

un numero imprecisabile di stelle, dobbiamo ragionevolmente concludere che, a causa della piccolezza e delle immense distanze che li separano, non potremmo vedere questi oggetti a occhio nudo, a meno di non essere nelle loro vicinanze. La reale visione dello spazio intergalattico resta dunque quella iniziale: una mostruosa voragine oscura, che può darci solo la sensazione del nulla, sulla quale si staccano due o tre debolissimi fiocchetti luminosi: le galassie più brillanti e più vicine.

Immaginiamo di trovarci su un pianeta appartenente a una stella tra la Galassia e la Nebulosa di Andromeda. Al tramontare del sole, se nessun satellite rischiarerà la notte, si schiuderà sulle nostre teste un cielo buio e vuoto che renderà buio e vuoto anche il paesaggio intorno a noi. È la visione che avevamo avuto uscendo dalla Galassia, ma ora la subiamo poggiando i piedi su un suolo solido, su un suolo che non vediamo, così come non vediamo i nostri piedi che lo premono o le nostre mani che tentiamo invano di distinguere portandole avanti ai nostri occhi sbarrati. Ecco come sono diventati lo spazio intorno a noi e il cielo al di sopra delle nostre teste, al calar della notte! La volta azzurra, trasparente, eterea, è diventata sempre più scura, più cupa e infine nera, impenetrabile, dura come la volta di una caverna.

Quando siamo usciti dalla Galassia, questa era stata una visione fantastica che pensavamo avrebbe avuto solo un ipotetico astronauta che avesse viaggiato tra due distantissime galassie, in uno spazio in cui non avrebbe incontrato nessuna stella. E ora sappiamo invece che una simile stella esiste e che forse vi sono esseri che non hanno mai conosciuto la bellezza del cielo stellato.

## X

### *Ai limiti del tempo e dello spazio*

#### LE GALASSIE SI MUOVONO

Fino a questo momento abbiamo parlato delle galassie come se fossero tutte immobili nello spazio. In verità è ormai ben noto che tutti i corpi si muovono. Πάντα ῥεῖ diceva Eraclito, duemila e cinquecento anni fa: tutto scorre. E le scoperte successive hanno confermato sempre di più questa verità, proclamata dagli antichi filosofi. Si muove la Terra intorno al proprio asse, la Luna intorno alla Terra, Luna e Terra intorno al Sole, pianeti e satelliti ruotano e si spostano come la Terra e la Luna; si muove tutto il sistema solare nello spazio; pulsano le stelle, si espandono le nebulose, errano e si disgregano gli ammassi di stelle; ruota l'intera Galassia e ruotano o si espandono tutte le altre galassie. Tutto l'universo, dall'atomo all'uomo, dal pianeta alla Galassia, è agitato da un continuo movimento. Tutto passa, cambia, diviene. Non c'era dunque nessun motivo per ritenere che le galassie dovessero fare eccezione e, pur essendo composte da un numero enorme di corpi in movimento, fossero, nel loro complesso, unità statiche, perfettamente immobili nello spazio.

D'altra parte, ora che sappiamo quanto è grande la distanza delle galassie, possiamo rinunciare senz'altro a sperare di rilevarne lo spostamento apparente sulla volta celeste anche per quelle a noi più vicine e anche confrontando fotografie ottenute a distanza di decine o (quando lo potremo) di centinaia d'anni.

Esiste tuttavia un metodo per scoprire almeno quella parte del loro moto spaziale che avviene nella direzione della nostra visuale. È lo stesso già sfruttato ampiamente per le stelle: l'osservazione dello spostamento delle righe spettrali per effetto Doppler, dalla cui entità si risale, appunto, alla velocità radiale, cioè alla velocità del corpo nella direzione della retta

che congiunge il punto occupato dal corpo stesso con quello in cui si trova l'osservatore.

La prima galassia di cui si riuscì a misurare la velocità radiale fu M 31, per la quale V. M. Slipher trovò, nel 1912, una velocità di avvicinamento di 300 km/s. In realtà il moto non corrisponde soltanto allo spostamento di M 31, ma alla combinazione del suo moto col nostro, cioè con quello del Sole nella nostra Galassia. In altri termini si tratta di un moto relativo. Misure più recenti, nelle quali si è tenuto conto di questo effetto (cioè in cui si è supposto che noi siamo fermi) hanno condotto alla conclusione che M 31 si muove verso di noi alla velocità di 35 km/s. Dopo il 1912 Slipher continuò nel difficile lavoro di raccogliere spettri di galassie<sup>1</sup> cosicché nel 1925 erano note le velocità radiali di 45 galassie. Già con questo primo materiale si profilò un risultato sconcertante: quasi tutte le galassie osservate risultavano allontanarsi da noi. Tra le poche eccezioni c'era M 31, la galassia che Slipher aveva misurato per prima essendo la più luminosa.

Intanto si cominciavano a conoscere i valori delle distanze di un certo numero di galassie. Mettendo in relazione le velocità di allontanamento con le distanze, Hubble giunse a una scoperta sensazionale. Trovò che tutte le galassie (salvo poche eccezioni, tra quelle più vicine) si allontanano da noi e che la velocità con cui fuggono è tanto più grande quanto più sono distanti. In altre parole, tutte le righe degli spettri delle galassie appaiono spostate verso il rosso, tanto più quanto più è lontana la corrispondente galassia (FIG. 118). Il risultato si può esprimere nella seguente formula, tanto semplice quanto importante:  $V = Hr$ . Dove  $V$  è la velocità di allontanamento,  $r$  la distanza e  $H$  un numero, detto costante di Hubble. È evidente che, conoscendo la distanza esatta di una galassia e lo spostamento verso il rosso delle righe del suo spettro, si può ricavare immediatamente, una volta per tutte, il valore della costante di Hubble. In pratica si ricavano diversi valori di  $H$  con altrettante galassie e si fa poi la media.

La legge di Hubble, scoperta nel 1929, è stata confermata dalle successive osservazioni.

Nel 1928 Humason intraprese la rassegna spettroscopica del maggior numero possibile di galassie, servendosi soprattutto del telescopio di 2,50 m di diametro di Mount Wilson (allora il più grande del mondo). Grazie a questo enorme lavoro, continuato più tardi anche col telescopio di 5 m di Mount Palomar e durato oltre vent'anni, si conoscono oggi gli spostamenti verso il rosso di un migliaio di galassie.

Più difficile era invece la determinazione delle distanze precise. Ma an-

<sup>1</sup> Il lavoro è difficile per una ragione pratica, dovuta al fatto che le galassie appaiono non solo molto deboli ma anche estese, e il loro spettro si può ottenere solo con i più grandi telescopi del mondo e molte ore di posa.

