terra non il dieci, ma il *cinquanta* per cento del biossido di azoto consumato dagli esseri viventi.

Tutto ciò è davvero impressionante (sempre ammesso che le loro osservazioni e i relativi calcoli siano verificati e confermati) e senza dubbio mette i fulmini in una nuova luce: per quanto siano pericolosi - talvolta provocano vittime o appiccano incendi - sembra che i loro effetti positivi compensino di gran lunga quelli negativi.

Eppure, se la pioggia acida prodotta dai fulmini è essenziale alla vita del pianeta,

perché mai l'espressione "pioggia acida" è diventata così malfamata? Perché dovrebbe essere associata alla morte?

Perché la pioggia acida di cui abbiamo paura è causata dalla combustione di carbone impuro e di petrolio, che contengono anche atomi di zolfo, oltre a quelli di azoto. La pioggia acida prodotta dall'uomo non contiene quindi solo acido nitrico, ma anche acido solforico. Quest'ultimo è particolarmente dannoso e non è affatto presente nella pioggia acida "naturale" prodotta dai fulmini.

Per giunta, la pioggia acida di origine "umana" è notevolmente più acida di quella prodotta dai fulmini e perciò provoca un'eccessiva concentrazione acida che fa avvizzire intere foreste e uccide la fauna ittica negli stagni e nei laghi.

Stragi di massa

I violenti incendi che hanno consumato gran parte dell'Ovest americano nell'estate del 1988 sono stati un vero disastro, ma niente in confronto a un vastissimo incendio avvenuto probabilmente circa 65 milioni di anni fa.

Quest'epoca, la stessa della scomparsa dei dinosauri, è diventata negli ultimi anni un argomento ricorrente nelle discussioni scientifiche. Molti scienziati hanno formulato ipotesi sulla possibilità che la causa dell'estinzione dei dinosauri sia stata un'immensa catastrofe interplanetaria.

Negli strati rocciosi formatisi circa 65 milioni di anni fa c'è una sorprendente quantità di iridio, un metallo rarissimo nella crosta terrestre ma molto comune nelle meteoriti e nelle comete. Lo strato di iridio risalente a 65 milioni di anni fa è stato scoperto dovunque sia stato cercato. Per cui si ipotizza che un grande asteroide, o una cometa, abbia colpito la Terra appunto 65 milioni di anni fa, sterminando la maggior parte delle specie viventi, dinosauri compresi.

Ma perché dovrebbero essere scomparsi dall'intero pianeta, considerando che l'asteroide deve aver colpito la Terra in un punto preciso? La prima possibile risposta è che nel tremendo impatto l'asteroide abbia sollevato un'immensa nuvola di terra e di polvere che diffondendosi nell'atmosfera oscurò per mesi la luce del Sole. Questo fenomeno avrebbe ucciso la maggior parte della vita vegetale su tutto il globo, e di conseguenza anche la maggior parte della vita animale.

Come se non bastasse, il micidiale impatto tra il gigantesco asteroide e il nostro pianeta ebbe altri effetti. Per esempio, il settanta per cento della superficie terrestre è coperto di acqua, ed è quindi probabile che l'asteroide sia precipitato in pieno oceano. In questo caso sarebbe penetrato nell'acqua praticamente senza rallentare e avrebbe raggiunto il fondo sollevando ugualmente il gran polverone mortale che avrebbe poi oscurato il Sole. Tuttavia, avrebbe sollevato anche un mare d'acqua, provocando la formazione di un immenso *tsunami*, vale a dire un'ondata di dimensioni colossali.

Di recente, un gruppo di geologi guidati da Joanne Bourgeois che stava studiando alcuni strati rocciosi nel Texas orientale si è imbattuto in uno strato di arenaria spesso più di sessanta centimetri. In esso erano incastonati frammenti fossili di conchiglie

marine, pezzetti di legno, denti di pesce e via dicendo. Nella parte superiore erano presenti tracce di increspature che potrebbero essere state causate da onde. E tutto lo strato risaliva appunto a circa 65 milioni di anni fa.

Di conseguenza i geologi, nel 1988, formularono l'ipotesi che l'asteroide, o la cometa, che a quell'epoca colpì la Terra fosse precipitato nel Golfo del Messico. L'arenaria sarebbe il risultato dell'immenso muro d'acqua che si abbatté sul continente traboccando dalle coste del golfo e fu lentamente risucchiato indietro, spazzando via ogni cosa. Uno *tsunami* del genere avrebbe esaurito la sua forza dirompente su una porzione limitata della Terra, ma comunque quello strato di arenaria - se l'interpretazione data dagli scienziati è corretta - dà maggior forza all'ipotesi di un'immensa energia distruttrice proveniente dallo spazio.

Ma forse l'asteroide ebbe un effetto ancora peggiore. Di recente, Edward Anders della Chicago University e alcuni altri ricercatori hanno reso noto il risultato dei loro studi su questo strato roccioso depositatosi e formatosi 65 milioni di anni fa. I campioni sono stati prelevati in località diverse, come per esempio in Svizzera, in Danimarca e in Nuova Zelanda, eppure dappertutto gli scienziati hanno trovato uno strato di fuliggine da cento a diecimila volte più concentrato di quel che era ragionevole aspettarsi.

La suddetta fuliggine pareva con ogni probabilità la conseguenza di un vasto incendio, e studiandone l'esatta natura (la percentuale di carbonio e la proporzione dei differenti isotopi) i geologi sono giunti alla conclusione che si è effettivamente trattato di un incendio: un unico, immenso incendio, divampato nello stesso istante sull'intero pianeta.

Ecco lo scenario. Un enorme oggetto proveniente dallo spazio esterno precipita sulla Terra e ne perfora la crosta. Per sollevare una così immensa nuvola di polvere e simili ondate, deve anche aver provocato la fuoruscita della sottostante roccia incandescente (*magma*): le eruzioni devono essersi verificate sia nel luogo della perforazione sia in altre parti della Terra, poiché la collisione avrebbe creato numerose fratture nelle zolle tettoniche e le avrebbe spinte a separarsi.

La vasta attività vulcanica avrebbe appiccato una moltitudine di incendi in ogni parte del mondo, riunendoli infine in un'unica, devastante conflagrazione che avrebbe coinvolto più o meno tutta la superficie terrestre. Lo strato di fuliggine è ricco di composti organici, e *ciò* indica che grandi quantità di vita microscopica sarebbero morte in quel periodo.

Potrebbe inoltre essersi formata una grande quantità di anidride carbonica, che avrebbe causato un sensibile riscaldamento globale tramite l'effetto serra. Analogamente, si sarebbe formata anche una grande quantità di ossido di azoto, con il risultato di un lungo periodo di piogge acide. Inoltre, il monossido di carbonio e altri composti a basso contenuto di carbonio avrebbero provocato un temporaneo avvelenamento dell'atmosfera.

È uno scenario terribile, e mi chiedo se possa davvero essere realistico. Non posso fare a meno di pensare che i mezzi di morte siano troppi: con una cappa impenetrabile di polvere nell'atmosfera superiore, gigantesche ondate, tempeste di fuoco su ogni continente, grandi concentrazioni di anidride carbonica, piogge acide e veleni di ogni genere, lo scenario della catastrofe sembra davvero esagerato. Se davvero 65 milioni

di anni fa è avvenuto tutto questo, non c'è da stupirsi che abbia provocato l'estinzione dei dinosauri. C'è da chiedersi invece come abbiano fatto a sopravvivere altre forme di vita. Com'è possibile che noi, esseri umani, siamo qui oggi?

Il buco nell'ozono

La quantità totale di ozono negli strati superiori dell'atmosfera terrestre è diminuita fino a dimezzarsi circa quindici anni fa. Nel 1985 fu scoperto che in autunno si formava sopra l'Antartide un buco nello strato di ozono. Subito si sono analizzati i numerosi dati raccolti dai satelliti negli ultimi anni, e si è scoperto che il buco nell'ozono si ingrandisce ogni anno. Continuando così, alla fine l'intero strato scomparirà.

Ha importanza? Sì, eccome. Lo strato di ozono impedisce che i pericolosi raggi ultravioletti del Sole penetrino fino alla superficie della Terra, dove possono provocare guai agli esseri umani sotto forma di gravi scottature, melanomi, cataratte e altri tipi di malattie. E, soprattutto, potrebbero uccidere i batteri del terreno e le alghe che popolano gli oceani, anelli essenziali nella catena ecologica.

Il problema era stato previsto nei primi anni Settanta da due scienziati dell'Università della California, che avevano subito puntato il dito contro i *clorofluorocarburi* (CFC), il più noto dei quali è il freon. I CFC non sono infiammabili. Non sono tossici. Sono assolutamente sicuri da usare. È facile liquefarli e quindi farli tornare allo stato di gas, il che li rende utilizzabili per trasferire il calore da un punto all'altro. Dopo la seconda guerra mondiale furono utilizzati sempre di più nella costruzione dei frigoriferi e dei condizionatori d'aria, come anche nelle bombolette spray.

A poco a poco, i CFC fuoriescono dalle apparecchiature e si perdono nell'atmosfera. Parecchi milioni di tonnellate di clorofluorocarburi sono già stati dispersi nell'aria e altri ancora vi vengono riversati ogni giorno. Nell'atmosfera, durano all'infinito: non vengono dilavati dalla pioggia, nessun reagente chimico li scompone... non fanno altro che salire fino a raggiungere la stratosfera.

Nella stratosfera, la luce solare lentamente disgrega le molecole di CFC, liberando atomi di cloro, e in seguito gli atomi di cloro distruggono le molecole di ozono.

Quando questo pericolo fu messo in evidenza per la prima volta, gli Stati Uniti vietarono i CFC nelle bombolette spray, ma in tutti gli altri paesi sono ancora in uso. Inoltre, finora non sono state ancora trovate sostanze che possano sostituire efficacemente i CFC nei frigoriferi e nei condizionatori.

Tutto ciò è motivo di grande preoccupazione, perché lo strato di *ozono* nell'atmosfera superiore è opaco ai raggi ultravioletti e fa quindi da scudo alla Terra. La maggior parte degli ultravioletti emessi dal Sole viene assorbita dall'ozono e solo una piccolissima parte raggiunge la superficie terrestre. Se lo strato di ozono si assottiglia, una maggiore quantità di ultravioletti raggiungono la superficie. Ciò significa un tasso più elevato di melanomi fra gli esseri umani. Si stima che, nel prossimo *secolo*, ci saranno quaranta milioni di casi di melanomi solo fra gli abitanti degli Stati Uniti, con 400 mila morti conseguenti. Aumenteranno notevolmente anche le cataratte e al-

tre malattie.

Un cospicuo aumento degli ultravioletti colpirà soprattutto le persone di carnagione chiara, perciò gli europei soffriranno più degli africani, degli asiatici, degli aborigeni australiani e degli indiani d'America. Fra gli europei saranno più colpiti i biondi piuttosto che i bruni. Le persone come me, che bruciano come una patatina fritta dopo un quarto d'ora di esposizione al sole, con il sole attuale e lo strato di ozono ancora esistente, in futuro si troveranno in guai seri.

Ma è tutto qui l'effetto? Una maggiore tendenza alle scottature che a lungo andare danneggerebbe la pelle? In tal caso non basterebbe restare il più possibile al coperto e portare sempre cappelli a tesa larga, visiere e ombrelli da sole quando si è costretti a uscire all'aperto?

Sfortunatamente, il problema potrebbe essere ben peggiore.

L'ozono è una forma "attiva" di ossigeno. Le molecole normali contengono due atomi di ossigeno, quelle di ozono ne contengono tre. Di conseguenza non si può formare uno strato di ozono finché non c'è ossigeno normale nell'atmosfera, e dato che l'ossigeno ha cominciato a essere presente in quantità solo un miliardo di anni fa, per i precedenti due miliardi e mezzo di anni la vita sulla Terra è esistita senza ossigeno nell'atmosfera e senza uno strato di ozono. Le forme biologiche esistenti a quel tempo erano semplici cellule di dimensioni batteriche che vivevano nel mare al di sotto dello strato superficiale dove poteva penetrare la luce ultravioletta. Non esisteva nessuna forma di vita sulla terraferma, dal momento che la terraferma era esposta alla violenta luce ultravioletta.

Un miliardo di anni fa, con l'ossigeno finalmente presente, fu disponibile energia sufficiente a permettere alle prime forme biologiche di diventare più complesse. A quanto pare, fu soltanto circa quattrocento milioni di anni fa (quando la vita aveva ormai tre miliardi di anni) che nell'aria ci fu finalmente abbastanza ossigeno da permettere la formazione di uno strato di ozono con uno spessore sufficiente per proteggere un eventuale sviluppo della vita sulla terraferma. Soltanto allora le forme biologiche salirono alla superficie dell'oceano e si diffusero sulla terraferma.

Se adesso lo strato di ozono si assottiglia drasticamente, e se la luce ultravioletta giunge alla superficie terrestre con maggiore intensità e in maggiore quantità, ciò potrebbe anche non avere effetti troppo gravi sugli animali e sulle piante. Per proteggerci abbiamo a disposizione peli, penne, piume, scaglie, squame, cuticole, pelli, cortecce e via dicendo. Ma che dire dei batteri presenti nel terreno e delle alghe marine che sono ancora nudi e indifesi?

La luce ultravioletta li ucciderà? Eccome. Lo strato superficiale della crosta terrestre e lo strato superiore del mare potrebbero diventare invivibili per loro come lo erano un miliardo di anni fa. E se questi microorganismi muoiono, non sappiamo quanto gravi possano essere le conseguenze sugli organismi superiori che ecologicamente dipendono da loro. In breve, può darsi benissimo che in futuro la struttura stessa della vita sarà seriamente scombussolata e distrutta.

Che cosa fare? Dobbiamo ovviamente smettere di utilizzare i clorofluorocarburi, il che è relativamente facile. Ma dobbiamo anche individuare un modo per neutralizzare l'incredibile quantità di CFC già presente nell'aria. E questo è molto più difficile.

L'ultima zona pulita

L'Antartide è l'ultima zona pulita di grandi dimensioni rimasta sulla Terra, ma il 29 gennaio 1989 il suo estremo margine settentrionale è stato esposto a un esteso inquinamento a causa del petrolio rovesciato in mare. E la situazione peggiorerà, poiché l'Antartide - che ci crediate o no - è destinata ad avere un numero sempre maggiore di turisti, oltre che di navi, di spazzatura, di rifiuti e d'inquinamento in generale. Si potrebbe pensare che la cosa non sia poi troppo preoccupante... Dopo tutto, l'Antartide non è altro che una vasta e desolata distesa di ghiaccio, giusto?

Invece è molto di più. L'interno del continente ghiacciato è senz'altro il luogo più disabitato della Terra, ma il bordo della banchisa è la patria d'elezione di pinguini, foche e stercorari. E inoltre dobbiamo considerare l'area circostante: l'Oceano Antartico.

La vita sulla terraferma dipende dall'acqua più che dall'ossigeno. L'ossigeno è liberamente disponibile in qualunque luogo sia possibile respirare aria ragionevolmente pulita. L'acqua invece è distribuita in modo non uniforme. Sulla terraferma ci sono posti, come i deserti, nei quali l'acqua scarseggia in maniera gravissima e la vita è molto rara. D'altro canto ci sono posti, come le foreste, nei quali la pioggia abbonda e la vita è in pieno rigoglio.

Per quanto riguarda la vita marina, invece, vale esattamente il contrario. Nel mare ciò che conta è l'ossigeno, non certo l'acqua. L'acqua è disponibile ovunque, mentre l'ossigeno no. L'ossigeno presente nell'aria e quello prodotto dalle microscopiche forme di vita vegetale in superficie viene disciolto nell'acqua, ed è su questi vegetali acquatici che si basa tutta la vita animale del mare.

I venti provvedono a far sì che la superficie dell'oceano sia abbastanza increspata da garantire un costante discioglimento dell'ossigeno. Le correnti trasportano l'ossigeno disciolto in ogni punto dell'oceano e a ogni profondità, fino al fondo degli abissi. Tuttavia, di quanto ossigeno si tratta? È sufficiente?

Dipende dalla temperatura. Più calda è l'acqua, meno gas possono esservi disciolti. E questo, naturalmente, vale anche per l'ossigeno. Di conseguenza, le acque calde dei mari tropicali contengono soltanto poco più della metà dell'ossigeno disciolto nelle gelide acque dei mari polari.

Un uomo che si tuffi nelle acque glaciali in prossimità dei poli è destinato alla paralisi e ben presto alla morte, mentre le acque calde dei tropici sono il paradiso dei nuotatori. Ma non sono affatto un paradiso per la vita marina.

Le acque tropicali, caratterizzate da una grande scarsità di ossigeno, sono veri e propri deserti in confronto ad altre zone dell'oceano. Le acque polari, invece, sono ricche di vita. I microorganismi pullulano in un'abbondanza incredibile. Gli animali più piccoli se ne nutrono; gli animali più grandi si nutrono di quelli più piccoli e sono a loro volta mangiati da animali più grandi, e via dicendo.

In effetti il più grande animale mai vissuto sulla Terra, la gigantesca balena azzurra che raggiunge un peso di 140 tonnellate, grande il doppio del più colossale dinosauro, è di casa nell'Oceano Antartico. Per nutrirsi, si limita a raccogliere nelle sue fauci gigantesche, come con un mestolo, grandi quantità di *krill*, animaletti minuscoli simili

ai gamberetti che raggiungono al massimo una lunghezza di cinque centimetri.

E quindi, anche se il continente antartico è per la maggior parte una vasta e desolata distesa di ghiaccio, le acque che lo circondano sono la più ricca riserva naturale del pianeta, una riserva che dà sostegno agli animali che popolano i mari dell'estremo sud: pinguini, stercorari, foche, delfini e balene. Se danneggiasimo sensibilmente questa immensa zona della Terra, produrremmo una grave lacerazione, un buco irreparabile nel tessuto dell'ecologia planetaria. Dobbiamo sempre ricordare che in natura ogni singola parte dipende da tutte le altre, per cui un grave danno in quell'unica, ultima zona abbondante di vita produrrà danni a catena in tutto il pianeta.

Parecchi tipi di inquinamento ambientale vengono a poco a poco ripuliti dai processi naturali. Un'ampia chiazza di petrolio in mare, per quanto sia dannosa, subisce un certo grado di evaporazione, quindi si disgrega separandosi in diversi rivoli, viene gradualmente degradata e infine sparisce. A dir la verità, questo processo non è certo rapido. Di conseguenza, prima che il petrolio sia degradato completamente, fa in tempo a causare notevoli danni. Nel recente incidente avvenuto in Antartide, diverse centinaia di tonnellate di gasolio sono fuoriuscite da una petroliera riversandosi in mare. Il gasolio si disperde senza aggregarsi in un'unica chiazza vischiosa ed evapora più rapidamente dell'olio combustibile. Ma è anche molto più tossico.

Sfortunatamente, tutti i processi chimici hanno la tendenza a rallentare con il diminuire della temperatura, cosicché nell'acqua fredda l'evaporazione e la degradazione sono molto più lente. Alle bassissime temperature dell'Oceano Antartico, il ritmo di evaporazione e di degradazione è addirittura cento volte inferiore a quello che si avrebbe in climi più caldi. I più pessimisti hanno calcolato che un inquinamento da idrocarburi come quello avvenuto di recente in Antartide potrebbe far sentire i suoi effetti per oltre un secolo.

La regione antartica è di grande valore per l'umanità a causa del suo ruolo nell'ecosistema complessivo, e anche perché è una miniera di informazioni utili alla scienza. Ma, soprattutto, è una nostra precisa responsabilità cercare di proteggere e di conservare - il più possibile allo stato originario - una delle poche aree del pianeta non ancora rovinate dall'uomo.

Dare libero accesso al continente di ghiaccio a una valanga di turisti in cerca di divertimento non farà che peggiorare le cose. Una continua intrusione di visitatori non farà che rendere più probabili incidenti come quello della chiazza di gasolio nell'Oceano Antartico.

La nave argentina che nell'attraccare alla banchisa ha accidentalmente rovesciato in mare tutto quel gasolio era una nave di rifornimento per la base scientifica argentina sul continente, ma trasportava anche un centinaio di turisti. Navi di questo tipo dovrebbero limitarsi alla loro vitale opera di rifornimento, e lasciare che i turisti si cerchino località più amene dove passare il tempo.

Più umido e più caldo

Non è mai facile proclamare categoricamente quale tra i vari progressi scientifici avvenuti in un certo periodo sia da considerare "il più importante", in particolare quando si tratta di tempi recenti, perché non sempre l'importanza di una scoperta è evidente subito. Facendo un passo indietro, esattamente nel 1944, un batteriologo americano di origine canadese, Oswald Theodore Avery, scoprì che era l'acido desossiribonucleico (DNA) e non le proteine a contenere e trasmettere le informazioni genetiche sulla cellula. Questa scoperta era chiaramente la più importante dell'anno, e senza dubbio valeva un premio Nobel.

Invece all'epoca gli scienziati non ne erano affatto convinti, e quando divenne chiaro che era stata una svolta decisiva nel campo della genetica e aveva condotto a una vera e propria rivoluzione nel settore, fu troppo tardi per onorare Avery in modo adeguato. L'emerito studioso era morto.

Perciò, quale mio candidato personale per il più importante avvenimento scientifico degli ultimi tempi, permettetemi di scegliere qualcosa di sociologico, qualcosa che coinvolga la gente piuttosto che le scoperte. L'anno 1988 è stato l'anno in cui la gente ha cominciato a rendersi conto di un fenomeno che si chiama "effetto serra".

Una precisa documentazione relativa alla temperatura del pianeta si tiene soltanto dal 1850, ma da allora l'anno più caldo di ogni tempo è stato il 1987, e il 1988 lo è stato ancora di più.

Perché? Perché l'anidride carbonica nell'atmosfera agisce come una coperta termica, impedisce cioè che il calore si disperda dal pianeta. La luce del sole raggiunge la superficie della Terra durante il giorno, passando attraverso l'atmosfera con minima interferenza e riscaldandola. Di notte, la Terra irradia lo stesso calore nello spazio, sotto forma di raggi infrarossi. I principali componenti dell'atmosfera, l'ossigeno e l'azoto, sono permeabili ai raggi infrarossi così come alla luce normale. L'anidride carbonica, invece, li assorbe e li irradia di nuovo in tutte le direzioni. Una certa parte di essi ritorna sulla superficie terrestre e mantiene il pianeta un po' più caldo di quel che sarebbe se nell'atmosfera non ci fosse l'anidride carbonica.

Questa è una buona cosa, perché la Terra sarebbe perennemente ghiacciata se nell'atmosfera non ci fosse anidride carbonica. Inoltre, le piante ne hanno bisogno per la fotosintesi: senza questo gas nessun vegetale sopravviverebbe e sulla Terra non ci sarebbe nessuna forma di vita tranne, forse, i batteri. Tuttavia, se la quantità di anidride carbonica nell'atmosfera aumentasse troppo la Terra potrebbe diventare *troppo* calda.

Prima che iniziasse l'attuale epoca industriale, la percentuale di anidride carbonica nell'atmosfera era pari allo 0,027 circa; una quantità molto bassa, in realtà, ma più che sufficiente per mantenere il mondo vegetale in buona salute, oltre che per tenere al caldo il pianeta. Da allora, questa percentuale è aumentata con ritmo costante: nel 1958 era salita allo 0,030 e nel 1988 si avvicinava allo 0,035. Ed è ancora in aumento. In sé, la variazione non appare esagerata, ma è sufficiente a far sì che la Terra continui inesorabilmente a riscaldarsi.

La temperatura media della Terra - tenendo conto delle variazioni diurne e notturne, invernali ed estive - nel 1980 era all'incirca di 14,5 °C. Attualmente è di 15,4 °C. Ciò vuol dire un aumento di 0,85 °C, e anche questo non sembrerebbe granché. Invece significa molto in termini di periodi di caldo più intensi e duraturi, di siccità più prolungate e dannose e, quel che è peggio, di livello del mare in aumento.

In parte, l'aumento del livello marino deriva dal fatto che, con l'aumento della temperatura, l'acqua si espande, cresce cioè di volume. C'è una quantità enorme di acqua negli oceani e anche con un aumento di 0,85 °C il volume aumenta notevolmente. Dal 1900 il livello dei mari è aumentato di circa 15 centimetri e il fenomeno continua. Inoltre, l'incremento di temperatura dovrebbe anche iniziare a sciogliere le calotte di ghiaccio in Groenlandia e in Antartide.

Se le calotte polari si liquefacessero completamente (anche se, naturalmente, per un fenomeno del genere ci vorrebbe un bel po' di tempo) l'acqua derivante si riverserebbe negli oceani innalzandone il livello di circa sessanta metri. Zone come l'Olanda, il Bangladesh, il Delaware e la Florida sarebbero completamente sommerse.

C'è persino la possibilità di un circolo vizioso: a mano a mano che l'acqua diventa più calda, diminuisce la sua capacità di disciogliere l'anidride carbonica e, di conseguenza, una certa quantità dell'anidride carbonica attualmente contenuta nell'acqua si libererà nell'atmosfera, causando un ulteriore riscaldamento della Terra.

Questa situazione non è stata certo scoperta all'improvviso nel 1988. Sono anni che gli scienziati riflettono con estrema preoccupazione sull'effetto serra. Io stesso ho scritto un articolo, pubblicato su una rivista nell'agosto del 1979, nel quale dicevo più o meno le stesse cose che sto dicendo in questo momento. In altri termini, più di dieci anni fa stavo già suonando il campanello d'allarme, ma naturalmente nessuno vi ha prestato attenzione.

Adesso, a causa dell'ondata di caldo e della siccità del 1988, l'espressione "effetto serra" è diventata di uso comune e la gente è più attenta all'argomento. Tuttavia, le temperature salgono e scendono con grande irregolarità. Nel corso dei prossimi due o tre anni potrebbe fare un po' più freddo che nel 1988, anche se la tendenza generale è al rialzo. Se così sarà, immagino che la gente si dimenticherà di nuovo del problema fino a quando non arriverà un anno ancora peggiore del 1988.

Ma che cosa possiamo fare per raddrizzare la situazione? Tanto per cominciare, smettere di bruciare carbone e petrolio. Tale tipo di consumi per combustione rovescia costantemente nell'atmosfera una grande quantità di anidride carbonica e di altri agenti inquinanti come i vari composti di zolfo e di azoto. Anch'essi infatti agiscono come trappole termiche, impedendo cioè la dispersione del calore dalla Terra, oltre a essere pericolosi per i polmoni.

Il gas naturale produce invece minori quantità di anidride carbonica, e l'idrogeno non ne produce affatto. A parer mio, persino l'energia nucleare è da preferire al carbone e al petrolio. Presenta notevoli pericoli, ma se utilizzata con la massima prudenza può essere resa sicura e anche le scorie radioattive potrebbero essere immagazzinate in tutta sicurezza. Per contro, non c'è alcun sistema per rendere più sicura la combustione di carbone e petrolio.

Naturalmente, la migliore fonte energetica sarebbe l'energia solare. La luce e il calore emanati dal Sole raggiungono la Terra in ogni caso, e utilizzando quel calore prima che sia assorbito dalla superficie terrestre non si aumenterebbe in alcun modo il livello termico del pianeta, né cambierebbe l'atmosfera.

Sull'altro fronte, invece, come si può rimuovere l'anidride carbonica già concentrata nell'atmosfera? Il modo migliore è incoraggiare la crescita di boschi e foreste. Gli alberi assorbono l'anidride carbonica e producono ossigeno - un gas essenziale per la

vita in genere - in modo ben più efficace di qualsiasi altra forma di vita vegetale.

E nonostante si sia ancora ben lontani dal fare degli sforzi per risolvere il problema, stiamo invece facendo l'opposto. Le foreste di tutto il mondo vengono tagliate e distrutte a un ritmo spaventoso, specie in paesi tropicali come il Brasile. Questo fenomeno dev'essere fermato. È un vero e proprio suicidio continuare a pensare che il comportamento di un paese entro i propri confini sia soltanto affar suo. La perdita delle foreste farà aumentare in larga misura la quantità di anidride carbonica presente nell'atmosfera e farà diminuire le scorte di ossigeno per l'umanità intera. Questo è soltanto un esempio della natura globale dei pericoli che ci angosciano, ma basta per dimostrare che non si può permettere a nessuna nazione di governarsi come meglio le aggrada. Anche le soluzioni devono essere globali.

Il secondo bisestile

Il 1987 non è stato un anno bisestile. È stato esattamente di 365 giorni composti di 86.400 secondi ciascuno. Di conseguenza, il numero totale di secondi nel 1987 dovrebbe essere stato 31.536.000. Invece è stato 31.536.001. Il motivo è che proprio un attimo prima che finisse l'anno, un secondo supplementare (un secondo "bisestile") è stato aggiunto grazie a un accordo internazionale. Perché? Perché la Terra ruota su se stessa in modo irregolare.

L'irregolare rotazione della Terra è una scoperta relativamente recente. Il nostro pianeta ha una massa considerevole, e quindi per alterare il suo ritmo di rotazione sono necessarie forze immani. Dato che la rotazione terrestre è apparentemente costante, è ragionevole prevedere che la Terra compirà un giro completo attorno al Sole in 86.400 secondi esatti, né uno di più né uno di meno.

Però la rotazione terrestre non è perfetta. Nella Terra ci sono alcuni spostamenti di massa: mentre il pianeta ruota su se stesso il suo nucleo centrale, completamente liquido, produce alcuni "colpi di coda" all'interno. Ci sono terremoti che ridistribuiscono qua e là la massa. Durante l'inverno masse enormi di acqua si ritirano dagli oceani e si depositano sulla terraferma sotto forma di neve; in primavera, poi, l'acqua viene restituita agli oceani. Nell'atmosfera ci sono venti tempestosi e negli oceani impetuose correnti marine. Tutti questi fenomeni naturali fanno oscillare l'asse di rotazione della Terra, causando di tanto in tanto un rallentamento o un'accelerazione.

A lungo andare, comunque, i conti dovrebbero tornare. Anche se si verificasse occasionalmente un ritardo di una frazione di secondo nessuno se ne accorgerebbe e in ogni caso questo sarebbe lo scarto massimo. Però esiste anche un cambiamento cumulativo, dovuto alle maree.

L'effetto gravitazionale della Luna è maggiore sul lato della Terra che guarda verso il nostro satellite, dal momento che il lato opposto è circa 15 mila chilometri più lontano. Il risultato è una lieve tensione della Terra in direzione della Luna. La tensione ha un effetto maggiore sui liquidi, cioè sugli oceani, che sui solidi, cioè sulla terraferma. Sul lato rivolto alla Luna si forma quindi una lieve protuberanza, e lo stesso acca-

de sul lato opposto. La Terra ruota attraverso queste temporanee protuberanze equatoriali marine cosicché il mare si spinge sulle spiagge e si ritira da esse a periodi fissi... due volte al giorno. Ecco che cosa sono le maree.

Mentre la Terra ruota su se stessa, i due rigonfiamenti d'acqua sfregano contro i fondali dei mari meno profondi - come il Mare di Bering e il Mare d'Irlanda - e anche contro le coste. Il fenomeno produce attrito, trasformando l'energia cinetica in calore. Ciò significa che la Terra perde costantemente energia di rotazione: in altre parole, la rotazione rallenta.

Ma neanche le maree possono influire sulla rotazione in modo apprezzabile per i sensi umani: l'effetto viene notato soltanto dagli astronomi. Studiando le posizioni delle stelle così come erano documentate dagli antichi, gli astronomi hanno osservato uno spostamento costante. Infatti, quando la rotazione della Terra rallenta le stelle sembrano "restare indietro", cioè impiegano più tempo per raggiungere lo zenit. Il cambiamento è cumulativo. Dopo un paio di millenni le stelle risultano notevolmente spostate anche se il giorno non si è allungato in modo evidente. Ciò vale anche per le eclissi. Se si calcola il punto in cui un'eclisse doveva essere osservabile qualche secolo fa, si scopre che l'eclisse in questione è stata effettivamente osservata... ma a chilometri di distanza.

Studiando le testimonianze astronomiche del passato si è dunque scoperto un rallentamento medio della rotazione terrestre. Ma come si fa a misurare questo ritmo di rotazione? Innanzi tutto serve un orologio molto più preciso di quanto non lo sia la Terra, e un orologio del genere non è stato disponibile fino al 1955.

A quell'epoca sono entrati in uso gli orologi atomici, capaci di contare le vibrazioni degli atomi. Il numero di vibrazioni al secondo - 9, 192, 631, 770... - rimane costante con il passare del tempo, senza mai una vibrazione in più o in meno. Misurando la lunghezza di un giorno - oppure il tempo che scorre tra due successive apparizioni di una particolare stella allo zenit - si è potuto confermare che la lunghezza di ogni giornata varia di alcune vibrazioni atomiche. Talvolta la rotazione è più veloce, talvolta più lenta, ma alla lunga tende a rallentare.

Quando la rotazione della Terra si è attardata di 0,9 secondi, viene aggiunto un "secondo bisestile" e la Terra è di nuovo in sincronia. Quando nel 1972 fu avviato questo sistema di correzione, furono aggiunti al tempo reale dieci secondi per riportare in sincronia la Terra. Nei quindici anni trascorsi da allora, se ne sono dovuti aggiungere altri 13. Le correzioni vengono fatte alla fine di giugno o alla fine di dicembre, e si tratta di un'operazione necessaria non solo per gli astronomi ma anche per chi naviga in mare, per chi si occupa di comunicazioni radiotelevisive e via dicendo.

Alla fine, in un lontano futuro, arriveremo ad aggiungere un secondo bisestile al giorno, e a quel punto dovremo concordare sul fatto che il giorno è diventato un secondo più lungo. E allora, per mantenere lo stesso numero di secondi nelle ventiquattr'ore, forse si deciderà di "far durare" un po' di più ogni secondo.

Una mappa troppo perfetta per essere vera

Nei primi anni Sessanta fu scoperto qualcosa al quale fu dato il nome di "mappa di Vinland". Pareva una mappa dell'Atlantico settentrionale disegnata in seguito alle scoperte scandinave avvenute tra l'800 e il 1100 d.C. Dunque risale a un'epoca addirittura antecedente alle grandi esplorazioni iniziate intorno al 1400.

Sulla parte destra della mappa era tratteggiata la costa del continente europeo, con in più una Gran Bretagna e un'Irlanda abbastanza riconoscibili, insieme a Francia, Spagna e, in cima alla mappa, la Scandinavia. In mezzo all'Atlantico, a ovest della Spagna e della Francia, era raffigurato un gruppo di isole che probabilmente rappresentava le Azzorre.

Poi, nell'Atlantico del Nord, a ovest della Scandinavia, c'erano l'Islanda e la Groenlandia. La cosa più interessante era che a ovest della Groenlandia compariva un'isola enorme che presumibilmente rappresentava quella parte del Nordamerica esplorata dai Vichinghi e a loro nota con il nome di "Vinland", cioè "terra delle vigne". Quest'isola presentava due grandi insenature: la più settentrionale finiva in un mare interno che forse rappresentava la Baia di Hudson; l'altra doveva invece rappresentare il Golfo di San Lorenzo.

Questa carta geografica in realtà non cambia affatto le nostre convinzioni circa la scoperta dell'America del Nord. La vera scoperta del continente americano avvenne oltre 25 mila anni fa, nel pieno dell'era glaciale, a opera di cacciatori siberiani che seguirono i branchi di mammut in quella che adesso è l'Alaska. Senza dubbio, non conosceremo mai i particolari di questa rilevante estensione del raggio d'azione dell'umanità.

La mappa non cambia neppure le nozioni acquisite sull'importanza dell'opera di Cristoforo Colombo. Il viaggio per mare di Colombo non si limitò a toccare i continenti americani, ma aprì la strada alla loro colonizzazione da parte degli europei, oltre a permettere che le Americhe finalmente entrassero a buon diritto nella corrente principale della storia umana. La precedente "scoperta" da parte dei Vichinghi non portò invece a nulla e non merita più di una nota a piè di pagina nei libri di storia. La vera "scoperta dell'America" si deve a Cristoforo Colombo.

Ciò nonostante, la mappa di Vinland ci fornisce un quadro migliore e ben più emozionante di quello che avevamo in passato, sull'estensione delle scoperte vichinghe.

Al momento della sua scoperta, tuttavia, si presentò un interrogativo: la mappa era autentica o si trattava di un falso?

Nel 1974, alcuni chimici prelevarono dalla mappa minuscoli frammenti di inchiostro e li sottoposero ad accurate analisi. Scoprirono così la presenza di ossido di titanio, un componente consueto negli inchiostri... ma soltanto in quelli moderni. Era del tutto sconosciuto nel tardo Medioevo e all'inizio dell'età moderna. Sulla base delle rivelazioni ottenute grazie alla chimica, la mappa di Vinland fu dichiarata un falso e non venne più presa in considerazione dagli studiosi.

Tuttavia, nel 1987 fu sottoposta a una nuova serie di analisi con metodi ancor più moderni, compreso il bombardamento con un sottilissimo fascio di protoni. I protoni vengono assorbiti e diffusi in modo diverso da ogni elemento, e utilizzando questo metodo i ricercatori non hanno scoperto nessuna traccia di titanio, mettendo quindi in dubbio le conclusioni precedenti.

L'assenza del titanio in sé e per sé non dimostra che la mappa sia autentica, perché

potrebbe essere stata contraffatta utilizzando un inchiostro che non ne contiene. Per risolvere l'enigma non servirebbe neppure datare la mappa con metodi come quello del carbonio-14; scopriremmo semplicemente l'età della pergamena. E anche se la pergamena fosse antica, il disegno della mappa potrebbe risalire al Ventesimo secolo.

Ma perché gli studiosi dovrebbero essere così scettici? Se non c'è una prova evidente che l'inchiostro è moderno, allora perché non supporre che un geografo scandinavo, in un periodo compreso tra il 1100 e il 1400, abbia messo insieme le varie testimonianze dei navigatori vichinghi e, dalle loro descrizioni, abbia disegnato la mappa?

Il problema è che il disegno della Groenlandia sulla cosiddetta mappa di Vinland è troppo perfetto. Nel 982 d.C, il vichingo Eric il Rosso scoprì la Groenlandia, sulla cui costa sudoccidentale furono successivamente stabilite alcune colonie, che sopravvissero fra mille stenti fino al Quattrocento, dopo di che la Groenlandia venne dimenticata. Fu riscoperta nel 1578 dall'esploratore inglese Martin Frobisher, e ancora ne venne esplorato solo l'estremo margine meridionale.

Fu soltanto verso la fine dell'Ottocento che vennero esplorate le coste settentrionali. Nel 1892 l'esploratore americano Robert E. Peary - che in seguito fu il primo uomo a raggiungere il Polo Nord - esplorò le coste più a nord della Groenlandia e stabilì che si trattava di un'isola. Ciò fu fatto soltanto con grandissima difficoltà.

Eppure, sulla mappa di Vinland, presumibilmente disegnata almeno cinque secoli prima di Peary, la Groenlandia è raffigurata proprio come un'isola e per di più con la forma che ha veramente, anche se un po' approssimativa. Persino la Penisola di Hayes, nell'estremo e lontano nordest (dove attualmente è situata la base aerea di Thule) è raffigurata con una certa precisione.

Gli studiosi moderni sono quasi sicuri che i navigatori vichinghi, per quanto abili, non sarebbero stati in grado di circumnavigare la Groenlandia - tra i ghiacci polari e i rigori del clima - con le imbarcazioni delle quali disponevano. Né, soprattutto, sarebbero stati in grado di determinare la latitudine raggiunta.

In altri termini - inchiostro o pergamena a parte - la Groenlandia della "mappa di Vinland" sembra troppo perfetta per essere vera.

L'isola che non c'è

Talvolta certe località molto famose vengono smarrite e devono essere cercate con molta pazienza. A volte vengono ritrovate, altre volte no. C'è un'isola, di estrema importanza nella storia americana, che non si trova più e che si sta ancora ricercando.

Può sembrare impossibile non riuscire a trovare un certo posto, ma ogni tanto succede. Per esempio, la Bibbia dice che l'arca di Noè alla fine toccò le terre emerse "sopra i monti dell'Ararat". L'Ararat è un antico regno conosciuto presso gli Assiri con il nome di Urartu, e sappiamo esattamente dove si trovava e dove siano tuttora i suoi monti. Quel che non sappiamo è a quale *particolare* montagna faccia riferimento la Bibbia. In effetti esiste un monte chiamato Ararat, ma che sia proprio quello biblico è soltanto una supposizione... anche se talvolta qualcuno è andato a cercare l'arca pro-

prio lassù.

Un altro esempio è l'antica città di Troia, distrutta dai Greci dopo un famoso assedio durato dieci anni. Era situata da qualche parte nell'estremo lembo nordoccidentale dell'Asia Minore, ma per parecchi secoli ci si è domandati dove fosse esattamente e se fosse davvero esistita. Alla fine, un archeologo tedesco, Heinrich Schliemann, ritenne di averla trovata e la sua convinzione è generalmente accettata da tutti, per quanto non esistano prove incontrovertibili.

Una delle più importanti battaglie combattute nella storia di Roma fu la battaglia di Zama, nel 202 a.C., al termine della quale il romano Scipione sconfisse il cartaginese Annibale. Fu la vittoriosa fine di una guerra che i Romani avevano ormai quasi perso, cosicché ci sarebbe da pensare che i vincitori tenessero in gran conto la città di Zama e che vi avessero eretto dei monumenti. Ma i Romani non fecero niente di simile e fino a oggi, benché si sappia quando fu combattuta la battaglia di Zama e come si svolse, non si conosce con esattezza il luogo dove sorgeva la città di Zama.

E l'isola di estrema importanza per la storia americana? Ebbene, esattamente il 3 agosto 1492 Cristoforo Colombo salpò con le tre caravelle dalla Spagna nel viaggio più famoso dell'intera storia umana. Fece vela verso occidente per sette settimane e il 12 ottobre 1492 toccò terra da qualche parte in mezzo alle attuali Isole Bahamas.

L'isola sulla quale sbarcò era abitata da indigeni che Colombo chiamò "indiani", perché era convinto di aver raggiunto "le Indie", cioè l'Asia orientale. Gli "indiani" chiamavano l'isola in questione "Guanahani", o almeno questo era il modo in cui suonava quel nome agli orecchi degli spagnoli. Tuttavia Colombo non vi prestò la minima attenzione. In quei giorni gli "indigeni" non avevano molta importanza, così come non l'ebbero per molti anni in seguito, e il modo in cui chiamavano le cose non contava per niente. Colombo battezzò l'isola "San Salvador", vale a dire "Santo Salvatore" in onore di Gesù Cristo e ne prese possesso in nome della Spagna, dopo di che se ne andò a scoprire altre isole e a compiere altri viaggi.

Alla fine Cristoforo Colombo divenne un grande eroe americano, tant'è che negli Stati Uniti e in Canada viene celebrato il *Columbus Day* il 12 ottobre di ogni anno (o il lunedì più vicino, in modo da permettere un weekend di tre giorni). Il 12 ottobre 1992 verrà celebrato il 500° anniversario dello sbarco su Guanahani, e ci saranno un bel mucchio di cerimonie e una gran festa, ma la cosa più curiosa è che non sappiamo con esattezza su quale isola Colombo pose piede al suo arrivo.

Per lungo tempo, infatti, non ci fu nessuna isola nelle Bahamas conosciuta sotto il nome di Guanahani e neppure sotto il nome di San Salvador. Ne esisteva però una chiamata Isola di Watling, che aveva preso il nome da un pirata inglese, un certo John Watling. L'Isola di Watling ha un'area di circa 155 chilometri quadrati, più o meno il triplo di Manhattan, e dal momento che si trova molto a est rispetto alle altre dell'arcipelago è probabile che Colombo sia sbarcato proprio lì. Di conseguenza, è stata ribattezzata San Salvador e oggi è ufficialmente considerata l'isola sulla quale Colombo pose piede.

Ma è davvero l'isola giusta? Be', possiamo tentare di seguire le tracce delle tre caravelle. Colombo ha tenuto sul suo giornale di bordo una meticolosa registrazione del viaggio, annotando i venti, le correnti marine, le distanze giornalmente coperte e via dicendo. Sfortunatamente il giornale di bordo originale è andato perduto, ma esiste

tuttora parte di una copia.

Due oceanografi di Woods Hole nel Massachusetts, Philip Richardson e Roger Goldsmith, hanno tentato di ricostruire il viaggio usando quel che restava del giornale di bordo e utilizzando inoltre ogni conoscenza disponibile circa i venti e le correnti marine. Conoscendo la velocità delle tre navi e la direzione dalla quale provenivano dopo aver fatto tappa alle Isole Canarie, è possibile fare una stima della posizione per stabilire in che punto si sarebbe dovuta trovare la Santa Maria quella mattina del 12 ottobre 1492.

In precedenza c'erano già stati alcuni tentativi simili, ma si era sempre riusciti, con qualche forzatura, a far concludere il viaggio a San Salvador. Nel 1986 ci fu un tentativo senza alcuna forzatura, che si concluse 300 miglia troppo a ovest perché le stime riguardanti le velocità giornaliere, i venti e le correnti marine erano errate.

Una cosa della quale non erano sicuri nemmeno Richardson e Goldsmith era la bussola di Colombo. Il navigatore aveva registrato accuratamente tutti i rilevamenti, ma la direzione nella quale punta un ago magnetico in un punto specifico della superficie terrestre varia da un anno all'altro. Perciò non sappiamo esattamente in quale direzione puntasse nel 1492 la bussola di Colombo nei diversi punti da cui passò.

Nondimeno, la stima della posizione fatta da Richardson e Goldsmith finisce in un punto circa 15 miglia a sud della presunta San Salvador. Ciò rende l'isola la più probabile candidata all'onore di essere davvero l'isola sulla quale Colombo pose piede per la prima volta. Tuttavia, esiste anche un'isoletta chiamata Samana Cay che si trova circa 40 miglia a sudest del punto di arrivo calcolato. Così resta la possibilità che l'isola perduta sia in effetti Samana Cay. Ma con ogni probabilità non ne saremo mai sicuri, a meno che non si riesca a inventare la macchina del tempo.

Quando la Terra era troppo calda e troppo fredda

Se pensate che il clima, in questo o in quell'altro posto, non sia troppo buono, pensate che esistono periodi durante i quali le cose si mettono talmente male che la superficie terrestre diventa assolutamente inabitabile.

Questo fatto ha origine nelle differenze fra la terraferma e l'acqua. L'acqua ha una capacità termica maggiore della terra, il che significa che se una certa quantità di calore viene assorbita dall'acqua la sua temperatura aumenta meno di quanto non accadrebbe per la terra. Allo stesso modo, quando l'acqua cede calore la sua temperatura diminuisce meno di quanto non accadrebbe per la terra.

Il risultato è che durante la stagione calda l'oceano è più freddo della terraferma vicina, mentre durante la stagione fredda è più caldo. L'oceano esercita perciò un'influenza moderatrice sulla temperatura terrestre, cosicché il clima delle regioni costiere e delle isole tende a essere più mite di quanto non sarebbe altrimenti.

D'altro canto, la terra che si trova lontana dall'oceano non ha alcun "moderatore" della temperatura. Si prende un bel po' di caldo durante l'estate e un bel po' di gelo durante l'inverno. Queste regioni sono sottoposte a un *clima continentale*.

È logico aspettarsi che il Polo Nord e il Polo Sud siano le regioni più gelide della Terra, almeno nel periodo in cui da sei mesi filati non hanno avuto alcun tipo di esposizione al sole. Ciò è quasi esatto per quanto riguarda il Polo Sud, poiché si trova in mezzo a un continente. Ma, comunque, la temperatura più bassa della Terra non è riscontrabile precisamente al Polo Sud, bensì in quella zona dell'Antartide che risulta la più lontana dall'oceano. In tale zona è stata rilevata una temperatura di $-54\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Nelle regioni artiche, invece, né il Polo Nord né alcuna località nelle sue vicinanze detiene il record della temperatura più bassa. Il Polo Nord si trova al centro dell'Oceano Artico, dove l'acqua modera la temperatura. La regione più fredda dell'emisfero settentrionale si trova nella Siberia centrale, a grande distanza dall'oceano e quasi in prossimità del Circolo Polare Artico.

Nella città di Verkhoyansk in Siberia è stata rilevata in inverno inoltrato una temperatura di $-34,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. D'altro canto, nel pieno dell'estate, nella stessa città vengono riscontrate temperature massime che arrivano a $37\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ciò significa che l'escursione totale tra la temperatura minima invernale e la massima estiva è di $71,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ a causa dell'assenza di qualsiasi effetto mitigante da parte dell'oceano. (Anche negli Stati Uniti ci sono posti, come per esempio il North Dakota, che d'inverno sono estremamente freddi mentre d'estate sono estremamente caldi.)