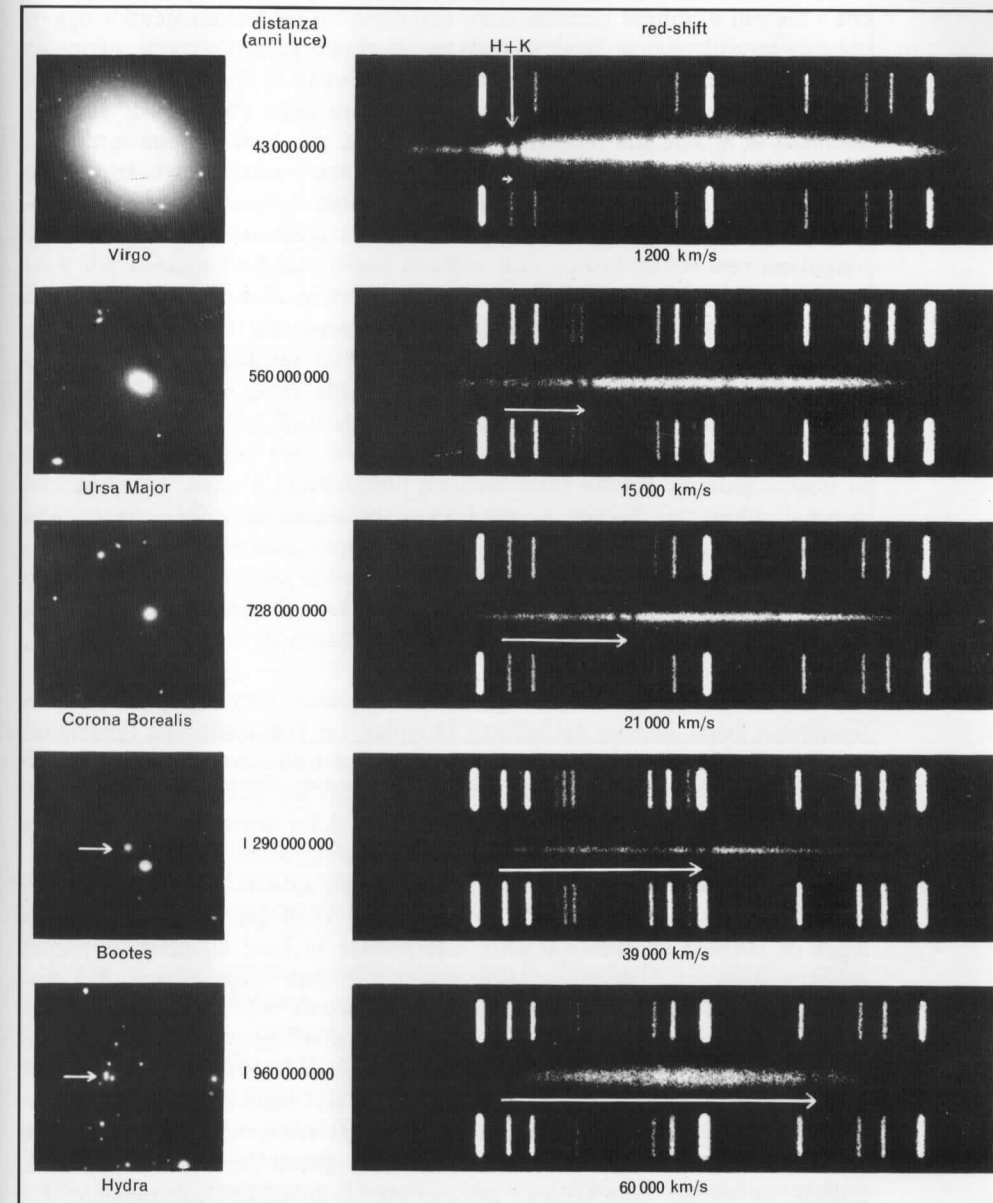


Fig.118 Spostamenti verso il rosso (red-shift) osservati negli spettri di galassie via via più lontane da noi. Si notino le righe spettrali sempre più spostate verso destra (le frecce indicano lo spostamento delle righe H e K del calcio.) Accanto a ogni spettro è riprodotta la fotografia della corrispondente galassia (Mount Wilson and Palomar Observatories).

che i metodi di queste ricerche subivano continui perfezionamenti e oggi si conoscono abbastanza bene le distanze di molte galassie, molte di meno, però, di quelle per le quali si è potuto determinare lo spostamento verso il rosso. Si poteva così ricavare un buon valore della costante di Hubble. Secondo le misure più recenti  $H = 55 \text{ km/s}$ , per ogni milione di parsec. L'interpretazione della legge di Hubble è stata molto controversa. Ammettendo che lo spostamento dello spettro verso il rosso sia dovuto all'effetto Doppler, si deve concludere che tutte le galassie si muovono allontanandosi realmente da noi, con velocità tanto maggiori quanto più sono lontane dalla nostra Galassia<sup>1</sup> (FIG. 119). Si direbbe, dunque, che la Galassia occupi una posizione particolarissima ed eccezionale rispetto alle altre, cioè forse, in pratica, in tutto l'universo. È un residuo di geocentrismo che dovrebbe, per lo meno, insospettirci. Nelle varie epoche l'uomo ha posto al centro dell'universo in principio il proprio territorio, poi il suo pianeta, il suo sole e infine, ora, la sua galassia. Ma cos'ha di particolare la nostra galassia perché tutte le altre ubbidiscano a essa, sia pure nel senso di sfuggirla? E cosa è accaduto o sta accadendo, qui, intorno alla nostra Galassia, per mettere in moto un meccanismo talmente colossale da far impallidire, al confronto, le tremende esplosioni che abbiamo osservato nelle singole galassie? Indubbiamente o c'è qualcosa che non va nell'interpretazione della legge di Hubble o siamo di fronte a un nuovo, grande mistero.

Forse lo spostamento delle righe spettrali verso il rosso è dovuto a un fenomeno fisico diverso dall'effetto Doppler, un fenomeno che ignoriamo perché applichiamo le leggi della fisica su una scala di tempi e di distanze enormemente diversa da quella dei laboratori nei quali le abbiamo scoperte. Molte delle leggi scoperte nella scala delle sensazioni umane non valgono in quella atomica, che è diecimila miliardi di volte più piccola. Ebbene, perché dovrebbero valere sicuramente, invece, in quella extragalattica che è diecimila miliardi di miliardi di volte più grande? Forse la legge di Hubble va effettivamente interpretata in base all'effetto Doppler ma aggiungendo ulteriori considerazioni e ipotesi sulla natura dell'universo. È possibile, e vedremo alla fine fino a che punto si può arrivare.

Per ora respingiamo pure l'ipotesi assurda di vivere in una galassia privilegiata, ma non dimentichiamo che la legge di Hubble è un dato di fatto sicuro, perché esprime un fenomeno osservato realmente: la proporzionalità tra lo spostamento verso il rosso degli spettri e le distanze delle galassie da noi. Anche accettata soltanto in questi termini essa diviene, quindi, un mezzo potentissimo per ricavare le distanze delle galassie. Infatti, in base a essa, la distanza di ogni galassia si ottiene immediata-

<sup>1</sup> Le poche che si avvicinano si spiegano con effetti di moto locali.