Ma i continenti non sono sempre stati distribuiti sul pianeta nello stesso modo in cui lo sono attualmente. Molto lentamente, vengono spinti qui e là dal movimento delle grandi zolle continentali che costituiscono la crosta terrestre. Nel corso delle ere, di tanto in tanto, i diversi continenti vengono avvicinati e riuniti insieme per formare un unico, immenso supercontinente chiamato *Pangea*, che in greco significa "una sola terra". L'ultima volta che ciò avvenne fu all'incirca 255 milioni di anni fa, al tempo dei primi rettili (gli antenati dei dinosauri e dell'uomo stesso).

Immaginate Pangea! Era tre volte più grande dell'Asia e tutta in un solo pezzo. Le sue parti centrali erano lontane dall'oceano almeno tremila chilometri più di quanto lo sia oggi la regione più interna.

Le zone centrali di Pangea, purché fossero abbastanza a nord o abbastanza a sud, dovevano essere più fredde d'inverno e più calde d'estate di qualunque regione odierna.

Alcuni scienziati membri dell'Applied Research Corporation, diretti da Thomas Crowley, hanno ricreato al computer un modello climatico di Pangea e ne hanno resi noti i risultati nella primavera del 1989.

Come ci si poteva aspettare, dallo studio è emerso che il clima all'interno di Pangea doveva essere spaventoso. È probabile che le temperature estive raggiungessero abitualmente una massima di $46\text{ }^{\circ}\text{C}$ o anche più, e che d'inverno si scendesse molto al di sotto dello zero. Mettendo insieme le zone dell'antica Pangea che avevano temperature paragonabili o inferiori a quelle della Siberia o del Canada, risulterebbe che queste sgradevolissime zone erano otto volte più estese delle analoghe regioni odierne.

Le zone di Pangea con le temperature più alte si trovavano in quelli che attualmente sono il Brasile e l'Africa centrale e occidentale. Quelle dove si verificava la più ampia escursione termica tra estate e inverno si trovavano in quella che oggi è l'Africa meridionale.

In queste aree i ritrovamenti fossili sono scarsi. Probabilmente il clima nella

Pangea centrale era così inclemente che le ben poche forme di vita potevano sopportarlo. Questa conclusione è particolarmente attendibile anche perché la Pangea centrale doveva essere talmente lontana dall'oceano che raramente le piogge riuscivano a raggiungerla, per quanto forti fossero i venti, rendendola troppo calda e arida per alimentare la vita.

È stata una fortuna, dunque, che Pangea si sia spezzata (come deve fare sempre, prima o poi). I diversi continenti nei quali si è divisa hanno tutti un clima più temperato; gli oceani in prossimità della terraferma sono sempre ricchi di vita e con più continenti distinti c'è una maggiore abbondanza di coste. In altre parole, la vita al giorno d'oggi se la passa molto meglio che in passato... a condizione che non si faccia nulla per rovinare le cose.

Le glaciazioni e l'effetto altopiano

Uno degli eterni misteri nella storia della Terra è il motivo per cui avvengono le glaciazioni, per quale ragione cioè vastissime coltri di ghiaccio avanzano e si ritirano nel corso delle ere. Nella primavera del 1989 fu avanzata una possibile soluzione del mistero da William P. Ruddiman della Columbia University e da John E. Kutzbach della University of Wisconsin.

; Parecchi anni fa, precisamente nel 1920, un fisico jugoslavo, Milutin Milankovich, richiamò l'attenzione su alcuni fattori astronomici. L'orbita della Terra cambia leggermente, seguendo ritmi ciclici. Ci sono lenti aumenti e altrettanto lente diminuzioni nell'inclinazione dell'asse terrestre, nelle variazioni dell'orbita terrestre rispetto alla circolarità, nella posizione del perielio (il punto in cui la Terra si trova più vicina al Sole), e così via.

Il risultato complessivo di tutte queste variazioni è un lento e lieve ciclo di aumento e diminuzione della quantità di radiazioni ricevute dal Sole, un ciclo che dura circa 40 mila anni. In altri termini, ogni 40 mila anni la Terra deve sopportare una penuria di radiazioni che dura diecimila anni. La temperatura media diminuisce un po' e si verifica il "Grande Inverno".

Durante il Grande Inverno le estati, insolitamente fredde, non riescono a sciogliere tutta la neve della stagione invernale; un anno dopo l'altro la neve si accumula e i ghiacciai avanzano. Con il passare del Grande Inverno, i ghiacciai tornano a ritirarsi.

L'ipotesi è attendibile, e lo studio minuzioso dei fossili indica che questo ciclo di temperature alterne può essersi effettivamente verificato. Ma in tal caso dovrebbe essersi ripetuto per miliardi di anni, mentre invece le glaciazioni hanno cominciato ad apparire negli ultimi milioni di anni, più o meno. In precedenza c'è stato un periodo di 250 milioni di anni senza alcuna glaciazione.

Sembra quindi che il Grande Inverno non sia freddo a sufficienza per dare inizio a una glaciazione. Negli ultimi due milioni di anni sulla Terra dev'essere successo qualcosa che ha reso più efficaci i periodi di freddo; non può trattarsi di un cambiamento astronomico, ma di qualcosa che riguardi proprio la Terra. I sospetti puntano verso i

lenti movimenti delle zolle tettoniche che compongono la crosta terrestre, e i conseguenti movimenti delle masse continentali.

Nel 1953, due geologi della Columbia University, Maurice Ewing e William L. Donn, misero in evidenza che i continenti in movimento devono aver finito per circondare il Polo Nord soltanto due milioni di anni fa, lasciando al centro l'Oceano Artico. Quest'ultimo costituisce una fonte di umidità, per cui su vaste estensioni del Canada e della Siberia è cominciata a cadere la neve. Su una superficie solida la neve non si scioglie in fretta come su una superficie d'acqua, quindi ha cominciato ad accumularsi. Di conseguenza, solo quando i continenti si spostarono nell'attuale configurazione, le bassissime temperature del Grande Inverno cominciarono a provocare le glaciazioni nell'emisfero settentrionale.

Adesso, Ruddiman e Kutzbach hanno formulato un'ipotesi alternativa che ai geologi sembra particolarmente allettante: hanno suggerito che, in seguito allo spostamento delle zolle, la massa terrestre nota oggi come India che era in origine un'immensa isola si sia lentamente spinta contro il bordo meridionale dell'Asia per penetrarvi irresistibilmente, un po' come un aratro nel terreno. La superficie terrestre si è lentamente corrugata sollevando verso l'alto i due margini a contatto e dando origine all'alta catena montuosa dell'Himalaya, oltre che al vasto altopiano del Tibet.

Allo stesso modo, l'attuale continente nordamericano si è messo in movimento verso occidente, verso l'Oceano Pacifico, e le immani forze di pressione avrebbero corrugato le regioni a ovest del continente formando la catena delle Montagne Rocciose.

Durante gli ultimi venti milioni di anni, alcune parti del Nordamerica occidentale sono state spinte verso l'alto di un chilometro e mezzo circa. Le regioni himalayane invece sono state sollevate di quasi quattro chilometri.

Prima di questi cambiamenti le masse terrestri dell'emisfero settentrionale erano relativamente piatte e i venti vi soffiavano più o meno senza alcun impedimento da ovest a est tutt'intorno al pianeta.

Ruddiman e Kutzbach hanno elaborato al computer alcune simulazioni dei modelli eolici precedenti e successivi a questi cambiamenti geografici. Hanno così scoperto che, a causa delle regioni montuose e degli altipiani, i venti avevano la tendenza a essere deviati e a spingersi più lontano in direzione nord di quel che facevano prima. Le masse d'aria, conseguentemente a queste deviazioni verso settentrione, si raffreddavano e portavano temperature più basse nelle regioni a nord-est delle Montagne Rocciose e a nord dell'Himalaya.

Con le temperature più basse diminuiva la quantità di neve che si scioglieva in estate e l'assalto violento del Grande Inverno risultava più efficace. Alla fine, negli ultimi due milioni di anni, gli altipiani e le catene montuose erano diventati abbastanza alti, e la deviazione dei venti abbastanza pronunciata, da determinare un effetto di raffreddamento sufficiente a produrre glaciazioni nell'emisfero settentrionale.

Se davvero è andata così, ci saranno probabilmente altre glaciazioni periodiche fino a quando le Montagne Rocciose e la catena dell'Himalaya non saranno state sufficientemente consumate dal logorio del tempo da risultare meno efficaci nella deviazione dei venti. A meno che, naturalmente, la tendenza al riscaldamento atmosferico da parte degli uomini, nota come "effetto serra", non metta fine una volta per tutte alle glaciazioni portando con sé catastrofi di natura diversa.

Misteri lunari e storia terrestre

Vent'anni fa, il 20 luglio 1969, due esseri umani hanno toccato per la prima volta un mondo diverso dalla Terra, un altro corpo celeste. Quando Neil Armstrong pose piede sulla superficie della Luna, disse: "Un piccolo passo per un uomo, ma un balzo gigantesco per l'umanità."

Negli anni successivi al primo allunaggio ci furono altre cinque visite alla Luna, dopo di che ebbero termine. A tutt'oggi, sono diciassette anni che nessuno mette piede sul nostro satellite. E così, nel momento di celebrare il ventesimo anniversario del primo allunaggio, verrebbe da chiedersi: "A che cosa è servito, dopo tutto? Ne abbiamo ricavato qualcosa? È stato davvero un balzo gigantesco per l'umanità?"

Ebbene, sì. Le spedizioni sulla Luna ci hanno dato una preziosa opportunità per apprendere qualche cosa sul suo - e il nostro - lontano passato.

La Terra e la Luna, e l'intero sistema solare, hanno cominciato a esistere circa 4,6 miliardi di anni fa. Si possono quindi scoprire molti particolari sul remoto passato della Terra studiandone le formazioni rocciose. Naturalmente, più uno strato roccioso è antico e più a lungo è restato immutato nella crosta terrestre, più la nostra conoscenza può spingersi in profondità nel remoto passato.

La parola chiave è *immutato*. Le formazioni rocciose non rimangono immutate per sempre. La crosta terrestre si muove e le rocce vengono compresse, frantumate, rimescolate e riformate. L'azione del vento e dell'acqua, inoltre, produce cambiamenti anche quando le formazioni rocciose non vengono rimescolate. E la vita stessa muta enormemente il paesaggio.

Il risultato è che le più antiche rocce reperibili hanno poco più di tre miliardi di anni, e ce ne sono pochissime. Ed essendo già così difficile approfondire le nostre conoscenze su quell'epoca, per quanto riguarda il primo miliardo e mezzo di anni di esistenza del nostro pianeta è meglio mettersi il cuore in pace. C'è il vuoto più completo, e finché l'umanità rimarrà relegata soltanto sulla Terra la situazione non cambierà.

La Luna, però, è un corpo celeste più piccolo. La sua forza di gravità è insufficiente a trattenere un'atmosfera o qualsiasi liquido che abbia facilità a evaporare. Ciò significa che sulla Luna non c'è aria, non c'è acqua e non c'è vita. E non ce ne sono mai state. Questo, a sua volta, significa che la sua superficie non è stata modificata dall'azione di qualche forma biologica, né dai venti né dalle acque. Ma, soprattutto, quel che conta è che la Luna, essendo più piccola della Terra, ha sviluppato un calore interno molto più basso... ed è proprio il calore interno che produce i principali movimenti della crosta superficiale. In altre parole, mentre la Terra è "geologicamente viva", la Luna risulta morta anche sotto l'aspetto geologico.

Di conseguenza la superficie lunare dev'essere rimasta immutata per un periodo di tempo molto più lungo di quella terrestre, e i campioni di roccia lunare prelevati dagli astronauti devono essere più vecchi di miliardi di anni rispetto ai più antichi campioni reperibili sulla Terra. Siamo così in grado di riempire un vuoto di miliardi di anni nella storia primordiale della Terra, un vuoto caratterizzato dal più completo silenzio da parte del nostro pianeta.

L'opinione corrente è che la Luna sia stata creata quando, nei primissimi tempi del-

la storia della Terra, il nostro pianeta fu colpito con estrema violenza da un oggetto spaziale che aveva all'incirca le dimensioni di Marte. Nell'urto, l'immenso oggetto in questione lanciò nello spazio una quantità enorme di materiale proveniente dagli strati superficiali della Terra, mentre il corpo astrale entrato in collisione con la Terra si fuse con essa.

Il materiale lanciato nello spazio venne surriscaldato fino a raggiungere lo stato gassoso, ma poi si raffreddò in una massa composta di innumerevoli particelle di varie dimensioni. Gradualmente, il tutto si fuse insieme e formò la Luna. Dato che quest'ultima è stata formata con materiale proveniente dagli strati esterni della crosta terrestre, è quasi interamente composta di roccia. Contiene infatti pochissimo ferro, che è concentrato nel nucleo terrestre, ed ecco spiegato perché è meno densa della Terra.

Il nostro satellite ha impiegato poche centinaia di milioni di anni per raffreddarsi abbastanza da possedere una crosta solida, e circa 4 miliardi di anni fa questa era già formata. Di conseguenza, i più antichi campioni di roccia lunare riportati sulla Terra risalgono a quel periodo.

Durante gli ultimi 4 miliardi di anni gli unici cambiamenti significativi subiti dalla Luna sono avvenuti quando vi si sono depositati i frammenti che ancora orbitavano nelle sue vicinanze. Così si sono formati numerosi crateri e i grandi "mari" che ne punteggiano la superficie. Dai campioni di roccia riportati sulla Terra possiamo determinare e studiare le diverse fasi di questo bombardamento; quella più densa di eventi è ovviamente la fase più antica, poiché c'erano ancora moltissimi oggetti vaganti con i quali entrare in collisione.

Con il passare del tempo, lo spazio fu ripulito dalla maggior parte degli oggetti. La Luna si assestò e subì sempre meno cambiamenti. Da circa tre milioni e duecentomila anni la situazione è relativamente calma, per la Terra oltre che per la Luna, dato che se è vero che la Luna subì un bombardamento, lo subì anche la Terra. Solo che sulla Terra i crateri prodotti dal bombardamento degli oggetti spaziali in prossimità del pianeta sono stati erosi e resi irriconoscibili nel corso di centinaia di milioni di anni dall'azione dei venti, dell'acqua e delle svariate forme di vita sviluppatesi su di essa, mentre sulla Luna i crateri sono rimasi evidenti.

Ciò nonostante, sulla Luna ci sono stati alcuni cambiamenti anche in periodi relativamente recenti. Il cratere Copernico si formò 810 milioni di anni fa, e lo spettacolare cratere Tycho soltanto 109 milioni di anni fa. Alcuni crateri di minori dimensioni si sono formati praticamente ieri: hanno infatti un'età di circa due milioni di anni.

Se dovessimo ritornare sulla Luna, quindi - a parte l'uso che se ne potrebbe fare come osservatorio, base mineraria e "spazio vitale" per una colonizzazione umana - uno scrupoloso e diligente studio della sua superficie potrebbe definire la sua storia in ogni dettaglio. E dalla storia geologica della Luna potremmo anche dedurre quel che è avvenuto qui sulla Terra agli inizi. Le tracce che vi troveremmo potrebbero aiutarci a capire come si è sviluppata la vita su questo pianeta, e come è cominciata la nostra esistenza.

PARTE QUARTA
Frontiere dello spazio

La crosta incrinata

La Terra è un corpo celeste unico fra quelli che compongono il sistema solare.

Lasciamo da parte per un attimo il Sole e i quattro pianeti giganti - Giove, Saturno, Urano e Nettuno - i quali sono tutti costituiti in larga misura da due elementi gassosi: idrogeno ed elio. A parte questi mondi di gas, tutti gli altri corpi del sistema solare - pianeti, satelliti, comete, asteroidi, meteoriti - sono invece costituiti di ghiaccio, roccia e metalli.

Di tutti questi corpi, la Terra è il più grande. È l'unico abbastanza caldo da possedere un vasto oceano di acqua allo stato liquido, ma non così caldo da rischiare di vederlo evaporare. È l'unico corpo ad avere un'atmosfera che contenga ossigeno allo stato libero.

Naturalmente, è da lungo tempo che abbiamo una conoscenza quasi completa della Terra per quanto riguarda le sue dimensioni, l'oceano che la ricopre in gran parte e l'aria che vi si respira. Tuttavia, c'è un altro aspetto del nostro pianeta che può essere considerato unico, e ne siamo a conoscenza soltanto da un quarto di secolo.

Dal momento che la Terra è il più grande dei mondi non gassosi, ha una temperatura interna ben più elevata di qualunque altro corpo del sistema solare e di conseguenza la crosta più sottile. Per di più, a causa dell'alta temperatura interna, al centro della Terra c'è un'enorme quantità di energia, cosicché il nostro pianeta agisce come una potente macchina termica, molto più di quel che possono fare gli altri corpi del sistema solare, più piccoli e internamente più freddi.

La conseguenza è che la sottile crosta della Terra è in effetti fratturata in cinque o sei enormi pezzi (oltre a numerosi pezzi più piccoli) chiamati *zolle tettoniche*, che combaciano alla perfezione, come se fossero state collocate da un bravo falegname; ecco perché si chiamano "tettoniche": il termine deriva dal greco e significa appunto falegname".

La materia rocciosa al di sotto della crosta è abbastanza calda da essere in grado di muoversi in lente volute, e questo movimento sposta le zolle. Alcune si allontanano lasciando in mezzo una sorta di bacino che si riempie d'acqua, dando origine a poco a poco a un oceano. L'Oceano Atlantico si è formato in questo modo negli ultimi 200 milioni di anni.

Può succedere che due zolle vengano spinte l'una contro l'altra e che di conseguenza l'attrito fra i due margini in contatto crei una serie di corrugamenti. È in questo modo che si sono formati gli altipiani e le catene montuose. La catena dell'Himalaya

e l'altopiano del Tibet derivano dalla collisione di due zolle che spinsero l'India contro l'Asia fino a farla penetrare nel continente. Oppure può succedere che una zolla scivoli lentamente sotto un'altra vicina, dando origine alle fosse oceaniche. Nel punto di contatto tra due zolle ci sono delle linee di debolezza dove i vulcani e i terremoti hanno un'attività più intensa e manifesta. La faglia di San Andreas in California è l'esempio più noto di questi punti di contatto. In geologia quasi tutto è spiegabile con la teoria della tettonica a zolle, una teoria piuttosto tardiva, dato che è stata elaborata intorno ai primi anni Sessanta.

I corpi celesti più piccoli della Terra hanno un calore interno meno intenso e, di conseguenza, croste più spesse che non presentano fratture interne: la superficie è un'unica zolla che costituisce una specie di guscio. La Luna, Mercurio e Marte possiedono tutti una zolla unica e quindi sono "geologicamente morti", almeno in confronto alla Terra. Marte, però, è provvisto di vulcani i quali, benché attualmente siano estinti, un tempo devono essere stati attivi.

Sulla Terra i vulcani sono disposti secondo certe linee. Quando le zolle si muovono, nuovi vulcani appaiono in località nuove, e si crea qualcosa di simile alla catena di isole vulcaniche che costituiscono le Hawaii. Su Marte, invece, non essendoci le zolle, i vulcani hanno continuato a eruttare sempre nello stesso posto, cosicché attualmente si presentano come dei veri e propri mostri, molto più grandi di qualunque formazione vulcanica esistente sulla Terra. Il satellite Io ha dei vulcani attivi, ma l'energia è fornita dall'effetto di marea prodotto da Giove, il gigantesco pianeta intorno al quale Io ruota.

Ma che dire di Venere? Venere è più piccolo della Terra, ma non di molto. È all'incirca l'85,5 per cento della Terra. Fino a circa dieci anni fa la superficie di Venere era per noi invisibile a causa di un eterno strato di nubi, ma oggi siamo in grado di studiarla per mezzo di potenti radar che riescono a penetrare quella coltre.

Le onde radar sono molto più lunghe di quelle luminose e perciò non mostrano i dettagli, ma già i primi studi della superficie di Venere con l'uso del radar, compiuti nel 1978, mostravano montagne e altipiani piuttosto estesi che assomigliavano a quelli della Terra, oltre a enormi pianure che forse un tempo contenevano mari e oceani. Naturalmente, dal momento che l'attuale temperatura media di Venere è molto al di sopra del punto di ebollizione dell'acqua, qualsiasi oceano vi esistesse un tempo dev'essere completamente evaporato da miliardi di anni.

Di recente, i sovietici - che hanno fatto di Venere la loro specialità - hanno scattato fotografie radar di qualità decisamente migliore. Queste documentazioni fotografiche mostrano numerosi crateri, i quali, da come si presentano, sembrano avere un'età compresa fra mezzo miliardo e un miliardo di anni. Ciò testimonierebbe a sfavore della tettonica a zolle - per quanto riguarda Venere - poiché sulla Terra i movimenti delle zolle continuano a rinnovare la superficie. Il 60 per cento della superficie terrestre ha meno di 200 milioni di anni.

D'altra parte, c'è un'abbondanza straordinaria di indizi *a favore* di movimenti tettonici su Venere, come montagne che possono essere state formate dalla collisione di due zolle contigue e grandi fenditure che al contano possono essere state formate dalla separazione di due zolle contigue. Quello di cui abbiamo bisogno sono immagini fotografiche di qualità e nitidezza ancora migliori, oltre che di studi più approfonditi.

Sembra comunque che Venere sia un caso intermedio, cioè uno stadio di passaggio. È possibile che possieda una tettonica a zolle simile a quella terrestre, però scarsamente attiva. Cioè, le zolle non si muovono.

E così, tutto sommato, la Terra può essere ancora considerata un mondo unico.

Un'esplosione sulla Siberia

Gli scienziati stanno ancora cercando una spiegazione a proposito di un incidente successo nella Siberia centrale più di ottant'anni fa. Alcuni battono tuttora la zona e, di tanto in tanto, scoprono nuovi dati sull'evento.

Il 30 giugno 1908 i cieli della Siberia centrale, nei pressi del fiume Tunguska, si illuminarono di colpo e ci fu un'esplosione terrificante. Centinaia di chilometri quadrati di foresta furono spazzati via, ogni albero abbattuto. Un grande branco di renne venne sterminato.

Per fortuna non c'era alcun essere umano nel raggio di parecchi chilometri dall'esplosione in quelle lande desolate, e così non ci furono vittime. Tuttavia, una persona che si trovava seduta su una seggiola in una base commerciale a un'ottantina di chilometri di distanza si trovò sbattuta in terra dall'onda d'urto, e diversi altri osservatori ne videro, ne udirono e ne percepirono gli effetti.

Agli scienziati occorre un bel po' di tempo per riuscire a raggiungere quella località lontana e quasi inaccessibile, e le cose furono peggiorate dal fatto che poco dopo scoppiò la prima guerra mondiale, seguita dagli anni della rivoluzione e della guerra civile in Russia. Fu soltanto negli anni Venti che i ricercatori sovietici ebbero la possibilità di raggiungere il luogo dell'evento.

E fu proprio allora che iniziò il mistero. Tutti ritenevano che in Siberia fosse precipitato un grande meteorite, pesante da centomila tonnellate a qualche milione. Avrebbe potuto trattarsi di un blocco di roccia di un'ottantina di metri di diametro, oppure di un blocco di ferro con un diametro di circa 25 metri. In ogni caso, precipitando sulla Terra a una velocità di trenta o quaranta chilometri al secondo, avrebbe provocato un danno paragonabile a quello di una grossa bomba all'idrogeno, naturalmente senza il *fallout* radioattivo.

Ma un impatto del genere avrebbe scavato un ampio cratere e forse avrebbe lasciato la meteora conficcata nel suolo, oppure avrebbe disseminato il terreno circostante di frammenti di ferro o di roccia meteoritica.

L'unica conclusione ragionevole era che l'esplosione si fosse verificata non al momento dell'impatto, bensì in aria, probabilmente a otto o nove chilometri d'altezza. In altre parole, l'oggetto celeste non aveva raggiunto il suolo ma era esploso in aria, frantumandosi e disperdendosi nell'atmosfera. In effetti, lo scoppio aveva prodotto nell'atmosfera un'onda d'urto che era stata rilevata ovunque nel mondo.

Tuttavia, questo era un comportamento molto strano per una meteora. La roccia o il metallo non esplodono in quel modo a mezz'aria. Forse allora non si trattava di un oggetto di roccia o di metallo, e neppure di una normale meteorite... Forse era una

piccola cometa, con un diametro di circa 90 metri, oppure il frammento di una cometa più grande.

Una cometa è costituita in gran parte da materiali congelati, principalmente ghiaccio. Un corpo che sfrecciasse attraverso l'atmosfera terrestre verrebbe scaldato dall'attrito con l'aria: roccia e metallo diventerebbero incandescenti dando vita a una "stella cadente", mentre il ghiaccio evaporerebbe. Se la cometa si surriscaldasse abbastanza e abbastanza rapidamente, l'improvvisa vaporizzazione potrebbe davvero produrre una fragorosa esplosione, che in più sbriciolerebbe la parte di cometa non ancora evaporata. I gas prodotti di conseguenza - principalmente vapore acqueo - si diffonderebbero nell'atmosfera e niente raggiungerebbe il suolo terrestre, eccetto l'onda d'urto dell'esplosione. Non si formerebbe alcun cratere e non resterebbero frammenti di meteorite sparsi sul terreno.

Questa parve una spiegazione del tutto soddisfacente, ma, com'è naturale, furono avanzate anche altre ipotesi. Poteva essersi trattato di una piccola quantità di antimateria esplosa senza lasciare traccia nel momento in cui aveva raggiunto la comune materia di cui è costituita la crosta terrestre. Oppure poteva essersi trattato di un'astronave nucleare proveniente da un pianeta lontano che per qualche ragione era improvvisamente esplosa. Tali spiegazioni alternative, tuttavia, non furono mai prese sul serio.

Ma durante i primi mesi del 1987 un gruppo di ricercatori sovietici rese noto di aver scoperto nel punto preciso dell'impatto una quantità molto superiore alla media di un particolare metallo, l'iridio. L'iridio è piuttosto raro nella crosta terrestre, essendo concentrato quasi esclusivamente nel nucleo. Ma si trova in altissime concentrazioni anche nelle meteoriti, quindi un'anomala quantità di iridio nella crosta terrestre viene considerata l'indizio dell'impatto di una meteorite. Le comete, però, non contengono affatto iridio: la scoperta da parte dei sovietici sembrava dunque indicare che il misterioso evento di Tanguška era davvero dovuto a una meteorite, e non a una cometa.

Ma allora dov'è il cratere? I ricercatori sovietici hanno formulato l'ipotesi che l'oggetto invasore fosse una cometa avvolta in un pulviscolo ricco di iridio. Ciò spiegherebbe sia la presenza dell'iridio sia l'assenza del cratere. Però non tutti gli scienziati sono disposti ad accettare un'ipotesi del genere. Quell'evento rimane un enigma che suscita le ipotesi più spaventose.

Restano da sottolineare due particolari importanti. La Siberia centrale è in pratica l'unico luogo della Terra nel quale un evento del genere avrebbe potuto succedere senza provocare vittime. Se fosse avvenuto in mare, avrebbe provocato un'immensa onda di marea. Sulle coste più vicine ci sarebbero state vittime fra la popolazione, e probabilmente in gran numero.

In secondo luogo, supponiamo che un evento del genere succedesse al giorno d'oggi in Unione Sovietica o negli Stati Uniti. Un'esplosione simile potrebbe essere presa per un attacco nucleare nemico e per ritorsione potrebbe essere immediatamente ordinato un contrattacco. Gli orrori che ne seguirebbero sarebbero indescrivibili.

La cometa di Halley

Per gli astronomi di tutto il mondo il 1986 è stato l'anno della cometa di Halley. Le sonde spaziali che sono state inviate nella sua direzione sono riuscite a fotografarla e a studiarla a distanza ravvicinata Per la prima volta nella storia.

Perché ci siamo dati tutta questa pena e che cosa abbiamo scoperto?

Gli astronomi hanno un grande interesse a scoprire in ogni dettaglio in che modo si è formato il sistema solare. Ciò sarebbe di grande aiuto per capire come si è formata la Terra e come si è sviluppata la vita sul nostro pianeta. Il problema è che le uniche informazioni reperibili riguardano ciò che siamo in grado di scoprire *adesso* circa il Sole e i suoi pianeti.

Tutti i corpi celesti appartenenti al sistema solare hanno un'età di 4,6 miliardi di anni e hanno subito enormi cambiamenti. Per esempio, i corpi celesti più vicini al Sole - come la Terra stessa - sono stati riscaldati per miliardi di anni e hanno perso le sostanze che evaporano più facilmente e che probabilmente costituivano la maggior parte della loro struttura originale. Studiando esclusivamente la Terra, possiamo solo giocare di fantasia nel descrivere le sue condizioni originarie.

I corpi celesti che sono lontani dal Sole hanno subito con ogni probabilità minori cambiamenti ma, a causa della grande distanza che ci separa da loro, non possiamo studiarli con altrettanta facilità.

Gli oggetti più lontani di tutti sono le comete. Un centinaio di miliardi di comete ruota lentamente attorno al Sole a un paio di anni luce di distanza, cioè mille volte più lontane del più lontano pianeta. A quella distanza non possiamo certo studiarle... Non possiamo neppure vederle. Possiamo soltanto sospettarne l'esistenza grazie ad alcune prove indirette. Tuttavia, di tanto in tanto, l'attrazione gravitazionale delle stelle più vicine spinge qualche cometa nelle vicinanze del Sole e ci permette di osservarla.

Gli astronomi hanno fatto del loro meglio per determinare la composizione chimica dell'immensa nube originaria di polveri e gas dalla quale si formarono i pianeti. Una cometa è composta di quel pulviscolo originale e della patina di ghiaccio che copre le particelle di polvere. Quando la cometa di Halley si avvicina al Sole il ghiaccio evapora, e nell'ipotesi, di poter esaminare i gas così prodotti si otterrebbero dei campioni del materiale originale dal quale si è formato il sistema solare.

Questi gas sono stati effettivamente analizzati dalle sonde inviate verso la cometa, e si è scoperto che le loro percentuali e quantità sono molto vicine a quelle previste dagli astronomi. Una notizia fantastica! È senz'altro utile dedurre una possibilità logica da una prova indiretta, ma è molto più utile averne la conferma da un esame diretto. Ora gli astronomi sono in grado di elaborare dettagliatamente quello che è stato l'inizio dell'esistenza con una fiducia notevolmente maggiore rispetto al passato, e possono spingersi oltre con sicurezza.

Tuttavia la cometa di Halley non si è limitata a confermare alcune importanti intuizioni degli astronomi... ci ha dato anche una grande sorpresa: si è rivelata completamente nera.

Nel 1951, Fred Whipple, il più grande specialista di comete dei nostri tempi, disse

che c'era ragione di credere che le comete fossero "palle di neve sporca". Erano cioè composte di materiali congelati - per la maggior parte ghiaccio - con un miscuglio di particelle di roccia, di sabbia a grana grossa e di tritume di pietra che costituiva la "sporczia" di cui sopra. I recenti studi hanno confermato la previsione di Whipple: la cometa di Halley è composta di ghiaccio per circa cinque sesti. Ed è ragionevole pensare che anche le altre abbiano una composizione simile.

Quando una cometa si avvicina al Sole, una certa quantità del ghiaccio di cui è composta - insieme ad altri materiali congelati - si scioglie ed evapora, scomparendo completamente. Quello che rimane è polvere di roccia e tritume di pietra in grande quantità. La superficie della cometa tende allora a ricoprirsi di uno strato sempre più spesso di pulviscolo che la annerisce. Così gli astronomi pensavano che le comete avessero un colore tendente al grigio sporco, ma non erano preparati al nero più completo.

Adottando come modello una cometa "grigia", e che quindi riflettesse la maggior parte della luce, gli astronomi calcolarono che la cometa di Halley fosse ampia circa sei chilometri e mezzo. Invece è completamente nera e riflette pochissima luce, e dunque per avere la luminosità misurata dev'essere molto più grande. Infatti, misurazioni più ravvicinate dimostrano che raggiunge più probabilmente i 18 chilometri di larghezza e contiene una quantità di materia dodici volte superiore a quella prevista.

Presumibilmente, allora, le comete sono molto più grandi di quanto si è pensato finora. Per esempio, si pensava che la fascia di comete situata a circa un paio di anni luce dal Sole avesse una massa complessiva pari al doppio di quella terrestre. Invece è probabile che sia almeno venticinque volte la massa della Terra.

Parecchi astronomi ritengono che nei primi tempi di esistenza del sistema solare si sia verificato un gran numero di collisioni fra le comete e i corpi planetari. Con le nuove informazioni di cui disponiamo appare evidente che le collisioni debbano essere state, se non più numerose, di certo più imponenti e più devastanti di quel che si pensava.

Probabilmente la Terra era calda e arida, all'inizio, e le collisioni con comete particolarmente voluminose potrebbero averle fornito la maggior parte degli oceani e dell'atmosfera. Questa ipotesi appare più credibile, adesso. Inoltre, è anche probabile che le collisioni con le comete abbiano prodotto periodiche ondate di estinzione della vita terrestre e che siano dunque la causa della scomparsa dei dinosauri. E a queste conclusioni siamo arrivati soltanto nel 1986, grazie allo studio ravvicinato della cometa di Halley.

Ancora sulla cometa di Halley

A quanto pare, la specie umana esiste in questa parte della Galassia da molto più tempo della cometa di Halley. Questo almeno è quanto hanno affermato nel 1989 tre astronomi canadesi diretti da J. Jones.

Naturalmente la cometa di Halley, come tutte le comete, ha la stessa età degli altri

corpi celesti presenti nel sistema solare, ovvero 4,6 miliardi di anni. Gli astronomi pensano che le comete, in numero di centinaia di miliardi, siano raggruppate in una fascia che orbita intorno al Sole a una distanza enorme, ben oltre Plutone. Le comete sono fatte di ghiaccio. Infatti, sono costituite per la maggior parte di acqua allo stato solido, cioè ghiaccio, e di particelle rocciose. In quella zona di spazio transplutonico la temperatura è soltanto pochi gradi al di sopra dello zero assoluto, e permette alle comete di durare immutate per parecchi miliardi di anni.

Di quando in quando, però, avviene qualcosa che provoca l'incursione di una cometa all'interno del sistema solare, forse in seguito a una collisione o a causa dell'attrazione gravitazionale di una stella di passaggio.

Una cometa che esce dall'ammasso e si dirige verso l'interno del sistema solare arriva a passare molto vicino al Sole. Grandi corpi celesti come la Terra e Venere non vengono disturbati dal fatto di essere così vicini del Sole. La Terra è composta per lo più di metalli e di roccia e non viene influenzata più di tanto dal calore solare. Le comete invece sono piccole e fatte di ghiaccio, il quale evapora sotto l'influsso del calore solare. La polvere e le particelle di roccia contenute nel ghiaccio vengono così liberate, formano una sorta di foschia attorno alla cometa (*chioma*) e vengono soffiate via dal *vento solare* (sciame di veloci particelle cariche emesse dal Sole) formando una lunga coda.

Quando ciò avviene in prossimità della Terra, lo spettacolo è davvero sensazionale. Ma naturalmente ogni brandello di vapore e di particelle di roccia lasciato indietro dalla cometa non tornerà mai più. La volta successiva che la cometa, nella sua lunghissima orbita, tornerà nelle vicinanze del Sole sarà notevolmente più piccola e perderà ancora sostanza.

Nel corso degli anni gli astronomi hanno osservato l'estinzione di alcune tra le comete più piccole. Certe si sono spezzate in due o più pezzi che alla fine sono scomparsi; certe altre sono precipitate direttamente nel Sole.

Tuttavia, benché le particelle di roccia non ritornino mai più a costituire la cometa, non è esatto dire che spariscano nel nulla. Continuano a ruotare attorno al Sole in una lunga orbita cometaria, e prendono il nome di *sciame meteoritici*. Di tanto in tanto la Terra incrocia l'orbita di questi sciami e numerose "stelle cadenti" brillano nel cielo. Una volta, nel novembre del 1833, le stelle furono talmente numerose nel cielo del New England che sembrò stesse nevicando. Comunque, questi frammenti di polvere meteorica non producono danni, anzi: possono avere effetti benefici perché servono da nuclei per le gocce di pioggia e perciò favoriscono gli acquazzoni.

Il passaggio della Terra attraverso gli sciami meteoritici ci rivela dove sono localizzati e quali sono le loro orbite, per cui a volte siamo in grado di collegarli con le comete da cui hanno avuto origine. C'è uno sciame che ha avuto origine dalla cometa di Halley e che si è sparso lungo alcuni tratti della sua orbita. La Terra lo incrocia due volte all'anno, all'andata e al ritorno nella sua rotazione intorno al Sole.

I tre astronomi canadesi hanno studiato questo sciame utilizzando un computer per creare un modello contenente moltissime particelle simulate. Da queste prove gli astronomi sono stati in grado di dedurre che il corpo principale dello sciame è lungo 75 milioni di chilometri e largo 7 milioni.

Da ciò, e dal numero di particelle che compongono ogni segmento dello sciame,

sono giunti alla conclusione che la quantità di materia in esso contenuta sia all'incirca di un milione e duecentomila tonnellate. E ogni grammo di sostanza ha avuto origine dalla cometa di Halley.

Non sappiamo quale sia la massa della cometa di Halley, ma dalle osservazioni di una sonda inviata verso di essa nel 1986, durante il suo ultimo viaggio attraverso il sistema solare, sembra che il pulviscolo rappresenti un decimo della massa totale della cometa. Per giunta, la cometa è formata per la maggior parte di ghiaccio e il vapore acqueo non entra certo nella composizione dello sciame. Se prendiamo in considerazione la perdita di vapore così come la perdita di particelle solide, allora la massa dello sciame farebbe pensare che sia andato perduto da un quarto a un terzo dell'originale cometa di Halley.

Una volta che ciò sarà stato appurato (e le cifre sono, naturalmente, molto approssimative), sarà possibile calcolare quanta massa debba ancora perdere la cometa di Halley a mano a mano che si avvicina al Sole, e di conseguenza quanta distanza abbia coperto finora da quando è stato attirata, in un modo o nell'altro, nella sua orbita attuale.

Gli astronomi canadesi hanno calcolato che la cometa di Halley sia fuoruscita dalla lontanissima nube di comete circa 23 mila anni fa, e che in tutto questo tempo abbia compiuto per circa trecento volte la sua orbita di 76 anni intorno al Sole. È possibile dunque che gli esseri umani abbiano alzato lo sguardo per trecento volte, per osservare la stessa cometa nel cielo. E naturalmente in certe occasioni la scena sarà stata molto più spettacolare che in altre. Si suppone che l'*Homo sapiens* esista da circa 50 mila anni. Ciò significa che per più della metà della nostra esistenza sulla Terra, nessuno ebbe modo di vedere la cometa di Halley, anche se certamente altre comete rischiaravano il cielo.

Per di più, la cometa di Halley continua a perdere volume in quantità crescente a ogni passaggio, e diventa sempre più piccola. È possibile perciò che la cometa di Halley non resisterà per altri trecento passaggi, e per di più si farà sempre meno spettacolare. Altre comete attraverseranno il nostro cammino, ma l'umanità perderà la sua giovane amica.

La molecola più grande

Quando gli scienziati nel 1986 ebbero l'occasione - che si presenta una volta ogni 75 anni - di compiere osservazioni dettagliate della cometa di Halley tramite le sonde spaziali, una gran quantità di dati fu aggiunta alle nostre conoscenze relative alla composizione e all'aspetto di una cometa. Una delle scoperte delle sonde può contribuire a risolvere almeno uno degli enigmi circa lo sviluppo della vita sul nostro pianeta.

Come sappiamo, l'atomo di carbonio è fondamentale per la vita. Il tessuto vivente è costituito di grandi e complesse combinazioni di atomi, cioè molecole, contenenti carbonio: per esempio le proteine e gli acidi nucleici. Si è sempre supposto che la

Terra nei primi stadi della sua esistenza contenesse soltanto molecole molto semplici, come il metano (un atomo di carbonio e quattro di idrogeno) e l'anidride carbonica (un atomo di carbonio e due di ossigeno). Il problema è scoprire come si sono formate le grandi e complesse molecole attuali partendo dalle molecole più semplici che esistevano in origine. Ancora non è stata trovata una soluzione del tutto soddisfacente.

Ma come possiamo sapere con certezza quali sostanze esistevano all'inizio? La Terra, insieme al Sole e a tutti gli altri pianeti, si è formata circa 4,6 miliardi di anni fa da un'immensa nube di particelle microscopiche, e non siamo ben certi di ciò che costituiva quella nube originaria. Per la maggior parte - e di questo gli scienziati sono sicuri - era composta di idrogeno e di elio, poiché di questi due elementi sono composti il Sole e i pianeti giganti. Tuttavia, doveva contenere anche piccole quantità di atomi di carbonio, altrimenti sulla Terra il carbonio non esisterebbe e, quindi, non esisterebbe nemmeno la vita. Ma in quali combinazioni erano presenti quegli atomi di carbonio originari?

Nello spazio esistono numerose nubi di particelle, alcune delle quali sul punto di formare una stella. Di quali sostanze sono composte?

Per secoli non c'è stata alcuna speranza di rispondere a un interrogativo del genere, fino a quando, cinque lustri or sono, non si perfezionarono i radiotelescopi. Ogni tipo di molecola emette radioonde di una certa lunghezza, che costituiscono una sorta di "impronta digitale" individuabile per mezzo dei radiotelescopi.

Gli atomi presenti nello spazio interstellare sono talmente pochi, persino nelle nuvole di gas, che gli astronomi sono convinti che le collisioni siano estremamente rare. Di conseguenza le eventuali molecole esistenti nello spazio dovevano contenere al massimo due atomi. Invece, con immenso stupore, nel 1968 si scoprirono alcune radioonde che rivelavano la presenza di molecole di acqua (composte di tre atomi) e di ammoniacca (composte di quattro atomi).

Ormai, nelle nebulose sono state scoperte decine di molecole diverse, alcune delle quali troppo instabili per esistere sulla Terra. Alcune arrivano a contenere perfino tredici atomi! In che modo tutti questi atomi abbiano potuto unirsi pur essendo così scarsi nello spazio è tuttora un argomento sul quale si discute.

Un punto importante, tuttavia, è che ogni molecola composta da più di quattro atomi contiene uno o più atomi di carbonio. Nello spazio, così come nei nostri corpi, le molecole più complesse sono composte di atomi di carbonio.

Ma nelle nubi di particelle non potrebbero esistere molecole contenenti carbonio ancora più complesse di quelle scoperte finora? Sembra molto probabile. Più una molecola è complessa, più è rara e più è difficile da trovare, ma in realtà non le troveremo mai finché le nebulose resteranno così lontane dalla Terra. Ma qualcosa di più vicino potrebbe fornire un indizio.

Quando la nostra nebulosa originaria formò il sistema solare, tutti i corpi celesti che ne risultarono dovevano contenere ogni molecola eventualmente presente nella massa gassosa. Ma nella formazione dei corpi più grandi, tali molecole sarebbero state disgregate dal calore e da altri fattori.

Ciò nonostante, ai margini estremi della nebulosa, la maggior parte della materia dev'essersi ammassata in miliardi di minuscoli frammenti di materiale ghiacciato ag-

gregati in corpi di pochi chilometri di diametro. In questi piccoli oggetti, a diversi miliardi di chilometri di distanza dal Sole, è possibile che le molecole più complesse si siano conservate. Di quando in quando uno di questi lontanissimi grumi di materia si addentra nel sistema solare interno e il calore del Sole lo fa in parte evaporare. Allora diventa visibile sotto forma di cometa.

Il pulviscolo e i gas che avvolgono una cometa mentre passa accanto alla Terra possono contenere molecole interessanti per il problema in discussione. Le sonde inviate nello spazio - specialmente la sonda europea *Giotto*, quella passata più vicina di tutte alla cometa di Halley - hanno esaminato, tra l'altro, proprio questo.

Walter E. Huebner, del Los Alamos National Laboratory nel New Mexico, ha reso noto che la sonda *Giotto* ha scoperto nella cometa di Halley un *polimero*, una combinazione di molecole di formaldeide (da lungo tempo si sapeva che esistevano nello spazio) in una catena indefinitamente lunga. Tali catene possono aiutare a spiegare l'oscurità sorprendente che caratterizza la superficie della cometa, ed è possibile che siano esistite nella nube di particelle dalla quale la cometa - e la Terra - si sono in origine formate.

Ma allora non può darsi che, mentre la Terra si stava formando, alcune molecole complesse siano scampate alla distruzione e abbiano continuato a esistere in luoghi remoti? Se così fosse, la vita non dev'essersi per forza formata passo dopo passo dai più elementari composti di carbonio, ma potrebbe avere ricevuto un aiuto dall'esterno. Alcune delle molecole complesse necessarie alla vita potrebbero essere già state presenti in origine nella nube di polvere al tempo della formazione della Terra. Se ciò venisse confermato, le origini della vita diverrebbero più comprensibili.

Il pianeta gemello

Nel gennaio del 1989 sono state avanzate alcune nuove conclusioni sulla natura dei vulcani di Venere. Queste recenti scoperte potrebbero finalmente aiutarci a gettare un po' di luce sul nostro pianeta, la Terra.

Fino a trentacinque anni fa non si sapeva niente - ma proprio niente! - sulla struttura dettagliata degli altri corpi celesti, neppure del più vicino a noi, cioè la Luna. Da allora, grazie alla radioastronomia e ai razzi vettori, abbiamo approfondito un bel po' la conoscenza del sistema solare, ma il pianeta che tuttora ci incuriosisce di più è Venere.

Infatti Venere è, in un certo senso, molto più simile alla Terra di qualunque altro pianeta. Il diametro della Terra è di 12.756 chilometri, quello di Venere di 12.150. Venere ha una massa pari all'81 per cento della massa terrestre e una densità pari al 94 per cento di quella terrestre. Le strutture dei due pianeti sono simili: una spessa crosta di roccia all'esterno e un nucleo di metallo liquido all'interno. Venere sarebbe in pratica il gemello della Terra, se non fosse per alcune differenze.

La Terra ruota intorno al suo asse da ovest a est. Una rotazione completa dura ventiquattr'ore, cioè un giorno. Venere invece ruota intorno al suo asse in senso retrogra-

do, da est verso ovest, e compie una rotazione completa in 244 giorni; ha un'atmosfera circa 90 volte più densa di quella terrestre, composta per il 95 per cento di anidride carbonica e priva completamente di ossigeno, mentre l'atmosfera terrestre contiene soltanto lo 0,03 per cento di anidride carbonica e il 21 per cento di ossigeno. La temperatura superficiale della Terra è circa 300 gradi sopra lo zero assoluto (300 °K), mentre quella di Venere è di oltre 700 gradi sopra dello zero assoluto (700 °K)... abbastanza da fondere il piombo. Sulla superficie di Venere non c'è acqua, mentre la Terra ne è ricca.

Oltre a ciò, naturalmente, la Terra abbonda di vita mentre Venere ne è assolutamente priva. Se riuscissimo a capire perché due pianeti possono essere praticamente gemelli sotto certi aspetti e diversissimi in tutto il resto, saremmo in grado di comprendere parecchie altre cose a riguardo di Venere e della Terra.

Un aspetto di Venere che conosciamo è la natura della sua superficie rocciosa. Alcune sonde sovietiche sono atterrate numerose volte sulla sua superficie inospitale e hanno scoperto che la principale sostanza di cui è composta è il carbonato di calcio. Questa non è affatto una sorpresa. Con il calore, il carbonato di calcio tende a sciogliersi e a liberare anidride carbonica. È perfettamente logico che un pianeta caldo dalla superficie ricca di carbonato di calcio possieda di conseguenza un'atmosfera che abbonda di anidride carbonica. Proprio come nel caso di Venere.

Un'altra cosa che sappiamo di Venere è che le sue nuvole perenni non sono costituite di acqua pura come sulla Terra, ma di acido solforico.

Tuttavia, Ronald Prinn del Massachusetts Institute of Technology (MIT) ha fatto rilevare che il calcare si combinerebbe con l'acido solforico per formare solfato di calcio e monossido di carbonio. Prinn e un suo collega, Bruce Fegley, hanno condotto vari esperimenti durante il 1989 per scoprire con quale rapidità il carbonato di calcio reagirebbe con l'acido solforico alla temperatura presente sulla superficie di Venere, oltre che per scoprire quanto tempo sarebbe necessario alla reazione chimica per eliminare completamente l'acido solforico dall'atmosfera di Venere.

I risultati ottenuti hanno portato i due studiosi a concludere che l'atmosfera di Venere dovrebbe smaltire tutto l'acido solforico in essa contenuto entro due milioni di anni... Un tempo lunghissimo in confronto alla vita di un uomo, ma solo un attimo nella vita di un pianeta, dal momento che Venere come la Terra ha un'età che si aggira sui 4,6 miliardi di anni. Quindi l'acido solforico di Venere avrebbe dovuto essere stato completamente eliminato molto, moltissimo tempo fa.