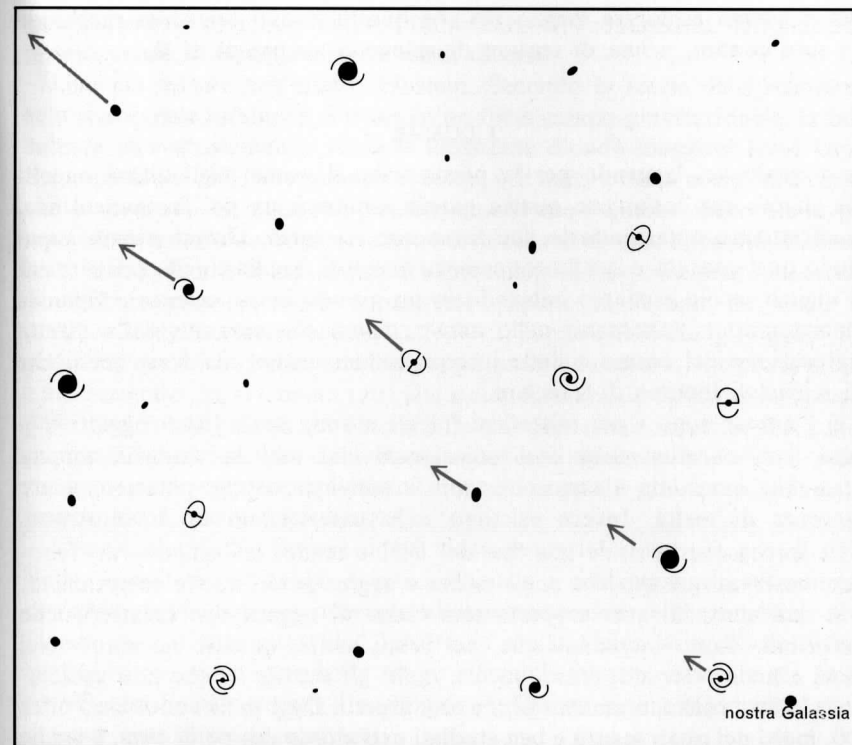


Fig.119 Come si rivela a noi l'espansione dell'universo: quanto più le galassie sono lontane, tanto più rapidamente sembrano allontanarsi da noi (da P. W. Hodge, modificato).

mente dividendo il valore dello spostamento verso il rosso del suo spettro per quello della costante di Hubble, ricavata attraverso le galassie di distanza nota.

D'ora in poi potremo dunque conoscere le distanze anche degli oggetti extragalattici più lontani, pur di riuscire a ottenerne lo spettro. È così che siamo giunti a scoprire che molte delle galassie che già avevamo osservato e fotografato distano fino a centinaia di milioni di anni luce.

Con questo mezzo abbiamo misurato le distanze di galassie singole e di ammassi di galassie distanti fino a circa otto miliardi di anni luce. Abbiamo allargato l'orizzonte, o meglio abbiamo percepito l'immensità di quello che già scorgevamo. Questa volta non abbiamo ancora riscoperto la nostra piccolezza materiale, della quale ormai ci siamo resi conto da tempo, ma le possibilità del nostro intelletto e dei mezzi di osservazione che abbiamo saputo costruire, che ci permettono di spingerci tanto lontano.



Ora dovremo esplorare meglio ciò che questo nuovo orizzonte racchiude e i suoi confini, prima di tentare di spingerci ancora al di là.

### I QUASAR

Se a qualcuno, leggendo per la prima volta il nome degli ultimi oggetti che stiamo per conoscere, questa parola sembrerà un po' fantascientifica, ci affrettiamo a rassicurarlo che forse non ha torto. Ormai stiamo superando quei concetti e quelle conoscenze divenuti familiari nella prima metà di questo secolo e stiamo entrando in un mondo in cui scienza e fantasia s'intrecciano e s'alternano nelle nuove visioni che sorgono dalla diretta esplorazione del cosmo e dalle interpretazioni ardite, ma forse reali, che gli scienziati tentano di tracciare.

E i quasar sono i più misteriosi fra gli ultimi, straordinari oggetti scoperti, con caratteristiche così eccezionali che mai la fantasia umana si sarebbe azzardata a concepire, con la convinzione che potessero avere parvenza di realtà. Invece esistono e le osservazioni ce li mostrano.

La loro scoperta risale alla fine del 1962 quando, collegando vari fenomeni osservati già qualche anno prima e aggiungendo nuove osservazioni, ci si rese conto di aver scoperto una classe di oggetti con caratteristiche incredibili. Tanto incredibili che, nei primi tempi, quando ne erano noti pochi e male osservati, erano ancora molti gli astronomi che non accettavano la loro realtà, o almeno tutti i suoi aspetti. Oggi se ne conoscono oltre 500, molti dei quali seguiti e ben studiati nell'ultima decina di anni, e anche se la loro essenza continua a essere avvolta nel mistero, nessuno dubita più della fondatezza dei fenomeni che mostrano. Ma veniamo ai fatti.

La caratteristica scoperta per prima consiste in un'emissione radio intensissima e fortemente concentrata. Localizzando esattamente questa emissione sulla sfera celeste, si scoprì che proveniva da oggetti di apparenza stellare. Il loro studio con i mezzi ottici tradizionali mostrò subito strane anomalie e le successive ricerche rivelarono che anzi, a dispetto delle loro apparenze, non erano sicuramente stelle. Si conio allora la denominazione di quasar (abbreviazione di *quasi stellar radio source*) accettata definitivamente, con una modifica che vedremo tra poco, solo alla fine del 1970. I quasar più brillanti furono fotografati e osservati spettroscopicamente all'osservatorio di Mount Palomar, con il più grande telescopio del mondo. Gli spettri mostrarono un fondo continuo (in seguito, in alcuni casi, vennero osservate anche righe di assorbimento) e poche righe in emissione che, in un primo momento, non furono identificate con quelle già osservate nei corpi celesti. Successivamente, però, fu scoperto che corrispondevano a righe note (quelle principali della serie di Balmer dell'idrogeno e alcune altre) fortemente spostate verso il rosso: al punto

tale da averne reso impossibile l'immediato riconoscimento. Il fenomeno poteva essere interpretato in tre modi diversi.

Uno era basato sull'effetto Einstein. Secondo la teoria della relatività, se una sorgente luminosa si trova in un forte campo gravitazionale, la luce subisce uno spostamento verso le lunghezze d'onda maggiori (cioè verso il rosso) tanto più forte quanto più alto è il valore della massa del corpo che lo provoca. Si potrebbe pensare quindi che i quasar siano stelle pesantissime, ma questa interpretazione urta contro diverse difficoltà. Innanzitutto si calcola che le masse richieste per spiegare lo spostamento osservato dovrebbero essere enormi, soprattutto rispetto al volume nel quale la materia dovrebbe essere contenuta. Allora, supponendo che gli oggetti più pesanti siano anche i più luminosi (come generalmente avviene per le stelle) e ammettendo che si trovino tutti alla stessa distanza (la difficoltà introdotta dalla non validità di questa seconda ipotesi può essere superata con considerazioni statistiche), si dovrebbero osservare spostamenti verso il rosso maggiori negli oggetti più brillanti e minori in quelli più deboli. In realtà, invece, viene osservato il contrario.

Ma c'è di più. Se fossero corpi tanto pesanti e poco più grandi delle stelle, la materia dovrebbe essere sottoposta a una pressione enorme che dovrebbe provocare un notevole allargamento delle righe spettrali che, invece, non viene osservato. Inoltre le stelle vicine dovrebbero subire perturbazioni tanto grandi da essere rilevabili (almeno nei casi più favorevoli) con i nostri mezzi d'osservazione. Questa prima interpretazione è dunque senz'altro da scartare.

Una seconda ipotesi consiste nell'ammettere che lo spostamento verso il rosso sia interpretabile come effetto Doppler e si tratti quindi di stelle ad altissima velocità, relativamente vicine a noi. In tal caso, però, va ricordato che dagli spostamenti verso il rosso osservati risultano velocità dell'ordine di grandezza di alcune decine di migliaia di chilometri al secondo e, a meno che il moto degli oggetti non si svolga solo nel senso della visuale, dovrebbe esistere una componente trasversale del moto alla quale dovrebbe corrispondere un sensibile spostamento apparente dell'oggetto sulla sfera celeste, che potrebbe essere posto in evidenza agevolmente, confrontando osservazioni distanti qualche decina di anni. Questi confronti, effettuati usando vecchie fotografie nelle quali alcuni quasar erano stati registrati per caso, hanno avuto esito negativo. Poiché non si può pensare che il moto di tutti i quasar osservati avvenga proprio secondo la visuale diretta alla Terra e, d'altra parte, resterebbe ancora inspiegato il fatto che tutte le velocità sono di allontanamento (tutti gli spostamenti osservati sono verso il rosso) anche la seconda ipotesi non può essere accettata.

Nel 1966 questa seconda ipotesi venne ripresa sotto altra forma da Terrell e sostenuta da F. Hoyle e G. R. Burbidge. Secondo questi scienziati i



quasar si sposterebbero realmente alle altissime velocità osservate ma non sarebbero stelle o, comunque, corpi appartenenti alla Galassia ma frammenti di materia extragalattica, lanciati nello spazio da colossali esplosioni. Essi non sarebbero più lontani di una trentina di milioni di anni luce. Gli autori di questa interpretazione suggerirebbero anzi addirittura come pos-

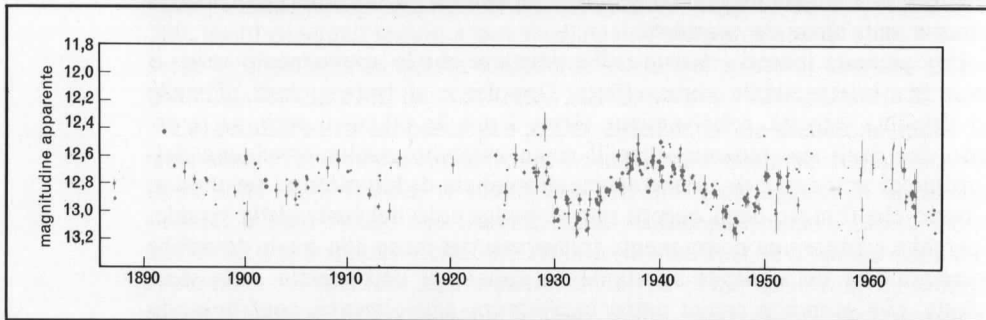
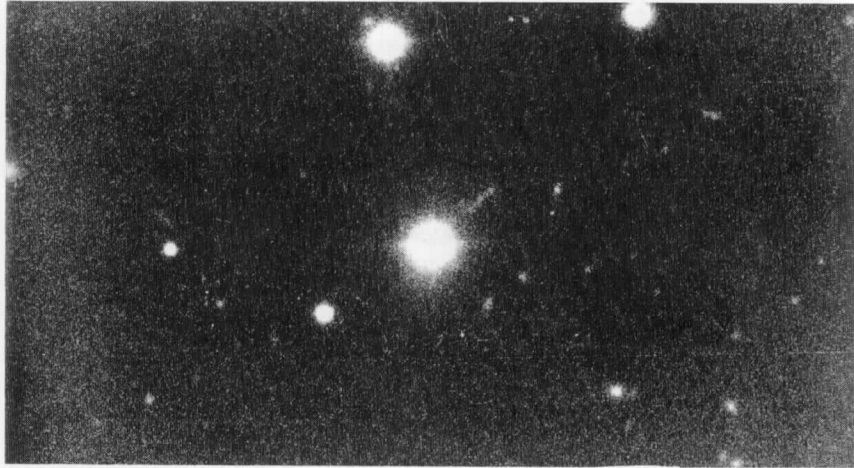


Fig.120 In alto, 3C 273, uno dei quasar più luminosi. Questa foto, presa da A. Sandage, mostra chiaramente un 'jet' che si estende per circa 150 000 anni luce dal nucleo più brillante. Il jet, un'intensa sorgente di onde radio, è composto di gas ionizzati, i cui elettroni si muovono su percorsi spiraleggianti all'interno delle linee di forza dei campi magnetici. Il materiale fu espulso dal nucleo circa un milione di anni prima. La luce da 3C 273 impiega parecchi miliardi di anni per raggiungere la Terra (*Mount Wilson and Palomar Obs.*). In basso, grafico che riassume le variazioni nella luminosità visuale di 3C 273, scoperte da H. J. Smith e dai suoi collaboratori esaminando lastre fotografiche che risalgono a un periodo di ottant'anni. In funzione della data di ogni posa sono state riportate le determinazioni della magnitudine apparente: poiché ogni intervallo unitario di luminosità corrisponde a un rapporto d'intensità di circa 2,5 : 1, ne risulta che durante quel periodo di osservazione 3C 273 ha fluttuato in intensità luminosa fino al 50%.

sibile luogo di origine dell'esplosione la galassia denominata NGC 5128.

Anche questa teoria è stata molto criticata. L'obiezione più ovvia è ancora quella che non si osservano quasar con spettro spostato verso il blu, cioè che si avvicinano a noi. Se un corpo esterno alla Galassia fosse esploso e avesse lanciato agglomerati di materia in tutte le direzioni, qualcuno dovrebbe muoversi anche verso la Galassia. Ma esiste anche una seconda obiezione. L. Woltjer e G. Setti calcolarono che, tenendo conto delle attuali energie cinetiche dei quasar, cioè delle energie associate alle loro velocità, e considerando che la loro somma deve essere stata fornita dall'esplosione, il valore dell'energia che doveva avere l'esplosione originale sarebbe risultato assolutamente inaccettabile.

La terza interpretazione dello spostamento verso il rosso è che sia della stessa natura di quello osservato nelle galassie. In questo caso, applicando la legge di Hubble, le distanze dei quasar devono essere proporzionali agli spostamenti verso il rosso e possono essere così ricavate conoscendo quest'ultimo. Sulla base di questa interpretazione, che resta l'unica possibile, i quasar sono risultati estremamente lontani da noi: per la maggior parte più di un miliardo di anni luce.