Ma l'acido solforico *non* è stato eliminato. Si trova ancora al suo posto. Ciò significa che nuovo acido si deve formare alla stessa velocità con cui viene eliminato l'acido vecchio. La fonte più probabile di nuovo acido solforico è l'attività vulcanica.

Prinn e Fegley hanno allora calcolato quanta attività vulcanica sarebbe necessaria su Venere per mantenere costante la quantità di acido solforico presente nell'atmosfera. È risultato che sarebbe sufficiente un'attività vulcanica pari al 5 per cento di quella terrestre.

Ciò è confermato da un altro particolare. Se Venere fosse vulcanica quanto lo è la Terra, i crateri sparsi sulla sua superficie sarebbero per la maggior parte pieni di lava. Invece non lo sono affatto, e anche questo tipo di approccio conferma che i vulcani di Venere non superano il cinque per cento di quelli terrestri.

Ma questo solleva un nuovo enigma. La Terra ha una crosta piuttosto sottile suddivisa in zolle in lento movimento. Il suo calore interno può sprigionarsi e sfuggire dalle fratture che costituiscono i punti di contatto delle zolle confinanti, oltre che attraverso i vulcani.

Venere ha una crosta più spessa, non suddivisa in zolle. Il suo calore interno può dunque emergere in superficie soltanto attraverso l'attività vulcanica. Se si suppone che Venere e la Terra, avendo dimensioni pressoché uguali, dovrebbero possedere la stessa quantità di calore interno e dovrebbero perderlo allo stesso ritmo, allora Venere dovrebbe essere molto più vulcanico della Terra, forse addirittura cento volte di più, perché non possiede fratture della crosta da cui il calore del nucleo possa sfuggire.

Invece questo è impossibile, secondo gli studi più recenti, e quindi i planetologi sono costretti a concludere che Venere ha una temperatura interna molto più bassa di quella terrestre, oppure che disperde il calore interno in modi che non riguardano né le fratture tra le zolle né i vulcani. Nessuna delle due possibilità sembra avere la più pallida probabilità di essere corretta, ma sono proprio questi enigmi che rendono affascinante la scienza e che contengono la promessa di una nuova visione delle cose - inclusa, forse, la struttura stessa della Terra - una volta che siano stati risolti.

Microonde spaccanuvole

Siamo abituati a pensare che per esaminare un lontanissimo oggetto astronomico dobbiamo lanciare nello spazio una sonda. Ma non è necessariamente così. Possiamo distinguere parecchi particolari anche da qui, dalla Terra, e talvolta scoprire anche più di quel che potrebbe riferirci una sonda. Possiamo allungare una mano dalla Terra e toccare un altro mondo, come abbiamo fatto di recente nel caso di Titano, il grande satellite di Saturno.

Abbiamo dato un'occhiata da vicino a Titano quando il *Voyager 2* è passato accanto a Saturno pochi anni fa. Si tratta di un grande satellite, con un diametro di circa 5230 chilometri, il che lo rende considerevolmente più grande della Luna. Inoltre, al contrario della Luna, possiede un'atmosfera.

L'atmosfera che avvolge Titano ha uno spessore notevole ed è costituita per la maggior parte di azoto e metano. La luce del Sole non ha alcun effetto sull'azoto. Il metano, invece, consiste in piccole molecole composte da un atomo di carbonio e quattro di idrogeno, che vengono collegate a catena dall'energia solare formando unità più grandi. Queste unità più grandi sono le molecole degli idrocarburi, come la benzina.

Anche se Titano è quasi dieci volte più lontano dal Sole rispetto alla Terra, viene raggiunto da una quantità di luce solare sufficiente a formare queste molecole più grandi. Di conseguenza, l'atmosfera di Titano è piena di vapori di benzina che formano una vera e propria cappa di nebbia... e che gli strumenti del *Voyager 2* non sono stati in grado di penetrare. Tutto quel che sono riusciti a inviare sulla Terra sono alcune fotografie di un fioco e nebbioso cerchio di luce.

Naturalmente gli scienziati sono curiosi di sapere come sia composta la superficie solida di Titano. È davvero solida? È ricoperta da un oceano di idrocarburi liquidi, o di azoto liquido, o di una miscela di entrambi? Oppure che altro?

Cercare una risposta a questi interrogativi può apparire un'impresa senza speranza, a meno che non si riesca a tornare su Titano con una sonda capace di penetrare lo strato atmosferico che lo avvolge.

Ma gli scienziati avevano un problema simile anche con un corpo celeste molto più vicino alla Terra: il pianeta Venere. Venere è coperto da uno spesso strato di nuvole perenni che i nostri telescopi non riescono a penetrare. Pareva che non ci fosse modo di stabilire com'era fatta la sua superficie; anzi, non si riusciva neppure a capire se Venere ruotasse ed eventualmente in quale direzione e a quale velocità.

Però un fascio composto di microonde, come quelle prodotte dal radar, è in grado di penetrare nelle nuvole, raggiungere la superficie, rimbalzare, superare di nuovo la coltre di nuvole e tornare sulla Terra. Gli scienziati possono quindi rilevare questa "eco di microonde".

Se la superficie di Venere fosse liscia e immobile, l'eco risulterebbe esattamente uguale al raggio inviato. Se invece il pianeta ruotasse, l'eco farebbe ritorno sulla Terra con una differente lunghezza d'onda. Dal tipo di variazione gli scienziati dovrebbero essere in grado di stabilire la direzione e la velocità di rotazione di Venere.

Se la superficie di Venere fosse irregolare, l'eco risulterebbe un po' distorta, e dovrebbe essere possibile stabilire il grado di irregolarità della superficie dal tipo di distorsione. In effetti, di recente sono state disegnate mappe della superficie di Venere secondo i dati forniti dalle microonde.

La domanda che sorge spontanea è; possiamo fare la stessa cosa con altri mondi? Chiaramente è possibile, dal momento che abbiamo inviato fasci di microonde verso Marte, Giove, Mercurio, perfino verso il Sole, e tutti sono rimbalzati indietro e ne abbiamo rilevato gli echi.

Possiamo inviare un fascio di microonde su Titano? Certamente, ma anche nel punto più vicino della sua orbita Titano è lontano dalla Terra 35 volte più di Venere. Questo vuol dire che un fascio di microonde inviato verso Titano produrrà un'eco 1200 volte meno intensa che da Venere. Avremmo dunque bisogno di un fascio più potente, tanto per cominciare, e di strumenti in grado di rilevare eco più deboli.

Oggi, strumenti del genere sono disponibili. Per esaminare Titano sono stati impiegati i più recenti rilevatori di segnali. Nel giugno 1989 sono stati inviati diversi fasci di microonde su Titano e ne è stata individuata l'eco, la più debole con cui gli scienziati avessero mai lavorato.

Un fascio di microonde è stato inviato alla stessa ora per tre giorni consecutivi: il 3, il 4 e il 5 giugno. Dato che Titano ruota sul proprio asse e che ogni rotazione dura 16 giorni, i tre fasci di microonde hanno colpito ogni giorno una zona diversa della superficie. (Sarebbe come se stessimo analizzando la Terra e, in tre giorni consecutivi, facessimo rimbalzare un raggio di microonde in Pennsylvania, poi in Kansas e infine in California.)

Le eco del 3 e del 5 giugno erano debolissime, più o meno come se il raggio avesse colpito un liquido, ma quella del 4 giugno era molto forte. Era un'eco simile a quelle che tornavano da Venere. A quanto pare, dunque, il fascio del 4 giugno avrebbe col-

pito una superficie solida.

Sembra perciò, per quanto ne sappiamo finora, che Titano sia l'unico corpo celeste del sistema solare a possedere, come la Terra, una superficie in parte liquida e in parte solida. È possibile che Titano abbia, come la Terra, continenti e oceani, anche se la loro composizione chimica sarebbe del tutto diversa da quella terrestre.

In futuro, forse, i fasci di microonde ci forniranno informazioni sufficienti a disegnare una mappa della superficie di Titano e a identificare le sostanze che la compongono. I suoi oceani sono composti di idrocarburi o di azoto liquido? I suoi continenti sono fatti di roccia, di ghiaccio o di anidride carbonica solida? Agli scienziati piacerebbe davvero saperlo, e può darsi che lo scoprano presto.

Rocce spaziali

Le meteoriti sono oggetti piuttosto rari, ma sono sempre stati importanti. Oggi, però, abbiamo un nuovo posto nel quale cercarle e una nuova tecnica in via di perfezionamento per accelerare la ricerca.

Quando gli esseri umani hanno incominciato a fare uso dei metalli, il meglio che riuscivano a trovare erano il rame e il bronzo. Ciò nonostante, di tanto in tanto si imbattevano in certe protuberanze nel terreno, fatte di un metallo particolare che poteva essere forgiato in punte di lancia e vomeri di gran lunga più duri e resistenti, un metallo che rendeva il filo della lama più duraturo e ben più tagliente che non quello degli attrezzi o armi di bronzo. I popoli antichi non lo sapevano, naturalmente, ma si trattava di meteoriti composte di ferro e di nichel precipitate sulla Terra dallo spazio.

In rarissime occasioni, alcune meteoriti venivano viste cadere dal cielo e schiantarsi al suolo. Gli spettatori sgomenti le consideravano naturalmente oggetti celesti inviati dagli dèi, e di conseguenza è probabile che le abbiano venerate. La Pietra Nera conservata nella Kaaba della Mecca, il santuario più sacro di tutto l'Islam, e che si suppone sia stata data ad Abramo dall'arcangelo Gabriele, è molto probabilmente una meteorite.

La ricerca di queste strane e utili protuberanze metalliche a fior di terreno fu talmente scrupolosa che in Medio Oriente, dove la civiltà ebbe la sua culla, non si trova più una sola meteorite: furono tutte localizzate e utilizzate nel corso dei primi secoli della storia umana. Soltanto verso il 1500 a.C. le popolazioni del Medio Oriente appresero l'arte di fondere il ferro dal minerale grezzo e le loro scorte di metallo non dipesero più dai rari ritrovamenti di meteoriti.

In tempi moderni, le meteoriti vengono utilizzate per scopi scientifici. Infatti sono incredibilmente antiche, poiché risalgono alla formazione del sistema solare. Anche la Terra è antichissima, naturalmente, ma ha subito tanti e tali sconvolgimenti geologici nel corso della sua lunga storia che le rocce più antiche ritrovate intatte nella crosta terrestre hanno "soltanto" poco più di tre miliardi di anni. Più il frammento di roccia è piccolo, meno mutamenti subisce. E le meteoriti hanno dimensioni talmente ridotte che potenzialmente non hanno subito alcun mutamento.

L'accurato studio dei decadimenti radioattivi nelle meteoriti ha convinto gli scienziati che la Terra, e con essa l'intero sistema solare, abbia un'età di 4,6 miliardi di anni.

Esistono diverse varietà di meteoriti. Quelle composte di ferro e nichel sono facilmente riconoscibili, perché blocchi di metallo di questo genere non si trovano affatto nella crosta terrestre, ma solo nelle meteoriti. Questo tipo particolare di meteoriti, tuttavia, costituisce soltanto il dieci per cento del totale. Per il resto sono quasi tutte di natura rocciosa, e a meno che non le si veda effettivamente precipitare al suolo, di solito passano inosservate fra i normali affioramenti rocciosi. A meno che non succeda di estrarle e studiarle per altre ragioni.

Una quantità molto limitata di meteoriti sono le cosiddette *condriti carbonacee*. Queste ultime contengono una certa quantità di acqua legata alle molecole della roccia che costituiscono il corpo principale della meteorite. Contengono anche molecole *organiche* a base di carbonio, inclusi grassi, amminoacidi e così via. Queste molecole organiche sono molto simili a quelle che si trovano nelle creature viventi sulla Terra, ma non sono il prodotto della vita. Alcune evidenti caratteristiche di quelle molecole dimostrano che sono state formate da processi non biologici.

Ciò lascia intendere che, quando avvenne la formazione della Terra, quelle molecole organiche potrebbero essersi formate molto presto ed essersi successivamente sviluppate in direzione di una maggiore complessità e infine verso la vita. In breve, lo studio di questo particolare tipo di meteoriti può fornirci suggerimenti fondamentali per comprendere le origini della vita.

Gli scienziati muoiono dalla voglia di studiare più meteoriti possibile per le informazioni che possono ottenerne e che, per quanto si sappia finora, non possono essere ottenute in altro modo. Tuttavia, le meteoriti composte di ferro e nichel sono piuttosto rare, e le condriti carbonacee lo sono ancora di più. Sfortunatamente le meteoriti "rocciose", più diffuse, passano di solito inosservate perché si confondono con la normale roccia del nostro pianeta.

C'è tuttavia una zona della Terra che non è rocciosa, almeno in superficie. Si tratta dell'Antartide, oltre 13 milioni di chilometri quadrati ricoperti di uno spesso strato di ghiaccio. Sullo sfondo della candida calotta antartica qualunque sporadico affioramento roccioso sarebbe ben visibile, e simili affioramenti sarebbero quasi certamente meteoriti. Negli ultimi anni, numerose meteoriti sono state individuate ed estratte dai ghiacci dell'Antartide per essere studiate. La più grande recuperata fino a oggi ha un diametro di circa 60 centimetri e un peso di 108 chilogrammi.

Ciò che rende particolarmente interessanti queste meteoriti estratte dal ghiaccio sterile dell'Antartide è che ci sono pochissime probabilità che siano state attaccate e alterate dalle forme di vita microscopica che si sviluppano in climi più miti.

Tuttavia, finora nella calotta antartica sono state scoperte soltanto le meteoriti portate in superficie dai lenti movimenti dei ghiacciai. Ce ne devono essere parecchie altre sepolte in profondità sotto la superficie. Alcuni scienziati del Naval Air Development Center di Warminster, in Pennsylvania, hanno condotto una serie di esperimenti che dimostrano come tali meteoriti sepolte possono essere localizzate per mezzo di un radar, pur trovandosi a decine di metri di profondità sotto la coltre di ghiaccio e pur non superando il peso di un chilo. In futuro l'intero continente antartico verrà for-

se ispezionato in questo modo, permettendo di individuare un'incredibile quantità di ricchi giacimenti di materiale meteoritico e, alla fine, di estrarli dai ghiacci.

Un asteroide evitato per un soffio

Il 23 marzo 1989 la Terra ha evitato per un soffio un grosso pericolo. Un piccolo asteroide, con un diametro di poco inferiore a un chilometro, è passato a circa 800 mila chilometri dal nostro pianeta, poco più del doppio della distanza fra la Terra e la Luna. Una distanza simile parrebbe piuttosto sicura, e si dovrebbe concludere che l'asteroide "ha mancato perfino il muro", come si dice.

Tuttavia, quell'enorme massa di roccia segue un'orbita che quasi incrocia quella della Terra e ogni tanto (un "tanto" discretamente lungo, per la verità) asteroide e pianeta raggiungono il punto di incrocio nello stesso momento, provocando un incontro ravvicinato da cardiopalma.

Si può obiettare che quegli 800 mila chilometri, o forse un po' meno, dovrebbero rimanere la distanza di incrocio standard, se le orbite restassero invariate. Ma le orbite variano. La Terra è un corpo celeste con una grande massa e la sua orbita è abbastanza stabile, ma l'asteroide è un oggetto minuscolo in confronto ai pianeti ed è soggetto all'attrazione della Terra, della Luna, di Marte e di Venere, che alterano continuamente la sua orbita.

L'orbita dell'asteroide può avvicinarsi o allontanarsi da quella terrestre, quindi le possibilità che entri proprio in rotta di collisione sono molto scarse, pur non essendo zero.

Il problema è che questo asteroide non è l'unico. Nel 1937, un asteroide che gli astronomi avevano battezzato Ermes passò a meno di 300 mila chilometri dalla Terra ed era più grande di quello che ci ha mancato di recente. Doveva avere un diametro di almeno un chilometro e mezzo.

E il 10 agosto del 1972 un piccolo oggetto, con un diametro di una decina di metri, è passato accanto alla Terra a una distanza di soli cinquanta chilometri dalla superficie del Montana meridionale, ed è sfrecciato oltre sibilando. Aveva attraversato la nostra stratosfera.

Alcuni astronomi sono convinti che esistano come minimo un centinaio di oggetti con un diametro sul mezzo chilometro, che di tanto in tanto potrebbero sfiorare la Terra. E ce ne devono essere migliaia con un diametro di qualche decina di metri. Ovviamente la possibilità che uno di questi innumerevoli oggetti vaganti prima o poi colpisca la Terra è infinitamente più grande della possibilità che lo faccia un oggetto specifico, sul tipo di quello che ci ha mancato di recente.

Persino un oggetto relativamente piccolo come quello che ha sfiorato il Montana meridionale potrebbe provocare danni spaventosi, se facesse centro. Se cadesse sulla terraferma scaverebbe un cratere enorme... dopo tutto, questi proiettili sono capaci di viaggiare a più di 30 chilometri al secondo nel momento dell'impatto.

Un oggetto con un diametro di 800 metri, come quello che è sfrecciato accanto alla

Terra nel marzo del 1989, colpirebbe la superficie terrestre con la forza di 18 miliardi di tonnellate di tritolo. Se centrasse New York, senza dubbio spazzerebbe via l'intera metropoli e ucciderebbe milioni di persone in un istante. Se invece cadesse in mare sarebbe anche peggio, poiché l'acqua subirebbe un urto sconvolgente ed enormi *tsunami*, ondate alte centinaia di metri, si abbatterebbero sulle coste vicine e travolgerebbero decine di milioni di persone.

Se poi l'oggetto fosse ancor più voluminoso potrebbe persino perforare la crosta terrestre, dare l'avvio a un'intensa attività vulcanica, bruciare foreste in ogni parte del mondo, fare affondare una buona metà dei continenti e sollevare tanta polvere e fumo nella stratosfera da oscurare il Sole per moltissimo tempo. Una collisione simile ucciderebbe la maggior parte degli esseri viventi, se non addirittura tutti. In effetti, si ritiene che i dinosauri siano stati spazzati via da una collisione di questo genere circa 65 milioni di anni fa.

In tempi più recenti sono avvenute alcune collisioni meno devastanti. In Arizona c'è un cratere con un diametro di 1300 metri e una profondità di 180, formatosi in seguito alla caduta di una meteorite più o meno 50 mila anni fa. Probabilmente non provocò vittime, perché in quel periodo gli esseri umani non avevano ancora raggiunto il continente americano. Nel 1908, una collisione di portata ancor più limitata, avvenuta nella Siberia centrale, abbatté ogni albero nel raggio di trenta chilometri, ma in una regione desolata e disabitata, cosicché anche in quel caso non ci furono vittime.

In realtà, in tutta la storia dell'umanità, non esistono testimonianze dell'uccisione di qualcuno a causa di una meteorite precipitata sulla Terra. Ma di certo non avremo fortuna in eterno.

Che cosa possiamo fare di fronte a questo problema?

Trent'anni fa scrissi un saggio che fu pubblicato nell'agosto 1959 della rivista *Space Age*. Il titolo era: "Caccia grossa nello spazio". In esso, sostenevo con forza (una volta ne avevamo la facoltà) la necessità di stabilire nello spazio una stazione orbitale fissa, un sorta di "sentinella" che avrebbe vegliato per individuare qualunque oggetto di oltre un metro di diametro in avvicinamento alla Terra lungo una rotta di collisione. L'oggetto in questione avrebbe potuto essere distrutto da una bomba all'idrogeno collocata sulla sua rotta, oppure da qualche strumento più sofisticato. Sarebbe stata una specie di "Guerra Stellare" difensiva, mirata a eliminare asteroidi anziché missili nemici.

Per quanto ne so, fui il primo a suggerire un'iniziativa simile, ma da allora gli astronomi hanno discusso e valutato il problema con molta serietà. Dopo tutto, si stima che un impatto da "città rasa al suolo" avvenga in media ogni 50 mila anni, ed è trascorso esattamente questo periodo dall'avvenimento che provocò il cratere nell'Arizona. Il tempo può essere già scaduto, per così dire.

Naturalmente, se distruggessimo un piccolo asteroide i suoi frammenti continuerebbero a seguire la stessa orbita, ma se in seguito colpissero la Terra non causerebbero danni. Invece di un enorme cratere otterremmo una splendida luminaria di stelle cadenti, dato che i frammenti più piccoli brucerebbero a causa dell'attrito con l'atmosfera o precipiterebbero al suolo sotto forma di piccole pietre.

Diamanti dallo spazio

Nelle meteoriti, gli scienziati hanno scoperto piccole quantità di varie sostanze e ormai non si aspettano più novità. Tuttavia, non troppo tempo fa, un gruppo di chimici che lavorava sotto la supervisione di Edward Anders dell'Università di Chicago vi scoprì con enorme sorpresa la presenza di diamanti.

Ciò non significa che i chimici di quell'equipe scientifica divennero tutti ricchi sfondati, naturalmente, dal momento che i diamanti ritrovati erano di dimensioni microscopiche. Ce n'erano di due tipi: il primo talmente piccolo che mettendone in fila centomila si raggiungerebbe la lunghezza di un centimetro, il secondo ancora più piccolo... per raggiungere un centimetro ce ne sarebbero voluti 4 milioni. Ciò nonostante, i chimici erano contentissimi. I diamanti meteoritici, per quanto microscopici, rappresentano un altro genere di ricchezza: la ricchezza della conoscenza.

Il sistema solare, con il Sole e i pianeti, ha avuto origine per condensazione da un'immensa nube primordiale di polveri e gas, miliardi di anni fa. Nel processo di formazione la maggior parte del materiale divenne incandescente e subì notevoli cambiamenti. È difficile stabilire dalla struttura del Sole o da quella della Terra come potesse essere la nube originale.

Però i corpi celesti più piccoli, come le meteore, hanno subito minori mutamenti, quindi possono darci più informazioni sulle origini del sistema solare. In effetti è proprio attraverso lo studio delle meteore che abbiamo appreso l'età esatta del sistema solare, vale a dire 4,6 miliardi di anni.

Ma anche la nube di polvere originaria ha avuto un'evoluzione: non è rimasta immutata per tutta l'esistenza dell'universo. In origine era costituita interamente di idrogeno e di elio, i due elementi più semplici. Però nelle stelle si formano atomi più complessi che vengono dispersi nello spazio per mezzo dei *venti stellari*. (Anche il Sole ha il suo *vento solare*.) Le stelle giganti rosse, colossali e piuttosto instabili, sotto questo aspetto sono le più attive. Di conseguenza, le nubi di gas interstellare vengono contaminate da atomi più pesanti. Talvolta, le stelle esplodono come supernovae e in seguito a ciò enormi quantità di atomi complessi vengono scagliate nello spazio, contaminando ancor di più le nebulose.

La nube di gas e polveri dalla quale ebbe origine il sistema solare era abbondantemente contaminata, dal momento che la Terra e i nostri stessi corpi consistono in misura notevole di atomi complessi originati non dalla nebulosa primordiale ma dalle stelle. (Come talvolta dicono gli astronomi, noi siamo fatti di "sostanza stellare".)

Mentre il materiale di cui era composta la nube di polveri si condensava per formare il sistema solare, avvennero tanti cambiamenti, anche nella formazione di piccoli oggetti celesti come le meteoriti, che non è possibile avere molte informazioni sulla contaminazione della nube originaria. Tuttavia, una certa sostanza, e soltanto una, è stata abbastanza tenace da resistere a tutti i cambiamenti, e ci fornisce alcuni indizi sui particolari della contaminazione. La sostanza in questione è il diamante.

Uno degli elementi che si formano abbondantemente all'interno delle stelle è il carbonio. Gli atomi di carbonio di solito si aggregano in modo piuttosto irregolare sotto forma di grafite. Stando alle apparenze, i venti e le esplosioni stellari fanno sì che una

certa quantità di grafite si aggrega più saldamente originando il diamante, la sostanza più dura che si conosca.

I minuscoli diamanti ritrovati nelle meteoriti, però, non sono composti di carbonio allo stato puro. Nella loro struttura interna sono rimaste microscopiche bollicine contenenti gas che dovrebbero risalire alla nube primordiale, grazie alla millenaria protezione dei gusci adamantini.

Nelle giganti rosse la formazione di atomi complessi avviene lentamente, tramite l'aggiunta di minuscole particelle dette "neutroni", uno alla volta. Ciò significa che gli atomi che alla fine vengono formati tendono a contenere relativamente pochi neutroni. Invece, quando una stella esplose i cambiamenti atomici sono rapidissimi: i neutroni sono costretti ad aggregarsi agli atomi a una velocità enorme, cosicché gli atomi risultanti tendono a contenere molti più neutroni.

Ne risulta che i due tipi di diamante ritrovati nelle meteoriti hanno origini diverse. Entrambi contengono minuscole bollicine di xeno un raro gas nobile, ma nel caso dei diamanti più grandi lo xeno è in prevalenza xeno-130, che contiene in ogni atomo 76 neutroni. Nel caso dei diamanti più piccoli, invece, si tratta in prevalenza di xeno-136, che contiene in ogni atomo 82 neutroni.

A quanto pare, i diamanti più grandi derivano dai venti stellari delle giganti rosse, mentre quelli più piccoli dalle esplosioni delle supernovae.

Ciò fornisce una prima informazione sulla natura della contaminazione della nebulosa primordiale, e non ci sono dubbi che ulteriori studi forniranno ulteriori novità. Potrebbe essere importante scoprire perché le stelle producano diamanti anziché grafite, molto più facile da formare. Dopo tutto, un millesimo di tutto il carbonio esistente nello spazio potrebbe essere sotto forma di diamanti. Perché mai?

Il mondo morto

Il palcoscenico è pronto per una nuova corsa alla Luna.

L'Unione Sovietica sta costruendo una propria flotta di space shuttle e possiede già una semplice stazione orbitante. Gli Stati Uniti stanno rimodernando la loro flotta di shuttle alla luce dell'amara lezione del disastro del *Challenger* e ha in progetto una stazione spaziale piuttosto raffinata.

La prima corsa alla Luna fu vinta dagli Stati Uniti, ma fu un exploit isolato: dopo una serie di brevi visite alla Luna si ritirarono dalla gara. La prossima corsa avrà invece un premio di gran lunga più prezioso, si gareggerà infatti per stabilire sulla Luna una base permanente.

Ma a che scopo? La Luna è un mondo completamente morto, nient'altro che un desolato ammasso di roccia privo di interesse. Perché darsi tanto da fare?

In realtà, la Luna è un'enorme "proprietà fondiaria" che si trova per così dire proprio nel nostro cortile, a tre soli giorni di viaggio. La sua superficie ha un'area che corrisponde a quella dei due continenti americani, Nord e Sud, messi insieme. Oltre tutto, il solo fatto che esista è sorprendente. Nel sistema solare sono presenti soltanto

altri sei grandi satelliti e appartengono tutti ai pianeti giganti. Perché un Pianeta piccolo come la Terra abbia un satellite grande come la Luna è tuttora inspiegabile.

Ed è un'ottima cosa che la Luna sia un mondo morto. Se vi fossero presenti forme di vita, anche le più elementari, saremmo costretti a lasciarla intatta, così com'è: a studiarne la vita e a proteggerla, così come cerchiamo di proteggere il condor della California. La Luna apparterebbe alle sue forme di vita. Invece la Luna non appartiene a nessuno, neppure al più semplice dei virus. Gli esseri umani possono liberamente fare uso di tutte le sue risorse.

E ne ha parecchie, di risorse. Il sottosuolo è ricco di minerali metalliferi, dai quali si potrebbero ricavare metalli puri come ferro, alluminio, titanio, magnesio eccetera. Dal terreno si potrebbero produrre cemento, calcestruzzo, vetro; e, volendo, sarebbe anche un'abbondante fonte di ossigeno. Tutte queste sostanze potrebbero essere impiegate per costruire strutture nello spazio, senza alcun limite.

Ci si può domandare che bisogno c'è di andare fino alla Luna per procurarsi queste sostanze... Non ce ne sono forse in abbondanza sulla Terra? È vero, sulla Terra ce ne sono in abbondanza, ma le risorse del nostro pianeta appartengono alla popolazione terrestre che ne ha grande necessità. Dirottare nello spazio chissà quanti milioni di tonnellate di metalli e altri materiali di costruzione probabilmente non sarebbe ben visto. Le risorse della Luna sono tutt'altra faccenda. Sono rimaste lassù, inutilizzate, per miliardi di anni. Se adesso le sfruttiamo non derubiamo nessuno.

C'è un altro motivo per cui è preferibile usare le risorse lunari anziché quelle terrestri. Il nostro satellite è un mondo più piccolo e ha soltanto un sesto della gravità terrestre. Sulla Luna, per sollevare una tonnellata di materiale e lanciarla nello spazio basta una frazione dell'energia necessaria realizzare la stessa operazione sulla Terra.

Che tipo di strutture spaziali potremmo costruire? Tanto per cominciare, delle centrali elettriche azionate dall'energia solare. Centrali simili sarebbero in grado di accumulare l'energia solare con un'efficienza sessanta volte maggiore che sulla Terra, e di inviarla poi sul nostro pianeta sotto forma di microonde, risolvendo definitivamente ogni problema energetico.

Potremmo costruire stabilimenti automatizzati in grado di sfruttare le insolite proprietà dello spazio (vuoto assoluto, assenza di gravità, grande disponibilità di energia solare e via dicendo) per fabbricare strumentazioni con tecniche che non potrebbero essere riprodotte sulla Terra.

Potremmo costruire osservatori astronomici per scrutare l'universo *come non* si può fare dalla superficie terrestre, dove l'atmosfera vela gli oggetti celesti. Potremmo costruire laboratori per compiere speciali studi impossibili sulla Terra, oppure esperimenti biologici particolarmente pericolosi.

Potremmo persino edificare città artificiali nello spazio, ciascuna delle quali in grado di ospitare una popolazione di diecimila persone, o anche di più.

Utilizzando le risorse della Luna - oltre a una minima quantità di risorse terrestri, poiché la Luna è priva di elementi importanti come il carbonio, l'idrogeno e l'azoto - potremmo fondare una società spaziale e gettare le basi per la sua espansione fino alla fascia di asteroidi fra Marte e Giove, e anche oltre. E tutto nel corso del prossimo secolo o al massimo in quello successivo.

Non ci sono dubbi che i sovietici, spintisi costantemente avanti nella ricerca spa-

ziale, stiano aspettando con ansia qualcosa del genere. E anche noi dobbiamo sentire la medesima urgenza. I potenziali vantaggi derivanti da questo ampliamento del campo d'azione umano, sia fisico sia psicologico, ripagherebbero abbondantemente i capitali, le fatiche e i rischi di un simile progetto. E questi vantaggi non devono andare solo ai sovietici.

Ma neanche dobbiamo adottare un atteggiamento di rivalità. I progressi saranno più rapidi per tutti se sceglieremo la via della cooperazione; anzi, l'impresa di stabilire la civiltà nello spazio è talmente sovrumana che dovremmo assolutamente considerarlo un progetto globale. Noi e i sovietici dovremmo accogliere con entusiasmo non soltanto l'aiuto reciproco, ma anche qualsiasi aiuto possa esserci fornito da altre nazioni della Terra.

Il lento decadimento

Se un giorno avremo la possibilità di stabilire una base permanente sulla Luna, quali e quante realizzazioni saranno alla nostra portata! Per esempio, potremmo essere in grado di scoprire se certe fondamentali teorie scientifiche sono corrette.

In anni recenti i fisici hanno elaborato quelle che chiamano le "Grandi Teorie Unificate", che riuniscono tutte le forze della natura in un'unica serie di relazioni matematiche. Se verranno dimostrate, potrebbero dirci finalmente come ha avuto inizio l'universo, come si è sviluppato fino allo stato attuale e quale sarà il suo destino.

Ma come possiamo dimostrare le Grandi Teorie Unificate? Un sistema è vedere se suggeriscono qualche tipo di fenomeno non previsto da altre teorie, e quindi condurre una serie di esperimenti per verificarlo.

Per esempio, quando circa tre quarti di secolo fa fu scoperto il protone, la nuova particella sembrava stabile. Lasciato a se stesso, apparentemente, il protone era destinato a durare per tutta l'eternità.

Secondo le Grandi Teorie Unificate, invece, il protone dovrebbe avere una piccola - incredibilmente piccola - tendenza al decadimento. Entro 200 mila miliardi di miliardi di miliardi di anni, la metà dei protoni esistenti nell'universo dovrebbe essere decaduta. Ma questo è tempo estremamente lungo. È circa 13 mila miliardi di miliardi di volte più lungo dell'intero arco di esistenza dell'universo fino a oggi. Ciò significa che da quando esiste l'universo soltanto una percentuale infinitesima di protoni è decaduta.

Allora come possiamo verificare l'esattezza delle Grandi Teorie Unificate accertando se davvero i protoni decadono? Ovviamente non possiamo aspettare miliardi e miliardi di anni per risolvere la questione.

E non è neppure necessario. Infatti, anche se ci vuole un'eternità perché una grande quantità di protoni si disintegri, ce n'è qualcuno che decade anche adesso. Per esempio, 20 mila tonnellate di acqua, o di ferro, conterebbero miliardi di miliardi di miliardi di protoni e, di questi, una decina circa dovrebbe decadere nel giro di un anno. Si tratta di una percentuale insignificante, ma il decadimento di ogni protone produce

particelle individuabili, e se quei dieci protoni all'anno fossero individuati avremmo una prova schiacciante a favore delle Grandi Teorie Unificate. Dopo tutto, se queste teorie non fossero corrette, non ci sarebbe alcun decadimento.

Per scoprire questi rarissimi decadimenti protonici sono stati predisposti strumenti particolarmente sensibili ma, per ora, non si è avuta nessuna conferma. Forse ciò significa che le Grandi Teorie Unificate non sono giuste, ma gli scienziati non sono ancora disposti ad ammetterlo. C'è la sensazione che gli strumenti non siano ancora abbastanza sensibili e, anche se lo fossero, sono soggetti a moltissime interferenze.

Attorno a noi esistono diversi tipi di radiazioni, dalla luce solare ai raggi cosmici. Queste radiazioni producono particelle che rappresentano il "rumore" negli strumenti e nascondono i veri decadimenti di protoni.

Per eliminare il rumore, gli strumenti di rilevazione vengono collocati nel sottosuolo, il che permette di avere un sottofondo "tranquillo", con una sola eccezione: i raggi cosmici che bombardano costantemente la Terra reagiscono con gli atomi dell'atmosfera producendo minuscole particelle chiamate *neutrini*. I neutrini difficilmente interagiscono con la materia: attraversano la Terra da parte a parte come se non ci fosse, e, naturalmente, attraversano anche gli strumenti di rilevazione, per quanto in profondità siano collocati.

Molto raramente, i neutrini interagiscono con i protoni producendo particelle simili a quelle che dovrebbero essere prodotte da un decadimento protonico. Per ogni decadimento protonico autentico, ne vengono misurati un centinaio di fittizi, dovuti alle interazioni dei neutrini. Sbrogliare la matassa e individuare i veri decadimenti protonici è un compito estremamente difficile.

Ah, ma se fossimo sulla Luna, dove non esiste l'atmosfera? In tal caso potremmo scavare una galleria lunga 300 metri, larga una decina e altrettanto alta, nel fianco di un cratere alla profondità di un centinaio di metri, e collocarvi una serie di rilevatori grandi e molto sofisticati.

I raggi cosmici colpiscono anche la Luna, ma in assenza di atmosfera il numero di neutrini formati sarebbe notevolmente inferiore. Gli scienziati hanno calcolato che, in queste condizioni, ci sarebbe una sola interazione di neutrini ogni due autentici decadimenti di protoni. Se dunque potessimo eseguire questo complicato e costosissimo esperimento sulla Luna, l'assenza quasi totale di disturbi ci permetterebbe quasi con facilità di verificare le Grandi Teorie Unificate.

Un vecchio affidabile

Ci sono alcune cose che vorremmo con tutto il cuore fossero affidabili: il Sole, per esempio. Non ci piacerebbe affatto che diventasse molto più grande, o più piccolo, oppure più caldo, o più freddo di quel che è. Va bene esattamente così, grazie al cielo, e una recente ricerca indica che gode di ottima salute.

Siamo ragionevolmente sicuri, inoltre, che si è mantenuto affidabile per tutto il corso della vita della Terra. Se fosse diventato tanto caldo da far bollire gli oceani, o

tanto freddo da congelarli, ogni forma di vita sarebbe morta. Ma, per quel poco che ne sappiamo, la vita sulla Terra esiste senza interruzioni da almeno tre miliardi e mezzo di anni.

Naturalmente c'è stata qualche irregolarità. Negli ultimi milioni di anni si sono verificate parecchie glaciazioni, e ogni venti o trenta milioni di anni c'è una grande ondata di estinzioni. Per quel poco che ne sappiamo, comunque, il Sole non è mai stato direttamente coinvolto in questi disastri, causati invece da impatti di meteoriti, da variazioni nella distribuzione dei continenti sulla crosta terrestre, oppure da variazioni nelle profondità degli oceani. Almeno, è quel che si crede.

Ma anche se il Sole è affidabile nel lungo periodo, non può darsi che di colpo entri in un periodo di lieve inaffidabilità? Non può darsi che subisca delle variazioni insufficienti a mettere in pericolo la vita in generale, ma comunque tali da infastidire gli esseri umani?

Per esempio, negli ultimi anni si è insinuato che il Sole si sia leggermente contratto, da qualche secolo in qua.

Attualmente il Sole ha un diametro di 1919 secondi d'arco, ma alcuni astronomi ritengono che nel 1700 fosse di 1927 secondi d'arco. Anche se fosse non si tratterebbe certo di una contrazione enorme, ma potrebbe essere un segnale di eventuali problemi futuri.

Non c'è modo di verificarlo?

Forse sì. Di tanto in tanto la Luna passa davanti al Sole e l'ombra lunare viene proiettata sulla Terra. L'ombra si riduce nell'avvicinarsi alla Terra e nel momento in cui la raggiunge misura al massimo 273,5 chilometri di diametro. L'ampiezza esatta dipende da quanto i due astri sono lontani dalla Terra nel giorno dell'eclisse, così come dai loro diametri. La distanza del Sole e della Luna e il diametro della Luna non sono certamente variati negli ultimi secoli, cosicché l'unico elemento incerto risulta il diametro del Sole.

Se tre secoli fa il Sole avesse avuto un diametro maggiore dell'attuale, durante un'eclisse il suo disco sarebbe stato coperto dalla Luna un po' meno, lasciando quindi debordare un po' più di luce (eclisse anulare) e producendo un'ombra più piccola. Dunque, basterebbe misurare la larghezza dell'ombra di un'eclisse avvenuta tre secoli fa. Ma come si fa?

Qui abbiamo avuto un colpo di fortuna. Il 3 marzo 1715 si verificò un'eclisse solare durante la quale l'ombra della Luna fu proiettata sull'Inghilterra sudorientale. In quel periodo il progresso scientifico dell'Inghilterra era eccellente. Per di più, a quel tempo c'era in Inghilterra uno dei più grandi astronomi dell'epoca: Edmund Halley. (Si tratta dello stesso astronomo che calcolò per primo l'orbita della cometa di Halley, che da lui prese il nome.)

Halley coordinò l'osservazione dell'eclisse solare del 1715 da parte degli appassionati d'astronomia di tutta l'Inghilterra meridionale, e raccolse i resoconti dei testimoni oculari. Ciascun resoconto, tra l'altro, descriveva esattamente quanto era durata l'eclisse. Più un osservatore si trovava all'interno dell'ombra proiettata sulla superficie terrestre dalla Luna, più a lungo sarebbe durata l'eclisse (un po' più di sette minuti è il massimo di durata di qualunque eclisse solare). In prossimità dei margini dell'ombra l'eclisse sarebbe durata soltanto pochi secondi.

Di recente, alcuni astronomi inglesi diretti da Leslie V. Morrison hanno analizzato i resoconti raccolti nel 1715 da Halley e hanno reso noti i risultati. Hanno scoperto che nell'estremità sudorientale dell'Inghilterra era stato compilato un resoconto di un certo Will Tempest, che viveva nei pressi di Cranbrook, nel Kent. Nel resoconto, Will Tempest annotava che l'eclisse era durata un solo istante: doveva essersi trovato quasi esattamente sul margine meridionale dell'ombra.

C'era anche un resoconto compilato da un tal Theophilus Shelton, che viveva nei dintorni di Darrington, nello Yorkshire occidentale. Anche lui annotava che l'eclisse era durata soltanto un istante. In verità, c'era una parte minuscola del Sole ancora visibile, ma aveva le dimensioni di una stella: Shelton doveva essersi trovato quasi esattamente sul margine settentrionale dell'ombra.

Tutto ciò era già stato reso noto in precedenza, in realtà, ma l'équipe di studiosi guidata da Morrison è riuscita a localizzare l'esatta posizione delle abitazioni di Tempest e di Shelton, invece di considerare semplicemente le cittadine nelle quali vivevano, arrivando a determinare con precisione quale fosse l'ampiezza dell'ombra nell'eclisse del 1715, con uno scarto intorno al chilometro e mezzo in più o in meno: secondo quel risultato, l'ampiezza dell'ombra lunare corrispondeva esattamente a quella attuale, e quindi a un Sole con il diametro attuale.

Se, al contrario, il diametro del Sole fosse stato più lungo di otto secondi d'arco, l'ombra sarebbe arrivata cinque chilometri più a sud nello Yorkshire e cinque chilometri più a nord nel Kent. Né Tempest né Shelton sarebbero stati in grado di vedere l'eclisse diventare totale: una parte consistente di Sole sarebbe rimasta abbastanza visibile da rovinare l'effetto.

E così, dopo tutto, il Sole mantiene la sua fama di "vecchio affidabile".

Andare verso l'energia

Nel prossimo futuro avremo un grande bisogno di energia. Gli scienziati sovietici stanno già facendo programmi tenendo ben presente questa necessità. Di recente hanno avviato un progetto per lanciare in orbita enormi centrali elettriche in grado di sfruttare l'energia solare, le quali convogliano sulla Terra l'elettricità prodotta. Benché in potenza il progetto abbia anche applicazioni militari, offre tuttavia un'eccellente opportunità per una collaborazione multinazionale in grado di promuovere la pace in tutto il mondo.

Il Sole è un'ovvia fonte energetica, una fonte che durerà per miliardi di anni. La sua luce irradiata sulla Terra può essere convertita in elettricità, ma l'atmosfera terrestre ne assorbe una certa quantità e ne disperde il resto. Inoltre, il pulviscolo atmosferico la vela ulteriormente, le nuvole la oscurano ancor di più, e la notte la spegne completamente per un certo numero di ore al giorno.

E così, perché non andare noi verso l'energia? Perché non spingersi nello spazio? Al di fuori dell'atmosfera la luce brilla costante, senza nuvole, pulviscolo, inquinamento o aria di qualsiasi tipo che possano ridurne lo splendore.

Supponiamo che ci sia uno strumento particolare in orbita al di fuori dell'atmosfera, sopra l'equatore terrestre... un congegno capace di assorbire la luce solare e di trasformarla in elettricità. Orbiterebbe nell'ombra della Terra di rado, per poche ore soltanto, più o meno in occasione degli equinozi. A parte questi casi, rimarrebbe continuamente esposto alla luce del Sole. Si stima che uno strumento del genere convertirebbe la luce solare in energia 60 volte meglio che se si trovasse sulla superficie terrestre.

Se si trovasse a 35 mila chilometri di altezza sopra l'equatore, orbiterebbe attorno alla Terra esattamente in ventiquattr'ore. Osservato da un punto qualsiasi dell'equatore, darebbe l'impressione di essere perfettamente immobile nello spazio. Potrebbe accumulare l'energia solare e convertirla in elettricità, la quale, a sua volta, verrebbe trasformata in microonde e irradiata verso una centrale ricevente situata sulla Terra, che la riconvertirebbe in elettricità e la distribuirebbe dove necessario.

Tuttavia, per produrre una ragionevole quantità di energia, lo strumento dovrebbe accumulare una grande quantità di luce solare. Dovrebbe quindi usufruire di un gran numero di *pannelli solari* (particolari congegni che convertono l'energia solare in elettricità) disposti su una vasta area. Le solite stime indicano che la struttura complessiva della centrale orbitante dovrebbe avere un'area uguale a quella dell'isola di Manhattan o anche di più. Se ce ne fossero una sessantina, tutte in orbita sopra l'equatore, coprirebbero complessivamente un'area maggiore della superficie del Rhode Island.

La quantità di energia resa disponibile da un simile impianto ogni secondo, anno dopo anno, secolo dopo secolo, sarebbe pari all'elettricità fornita da 600 centrali nucleari. Con il passare del tempo, senza dubbio, la quantità di energia prodotta aumenterebbe con l'aumentare dell'efficienza delle strumentazioni in orbita.

Ci sono ostacoli enormi lungo il cammino, naturalmente. È probabile che per costruire la strumentazione necessaria occorreranno cinquant'anni di lavoro, con costi che raggiungeranno i tremila miliardi di dollari. E, una volta costruite, le centrali a energia solare dovrebbero essere verificate di continuo, mantenute in efficienza e riparate. Nello spazio, i congegni e le strutture sarebbero al sicuro dalle intemperie, dai danni a opera degli animali e dai vandalismi umani, ma sarebbero comunque vulnerabili ai danni prodotti dalla "spazzatura spaziale". Una parte di quest'ultima sarebbe di origine naturale, perché lo spazio è abbastanza affollato di particelle di polvere e di piccole pietre. Ma una parte sarebbe *di* origine umana: frammenti e pezzi di satelliti e di sonde spaziali.

Inoltre c'è la questione di come potrebbero influire sullo strato di ozono, sull'atmosfera, sulla popolazione, sugli animali e via dicendo, i fasci di microonde irradiati sulla superficie terrestre dagli impianti orbitanti.

Il progetto è stato proposto negli anni Sessanta da Peter E. Glaser della Arthur D. Little Inc. di Cambridge, nel Massachusetts. Negli anni Settanta la NASA ha preso in considerazione la possibilità di realizzare il progetto. Ma i costi, e i rischi dell'impatto ambientale, sembrano soffocare l'interesse da parte americana.

Nondimeno, di recente i sovietici hanno raccolto l'idea. Hanno realizzato un nuovo tipo di razzo vettore, denominato *Energia*, che è almeno quattro volte più potente dei migliori prodotti americani in campo spaziale, e sperano *di* utilizzarlo per lanciare in

orbita le grandi quantità di materiali richiesti per questo progetto immane.

I sovietici potrebbero anche cominciare con qualcosa di semplice, costruendo per esempio un riflettore passivo di luce solare. Ciò creerebbe una piccola "luna" in cielo in grado di illuminare intere città o di riscaldare zone industriali in caso di freddo intenso. Un progetto simile potrebbe essere realizzato, in via sperimentale, già nel corso degli anni Novanta.

Se i sovietici facessero passi avanti in questo programma, gli Stati Uniti potrebbero anche temere possibili applicazioni militari dell'energia solare e dei riflettori in orbita. Ho sempre avuto la sensazione che il modo più sicuro di neutralizzare una possibilità simile sia internazionalizzare i grandi progetti spaziali, che in ogni caso sarebbero troppo costosi per qualunque nazione isolata.

Inoltre, l'uso pacifico di queste centrali elettriche spaziali a energia solare non dovrebbe in nessun caso essere limitato a una sola nazione: l'energia del Sole appartiene a tutti i popoli della Terra. Il desiderio comune di far uso di questa energia e di mantenere in efficienza le centrali in orbita, oltre che perfezionarle, fornirebbe a tutte le nazioni del mondo un progetto vitale intorno al quale fare causa comune.

Dato che qualsiasi grave disaccordo o controversia influirebbe sfavorevolmente sul buon funzionamento delle stazioni orbitanti, riducendo le forniture di energia elettrica per tutti, il progetto potrebbe anche diventare un poderoso incentivo per la pace.

Un oceano di benzina

Riuscite a immaginarvelo un oceano di benzina? Eppure può darsi che esista davvero; anzi, è possibile che esista in due posti diversi. Ma non sulla Terra, naturalmente.

Nel nostro sistema solare ci sono sette grandi satelliti, uno dei quali è la Luna. Ha dimensioni troppo ridotte (3473 chilometri di diametro) e un'attrazione gravitazionale troppo debole per trattenere un'atmosfera. E poi la capacità di trattenere un'atmosfera diminuisce in proporzione all'aumento di temperatura, e la Luna è - tra i grandi satelliti - il più vicino al Sole, il che porta a volte la sua temperatura al di sopra del punto di ebollizione dell'acqua.

Giove ha quattro grandi satelliti che ricevono soltanto $1/27$ del calore solare ricevuto dalla Luna. Per di più, due di essi, Ganimede e Callisto, sono enormi: hanno un diametro di oltre 4800 chilometri. Ciò nonostante, sono comunque troppo piccoli e caldi per avere un'atmosfera.

Saturno ha un grande satellite, Titano, con un diametro di addirittura 5230 chilometri, che riceve soltanto $1/90$ del calore solare ricevuto dalla Luna ed è quindi abbastanza grande e freddo da possedere un'atmosfera. Nel 1948 G.P. Kuiper rilevò l'atmosfera di Titano e scoprì che conteneva metano, un composto di carbonio e idrogeno. Il metano è il principale componente di quello che sulla Terra viene chiamato "gas naturale".

Ma nel 1981, quando la sonda spaziale *Voyager 2* oltrepassò Saturno, dimostrò che

Titano aveva un'atmosfera inaspettatamente spessa, forse persino più di quella terrestre. La sonda confermò la presenza di metano e, in aggiunta, di azoto in grande quantità. (L'azoto freddo è quasi impossibile da individuare a grande distanza.)

L'atmosfera di Titano è nebbiosa, cosicché non siamo in grado di vederne la superficie, ma gli astronomi sanno perfettamente come si comportano l'azoto e il metano, e possono di conseguenza presumere quello che probabilmente avviene. L'azoto, che è un gas inerte, non subirebbe cambiamenti. Le molecole di metano invece verrebbero scisse dall'energia dei raggi solari e le parti separate potrebbero combinarsi formando molecole più grandi composte da carbonio e idrogeno. Le molecole di metano contengono soltanto un atomo di carbonio, ma le radiazioni del Sole possono provocare reazioni in grado di aggiungere uno o più atomi di carbonio.

Alla temperatura di Titano, l'azoto e il metano sono presenti in forma gassosa, ma le molecole più complesse si presenterebbero in forma liquida. Dunque, è possibile che sotto la spessa atmosfera nebbiosa di Titano ci siano stagni, laghi, fiumi e addirittura oceani di molecole con due atomi di carbonio (*etano*), o con tre (*propano*), o anche di più. Molecole contenenti sette o otto atomi di carbonio sarebbero a tutti gli effetti *benzina*. Alla temperatura di Titano queste molecole potrebbero prendere forma solida, ovvero congelare, ma si scioglierebbero nell'oceano di etano e propano.

Ciò significa che sotto la fitta coltre atmosferica di Titano forse c'è un oceano di benzina.

Se allunghiamo lo sguardo oltre Titano, troviamo un altro grande satellite, Tritone, che orbita intorno a Nettuno, il pianeta più lontano dal Sole. Il *Voyager 2*, dopo aver oltrepassato Urano, che si trova oltre Saturno e non possiede grandi satelliti, si è diretto verso Nettuno e lo ha raggiunto nell'agosto del 1989.

Tritone si è rivelato molto più piccolo di Titano, ma anche più freddo, dato che riceve soltanto 1/900 del calore solare ricevuto dalla Luna, e 1/10 di quello ricevuto da Titano. Anche Tritone, dunque, dovrebbe possedere un'atmosfera, e addirittura più spessa.

Tuttavia, questi due mondi non sono "maturi per la raccolta". Titano si trova a oltre 1400 milioni di chilometri dalla Terra, mentre Tritone è tre volte più lontano, vale a dire a 4500 milioni di chilometri. A una distanza simile, qualsiasi quantità di benzina si potesse ricavare da Tritone sarebbe troppo costosa. Inoltre, non sarebbe una buona idea trasferire sulla Terra quella lontanissima benzina: la sua combustione consumerebbe tutto il nostro ossigeno sostituendolo con anidride carbonica, un grave problema già provocato dalla combustione della benzina e del carbone presenti sulla Terra.

Nondimeno, può darsi che arrivi un giorno in cui gli esseri umani fonderanno grandi insediamenti nel sistema solare esterno. In questo caso, Tritone costituirà certamente una preziosa risorsa per il genere umano. Anche se, senza dubbio, la benzina non sarebbe utilizzata a scopi energetici, perché i lontanissimi insediamenti umani sarebbero alimentati da reattori a fusione nucleare.

Ciò nonostante, questi due mondi lontani conterrebbero composti di azoto, carbonio e idrogeno, tre elementi essenziali per la manutenzione degli insediamenti spaziali. Questi elementi sono relativamente rari sulla maggior parte dei mondi ai quali possiamo avvicinarci. (La Luna non ne possiede affatto, per esempio, e quindi i coloni lunari dipenderebbero ancora dalla Terra per i rifornimenti di questi tre elementi.) I

membri dei più lontani avamposti umani saranno perciò ben felici di poter ottenere quello di cui avranno bisogno da Titano e da Tritone.

L'elusivo decimo pianeta

Per più di un secolo gli astronomi di tutto il mondo si sono dati da fare per cercare un grande pianeta oltre Nettuno, e non l'hanno trovato. Adesso, però, hanno a disposizione un nuovo strumento che li aiuterà in questa impresa. Si tratta di una sonda spaziale tuttora in contatto radio con la Terra, sebbene si trovi ben oltre il pianeta più esterno del sistema solare, l'ultimo pianeta noto.

Ma, prima di tutto, perché gli astronomi sono convinti che esista un decimo pianeta?

Dopo la scoperta di Urano, il settimo pianeta, avvenuta nel 1781, risultò che la sua orbita divergeva leggermente da quella calcolata. Gli astronomi decisero allora che ci doveva essere un ottavo pianeta più esterno, la cui attrazione gravitazionale su Urano non era stata presa in considerazione. Negli anni successivi al 1840 gli astronomi cominciarono a calcolare dove avrebbe dovuto trovarsi questo ottavo pianeta per giustificare l'orbita di Urano. Nel 1846 il punto celeste indicato fu esaminato, e per scoprire Nettuno bastò una mezz'ora di osservazioni astronomiche.

In seguito, nel 1900, gli astronomi cominciarono a calcolare l'eventuale posizione di un altro grande pianeta oltre Nettuno. Stavolta la ricerca fu di gran lunga più difficoltosa. Più un pianeta è lontano, più tenue è la luce solare che riflette e più è difficile individuarlo su uno sfondo di stelle altrettanto tenui. Quel che è peggio, più un pianeta è lontano e più lentamente si muove, rendendo ancor più difficoltoso individuarlo nella massa di stelle immobili.

Nel 1930, tuttavia, fu scoperto il nono pianeta: Plutone. Si trovava proprio oltre Nettuno e, per un po', parve che il problema fosse stato risolto. Ma più si studiava Plutone, più lo si scopriva piccolo. Attualmente sappiamo che ha dimensioni inferiori a quelle della Luna, anzi, è a malapena più grande di un asteroide. È talmente piccolo da non avere effetti gravitazionali sensibili su Urano o Nettuno.

Ciò significa che gli astronomi devono ancora scoprire qualche oggetto di notevoli dimensioni oltre Nettuno, ovvero il decimo pianeta. Finora però non è stato individuato niente.

Nel 1972, però, fu lanciata verso Giove una sonda denominata *Pioneer 10* e poco dopo ne partì una seconda, la *Pioneer 11*. Nel 1973 e nel 1974 le due sonde sono passate accanto a Giove e da allora hanno proseguito il viaggio allontanandosi dal Sole. Ormai il *Pioneer 10* si trova ben oltre l'orbita di Nettuno, e dal momento che Plutone si trova attualmente un po' più vicino al Sole di Nettuno (ha un'orbita ellittica eccentrica, molto allungata), il *Pioneer 10* si trova un miliardo e mezzo di chilometri più lontano dal Sole di qualunque pianeta conosciuto.

Il *Pioneer 10* continua a emettere onde radio di una precisa lunghezza d'onda, che varia leggermente in rapporto alla velocità della sonda. Gli astronomi sono in grado

di calcolare esattamente le variazioni di velocità e di lunghezza d'onda causate dall'attrazione gravitazionale del Sole e dei pianeti noti.

Se si presenta una variazione imprevista nella lunghezza d'onda radiofonica, deve dipendere per forza da un'attrazione gravitazionale. Esistono tre possibili fonti di attrazione. La prima è costituita dalla fascia di comete che si suppone esista ben oltre le orbite planetarie. Ma non è una fonte molto probabile, perché le comete sono disperse in ogni direzione e le diverse attrazioni gravitazionali tendono ad annullarsi a vicenda. La seconda fonte è una potenziale stella nana che accompagnerebbe da lontano il Sole. Infine, la terza e più probabile possibilità è costituita da quell'inafferrabile, elusivo decimo pianeta.

In anni recenti, tuttavia, niente di quanto è stato captato dal *Pioneer 10* indicherebbe la presenza di un campo gravitazionale imprevisto. Ciò porta a credere che oltre Nettuno non esista né una stella compagna del Sole né un pianeta di grandi dimensioni, tipo-Giove. (Giove ha una massa oltre 300 volte superiore a quella della Terra.)

Ciò nonostante, è possibile che esista un pianeta moderatamente grande, diciamo cinque volte la massa della Terra, che non sarebbe stato rilevato dal *Pioneer 10* perché al momento del passaggio della sonda era troppo lontano nell'orbita per avere un effetto gravitazionale rilevabile. (Una stella compagna del Sole oppure un pianeta delle dimensioni di Giove avrebbe fatto sentire il suo effetto dovunque si fosse trovato lungo la sua orbita.)

Secondo i calcoli, il decimo pianeta potrebbe avere un'orbita ellittica molto allungata che lo porterebbe discretamente vicino agli altri pianeti del sistema solare solo ogni 800 anni o giù di lì; in quel periodo sarebbe abbastanza vicino da avere un effetto gravitazionale per circa un centinaio di anni, dopo di che l'effetto diminuirebbe e in pratica scomparirebbe per un periodo di 700 anni.

Allora forse fra il 1810 e il 1910 il decimo pianeta si trovava abbastanza vicino da alterare leggermente le orbite di Urano e di Nettuno, e dopo il 1910 si è allontanato e non ha avuto più alcun effetto. In questo caso, non ci sarebbero altre interferenze fino al 2500 circa. Inoltre, è possibile che il pianeta si stia muovendo in un'orbita molto angolata rispetto alle altre, il che lo porterebbe in zone della volta celeste totalmente imprevedibili e lo renderebbe quindi molto più difficile da individuare. Ecco perché gli astronomi sono ancora in caccia.

La piccola sonda delle conferme

Un razzo sonda lanciato nello spazio il 2 marzo 1972 si sta spingendo verso l'esterno del sistema solare e ancor oggi, dopo diciotto anni dal lancio, continua a inviare sulla Terra utili messaggi.

La sonda in questione è il *Pioneer 10* la cui missione in origine era quella di esplorare Giove e dintorni. Il 2 dicembre 1973, ventun mesi dopo il lancio, è passato accanto a Giove e ha fornito all'umanità un primo sguardo ravvicinato sul pianeta gigante. Accelerato dal campo gravitazionale di Giove, ha poi proseguito il viaggio ad-

dentrandosi nel sistema solare esterno e verso la metà di giugno del 1983 ha oltrepassato l'orbita di Nettuno. Dal momento che Plutone, l'ultimo pianeta, a causa della sua orbita particolarmente eccentrica in quel periodo era più lontano di Nettuno, il *Pioneer 10* ha proseguito il viaggio oltre il sistema planetario.

Sono trascorsi altri anni e la sonda prosegue nel suo lunghissimo viaggio, ormai a oltre 6,7 miliardi di chilometri dal Sole. La Terra si trova a soli 150 milioni di chilometri dal Sole, una distanza che viene chiamata *unità astronomica* (UA). La distanza Sole-Terra corrisponde dunque a una UA. Ciò significa che il *Pioneer 10* si trova attualmente a circa 45 UA dal Sole. Il lontanissimo Plutone, nel suo punto di massima distanza dal Sole (afelio) si trova a 47 UA dal Sole. Ma in questo periodo è al perielio, il punto più vicino al Sole, e passerà un altro secolo prima che si trovi di nuovo all'afelio.

Dall'eccezionale distanza alla quale si trova, il *Pioneer 10* riesce ancora a inviare sulla Terra onde radio che vengono regolarmente ricevute. Viaggiando alla velocità della luce, sono necessarie sei ore e un quarto perché i suoi messaggi raggiungano la Terra.

Ma che cosa può mai trovare il *Pioneer 10* di interessante da riferire sul vasto spazio vuoto che si trova oltre i pianeti?

Ecco un esempio.

Il Sole è caldo e attivo e irradia nello spazio particelle elettricamente cariche, principalmente protoni ed elettroni, che viaggiano verso l'esterno del sistema solare in tutte le direzioni ad altissima velocità. A dire il vero il fenomeno fu scoperto già nel 1962 dalla sonda *Mariner 2*, in avvicinamento a Venere. Queste veloci particelle vengono chiamate *vento solare*.

Il vento solare è importante. Raggiunge la Terra, produce le aurore boreali nelle regioni polari e riempie il campo magnetico terrestre di particelle elettricamente cariche. Di tanto in tanto, sul Sole avviene un'immensa esplosione definita *eruzione solare*, dopo di che il vento solare infuria intensamente per un certo tempo, provocando sulla Terra tempeste magnetiche e intensi disturbi alle comunicazioni elettroniche. La forte concentrazione di particelle cariche può anche minacciare la vita degli astronauti, quindi il vento solare diventerà sempre più importante per noi a mano a mano che ci inoltreremo nello spazio.

Quando il vento solare, procedendo in senso centrifugo, si spinge nello spazio esterno si espande e cresce di volume, facendosi al contempo meno denso. Alla fine si dirada quasi completamente fino a dissolversi confondendosi con i fievoli fasci di gas che vagano ovunque nello spazio esterno. Prima che il *Pioneer 10* partisse per la sua missione, gli scienziati erano convinti che il vento solare si dissolvesse del tutto a una certa distanza oltre l'orbita di Marte.

Invece il *Pioneer 10*, a 45 UA dal Sole, sta ancora captando una traccia di vento solare benché si trovi a grandissima distanza oltre l'orbita di Nettuno. Adesso gli scienziati pensano che il vento solare sia in grado di raggiungere una distanza dal Sole compresa fra le 50 e le 100 UA prima di dissolversi nella generale oscurità interstellare. Il *Pioneer 10* dovrebbe continuare a inviare segnali radio per almeno altri dieci anni ed è possibile che raggiunga il limite di dissoluzione del vento solare prima di tacere per sempre.

Ed ecco qualcos'altro di interessante che il *Pioneer 10* può segnalare.

Einstein, nella sua teoria della relatività generale, ha predetto che ogni oggetto in movimento lungo un'orbita emette "onde gravitazionali" e in quel modo perde energia. Tuttavia, si tratterebbe di onde talmente deboli che la perdita di energia sarebbe infinitesimale.

Gli scienziati sono ansiosi di scoprire queste presunte onde gravitazionali. In primo luogo, individuarle costituirebbe un'altra prova schiacciante delle teorie di Einstein. In secondo luogo, le grandi catastrofi spaziali nelle quali siano coinvolte masse enormi - come i collassi gravitazionali, le collisioni stellari, oppure le attività dei buchi neri - dovrebbero liberare intense onde gravitazionali che fornirebbero preziose informazioni sull'evento in corso.

Sfortunatamente, anche le più intense onde gravitazionali sono talmente deboli che non esistono ancora strumenti abbastanza sensibili da individuarle. Gli scienziati hanno predisposto enormi cilindri di alluminio in grado di vibrare quando sono investiti da onde gravitazionali, ma la vibrazione è inferiore al diametro di un protone ed è ben difficile individuarla in mezzo a tutti i fenomeni che potrebbero provocare vibrazioni nei cilindri.

Però il *Pioneer 10* si trova a una distanza eccezionale nello spazio, in una specie di "silenzio" supremo nel quale non c'è nulla che provochi vibrazioni. Tutto quel che la sonda può percepire sono le forze gravitazionali che si manifestano sotto forma di debolissime onde. Nei primi mesi del 1989 le attrezzature a bordo del *Pioneer 10* sono state predisposte per tentare di scoprire queste particolari onde. Se l'esperimento avrà successo, l'ultima grande predizione della teoria della relatività generale formulata da Einstein verrà confermata e il *Pioneer 10* ancora una volta sarà la piccola sonda delle conferme.

Il satellite dall'orbita straordinariamente eccentrica

Il *Voyager 2*, che ha portato a termine con successo il suo viaggio a Urano nel gennaio del 1986, ha proseguito a tutta velocità in direzione di Nettuno - il quarto fra i pianeti giganti in ordine di grandezza, e il più lontano - ed era in rotta per raggiungerlo nell'agosto del 1989. Portando a termine quest'altro tratto del suo lungo viaggio, non studierà soltanto Nettuno, ma anche i suoi due satelliti. Nettuno probabilmente risulterà molto simile a Urano. Naturalmente, essendo più lontano dal Sole, è più freddo. Dei due satelliti quello chiamato Tritone ha un diametro di circa 3800 chilometri, ed è quindi un po' più grande della Luna, inoltre è lontano da Nettuno circa quanto la Luna dalla Terra. È molto probabile che Tritone assomigli moltissimo a Titano, il maggiore fra i satelliti di Saturno, tranne che per il fatto che Tritone sarà ovviamente più freddo. Tritone, come Titano, avrà probabilmente una densa atmosfera composta di azoto e metano, e laghi e mari di azoto liquido.

Nettuno però possiede anche un satellite più piccolo, Nereide, che potrebbe rivelarsi una delle novità più interessanti del viaggio della sonda spaziale, perché si tratta di

un mondo davvero strano.

Nereide è talmente lontano da noi e talmente piccolo che non fu scoperto fino al 1949, oltre un secolo dopo la scoperta di Nettuno e Tritone. È difficile stabilire quanto sia grande, ma due astronomi del Goddard Space Center di Greenbelt, nel Maryland, Martha W. Schaefer e suo marito Bradley E. Schaefer, hanno di recente stimato che abbia un diametro pari a circa 650 chilometri. Ciò confermerebbe che si tratta di un satellite piuttosto piccolo, ma non certo minuscolo.

La sua orbita però è straordinariamente eccentrica. Nel punto più vicino a Nettuno, Nereide passa a soli 1,4 milioni di chilometri, poi si porta verso l'esterno e nel punto più lontano arriva a 9,6 milioni di chilometri.

Di tutti i satelliti, Nereide è quello che ha l'orbita più allungata. Può darsi che si tratti di un asteroide che in passato si è avventurato troppo vicino a Nettuno ed è rimasto intrappolato. O forse si tratta di uno dei tanti corpi celesti di piccole dimensioni ammassatisi insieme 4,5 miliardi di anni fa per formare Nettuno, ma che si trovava talmente lontano dal resto da conservare la propria indipendenza. Se così fosse, Nereide potrebbe rivelarci qualcosa di più circa *l'ipotesi planetesimale*, una teoria che spiega come si sarebbero formati i pianeti esterni.

I coniugi Schaefer hanno svolto i loro studi su Nereide dalla Terra, naturalmente, e hanno scoperto che la luce riflessa dal satellite non ha nessun rapporto con quella degli altri satelliti o degli asteroidi conosciuti. Basterebbe questo a indicare che Nereide deve avere qualcosa di singolare.

Ancor più sorprendente è il fatto che anche la luce riflessa dal satellite è eccentrica, come la sua orbita. La luce di Nereide varia periodicamente d'intensità, il che però accade anche per altri satelliti e per alcuni asteroidi. Tuttavia, nel caso di Nereide la variazione è notevole. Gli Schaefer hanno dichiarato che il satellite arriva a volte a una luminosità quattro volte superiore alla media.

Di solito, una variazione periodica dell'intensità luminosa significa che l'oggetto astronomico sta ruotando su se stesso e, visto da un certo angolo di osservazione, risulta più brillante.

Ma perché? Una possibile spiegazione è che l'oggetto sia di forma irregolare. Per esempio, l'asteroide Eros, che nella sua orbita arriva fino a 22,5 milioni di chilometri di distanza dalla Terra nel punto più vicino, ha la forma di un mattone. Quando rivolge verso la Terra il lato più stretto, offre una superficie riflettente inferiore e risulta perciò meno luminoso di quando offre il lato più esteso.

Che sia lo stesso anche per Nereide? No, perché un oggetto irregolare dev'essere per forza di piccole dimensioni. Eros ha un lato maggiore, e quindi una larghezza massima, di soli 24 chilometri. Un oggetto celeste più grande possiede un'attrazione gravitazionale più intensa, e questa stessa attrazione costringe la materia di cui è composto a modellarsi in forma di sfera. Si calcola che qualunque corpo celeste con un diametro superiore ai 400 chilometri deve per forza essere sferico, e Nereide ha un diametro stimato di circa 650 chilometri. Di conseguenza, lo strano satellite di Nettuno *deve* essere una sfera e deve quindi apparirci sempre uguale, comunque possa ruotare.

Allora può darsi che la sua superficie non sia uniforme. Una parte è luminosa (fatta forse di ghiaccio) e riflette la luce solare in modo considerevole. Un'altra parte è

oscura (fatta forse di roccia) e riflette poca luce. Plutone, per esempio, risulta più o meno luminoso ogni 6,4 giorni. Questo periodo rappresenta il suo tempo di rotazione, mentre rivolge verso di noi zone più chiare o più scure.

Inoltre, anche Saturno possiede un satellite chiamato Giapeto che dimostra di avere una variazione dell'intensità luminosa persino maggiore di quella di Nereide. Giapeto è stato osservato molto più da vicino di Nereide, e si è scoperto che metà della sua superficie è ricoperta da uno strato di ghiaccio, mentre l'altra metà da una sostanza opaca.

Tuttavia, gli astronomi non hanno ancora scoperto in che modo Giapeto è diventato un satellite bicolore. Forse il ghiaccio si è formato soltanto su un emisfero e non sull'altro? O forse il ghiaccio ha coperto tutta la superficie di Giapeto, metà della quale è stata poi ricoperta da uno strato composto di un'altra sostanza più scura? E se è vera la seconda ipotesi, che cos'è questa sostanza scura, da dove proviene e perché si è concentrata solo su metà della superficie?

Quando il *Voyager 2* passerà a circa tre milioni di chilometri da Nereide, può darsi che anche quest'ultimo si riveli un satellite bicolore. Forse ci fornirà qualche indizio su come è diventato quel che è, indizi che Giapeto non ci ha fornito.

[NOTA DELL'AUTORE: Questo saggio è stato scritto prima che il *Voyager 2* raggiungesse Nettuno. Da quanto risulta, Nettuno è completamente diverso da Urano, e Tritone è del tutto diverso da Titano. Non è stata trasmessa nessuna notizia significativa a proposito di Nereide.]

Attend alla fiammata!

C'è un pericolo mortale sempre presente nella vita degli astronauti ma finora tutti sono stati abbastanza fortunati da evitarlo. Si tratta di un fenomeno chiamato *eruzione solare*.

Il Sole "spara" di continuo in ogni direzione numerose particelle cariche. Questi sciami di particelle cariche - detti *vento solare* - a volte possono essere mortali. In condizioni normali non lo sono, ma di quando in quando una breve ma violenta esplosione squarcia la superficie del Sole: si verifica un'eruzione solare. Un immenso flusso di particelle cariche, temporaneo ma molto intenso, viene scagliato verso l'esterno e si disperde nello spazio. Se il flusso consueto viene definito vento solare, uno particolarmente intenso è detto uragano solare.

Per esempio, nell'agosto del 1972 si è verificata una fortissima eruzione, la più intensa mai osservata dagli astronomi fin da quando questo fenomeno fu rilevato per la prima volta, 130 anni fa. Un fascio di potenti radiazioni fu proiettato nello spazio. Se avesse investito degli astronauti, protetti soltanto da semplici tute spaziali, li avrebbe uccisi tutti. Per fortuna l'eruzione si verificò proprio fra la missione *dell'Apollo 16* e quella *dell'Apollo 17*, un periodo in cui nello spazio non c'erano esseri umani.

Ma una fortuna così sfacciata non dura in eterno. Sarebbe perciò molto utile se si potesse scoprire quando avvennero esattamente tali fenomeni nel passato, per capire

se esiste un qualche tipo di periodicità e quindi prevedere, almeno approssimativamente, la data della prossima esplosione. In tal caso, potremmo assicurarci che gli astronauti rimangano al riparo durante il periodo stabilito.

Ma come si può guardare nel passato per vedere quando sono avvenuti questi fenomeni? Si può. Ed ecco come.

Quando delle radiazioni intense colpiscono l'atmosfera, una parte di esse è destinata a colpire atomi di azoto, e quando ciò avviene l'azoto qualche volta si trasforma in *carbonio-14*. Il carbonio-14 è una varietà radioattiva di carbonio che decade lentamente con un periodo di dimezzamento di 5730 anni. Ma dal momento che se ne forma continuamente di nuovo, l'atmosfera contiene sempre una piccola quantità di carbonio-14.

I vegetali assorbono l'anidride carbonica dall'aria e la trasformano nelle molecole che costituiscono il tessuto vegetale. La maggior parte del carbonio da essi utilizzato è del tipo normale, e quindi stabile, ma c'è sempre anche una piccola quantità di carbonio-14. Di conseguenza, i vegetali ne contengono sempre un po'.

Quando una pianta muore, smette di assorbire anidride carbonica e il carbonio-14 che già contiene decade lentamente senza essere rinnovato. In questo modo può essere utilizzato per la datazione del legno: più basso è il contenuto di carbonio-14, più tempo è trascorso da quando il frammento esaminato faceva parte di una pianta vivente.

Si possono poi studiare gli anelli legnosi presenti nelle sezioni dei tronchi d'albero, sia di alberi vivi sia di alberi morti, e dal modello degli anelli concentrici elaborare un calendario perché la traccia di ogni determinato periodo di anni è distintiva e unica. Un calendario del genere, basato sugli anelli di un tronco d'albero, è stato elaborato e ha percorso a ritroso la storia fino a novemila anni fa e oltre.

Questo tipo di calendario vegetale corrisponde esattamente al calendario basato sul carbonio-14, poiché più vecchio è il legno, secondo il calendario basato sugli anelli legnosi, più basso è il contenuto di carbonio-14.

Adesso arriva la parte interessante.

Per la maggior parte, il carbonio-14 presente in natura è prodotto dai raggi cosmici e dal vento solare. Di solito, si tratta di effetti stabili e regolari. Ma di tanto in tanto una supernova può esplodere abbastanza vicino alla Terra da produrre un'ondata di raggi cosmici. Sempre di tanto in tanto, ci può essere un'eruzione solare tale da provocare un forte aumento di vento solare.

In entrambi i casi, sia per una supernova sia per un'eruzione solare, si verifica un improvviso seppur ridotto aumento di carbonio-14 nell'atmosfera. La concentrazione non rimane alta a lungo, poiché l'immissione straordinaria si affievolisce rapidamente a mano a mano che la supernova o l'eruzione solare perdono d'efficacia. La quantità supplementare di carbonio-14 nell'atmosfera comincia allora a decadere. Tuttavia, mentre la concentrazione è ancora alta, i vegetali ne assorbono in maggior quantità, concentrandolo nei propri tessuti.

La differenza tra i due effetti consiste nel fatto che una supernova può presentarsi solo una volta ogni tanti secoli ed è di solito talmente evidente che sappiamo con certezza quando è avvenuta. Le eruzioni solari, invece, si verificano con frequenza molto maggiore, ma fino a pochi decenni fa nessuno le aveva mai notate.

Se certi particolari anelli legnosi presenti in un tronco d'albero vengono analizzati per verificare il contenuto di carbonio-14, può capitare di scoprire che in uno la concentrazione è più alta. Si può dunque stabilire con precisione l'anno in cui è avvenuto l'assorbimento straordinario di carbonio-14. Se risultasse che si tratta di un anno durante il quale non è esplosa nessuna supernova, allora si tratterà di un anno nel quale è avvenuta una poderosa eruzione solare.

Le analisi degli anelli legnosi sono particolarmente valide in Arizona, dove il clima secco ha conservato il legno più a lungo. Un gruppo di scienziati sotto la direzione di Paul E. Damon dell'Università dell'Arizona sta perciò intraprendendo un progetto di analisi degli anelli dei tronchi d'albero per verificarne il contenuto di carbonio-14. Può darsi che con i risultati raccolti si possa determinare una serie di "anni di eruzione", e forse sarà possibile accoppiare questo calendario con il ciclo delle macchie solari. Allora sapremo meglio come proteggere la vita degli astronauti.

Sfiorando il Sole

Il peggior disastro che possa capitare a un qualsiasi corpo celeste nel sistema solare è quello di entrare in collisione con il Sole. Ma in parte perché sono gli oggetti più piccoli, difficili da individuare, che hanno maggiori probabilità di incappare in un destino simile, fino a poco tempo fa gli scienziati non hanno mai realmente assistito a un evento del genere. Ora è probabile che ci riusciremo con l'ausilio di satelliti artificiali progettati appositamente per studiare la zona del Sole.

Gli oggetti di grandi dimensioni che si avvicinano di più al Sole sono le comete. Molte comete hanno un'orbita che le conduce al sistema solare interno fino a sfiorare il Sole, e poi di nuovo nello spazio oltre i pianeti. Alcune si avvicinano al Sole più di altre, e quelle che si avvicinano maggiormente vengono chiamate *sun-grazers*, "sfioratrici del Sole".

Gli astronomi, osservando il cielo per mezzo dei telescopi con base a terra, in passato ne hanno individuate otto entro un raggio di otto milioni di chilometri dalla superficie solare o anche meno, in qualche caso molto meno. La sfioratrice maggiormente degna di nota è stata una cometa che ha rasentato la superficie del Sole nel 1963. Nel punto più vicino si è trovata a soli novantamila chilometri, una distanza pari a un quarto di quella tra la Luna e la Terra.

Se fosse concepibile immaginare di trovarsi sulla superficie della cometa nel punto di passaggio più vicino al Sole, vedremmo l'astro fiammeggiante estendersi per due terzi dell'orizzonte e occupare metà dell'intera area del cielo. La cometa riceverebbe una quantità di luce e di calore 53 mila volte superiore a quella ricevuta dalla Terra.

Per combinazione, le comete sono composte per la maggior parte di ghiaccio. Come possono resistere a tutto quel calore? Perché non si sciolgono ed evaporano all'istante?

Tanto per cominciare, le comete non restano a lungo in prossimità del Sole. La sua attrazione gravitazionale diventa sempre più forte a mano a mano che la distanza tra

la cometa e il Sole diminuisce. Ciò significa che lungo l'orbita la cometa viene spinta ad accelerare sempre più. Nel punto più vicino al Sole, la cometa del 1963 viaggiava ad almeno cento chilometri al secondo, e per aggirarlo ha impiegato poco più di tre ore.

Eppure, anche un lasso di tempo così ridotto trascorso vicino al Sole potrebbe sembrare sufficiente a sciogliere completamente la cometa... ma c'è una circostanza attenuante. La cometa inizia a evaporare e in un batter d'occhio viene avvolta da una nuvola di vapore. Però le comete non sono di ghiaccio puro: sono principalmente composte di ghiaccio "sporco", vale a dire di ghiaccio contenente grandi quantità di frammenti rocciosi e di sabbia. La nuvola che l'avvolge è perciò composta non solo di vapore, ma anche di un pulviscolo che riflette gran parte della luce solare proteggendola. Di conseguenza, la cometa riesce a superare il punto più vicino al Sole e ad allontanarsi ancora in larga parte intatta.

Ciò nonostante, l'avvicinamento ha un effetto devastante: le comete più grandi che si avvicinano troppo al Sole emettono nuvole di vapore e di polvere che vengono spinte verso l'esterno e si allontanano dal Sole in una lunga coda. Nel 1843 una cometa formò una coda lunga oltre 300 milioni di chilometri, che si spingeva oltre l'orbita di Marte. Ovviamente, la cometa in questione perse una gran quantità di massa in quell'unico passaggio orbitale.

In passato, alcune sfioratrici devono essere state talmente danneggiate dal calore da frantumarsi. In effetti, le otto sfioratrici scoperte per mezzo dei telescopi sono probabilmente tutte spezzoni di un'unica cometa originaria: tutte e otto seguivano più o meno la stessa orbita.

Senza dubbio, esistono altri frammenti più piccoli della stessa cometa originaria, troppo piccoli per essere individuati fino a quando non saranno abbastanza vicini al Sole da formare nuvole di vapore, dopo di che torneranno a essere invisibili a causa del bagliore accecante del Sole.

Ma di recente è stato lanciato nello spazio un satellite artificiale, denominato *Solar Maximum Mission*, o, in forma abbreviata, *Solar Max*, progettato appositamente per studiare l'area di spazio intorno al Sole. Il satellite è fornito di un *coronografo*, uno strumento che copre il disco solare in modo che la porzione di cielo circostante possa essere studiata eliminando la luminosità diretta.

Nell'ottobre del 1987 il *Solar Max* ha fotografato due scie in prossimità del Sole che sembravano due piccole comete con le rispettive code allungate verso l'esterno. I due oggetti hanno attraversato la regione coperta dal coronografo, cosicché si ritiene che si muovessero dalla parte opposta del Sole. Alla fine si sarebbe dunque dovuto vederli emergere dall'altra parte della regione oscurata, uscendo dal Punto opposto a quello da cui erano entrati.

Ma nel luglio del 1988 è stato annunciato che non sono emersi affatto. Dando per scontato che la loro ricomparsa non sia stata persa Per una ragione o per l'altra, la conclusione obbligata è che le due Piccole comete siano evaporate. È possibile anche che siano passate talmente in profondità nell'atmosfera solare da sperimentare una degenerazione delle orbite e quindi precipitare nel Sole.

Presumibilmente, eventi del genere accadono di tanto in tanto, e anche molto spesso per oggetti di piccole dimensioni come quelli che chiameremmo meteoriti, se col-

pissero la Terra. Tuttavia, questo destino tremendo è riservato soltanto ai piccoli oggetti celesti con orbite notevolmente eccentriche. A condizione che il sistema solare non subisca interferenze esterne, i veri pianeti con orbite pressoché circolari, come la Terra, godono di completa sicurezza. Non entreranno mai in collisione con il Sole.

La nube invisibile

C'è una parte del sistema solare che nessuno ha mai avuto l'opportunità di vedere, ma della cui esistenza quasi tutti gli astronomi sono convinti. Nel luglio del 1987 tre astronomi sovietici hanno fornito un ulteriore argomento di discussione, informando il mondo scientifico che questa parte invisibile è molto più estesa e ben più importante di quello che si supponeva.

La teoria dei tre astronomi sovietici prende l'avvio dalle comete. Ci sono sempre numerose comete che sfrecciano a gran velocità all'interno del sistema planetario. Da dove arrivano?

Nel 1950 l'astronomo olandese Jan Hendrik Oort suggerì che a una certa distanza oltre il pianeta più lontano ci fosse una vasta nube di piccoli oggetti celesti costituiti di ghiaccio. Ciascuno di essi, teorizzò Oort, ruota lentamente attorno al Sole in un'orbita che dura milioni di anni, ed è possibile che di questi oggetti ce ne siano a miliardi.

Di tanto in tanto, qualcosa - una collisione con un altro frammento di ghiaccio oppure l'attrazione gravitazionale di una stella vicina - dirotta entro il sistema solare uno di questi oggetti. Mentre poi si avvicina al Sole, il ghiaccio di cui è composto liquefa ed evapora, e il pulviscolo mescolato al ghiaccio giunge in superficie e forma una sorta di nebbia (*chioma*) che avvolge completamente l'oggetto celeste. Questa chioma viene soffiata indietro dal vento solare in una coda enorme che fa da scia, e in tal modo l'oggetto diventa quella che chiamiamo una *cometa*. In questa forma ruota intorno al Sole, dopo di che torna ad allontanarsi in direzione della lontana nube originaria.

Tuttavia, di quando in quando una di queste comete viene catturata dall'attrazione gravitazionale di un pianeta e allora, come la cometa di Halley, rimane per sempre fra i pianeti del sistema solare. Diventa una *cometa periodica*, ovvero una cometa che ritorna nelle vicinanze del Sole ogni pochi anni o pochi decenni.

Che dimensioni ha la "nube di Oort"? Per una stima approssimativa dobbiamo innanzi tutto avere almeno un'idea vaga delle dimensioni di una cometa media. Durante la recente apparizione della cometa di Halley, passata notevolmente vicino alla Terra, le sono state mandate incontro alcune sonde spaziali che hanno effettuato certe misurazioni. È risultato che la cometa di Halley è considerevolmente più grande di quel che si credeva. Si tratta di un oggetto di forma irregolare, ma che ha un diametro medio di circa 12 chilometri e che contiene circa 140 miglia cubiche di ghiaccio, il che corrisponde a circa 30 miliardi di tonnellate. Davvero una bella palla di neve!

I tre astronomi sovietici hanno presentato diverse ragioni per supporre che la co-

meta di Halley sia una cometa "media" e che la nube di Oort sia composta di oggetti con un peso medio di 30 miliardi di tonnellate.

Stime recenti indicano che la zona più spessa della nube di Oort è situata a una distanza compresa fra i tremila e i seimila miliardi di chilometri dal Sole, cioè circa da mille a duemila volte più lontano del pianeta più esterno, il che spiega perché non sia possibile vedere la nube di comete. È troppo lontana. Le stime più recenti relative al numero di comete presenti nella nube parlano di circa duemila miliardi di comete (2.000.000.000.000!).

Se ce ne sono così tante, e ognuna ha una massa paragonabile a quella della cometa di Halley, la massa totale della nube di Oort è all'incirca cento volte la massa della Terra. Oppure circa uguale a quella di Saturno, il secondo pianeta in ordine di grandezza. Si tratta di una stima mille volte più grande di quella precedente, il che rende la nube di Oort una parte del sistema solare ben più significativa di quanto si pensava finora.

Un'altra cosa da tenere in considerazione è che ogni corpo celeste nel sistema solare ruota attorno al proprio asse, e che tutti orbitano attorno al Sole... tranne il Sole stesso. Tutte queste rotazioni e rivoluzioni sono caratterizzate da una quantità che si chiama *momento angolare*, comune a tutti gli oggetti, dalle stelle agli elettroni. Ci sono due fattori essenziali che determinano la grandezza del momento angolare: la massa dell'oggetto e la sua distanza dal centro intorno di rotazione.

Il Sole ha una massa mille volte maggiore di tutti i pianeti e oggetti celesti che gli ruotano intorno, cosicché si è portati a credere che il Sole possieda quasi tutto il momento angolare presente nel sistema solare. Però il Sole ruota soltanto intorno al proprio asse. La sua superficie dista dal centro al massimo 690 mila chilometri.

I pianeti, benché più leggeri del Sole, si muovono lungo lontane traiettorie che li portano a centinaia di milioni di chilometri dal Sole. La grande distanza compensa abbondantemente la minore massa dei pianeti. Il risultato è che al Sole tocca soltanto lo 0,2 per cento del momento angolare totale del sistema solare.

Per esempio, sebbene Giove (il pianeta più grande) abbia una massa che corrisponde soltanto a 1/1000 della massa solare, possiede un momento angolare circa 30 volte maggiore di quello del Sole.

E le comete, che sono a dir poco minuscole ma ruotano a migliaia di miliardi di chilometri dal Sole? Gli astronomi sovietici hanno calcolato che il loro momento angolare complessivo vale dieci volte quello di tutto il resto del sistema solare. Ciò significa che il 90 per cento del momento angolare sarebbe patrimonio delle comete, il 9,8 per cento dei pianeti e lo 0,2 per cento del Sole. Se così fosse, è probabile che si debba riconsiderare completamente le nostre ipotesi sulle origini del sistema solare.

Durante gli ultimi quarant'anni gli scienziati hanno determinato in che modo il momento angolare è stato trasmesso dal Sole ai pianeti quando avvenne la formazione del sistema solare. Non è stato semplice. E, ora, capire in che modo la maggior parte del momento angolare è stata trasmessa alla lontanissima nube di Oort sarà un'impresa ancor più difficile.

Questioni di nome

Gli scienziati talvolta, essendo dei comuni mortali, vanno a invischiarsi in beghe tutto sommato banali. Proprio adesso, per esempio, alcuni astronomi stanno azzuffandosi sul problema se sia più corretto chiamare Plutone "pianeta" oppure "asteroide".

La scoperta di Plutone risale al 1930. Ci si rese conto che ruotava intorno al Sole a una distanza media maggiore di quella di qualunque altro pianeta. Nessuno dubitò del fatto che fosse un pianeta, e tale è stato considerato per oltre cinquant'anni. L'inghippo è nelle sue dimensioni.

Quando fu scoperto, si credette che fosse molto più grande della Terra, ma la sua distanza non permise di misurarne le dimensioni effettive. Un po' alla volta, però, venne raccolta una serie di informazioni sul suo conto, e più dati avevano gli astronomi, più piccolo diventava Plutone. In anni recenti, si scoprì che Plutone aveva un satellite, Caronte, e quando il sistema Plutone-Caronte passò davanti a una stella, si riuscì a ottenere una misura delle dimensioni dei due astri.

Attualmente si ritiene che Plutone abbia un diametro di circa 2300 chilometri, ovvero i tre quarti del diametro lunare. Dato che è costituito di materiale ghiacciato leggero, la sua massa corrisponde soltanto a un sesto di quella lunare, fatta di roccia. Di conseguenza, alcuni astronomi indignati sostengono che Plutone è troppo piccolo per essere considerato un pianeta e che dovrebbe essere degradato al rango di asteroide.

In realtà, nel sistema solare ci sono tre tipi di corpi celesti.

In primo luogo c'è il Sole, talmente enorme (333 mila volte la massa della Terra) da sopportare la fusione dell'idrogeno nel nucleo e da brillare di luce e di calore propri.

In secondo luogo ci sono i pianeti, che sono corpi scuri in orbita intorno al Sole.

In terzo luogo ci sono i satelliti, che sono corpi scuri in orbita intorno ai pianeti.

Non esiste alcuna possibilità di confondere tra loro questi tre tipi di oggetti celesti. Quando si prende in considerazione un oggetto celeste, deve trattarsi per forza di un sole, di un pianeta o di un satellite. E la scelta è evidente.

Ma i pianeti hanno una vasta gamma di dimensioni. Ciò venne ben compreso dagli astronomi nel corso del primo decennio del 1800, quando furono scoperti quattro nuovi pianeti, considerevolmente più piccoli degli altri. Ruotavano tutti e quattro intorno al Sole in una fascia compresa fra le orbite di Marte e di Giove. Da allora, migliaia di altri pianetini sono stati scoperti nella stessa fascia del sistema solare.

Si finì per chiamare questi pianetini *asteroidi*, che vuol dire "simili a stelle", perché al telescopio apparivano talmente piccoli da ricordare i puntini luminosi delle stelle più che i dischi luminosi dei pianeti.

Tuttavia, gli asteroidi *sono* pianeti a tutti gli effetti. Ruotano intorno al Sole esattamente come i pianeti più grandi. La questione delle dimensioni è secondaria. Si dovrebbe parlare di "pianeti maggiori", riferendosi a quelli più grandi, e di "pianeti minori", riferendosi a quelli più piccoli, ma da un punto di vista astronomico un simile distinzione è priva di significato e nasce soltanto dall'abitudine umana di inserire ogni cosa in uno schema. Nondimeno, se decidiamo di adottare questa distinzione dobbiamo anche decidere dove cadrebbe la linea di demarcazione tra pianeti maggiori e mi-

nori.

Prima della scoperta degli asteroidi, il più piccolo pianeta conosciuto era Mercurio, che ha un diametro di 4848 chilometri, pari a circa due quinti di quello della Terra e soltanto a un trentesimo di quello di Giove. Mercurio è un mondo di piccole dimensioni, ma è sempre stato chiamato pianeta e nessuno si è mai sognato di metterlo in dubbio.

Per quanto riguarda gli asteroidi, o pianeti minori, il primo a essere scoperto (l'1 gennaio del 1801) è anche il più grande. È stato battezzato Cerere e ha un diametro di 1030 chilometri. Cerere è grande appena un po' più di un quinto di Mercurio e la sua massa è duecento volte più piccola.

Come si vede, c'è un bel divario tra Mercurio e Cerere. Fino a pochi anni fa sembrava del tutto corretto affermare che un pianeta minore (o asteroide) dovesse avere dimensioni pari o inferiori a Cerere. In oltre 180 anni, non è stato scoperto nessun oggetto planetario che confondesse le acque ponendosi, dal punto di vista delle dimensioni, in un punto intermedio fra Mercurio e Cerere.

E poi, finalmente, vennero calcolate le dimensioni di Plutone. Se ha davvero un diametro di 2280 chilometri, allora è circa due volte e mezzo più grande di Cerere e due volte più piccolo di Mercurio. In termini di massa, Plutone ha una massa che è circa sedici volte quella di Cerere e circa un sedicesimo di quella di Mercurio.

In breve, Plutone si situa esattamente a mezza strada tra Mercurio e Cerere. Ebbene, da quale parte della linea di demarcazione dovrebbe essere collocato? Dobbiamo considerarlo un pianeta maggiore o un pianeta minore (asteroide)? Entrambe le definizioni sarebbero altrettanto corrette.

In realtà, non ha grande importanza. Ma, giusto per evitare dispute tra gli astronomi, avrei un suggerimento. Perché non chiamare *mesopianeta* qualunque pianetino a metà strada tra Mercurio e Cerere? (*Meso* in greco significa "intermedio".) Plutone, per ora, sarebbe così l'unico mesopianeta... Non sarebbe una proposta sensata?

Plutone e Caronte: due mondi sconosciuti

Plutone è il mondo meno conosciuto in tutto il sistema solare. Ma adesso abbiamo appreso alcuni particolari interessanti, grazie anche a un insolito colpo di fortuna.

Nel 1978, un astronomo di nome James W. Christy scoprì che Plutone aveva un satellite. Christy battezzò il satellite Caronte, dal nome del nocchiero che nella mitologia greca trasbordava le anime dei defunti attraverso lo Stige e le sbarcava sulla sponda del regno sotterraneo di Plutone. Ogni 124 anni Caronte entra in un periodo di cinque anni durante il quale, guardandolo dalla Terra, passa direttamente davanti a Plutone e poi dietro, compiendo un'orbita completa in 6,4 giorni. Questo periodo di eclissi periodiche avviene quando Plutone si trova nel punto di massima distanza dal Sole (afelio) e di nuovo quando Plutone giunge nel punto più vicino al Sole (perielio).

Si dà il caso che Caronte sia stato scoperto proprio poco tempo prima che iniziasse il suo quinquennio di eclissi, e gli astronomi stanno perciò ancora osservandone il

comportamento con estremo interesse. Inoltre, Plutone si trova adesso al perielio, ovvero nella posizione migliore per essere studiato dalla Terra. Se Caronte fosse stato scoperto soltanto cinque anni più tardi gli astronomi avrebbero perso questa occasione e avrebbero dovuto attendere due secoli e mezzo prima del successivo ciclo quinquennale di eclissi nel punto più vicino (ma in tal caso, a dire il vero, parecchio tempo prima avremmo inviato delle sonde spaziali).

La prima cosa che gli astronomi hanno scoperto grazie alle eclissi è stata la grandezza dei due corpi celesti. Misurando il tempo impiegato da Caronte per attraversare Plutone da un lato all'altro a una velocità nota, gli astronomi hanno calcolato le dimensioni dell'uno e dell'altro, scoprendo che il diametro di Plutone misura soltanto 2280 chilometri. Tale misura lo colloca all'ultimo posto nella graduatoria delle grandezze planetarie. È addirittura più piccolo dei sette satelliti maggiori presenti nel sistema solare. (Per esempio, la sua massa corrisponde a un decimo di quella lunare.) Ciò nonostante, non sarebbe corretto definirlo un asteroide; piuttosto, è un corpo celeste intermedio: troppo piccolo per un pianeta e troppo grande per un asteroide.

Caronte è ancora più piccolo, naturalmente. Misura soltanto 1280 chilometri di diametro, in pratica un po' più della metà di Plutone, il che rende il sistema Plutone-Caronte quanto di più vicino esista a un "pianeta doppio". Fino alla scoperta di Caronte era il sistema Terra-Luna ad avvicinarsi di più alla definizione di pianeta doppio, ma la Luna ha un diametro pari soltanto a un quarto di quello terrestre.

Quando due mondi sono molto vicini, la loro rotazione è rallentata dagli effetti di marea. Per esempio, l'effetto di marea della Terra ha rallentato la rotazione della Luna al punto che quest'ultima mostra alla Terra sempre lo stesso emisfero. Anche la rotazione della Terra è stata rallentata a causa dell'effetto di marea della Luna, ma la Terra è talmente grande che il rallentamento, per ora, è molto modesto.

Plutone e Caronte, però, distano l'uno dall'altro soltanto 19.700 chilometri, circa un ventesimo della distanza tra la Terra e la Luna, il che aumenta enormemente gli effetti di marea. Per giunta, Plutone e Caronte sono così piccoli che è più facile rallentarli. Come risultato, entrambi i pianeti hanno rallentato la rotazione al punto che ciascuno mostra all'altro sempre lo stesso emisfero. Sono in permanenza uno di fronte all'altro e ruotano intorno a un baricentro comune come le due sfere di un manubrio da ginnastica. Sono gli unici due mondi in tutto il sistema solare che ruotino in questo modo.