Gli oggetti più lontani finora osservati dall'uomo sono, appunto, due quasar: OQ 172 e OH 471. Gli spostamenti verso il rosso sono risultati rispettivamente  $z = 3,53$  e  $z = 3,40$ . Le loro distanze da noi sarebbero quindi dell'ordine di quindici miliardi di anni luce. Naturalmente gli altri quasar non sono, per la maggior parte, così lontani ma distano sempre, in generale, alcuni miliardi di anni luce. Se le distanze sono così elevate, un semplice calcolo mostra che lo splendore deve essere enorme. Così 3C 273 (FIG. 120, sopra), che è di magnitudine apparente 12,5, tenendo conto della distanza deve avere una magnitudine assoluta  $M = -25$ , che corrisponde a mille miliardi di volte lo splendore del Sole. Uno splendore simile è superiore a quello di un'intera galassia (anche delle più grandi) che tuttavia è un'immenso aggregato di materia e di centinaia di miliardi di stelle. I quasar sono dunque anche i più luminosi oggetti conosciuti nell'universo. Tanta energia liberata non solo alle frequenze ottiche ma anche nel dominio delle radioonde, si sprigiona in un volume relativamente molto piccolo. Infatti, anche osservati con i più potenti telescopi, i quasar continuano a mostrarsi di aspetto stellare. In pratica si calcola che contengano masse pari a decine di milioni di volte quella del Sole in uno spazio di diametro non superiore a qualche migliaio di anni luce.

Ma le sorprese non sono finite. Già nel 1963 gli astrofisici di tutto il mondo venivano colpiti dalla notizia che, rintracciando vecchie lastre su un arco di tempo di circa settant'anni, nelle quali era stato fotografato per caso il quasar 3C 273, si potevano notare sensibili variazioni dello splendore luminoso. Accurate osservazioni fotoelettriche successive conferma-

vano piccole variazioni a brevi intervalli di tempo, in questo e in altri quasar (FIG. 120, in basso).

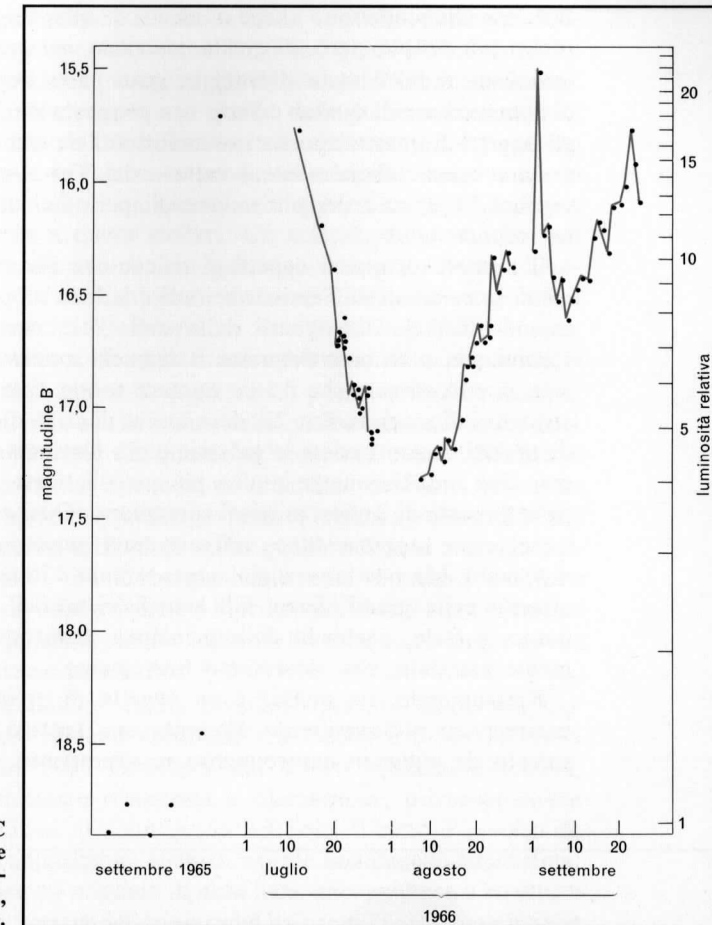
La cosa era di un'importanza enorme perché riduceva ancora le dimensioni dei quasar o, almeno, di quella zona in cui viene prodotta la maggior parte dell'energia ottica e si manifesta il fenomeno della fluttuazione luminosa. Infatti se un quasar avesse un diametro, per esempio, di 1000 anni luce e si producesse, per una qualche ragione a noi ignota, un fenomeno che modifica il suo splendore su tutta la superficie nello stesso istante, osserveremmo la variabilità di splendore della parte più vicina a noi in un certo momento e di quella più lontana 1000 anni dopo. Naturalmente durante questi mille anni dovremmo osservare la stessa variazione proveniente, successivamente, da tutte le zone intermedie. Perché si possa osservare la variazione di colpo e una volta sola, il quasar (o almeno quella parte soggetta alla variazione) deve essere relativamente piccolo.

Nel 1965, osservando 3C 273, W. A. Dent scoprì che anche l'emissione radio era variabile. Subito dopo, altri radioastronomi osservarono diversi quasar scoprendo che il fenomeno era comune a molti altri. Dunque anche l'emissione radio è variabile. Ma questo fatto, dopo la straordinaria notizia della variabilità ottica, era quasi atteso e fece un'impressione minore.

Una grande impressione suscitò, invece, la notizia che un quasar (3C 446) aveva subito un aumento di ben 3,2 magnitudini, tra l'inizio di ottobre del 1965 e la fine di giugno del 1966. Purtroppo in tutto questo intervallo di tempo mancano osservazioni, ma si ha ragione di ritenere che l'aumento fu molto rapido, poiché ancora nel settembre 1965 un astronomo che l'aveva osservato spettroscopicamente l'aveva stimato del consueto splendore, cioè al minimo. 3C 446, dunque, benché sia un corpo miliardi di volte più luminoso del Sole, è stato capace di aumentare ancora il suo splendore di ben venti volte e forse quasi di colpo. Naturalmente, dopo aver mostrato un simile guizzo, è stato continuamente seguito dagli astronomi che hanno potuto constatare che continua a variare intorno al massimo con una eccezionale irrequietezza (FIG. 121).

Le osservazioni della variabilità dei quasar continuano e rivelano particolari sempre più interessanti. Sembra che almeno un terzo di essi, sottoposti a osservazioni continuative, abbia mostrato fenomeni di variabilità. Le variazioni luminose sono generalmente di modesta entità (inferiori a una magnitudine) e irregolari. Guizzi come quello mostrato da 3C 446 non sono stati più osservati in altri quasar e quindi devono essere molto rari. Una cosa tuttavia è certa: che il fenomeno della variabilità è reale e vistoso e, per quanto inspiegabile, ci impone di considerare i quasar come oggetti relativamente molto piccoli, cioè del diametro di poche centinaia di anni luce (FIG. 122).

Il fatto che oggetti tanto piccoli possano produrre tanta quantità di



**Fig.121** Curva di luce di 3C 446, un quasar a variazione rapida, secondo le osservazioni effettuate da T. D. Kimnan, E. Lamla, C. A. Wirtanen.

energia ed essere, forse, tanto pesanti, diviene un mistero sempre più fitto.