Grazie alle eclissi di Caronte gli astronomi hanno avuto la possibilità di scoprire qualcosa di più sulla costituzione di Plutone e del suo satellite studiando la luce infrarossa riflessa dai due. Quando Caronte si trova dietro Plutone, dalla Terra possiamo vedere soltanto la luce riflessa da Plutone. Quando invece Caronte emerge da dietro a Plutone, vediamo la luce riflessa da entrambi. Di conseguenza, se sottraiamo la luce riflessa da Plutone otteniamo come risultato soltanto la luce riflessa da Caronte.

Proprio da questo dato gli astronomi dell'Università dell'Arizona hanno cominciato, nel marzo del 1987, a determinare la natura chimica della superficie e dell'atmosfera dei due mondi.

Hanno scoperto che la superficie di Plutone sembra ricca di metano, uno dei principali componenti del gas naturale che sulla Terra utilizziamo come combustibile. Il metano congela assumendo forma solida a una temperatura estremamente bassa, cosicché anche alla temperatura di Plutone - che si calcola sia intorno ai $-204\text{ }^{\circ}\text{C}$ - sarà

ancora parzialmente in forma gassosa. A quanto pare, dunque, Plutone ha un'atmosfera di metano con una densità novecento volte inferiore a quella dell'atmosfera terrestre (quasi un decimo della rarefatta atmosfera marziana).

Naturalmente ai due poli di Plutone la temperatura è più bassa, quindi in quei punti abbonda il metano in forma solida. Plutone potrebbe avere calotte polari di metano ghiacciato che si estendono a mano a mano che il pianeta si allontana dal Sole lungo la propria orbita.

Gli astronomi sono rimasti piuttosto sorpresi nello scoprire che la luce riflessa di Caronte era del tutto diversa da quella di Plutone. Dato che Caronte è più piccolo, ha una gravità inferiore e non è in grado di trattenere le molecole di metano gassoso; così, nel corso dei miliardi di anni di esistenza del sistema solare, il metano di Caronte è sfuggito dal satellite.

Quel che resta è solo acqua allo stato solido, la quale non evapora certo alla gelida temperatura che regna su Caronte, e che quindi non è andata perduta. Di conseguenza, mentre Plutone ha una superficie composta di metano e un'atmosfera molto rarefatta composta di gas metano, Caronte ha una superficie coperta di ghiaccio e un'atmosfera quasi inesistente.

Prima della scoperta di Caronte, avvenuta nel 1978, gli astronomi non si sarebbero mai immaginati di scoprire così presto una simile messe di informazioni particolareggiate su Plutone, l'ultimo pianeta conosciuto e il più lontano.

Il caso del pianeta mancante

La scienza dà le sue delusioni. Di quando in quando, ci si trova di fronte a una scoperta che sembra soddisfacente e pare indicare una strada dove il più è fatto, dopo di che tutto svanisce. Un vero peccato!

Per esempio, qualsiasi oggetto abbastanza grande - diciamo con una massa pari almeno a un decimo della massa del Sole - raggiungerebbe nel nucleo, in fase di formazione, una temperatura e una pressione talmente alte da provocare il decadimento e la fusione degli atomi, producendo enormi quantità di radiazioni. In altri termini, un oggetto abbastanza grande sperimenta la cosiddetta "fusione nucleare" e diventa quel genere di bomba all'idrogeno cosmica che chiamiamo "stella". Maggiore è la massa, più grande, più calda e più luminosa è la stella.

Giove, il pianeta più grande di cui si abbia conoscenza, ha soltanto un millesimo della massa del Sole: non abbastanza da subire la fusione nucleare del nucleo; di conseguenza non brilla di luce propria. Lo possiamo vedere soltanto grazie alla luce solare che riflette. Se si trovasse da solo nello spazio, senza alcuna stella vicina, sarebbe completamente buio. Sarebbe una *nana nera*: nera perché non brilla di luce propria e nana a causa delle dimensioni ridotte.

Al di fuori del sistema solare non sono mai stati individuati pianeti in orbita intorno alle stelle. In primo luogo, la luce che riflettono sarebbe notevolmente fioca alle distanze enormi delle stelle più vicine. In secondo luogo, la debole luce riflessa sareb-

be sopraffatta dalla loro stella.

Ciò nonostante, immaginiamo per un attimo che una stella possieda un pianeta cinquanta volte più grande di Giove. Una massa simile non basterebbe a innescare una fusione nucleare interna al pianeta, ma il nucleo potrebbe comunque avere una temperatura abbastanza elevata da far emettere al pianeta un bel po' di luce infrarossa e forse anche una certa quantità di luce visibile. Non sarebbe granché, ma renderebbe comunque il pianeta più facilmente individuabile, più di quel che sarebbe se brillasse soltanto di luce riflessa. Un corpo celeste del genere, con dimensioni intermedie tra un pianeta gigante e una piccola stella, potrebbe essere definito una *nana bruna*, cioè non del tutto nero.

Nel 1985 venne scoperto un oggetto celeste in prossimità della piccola stella Van Biesbroek 8 (VB 8). La luce di VB 8 era piuttosto fioca, ma l'oggetto scoperto aveva una luce ancora più tenue, quasi tutta nell'infrarosso che ha un'energia inferiore alla luce visibile. In effetti, la luce corrispondeva esattamente a quel che ci si aspetterebbe da una nana bruna. Gli astronomi che fecero la scoperta, al Kitt Peak Observatory in Arizona, erano sicuri che si trattasse proprio di una nana bruna. Chiamarono l'oggetto scoperto Van Biesbroek 8B (VB 8B).

In seguito, nel mondo scientifico si discusse a lungo se VB 8B fosse un pianeta gigante, con una massa circa cinquanta volte quella di Giove, oppure una minuscola stella nana, con una massa pari circa a un ventesimo di quella del Sole. Prevalse la tendenza di considerarlo un pianeta gigante, e se la conclusione fosse giusta si tratterebbe del primo pianeta scoperto intorno a una stella diversa dal Sole.

L'eccitazione nel mondo scientifico era provocata dal seguente fatto. Adesso che era stata scoperta la prima nana bruna (un tipo completamente nuovo di oggetto celeste), la stessa tecnica poteva essere impiegata per scoprirne altre. E lo studio di questi oggetti avrebbe potuto fornire nuovi indizi su quanto avviene al centro dei corpi celesti più grandi. Alla fine, si sarebbe potuto comprendere meglio tutte le stelle, compreso il Sole.

In realtà, era persino possibile che ci fossero talmente tante nane brune nell'universo da aiutarci a risolvere un altro enigma. Sembra che le stelle osservabili costituiscono soltanto il 10 per cento della massa dell'universo. Forse il rimanente 90 per cento è composto di nane brune.

Disgraziatamente, dopo VB 8B non furono fatte ulteriori scoperte di nane brune. Probabilmente c'era da aspettarselo. Oggetti simili, in bilico tra stella e pianeta, sono estremamente difficili da individuare e forse i nostri strumenti non erano adeguati all'impresa. Un ulteriore progresso tecnologico, quindi, potrebbe metterci in condizione di scoprire chissà quante nane brune... Forse.

Poi avvenne qualcosa di peggiore. Nell'estate del 1986 gli stessi astronomi che avevano scoperto VB 8B diedero un'altra occhiata al nuovo oggetto e scoprirono che non riuscivano più a localizzarlo. Anche un secondo gruppo di astronomi, che operava con un telescopio all'infrarosso situato a Mauna Kea nelle Hawaii, non riuscì a trovare la presunta nana bruna.

Che cos'era successo? Ovviamente VB 8B poteva essersi spostato. Se si fosse trattato di un pianeta avrebbe dovuto ruotare attorno a VB 8 proprio come accade per Giove e il Sole. In tal caso poteva darsi che nel tempo trascorso dal primo avvista-

mento la nana bruna si fosse spostata dietro la stella, o che le si fosse avvicinata tanto da confondersi nel suo bagliore.

Ma per spostarsi così tanto in un periodo così limitato, VB 8B avrebbe dovuto avere una massa enorme. (Più grande è la massa e più forte è l'attrazione gravitazionale con un altro oggetto massivo, e più veloce risulta il movimento dell'uno rispetto all'altro.) Addirittura, avrebbe dovuto avere una massa tale da raggiungere la fusione del nucleo e, di conseguenza, brillare di luce propria come una stella.

Ma così non è. E allora quale altra risposta potrebbe esserci? Ebbene, per una ragione o per l'altra, può darsi che ci sia stato un errore nella prima osservazione, e che VB 8B semplicemente non esista. E questa sarebbe una delusione quasi più grande di una nana bruna.

[NOTA DELL'AUTORE: In seguito alla pubblicazione di questo saggio è stata annunciata la scoperta di altre nane brune. Vedi p. 268.]

La luna cadente di Marte

Ci devono essere moltissimi bambini che guardano la Luna e si domandano perché mai non cada.

Ebbene, non cadrà mai. Anzi, si sta allontanando. Però ci sono altre lune che potrebbero cadere. Verso la fine del 1988 tre astronomi inglesi di un osservatorio situato nelle Isole Canarie hanno misurato gli spostamenti di Fobos, una delle due lune di Marte, ottenendo risultati inequivocabili.

Prima di tutto, prendiamo in considerazione la nostra Luna: si muove in un'orbita circolare intorno alla Terra e se fosse una sfera perfetta, e anche la Terra fosse una sfera perfetta e infine non ci fosse alcuna interferenza esterna, la Luna rimarrebbe nella sua orbita per un tempo indeterminato.

Però la Luna esercita un'attrazione diversa sul lato della Terra rivolto verso di essa e su quello opposto, e questa differenza dà origine alle maree. Il fenomeno viene definito "effetto di marea". L'effetto di marea della Luna provoca la formazione di una protuberanza sui due lati opposti della superficie terrestre.

La Luna esercita un'attrazione su questa protuberanza, e quest'ultima esercita a sua volta un'attrazione sulla Luna. Tuttavia, la Terra ruota intorno al proprio asse in un giorno, mentre la Luna ruota intorno alla Terra in 27 giorni, 7 ore e 43 minuti. Ciò significa che la protuberanza tende a essere trascinata dalla rotazione della Terra e si trova sempre leggermente più avanti della Luna.

Quindi la Luna esercita un'attrazione "all'indietro" sulla protuberanza, tendendo così a rallentare la rotazione terrestre, mentre la protuberanza esercita sulla Luna un'attrazione "in avanti", tendendo così ad accelerare la rotazione lunare.

L'effetto è davvero minimo, ma misurabile. A causa delle maree, il giorno terrestre diventa più lungo di un secondo ogni 62.500 anni. Ciò non influisce molto sulla nostra vita individuale, e neppure sull'intero arco storico della civiltà umana sulla Terra

fino a oggi. Tuttavia, l'effetto va accumulandosi.

Quattrocento milioni di anni fa, il giorno terrestre durava soltanto 22 ore e 13 minuti, cosicché un anno risultava composto di 395 giorni (la lunghezza dell'anno non viene modificata dall'effetto di marea). Alcuni fossili corallini hanno dimostrato che era proprio così. Dato che i depositi di calcare sui coralli aumentano su base quotidiana, e dato che l'aumento di calcare è più rapido nelle ore diurne che in quelle notturne, ed è oltretutto più rapido d'estate che d'inverno, i depositi di calcare producono qualcosa di simile agli anelli legnosi annuali presenti nei tronchi degli alberi. Di conseguenza, i fossili corallini con un'età di 400 milioni di anni dimostrano senza possibilità di errore l'effettiva brevità del giorno a quell'epoca.

Allo stesso modo la Luna, che viene continuamente costretta ad accelerare la rotazione intorno al proprio asse dall'attrazione della protuberanza terrestre, presenta nell'orbita un rigonfiamento verso l'esterno. Dopo ogni rivoluzione, il nostro satellite si trova all'incirca 0,25 cm più lontano dalla Terra. Evidentemente si tratta di un valore talmente piccolo da passare inosservato da una rivoluzione all'altra, ma anche questo effetto va accumulandosi con il passare del tempo.

Per esempio, il disco della Luna visto dalla Terra è grande all'incirca quanto il disco solare, sempre visto dalla Terra. Ciò significa che di tanto in tanto la Luna si sposta davanti al Sole fino a coprirlo completamente, concedendoci lo spettacolo di un'eclisse totale. Ma se la Luna si allontana dalla Terra, le dimensioni apparenti del suo disco diminuiscono, mentre il disco solare non cambia.

Entro 750 milioni di anni circa la Luna apparirà tanto piccola da non causare più nessuna eclisse totale. Il disco lunare non coprirà mai completamente quello solare. Ma credo che ci si debba mettere in una prospettiva veramente di lungo periodo per preoccuparsi di qualcosa del genere.

Ma che dire di Fobos, il satellite più vicino a Marte?

Si tratta di un oggetto celeste piuttosto piccolo, a forma di patata, con un diametro di circa 27 chilometri. Ruota attorno a Marte a una distanza massima di 9400 chilometri. Anch'esso produce una protuberanza sulla superficie di Marte per mezzo di un effetto di marea, ma essendo molto più piccolo della Luna ha un effetto molto limitato su Marte. D'altra parte, la lieve protuberanza sulla superficie marziana ha invece un effetto considerevole sul piccolo satellite.

Marte ruota intorno al proprio asse in 24 ore, 37 minuti e 23 secondi. Fobos però si trova talmente vicino a Marte - molto più di quanto non lo sia la Luna alla Terra - che compie una rivoluzione completa intorno al pianeta in sole 7 ore e 39 minuti. Fobos sfreccia letteralmente sulla superficie di Marte nascendo a ovest e tramontando a est. Dato che corre così in fretta, tende a essere leggermente avanti rispetto alla protuberanza sulla superficie marziana, quindi la sua attrazione gravitazionale fa leggermente accelerare la rotazione di Marte, mentre la protuberanza esercita un'attrazione retrograda su Fobos e di conseguenza lo rallenta.

Rallentando, Fobos si avvicina sempre più a Marte. Ogni anno, si avvicina di 3,8 centimetri a Marte e il suo tempo di rotazione diminuisce di pochi centesimi di secondo. Le misurazioni compiute verso la fine del 1988 dagli astronomi inglesi nell'osservatorio delle Isole Canarie dimostrano che negli ultimi dieci anni Fobos si è avvicinato a Marte esattamente di 35,5 centimetri.

Più il satellite si avvicina al pianeta, più grande diventa la protuberanza sulla superficie marziana e più rapidamente Fobos perde altitudine. Alla fine, quando sarà abbastanza vicino, la forza di gravità farà a pezzi Fobos, e i frammenti del satellite ricadranno sul pianeta. Fobos ha ruotato intorno a Marte forse per miliardi di anni, e ora abbiamo l'emozionante possibilità di vederlo nelle ultime fasi della sua esistenza.

C'è da dire che anche le ultime fasi, brevi nell'ottica di un astronomo, per chiunque altro sarebbero lunghissime. Infatti, saranno necessari circa 38 milioni di anni perché Fobos si disintegri e cada su Marte. Perciò, potete smettere di trattenere il fiato.

Vita su Marte rivisitata

Può darsi, ma è soltanto una possibilità, che sia stata scoperta della materia organica sulla superficie di Marte e di conseguenza si sia accesa una debolissima speranza che su Marte esista la vita, o possa esservi esistita un tempo.

Qualche anno fa, nel 1976, gli Stati Uniti fecero atterrare sulla superficie di Marte due sonde *Viking*. Le sonde raccolsero alcuni campioni di terreno e li sottoposero a una serie di analisi che, si sperava, avrebbero fornito indicazioni sull'eventuale presenza di forme di vita microscopica. I numerosi esami diedero risultati piuttosto vaghi. Gli scienziati non furono in grado di stabilire, sull'unica base di quelle analisi, se su Marte fosse effettivamente presente la vita o se i risultati fossero da imputare a qualche insolita combinazione chimica non biologica.

Uno dei test, tuttavia, sembrava indicare che non ci fosse affatto presenza di materia organica nel terreno, nessuna sostanza contenente carbonio. Dal momento che la vita, così come la conosciamo, è interamente basata sul carbonio, non può esistere vita in sua assenza. Perciò fu deciso che Marte fosse quasi certamente privo di vita. Ma di recente gli scienziati hanno avuto l'opportunità di dare un'altra occhiata alla superficie marziana. Non sono state inviate altre sonde su Marte per compiere nuove indagini, ma forse un frammento di Marte è giunto fino a noi.

Ecco com'è successo.

Negli ultimi dieci anni gli scienziati hanno ritrovato e raccolto numerose meteoriti in Antartide. Quasi sempre è molto difficile stabilire se sia caduta una meteorite a meno che non la si veda con i propri occhi. Una volta precipitata, una meteorite assomiglia notevolmente a un normale ammasso roccioso, a meno che non venga sottoposta ad accurate analisi chimiche. È evidente che sarebbe un'impresa sovrumana compiere analisi chimiche su tutti i sassi disseminati sulla superficie terrestre.

Tuttavia, sulla vasta calotta polare dell'Antartide non c'è altro che ghiaccio. Qualsiasi pezzo di roccia reperito in un ambiente simile può esservi arrivato solo sotto forma di meteorite. Di conseguenza, gli scienziati hanno raccolto finora un gran numero di frammenti rocciosi provenienti dall'Antartide, e sanno che si tratta di meteoriti. Per giunta, le meteoriti che cadono in quasi tutte le altre regioni della Terra vengono degradate dall'acqua, disgregate e invase da forme di vita microscopica. All'interno del continente antartico, invece, dove le temperature estremamente basse impediscono

qualsiasi presenza biologica, dove l'acqua si trova soltanto allo stato solido, le meteoriti rimangono esattamente com'erano al momento dell'impatto.

Una minima parte delle meteoriti recuperate presenta la stessa composizione dei campioni di roccia lunare riportati a terra dagli astronauti del progetto *Apollo*. La sensazione è che il bombardamento subito dalla Luna, lo stesso che le ha procurato tutti quei crateri, possa avere scagliato nello spazio alcuni frammenti della superficie lunare facendoli poi precipitare sulla Terra. Un'altra parte minima delle meteoriti raccolte in Antartide contiene piccole quantità di gas che hanno la stessa identica composizione dell'atmosfera di Marte. Molti astronomi sono convinti che questi campioni di meteoriti contenenti gas siano probabilmente di origine marziana.

Una di queste meteoriti è stata scrupolosamente analizzata nei primi mesi del 1989 da un'équipe di astronomi inglesi sotto la direzione di Ian P. Wright. Vi sono state ritrovate piccole quantità di due diversi tipi di composti a base di carbonio. Il primo consisteva di alcune tracce di carbonato di calcio, il comune calcare. L'altro, invece, di composti organici la cui natura non è stata ancora identificata, ma che sono probabilmente da mettere in relazione con il tipo di materiale che si trova nei tessuti viventi.

Ne consegue che se la meteorite proviene veramente da Marte e rappresenta quindi la superficie marziana, allora in quella stessa superficie ci devono essere per forza dei composti organici, e non si deve tenere conto delle analisi condotte dalle sonde *Viking*. Dopo tutto, le due sonde *Viking* sono atterrate in due soli punti della vasta superficie del pianeta, e può darsi che per caso in quelle località non vi fosse materia organica.

E se nella crosta superficiale marziana esiste del materiale organico, allora può darsi anche che vi esista qualche forma di vita, probabilmente molto primitiva, o che sia esistita in passato.

Ma anche nel caso in cui la meteorite sia effettivamente di provenienza marziana, la materia organica ritrovata ha davvero la medesima provenienza? Dopo tutto, la meteorite è giunta sulla Terra soltanto perché Marte ha subito l'impatto di un corpo celeste entrato in collisione col pianeta, impatto che ha causato il lancio nello spazio di frammenti della superficie marziana. Forse l'oggetto era una cometa, e si sa che le comete sono in parte costituite di composti a base di carbonio. In questo caso, anche se la meteorite proviene davvero da Marte il materiale organico potrebbe provenire dalla cometa.

Esistono due varietà di carbonio: il carbonio-12 e il carbonio-13. Le proporzioni relative di queste due varietà sono leggermente differenti sulla Terra e nelle comete. Alcuni astronomi hanno messo in evidenza il fatto che nelle meteoriti le proporzioni non sono quelle delle comete, ma sono quelle tipiche terrestri. Le meteoriti sono state forse contaminate, in un modo o nell'altro, mentre venivano manipolate dagli scienziati che le hanno raccolte, conservate e alla fine analizzate?

Wright e la sua équipe, però, garantiscono di aver trattato la meteorite con infinite precauzioni: impossibile che si sia contaminata. Se il rapporto fra il carbonio-12 e il carbonio-13 non corrisponde a quello presente in una cometa, ed è da escludere che sia stato alterato qui sulla Terra, allora sembra esserci un'ulteriore prova che il materiale a base di carbonio abbia origini marziane.

E allora perché le sonde *Viking* non hanno ne hanno trovato? Wright asserisce che non ne avevano la possibilità. Le sonde hanno raccolto campioni di materiale dallo strato più superficiale della crosta marziana. Invece, una cometa entrata in collisione con il pianeta avrebbe scavato a fondo, scagliando nello spazio frammenti di materiale - poi precipitati sulla Terra come meteoriti - proveniente dal sottosuolo, dove probabilmente si sono concentrati i composti a base di carbonio.

Si tratta di un problema affascinante, e non sarà certo facile risolverlo.

Un po' più luminoso

C'è qualcosa a grande distanza dalla Terra, oltre Saturno, che per una decina d'anni ha lasciato perplessi gli astronomi di tutto il mondo. È una specie di corpo celeste, ma non è chiaro di che tipo. Ora è possibile che la sua identità stia finalmente emergendo.

La storia incomincia l'1 novembre 1977 quando l'astronomo americano Charles Kowal scoprì quello che sembrava essere un asteroide dal movimento a dir poco lento, lentissimo. Più un asteroide si muove lentamente e più è lontano dal Sole, e questo nuovo oggetto celeste si trovava più lontano di qualunque altro asteroide mai avvistato, dato che ruotava ben oltre l'orbita di Saturno.

Gli unici oggetti di dimensioni ridotte che fossero mai stati avvistati a una distanza pari o addirittura superiore a quella di Saturno erano i satelliti dei pianeti più lontani: Saturno, Urano, Nettuno e Plutone. Quello che Kowal aveva scoperto era un oggetto di piccole dimensioni che si muoveva in un'orbita propria intorno al Sole, passando da una distanza minima più o meno pari a quella dell'orbita di Saturno a una distanza pari all'orbita di Urano. Tuttavia, l'inclinazione dell'orbita gli permette di restare sempre al di sotto o al di sopra dei due pianeti senza pericolo di collisione.

Kowal cercò tracce dell'oggetto scoperto in numerose vecchie fotografie astronomiche delle relative porzioni di cielo e ne determinò l'orbita. Compiva un giro completo intorno al Sole ogni 51 anni. L'afelio era a 1270 milioni di chilometri dal Sole e il perielio a 2800. Dal momento che pareva galoppare eternamente tra le due orbite di Saturno e di Urano, Kowal lo battezzò Chirone, che è il centauro più famoso della mitologia greca.

Venne quindi sollevata la questione di che cosa mai potesse essere.

Probabilmente si tratta di un asteroide, anche se è piuttosto grande dato che ha un diametro di 180 chilometri, ma si conoscono altri asteroidi di dimensioni simili. L'unico problema è rappresentato dunque dalla sua distanza dal Sole. Tutti gli asteroidi conosciuti hanno un'orbita compresa almeno in parte nello spazio fra Marte e Giove (la cosiddetta *fascia degli asteroidi*). Si conoscono pure alcuni minuscoli asteroidi con orbite interne a quella di Marte, ma Chirone sarebbe l'unico con un'orbita interamente al di là di quella di Giove.

Naturalmente, più un asteroide è distante dal Sole, più è difficile da individuare. Forse il sistema solare esterno oltre Giove è disseminato di asteroidi, talmente lontani

che non siamo in grado di vederli dalla Terra. Forse riusciamo a intravedere Chirone solo perché è insolitamente grande. Forse, quando disporremo di telescopi orbitanti, scopriremo molti altri oggetti celesti simili a Chirone.

D'altro canto, Chirone potrebbe anche essere una cometa. Si sa dell'esistenza di numerose comete a una distanza eccezionale dal Sole, ai limiti del sistema solare. Per la verità, Chirone è piuttosto grande per essere una cometa: ha una massa duemila volte maggiore di quella della cometa di Halley, per esempio, ma forse alcune comete possono raggiungere dimensioni simili.

Tuttavia, niente suggerisce che Chirone possa essere una cometa. La differenza tra un asteroide e una cometa è la seguente: un asteroide è composto, per la maggior parte o interamente, di materiali rocciosi o metallici che non evaporano nemmeno quando diventano incandescenti; una cometa, invece, è composta per la maggior parte di materiali ghiacciati che evaporano quando sono soggetti al calore, dando luogo alla formazione di una densa foschia in forma di nube che le avvolge completamente. Ecco perché, quando si avvicinano al Sole, le comete diventano via via più sfocate e sviluppano una lunga coda dalla parte opposta al Sole.

Chirone non mostra alcuna nebulosità, ma ciò può essere spiegato con il fatto che si trova tanto lontano dal Sole che il calore non basta a vaporizzare il ghiaccio. Tuttavia, quando Chirone venne scoperto, nel 1977, si trovava all'afelio, vale a dire nel punto di massima distanza dal Sole, e da allora ha continuato ad avvicinarsi. Raggiungerà il perielio, ovvero il punto di minima distanza dal Sole, nel 1996.

In altre parole, da quando è stato scoperto ha bordeggiato sempre più vicino al Sole, diventando sempre più caldo.

Avvicinandosi al Sole, riceve e riflette una maggiore quantità di luce solare, cosicché diventa un po' più brillante. Gli astronomi hanno un'idea abbastanza precisa su come dovrebbe cambiare la luminosità di un asteroide che si avvicinasse al Sole, e già nel novembre 1987 - un po' presto, per la verità - sembrava che Chirone stesse diventando un po' più chiaro di quel che doveva.

Di recente, Karen J. Meech dell'Università delle Hawaii e Michael J. S. Belton del Kitt Peak Observatory di Tucson in Arizona hanno reso noto di aver rilevato un ulteriore aumento della luminosità di Chirone che può dipendere soltanto dalla luce solare riflessa da un'atmosfera di vapori. Da ciò sembrerebbe quindi che Chirone dopo tutto non sia un asteroide, bensì una cometa gigante.

Forse non è poi così esageratamente grande per essere una cometa. Forse un gran numero delle comete che si ritiene esistano a grande distanza oltre l'orbita di Plutone ha dimensioni simili. Dopo tutto, quelle che vediamo da vicino sono soltanto quelle giunte in prossimità della Terra, molto vicino al Sole, più e più volte. Ogni volta che passano vicino al Sole gran parte della sostanza ghiacciata della quale sono costituite evapora, di modo che ora sono molto più piccole di un tempo.

Se una cometa delle dimensioni di Chirone fosse deviata dalla sua orbita verso la nostra zona del sistema solare, emetterebbe una quantità tale di vapore da sviluppare attorno a sé una nube gigantesca, persino più grande del Sole, che si trasformerebbe in una coda lunga centinaia di milioni di chilometri, occupando una buona metà del cielo. Nell'Ottocento furono osservate numerose comete giganti di questo genere, ma nel nostro secolo, ahimè, abbiamo avuto soltanto esemplari rachitici. Non ci resta che

alzare lo sguardo su Chirone e meditare sullo spettacolo che ci stiamo perdendo.

Inquinamento spaziale

In anni recenti, parlando in pubblico, ho sottolineato che lo spazio ha un volume talmente immenso che non dobbiamo temere di inquinarlo con le nostre attività. Quanto mi sbagliavo! Ci sono voluti diecimila anni di civiltà prima di cominciare a inquinare in modo significativo gli oceani, il suolo e l'atmosfera della Terra, ma ne sono bastati trenta per inquinare lo spazio circostante al pianeta.

In questi trent'anni abbiamo lanciato nello spazio migliaia di oggetti. Se questi oggetti rimanessero immobili rispetto alla superficie terrestre, non produrrebbero alcun danno significativo: ci sarebbe posto in abbondanza, poiché il volume dello spazio è davvero enorme. Ma se restassero davvero immobili ricadrebbero giù. Possono restare nello spazio solo perché ruotano intorno alla Terra a più di otto chilometri al secondo. Ma a una simile velocità ogni oggetto spaziale è in pratica un proiettile e, in molti casi, è di gran lunga più pericoloso delle vere pallottole sparate da pistole e fucili.

Attualmente intorno alla Terra orbitano circa trecento satelliti artificiali in attività, ma ce ne sono molti di più che, pur non essendo più operativi, continuano a ruotare sopra di noi.

E c'è dell'altro, oltre ai satelliti artificiali. Per lanciarli nello spazio sono stati utilizzati razzi vettori, varie parti *dei* quali sono tuttora lassù.

Alcuni satelliti sono esplosi oppure sono entrati in collisione gli uni con gli altri, e ogni volta che succede i loro frammenti continuano a orbitare intorno alla Terra.

Il risultato è che ci sono seimila rottami di fabbricazione umana abbastanza grandi da permettere la rilevazione radar, e i radar li tengono sotto controllo. Tuttavia ci sono moltissimi altri frammenti troppo piccoli per essere rilevati dai radar. Si stima che ci siano almeno 60 mila frammenti grandi circa un paio di centimetri, e milioni di particelle di vernice.

Viene da sorridere all'idea che gli ingegneri si lasciano sconvolgere da una particella di vernice, ma persino quei piccolissimi frammenti diventano preoccupanti se si viaggia a parecchi chilometri al secondo. Nel giugno del 1983 una particella di vernice che misurava soltanto due decimi di millimetro - troppo piccola per individuarla - colpì un oblò dello space shuttle *Challenger*. Il proiettile penetrò nel vetro asportandone un frammento e lasciando nell'oblò un piccolo cratere del diametro di due millimetri. Può sembrare una cosa da nulla, ma è bastato a indebolire l'oblò tanto da renderne necessaria la sostituzione (costo: 50 mila dollari) prima che lo shuttle potesse volare di nuovo. Sarete d'accordo che quella scheggia è costata parecchio. Se l'oblò fosse stato colpito da qualcosa di più grosso, probabilmente sul *Challenger* si sarebbe verificato un disastro due anni e mezzo prima della famosa esplosione in fase di lancio che uccise i sette membri dell'equipaggio.

E la situazione sta peggiorando. Gli Stati Uniti, l'Unione Sovietica e alcune altre

nazioni continuano a lanciare oggetti nello spazio. Le esplosioni accidentali e le collisioni si moltiplicano. La quantità di rottami in orbita aumenta a un ritmo tale da far prevedere agli esperti che il numero di frammenti nello spazio intorno alla Terra quadruplicherà ogni dieci anni.

Ciò significa che, molto probabilmente, per il Duemila possiamo aspettarci che un satellite artificiale operativo avrà ogni anno una possibilità su duecento di essere colpito da un rottame grande un paio di centimetri. Se a quell'epoca ci saranno quattrocento satelliti in funzione, potremo aspettarci che ogni anno ne vengano colpiti in media almeno due. Il danno sarà comunque grave, ma se il rottame colpirà una parte vitale, il satellite verrà messo completamente fuori uso.

Si dovranno costruire satelliti più robusti perché possano sopravvivere alle collisioni, il che significa che dovranno essere più pesanti e perciò più costosi da lanciare. E che dire delle tute spaziali e delle astronavi? Non sono certo sicure al cento per cento. Probabilmente fra un centinaio di anni le "passeggiate spaziali" in prossimità della Terra saranno pericolosissime. E alla fine lo spazio sarà talmente intasato di detriti che superare l'anello di spazzatura intorno alla Terra diventerà un'impresa sempre più rischiosa.

Che rimedio troveremo? Potremmo diminuire drasticamente il numero dei satelliti lanciati in orbita oppure prendere maggiori misure di sicurezza per evitare il maggior numero possibile di esplosioni e collisioni. E certamente dovremmo interrompere qualunque progetto che comporti la deliberata distruzione dei satelliti.

Ma servirebbe solo a rallentare l'aumento del pericolo. Non lo eliminerebbe affatto. L'ideale sarebbe trovare un modo per ripulire periodicamente lo spazio, un modo per "passare l'aspirapolvere". Sfortunatamente, al momento non si intravede nessuna tecnica da sfruttare per mettere in piedi un'impresa di pulizia efficiente e poco costosa.

Dove vogliamo andare?

Essendo tornati sui binari con lo space shuttle del 1988, sorge spontanea una domanda: "Dove vogliamo andare?" È importantissimo programmare il nostro futuro nello spazio, dato che la strada da percorrere ha costi enormi e non possiamo permetterci il lusso di sbagliare.

Un'ovvia meta sono Marte e i suoi satelliti. Se portassimo a termine una missione del genere avremmo l'opportunità di esplorare un mondo non troppo lontano dal nostro, un mondo sotto molti aspetti simile alla Terra. È più piccolo e più freddo ma possiede un'atmosfera, per quanto rarefatta. Ha un giorno di ventiquattr'ore e i suoi poli sono ricoperti di ghiaccio. Inoltre, presenta parecchi misteri: alvei fluviali in secca che probabilmente un tempo contenevano acqua corrente, vulcani dai quali forse un tempo traboccava lava, un'ampia spaccatura che starebbe a indicare una crosta un tempo attiva.

Tuttavia l'impresa di inviare esseri umani su Marte e di farli tornare indietro sani e salvi è talmente immane e lontana dalle possibilità attuali che né Stati Uniti né Unio-

ne Sovietica sarebbero in grado di assumersene l'impegno senza mettere in conto fatiche massacranti e terribili timori sulla sicurezza degli astronauti. Ma se Stati Uniti e Unione Sovietica mettessero in comune i loro esperti e le loro risorse, facendo del progetto Marte uno sforzo globale anziché nazionale, l'impresa diventerebbe relativamente meno pericolosa. E questo, oltretutto, incoraggerebbe la cooperazione internazionale anche in altri campi. I problemi che abbiamo di fronte qui sulla Terra hanno una natura globale e richiedono soluzioni di tipo globale, quindi riuscire a mettere in atto una leale collaborazione internazionale sarebbe un successo persino più soddisfacente della stessa esplorazione di Marte.

Comunque, un viaggio su Marte partendo dalla Terra sarebbe un evento di non facile ripetizione. Sarebbe un po' come le spedizioni sulla Luna di una quindicina di anni fa, le quali, per quanto spettacolari, sembravano non condurre a niente di più generale e promettente.

È assolutamente necessario per le imprese spaziali costruire una base lontano dalla Terra, con una gravità inferiore e senza le interferenze di un'atmosfera.

La logica suggerisce di iniziare con una stazione spaziale orbitante, più grande e versatile di quella installata dai sovietici; una stazione spaziale ininterrottamente occupata da equipaggi che si alternano secondo precisi turni. Si potrebbero lanciare dalla Terra solo le componenti delle nuove astronavi: un'astronave al completo non potrebbe essere lanciata in orbita senza una complicata serie di razzi, ma lanciare soltanto le singole componenti sarebbe molto meno costoso e più sicuro. Una volta assemblate, le astronavi complete dovrebbero vincere una gravità inferiore per partire verso lo spazio, e sfrutterebbero inoltre la velocità della stazione spaziale. Sarebbe necessario meno combustibile e resterebbe più spazio per il carico.

Partendo da una stazione spaziale, sarebbe molto più facile raggiungere la Luna e costruirvi una base permanente. La Luna potrebbe allora essere sfruttata come un'enorme miniera. Grandi sezioni di superficie lunare potrebbero essere lanciate nello spazio per mezzo di "propulsori di massa" che utilizzassero le forze elettromagnetiche. Sulla Luna, che ha una gravità pari a un sesto di quella terrestre, una simile impresa sarebbe molto più facile. Nello spazio i minerali della crosta lunare potrebbero essere fusi, ottenendo in tal modo tutti i metalli fondamentali, così come cemento, vetro e terriccio.

È proprio con i minerali forniti dalla Luna che saremo in grado di costruire installazioni spaziali: centrali elettriche che assorbiranno energia solare e la trasmetteranno sulla Terra; industrie automatizzate che sfrutteranno le speciali proprietà dello spazio e aiuteranno ad alleggerire l'inquinamento e le grandi concentrazioni industriali sulla Terra; insediamenti abbastanza grandi da ospitare un migliaio di esseri umani in orbita in condizioni molto simili all'ambiente al quale siamo abituati.

Per attrezzare e cominciare a sfruttare lo spazio fra la Terra e la Luna sarà forse necessaria la maggior parte del Ventunesimo secolo, ma alla fine disporremo di una solida base operativa nello spazio, una base di gran lunga più vantaggiosa della stessa Terra.

Gli abitanti di questi insediamenti saranno adatti alla vita nello spazio come non potranno mai esserlo i terrestri. Saranno abituati a vivere in un mondo artificiale; saranno avvezzi a una gravità variabile mentre si muovono nei loro piccoli mondi; da-

ranno per scontata la necessità di riciclare l'aria, l'acqua e il cibo che utilizzano.

Nel salire su un'astronave, uno di questi coloni passerebbe in un mondo decisamente più piccolo del consueto, ma con proprietà familiari. Quel che per un terrestre sarebbe assolutamente estraneo, per un colono sarebbe una "casa dolce casa".

I coloni, inoltre, essendo più adatti psicologicamente alla vita su un'astronave, sarebbero più preparati ad affrontare i lunghissimi viaggi spaziali. Saranno loro i Fenici, i Vichinghi, i Polinesiani del futuro, che nel Ventiduesimo secolo si inoltreranno in un oceano spaziale di gran lunga più vasto dell'oceano d'acqua attraversato dai loro predecessori.

Soltanto grazie a questi insediamenti potranno essere compiuti viaggi regolari su Marte e i suoi satelliti. E non sarà che l'inizio: in seguito si potranno compiere viaggi fino agli asteroidi, ai satelliti di Giove, e alla fine l'intero sistema solare sarà esplorato. E subito dopo ci sono le mete del Ventitreesimo secolo, vale a dire le stelle più vicine.

La fine?

Alla fine, ogni cosa deve avere un termine: voi, io, l'umanità intera, la Terra stessa. Ma come sarà la fine? Ogni scienziato ha la sua risposta, ma ecco la mia personale visione dell'ultimo atto dell'umanità.

Facciamo alcune ipotesi. Supponiamo che *non* avvenga un conflitto nucleare. Supponiamo che vengano risolti tutti i problemi che abbiamo di fronte attualmente. Supponiamo pure che si scopra come migliorare il corpo e la mente umana, rendendo l'uomo una creatura più forte, più sana e più saggia. Sarebbe forse possibile andare avanti in eterno? Potremmo, noi e i nostri discendenti, continuare a evolverci e a migliorare il nostro amato pianeta? Saremmo in grado di guardare al futuro come a un perenne Giardino dell'Eden?

La risposta è no, in nessun caso. Il problema è il Sole. A differenza della Terra, la nostra stella non è una struttura tranquilla e pacifica. La Terra è stata compressa dalla forza di gravità e resterà per sempre così com'è, se non interverranno fattori esterni. Il Sole, invece, è immenso e la sua forza gravitazionale potrebbe ridurlo alle dimensioni di un pigmeo. Se non succede è soltanto perché nel nucleo viene costantemente generato calore, impedendo alla sua stessa gravità di schiacciarlo.

E il calore viene generato perché centinaia di milioni di tonnellate di atomi di idrogeno (che costituiscono il 75 per cento della massa solare) ogni secondo si fondono nei più complessi atomi di elio. Questa fusione genera calore e fornisce al Sole un grande nucleo di elio che aumenta stabilmente; ma il Sole contiene una quantità tale di idrogeno che anche dopo cinque miliardi di anni di fusione ne resta ancora in abbondanza.

Ciò nonostante, tutto deve finire prima o poi. Entro altri cinque o sei miliardi di anni, l'immensa quantità di idrogeno del Sole comincerà a esaurirsi e il nucleo di elio diventerà troppo grande e troppo caldo. Si arriverà al punto in cui anche gli atomi di

elio cominceranno a fondersi in atomi più complessi, il che produrrà un ulteriore flusso di calore che farà espandere il Sole. L'astro diventerà sempre più grande e i suoi strati più esterni cominceranno a raffreddarsi; la superficie si attenuerà dal calor bianco a un rosso acceso e il Sole diventerà quella che viene chiamata una *gigante rossa*.

Nonostante questo raffreddamento degli strati esterni, il globo solare aumenterà talmente di volume che il calore totale inviato verso la Terra continuerà costantemente a crescere. Molto prima che il Sole abbia raggiunto le dimensioni massime, la Terra sarà cauterizzata e sterilizzata, e non vi rimarrà traccia di vita.

A che grandezza massima arriverà il Sole?

I calcoli più recenti che ho visto stimano che raggiungerà un diametro di circa 300 milioni di chilometri, arrivando quindi al di là dell'orbita terrestre. Alla fine, la Terra si troverà all'interno del Sole, a circa undici milioni di chilometri dalla superficie.

Questa situazione è meno drammatica di quel che sembra: gli strati esterni di una gigante rossa sono talmente rarefatti da essere praticamente vuoti. Per quanto la loro temperatura raggiunga un valore di 822 °C, la quantità minima di materia presente non produrrà abbastanza calore da fondere la Terra. Si potrebbe descrivere la Terra come un'indigesta biglia di roccia e metallo che ruota in mezzo agli effluvi superficiali di gas del Sole. Anche se la Terra sarà ormai priva di vita, è confortante sapere che il mondo che un tempo fu la nostra dimora continuerà a esistere. Purtroppo, la Terra continuerebbe a esistere soltanto se dovesse rimanere nella sua orbita attuale e quindi navigare in quello strato esterno di gas. Ma non andrà così.

Gli effluvi di gas che avvolgeranno la Terra saranno infatti abbastanza densi da rallentarla tanto da farla avvicinare, molto gradualmente, al centro del Sole. Il guaio è che mentre affonda incontra strati di gas sempre più denso. Il rallentamento diventa più netto e la Terra affonda sempre più in fretta. Avvicinandosi al centro, la temperatura aumenta e c'è sempre più materia solare in grado di trasmettere il calore: entro pochi secoli la Terra diverrebbe talmente calda da fondere, evaporare e svanire nel nulla.

Il Sole continuerà a generare calore per oltre dieci miliardi di anni, ma una volta diventato una gigante rossa anche la sua fine sarà vicina. Per quanto combustibile possieda, entro pochi milioni di anni diminuirà al punto che il calore generato non sarà più in grado di impedirne il collasso. La forza di gravità avrà infine la meglio, e il Sole si contrarrà fino a diventare più piccolo della Terra. I suoi strati superficiali si surriscalderanno e diverrà una *nana bianca*. Intorno a questo minuscolo rimasuglio continueranno a ruotare i pianeti esterni, ma Mercurio, Venere, la Luna e la Terra saranno spariti per sempre.

Ma, sia ben chiaro, tutto ciò non accadrà prima di alcuni miliardi di anni, dunque c'è tempo in abbondanza perché l'umanità e i suoi discendenti si preparino, dando per scontato che evitino altri tipi di disastro. Sicuramente per quel tempo l'umanità sarà in grado di viaggiare nello spazio. Non ci sarà difficile costruire grandi città nello spazio, con le quali spingerci verso l'esterno del sistema solare in lunghissimi viaggi verso i pianeti che ruotano intorno ad altre stelle, più giovani. Ci volteremo indietro e guarderemo con tristezza la Terra e il Sole, ma potremo sentirci fieri di noi, fragili esseri umani, se saremo riusciti a sopravvivere alla Terra e al Sole che la riscalda.

Siamo davvero soli?

Uno dei giochi preferiti degli scienziati è provare a calcolare quante probabilità ci sono che nell'universo esista la vita. La Terra è l'unico pianeta abitato, o la vita si è sviluppata su miliardi di pianeti? Nel corso degli anni gli scienziati hanno alternato ottimismo e pessimismo, ma di recente è risuonata una nuova nota di ottimismo.

Nei primi quarant'anni del Ventesimo secolo si sospettava che i pianeti fossero nati da una quasi-collisione di due stelle. Si tratta di un fenomeno talmente improbabile che risulterebbe possibile soltanto l'esistenza di due sistemi planetari nell'intera Galassia: il nostro e quello della stella che ci ha colpito di striscio. In tal caso, il pessimismo sarebbe d'obbligo. La vita sarebbe un evento talmente raro che con ogni probabilità noi saremmo davvero soli nell'universo.

Tuttavia, a cominciare dal 1944, nuove analisi di gran lunga migliori sul fenomeno della formazione dei pianeti suggerirono che ogni stella debba avere intorno a sé un certo numero di pianeti. Si sviluppò quindi un notevole ottimismo e fu inevitabile supporre che la vita fosse molto diffusa nell'universo. Ma fino a che punto? Dipende da quanto sono rigide le condizioni che rendono possibile la vita.

Considerando il nostro sistema solare, in un primo momento si riteneva che Venere fosse più caldo della Terra, ma non di molto, grazie alla sua fitta coltre di nubi. Marte, si credeva, era più freddo della Terra, ma anche in questo caso non di molto. Perciò, poteva esistere la vita in ogni pianeta di una stella simile al Sole, situato in una fascia compresa tra le distanze di Venere e di Marte. Questo allargava notevolmente l'"ecosfera" e aumentava la probabilità di vita altrove. L'ottimismo crebbe.

Ma in seguito, con l'avvento dei missili e delle sonde spaziali, si ebbe l'occasione di studiare Venere e Marte più da vicino. Guarda caso, si scoprì che Venere era troppo caldo per la vita, e Marte di gran lunga troppo freddo.

Di conseguenza, negli ambienti scientifici si manifestò un'ondata di pessimismo. Gli astronomi del Goddard Space Flight Center della NASA di Greenbelt nel Maryland fecero una serie di calcoli basati sulle nuove conoscenze a riguardo dei nostri vicini planetari. Stabilirono che se la Terra fosse soltanto il cinque per cento più vicina al Sole (a 141 milioni di chilometri anziché a 149) ci sarebbe un effetto serra molto più intenso e la Terra diverrebbe troppo calda per essere abitabile. D'altro canto, se fossimo soltanto l'uno per cento più lontani dal Sole (a 151 milioni di chilometri anziché a 149), i ghiacciai coprirebbero l'intero pianeta. E se l'orbita della Terra fosse leggermente più ellittica di quel che è, avvicinandosi troppo al Sole in certi punti e allontanandosene troppo in altri, il nostro pianeta andrebbe costantemente da un estremo di temperatura all'altro.

Queste considerazioni restringono enormemente l'ecosfera. È un bel colpo di fortuna che la Terra abbia un'orbita quasi circolare che la mantiene costantemente entro un'ecosfera così ristretta. La possibilità che avvenga lo stesso nel caso di altre stelle simili al Sole è talmente piccola che di nuovo siamo costretti a credere che esistano ben pochi pianeti abitabili. E su quei pochi non è detto che la vita si sviluppi davvero. Di nuovo, potremmo essere i soli esseri viventi in tutta la Galassia.

Più vicino al Sole le cose non sembrano migliorare. Dopo tutto, Venere è quasi il

pianeta gemello della Terra per quanto concerne le dimensioni, ma è molto più caldo di quel che pensavamo: alla sua temperatura media il piombo fonde... e questo chiude la faccenda.

Guardando più lontano, invece, siamo proprio sicuri che Marte sia una causa disperata? Non c'è dubbio che sia più freddo dell'Antartide, ma è anche un pianeta di piccole dimensioni, con una massa pari solo a un decimo di quella terrestre. Ciò significa che la sua gravità può trattenere soltanto un'atmosfera rarefatta, e anche che sviluppa un calore interno inferiore.

Però non c'è ragione di pensare che ci sia una regola per cui un pianeta lontano dal Sole quanto Marte debba per forza essere così piccolo. Potrebbe anche essere molto più grande. Supponiamo allora che Marte si sia formato all'attuale distanza dal Sole, ma che abbia le stesse dimensioni della Terra. Un pianeta con le dimensioni della Terra, ma più lontano dal Sole, raccoglierebbe attorno a sé un'atmosfera persino più densa e più spessa di quella terrestre, e potrebbe anche avere degli oceani. L'atmosfera potrebbe essere costituita per la maggior parte di anidride carbonica e quest'ultima, insieme al vapore acqueo, creerebbe un effetto serra che manterrebbe su Marte un clima considerevolmente più mite di quello attuale. A mantenere queste condizioni potrebbero poi contribuire il calore interno e l'attività vulcanica.

Ma essere abbastanza caldo da sostenere la vita non garantisce che la vita si formerebbe davvero, e anche se succedesse le forme di vita potrebbero essere del tutto diverse da quelle terrestri. Tanto per cominciare, se la vita marziana sostituisse l'anidride carbonica dell'atmosfera con l'ossigeno - come fa la vita vegetale terrestre - allora l'effetto serra sarebbe attenuato e Marte si raffredderebbe.

Ciò nonostante, gli astronomi dell'Ames Research Center della NASA in California hanno capovolto il pessimismo dei loro colleghi astronomi del Goddard Space Flight Center di Greenbelt nel Maryland suggerendo un motivo per ampliare nuovamente l'ecosfera... non certo fino ai precedenti limiti della zona tra Venere e Marte, ma almeno nella fascia più fredda, ovvero quella fra la Terra e Marte.

Nella nostra galassia, circa una stella su dieci è di tipo Sole. Con un'ecosfera più estesa, è possibile che una su due abbia un pianeta nella fascia abitabile. Ciò equivarrebbe a cinque miliardi di pianeti, come minimo, potenzialmente abitabili. Ma dire quanti abbiano realmente sviluppato la vita, e per giunta una vita intelligente, è tutta un'altra faccenda.

PARTE QUINTA
Frontiere dell'universo

La supernova più vicina

L'astronomia non è una scienza sperimentale. Gli astronomi non possono far altro che osservare il cielo con i telescopi e prendere per buono quel che il cielo mostra loro. E talvolta non mostra quello che vorrebbero vedere.

Per esempio, tra l'anno 1006 e l'anno 1604, apparvero nel cielo cinque supernovae. Cinque stelle della nostra galassia esplosero in un immenso e inimmaginabile inferno, e per poche settimane brillarono di una luce pari a quella di un miliardo di stelle tipo-Sole, per poi attenuarsi lentamente nel corso dei mesi.

Troppo fioche per essere osservate a occhio nudo, queste stelle che all'improvviso esplodono con la luminosità di Giove o di Venere facevano pensare di essere nuove stelle. Nel 1572, una di esse fu studiata per la prima volta da un astronomo di prim'ordine, Tycho Brahe, che a questo proposito scrisse un libro il cui titolo latino abbreviato è *De Nova Stella*. In seguito, tutte le stelle in fase esplosiva vennero chiamate *novae*. Ma alcune di queste esplosioni sono di minore intensità, e quindi le esplosioni stellari veramente enormi, come quella del 1572, oggi sono chiamate *supernovae*.

Tycho Brahe, però, non aveva telescopi a disposizione. A quell'epoca non erano ancora stati inventati: vennero utilizzati per la prima volta nel 1609, cinque anni dopo l'apparizione dell'ultima delle cinque supernovae.

Dopo il 1609 i telescopi vennero sempre più perfezionati. Ne furono costruiti di più grandi e potenti, così come si poté disporre di spettroscopi, di sofisticati apparecchi fotografici, di radiotelescopi e di elaboratori elettronici, vale a dire tutta la complessa attrezzatura dell'astronomia ad alta tecnologia. Quello che venne a mancare furono le supernovae... dopo il 1604, nella nostra galassia non ne è più esplosa nessuna.

Ciò non significa che non ce n'è stata nessuna *in assoluto*, ma soltanto nella *nostra* galassia. Ne sono state avvistate in altre galassie. La supernova del 1604 si trovava a una distanza di circa 35 mila anni luce, secondo le stime degli astrofisici; mentre, dopo di essa, fino a pochi anni fa la più vicina era quella apparsa nel 1886 nella galassia di Andromeda, che si trova a 2,3 milioni di anni luce dalla Terra, 65 volte di più della supernova del 1604. Per giunta, gli astronomi dell'epoca non sapevano che l'esplosione fosse una supernova; per cui non la studiarono attentamente come avrebbero potuto.

Fu soltanto intorno agli anni Trenta di questo secolo che gli astronomi si resero conto di che cosa fossero le supernovae e cominciarono a cercarle nel cielo. Da allo-

ra, ne sono state individuate circa quattrocento, ma tutte in galassie lontane parecchi milioni di anni luce, molto più della supernova di Andromeda.

Ha importanza? Certamente. Gli astrofisici stanno tentando di scoprire che cosa succede nel centro di una stella. Se potessero osservare una supernova da vicino (non *troppo* da vicino... diciamo almeno a qualche migliaio di anni luce di distanza), utilizzando i moderni strumenti attualmente disponibili, i dettagli dell'esplosione potrebbero fornir loro una migliore comprensione di quello che avviene al centro di una stella, e questo potrebbe anche metterci in grado di capire meglio la nostra stella personale, cioè il Sole.

Ma, a parte le frustrazioni degli astronomi, perché mai la gente comune dovrebbe interessarsi alle supernovae?

Ebbene, tanto per cominciare, al tempo del big bang, quando l'universo ebbe inizio, le uniche sostanze formate erano l'idrogeno e l'elio. Tutti gli altri elementi, senza eccezioni, si sono formati al centro delle stelle, dove di solito restano. Ma quando esplose una supernova, gli strati esterni della sua atmosfera e i relativi elementi vengono scagliati verso l'esterno a grande distanza. In seguito, quando si forma una stella, gli elementi dispersi vengono da essa incorporati.

La Terra è composta quasi interamente di questi elementi. Il novanta per cento del corpo umano consiste di elementi diversi dall'idrogeno o dall'elio. In altre parole, quasi tutti gli atomi presenti nel nostro corpo e nella Terra si sono formati all'interno di una stella diventata una supernova.

In secondo luogo, il nostro sistema solare ha avuto origine dal collasso di una nube di polveri e gas. Ma che cosa l'ha fatta collassare quando per miliardi di anni era rimasta tranquilla al suo posto? L'ipotesi più attendibile è che l'esplosione di una supernova vicina l'abbia compressa innescando il collasso.

Terzo, le supernovae producono quantità enormi di raggi cosmici e la Terra ne viene costantemente investita. I raggi cosmici producono mutazioni e accelerano il processo dell'evoluzione: se non esistessero, saremmo ancora delle creature unicellulari... ammesso che fossimo qualcosa.

Dunque le supernovae sono responsabili della nostra esistenza sotto tre diversi aspetti.

Ma nel 1987 la Terra è stata raggiunta da un bagliore luminoso proveniente da una supernova esplosa nella Grande Nube di Magellano (non nella nostra galassia, ma almeno in quella immediatamente vicina). La supernova si trovava a soli 155 mila anni luce, vale a dire solo quattro volte e mezzo più lontana di quella del 1604 e a un quattordicesimo della distanza di quella esplosa nella galassia di Andromeda.

Per gli astronomi è la prima occasione di studiare relativamente da vicino un'esplosione stellare di questo tipo, e ce la stanno mettendo tutta. Qualunque cosa scopriranno, avremo senza dubbio delle utili sorprese che amplieranno le nostre conoscenze.

Caccia al pianeta

Per quasi mezzo secolo gli astronomi hanno avuto la convinzione che i pianeti fossero abbastanza comuni nell'universo e che si accompagnassero alla maggior parte delle stelle, se non a tutte. Ciò valeva in particolare per le stelle singole, come il Sole, vale a dire quelle che non hanno stelle compagne vicino a sé. Adesso finalmente gli astronomi hanno una conferma attendibile di questa convinzione.

Oggi si ritiene che la formazione di una stella cominci da una grande nube di polvere che a poco a poco si condensa mettendosi nello stesso tempo a ruotare sempre più velocemente. La parte centrale diventa la stella, e il materiale più rarefatto che ruota attorno al centro alla fine dà origine ai pianeti. In effetti, una condensazione simile non può che originare dei pianeti vicino alle stelle. Il nostro stesso sistema solare ne è un esempio. Il problema è che si tratta dell'unico esempio che conosciamo.

Se ci fossero dei pianeti attorno ad altre stelle, certamente non potremmo "vederli" nel senso comune del termine. Un pianeta non brilla di luce propria, bensì della luce riflessa della sua stella. Di conseguenza ha una luminosità molto più tenue di quella di una stella. Per giunta la luce che riflette, per poca che sia, si perde completamente nel riverbero della stella vicina.

In ogni caso, non è necessario *vedere* un pianeta per essere certi che esiste.

Una stella senza pianeti - detta "stella compagna" - ha la tendenza ad attraversare il nostro cielo seguendo una lenta traiettoria perfettamente diritta. Ma se è accompagnata da un pianeta, stella e pianeta ruotano intorno a un centro di gravità comune. Il pianeta, essendo più piccolo ed esercitando quindi una minore attrazione, si muove di più, ma anche la stella compie piccole oscillazioni. In questo caso, la stella non segue una traiettoria perfettamente lineare, ma presenta una leggerissima e costante ondulazione. Visto da lontano, anche il Sole mostrerebbe una traiettoria oscillante, causata principalmente dall'attrazione gravitazionale di Giove, il pianeta gigante.

L'oscillazione risulta ancor più evidente se la stella è di piccole dimensioni mentre il pianeta è grande. Tra gli anni Quaranta e gli anni Sessanta questo tipo di oscillazioni venne documentato con cura per alcune stelle, in particolare la piccola stella di Barnard che si trova soltanto a 5,9 anni luce dalla Terra.

Ma quei rapporti non ebbero conferme. Altri astronomi non riuscirono a misurare l'oscillazione prevista e alla fine si decise che quei dati derivavano da errori nell'uso del telescopio. Ogni speranza svanì. Tuttavia, negli ultimi vent'anni sono stati apportati notevoli miglioramenti alle apparecchiature e agli strumenti di osservazione, e intorno alla metà del 1988 due astronomi, David W. Latham dell'Università di Harvard e Bruce Campbell dell'Università di Victoria nella British Columbia, hanno reso noto separatamente di aver osservato le oscillazioni di un certo numero di stelle.

La scoperta di Latham è avvenuta in modo più o meno casuale. Stava studiando una stella di tipo Sole, nota con il nome di HD 114762, che si trova a circa novanta anni luce dalla Terra, semplicemente per verificare il proprio telescopio. Nel corso delle analisi, scoprì che oscillava lievemente. Per nulla desideroso di dare un altro annuncio prematuro, tenne d'occhio la stella per ben sette anni durante i quali, a giudicare dall'oscillazione, un pianeta ruotò intorno alla stella per trenta volte, con un periodo di rivoluzione pari a 84 giorni.

Campbell invece ha studiato il modo in cui le stelle si avvicinano, o si allontanano, dalla Terra. Con un pianeta, una certa stella può avere delle oscillazioni mentre si av-

vicina, mentre poi si allontana e quindi si avvicina di nuovo, alternativamente. Delle diciotto stelle studiate da Campbell in un periodo di sette anni, tutte in un raggio di cento anni luce dalla Terra, nove mostravano oscillazioni. Ma se le oscillazioni erano provocate dall'esistenza di pianeti, quei pianeti si trovavano tanto lontani dalle loro stelle da impiegare più di sette anni per completare una sola rivoluzione. Non avendo rilevato neanche una sola oscillazione completa, i risultati dell'astronomo canadese erano un po' meno sicuri di quelli conseguiti da Latham.

Perché l'oscillazione sia visibile, i pianeti devono essere di grandi dimensioni, probabilmente molto più di Giove. Ma ciò fa sorgere il dubbio che non si tratti di pianeti ma di stelle compagne dalla luce molto tenue. E, naturalmente, anche se si tratta di pianeti, c'è da considerare che i pianeti molto più grandi di Giove devono per forza essere composti per la maggior parte di idrogeno ad alta temperatura e perciò sarebbero completamente inadatti per un tipo di vita simile alla nostra.

Ciò nonostante, quello che sembrano dimostrare i risultati raccolti è che almeno la metà delle stelle, e forse di più della metà, è fornito di un qualche tipo di compagno. E non è per niente ovvio che questo compagno sia una stella. È possibile che siano pianeti giganti come Giove, e se ne esiste uno ce ne potrebbero essere anche altri che non vengono identificati solo perché hanno una massa troppo piccola per provocare un'oscillazione visibile sulla stella.

In altri termini, è probabile che con le recenti informazioni gli astronomi siano un po' più pronti a credere all'esistenza di numerosi pianeti simili alla Terra nella nostra galassia, e anche in altre galassie. Questo è molto importante, perché più pianeti simili alla Terra ci sono, maggiori sono le probabilità che almeno alcuni presentino condizioni adatte alla vita e che la vita vi si sviluppi.

Grazie a queste notizie, tutti quegli astrofisici che, come me, hanno il sospetto che la vita sia un fenomeno comune nell'universo adesso possono sentirsi un po' più sicuri. E se la vita è comune, allora può darsi che, di quando in quando, alcune forme di vita intelligente abbiano sviluppato una civiltà tecnologica... per non lasciarci soli.

Ancora più lontano

Oggi la scienza è sul punto di dare l'avvio a progetti che, come per le cattedrali medioevali, saranno iniziati da persone che non ne vedranno mai la fine, e ne saranno consapevoli.

Finora, per esempio, abbiamo inviato numerose sonde in direzione dei pianeti esterni. Il *Voyager 2* ha fotografato Urano e Nettuno, i pianeti più lontani. Il progetto si è sviluppato nell'arco di un decennio, ma anche gli astronomi di mezz'età possono aspettarsi di vivere per almeno dieci anni e vedere la fine dell'impresa.

Dopo essersi lasciato alle spalle Nettuno, il *Voyager 2* proseguirà la sua corsa nello spazio a tempo indeterminato, a una distanza ben più grande di quella alla quale si trovano i pianeti conosciuti, attraverso il vuoto dello spazio interstellare. Naturalmente, a una distanza del genere la sonda non servirà più a niente, e diventerà un'inosservabile.

vata vagabonda.

Adesso però gli astronomi stanno prendendo in considerazione la possibilità di lanciare nello spazio una sonda che ci sarà utile anche quando si troverà più lontano del pianeta più esterno. Lascerà la Terra a una velocità relativamente bassa e conterrà qualcosa come dodici tonnellate e mezzo di xeno allo stato solido. Il gas congelato verrà riscaldato fino a quando i suoi atomi decadranno trasformandosi in particelle elettricamente cariche (foni) che saranno espulsi con forza, pochi alla volta, facendo accelerare lentamente la sonda per un periodo di dieci anni.

Al termine dei dieci anni di accelerazione lo xeno sarà esaurito, e la sonda avrà raggiunto una velocità di 360 mila chilometri all'ora, ovvero cento chilometri al secondo. In quel momento si troverà a circa 9,6 miliardi di chilometri dalla Terra, ben oltre il punto più lontano raggiunto dal piccolo Plutone - l'ultimo pianeta - nella sua orbita.

A quel punto i serbatoi vuoti saranno sganciati, e soltanto la sonda, del peso di circa cinque tonnellate, continuerà a viaggiare verso l'esterno allontanandosi dal Sole a una velocità che diminuirà molto lentamente a causa della debole attrazione gravitazionale del Sole, ormai lontanissimo.

La sonda continuerà a spingersi nello spazio per altri quarant'anni fino a quando si troverà a 160 miliardi di chilometri, mille volte di più della distanza tra la Terra e il Sole.

La distanza tra la Terra e il Sole (149 milioni di chilometri) viene definita una *unità astronomica* (UA). La distanza della sonda dopo cinquant'anni corrisponderà dunque a mille unità astronomiche. Da qui il nome del progetto spaziale appena descritto: TAU, *thousand astronomical units*, mille unità astronomiche.

La sonda TAU avrà a bordo un grande telescopio che servirà per inviare immagini delle stelle fotografate a distanze sempre maggiori, fino a mille UA. Successivamente, con la scorta di combustibile esaurita, la sonda TAU continuerà il suo viaggio a tempo indeterminato, più inservibile di quanto non sia mai stata nessun'altra sonda.

A che cosa potranno servire le immagini fotografiche di stelle lontane raccolte e trasmesse dalla sonda TAU?

Quando le stelle vengono osservate da luoghi diversi, quelle più vicine sembrano cambiare di posizione rispetto a quelle più lontane. Questo cambiamento di posizione viene chiamato *parallasse*. Maggiore è la variazione, più vicina è la stella. Misurando il valore della variazione possiamo calcolare la distanza della stella.

Sfortunatamente, anche le stelle più vicine sono talmente lontane che il cambiamento di posizione risulta estremamente piccolo. Possiamo aumentare la variazione osservando la stessa stella da località molto lontane. Sulla Terra, però, la maggiore distanza possibile è quella che intercorre tra due posizioni del pianeta a sei mesi di distanza. Le estremità opposte dell'orbita terrestre distano 2 UA.

Un simile spostamento ci permette di misurare la distanza delle stelle fino a circa cento anni luce. (Un anno luce corrisponde a 63.225 UA.) E, a loro volta, queste distanze servono come base per calcolare la distanza di oggetti celesti ancora più lontani, grazie a metodi un po' meno precisi.

Le immagini che ci trasmetterà la sonda TAU mostreranno le stelle a una distanza cinquecento volte maggiore del diametro dell'orbita terrestre. Confrontandole con le

immagini che otteniamo dalla Terra, osserveremo variazioni di parallasse notevolmente più grandi e saremo in grado di misurare con precisione le distanze di oggetti celesti fino a un milione e mezzo di anni luce. La nostra comprensione delle dimensioni dell'universo sarà enormemente più chiara.

Tuttavia, dopo il lancio gli astronomi dovranno attendere cinquant'anni per avere i risultati finali. E non è molto probabile che il lancio possa avvenire prima del Duemila, dal momento che dobbiamo ancora perfezionare un affidabile propulsore nucleare in grado di riscaldare ed espellere lo xeno. Inoltre, dobbiamo anche elaborare un sistema di comunicazione laser in grado di coprire la distanza di mille UA. In ogni caso, è una bella soddisfazione pensare che gli astrofisici stiano prendendo seriamente in considerazione simili progetti di lungo periodo.

E, tanto per mettersi nella giusta prospettiva, anche una distanza di mille UA è soltanto 1/270 della distanza alla quale si trova la stella più vicina. Pensate a quanto ci resta ancora da fare prima di poter raggiungere le stelle.

Esplosioni rivelatrici

Se esiste davvero l'antimateria, presto gli scienziati avranno una tecnica per scoprirla.

Un tempo gli scienziati erano convinti che l'antimateria *dovesse* esistere. Per ogni particella di materia creata, doveva per forza essere stata creata una particella di antimateria per costituire il suo esatto opposto. Laddove la materia ha una carica elettrica positiva, l'antimateria ne ha una negativa, e viceversa. Laddove la materia ha un campo magnetico che punta a nord, l'antimateria ne ha uno che punta a sud, e viceversa.

Se la materia e l'antimateria si incontrano, si annullano a vicenda, annichilandosi reciprocamente in un'esplosione cento volte più potente di quella prodotta da una bomba all'idrogeno con una massa analoga.

Gli scienziati sono in grado di produrre in laboratorio minuscole particelle di antimateria, ma nel mondo naturale siamo circondati soltanto da materia. Anche la Luna è materia. Se così non fosse, i nostri astronauti sarebbero esplosi quando vi sbarcarono. Marte è materia. Se così non fosse, le sonde *Viking* sarebbero esplose al momento dell'atterraggio. In realtà, siamo del tutto certi che l'intero sistema solare sia composto di materia.

E le altre stelle o le altre galassie? Forse esistono antistelle e antigalassie composte di antimateria. Forse nell'universo esistono quantità uguali di materia e di antimateria, salvo che si trovano in luoghi diversi e a grande distanza.

Tuttavia, tenerle separate sarebbe difficilissimo. Qua e là nello spazio ci sono nubi di polveri e gas, che di tanto in tanto entrano in collisione e interagiscono. Se una nube di materia incontrasse una nube di antimateria, si produrrebbero esplosioni con emissione di particolari raggi gamma. Invece non si sono mai viste esplosioni del genere.

Gli scienziati sono giunti alla conclusione, anche se con notevole riluttanza, che

l'universo è interamente composto di materia e hanno elaborato delle teorie per spiegare come, nella creazione originale, si produsse un "lieve" eccesso di materia rispetto all'antimateria: un miliardo a uno. Da quel lieve sovrappiù ebbe origine l'universo che conosciamo.

Ma ne siamo proprio sicuri? È davvero impossibile che esista qualche antigalassia nell'universo, fra le centinaia di miliardi di galassie? Non è proprio possibile che esista almeno un'antistella? Non esiste nessun modo per saperlo? Non c'è nulla ci possa fornire degli indizi, tra quello che ci arriva dalle stelle e dalle galassie lontane?

Be', ci arriva una gran quantità di raggi cosmici, che sono quasi interamente composti di materia, con piccolissime percentuali di antimateria. Ma quelli non servono. Le particelle dei raggi cosmici sono dotate di carica elettrica e viaggiando nello spazio seguono perciò delle traiettorie curve. Anche se scopriremo un'insolita quantità di particelle di antimateria nei raggi cosmici non saremmo in grado di stabilirne la provenienza. Dovremmo poter studiare particelle prive di carica elettrica, che viaggiano in linea retta, per identificarne la fonte.

Esistono tre tipi di particelle prive di carica elettrica che arrivano dallo spazio esterno. Prima di tutto i *fotoni*, che trasportano l'energia elettromagnetica della luce, delle radioonde, dei raggi X, dei raggi gamma e così via. Giungono sulla Terra in quantità enormi provenienti da ogni stella e da ogni galassia, ma anche questi sono inutili. Non esistono gli "antifotoni". Materia e antimateria emettono fotoni allo stesso modo, e quindi non potremo mai identificare un'antistella o un'antigalassia studiando semplicemente il tipo di luce che emette.

Un secondo tipo di particella priva di carica elettrica è il *gravitone*. Anche i gravitoni giungono sulla Terra in quantità enormi da ogni stella e da ogni galassia, ma trasportano così poca energia che finora non siamo stati in grado di individuarli. E anche se potessimo individuarli, probabilmente gli "antigravitoni" non esisterebbero, quindi non sarebbe questo il modo di scoprire le antistelle.

Resta un terzo tipo di particella non dotata di carica elettrica: il *neutrino*. I neutrini sono microscopiche particelle subatomiche prive di massa e di carica elettrica. Non hanno quasi nessun tipo di interazione con la materia. Ma esiste una particella che si può definire "antineutrino". Le stelle e le galassie composte di materia emettono grandi quantità di neutrini; le antistelle e le antigalassie emetteranno quindi grandi quantità di antineutrini. Sfortunatamente, i neutrini e gli antineutrini sono difficilissimi da individuare, tanto che quelli che arrivano fin qui di solito ci oltrepassano senza farsi notare.

Tuttavia, di quando in quando esplose una supernova che, nel corso della prima fase esplosiva, emette un enorme flusso di neutrini... o di antineutrini, se è composta di antimateria. La supernova osservata nel 1987 nella Grande Nube di Magellano ha emesso un flusso di miliardi di miliardi di miliardi di particelle, diciannove delle quali sono state individuate sulla Terra. È stata la prima volta che si sono scoperte particelle simili provenienti dallo spazio esterno. Si trattava di neutrini, ragion per cui la supernova di Magellano sembra essere composta di materia.

Nondimeno, sono in corso alcuni tentativi di progettare rivelatori di neutrini più potenti e sensibili. È probabile che un giorno l'analisi delle ondate di particelle provenienti dalle supernovae sarà un'operazione di routine. (E potrebbero esserci almeno

dieci supernovae all'anno solo nella nostra galassia, e altrettante nelle galassie vicine.)

È probabile che tutte le esplosioni e le ondate saranno composte di neutrini, ma se una volta, anche una sola volta, verrà scoperto un flusso di antineutrini, sapremo con certezza di aver trovato un'antistella (forse situata in un'antigalassia) e questo ci permetterà di riconsiderare la nostra idea dell'universo e forse anche quella della sua nascita... e della sua morte.

La sorpresa del neutrone

Il divertimento della scienza, in parte, è che persino i fenomeni più noti talvolta nascondono delle sorprese. Per esempio, c'è una particella subatomica chiamata *neutrone* che gli scienziati conoscono da quasi sessant'anni e che è stata studiata sotto tutti i punti di vista. Di sicuro non c'è più nulla da scoprire sul neutrone. E invece qualcosa di nuovo c'è, eccome! Negli ultimi mesi gli scienziati hanno dovuto rivedere i loro preconcetti sul tempo di vita di un neutrone isolato.

Il neutrone è una delle due particelle presenti nel nucleo dell'atomo, l'altra è il protone. Quando i neutroni sono associati ai protoni in un nucleo atomico, sono stabili. Durano per sempre, fino alla fine dell'universo.

Invece un neutrone isolato, che non si trovi in un atomo, è instabile. Prima o poi decade dando origine a un protone, a un elettrone e a un antineutrino. Non si può sapere con certezza quanto possa esistere un neutrone isolato prima di decadere: un secondo, un giorno... è una questione di probabilità.

Nondimeno, se si prende in considerazione un gran numero di neutroni è possibile determinare quanto tempo passerà prima che ne decada la metà. Questo è quel che si chiama *periodo di dimezzamento*. Intorno al 1950 si calcolò che il periodo di dimezzamento del neutrone fosse di 12,5 minuti. Ciò significa che se si parte da un miliardo di neutroni, la metà decadrà in 12,5 minuti, dopo di che la metà dei rimanenti decadrà in altri 12,5 minuti, e così via fino a che non saranno decaduti tutti.

Esistono molti altri tipi di particelle subatomiche instabili, ma il neutrone è particolare. Le altre particelle instabili durano un milionesimo di secondo o anche meno, solo il neutrone dura così a lungo.

Per gli scienziati è un inconveniente. Se una particella decade in una frazione di secondo, ha a malapena il tempo di muoversi prima di decadere. Per quanto veloce sia, è possibile seguirne le tracce e misurare il tempo di decadimento. Il neutrone, invece, si muove con estrema rapidità quando esce da un nucleo e prima di decadere percorre molti chilometri. Gli scienziati possono osservarlo solo per un piccolo tratto del suo percorso e sono costretti a calcolare il periodo di dimezzamento dai pochi decadimenti che riescono a cogliere.

Inoltre, il neutrone non possiede carica elettrica e gli scienziati possono seguire il movimento solo delle particelle cariche. L'unico modo per accertare la presenza di un neutrone è osservare come colpisce gli elettroni elettricamente carichi espellendoli

dagli atomi attraverso i quali passa. Poi, è possibile concludere che i neutroni sono decaduti osservando la diminuzione degli elettroni che producono. Ma gli elettroni si staccano dagli atomi a varie velocità e quelli che si muovono molto lentamente o molto rapidamente possono non essere visti.

Di recente gli scienziati hanno sviluppato un metodo per rallentare i neutroni e imprigionarli in un campo magnetico, dove possono osservarli con comodo e seguire i decadimenti con maggiore precisione.

Ed è proprio qui che arriva la sorpresa. Pare che il periodo di dimezzamento dei neutroni non sia di 12,5 minuti, ma soltanto di 10,1. Il neutrone decade a una velocità circa il 19 per cento superiore a quel che si pensava.

Ha importanza? C'è qualcosa di più oltre a dover cambiare un numero nei libri di testo? Sì, ha una grande importanza, perché ha a che fare con i primi passi dell'universo.

Oggi pensiamo che l'universo abbia avuto inizio da un'esplosione, il cosiddetto big bang. Tutto cominciò con una minuscola particella contenente tutta la massa dell'universo a una temperatura enormemente alta. Questa particella originale si espanse in un'esplosione tremenda e la temperatura diminuì. Nello spazio di pochi secondi la temperatura scese al punto in cui si ebbe la formazione dei protoni e dei neutroni, e in qualche altro minuto diminuì al punto in cui i protoni e i neutroni poterono combinarsi per formare nuclei atomici.

Un protone è un nucleo di idrogeno, ma se due protoni e due neutroni entrano in combinazione formano un nucleo di elio. Dopo il big bang si formarono soltanto idrogeno ed elio. Gli atomi più complessi si formarono più tardi, al centro delle stelle, ma soltanto in quantità molto limitate. Ancora oggi l'universo è per il 99 per cento composto di idrogeno e di elio.

Una volta formati, naturalmente, i neutroni cominciarono a decadere, quindi la quantità totale di elio dipende dal tempo in cui i neutroni rimasero intatti. Gli astronomi hanno calcolato la quantità di elio che dovrebbe esistere attualmente nell'universo adottando un periodo di dimezzamento di 12,5 minuti. Poi hanno studiato il contenuto di elio nelle caldissime e lucenti nubi di materia nello spazio. Da questi e altri dati sembrava che la quantità totale di elio presente nell'universo fosse inferiore a quella calcolata secondo la teoria del big bang. E questo minava le basi della teoria.

Ma se si tiene conto del nuovo e più breve periodo di dimezzamento dei neutroni, la quantità di elio che si sarebbe formata secondo la teoria corrisponde esattamente alla quantità di elio osservata... e questo conferma la teoria del big bang.

Le invisibili nebulose

Non tutto nell'universo è visibile. Perciò, è naturale che gli astronomi accolgano volentieri ciò che rende visibile l'invisibile. Nel febbraio del 1987 una supernova, a 150 mila anni luce, ha rischiarato lo spazio fra sé e i nostri strumenti e ci ha fornito alcune interessanti formazioni.

Per essere visibile, sia ai nostri occhi sia agli strumenti di osservazione, un oggetto deve emettere delle radiazioni. Le stelle per esempio lo fanno, così come tutti gli oggetti celesti che contengono stelle, come le galassie e i quasar. Anche le nebulose possono essere visibili se contengono delle stelle. La luce stellare viene riflessa e diffusa dalla polvere circostante, fornendoci così delle informazioni utili.

Tuttavia, esistono nubi di polvere che si trovano nello spazio vuoto tra le stelle e che perciò sono fredde e buie. Di tanto in tanto capita di avvistare qualche *nebulosa scura* di questo genere, perché copre la vista di altre stelle più lontane. Queste nebulose appaiono come sagome scure nelle quali non brilla alcuna stella, ma i cui contorni sono visibili perché risaltano sullo sfondo di un bagliore stellare. Altre nebulose scure nella nostra galassia possono essere troppo rarefatte o troppo lontane per essere distinguibili. Queste nebulose scure, composte di polveri e gas, sono di grande interesse per gli astronomi.

Tanto per cominciare, sono il materiale dal quale nascono le stelle. Di quando in quando la nube si condensa e si surriscalda fino ad accendersi in un fuoco nucleare diventando una giovane stella. Quasi cinque miliardi di anni fa il nostro sistema solare venne formato proprio dalla condensazione di una nube primordiale. E il processo continua. Assistiamo a questo fenomeno anche nei nostri dintorni, come per esempio nella nebulosa di Orione che di recente risplende maggiormente a causa delle giovani stelle che vi si sono formate.

In secondo luogo, in alcune nebulose scure nelle quali non si è ancora formata nessuna stella, gli atomi aderiscono gli uni agli altri formando decine di combinazioni. Ogni combinazione emette le proprie particolari radioonde che ci permettono di identificarla. Alcune possono fornirci una maggiore comprensione su come si formano le molecole complesse e perciò aiutarci a capire come si è sviluppata la vita sulla Terra. Ma per queste osservazioni servono nubi abbastanza vicine alla Terra, e abbastanza dense.

Non c'è dubbio che esistano molte nebulose scure nella nostra galassia che sono troppo lontane oppure troppo rarefatte (o entrambe le cose) per essere osservate e studiate, a meno che in un modo o nell'altro non sia possibile rivolgere su di esse un fascio di luce molto intensa. Un simile riflettore fu disponibile, almeno in una direzione, quando si accese la supernova nella Grande Nube di Magellano.

Quella luce, giunta alla Terra superando un abisso di 150 mila anni luce (quasi 1,5 miliardi di miliardi di chilometri), attraversò alcune rarefatte nebulose all'interno della Grande Nube di Magellano, poi altre situate tra la Grande Nube di Magellano e la nostra galassia, e infine altre all'interno della nostra galassia. Ogni volta che la luce della supernova ne attraversava una, veniva in parte assorbita, e dalla natura dell'assorbimento gli astronomi hanno dedotto molte informazioni.

Per esempio, hanno calcolato che nel viaggio verso la Terra la luce della supernova è passata attraverso dodici nubi nella Grande Nube di Magellano, poi attraverso ventidue nubi nello spazio intergalattico tra la Grande Nube di Magellano e la nostra galassia, e infine attraverso altre sei nubi nella nostra galassia. Ne consegue un totale complessivo di quaranta nubi che in passato erano state del tutto invisibili fino all'esplosione della supernova.

Dalla natura della luce assorbita, gli astronomi hanno anche dedotto ulteriormente

che la Via Lattea (almeno quella parte di Via Lattea attraversata dalla luce) è piena di polveri e che le nubi sono costituite sia di gas sia di polvere. La Grande Nube di Magellano presenta meno polveri rispetto alla nostra galassia (ma si consideri che ha soltanto un decimo delle stelle presenti nella nostra galassia, e che le sue stelle sono molto più distanziate). Lo spazio intergalattico compreso fra la Grande Nube di Magellano e la nostra galassia sembra non essere per nulla polveroso, dato che le sue nubi sono costituite in larga misura di gas.

Finora gli astronomi sapevano della presenza di nubi soltanto nelle galassie, in particolare nella nostra, per quanto fossero in grado di vedere alcune zone scure anche in altre galassie vicine. Ma non sapevano nulla delle nubi di materia situate negli spazi intergalattici.

L'ipotesi è che la Grande Nube di Magellano, una piccola galassia più vicina alla Via Lattea di ogni altra, eserciti su di noi una certa attrazione gravitazionale, e viceversa, naturalmente. Questo fatto sarebbe ancor più notevole se nel passato fosse stata più vicina a noi e ci avesse sfiorato, dando l'occasione alla reciproca attrazione gravitazionale, benché non sufficiente a disturbare le singole stelle o le particelle di polvere, di strappare grandi quantità di singoli atomi e creare una serie di nubi di gas tra le due galassie.

Una certa parte delle nubi intergalattiche è sorprendentemente calda. Inoltre, alcune contengono litio, un elemento di solito raro. Entrambi i fattori esigono al più presto delle spiegazioni, e gli astronomi, come tutti noi, sono affascinati dai misteri.

L'onda più debole

È possibile progettare e realizzare uno strumento in grado di rilevare le onde gravitazionali?

Secondo le teorie di Albert Einstein le onde gravitazionali dovrebbero esistere. Ma, se esistono, sono talmente deboli che gli scienziati non sono mai stati in grado di scoprirle. Ci stanno ancora provando, tuttavia, ed è possibile che abbiano successo prima o poi.

Come facciamo a sapere che queste onde esistono, se non riusciamo a scoprirle? Einstein ha elaborato la teoria della relatività generale nel 1916 e ha dimostrato che la presenza di materia distorce lo spazio, dando origine alla forza gravitazionale. Ogni volta che la materia viene ridistribuita nello spazio, varia la natura della distorsione, e ciò produce un disturbo, *un'onda gravitazionale*, che si diffonde in tutte le direzioni alla velocità della luce.

Gli astronomi sono ormai del tutto sicuri che la teoria della relatività generale sia esatta. Perciò queste onde gravitazionali devono esistere. La Terra, per esempio, deve emetterle mentre ruota intorno al Sole. In tal modo perde energia e di conseguenza si avvicina gradualmente al Sole in una lenta spirale concentrica.

In questo caso, perché non riusciamo a individuarle? La risposta è che la gravità è di gran lunga la forza più debole che si conosca. La forza elettromagnetica che tiene

uniti gli atomi è mille miliardi di miliardi di miliardi di miliardi di volte più intensa della gravità. La sola ragione per la quale siamo consapevoli della gravità è che la Terra è un corpo celeste enorme e la sua attrazione complessiva diventa evidente.

Le onde gravitazionali, perciò, sono le più deboli che esistano: non producono nessun effetto individuabile. La quantità di energia perduta dalla Terra attraverso le onde gravitazionali è talmente minima che, dopo 4,6 miliardi di anni di esistenza, il complessivo avvicinamento al Sole è irrilevante.

Naturalmente, una notevole redistribuzione di massa produrrà onde gravitazionali più forti. Eventi come il collasso gravitazionale di una stella, che dà origine a un buco nero, oppure la collisione di due stelle possono produrre onde gravitazionali abbastanza forti da essere individuate. In questo caso, uno strumento di rilevazione gravitazionale potrebbe fornirci informazioni sulle immense catastrofi che avvengono qui e là nell'universo, informazioni che non potremmo ottenere in nessun altro modo.

Negli anni Sessanta, uno scienziato dell'Università del Maryland, Joseph Weber, tentò di individuare le onde gravitazionali. Utilizzò grandi cilindri di alluminio che se fossero stati colpiti da un'onda gravitazionale si sarebbero dilatati e contratti in misura di 1/10.000.000 del diametro di un atomo. Ciò nonostante, le onde gravitazionali più forti potevano produrre una compressione grande abbastanza da essere individuata.

Per essere sicuro che qualsiasi cosa fosse stata individuata fosse veramente un'onda gravitazionale, Weber utilizzò due cilindri, uno situato nel Maryland e l'altro nell'Illinois. Un'onda gravitazionale sarebbe talmente lunga e bassa da circondare la Terra intera e influire su entrambi i cilindri simultaneamente. Weber pensò di aver scoperto realmente le onde gravitazionali e per un po' nel mondo scientifico ci fu una certa eccitazione. Tuttavia, altri ricercatori non furono in grado di ripetere l'esperimento, e la sensazione fu che, benché Weber avesse svolto un lavoro importante, i suoi strumenti semplicemente non fossero abbastanza sensibili per un'impresa del genere.

Gli scienziati rifiutano di arrendersi. Il grande desiderio di avere un'altra dimostrazione della verità del principio di relatività generale insieme a quello di essere in grado di individuare i sussurri dei grandi eventi che accadono in lontananza li mantiene costantemente al lavoro sui nuovi "telescopi gravitazionali".

Un progetto alquanto promettente per tale tipo di "telescopio" è stato preso in considerazione all'Università di Glasgow in Scozia da un gruppo di ricerca sotto la direzione di Jim Hough. Lo strumento consisterebbe di due tubi sotto vuoto (tubi dai quali è stata eliminata ogni traccia di aria) ad angolo retto. In ciascun tubo, un raggio di luce laser sarebbe riflesso avanti e indietro un migliaio di volte almeno, o anche di più. Se i tubi restano immobili e non subiscono alcuna interferenza esterna, l'onda luminosa rimane in perfetta fase.

Se un'onda gravitazionale investisse i due tubi, tuttavia, un tubo verrebbe compresso una frazione infinitesimale più dell'altro, e ciò manderebbe i due raggi laser fuori fase. Questo potrebbe perciò essere individuato, rendendo possibile non soltanto la scoperta di un'onda gravitazionale ma anche il calcolo del suo contenuto d'energia. Inoltre, sarebbe possibile ottenere qualche informazione su ciò che può averla prodotta.

In questi ultimi tempi il gruppo di ricerca di Glasgow sta lavorando con tubi lunghi

dieci metri ciascuno, solo per analizzare come si comportano i raggi laser. Tutto pare promettere bene, ma alla fine ciò di cui il gruppo avrà bisogno, se vorrà avere la possibilità di scoprire le onde gravitazionali, sarà un paio di tubi lunghi all'incirca un chilometro. Il costo di produzione di uno strumento simile dovrebbe aggirarsi sui 25 milioni di dollari.

Per giunta, per svolgere il lavoro di ricerca nel modo appropriato, ci dovrebbero essere quattro strumenti simili situati in quattro località diverse della Terra, in modo che tutti e quattro vengano influenzati quasi simultaneamente per essere certi che si tratti di un'onda gravitazionale e non di qualcos'altro. Ci sarebbero delle lievissime differenze nell'ora precisa di individuazione, perché all'onda gravitazionale occorrerebbe $1/23$ di secondo, viaggiando alla velocità della luce, per passare da un'estremità della Terra all'altra. Lavorando con discrepanze d'orario talmente minime può essere possibile localizzare la direzione dalla quale provengono le onde gravitazionali.

Attualmente i ricercatori sono impegnati nel tentativo di raccolta dei fondi per la grande impresa appena descritta.

La prova della relatività

La teoria della relatività formulata da Einstein si fonda su un certo presupposto, e per oltre ottant'anni gli scienziati hanno messo alla prova questo presupposto. Ogni volta l'esame è stato superato. Nondimeno, gli scienziati continuano a verificarlo, perché se il presupposto risultasse anche soltanto leggermente discordante, ciò potrebbe aprire la strada alla formulazione di una nuova teoria che sarebbe persino più ampia, più utile e più esatta della teoria della relatività, che di conseguenza risulterebbe "quasi" esatta. Nei primi mesi del 1989 la teoria è stata sottoposta ancora a un'ulteriore verifica e il presupposto di Einstein ha superato di nuovo l'esame.

Il presupposto non è altro che questo: la velocità della luce è sempre la stessa, indipendentemente dalla velocità della sorgente luminosa.

Questo non è il modo in cui i comuni oggetti in movimento sembrano agire. Se si lancia una palla da un treno in movimento nella direzione verso la quale sta procedendo il treno, la palla si muove più velocemente attraverso l'aria. Se invece si lancia la palla nella direzione opposta a quella verso la quale sta procedendo il treno, la palla si muove più lentamente. La velocità della sorgente si somma alla velocità della palla se entrambe stanno procedendo nella stessa direzione. La velocità della sorgente viene invece sottratta alla velocità della palla se si muovono in direzioni opposte.

Tuttavia, Einstein era convinto che ciò non valesse nel caso della luce o per qualsiasi altra cosa che si muovesse alla velocità della luce. In questo caso la velocità non si sommerebbe né si sottrarrebbe, ma rimarrebbe sempre la stessa.

Se ciò fosse vero, significherebbe che maggiore è la velocità alla quale si muove un oggetto, minore è l'effetto della sorgente su di esso, fino a quando, alla velocità della luce, non subirebbe più nessun effetto da parte della sorgente. Einstein elaborò un'equazione per dimostrare come la velocità di una sorgente si sommerebbe o si sot-

trarrebbe alla velocità di un oggetto subordinatamente alla direzione del movimento e alla velocità alla quale i due si stanno muovendo uno in relazione all'altro.

Einstein dedusse inoltre che con l'aumento della velocità gli oggetti diventerebbero più corti nella direzione di viaggio; che aumenterebbero di volume e di peso; che il tempo per essi scorrerebbe più lentamente; che niente che abbia una massa (per esempio degli astronauti e la loro astronave) potrebbe mai viaggiare a una velocità superiore a quella della luce.

Tutto ciò sembra contrario al buonsenso ed è molto difficile da credere, perché siamo circondati da oggetti che si muovono a velocità notevolmente inferiori a quella della luce, di modo che siamo abituati a velocità che si sommano e si sottraggono con una semplice operazione aritmetica. Tuttavia, quando gli scienziati cominciarono a studiare gli oggetti che si muovono molto rapidamente, come per esempio alcune particelle subatomiche, scoprirono che le deduzioni di Einstein erano esatte in ogni particolare. Gli acceleratori di particelle atomiche non funzionerebbero nel modo in cui funzionano se le deduzioni di Einstein non fossero esatte, e neppure le bombe nucleari esploderebbero se così non fosse.

Naturalmente, se le deduzioni sono esatte, dobbiamo supporre che anche il presupposto originale debba essere esatto. Non si ricavano deduzioni esatte da presupposti errati. Ma forse il presupposto - e di conseguenza le deduzioni che ne derivano - è soltanto *quasi* esatto. Ciò ci metterebbe, come ho già affermato, sulle tracce di una teoria persino migliore della relatività. E così gli scienziati continuano a sottoporre a verifica il presupposto.

Ebbene, nel febbraio del 1987 finalmente siamo stati raggiunti dalla luce di una stella esplosa in una supernova a circa 160 mila anni luce di distanza. Provenienti dalla supernova, ci hanno raggiunto anche dei *neutrini* (particelle subatomiche prive di massa che viaggiano alla velocità della luce). Il presupposto di Einstein vale anche per i neutrini. Anch'essi infatti viaggiano sempre alla stessa velocità indipendentemente dalla velocità della sorgente.

Ogni frammento di stella in fase esplosiva emette neutrini in tutte le direzioni. Numerosi neutrini sono stati irradiati nella nostra direzione da ogni frammento dell'esplosione, e noi possiamo individuarli: non molti, per la verità, poiché i neutrini sono terribilmente difficili da individuare, ma alcuni sì.

I frammenti della stella in fase esplosiva si muovono a velocità enormi, non troppo lontane dalla velocità della luce. Alcuni di essi vengono proiettati dall'esplosione nella direzione opposta alla nostra e si allontanano rapidamente. Altri invece si dirigono verso di noi avvicinandosi con la stessa rapidità dei frammenti proiettati nella direzione opposta. Altri ancora si muovono trasversalmente, e in ogni altra direzione, sempre con la medesima rapidità. Se le velocità si sommassero e si sottraessero soltanto, i neutrini emessi dalle parti dell'esplosione che si stavano allontanando da noi viaggierebbero più lentamente nella nostra direzione e arriverebbero molto più tardi dei neutrini emessi dalle parti dell'esplosione che si stavano avvicinando. D'altro canto, se la velocità dei neutrini non fosse influenzata dalla velocità della sorgente, tutti dovrebbero per forza raggiungerci impiegando esattamente lo stesso tempo, indipendentemente dalla parte dell'esplosione dalla quale provengono.

Gli astronomi hanno individuato soltanto diciannove neutrini, i quali hanno rag-

giunto gli strumenti di rilevazione in una raffica di 12 secondi: nessuno prima, nessuno dopo. I neutrini avevano viaggiato per 160 mila anni luce (una particella che viaggia alla velocità della luce impiega un anno per coprire la distanza di un anno luce). In ciascun anno ci sono 31.550.000 secondi. Ciò significa che i neutrini hanno viaggiato per cinquemila miliardi di secondi, e tuttavia l'intervallo tra il primo e l'ultimo è stato soltanto di 12 secondi.

Kenneth Brecher e Joao L. Yun dell'Università di Boston hanno utilizzato i dati raccolti dalle osservazioni dei neutrini e hanno dimostrato che il presupposto di Einstein è esatto, con un'approssimazione inferiore a 1/100.000.000.000. Ciò significa che la velocità della luce (299.792,458 chilometri al secondo, arrotondati per comodità a 300.000 km/s) può variare al massimo di 2,5 mm al secondo.

Nel corso degli ottant'anni e passa trascorsi da quando il presupposto fu suggerito per la prima volta, la teoria di Einstein è stata sottoposta a una serie infinita di esami, nessuno dei quali però è mai stato più difficile e severo di quest'ultimo. E il risultato è che la teoria della relatività è più esatta che mai.

Neutrini lontani

La nuova supernova nella Grande Nube di Magellano è la più vicina individuata negli ultimi quattrocento anni. Di recente, ha fornito parecchie notizie importanti a proposito dei neutrini.

I *neutrini* sono microscopiche particelle prive di massa e di carica elettrica che viaggiano alla velocità della luce e che passano attraverso la materia come se non esistesse affatto. I neutrini passano da parte a parte l'intero globo terrestre senza essere fermati e nemmeno rallentati, o quasi. Soltanto un neutrino su parecchi miliardi viene fermato.

I fisici hanno escogitato alcune apparecchiature che, una volta costruite, fermeranno e individueranno di tanto in tanto qualche neutrino. In questo modo i neutrini, la cui esistenza è stata prevista teoricamente nel lontano 1931, sono stati infine scoperti nel 1956 nei reattori a fissione nucleare, che ne producono in grande quantità.

In questi ultimi anni i fisici hanno installato dei "rivelatori di neutrini" nella crosta terrestre allo scopo di captare e di registrare i neutrini prodotti dal Sole. I rivelatori devono essere installati in profondità nel sottosuolo in modo che non penetri nessun'altra particella che possa eventualmente confondere i risultati. Alcuni neutrini provenienti dal Sole sono stati in effetti individuati, ma in quantità inferiore a quella prevista (il che costituisce ancora un mistero).

Tuttavia, i neutrini non sono mai stati individuati in nessun'altra fonte che non fosse il Sole o la Terra: quelli provenienti dalle stelle sono talmente ridotti dalla distanza che soltanto un piccolissimo numero di essi riesce a raggiungerci, troppo pochi per fornire un'apprezzabile possibilità di rilevarli. Ma di recente questa possibilità è aumentata.

Pare che la nuova supernova, nella primissima fase esplosiva, abbia emesso un

flusso immenso di neutrini. Grazie al fatto che si trova piuttosto vicino a noi, siamo stati raggiunti da neutrini in quantità sufficiente per essere localizzati dai rivelatori installati in profondità sotto il Monte Bianco, nelle Alpi. Questi apparecchi sono gestiti da fisici italiani e sovietici.

La scoperta non ha portato alcuna sorpresa, a me almeno. Nel 1961 ero in corrispondenza con un giovane fisico di nome Hong Yee Chiu, che era stato alla Cornell University e in seguito si era unito al gruppo di ricerca dell'Institute for Advanced Study di Princeton.

Il mio corrispondente era molto interessato alle supernovae, e fece del suo meglio per calcolare quali reazioni nucleari avverrebbero al centro di una stella gigante mentre invecchia e diventa via via sempre più calda. Secondo Hong Yee Chiu il nucleo della stella raggiunge alla fine una temperatura di 6 miliardi di gradi centigradi (400 volte più calda del centro del Sole). A una temperatura così enorme le interazioni che producono i neutrini dovevano diventare molto numerose, decise Hong Yee Chiu. Immense quantità di neutrini (10 milioni di miliardi di volte più di quelle prodotte dal Sole) verrebbero formate. Mentre le altre particelle sarebbero più o meno imprigionate nel nucleo stellare e si farebbero strada molto lentamente verso le regioni più esterne, i neutrini, per nulla influenzati dalla materia, lascerebbero il nucleo stellare alla velocità della luce, portando con sé energia.