Nel 1965, cioè qualche anno dopo la scoperta dei quasar, l'astronomo Sandage compiva un'altra importante scoperta: quella di oggetti con caratteristiche ottiche simili (aspetto stellare, eccesso di luce ultravioletta, spostamento delle righe spettrali verso il rosso) ma che, contrariamente a quanto avveniva per i quasar, non sembravano emettere radioonde e che chiamò QSG (*quasi stellar galaxies*). Questi oggetti erano molto più numerosi dei quasar e, d'altra parte, date le loro caratteristiche ottiche, non si poteva negare che fossero anche della stessa famiglia. Una conferma in questo senso fu data già alla fine dello stesso anno dai radioastronomi di

Bologna che scoprirono anche in alcuni di questi oggetti un'emissione radio, molto più debole, però, di quella osservata nei quasar. Oggi questa debole emissione radio è stata rilevata in gran parte degli altri. In ogni caso la denominazione di quasar è stata ora proposta da M. Schmidt per indicare gli oggetti di questo tipo sia radioemittenti sia radioquieti e in questo senso è stata ormai ufficialmente accettata dal *The Astrophysical Journal* (novembre 1970) uno dei più autorevoli periodici di astrofisica che esistano nel mondo.

Il numero di questi oggetti si ritiene che sia molto alto. Non essendo messi in evidenza dall'emissione radio, la loro scoperta è lunga e laboriosa, essendo difficile distinguerli dalle stelle con mezzi d'osservazione rapidi. Comunque, sulla base del numero di quelli scoperti nelle zone finora esplorate, si può stimare che il loro numero totale, fino a quelli che dovrebbero apparirci di magnitudine 22, deve essere di circa dieci milioni. Dieci milioni di oggetti, pesanti come le galassie e più luminosi, ma di aspetto puntiforme, cioè indubbiamente molto più piccoli, forse minori anche dei nuclei delle galassie di Seyfert ai quali somigliano. Qual è la loro natura e, soprattutto, cosa rappresentano nell'economia generale dell'universo? Non lo sappiamo. Ma possiamo ugualmente tentare d'immaginare la loro struttura, almeno nelle grandi linee. Gli astrofisici teorici, perlomeno, stanno tentando di farlo, partendo dalle principali caratteristiche osservative sicuramente associate, che ricordiamo brevemente.

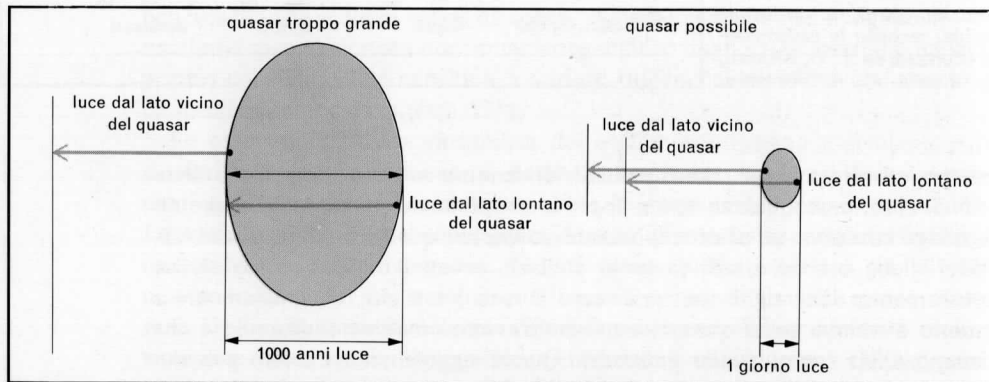
Riassumendo, un quasar è un oggetto di aspetto stellare che può apparire o no radioemittente. Presenta uno spettro continuo, qualche volta solcato da righe in assorbimento e, soprattutto, uno spettro di righe in

emissione, sovrapposto al primo, corrispondente a quello delle nebulose molto eccitate, fortemente spostato verso il rosso; quest'ultimo fatto ha indotto a considerare i quasar come oggetti extragalattici lontanissimi. Il loro spettro mostra anche, rispetto a quello delle stelle, un eccesso di radiazione ultravioletta e un altro infrarosso: in altri termini è piuttosto piatto. Soprattutto per questa ragione e per la differenza enorme da quelli di righe delle stelle, lo spettro di un quasar non appare, come avviene per quelli delle galassie, simile a quelli stellari. Un quasar, dunque, non può essere un aggregato di stelle, come una galassia, sia pure ridotto all'apparenza di un punto per la compattezza e l'enormità della distanza. Infine la variabilità dello splendore dei quasar ne conferma la piccolezza, pur senza smentire la loro natura di oggetti extragalattici, dato che anche i nuclei di galassie di Seyfert (come si è già visto) possono essere variabili.

Da queste osservazioni e da quelle radio, sulle quali non ci siamo fermati, sembra di poter concludere che un quasar si compone essenzialmente di tre parti. Un corpo centrale del diametro di circa due mesi luce, cioè circa centoventi volte più grande di quello del nostro sistema solare. La sua massa sarebbe almeno cento milioni di volte quella del Sole e la sua magnitudine assoluta visuale — 24. L'energia che irradia in tutto l'intervallo ottico, cioè comprendendo l'ultravioletto e l'infrarosso, si stima che ammonti a  $10^{46}$  erg/s e sarebbe quindi diecimila miliardi di volte superiore a quella emessa dal Sole nello stesso intervallo.

Il corpo centrale è circondato da un involucro gassoso molto più leggero, che si espande con velocità comprese tra i 1000 e i 10 000 km/s e si estende fino a circa 3000 anni luce dal centro. Questa atmosfera, avente una struttura piuttosto irregolare e filamentosa, dovrebbe avere una massa pari a un milione di volte quella del Sole. Il tutto è avvolto da una corona di particelle ad altissima energia, avente una densità bassissima, del raggio di alcune decine di migliaia di anni luce, anche questa a struttura non uniforme. È in questa parte del quasar che ha origine la radioemissione e quando quest'ultima non viene osservata, vuol dire che la corona manca. In questo caso l'oggetto si compone solo delle altre due parti e appartiene al gruppo di quelli radioquieti, scoperto da Sandage. Probabilmente questa corona non costituisce una parte del quasar stabile e permanente, ma viene prodotta da uno o più eventi violenti, eccezionali ma rari, che accelerano gli elettroni fino a velocità prossime a quella della luce e i cui effetti possono forse durare da mille a un milione di anni. Così dovrebbe apparire un quasar, almeno nella sua struttura essenziale. Ma ancora non si riesce a comprendere che cos'è, com'è sorto, come riesce a emettere l'enorme quantità di energia osservata e infine, dal momento che non può restare eternamente come lo osserviamo noi, in che cosa si evolve.

Anche su questo punto sono state formulate diverse teorie. Tra le possi-



**Fig.122** Rapporto fra le dimensioni di un quasar e la sua variabilità: dato un certo periodo di variabilità di un oggetto luminoso, le sue dimensioni non possono mai essere maggiori della distanza percorsa dalla luce in quel periodo per semplici ragioni ottiche.



bili è molto suggestiva quella ideata da L. Gratton nel 1967. Questo scienziato, partendo dalle equazioni dell'equilibrio meccanico di una massa fluida sferica, nel caso relativistico, e accettando l'ipotesi che il trasporto dell'energia all'interno del corpo centrale avvenga essenzialmente per convezione, sviluppò un modello di quasar quasi statico che espandendosi emette energia.