Il nucleo stellare, perdendo questi neutrini e la loro energia, si raffredderebbe completamente con rapidità catastrofica. Cosicché il centro non resterebbe a lungo caldo a sufficienza per sostenere il peso degli strati superiori e la stella subirebbe un collasso gravitazionale, producendo l'esplosione di una supernova e lasciandosi indietro, alla fine, una stella di neutroni oppure un buco nero (benché nel 1961 questi termini non fossero ancora di uso comune).

«Perciò» scriveva Hong Yee Chiu in una delle sue lettere «l'installazione di una stazione di monitoraggio dei neutrini nei laboratori terrestri o spaziali potrebbe aiutarci a prevedere l'evento imminente di una supernova.»

Non so se le previsioni di Hong Yee Chiu ricevettero molta attenzione un quarto di secolo fa, ma io ne fui colpito in modo profondo. Descrissi le conclusioni del giovane fisico in un articolo intitolato "*Hot Stuff*" ("Roba che scotta") nel luglio del 1962. Ora che la sua teoria potrebbe essere stata confermata, mi farebbe piacere vedergli riconosciuti i suoi meriti.

Suppongo che le mie ragioni siano in parte di tipo egoistico. Hong Yee Chiu si è occupato di fisica delle particelle alla Cornell University, dopo di che si è rivolto al campo dell'astrofisica, interessandosi sempre di più alle supernovae. Mi scrisse in una lettera la ragione del cambiamento, che cito testualmente: «Ho deciso di passare dal campo della fisica delle particelle elementari al campo dell'astrofisica subito dopo il conseguimento della laurea. È stato un suo articolo (dell'ottobre 1959) a segnare l'inizio del mio interesse nel campo delle supernovae».

L'articolo in questione era intitolato "*The Height of Up*" ("L'altezza superiore"). Non aveva niente a che fare con le supernovae, ma in esso mi domandavo quale grado di temperatura potesse essere raggiunto nel nostro attuale universo. Formulavo poi una risposta personale in maniera alquanto rozza, ma Hong Yee Chiu, leggendo l'articolo, pensò che si sarebbe potuto cimentare lui stesso (più esperto) nella ricerca di

una risposta più attendibile. Gli parve che le temperature più elevate dovessero trovarsi al centro delle stelle, particolarmente delle stelle giganti e ancor più nelle stelle giganti riscaldatesi fino al punto di esplodere. Scoprì così di essere al lavoro sulle supernovae.

Trovo grande soddisfazione in ciò. Benché io abbia compiuto gli studi necessari per essere uno scienziato, ho scelto di fare lo scrittore e il divulgatore scientifico di professione. Non sarò mai in grado, perciò, di fare io stesso qualche scoperta scientifica, ma mi compiaccio al massimo quando le mie supposizioni ispirano qualcun altro a farle.

Il cronometro a nana bianca

Che età ha l'universo? Questa domanda è un vero tormento per gli astronomi. Di recente però è stata avanzata una risposta basata su un nuovo tipo di "cronometro".

Per oltre sessant'anni si è andati alla ricerca di indizi che potessero stabilire con precisione l'età dell'universo nel ritmo al quale esso si sta espandendo. Una volta conosciuto il ritmo di espansione dell'universo, gli astronomi sarebbero in grado di valutare quanto tempo è stato necessario perché l'universo si espandesse da un minuscolo punto fino alle sue dimensioni attuali.

Sfortunatamente, l'esatto ritmo di espansione è difficile da determinare, e ciò significa che le stime relative all'età dell'universo possono essere soltanto indicative. Di conseguenza, oscillano tra i 10 e i 20 miliardi di anni. Molte persone arbitrariamente scelgono 15 miliardi di anni quale età dell'universo, perché è l'esatta metà fra i due estremi.

Un altro metodo è quello di stabilire l'età delle stelle più vecchie studiandone la composizione chimica e valutando quanto tempo avrebbero impiegato certi atomi longevi per decadere ai livelli scoperti in quelle stelle. Questo metodo pare dimostrare che l'età dell'universo è di 10 miliardi di anni.

Di recente è stato elaborato un terzo metodo per la determinazione dell'età. Si basa sulle "nane bianche".

Le comuni stelle simili al Sole alla fine esauriscono il combustibile nucleare che le fa risplendere, di solito dopo miliardi di anni. Quando ciò avviene, le stelle diventano delle giganti rosse. Questo succede quando una stella si espande e la sua superficie si raffredda. Successivamente, priva della quantità di combustibile sufficiente per mantenere l'espansione, la stella subisce un collasso gravitazionale diventando un oggetto incandescente bianco con la massa di una stella, ma non più grande della Terra. Si forma così una nana bianca.

Alcune stelle particolarmente grandi subiscono un collasso gravitazionale ancora più drastico, diventando delle minuscole stelle di neutroni, con un diametro di una decina di chilometri, o anche dei buchi neri, ancora più piccoli, che si ritiene siano stelle collassate, talmente dense che né la luce né la materia possono sfuggire dal loro campo gravitazionale. Ma in generale la maggior parte delle stelle con dimensioni pari a

quelle del Sole o minori diventano delle nane bianche.

Nelle nane bianche non ci sono reazioni nucleari che provochino un aumento del calore o della luce. Le nane bianche dispongono soltanto dell'energia che possedevano al momento del collasso gravitazionale. Con il passare del tempo, perciò, irradiano completamente questa energia e gradualmente diminuiscono di intensità.

Naturalmente, le nane bianche sono così piccole che anche quando si sono formate da poco, e sono perciò molto calde e splendenti, la quantità totale di luce che emettono è minuscola in confronto a quella del Sole. Ciò significa che sebbene ci siano almeno un miliardo di nane bianche soltanto nella nostra galassia, possiamo scorgere solo quelle più vicine.

Ciò nonostante, le nane bianche vicine, e perciò visibili, sono abbastanza numerose da permetterci di studiarle. Alcune nane bianche sembrano deboli di intensità perché lo *sono* effettivamente. Alcune altre, invece, sembrano deboli di intensità soltanto perché capita che siano più lontane. Se misuriamo la distanza alla quale si trovano le vane nane bianche, possiamo tenerne conto per stabilire quale sarebbe la lucentezza se tutte le nane bianche fossero alla stessa distanza dalla Terra. Questo dato viene chiamato *luminosità*.

Maggiore è l'età di una nana bianca, più bassa è la sua luminosità. È possibile che alcune di esse siano talmente vecchie da aver perso completamente l'energia di cui disponevano ed essere perciò nient'altro che ceneri scure del tutto invisibili? No, a quanto pare. Le nane bianche hanno una massa notevole e si raffreddano così lentamente che il tempo necessario per trasformarsi in "nane nere" è molto più lungo di qualunque stima dell'età dell'universo. Di conseguenza, qualsiasi nana bianca formata finora dovrebbe avere ancora qualche grado di luminosità.

Ciò significa che sebbene le nane bianche più vecchie siano anche le meno luminose, sarebbero comunque tuttora lucenti e visibili. All'Università del Texas, l'astronomo Donald E. Winget e i suoi colleghi hanno calcolato la luminosità di numerose nane bianche. Quelle molto luminose sono rare, perché sono quelle formatesi molto di recente. Quelle meno luminose sono più comuni, perché si sono formate in un maggiore arco di tempo.

Tuttavia, è quasi impossibile trovare nane bianche al di sotto di una certa luminosità, anche se dovrebbero ancora essere facilmente visibili. In apparenza, le nane bianche dall'intensità luminosa più debole si sono formate quando l'universo era molto giovane. Prima di allora, le stelle non erano ancora vissute a lungo abbastanza per produrre delle nane bianche.

Calcolando il tempo necessario perché le nane bianche meno luminose diventassero così tenui, e aggiungendo un miliardo di anni di vita stellare "normale", l'età dell'universo parrebbe essere, ancora una volta, 10 miliardi di anni. Notiamo che a questa cifra si è arrivati con tre metodi notevolmente diversi: il ritmo di espansione dell'universo, il ritmo di decadimento degli elementi radioattivi e il ritmo di diminuzione dell'intensità luminosa della nane bianche.

Per inciso, per tutti quelli che sono affascinati dai numeri, la cifra di 10 miliardi equivale a un 1 seguito da 10 zeri, il che significa che è il prodotto di 10 decine, vale a dire 10 moltiplicato per se stesso dieci volte. Non è una bella cifra tonda per l'età dell'universo?

L'emissione di raggi gamma

La creatura più singolare nello zoo degli astronomi è senz'altro il "buco nero". Infatti gli astronomi sono ancora all'opera per stabilire se esiste veramente o non esiste affatto. Di recente, alcune nuove scoperte sembrano indicare che esistono davvero.

Una stella può contrarsi fino al livello in cui i nuclei atomici entrano in contatto, e diventa una *stella di neutroni*. Quando ciò avviene, una stella delle dimensioni del Sole si riduce a una sfera di una decina di chilometri contenente tuttavia ancora la sua massa per intero. Il suo campo gravitazionale diviene allora mostruosamente intenso: un cucchiaino da caffè colmo della sua materia pesa quasi un milione di tonnellate. La luce stessa riesce a malapena a sfuggirle.

Le stelle di neutroni furono scoperte solamente nel 1969, e gli astronomi sono sicuri che esistano. Le minuscole stelle ruotano rapidamente su se stesse, con un periodo di rotazione che varia da un giro al secondo a quasi mille giri al secondo, e possiamo individuare gli impulsi radio emessi a ciascun giro. Alcune, molto poche, sono osservabili grazie agli intermittenti impulsi luminosi che emettono.

Tuttavia, se una stella di neutroni è troppo grande la sua gravità provoca il collasso degli stessi nuclei atomici. Allora la stella si riduce a tal punto da risultare in pratica un nonnulla, e la sua intensità gravitazionale aumenta in modo enorme. La materia può cadere all'interno di una stella collassata del genere, ma niente può vincerne la gravità ed emergere, quindi la stella si comporta come un buco senza fondo nello spazio. Nemmeno la luce riesce a sfuggire: si è creato quello che viene definito un *buco nero*.

Ma i buchi neri esistono davvero? Il centro di numerose galassie emette radiazioni energetiche in quantità enormi. Il modo più semplice di spiegare questo fenomeno è quello di ipotizzare che al centro delle galassie ci siano enormi buchi neri. Anche la nostra galassia pare abbia un grande buco nero al centro. Tuttavia, la prova della sua esistenza è indiretta e non del tutto convincente.

Quello che sembra essere il buco nero più vicino a noi è un oggetto chiamato Cygnus X-1. Si tratta di una sorgente di raggi X. In prossimità della posizione occupata da Cygnus X-1 è visibile una stella gigante con una massa circa 30 volte maggiore di quella del Sole. Pare che si muova nello spazio come se essa e Cygnus X-1 ruotassero una attorno all'altra. Dalla natura del movimento della stella, Cygnus X-1 sembrerebbe avere una massa da 5 a 8 volte maggiore della massa solare. Tuttavia, nella posizione occupata da Cygnus X-1 non si vede nulla. Tutto quel che si riesce a individuare sono i raggi X emessi dallo strano e invisibile oggetto celeste.

Potremmo supporre che Cygnus X-1 sia una stella di neutroni, troppo piccola per essere vista, con radioonde emesse in una direzione diversa dalla nostra. Ma non è possibile, perché una stella di neutroni non può avere una massa maggiore di 3,3 volte la massa del Sole, altrimenti la sua gravità la farebbe collassare, trasformandola in un buco nero. Cygnus X-1 deve essere perciò un buco nero.

Ciò sembrerebbe chiudere la questione, ma tutto dipende da quanto sono distanti da noi quei due oggetti celesti ruotanti. Se fossero più vicini di quel che si crede, allora la stella gigante e la sorgente di raggi X sarebbero di conseguenza più vicine l'una

all'altra di quel che si crede. Allora i loro rispettivi movimenti potrebbero essere determinati da masse più piccole.

Pare che Cygnus X-1 si trovi a diecimila anni luce di distanza da noi, ma che dire se invece fosse soltanto a tremila anni luce di distanza? In questo caso, la stella gigante avrebbe una massa dieci volte maggiore di quella del Sole e Cignus X-1 soltanto due volte. Perciò, potrebbe essere una stella di neutroni e non un buco nero.

Sappiamo che Cygnus X-1 dovrebbe emettere raggi X se fosse un buco nero. La materia proveniente dalla sua stella compagna sarebbe attratta nel buco nero ed emetterebbe raggi X nel momento in cui venisse "inghiottita" a spirale. Tuttavia, ci sarebbe un'emissione di raggi X anche se l'oggetto fosse una stella di neutroni. L'unica, fondamentale differenza è che una stella di neutroni non emetterebbe raggi gamma.

Un satellite artificiale denominato *High Energy Astrophysics Observatory 3*, che ha rilevato a lungo i raggi X provenienti da Cygnus X-1, ha captato anche una certa quantità di raggi gamma. I raggi gamma sono della stessa natura dei raggi X, ma hanno lunghezza d'onda minore. Fra i due, perciò, i raggi gamma sono quelli a maggiore energia. Infatti, i raggi gamma rilevati sono fino a mille volte più energetici dei raggi X emessi da Cygnus X-1.

Le stelle di neutroni possiedono campi gravitazionali potenti abbastanza da provocare una rapida rotazione della materia in spirale a giri stretti che automaticamente emette raggi X. Ma gli stessi campi gravitazionali non sono in grado di costringere la materia a muoversi in spirali talmente strette da emettere raggi gamma. I buchi neri invece sì, grazie alla maggiore gravità.

Nei primi mesi del 1988 un gruppo di astronomi del Jet Propulsion Laboratory di Pasadena in California ha reso noto un nuovo modo di considerare l'intera questione. I raggi gamma sembrano provenire da una regione di dimensioni ridotte, con un diametro di soli cinquecento chilometri circa, nella quale deve esserci un gas a una temperatura di parecchi miliardi di gradi. A una temperatura simile, il gas in questione produce una quantità di coppie elettrone-positrone che si annichiscono a vicenda producendo raggi gamma.

Al contrario dei buchi neri, le stelle di neutroni non hanno energia sufficiente per provocare un fenomeno simile. Questa nuova informazione, quindi, conferma che Cygnus X-1 è un buco nero.

Inghiottire una stella

L'universo è retto dalla forza di gravitazione. Qualsiasi briciolo di materia, non importa quanto sia piccolo, produce un'attrazione gravitazionale. Più grandi sono le sue dimensioni, maggiore è la massa che possiede e più intensa è l'attrazione gravitazionale di cui è dotato. A parità di volume, quando la massa è più concentrata l'attrazione cresce.

Allo scopo di sfuggire dall'attrazione gravitazionale di un oggetto celeste di grandi dimensioni, uno piccolo deve possedere una velocità superiore a quella che viene

chiamata *velocità di fuga*. Maggiore è l'attrazione gravitazionale, maggiore è la velocità richiesta per fuggire. Non ci sono limiti alla forza di attrazione gravitazionale, ma ci sono dei limiti per quanto riguarda la velocità. Nulla può viaggiare a una velocità superiore a quella della luce, pari a 299.792 chilometri al secondo. Se un oggetto ha una massa sufficiente e abbastanza concentrata, nemmeno la luce è tanto veloce da sfuggire.

Un oggetto massivo e concentrato dal quale nulla può fuggire è simile a un buco senza fondo. Qualsiasi cosa può cadervi dentro, ma nulla può uscirne. Dato che neppure la luce riesce a fuggire, è completamente nero. Ciò spiega perché un oggetto celeste del genere viene chiamato "buco nero".

Gli astronomi sono convinti che i buchi neri esistano. Ma come possono individuare qualcosa che è completamente nero e che non emette luce? Ebbene, supponiamo che un buco nero sia situato in prossimità di una certa quantità di materia. Supponiamo anche, per esempio, che il buco nero e una normale stella ruotino uno attorno all'altro. Se la stella è abbastanza vicina al buco nero è possibile che una certa quantità della sua materia sia attratta nelle vicinanze del buco nero.

Tale materia ruoterebbe intorno al buco nero proprio come farebbe un pianeta, avvicinandosi lentamente con un movimento a spirale fino a quando, a poco a poco, ne sarebbe inghiottita. Da una serie di esperimenti condotti qui sulla Terra sappiamo che una certa quantità di materia che ruoti in un campo gravitazionale emette energia. L'energia emessa dalla materia che ruota intorno a un buco nero è enorme, e viene trasmessa sotto forma di un flusso di raggi X. Potremmo considerare questo fenomeno, poeticamente, l'acuto urlo di morte della materia.

Nello spazio ci sono regioni nelle quali gli astronomi hanno scoperto sorgenti di raggi X che sembrano non essere per niente visibili. Si suppone quindi che siano buchi neri in fase di inghiottimento di materia. Fortunatamente, nessuna di queste zone è vicina a noi. Anche la più prossima si trova ad almeno cinquemila anni luce di distanza, milioni di volte più lontana da noi del lontanissimo pianeta Plutone.

Quando un buco nero inghiotte una certa quantità di materia, aumenta di volume. Naturalmente, un aumento del genere avviene più prontamente dove esiste una grande quantità di materia nelle vicinanze del buco nero. Gli astronomi hanno scoperto per esempio una certa attività di raggi X nel centro degli *ammassi stellari globulari*, che sono raggruppamenti di centinaia di migliaia di stelle molto vicine tra loro. Nella nostra galassia ci sono centinaia di questi ammassi stellari.

Le galassie sono composte di miliardi di stelle, talvolta migliaia di miliardi, e le grandi masse stellari al centro delle galassie sono di gran lunga più affollate degli ammassi globulari e molto più compatte. Gli astronomi hanno scoperto che il centro di numerose galassie è "attivo", produce cioè flussi enormi di raggi X e di altre radiazioni. Il loro sospetto è che i più grandi esemplari di buchi neri debbano trovarsi proprio in quelle zone.

Ci sono alcune galassie i cui nuclei sono particolarmente attivi. Vengono chiamate *galassie di Seyfert*, dal nome dell'astronomo che per primo ne descrisse una. Le galassie di Seyfert devono contenere buchi neri che sono veri e propri mostri, con masse pari a milioni o anche a decine di milioni di stelle normali.

Maggiori sono le dimensioni di un buco nero, maggiore è la massa che è in grado

di inghiottire. A quanto sembra, un buco nero grande abbastanza potrebbe inghiottire in un boccone un'intera stella: i buchi neri che si trovano al centro delle galassie di Seyfert dovrebbero poterlo fare senza difficoltà, per esempio.

Due astronomi della Ohio State University hanno osservato a lungo una galassia di Seyfert chiamata NGC 5548 che si pensa abbia al centro un buco nero con una massa pari a 30 milioni di stelle. Recentemente, i due astronomi hanno individuato un'improvvisa esplosione di radiazioni proveniente da NGC 5548. Dalle dimensioni e dalla natura delle radiazioni sospettano che sia stata provocata dal buco nero che avrebbe attratto una stella con dimensioni pari ai 4/5 del Sole e l'avrebbe inghiottita per intero.

Il nostro Sole corre forse il pericolo di fare una fine del genere? No davvero. Il buco nero più vicino che potrebbe riuscire nell'impresa si trova al centro della nostra stessa galassia, vale a dire a 30 mila anni luce di distanza. Il Sole e i pianeti del sistema solare ruotano intorno a quel centro senza mai avvicinarsi a una distanza molto inferiore a quella attuale.

Naturalmente, parecchio tempo prima di arrivare abbastanza vicini da essere inghiottiti da un buco nero, l'enorme flusso di raggi X e di altre radiazioni emesso dalla materia che vi precipita dentro renderebbe impossibile la vita sulla Terra. Fortunatamente, anche un minimo avvicinamento è del tutto improbabile.

Il metro ad ammassi globulari

Forse gli astronomi hanno a disposizione un nuovo metodo per misurare le distanze di alcune galassie dalla Terra.

Un simile metodo è assolutamente necessario. Senza una precisa conoscenza delle distanze galattiche non siamo in grado di stabilire con sicurezza quanto siano lontane le une dalle altre, né a quale ritmo si stia espandendo l'universo. Ciò significa che non possiamo essere molto precisi circa l'età dell'universo. Alcuni astronomi affermano che l'universo ha dieci miliardi di anni, mentre altri sono convinti che ne abbia venti, il che costituisce una notevole differenza. Questa discordanza ci rende incerti anche per quanto riguarda altri aspetti fondamentali dell'universo e per quel che concerne il suo destino finale.

Il modo migliore per determinare a quale distanza si trovi una galassia dalla Terra è quello di scoprire in essa un tipo particolare di stella chiamata *cefeide*, una stella a luminosità variabile. La luce di una cefeide aumenta e diminuisce di intensità ciclicamente. Misurando la durata di un ciclo possiamo calcolare la luminosità reale della cefeide: più lungo è il ciclo, maggiore sarà la luminosità. Più debole è la luce della cefeide, maggiore sarà la distanza alla quale si trova. Conoscendo la luminosità reale della cefeide, dalla sua luminosità apparente possiamo calcolarne la distanza.

Le cefeidi ci hanno permesso di calcolare con precisione la distanza alla quale si trovano le trenta galassie più vicine alla nostra. Le Nubi di Magellano, per esempio, si trovano a 150 mila anni luce, mentre la galassia di Andromeda a 2.200.000 anni luce. Oltre a quelle trenta galassie, tuttavia, le cefeidi a luminosità variabile diventano

troppo fioche per essere viste. Trenta non è certo una cifra elevata fra i miliardi di galassie esistenti.

Ci sono altri metodi per determinare la distanza delle galassie più lontane, ma meno attendibili di quello basato sulle variabili cefeidi. Per esempio, ci sono alcune stelle giganti, molto più luminose delle cefeidi, che possono essere viste a una distanza anche sei volte maggiore. Una stella particolarmente luminosa brilla all'incirca un milione di volte di più del Sole, e dal grado di luminosità apparente possiamo stabilire a che distanza si trova. Ma calcolare se una stella è o non è un milione di volte più brillante del Sole è una pura questione di ipotesi. Inoltre, non tutte le galassie contengono queste stelle giganti.

Di tanto in tanto possiamo anche individuare una supernova in qualche galassia, persino in quelle a notevole distanza, perché una supernova splende con un'intensità luminosa che può essere decine di miliardi di volte maggiore della luce del Sole. Ma di nuovo possiamo soltanto formulare delle ipotesi sulla luminosità reale della supernova. Inoltre, le supernovae appaiono solamente qui e là nelle galassie disseminate un po' dovunque.

Alla fine, siamo ridotti a valutare la distanza di una galassia dalla sua luminosità complessiva, perché nessuna stella è più distinguibile, nemmeno le più luminose, e le supernovae sono estremamente rare. Questo sarebbe un ottimo metodo per determinare le distanze se tutte le galassie avessero le stesse dimensioni, ma alcune di esse sono un milione di volte più grandi di altre. E così, valutare le distanze semplicemente dalla luminosità complessiva è molto azzardato.

Tutto ciò ci porta a prendere in considerazione gli *ammassi stellari globulari*. A quanto pare, in tutte le galassie esistono folti gruppi di stelle approssimativamente sferici. Tali ammassi hanno diverse dimensioni. I più piccoli possono essere costituiti da decine di migliaia di stelle, mentre i più grandi anche da milioni.

La galassia della quale facciamo parte, vale a dire la Via Lattea, contiene all'incirca 200 ammassi stellari globulari perfettamente visibili, e forse un altro centinaio che risultano invisibili essendo nascosti dalle nubi di polveri e di gas. La galassia di Andromeda contiene all'incirca lo stesso numero di ammassi stellari globulari, e ne sono stati scoperti anche in altre galassie vicine.

È probabile che questi ammassi abbiano un limite massimo di grandezza, superato il quale le stelle più esterne non sarebbero trattenute abbastanza saldamente dall'attrazione gravitazionale di quelle interne e alla fine si separerebbero dall'ammasso. Se questa supposizione fosse esatta, allora gli ammassi stellari globulari più luminosi avrebbero sempre la stessa luminosità complessiva.

William Harris, un astronomo della McMaster University di Hamilton, in Canada, ha di recente completato un attento studio degli ammassi stellari globulari nelle galassie vicine, delle quali è nota la distanza dalla Terra. Ha calcolato la luminosità apparente (magnitudine) degli ammassi stellari globulari e dalla loro distanza ha stabilito quanto fossero effettivamente luminosi per esempio in confronto al Sole. Da tutto ciò Harris ha dedotto che, in effetti, gli ammassi stellari globulari più splendidi, in qualsiasi galassia si trovino, possiedono all'incirca la stessa luminosità.

Ciò significa che se riuscissimo a distinguere alcuni ammassi stellari globulari in galassie la cui distanza dalla Terra non è affatto sicura e se riuscissimo a calcolare

l'intensità luminosa del più brillante, potremmo metterla a confronto con la luminosità effettiva e calcolare la distanza.

In un certo qual modo, può anche sembrare che in questa tecnica non ci sia nessuna novità. Un ammasso stellare globulare di forte intensità luminosa ha una brillantezza pari a quella delle supergiganti più luminose, e abbiamo già utilizzato queste stelle per calcolare le distanze galattiche. Tuttavia, il vantaggio degli ammassi stellari globulari è che con ogni probabilità sono presenti in ogni galassia, il che non è vero per le supergiganti. In secondo luogo, se lo studio di Harris è esatto, il limite superiore di luminosità per gli ammassi è più preciso che non per le supergiganti.

Il metodo degli ammassi stellari globulari può perciò fornirci distanze *attendibili* per quanto riguarda le seimila galassie più vicine. Ciò rappresenterà un miglioramento sostanziale rispetto alla situazione attuale, ma ci sono ancora miliardi di galassie. Quindi dobbiamo continuare la ricerca di altri "metri cosmici".

Scherzi della gravità

Un fatto che all'inizio del 1987 sembrava davvero emozionante, di recente è risultato niente di più che un'illusione ottica. Alcuni luminosi archi di luce semicircolari scoperti a ruotare intorno alle galassie lontane parevano essere gli oggetti celesti più lunghi mai osservati. Gli astronomi cominciarono perciò a formulare un mucchio di ipotesi. La soluzione del mistero riguardava la forza di gravità.

Nel 1916, Albert Einstein, nella teoria della relatività generale, dimostrò che i raggi luminosi vengono leggermente deviati quando passano accanto a oggetti di grande massa. Supponiamo allora che i raggi luminosi provenienti da qualche lontano oggetto celeste trovino lungo il cammino un oggetto di grande massa. I raggi subirebbero una deviazione verso l'interno su tutti i lati e ai nostri occhi potrebbero convergere in un unico punto focale. In questo caso, l'oggetto celeste lontano risulterebbe ingrandito come se fosse stato posto sotto una lente. Per questa ragione, il fenomeno viene chiamato *lente gravitazionale*. Einstein predisse l'esistenza di simili lenti.

Tuttavia, questa deviazione della luce è impercettibile, quindi i raggi devono coprire una grande distanza prima di convergere nello stesso punto. Ciò significa che l'oggetto che provoca la convergenza deve essere molto lontano e la sorgente luminosa che invia i raggi di luce deve essere ancora più lontana.

Nel 1916 gli astronomi non avevano a disposizione nessuna informazione riguardante oggetti celesti tanto lontani da poter costituire una lente gravitazionale, e la situazione non cambiò per quasi mezzo secolo. Il fenomeno delle lenti gravitazionali fu perciò considerato teoricamente possibile, ma del tutto improbabile.

Invece, nei primi anni Sessanta, furono scoperte le *quasar*. Si trattava di galassie dal nucleo molto attivo e luminoso che si trovavano a enormi distanze dalla Terra. Anche la più vicina era a un miliardo di anni luce, una distanza molto maggiore di qualunque altra distanza precedentemente nota, e ne vennero individuate alcune lontane addirittura dieci miliardi di anni luce. In effetti, le quasar sono talmente lontane

che tutto quel che riusciamo a distinguere è il minuscolo nucleo luminoso simile a una lontanissima stella di debole intensità.

Supponiamo che tra la quasar e la Terra ci sia una normale galassia, magari appena visibile, ma comunque molto più vicina della quasar. La luce verrebbe deviata dalla galassia e con ogni probabilità noi osserveremmo due immagini distinte della quasar. Questo sarebbe l'effetto di una lente gravitazionale.

Nel 1979, gli astronomi dell'Università dell'Arizona scoprirono due quasar, molto vicine l'una all'altra, che sembravano molto simili nell'aspetto, nell'intensità luminosa e nelle proprietà della luce emessa. Che fossero due immagini della stessa quasar prodotte da una lente gravitazionale? Se così fosse stato, allora doveva esistere una galassia tra la Terra e la quasar. La si cercò e infine venne trovata una galassia dalla luce estremamente debole. Era stato scoperto il primo caso di lente gravitazionale.

Com'era naturale, ne furono cercati altri. Attualmente gli astronomi pensano di aver trovato almeno altre sette immagini distorte di quasar prodotte da lenti gravitazionali.

Tutto ciò ci porta a considerare finalmente gli archi di luce che circondano alcune galassie lontane e che furono scoperti nei primi mesi del 1987 da Vabe Petrosian della Stanford University e da C. Roger Lynds del Kitt Peak National Observatory nei pressi di Tucson, in Arizona. Questi archi abbondavano di luce ultravioletta e sembravano del tutto uniformi e perfettamente circolari. Uno di essi appariva lungo 325 mila anni luce, e sarebbe stato perciò molto più lungo della nostra galassia.

A Petrosian e a Lynds venne in mente che se una quasar si fosse trovata esattamente alle spalle di una galassia, l'immagine sarebbe dovuta apparire identica su tutti i lati e prendere l'aspetto di un arco circolare o di una parte di arco. Cercarono allora delle galassie di debole intensità luminosa tra gli archi circolari e la Terra, le scoprirono in due casi e nel novembre 1987 dichiararono che gli archi luminosi molto probabilmente erano prodotti da una lente gravitazionale.

Queste lenti gravitazionali potrebbero fare qualcosa di più che offrirci semplicemente una visione spettacolare (almeno a quelli di noi che sono provvisti di un telescopio abbastanza grande). Potrebbero aiutarci a risolvere un enigma. Molti astronomi sono convinti che l'universo possa un giorno smettere di espandersi e cominciare invece a contrarsi, anche se in un futuro alquanto lontano. Tuttavia, la quantità di materia che siamo in grado di osservare nell'universo corrisponde soltanto al 10 per cento circa della quantità necessaria per produrre un'attrazione gravitazionale sufficiente a fermare l'espansione.

Ciò significa forse che l'universo non smetterà mai di espandersi? Oppure non può essere invece che sia presente un altro tipo di materia che non siamo in grado di vedere e che rappresenta il 90 per cento dell'universo?

Ebbene, le galassie che si trovano tra la Terra e gli archi luminosi non sembrano contenere abbastanza materia da deviare la luce delle quasar in modo sufficiente a produrre l'effetto lente. Eppure lo producono. La conclusione è che le galassie hanno una massa di gran lunga maggiore di quella che sembrano avere, e ciò vuol dire che devono possedere un tipo di materia che non riusciamo a individuare con i metodi consueti.

Ma che cosa può mai essere questa materia che sfugge all'osservazione? Il proble-

ma viene chiamato "il mistero della massa mancante", e può darsi che prima o poi questi archi luminosi ci forniscano indizi utili per arrivare a una soluzione.

Gli oggetti intermedi e la massa mancante

Gli astronomi sanno quasi tutto delle stelle e dei pianeti, ma ora si stanno impegnando attivamente nella ricerca di corpi celesti che si collocano a mezza strada, ossia quelli troppo piccoli per essere stelle, ma nello stesso tempo troppo grandi per essere pianeti. Si tratta di oggetti molto elusivi, ma la loro esistenza - ammesso che esistano - potrebbe essere molto importante.

La stella che conosciamo meglio, naturalmente, è il Sole, e il pianeta più grande che conosciamo è Giove. La massa del Sole, vale a dire la quantità di materia che contiene, è circa mille volte quella di Giove.

Il Sole ha una massa tale che gli atomi di idrogeno che si trovano nel nucleo vengono schiacciati e compressi insieme a temperature molto elevate e subiscono perciò la fusione termonucleare. Quest'ultima libera immense quantità di energia, e ciò spiega perché il Sole risplende di luce propria e perché brilla da miliardi di anni. Giove semplicemente non è grande abbastanza perché gli atomi del nucleo vengano compressi a temperature enormi fino a subire la fusione. È troppo freddo per brillare di luce propria: è visibile solo perché riflette la luce solare.

Naturalmente ci sono stelle di ogni dimensione. Maggiori sono le dimensioni di una stella, maggiore energia viene prodotta nel suo nucleo, per cui risulta più calda e più luminosa. Esistono stelle con una massa sessanta volte maggiore di quella del Sole, e anche di più. D'altro canto, le stelle più piccole del Sole sono meno luminose e più fredde. Alcune stelle hanno soltanto un decimo della massa solare.

Le stelle visibili più piccole sono di un colore rosso infuocato e vengono perciò chiamate *nane rosse*. Hanno intensità luminosa troppo debole per essere viste a grandi distanze. Possiamo studiarle bene solo quando non si trovano a più di qualche anno luce. Le nane rosse più piccole possono avere una massa all'incirca cento volte maggiore di quella di Giove.

Se una nana rossa è talmente piccola da non produrre energia sufficiente per brillare di luce propria, allora può essere definita una *nana nera*. Giove potrebbe essere considerato in effetti una nana nera. E così la Terra e tutti gli altri pianeti del sistema solare.

Ma che dire di quegli oggetti celesti che hanno una massa superiore a quella di Giove, ma inferiore a quella delle nane rosse, quegli oggetti che hanno una massa, diciamo, da dieci a ottanta volte maggiore di quella di Giove? Non hanno una massa sufficiente per produrre una fusione dell'idrogeno nel nucleo e per brillare quindi come una stella, anche se molto poco luminosa. D'altra parte, però, possono avere una massa sufficiente per sviluppare qualche altra forma di reazione nucleare diversa dalla comune fusione dell'idrogeno. Oppure la loro attrazione gravitazionale può essere forte a sufficienza, di per sé, per scaldarle fino al punto di far loro irradiare pic-

cole quantità di energia.

Tali oggetti di tipo intermedio possono produrre una luce rossa di debole intensità. Possono anche produrre una gran quantità di luce infrarossa a più bassa energia. La luce infrarossa risulta invisibile a occhio nudo, ma abbiamo a disposizione strumenti in grado di individuarla. Tali oggetti non sarebbero del tutto neri, per cui di recente per definirli è stato adottato il termine *nane brune*. (È un termine che non calza molto, perché in realtà non sono di colore bruno. Più appropriatamente, si dovrebbe chiamarle "nane infrarosse".)

Le stelle di piccole dimensioni sono molto più diffuse di quelle di grandi dimensioni. Le stelle enormi sono molto rare. Persino le stelle di dimensioni medie come il Sole sono relativamente poche. Almeno i tre quarti di tutte le stelle che brillano di luce propria sono nane rosse. Ne consegue che le nane brune, di dimensioni più ridotte, devono essere ancora più diffuse.

Se così fosse, sarebbe importante. Gli astronomi sanno da anni che le galassie sembrano avere una massa considerevolmente maggiore di quella stimata considerando solo le stelle. È quel che si chiama "il mistero della massa mancante". Se, tuttavia, ogni galassia (inclusa la nostra) possiede grandi quantità di nane brune, non visibili dalla Terra, ciò può render conto almeno di una parte della massa mancante, se non di tutta. Una conferma dell'esistenza di questa massa supplementare renderebbe più chiare le nostre teorie circa il futuro sviluppo, e il destino finale, dell'universo.

D'altro canto, può darsi che la meccanica della formazione delle stelle sia tale che nessun oggetto celeste con dimensioni da dieci a ottanta volte superiori alla massa di Giove sia stato formato. In questo caso, spiegare il mistero della massa mancante diverrebbe molto più arduo. È per questa ragione che gli astronomi stanno cercando qualunque segnale che confermi l'esistenza delle nane brune. In questi ultimi anni sono stati annunciati gli avvistamenti di un certo numero di nane brune, ma finora tutti i resoconti si sono dimostrati prematuri.

Le zone migliori nelle quali cercare le nane brune, a quanto sembra, sarebbero le regioni relativamente vicine al sistema solare dove è in pieno svolgimento la formazione attiva delle stelle. In queste zone si possono scoprire giovani stelle completamente nuove. Fra di esse ci possono essere alcuni corpi celesti piccoli abbastanza da essere nane brune. Nella costellazione del Toro c'è una regione del genere, e nei primi mesi del 1989 un gruppo di astronomi sotto la direzione di William Forrest dell'Università di Rochester, nello stato di New York, ha reso noto di aver scoperto proprio in quella regione degli oggetti che potrebbero essere nane brune.

Gli oggetti avvistati emettono radiazioni a grande lunghezza d'onda che sono state captate dagli strumenti. Inoltre, pare che questi oggetti non ruotino intorno a una stella normale, cosicché non si tratterebbe di pianeti che riflettono le radiazioni dalle stelle, ma di corpi indipendenti. Dai calcoli fatti Forrest stima che queste nane brune abbiano una massa da cinque a quindici volte maggiore di quella di Giove. Per di più, dal fatto che egli abbia scoperto sette di questi oggetti in un'area minuscola, Forrest stima che nella regione osservata ci siano probabilmente almeno un centinaio di nane brune per ogni stella normale. Se ciò verrà confermato, e se si scoprirà che vale anche per altre regioni dello spazio, è possibile che il mistero della massa mancante sia stato risolto.

Galassie in collisione

Se la Terra o il Sole fossero coinvolti in una tremenda collisione con qualche altro corpo celeste, significherebbe molto probabilmente la fine della vita sul nostro pianeta. Ma che dire se la nostra intera galassia, contenente il Sole e circa 200 miliardi di altre stelle, dovesse subire un'immensa collisione?

Non è molto probabile che una collisione del genere avvenga nell'immediato futuro, ma se aspettassimo abbastanza a lungo, avverrebbe di sicuro. La galassia della quale facciamo parte, meglio nota come Via Lattea, non è sola nello spazio. Fa parte di un raggruppamento composto di una ventina di galassie che, insieme, sono note sotto il nome di Gruppo Locale.

Per la maggior parte, le galassie che compongono il Gruppo Locale sono nane. Infatti ciascuna di esse contiene soltanto pochi miliardi di stelle. Un esempio è la Grande Nube di Magellano, a soli 150 mila anni luce di distanza, che contiene dieci miliardi di stelle. (La Grande Nube di Magellano è piuttosto nota, essendo stata citata più volte sui giornali a causa della supernova esplosa nel febbraio del 1987, la supernova più vicina alla Terra in quasi quattrocento anni.)

Tuttavia, le galassie che fanno parte del Gruppo Locale non sono tutte nane. Una di esse, la galassia di Andromeda, una gigante persino più grande della Via Lattea, contiene approssimativamente 300 miliardi di stelle. Fra tutte le galassie giganti, è quella più vicina alla Terra, e si trova a 2.300.000 anni luce di distanza. È più di quindici volte più lontana della Grande Nube di Magellano.

Le due galassie giganti appena menzionate, la Via Lattea e Andromeda, sono fissate irrimovibilmente a questa distanza. Entrambe si muovono intorno a un centro di gravità comune. Per giunta, le loro rispettive orbite sono alquanto ellittiche, di modo che le due galassie si muovono avvicinandosi e poi allontanandosi l'una dall'altra nel corso di periodi di molti milioni di anni.

Se queste due galassie giganti fossero le sole nello spazio, continuerebbero all'infinito a ruotare in perfetto equilibrio mantenendosi alla stessa distanza in eterno, o almeno fino a quando l'intero universo non giungesse a una fine. Tuttavia, le restanti galassie del Gruppo Locale esercitano tutte un'attrazione gravitazionale, e perciò la Via Lattea e Andromeda seguono entrambe una traiettoria alquanto complessa che potrebbe all'occasione rendere il loro avvicinamento un po' maggiore. In breve, potrebbero entrare in collisione e, a lungo andare, accadrà di sicuro. (Ci sono alcuni esempi di collisioni in corso fra i diversi milioni di galassie visibili nello spazio.)

Che cosa avverrà allora?

Le galassie non sono corpi celesti solidi, per la verità, ma semplicemente ammassi composti di parecchi miliardi di stelle. Queste stelle sono talmente distanziate e talmente minuscole in confronto alle reciproche distanze che, se due galassie si scontrassero accidentalmente, non avverrebbe poi molto. Le stelle di una galassia passerebbero in mezzo alle stelle dell'altra, con scarse probabilità di collisione, e si influenzerebbero reciprocamente solo in modo molto lieve. Alla fine, le due galassie si separerebbero, andando ognuna per la propria strada.

Ma che cosa accadrebbe se due galassie si scontrassero, diciamo, "frontalmente",

in modo tale che il centro di una si avvicinasse lentamente e si fondesse con il centro dell'altra?

Al centro delle galassie le stelle sono raggruppate con una densità molto maggiore. Ciò aumenta enormemente le probabilità di collisioni stellari. Quel che è peggio è che gli astronomi di recente sono arrivati a convincersi che al centro delle due galassie in questione ci sia un buco nero, con una massa di milioni di stelle comuni. Ecco dunque l'ipotetico scenario della catastrofe.

I due buchi neri inghiottiranno diverse migliaia, forse anche milioni, di stelle mentre queste attraversano gradualmente le reciproche regioni centrali e alla fine si uniranno, creando un campo gravitazionale gigante che continuerebbe ad attrarre le stelle.

Tutto ciò comporterà l'emissione di enormi quantità di radiazioni. I nuclei delle due galassie, fusi in uno solo, emetteranno radiazioni pari a quelle emesse da un centinaio e più di galassie di tipo comune. In breve, le due galassie diventeranno probabilmente una *quasar*, il tipo di oggetto celeste a fortissima intensità luminosa maggiormente diffuso quando l'universo era ancora giovane, e che ancora possiamo individuare a miliardi di anni luce di distanza.

Le radiazioni emesse dalla quasar surriscaldano il gas rarefatto che si trova nello spazio interstellare e lo allontanano dalle galassie. Ciò significa che non potrà nascere nessuna stella nuova e che le due galassie saranno costrette a stabilizzarsi in un processo di costante invecchiamento.

L'emissione di radiazioni dalla quasar al centro delle due galassie unite avverrà a 30 mila anni luce di distanza dalla Terra, poiché il sistema solare si trova - è una vera fortuna - alla periferia della galassia. Ciò significa che le radiazioni saranno considerevolmente ridotte al momento di raggiungere il nostro pianeta e saranno fermate completamente dalla nostra atmosfera. Saremo in grado di vedere nel cielo una stella di notevole intensità luminosa nella costellazione del Sagittario: la quasar al centro delle due galassie fuse insieme, non nascosta dalle nubi di gas e di polveri che attualmente esistono tra la Terra e il centro della galassia. Il fenomeno, però, potrà rendere rischiosi i viaggi spaziali.

Anche se la collisione dovesse lacerare a metà le galassie e mandare il Sole allo sbando verso l'esterno negli spazi intergalattici, noi non verremmo influenzati gran che. La Terra non farà altro che muoversi ruotando come fa ora insieme al Sole e agli altri pianeti. Le stelle nel cielo, così come le conosciamo ora, diminuiranno gradualmente di intensità e spariranno, ma la vita continuerà e noi non avvertiremo nessun cambiamento.

Naturalmente, tutto ciò avverrà soltanto se il nucleo della galassia di Andromeda si dirigerà dritto contro il nucleo della Via Lattea! Fortunatamente, si calcola che una collisione simile non avverrà prima di 4 miliardi di anni. Cosicché non c'è nessun motivo di allarme immediato.

A dieci miliardi di anni luce

È sempre una grande emozione scoprire qualcosa di nuovo nel cielo. Ma scoprire addirittura qualcosa di nuovo a una distanza enorme - come hanno fatto di recente gli astronomi individuando una "quasar doppia" - è due volte più emozionante. Qualsiasi cosa si riesca ad avvistare a una distanza simile esisteva nell'infanzia dell'universo e gli astronomi hanno sempre un gran desiderio di scoprire il più possibile su quei primi "giorni".

Lo studio approfondito delle distanze estreme ebbe inizio nel 1963, quando vennero scoperte le quasar. Si presentavano come stelle di debole intensità luminosa, ma in seguito si scoprì che si trovavano a una distanza di un miliardo di anni luce e anche più. Finora, se ne sono scoperte centinaia, alcune delle quali a dieci miliardi di anni luce di distanza.

Non siamo in grado di vedere molto più in là di una distanza del genere. E non certo perché siamo giunti con lo sguardo ai limiti estremi dell'universo (non esiste alcun limite), bensì perché quando osserviamo oggetti celesti che si trovano a distanze sempre maggiori, stiamo nello stesso tempo guardando sempre più indietro nel tempo. Una quasar che si trovi a dieci miliardi di anni luce dalla Terra viene vista così com'era dieci miliardi di anni fa, quando l'universo era alquanto giovane. Se potessimo puntare lo sguardo ancora più lontano potremmo scoprirci nell'atto di osservare un universo in cui le galassie non si erano ancora formate, e in cui le nubi di radiazioni calde sarebbero viste soltanto come un'opaca foschia.

Se le quasar risultano visibili a distanze del genere, significa che non si tratta di stelle come sembrerebbe a prima vista, bensì di intere galassie. Una galassia di tipo comune, come la Via Lattea, della quale facciamo parte, non sarebbe visibile alla stessa distanza, ma le quasar sono dotate di centri enormemente attivi che per una ragione o per l'altra emettono una luce cento volte più intensa di quella delle galassie normali. Il risultato è che sono visibili anche alle distanze massime raggiungibili con gli strumenti di osservazione di cui disponiamo.

A quanto pare queste galassie superattive nel passato erano molto più numerose. Ma perché? Forse perché le galassie giovani hanno più probabilità di essere delle quasar? Che cosa rende così luminoso il nucleo? Quale fonte di energia le alimenta? Che cosa succede a una quasar quando alla fine si esaurisce? A riguardo delle quasar gli astronomi hanno un gran numero di domande alle quali gradirebbero dare una risposta.

Per quasi vent'anni le quasar sono state considerate oggetti celesti singoli. Poi, nei primi anni Ottanta, fu avvistato un raro esempio di "quasar doppia". Si scoprì che erano due quasar molto vicine. A quel punto le tecniche di studio delle quasar per mezzo dei radiotelescopi, così come dei telescopi ottici, erano state molto migliorate, e la luce delle quasar poteva perciò essere analizzata in dettaglio.

Risultò che la luce proveniente da ciascuna delle due quasar era identica in ogni caratteristica. Non era come se ci fossero due quasar separate, ma come se ce ne fosse soltanto una che, per una ragione o per l'altra, si era sdoppiata. Come poteva essere?

La risposta logica fu che la luce di un solo quasar, viaggiando nello spazio per giungere fino a noi, aveva oltrepassato una normale galassia, troppo poco luminosa per essere individuata, ma abbastanza massiva da deviare la luce della quasar. I raggi luminosi erano stati incurvati verso l'interno da ciascun lato della galassia cosicché

raggiungevano i nostri telescopi come due raggi molto vicini fra loro. Di conseguenza, vedevamo due quasar mentre in realtà ce n'era solo una.

Questo effetto ottico viene chiamato "lente gravitazionale", perché produce lo stesso effetto di una comune lente di cristallo. Albert Einstein aveva predetto l'esistenza di questo fenomeno settant'anni prima che fosse scoperto.

Numerosi esempi di lenti gravitazionali sono ormai noti e possono essere utilizzati per formulare deduzioni relative alle galassie che producono l'effetto, anche se le stesse in realtà non risultano visibili.

Una certa quasar, numerata nei cataloghi astronomici come PKS 1145-071, nota da anni, si trova a circa dieci miliardi di anni luce dalla Terra. Ha sempre dato l'impressione di essere una quasar come tante, ma nel novembre del 1986 si scoprì che era doppia. Nella posizione occupata da PKS 1145-071 c'erano in realtà due quasar vicinissime. Naturalmente si suppose che fosse di un altro caso di lente gravitazionale.

Nel 1987, alcuni astronomi del Multiple Mirror Telescope in Arizona analizzarono la luce proveniente dalle due quasar: per la prima volta, risultò che non era identica. C'erano delle precise differenze che indicavano la presenza di due oggetti separati e distinti.

Se questa osservazione regge, allora PKS 1145-071 sarebbe il primo caso di una vera quasar doppia. Rappresenterebbe due galassie con nuclei enormemente attivi, talmente vicine da ruotare una attorno all'altra.