Questo modello e il fatto che un quasar, pur essendo molto più piccolo di una galassia, è miliardi di volte più luminoso del Sole e centinaia di milioni di volte più pesante, suggerisce un'ardita ipotesi evolutiva. Forse espandendosi attraverso una serie di stati di equilibrio, in dieci o cento milioni di anni, un quasar si trasforma in una immensa nube di gas scura e fredda. Da questa, a un certo momento, si comincerebbero a formare condensazioni dalle quali nascerebbero stelle. A questo punto il processo di espansione si arresterebbe, mentre il quasar si troverebbe trasformato in un agglomerato di gas e stelle. Dal quasar è nata una galassia.

#### VISIONE COSMICA

Quando ci eravamo appena affacciati al di fuori della Galassia e delle Nubi di Magellano, il nostro sguardo, debole e ignaro, aveva avuto la desolante impressione di spaziare sul nulla. Poi, guidati verso qualche fioco batuffolo luminoso, avevamo finito per scoprire altre galassie, anzi il mondo delle galassie. Ora che abbiamo notevolmente approfondito la conoscenza di questo mondo, vogliamo ripetere l'esperienza di affacciarsi a contemplarlo dal di fuori della Galassia, non più affidandoci ai nostri limitatissimi sensi ma a quei mezzi che li hanno aiutati a compiere tutte le grandiose scoperte che abbiamo conosciuto or ora.

Immaginiamo, anzi, di guardare verso quegli stessi spazi con un occhio migliaia di volte più potente del nostro, cioè come se, al posto della nostra pupilla, avessimo quella, seicentoventicinque volte più larga, del telescopio di Mount Palomar. Che cosa chiediamo, in fondo: di essere un po' più grandi. Di avere un corpo che invece di essere alto un metro e settanta centimetri, sia poco più alto di un kilometro. Anche con queste dimensioni, sospesi nello spazio extragalattico, restiamo quegli esseri insignificanti che eravamo prima e la scala dei rapporti dimensionali con il resto dell'universo non subirà, per questo, variazioni sensibili. Ma con questi nuovi occhi avremo una visione ben più reale. Vedremo subito, in tutto il loro splendore, le galassie più vicine; moltissime galassie, anche lontane, ci mostreranno le loro spire cosparse di nebulose e di stelle; vedremo galassie collegate da ponti di stelle; ammassi intergalattici poco lontani, galassie nane, galassie compatte; scorgeremo qua e là ampi ammassi di galassie più vicini, nei quali riconosceremo le singole componenti, diverse tra loro per aspetto e

dimensioni, e altri, distantissimi, in cui le singole galassie appariranno ridotte a punti appena visibili, mentre l'intero ammasso sembrerà debole e povero come vediamo dalla Terra gli ammassi di stelle più spogli. E questo spazio che ci era parso vuoto e piatto ci si mostra ora invece qual è: pieno e profondo. Perché il nostro occhio ingigantito vedrà la volta celeste brulicante di galassie. Di queste, poche, grandi, ci daranno giustamente l'impressione di essere più vicine e, con le altre tanto più numerose quanto più piccole, segneranno i vari piani prospettici di uno spazio sterminato. Sarà come affacciarsi sull'orlo di un pozzo, in cui il confronto tra le pietre e i mattoni più vicini con quelli più lontani e la piccolezza dello specchio d'acqua nel fondo ci danno l'immediata impressione della sua profondità. Le galassie sono le pietre e i mattoni, ma in questo caso non vediamo il fondo e il pozzo non è in una sola direzione: è da tutte le parti. Col nostro occhio avevamo visto la mostruosità del nulla, con quello attuale scorgiamo un abisso insondabile ma popolatissimo: questo abisso è il cosmo.

Vogliamo vedere di più. Vogliamo seguire questa visione nel tempo. Immaginiamo, allora, di variare la frequenza delle nostre sensazioni in modo da vedere tutti gli eventi molto più velocemente. L'intero mondo delle galassie comincerà ad apparirci in moto. Vedremo galassie spirali ruotare vorticosamente come girandole; supernovae che, rapidamente, si accendono e si spengono; intere galassie che esplodono; galassie che si avvicinano tra loro, si strappano gas e stelle attraverso immense maree, poi si riallontanano, seminando e dissolvendo una parte di sé stesse nello spazio; nuclei di galassie dallo splendore palpitante; quasar che pulsano, guizzano, esplodono, si dilatano, fino a divenire galassie; ammassi di galassie che si muovono ed espandono.

Avevamo visto il cosmo come un'entità immensa, ora lo vediamo vivo. E tutto questo non è ancora nulla di fronte al moto più impressionante di tutti. Guardando attentamente le galassie meno lontane le vedremo rimpiccolirsi tutte lentamente, perché tutte si allontanano da noi. Guardiamo quelle più lontane: faranno la stessa cosa più rapidamente. Cerchiamo tra quelle via via ancora più lontane: le vedremo fuggire a velocità sempre più alte, inconcepibili, vertiginose. Così, come l'occhio aumentando di potenza ci aveva mostrato un abisso senza fondo, l'accelerazione degli eventi ci mostra ora un crescendo di velocità, i cui limiti sono ancora più inconcepibili e paurosi di quelli dello spazio. E se poco fa, mentre l'occhio percepiva un mondo sterminato, ci chiedevamo: ma è possibile che tutto questo non finisca mai? e, se finisce, al di là cosa c'è?, così ora, di fronte alla fuga delle galassie, ci viene spontaneo di chiederci allibiti: ma dove vanno a finire?

Sono problemi difficilissimi ma fondamentali che non siamo certo i primi ad affrontare. Non c'è uomo al mondo che non se li ponga, almeno

in qualche momento della sua vita, o non li senta, almeno allo stato latente, nel fondo più intimo del suo pensiero. Non c'è stata un'epoca o un popolo che non ne abbiano cercato una soluzione, che spesso veniva trovata attraverso la speculazione filosofica o la rivelazione religiosa. E anche oggi i problemi dell'estensione dell'universo, della sua evoluzione e della sua origine, sono indubbiamente i più ardui e affascinanti di tutta l'astronomia, anzi ne costituiscono, come ne costituirono in tutti i tempi, la vera essenza, pur formando, per la loro complessità, una vera e propria scienza: la cosmologia.

Li affronteremo dunque anche noi e, guidati dalle più geniali interpretazioni delle più recenti scoperte, cercheremo di intravedere le soluzioni che la scienza moderna ci prospetta.

Cominceremo col problema dell'estensione dell'universo. Il primo a cercarne una soluzione moderna fu Newton che, tenendo conto della legge della gravitazione universale, da lui stesso scoperta, giunse alla conclusione che l'universo non può essere finito, altrimenti dovrebbe 'cadere' tutto rapidamente verso il suo centro. Nel secolo scorso, W. Olbers mostrò che l'universo non può essere nemmeno infinito e contenere ovunque stelle e galassie, altrimenti il cielo notturno dovrebbe apparire luminosissimo, più ancora di quello diurno, nel quale il Sole stesso diverrebbe indistinguibile dal fondo. Furono prospettate soluzioni per spiegare questi risultati paradossali e contraddittori ma non ci fermeremo su queste, preferendo invece insistere sul punto essenziale, quello della loro contraddittorietà.