Se così fosse, è possibile che queste due galassie non siano isolate. Può darsi che ci siano altre galassie nelle loro vicinanze che non sono quasar, che non hanno nuclei superattivi e che perciò sono invisibili. In breve, sembra esistere la chiara possibilità che quello che stiamo osservando sia in effetti un ammasso di galassie.

Le galassie si presentano sempre in forma di ammassi. La Via Lattea fa parte di un ammasso composto da una ventina di galassie. Sono noti altri ammassi composti di migliaia di galassie. Tuttavia, la nuova scoperta dimostrerebbe che tali ammassi esistevano già dieci miliardi di anni fa. Se così fosse, gli astronomi sarebbero costretti a rettificare alcune loro teorie riguardo all'iniziale formazione delle galassie.

Vedere il passato

Non è possibile vedere le cose come sono, indipendentemente da quel che facciamo. Ci vuole tempo, perché la luce di un oggetto celeste giunga fino a noi, quindi vediamo sempre le cose com'erano in passato e mai come sono attualmente.

In condizioni normali, questo fatto non ha una grande importanza. Se vedete un amico dall'altra parte della strada, lo state vedendo com'era un centomilionesimo di secondo fa, e un intervallo di tempo simile può essere anche considerato come se fosse proprio "adesso". Ma una volta che lo sguardo lascia la Terra e si cominciano a osservare i corpi celesti, il divario diventa percepibile. Per raggiungerci, la luce riflessa dalla Luna impiega un secondo e un quarto, cosicché, fintanto che rimarremo sulla Terra vedremo sempre la Luna così com'era un secondo e un quarto fa.

La luce del Sole impiega otto minuti per raggiungerci, quindi vediamo sempre il Sole com'era otto minuti fa. Se un qualche tipo di magica distruzione spazzasse via il Sole all'improvviso, rimarremmo in uno stato di beata ignoranza per un po', continuando a crogiolarci sotto i raggi del Sole convinti della sua presenza, come se il nostro astro fosse perfettamente intatto. Sarebbero necessari ben otto minuti perché gli ultimi raggi di luce emessi dal Sole prima della catastrofe ci raggiungessero. Soltanto allora piomberemmo di colpo nell'oscurità più completa e solo a quel punto sapremmo che il Sole è sparito.

Le condizioni sono ancora più estreme per quanto riguarda le stelle. La distanza coperta dalla luce in un anno - 9460 miliardi di chilometri - corrisponde a un *anno luce*. La stella più vicina, Alfa Centauri, si trova a 4,3 anni luce di distanza. Ciò significa che la luce emessa da Alfa Centauri impiega 4,3 anni per giungere ai nostri occhi, e che vediamo sempre la stella com'era 4,3 anni fa.

Si può anche pensare che tutto ciò abbia scarsa importanza, perché con ogni probabilità, ora come ora, Alfa Centauri è esattamente com'era 4,3 anni fa. Questo è vero, poiché le stelle cambiano molto lentamente. Ma altri oggetti celesti si trovano a distanze ben maggiori. Quando puntiamo lo sguardo su Sirio, la vediamo com'era 8,8 anni fa, e se lo rivolgiamo ad Arturo, la vediamo com'era 40 anni fa.

In realtà, abbiamo captato radioonde dal centro stesso della nostra galassia (l'immenso agglomerato di 200 miliardi di stelle all'interno del quale ci troviamo con il Sole). La nostra galassia è talmente vasta che le radioonde hanno impiegato 30 mila anni per raggiungerci. Di conseguenza, possiamo conoscere il centro della Galassia soltanto com'era 30 mila anni fa.

E, naturalmente, ci sono molte altre galassie a notevole distanza dalla nostra. La galassia gigante più vicina è la galassia di Andromeda (l'oggetto celeste più lontano che riusciamo a vedere a occhio nudo). Si trova a 2,3 milioni di anni luce di distanza. Ciò significa che nel momento in cui prendiamo in esame il minuscolo punto di foschia che vediamo quando puntiamo gli occhi sulla galassia di Andromeda lo stiamo vedendo com'era 2,3 milioni di anni fa. Nulla ci permetterà di vederlo com'era un anno fa, o com'era mille anni fa, né tanto meno com'è ora, in questo stesso momento.

Ci sono galassie osservabili anche a una distanza maggiore di Andromeda: a decine di milioni, e anche a miliardi, di anni luce di distanza. Quando entriamo in contatto con distanze del genere, stiamo guardando talmente indietro nel passato che in realtà c'è stato tutto il tempo necessario perché avvenissero enormi cambiamenti anche in oggetti celesti longevi come le stelle e le galassie. In pratica, le vediamo com'erano nella loro infanzia, o quando erano relativamente giovani. Sfortunatamente, più un oggetto è lontano, più indietro risaliamo nel tempo quando lo osserviamo; più è debole di luminosità e meno particolari riusciamo a distinguere. Non c'è proprio speranza!

L'universo ha avuto inizio circa 15 miliardi di anni fa, o almeno così stimano gli scienziati, e i miliardi di galassie attualmente esistenti hanno avuto origine nel corso dei primi miliardi di anni dopo quell'inizio. E dunque, se vogliamo vedere le cose esattamente com'erano al principio dobbiamo osservare oggetti celesti situati a miliardi di anni luce. A una distanza del genere, persino la galassia più grande è rappresentata soltanto da una microscopica quantità di radiazioni.

Nei primi giorni del 1987, Hyron Spinrad, un astronomo dell'Università di Berkeley, in California, ha reso noto di aver osservato un oggetto celeste che si trova a una distanza del genere. Si tratta di una galassia nota come 3C 326.1, che si trova a non meno di 12 miliardi di anni luce dalla Terra. Ciò significa che possiamo osservare quella galassia così com'era 12 miliardi di anni fa, quand'era estremamente giovane, e presumibilmente ancora in via di formazione. È la prima volta che gli astronomi puntano lo sguardo su un oggetto celeste appena nato e ancora in fase di formazione.

Per la verità, tutto quel che sono in grado di vedere, grazie ai più moderni radiotelescopi e telescopi ottici di elevate prestazioni non è niente di più che una microscopica traccia di radiazioni. Tuttavia, analizzando attentamente le radiazioni rilevate sono riusciti a stabilire che la giovane galassia consiste di un'enorme nube di gas, calda, tre volte più vasta della nostra galassia. Sembra anche che si siano già formate al suo interno almeno un miliardo di stelle. Presumibilmente, col tempo se ne formeranno altre centinaia di miliardi (o, per meglio dire, in realtà si sono formate già miliardi di anni fa, solo che la loro luce non ci ha ancora raggiunto).

Da questa giovane galassia ci giungono anche numerose radioonde, che forse sono emesse da un buco nero al centro della galassia stessa. Gli astronomi suppongono che al principio dell'universo, quando avvenne il big bang, si siano formati numerosi buchi neri e che questi servano come nuclei attorno ai quali si formano le galassie. Questa giovane galassia e tutti gli altri "neonati" galattici che probabilmente in futuro riusciremo a osservare potranno aiutarci a dar maggior peso a tali teorie.

Il telescopio più rapido

La Columbia University ha in progetto la costruzione di un tipo di telescopio completamente nuovo, un telescopio che non si distinguerà per le grandi dimensioni, ma per la rapidità.

Sarà dotato di uno specchio composto di mille coppie di superfici, ciascuna grande circa due centimetri, alloggiato all'interno di speciali tubetti grandi come uno spargisale e tenute in posizione da magneti miniaturizzati. Tutte le superfici verrebbero coordinate da meccanismi robotizzati e ognuna è progettata per riflettere e scomporre in forma di arcobaleno (o *spettro*) la luce visibile di una stella, permettendo così di studiarla in dettaglio. Il telescopio ha un costo stimato di 30 milioni di dollari.

Un normale telescopio, per grande che sia, può essere puntato su una piccola porzione di cielo corrispondente soltanto al doppio dell'area occupata dalla Luna. Il telescopio rapido della Columbia University, invece, sarà in grado di studiare una porzione di cielo cento volte più grande. Un normale telescopio di solito può studiare lo spettro di una sola stella, o di un altro oggetto astronomico, alla volta. Il telescopio rapido della Columbia University, invece, potrà analizzare gli spettri di mille diversi oggetti celesti alla volta.

Ciò ha un'importanza notevole, poiché lo spettro fornisce un'enorme quantità di informazioni su un oggetto astronomico. Ci informa della sua composizione chimica,

della sua temperatura di superficie, della velocità alla quale si muove rispetto alla Terra, delle sue proprietà magnetiche, e via dicendo.

Gli spettri sono particolarmente importanti in relazione alle galassie, che sono disseminate a miliardi di anni luce di distanza in tutto l'universo visibile. Ogni galassia è composta di parecchi miliardi (talvolta migliaia di miliardi) di stelle.

Tutte le galassie si stanno allontanando da noi, perché l'universo, nell'insieme, si sta espandendo. Maggiore è la velocità di allontanamento di una galassia, maggiore è la distanza alla quale si trova. Dato che lo spettro di una galassia ci dà informazioni sulla velocità di allontanamento, ci dice di conseguenza a quale distanza si trova la galassia.

Se avessimo a disposizione gli spettri di tutte le galassie e se ne conoscessimo la distanza, potremmo elaborare un modello tridimensionale dell'universo e vedere come sono distribuite le galassie. Questo ci aiuterebbe a stabilire come si sono formate, e questo a sua volta ci fornirebbe molte informazioni sull'infanzia dell'universo, la quale a sua volta ci potrebbe fornire informazioni utili sul suo principio e la sua possibile fine.

È probabile che nell'universo ci siano complessivamente 100 miliardi di galassie, anche se per la maggior parte sono talmente lontane e talmente poco luminose che i loro spettri non possono essere presi in esame. Ma ci sono almeno due milioni di galassie abbastanza vicine a noi da essere studiate in ogni dettaglio. Per tre quarti di secolo sono stati inquadrati e studiati gli spettri delle galassie vicine, ma in tutto questo periodo ne sono state adeguatamente studiate soltanto 7500.

Anche solo questo è sufficiente per suggerire agli astronomi che le galassie sono disposte in modo complesso ed enigmatico ma se vogliamo comprendere questa disposizione dobbiamo prima calcolare molte altre distanze. Gli astronomi sperano di raddoppiare il numero delle distanze galattiche finora note, un progetto per il quale sarebbero necessari nove anni con i telescopi di tipo normale. Tuttavia, il telescopio rapido della Columbia University inquadrerebbe mille spettri alla volta e raddoppierebbe il numero delle distanze galattiche finora note in *una settimana*. In due anni potrebbe calcolare la distanza di un milione di galassie e moltiplicare per 500 il volume di spazio esaminato. Che gran massa di informazioni potremmo allora avere sull'universo!

Un altro grande enigma relativo all'universo è la cosiddetta *massa mancante*. Ci sono diverse indicazioni secondo le quali tutta la massa che siamo in grado di individuare nell'universo è pari soltanto all'uno per cento, o anche meno, della massa totale. La quantità di massa presente nell'universo stabilisce rigidamente quale sarà il corso della sua storia e quale destino finale avrà, ma non possiamo essere sicuri né del corso storico né del destino finale fino a quando non sapremo che cos'è la massa mancante.

La Via Lattea, della quale facciamo parte, contiene circa 200 miliardi di stelle. Anch'essa tuttavia ha probabilmente una certa parte di massa mancante. Sarebbe un grande aiuto se conoscessimo la precisa distribuzione di tutte le stelle nella nostra galassia, ma di nuovo ciò richiederebbe la conoscenza delle varie distanze, delle velocità di movimento e di tutti gli altri particolari relativi a parecchi milioni di stelle. I telescopi di tipo normale semplicemente non sono in grado di sostenere un'impresa si-

mile senza impiegare anni nel lavoro di osservazione.

Il telescopio rapido della Columbia University sarebbe in grado di fornire velocemente i dati necessari a capire la vera organizzazione della galassia e forse anche a fornirci maggiori elementi sulla composizione e la distribuzione della massa mancante.

Per giunta, i dati sugli spettri ci fornirebbero informazioni dettagliate circa la composizione chimica di ciascun astro. La chimica dell'universo è in continuo cambiamento, perché nel nucleo delle stelle viene costituita e ammassata una gran quantità di elementi pesanti. Le supernovae eruttano violentemente questi stessi elementi nelle polveri cosmiche e nelle nubi di gas, e da questo materiale si formano nuove stelle.

Se avessimo una sufficiente conoscenza della chimica stellare potremmo essere in grado di dedurre come sono stati costituiti e ammassati gli elementi e avere un'idea di come si sta sviluppando la galassia. In pochi anni di impiego operativo il telescopio rapido della Columbia University potrebbe fornirci più dettagli sulla struttura galattica di quanti ce ne sogniamo, e noi apprenderemmo moltissimo sulle origini del Sole, della Terra, e di noi stessi.

Il più antico compleanno

Il più vecchio oggetto celeste dell'universo è, ovviamente, l'universo stesso. L'universo ha in assoluto il più antico compleanno, ma quanto sia vecchio effettivamente è una questione sulla quale ancora ci si interroga. Un nuovo calcolo dell'età dell'universo è stato fatto nel 1987.

Fino a sessant'anni fa nessuno aveva la più pallida idea di che età avesse l'universo. Anche se l'età esatta della Terra è stata stimata intorno ai 4,6 miliardi di anni (una cifra sulla quale attualmente gli scienziati si sentono del tutto sicuri), l'universo poteva già esistere da eoni, prima di quell'evento.

Ma poi, nel corso degli anni Venti, Edwin P. Hubble calcolò le distanze delle varie galassie dalla Terra e la velocità alla quale si stavano allontanando da noi. (Si stavano allontanando quasi tutte.) Un fatto sembrava abbastanza chiaro: maggiore era la distanza alla quale si trovava la galassia, maggiore era la velocità di allontanamento. La velocità di allontanamento risultava cioè proporzionale alla distanza. Questo fenomeno era spiegato con notevole facilità dalla teoria di espansione dell'universo nel suo complesso.

Se il tempo si invertisse (come in un film che Venisse proiettato al contrario, dalla fine all'inizio), allora tutte le galassie si avvicinerebbero le une alle altre finché, a un certo punto, si fonderebbero violentemente insieme in un immenso conglomerato.

È proprio per questa ragione che, nel 1927, l'astronomo belga Georges Lemaitre formulò l'ipotesi che l'universo avesse avuto origine dall'esplosione di un denso conglomerato di materia. Attualmente le galassie stanno ancora allontanandosi le une dalle altre in conseguenza dell'esplosione iniziale. Questa teoria è ormai nota a tutti come il "big bang".

Nel 1929 Hubble avanzò l'ipotesi che il big bang avesse avuto luogo due miliardi di anni fa. Ciò provocò una certa agitazione nel mondo scientifico, perché i geologi erano del tutto sicuri che la Terra fosse considerevolmente più vecchia (più del doppio, come si sa al giorno d'oggi). Il calcolo fatto da Hubble portava dunque a credere che la Terra fosse più vecchia dell'intero universo.

Gli astronomi sapevano che non si poteva dimostrare niente utilizzando quel poco che si sapeva delle galassie, per cui ci si ritrovò in un vicolo cieco fino al 1942. In quell'anno l'astronomo americano di origine tedesca Walter Baade approfittò dell'oscuramento dettato dallo stato di guerra per studiare in ogni dettaglio la galassia di Andromeda. Risultò che una delle tecniche usate dagli astronomi per calcolare le distanze delle galassie presentava alcune inaspettate complicazioni. Tenendo conto di queste complicazioni risultava che le galassie si trovavano a distanze fino a tre volte maggiori di quelle calcolate fino a quel momento. Ciò significava che, se il film del tempo fosse girato al contrario, le galassie avrebbero impiegato tre volte di più per convergere nel punto originale del big bang. Di conseguenza, il big bang sarebbe avvenuto tre volte più indietro nel tempo di quello che era stato in precedenza calcolato. Con una nuova età minima dell'universo pari a sei miliardi di anni i geologi finalmente si sentirono soddisfatti.

Tuttavia, la questione non era ancora conclusa. Gli astronomi continuarono a compiere misurazioni sempre più precise del ritmo di allontanamento delle galassie e a effettuare attente osservazioni che rivelavano loro l'età presumibile delle singole stelle. Il risultato è che, oggi come oggi, gli astronomi hanno concluso con soddisfazione che l'età dell'universo è da ricercare tra i dieci e i venti miliardi di anni. La cifra più spesso citata (da me, per esempio) è a mezza via tra i due estremi, vale a dire 15 miliardi di anni. Molti astronomi, tuttavia, sono convinti che la cifra esatta sia probabilmente superiore ai 15 miliardi di anni piuttosto che inferiore.

L'astronomo Harvey Butcher dell'Università di Groningen, in Olanda, ha affrontato il problema da un altro punto di vista. L'analisi della luce di una stella ci permette di stabilire di quali elementi chimici è composta. Alcuni di questi elementi sono radioattivi. Di conseguenza, l'età delle stelle può essere calcolata dalla quantità di elementi prodotti da tale radioattività. Alcune stelle sembrano avere la stessa età dell'universo e devono perciò essersi formate poco tempo dopo il big bang.

Butcher ha preso in esame due particolari elementi in queste stelle antiche: il torio e il neodimio. Nelle condizioni presenti all'interno di una stella, il torio dovrebbe decadere trasformandosi in neodimio secondo un certo ritmo. Butcher ha calcolato che il decadimento ha avuto corso per circa 10 miliardi di anni. Ciò significherebbe che le stelle stesse non avrebbero un'età superiore ai 10 miliardi di anni, una cifra resa nota da Butcher nel luglio del 1987. Dal momento che le stelle prese in esame tra quelle visibili sono tra le più vecchie, è probabile che l'universo non abbia più di 11 o 12 miliardi di anni.

Tuttavia, le misurazioni effettuate da Butcher sono estremamente delicate e può darsi che le stelle prese in esame non siano in realtà le più vecchie. Gli astronomi perciò hanno reagito al nuovo calcolo con estrema cautela. L'età dell'universo, con un'approssimazione accettabile, è ancora tutta da stabilire.

Superstelle?

Capita spesso che un'importante osservazione o una teoria formulata da un grande scienziato una decina di anni fa, o qualche secolo fa, debba essere ampliata o modificata. Ma, di tanto in tanto, succede che sia la modifica a dover essere abbandonata e si scopre che lo scienziato in origine aveva ragione, dopo tutto. Un caso simile di "ritorno al punto di partenza" si è verificato nel 1988.

Tutto cominciò con una intuizione dell'astronomo inglese Arthur S. Eddington, che negli anni Venti si chiese: "Perché l'immensa attrazione gravitazionale di una stella come il Sole non lo costringe a subire un collasso gravitazionale trasformandolo in un piccolo globo di atomi compressi?"

La risposta sembrava essere che il calore interno del Sole compensava l'attrazione gravitazionale. Eddington si mise d'impegno per determinare l'equilibrio tra l'attrazione gravitazionale e il calore interno e dedusse che il nucleo del Sole dovesse avere una temperatura pari a milioni di gradi centigradi. Questo era importante per spiegare la natura delle reazioni termonucleari che avvengono all'interno del Sole e il modo in cui il Sole e le altre stelle ottengono l'energia necessaria per continuare a brillare di luce propria per miliardi di anni.

Eddington scoprì che maggiore è la massa di una stella, più intensa è la sua attrazione gravitazionale, e più elevata deve essere la temperatura nel nucleo per equilibrare l'attrazione gravitazionale. Quando una stella arriva ad avere una massa compresa tra 60 e 100 volte la massa del Sole, non è più possibile mantenere a lungo l'equilibrio. Per evitare il collasso gravitazionale della stella, la temperatura interna dovrebbe essere talmente elevata che la stella esploderebbe. Di conseguenza, concluse Eddington, le stelle con una massa considerevolmente maggiore di 60 volte quella del Sole non potevano esistere. E in effetti, per oltre mezzo secolo, non ci fu ragione di credere che avesse torto. Stelle con una massa più grande di quella stabilita dall'astronomo inglese non vennero mai scoperte.

Poi, nel corso degli anni Ottanta, furono scoperte alcune stelle che sembravano avere una massa parecchie centinaia di volte maggiore di quella solare... anche più di mille volte maggiore. Com'era possibile che esistessero tali "superstelle"? Il lavoro di Eddington doveva essere riveduto e corretto per tenere conto di quelle stelle giganti. (Alcuni anni fa, in effetti, scrissi un saggio su queste presunte superstelle e su come stavano cambiando le nostre teorie di fisica stellare.)

Ma in seguito le superstelle furono fatte a pezzi, quasi letteralmente.

Per esempio, c'è una stella nella Grande Nube di Magellano che si chiama Sanduleak. Si sapeva che distava 160 mila anni luce dalla Terra. A quella distanza era così brillante che per produrre tutta quella luce doveva avere una massa almeno 120 volte quella del Sole.

Tuttavia, è stata osservata e fotografata con nuovi e più perfezionati telescopi all'inizio del 1988. L'immagine della stella è stata poi analizzata con tecniche moderne per vedere come variava la magnitudine da un punto all'altro. È risultato che la stella non aveva una luminosità uniforme e che perciò non si trattava di una singola stella. Si trattava, in realtà, di un ammasso stellare composto di almeno sei stelle molto vicini.

ne. Alla grande distanza alla quale si trova Sanduleak, questo piccolo ammasso stellare sembrava fondersi insieme in forma di stella singola nell'immagine fornita dal telescopio.

Con la tecnica appena descritta sono state analizzate altre stelle molto luminose e perciò con una massa notevole, e si è scoperto che tutte erano gruppi di stelle molto vicine tra loro. Nessuna stella in questi gruppi sembra avere una massa maggiore di 60 volte quella del Sole. In altre parole, Eddington aveva ragione sin dall'inizio, e le superstelle in realtà non esistono.

Tutto ciò ha qualche importanza a parte il fatto che permette a Eddington di giacere finalmente in pace nella tomba? Effettivamente, sì, ha importanza. Prima di tutto, ancora una volta dimostra che gli scienziati devono costantemente sondare e riesaminare con cura le proprie conclusioni e che le loro scoperte possono essere soggette a correzioni.

In questo caso, la conferma delle teorie di Eddington aveva una notevole pertinenza al di là dell'esistenza o meno delle superstelle. La scoperta dei piccoli ammassi stellari, subito dopo, ha costretto gli scienziati a rivalutare i calcoli precedentemente fatti sulle distanze delle galassie dalla Terra.

Per gli astronomi è importante calcolare le distanze delle galassie di debole intensità luminosa allo scopo di ricavare una nozione generale delle dimensioni globali dell'universo. Per far ciò essi provano tecniche diverse, calcolando la distanza delle galassie più vicine, usando poi la stessa per calcolare la distanza di quelle un po' più lontane, e così via di seguito.

Una di queste tecniche si basava sullo studio di galassie talmente vicine da poter distinguere in esse delle singole stelle, ma nello stesso tempo talmente lontane che le sole stelle individuabili erano le più luminose della galassia presa in esame. Si riteneva che queste stelle "in assoluto più luminose" nelle galassie lontane emettessero radiazioni luminose al pari delle stelle più luminose nella nostra stessa galassia. Delle stelle più luminose della nostra galassia si conosceva esattamente la distanza alla quale si trovano e il loro grado di luminosità, cosicché era possibile stabilire a che distanza si trovavano le galassie lontane calcolando a che distanza avrebbero dovuto essere perché le loro stelle più luminose non sembrassero più luminose di quello che erano in realtà.

Ma può darsi che ci sia stato un errore. Può darsi che, mentre le stelle più luminose nella nostra galassia sono abbastanza visibili da essere sicuri che si tratti di singole stelle, le stelle più luminose nelle galassie lontane siano in realtà ammassi stellari i quali, presi nell'insieme, sono molto più luminosi di qualunque stella.

Se così fosse, allora è possibile che alcune galassie lontane siano due o tre volte più lontane di quel che avevamo pensato, talmente lontane che un ammasso stellare brilla all'incirca con la stessa luminosità di una singola stella più vicina. In questo caso, l'universo sarebbe molto più grande di quel che si pensa e molto più vecchio. E ciò rimanderebbe gli astronomi alle loro lavagne.

Il 18 gennaio 1989 gli astronomi hanno finalmente trovato quello che cercavano da due anni.

Due anni prima era stata vista esplodere una stella nella Grande Nube di Magellano, e la stessa era diventata la Supernova 1987A. Secondo la teoria relativa alle supernovae, al termine del collasso gravitazionale una parte della stella dovrebbe trasformarsi in una stella di neutroni. Quest'ultima può presentarsi in forma di un corpo celeste di piccole dimensioni, con un diametro di circa 25 chilometri, ma ancora con una massa pari a quella del Sole. Ruoterebbe su se stesso a velocità vertiginosa e sarebbe visibile perché emetterebbe fasci di luce e di altre radiazioni sotto forma di impulsi, uno per ogni giro di rotazione. Per questa ragione una stella di neutroni viene anche chiamata *pulsating star*, "stella pulsante", o, in forma abbreviata, *pulsar*.

Le pulsar furono scoperte per la prima volta nel 1969 e la prima che fu studiata ruotava in 1,3 secondi, vale a dire a circa tre quarti di giro al secondo. Si trattava di una velocità sorprendente. La Terra compie una rotazione completa in 24 ore, e considerando che ha un diametro di 12.800 chilometri circa, un punto preciso posto sull'Equatore si muove a una velocità di circa 1670 chilometri all'ora, ovvero poco più di 450 metri al secondo.

Giove, che ha un diametro di 141.621 chilometri, compie una rotazione completa su se stesso in 9 ore e 54 minuti, quindi un punto posto sul suo equatore si muove a una velocità di circa 12 chilometri al secondo. Se la Terra ruotasse a una velocità del genere scaglierebbe la materia equatoriale nello spazio, ma Giove ha un'attrazione gravitazionale molto più intensa.

La prima pulsar scoperta, tuttavia, ruotava in modo talmente rapido che, pur tenendo conto delle sue dimensioni ridotte, un punto sul suo equatore si muoveva a una velocità di 65 chilometri al secondo.

Gli astronomi decisero subito che il movimento di rotazione della pulsar doveva gradualmente rallentare nel corso del tempo. Di conseguenza, una giovane pulsar deve ruotare su se stessa più velocemente di una vecchia pulsar. La pulsar più giovane che si conoscesse, prima del 1989, era quella che si trovava nella nebulosa del Granchio. Ha soltanto 900 anni e, quasi sicuramente, ruota a una velocità di 30 giri al secondo, ovvero circa 40 volte più in fretta della vecchia pulsar scoperta per prima. Un punto sull'equatore della pulsar nella nebulosa del Granchio si muoverebbe a circa 2570 chilometri al secondo. Solo l'enorme attrazione gravitazionale della pulsar (forse 25 miliardi di volte quella della Terra) era in grado di tenere insieme un oggetto celeste a quella velocità di rotazione.

Poi, nel 1982 gli astronomi scoprirono una pulsar che ruotava a una velocità di 642 giri al secondo, e si trattava oltre tutto di una *vecchia* pulsar. Compiva un giro in poco più di un millesimo di secondo. Un punto sul suo equatore doveva muoversi a una velocità di 51.500 chilometri al secondo, vale a dire a oltre un quinto della velocità della luce. Furono scoperte altre pulsar che compivano un giro di rotazione in pochi millisecondi e solitamente si trovavano vicino a un'altra stella. Queste pulsar raccoglievano materiale dalla stella vicina, che le costringeva ad accelerare, e talvolta assorbivano completamente anche la stella compagna.

Ma a che velocità ruota una pulsar appena formata, una baby pulsar? Non appena comparve la Supernova 1987A, gli astronomi cominciarono a sperare di poter indivi-

duare una baby pulsar. Sfortunatamente, i residui nelle regioni più esterne dell'immensa esplosione nascondevano il nucleo centrale, dove si sarebbe trovata la pulsar. Soltanto dopo mesi la foschia si sollevò leggermente rendendo possibile individuare i brevi impulsi luminosi, e risultò che venivano emessi con una frequenza di 1969 al secondo. La baby pulsar compie una rotazione completa in mezzo millisecondo: esattamente il doppio della velocità prevista anche dal più audace degli astronomi.

In una pulsar che ruoti su se stessa a 1969 giri al secondo, un punto posto sull'equatore si muove a oltre 160 mila chilometri al secondo, vale a dire a oltre la metà della velocità della luce. È a dir poco stupefacente, poiché anche l'attrazione gravitazionale di enorme intensità della quale è dotata una pulsar riesce appena a tenerla insieme, con una velocità simile.

E questa non è neppure la parte più stupefacente della scoperta. Infatti, fu scoperto anche che la luminosità della pulsar oscillava alquanto nello spazio di otto ore. Molto probabilmente ciò significa che ha accanto a sé un oggetto compagno con una massa pari forse a 1/1000 della sua, cioè pari circa a quella di Giove. I due oggetti celesti ruotano uno attorno all'altro, con una rivoluzione completa ogni otto ore.

La pulsar e il suo pianeta, tuttavia, sono talmente vicini da spingerci a domandarci com'è possibile che il pianeta sia sopravvissuto all'esplosione. In effetti, il pianeta è talmente vicino alla pulsar che prima dell'esplosione doveva essersi trovato dentro gli strati più esterni della stella.

Una spiegazione possibile è che due anni prima, quando la pulsar si era formata ed era quindi una "neonata", avesse una rotazione ancora più veloce di 1969 giri al secondo e non sia rimasta intatta. Un frammento della pulsar può essere stato espulso dalla forte velocità di rotazione combinata con un'attrazione gravitazionale insufficiente a tenere insieme il materiale stellare. Il frammento ha portato con sé una certa quantità dell'energia di rotazione della pulsar. Quel che è rimasto ha rallentato la velocità di rotazione e si è mantenuto unito.

L'alta velocità di rotazione solleva anche una serie di interrogativi. Come può una pulsar essere così luminosa? Che potenza deve avere il suo campo magnetico? Purtroppo, gli astronomi sono riusciti soltanto a dare un'occhiata di sfuggita alla baby pulsar cogliendo l'unico, breve momento di visibilità, dopo di che la nebulosità si è di nuovo ispessita. Attualmente gli astronomi sono in attesa di un'altra schiarita per poter effettuare qualche osservazione supplementare e individuare con maggiore chiarezza le proprietà della pulsar. Alcuni interrogativi possono essere risolti semplicemente da un'occhiata più approfondita... oppure possono diventare ancor più enigmatici.

Al di là dell'ai di là

Nell'autunno del 1988 il *Voyager 2* ha oltrepassato Nettuno dopo un viaggio durato dodici anni (finora) e ha proseguito la sua corsa nello spazio. Tra le altre cose, ha con sé a bordo una testimonianza registrata che racconta qualcosa della Terra e include

suoni e vedute del nostro pianeta. Ciò ha spaventato alcune persone perché, così facendo, forniamo la nostra posizione a creature aliene di altri mondi, che potrebbero venire a conquistarci.

Tutti coloro che la pensano a questo modo non comprendono affatto le dimensioni dell'universo né le probabilità che il *Voyager 2* sia trovato da qualcuno.

Ci sono voluti ben dodici anni perché il *Voyager 2* attraversasse lo spazio che separa la Terra da Nettuno, e solo di recente lo ha oltrepassato. Dove andrà d'ora in avanti? Quali mondi raggiungerà? Il satellite si sta allontanando da noi sempre meno influenzato dal campo gravitazionale del Sole e dall'infinitesima attrazione di altre stelle. Tenendo conto di questi effetti gravitazionali possiamo determinare esattamente dove andrà il *Voyager 2*.

Conosciamo bene le stelle che si trovano in prossimità del sistema solare e possiamo perciò affermare che con ogni probabilità il *Voyager 2* non ne colpirà nessuna. Naturalmente, ci possono essere corpi celesti scuri dei quali non conosciamo l'esistenza, pianeti vaganti o asteroidi contro i quali potrebbe schiantarsi, ma la possibilità che avvenga un fatto simile è talmente remota che non vale neppure la pena di pensarci.

Il Sole emette in ogni direzione il cosiddetto "vento solare", un flusso di particelle elettricamente cariche. Questo flusso si dirada sempre più a mano a mano che si allontana dal Sole, fino a quando si disperde completamente e sparisce nello spazio interstellare. Il *Voyager 2* passerà oltre il limite massimo di influsso del vento solare nell'anno 2012.

Nell'anno 8571 (quasi 6600 da questo momento), il *Voyager 2* si troverà a 0,42 anni luce di distanza dal Sole. In termini chilometrici ciò corrisponde a circa 4000 miliardi di chilometri. Nondimeno, persino la stella più vicina si trova a una distanza dieci volte maggiore. A quel punto, il *Voyager 2* raggiungerà il punto di massimo avvicinamento alla stella di Barnard, che in questo momento si trova a 5,9 anni luce di distanza dalla Terra (56.300 miliardi di chilometri). Il satellite si troverà a soli 4,03 anni luce di distanza dalla stella di Barnard (38.600 miliardi di chilometri). Dopo averla sfiorata, se vogliamo definirlo uno "sfioramento", passerà oltre.

Nell'anno 20.319 il *Voyager 2* si troverà a un anno luce di distanza dal Sole (9500 miliardi di chilometri) e raggiungerà il punto di massimo avvicinamento a Proxima Centauri, che è la stella più vicina alla Terra. Proxima Centauri si trova a 4,3 anni luce da noi (40.200 miliardi di chilometri), ma, naturalmente, il *Voyager 2* non sta puntando nella sua direzione. Transiterà di lato alla stella e il suo punto di massimo avvicinamento sarà a 3,21 anni luce (30.500 miliardi di chilometri).

Soltanto 310 anni più tardi, vale a dire nel 20.629, il *Voyager 2* raggiungerà il punto di massimo avvicinamento ad Alfa Centauri, una stella doppia un po' più lontana di Proxima Centauri. Il punto di massimo avvicinamento sarà a 3,47 anni luce dalla stella (32.100 miliardi di chilometri).

Per tutto questo tempo il *Voyager 2* sarà ancora sufficientemente vicino al Sole da subire la sua influenza gravitazionale, e si allontanerà quindi percorrendo un'ampia spirale. In altre parole, si troverà ancora all'interno del sistema solare. Parecchio al di là del pianeta più lontano che si conosca, Plutone, è possibile che esistano ancora uno o due altri pianeti, ma finora non ne abbiamo avvistato alcun segno. Tuttavia, siamo

sicuri che oltre Plutone ci sia un centinaio di miliardi o anche più di piccoli corpi ghiacciati: le comete. Questa grande massa di comete è chiamata la nube di Oort, dal nome dell'astronomo che per primo ne teorizzò l'esistenza.

Il *Voyager 2* si addentererà nella nube di Oort all'incirca nell'anno 26.262 e continuerà a inoltrarvisi per circa 2400 anni. A questo punto potrà sembrarvi che se il satellite viaggia attraverso una regione contenente circa cento miliardi di comete ghiacciate, ciascuna con un diametro di almeno venti chilometri, è destinato a colpirne una e a essere distrutto.

Ma non è così. Il volume della nube di Oort è talmente immenso che, nonostante i cento miliardi di comete, le probabilità che il *Voyager 2* si scontri con una di esse sono praticamente zero. Nell'anno 28.635 il satellite uscirà dalla nube di Oort ed entrerà nello spazio interstellare.

Dopo un milione di anni di viaggio, il *Voyager 2* si troverà a circa cinquanta anni luce dal Sole (che in confronto alle distanze stellari è un po' come essere ancora nel giardino di casa). In tutto questo tempo, per il *Voyager 2* il punto di massimo avvicinamento a una stella sarà stato il momento del passaggio "accanto" a Proxima Centauri, dove si sarà trovato a soli 3,21 anni luce di distanza dalla stella. In un milione di anni, dunque, non arriverà mai più vicino di 30.500 miliardi di chilometri a una stella e la possibilità che qualche creatura aliena incroci o noti questa piccola, silenziosa sonda nei profondi recessi dello spazio interstellare è assolutamente insignificante perché ci si debba preoccupare al riguardo.

Ma allora, perché abbiamo inviato un messaggio se non c'è nessuna probabilità che qualcuno lo raccolga?

Ricordiamoci allora che un milione di anni è un lasso di tempo assai breve nella storia dell'universo. L'universo è già durato 15 mila volte un milione di anni e sicuramente continuerà a esistere ancora per molto tempo. Un giorno o l'altro, senza alcun dubbio molto tempo dopo che saremo scomparsi (poiché la possibilità che l'umanità resista anche solo per un milione di anni è, francamente, molto scarsa), può darsi che qualcuno si imbatta nella nostra piccola sonda.

Ma che ce ne importa, se succederà parecchio tempo dopo che saremo scomparsi? Ebbene, riflettiamo: vogliamo proprio sparire senza lasciare neppure una piccola traccia di noi? Non abbiamo la benché minima punta di orgoglio per quel che è la specie umana? Di certo, vorremmo che altre intelligenze sapessero che un tempo abbiamo abitato la Terra e che conoscessero quello che siamo riusciti a fare.

Perché le cose sono come sono?

Nel novembre del 1988 è stato tenuto un convegno scientifico al più alto livello su un argomento del quale gli scienziati hanno discusso per anni: il principio antropico.

Il termine *antropico* deriva dal greco e significa "dell'uomo", "che riguarda l'uomo". Il principio antropico tenta di sostenere che gli esseri umani, come osservatori, sono necessari all'esistenza dell'universo.

Potrebbe sembrare vero il contrario. Eccoci qui, su un piccolo pianeta che ruota intorno a una stella di medie dimensioni sperduta in una galassia composta da centinaia di miliardi di stelle, con miliardi e miliardi di altre snelle in centinaia di miliardi di altre galassie. Perché mai un universo la cui immensità non è neppure immaginabile dovrebbe esistere soltanto per noi?

La risposta è che più l'universo è piccolo, meno tempo impiega a espandersi al massimo e poi a contrarsi fino a cessare di esistere. L'universo deve avere dimensioni così immense, perché in questo modo ci ha dato il tempo di evolverci.

Per giunta, le leggi della natura sono tali che gli atomi hanno la possibilità di formarsi. Se queste leggi fossero leggermente diverse, la formazione degli atomi sarebbe impossibile. Di nuovo, gli eventi successivi al big bang sembrano essere stati tali da permettere la formazione di stelle e galassie. Lievi differenze ne avrebbero resa impossibile la formazione. Se per caso non fosse stata possibile la formazione di atomi, stelle e galassie, noi stessi non avremmo avuto la possibilità di formarci.

Anche sulla Terra, una lieve differenza nell'orbita terrestre o nella massa solare avrebbe reso inabitabile il pianeta. E se pure fosse stato abitabile, alcune piccole variazioni nella chimica - per esempio, se l'acqua non aumentasse di volume quando si trasforma in ghiaccio, o se gli atomi di carbonio non riuscissero ad agganciarsi gli uni agli altri - avrebbero reso impossibile lo sviluppo della vita.

Anche la teoria dei quanti ci fa sembrare indispensabili. Secondo questa teoria, in alcuni casi è impossibile affermare cosa stia facendo un elettrone fino a quando non viene osservato. Quando un elettrone non viene osservato, nemmeno teoricamente è possibile stabilire come si stia comportando. Alcuni scienziati usano questo esempio per spiegare che l'universo non può esistere senza "osservatori".

Secondo la teoria dei quanti un universo deve avere degli osservatori, e deve averli dall'inizio alla fine. Ma anche le forme più primitive di esseri umani non si sono evolute finché l'universo non ha raggiunto i dieci miliardi di anni. Ciò significa forse che ci sono altre forme di vita su altri pianeti che hanno fatto da osservatori prima che l'uomo avesse origine sulla Terra? Oppure significa forse che l'universo è stato formato da Dio a beneficio dei soli esseri umani? E che Dio stesso è l'osservatore universale nel corso di tutta l'eternità? Questo presupposto può apparire necessario in conformità al "principio antropico forte".

Tuttavia, la maggior parte degli scienziati preferisce un "principio antropico debole". Per capire ciò che significa, si consideri la domanda: "Perché gli occhi hanno la forma e la posizione che hanno?" La risposta potrebbe essere che la loro forma e posizione sono necessarie perché le stanghette degli occhiali vi si possano appoggiare e agganciare. In questo caso, gli occhi devono esistere ed essere esattamente come e dove sono, ed è l'esistenza degli occhiali che lo determina.

Invece è proprio il contrario. Gli occhiali sono stati ideati per adattarsi agli occhi, e non viceversa. Se gli occhi fossero collocati da qualche altra parte o se non esistessero affatto, gli occhiali sarebbero stati ideati in un modo diverso.

Nello stesso modo, è possibile che esista un numero indefinitamente grande di universi, ciascuno dei quali con una differente serie di leggi di natura. Forse in tutti questi miliardi e miliardi incalcolabili di universi, tranne uno, le leggi della natura non permettono l'esistenza della vita.

Quest'unico universo sarebbe il nostro, e l'uomo vi si sarebbe evoluto per poi meravigliarsi nel vedere come e quanto quest'universo sia adatto a noi. Ma tutto ciò non ha niente a che fare con noi, per la verità. Troviamo perfetto il nostro universo soltanto perché è l'unico nel quale possiamo esistere. Forse, in altri universi dove la vita (così come la conosciamo) non potrebbe esistere, potrebbero prevalere altre forme di vita e

altri sconcertanti fenomeni. E tutte le diverse forme biologiche, o i diversi fenomeni, che avessero la capacità di meravigliarsi si meraviglierebbero nel constatare come e quanto il loro particolare universo fosse adatto a loro.

Come possiamo decidere se questo principio antropico debole è esatto o meno? Dopo tutto, il nostro personale universo è l'unico che possiamo osservare. Uno scienziato italiano, E. W. Sciama, ha formulato un'ipotesi interessante.

Se ci fosse un numero indefinito di universi, ce ne sarebbero moltissimi talmente vicini alla perfezione da permettere l'esistenza del nostro stesso genere di vita. Il nostro universo sarebbe soltanto uno di essi, uno fra i tanti, e potrebbe anche non essere quello perfetto.

Se avessimo una conoscenza più approfondita del nostro universo, se potessimo eseguire delle misurazioni più precise di quelle fatte finora, se potessimo apprendere di più di quel che sappiamo attualmente sulla vita e i suoi requisiti, allora forse potremmo renderci conto che il nostro universo non è del tutto perfetto. Potremmo anche elaborare idealmente un universo più adatto a noi, modificando la forma di una certa legge naturale oppure variando il valore di una cert'altra costante.

Se il nostro personale universo fosse leggermente imperfetto, allora sarebbe molto più probabile l'esistenza di una piccola gamma di universi adatti a noi. Ciò farebbe sembrare il principio antropico debole un po' più probabile e segnerebbe un punto a suo favore, e a sfavore del principio antropico forte.

Dove finisce l'universo

Qual è la distanza massima? Gli astronomi hanno osservato oggetti celesti che si trovano a 17 miliardi di anni luce di distanza, vale a dire a 100 mila miliardi di miliardi di chilometri.

Niente male, a dire il vero. Fino al 1920 gli astronomi erano convinti che la Via Lattea e alcuni altri oggetti celesti minori nelle sue vicinanze fossero tutto quello che c'era nell'universo. Gli oggetti più lontani si trovavano soltanto a 150 mila anni luce di distanza.

Ma in seguito, nel corso degli anni Venti, divenne chiaro che esistevano altre galassie, molte altre galassie, a miliardi. Per giunta, l'universo si stava espandendo, cosicché i diversi gruppi di galassie si stavano costantemente allontanando gli uni dagli altri. Le radiazioni luminose provenienti da una galassia in allontanamento hanno una lunghezza d'onda maggiore e fanno sembrare la luce più rossa. Questo fenomeno si chiama *spostamento verso il rosso* e può essere misurato dalla posizione di certe righe nel modello di diffrazione (spettro) della luce. Maggiore è lo spostamento verso il rosso, maggiore è la distanza alla quale si trova la galassia.

Nel corso degli anni Quaranta fu messo in chiaro il fatto che anche la galassia più vicina si trovava a oltre due milioni di anni luce. Le galassie più lontane si trovavano a centinaia di milioni di anni luce. Oltre a quelle era possibile che esistessero ancora molte altre galassie, ma non erano visibili a causa delle enormi distanze alle quali si

trovavano.

Nel corso degli anni Cinquanta si scoprì che certi oggetti celesti che sembravano delle normali stelle emettevano radioonde in quantità insolite. Quando gli astronomi provarono a studiarli, scoprirono di non riuscire a identificare le righe del loro spettro. Nel 1963 si resero conto che le righe erano enormemente spostate verso il rosso. Ciò significava che gli oggetti celesti in questione dovevano trovarsi a distanze enormi.

Queste strane stelle vennero chiamate *radiosorgenti quasi stellari*, o in forma abbreviata *quasar*. Dopo accurati studi, risultò che le quasar erano galassie molto distanti dalla nostra, con nuclei che emettevano luce, e che si trovavano a distanze talmente enormi da non permettere l'individuazione di nient'altro, oltre al nucleo. Per questo sembravano singole stelle.

Anche la quasar più vicina si trova a un miliardo di anni luce di distanza. Altre quasar sono ancora più distanti, fino a dieci miliardi di anni luce e oltre. Attualmente sappiamo che esiste un gran numero di quasar in ogni direzione, ma non è facile individuarle sullo sfondo scuro dello spazio tempestato da una quantità persino maggiore di stelle comuni.

Quando guardiamo un oggetto celeste che si trova a dieci miliardi di anni luce, stiamo guardando una luce emessa dieci miliardi di anni fa e che ha impiegato tutto questo tempo per raggiungerci. Di conseguenza, vediamo l'oggetto così com'era dieci miliardi di anni fa quando l'universo forse aveva soltanto la metà degli anni che ha attualmente. A quanto pare, le quasar si sono formate in quantità enormi durante i primi "giorni" dell'universo, raggiungendo un picco massimo circa 13 miliardi di anni fa e poi diminuendo di numero da quel momento in poi. Da allora, si sono formate sempre meno nuove quasar, mentre un numero sempre maggiore di quasar vecchie è scomparso. E così lo studio delle quasar che si trovano a distanze enormi (e che sono perciò molto vecchie) dovrebbe fornirci informazioni utili sui primi "giorni" dell'universo.

Un modo per esprimere la distanza e l'età di una quasar è quello di misurare di quanto è aumentata la lunghezza d'onda della sue radiazioni luminose. Se la lunghezza d'onda è doppia rispetto a quel che dovrebbe essere, ciò indica uno spostamento verso il rosso pari a 2; se è tripla rispetto a quel che dovrebbe essere, è uno spostamento verso il rosso pari a 3, e via dicendo. Più alto è il numero, più lontana e più vecchia è la quasar.

Fino a poco tempo fa, il massimo valore di spostamento verso il rosso era 3,8, il che corrisponde a una distanza di circa 15 miliardi di anni luce. Gli astronomi avevano il sospetto di non essere in grado di individuare quasar a una distanza maggiore, perché prima non si era ancora formata nessuna galassia.

Ma si sbagliavano. Nel settembre del 1986 fu scoperta una quasar con uno spostamento verso il rosso pari a 4,01. Nel 1987 fu scoperto un certo numero di quasar con spostamenti verso il rosso superiori a 4. Quella che attualmente detiene il record di lontananza ha uno spostamento verso il rosso pari a 4,43, il che corrisponde forse a 16 miliardi di anni di età.

Le onde luminose provenienti dalle quasar più distanti hanno una lunghezza d'onda tale che una quantità sempre maggiore di luce si trova nel campo dell'infrarosso. La

luce che possiamo vedere in realtà è molto fioca. Generalmente riusciamo a scoprire queste quasar lontanissime solo perché le radiazioni che emettono abbondano di radioonde.

E così che cosa succederebbe se gli scienziati a caccia di quasar ancora più distanti si concentrassero nel tentativo di trovare oggetti celesti i cui spettri abbondino di luce infrarossa e che abbiano alti valori di spostamento verso il rosso? All'Università dell'Arizona, un gruppo di studiosi sotto la direzione di Richard Elston ha utilizzato una serie di potenti rivelatori di luce infrarossa proprio a questo scopo.

Nel gennaio del 1988, il gruppo ha reso noto di aver localizzato alcuni oggetti celesti ricchi di luce infrarossa che sembrano avere valori insolitamente alti di spostamento verso il rosso: alcuni arriverebbero addirittura a 6. Dai dati raccolti, sembra che questi oggetti siano galassie ancora in corso di formazione. Si troverebbero a una distanza di almeno 17 miliardi di anni luce.

A quel tempo l'universo potrebbe aver avuto solo due o tre miliardi di anni. Se è questo il periodo nel quale è avvenuta la formazione delle galassie più vecchie, non possiamo aspettarci di vedere nessun altro oggetto celeste più distante, poiché al di là di questa distanza non ci sarebbe nient'altro da vedere: solo una nebbia di materia energetica che non ha ancora subito nessun collasso gravitazionale e non ha quindi formato nessuna galassia. Siamo arrivati là dove finisce l'universo, perché siamo arrivati là dove l'universo comincia. Fine e inizio coincidono.