Quando, nel 1917, Albert Einstein tentò di costruire il suo primo modello cosmologico, basato sulla teoria della relatività generale e partendo dall'ipotesi di un universo statico (la fuga delle galassie non era stata ancora scoperta) giunse a queste due importanti conclusioni: 1) l'universo non può essere infinito; 2) l'universo non può essere finito e circondato da uno spazio vuoto infinito. La contraddizione era dunque confermata e ribadita.

La sua gravità sembrava insormontabile. Ma c'era da considerare ancora un punto fondamentale.

Fino a questo momento abbiamo sempre tacitamente supposto che nello spazio nel quale ci siamo mossi valesse ovunque la geometria che abbiamo studiato fin dalle scuole elementari: quella buona, vecchia geometria nella quale continuiamo a credere perché non ci ha mai deluso e che, per essere stata sistematizzata da Euclide, oltre duemila anni fa, si chiama euclidea. Questa geometria è fondata, oltre che su certi principi logici, su un certo numero di postulati suggeriti, a loro volta, dall'evidenza dei fatti. Ad esempio, uno dei postulati di Euclide afferma che, dati una retta e un punto al di fuori di essa, si può condurre per il punto una e una sola retta parallela alla prima. Tutto ciò è evidente finché disegniamo le figure sul nostro

tavolo e riteniamo che sia valido anche un po' più in là, ma non è dimostrabile e il fatto che possa valere dovunque è solo una nostra astrazione, così come sono nostre astrazioni le rette e il punto.

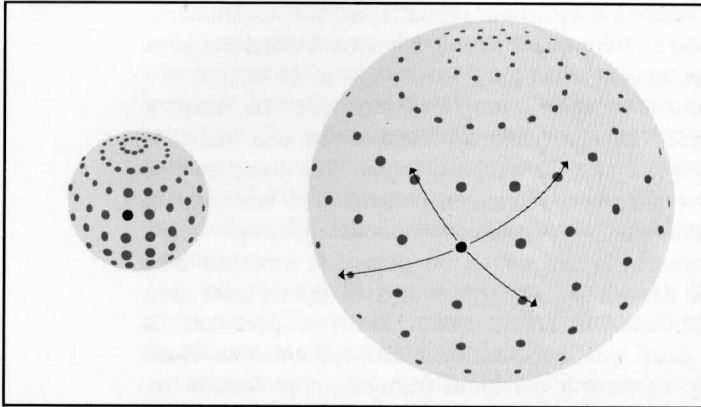
Einstein suppose allora che lo spazio non fosse euclideo ma finito e incurvato positivamente, cioè in modo da chiudersi come una sfera. Il fatto che sia finito non implica che sia anche limitato. Per comprendere meglio la situazione nella quale, probabilmente, ci troviamo, tentiamo di fare una bizzarra considerazione. Supponiamo che esistano degli strani individui a due sole dimensioni che vivono su un piano. Il loro universo sarà costituito unicamente da ciò che appartiene a quel piano, anzi sarà proprio quel piano. Indubbiamente anche questi esseri si porranno le domande che ci eravamo posti noi, poco fa, sui limiti dell'universo. Dato che, percorrendo lo spazio in tutte le direzioni (naturalmente sempre restando sul piano) essi non troveranno mai un limite o un'interruzione, né riusciranno a scoprire limiti concettuali a questa loro attività, affermeranno, giustamente, che il loro universo (cioè il piano) è infinito e illimitato.

Supponiamo ora di trasportare queste povere cavie bidimensionali sulla superficie di una sfera, naturalmente senza far loro sapere che il 'piano' sul quale si trovano ora è incurvato. Ripetendo la stessa esperienza, percorreranno in lungo e in largo tutta la superficie, senza trovare mai un limite e avranno ragione di affermare ancora di trovarsi in uno spazio illimitato, ma commetterebbero un grave errore se ritenessero che quello spazio fosse anche infinito e noi, che vediamo agevolmente dall'esterno quella superficie incurvata in una terza dimensione, possiamo renderci conto del loro errore senza il minimo sforzo concettuale.

Il nostro caso è forse analogo a questo, e ciò che ci appare infinito nel nostro spazio tridimensionale è invece soltanto illimitato. Quando, dunque, parlando del proseguimento del nostro viaggio spaziale, avevamo pensato che, per sapere dove conduce una strada, la cosa migliore da fare è quella di percorrerla, avevamo avuto una cattiva idea, perché non sospettavamo che avrebbe potuto portarci anche al punto di partenza o sarebbe potuta sboccare su altrettante strade, ognuna delle quali avrebbe condotto a nuove strade e avremmo potuto seguire infiniti itinerari pur appartenendo a un universo finito.

Oggi la grande maggioranza degli scienziati ritiene che lo spazio in cui viviamo sia realmente curvo.

Quello che è in discussione, semmai, è il tipo di curvatura. Non ci addentreremo anche in questo problema, ma è importante segnalare che i cosmologi prevedono osservazioni dalle quali si potrebbe scoprire in quale tipo di universo ci troviamo. Purtroppo i nostri attuali mezzi di osservazione hanno raggiunto, appena ora, il limite inferiore in cui le differenze



**Fig.123** Rappresentazione dell'espansione dell'universo mediante un palloncino gonfiabile su cui esistono zone di materiale anelastico (i punti colorati). In nero la Galassia.

osservative tra un tipo di universo e l'altro incominciano a farsi evidenti.

Torniamo ad affrontare, invece, un altro problema: quello della fuga delle galassie. Più volte ci eravamo chiesti come mai tutte le galassie fuggono da noi con velocità crescente in proporzione alla distanza, cosa le spinga e dove vadano a finire in questa corsa vertiginosa. L'esistenza di uno spazio curvo ci suggerisce ora un'interpretazione che, d'altronde, potrebbe essere valida anche nel caso di uno spazio non curvo. Non sono le galassie che fuggono nello spazio ma è proprio lo spazio nel quale si trovano che si dilata. Le galassie sono tutte ferme ma l'universo si espande trascinandole seco. Ecco perché abbiamo l'impressione di essere al centro dell'espansione e vediamo tutte le galassie fuggire da noi con velocità proporzionale alla distanza!

Per chiarire meglio questo concetto torniamo nuovamente all'esempio della sfera. Immaginiamo di avere un palloncino, di segnare su di esso tanti punti neri equidistanti e gonfiamolo in modo da dilatarlo sempre più (FIG. 123). I punti neri si allontaneranno tra loro nella stessa misura, perché la gonfiatura del palloncino è uniforme. Immaginiamo ora che su uno di quei punti ci sia un insetto che non sa di essere su un pallone che si sta gonfiando ma vede i punti che ha intorno. Ebbene, quell'insetto crederà di essere fermo mentre tutti gli altri punti si allontanano da quello in cui si trova, e avrà la sensazione che quelli più lontani fuggano più rapidamente, proprio come avviene per le galassie rispetto alla nostra.

Questa interpretazione porta con sé una conseguenza: se è vero che l'universo si dilata continuamente, ciò significa che in passato deve essere stato molto meno esteso di adesso. Anzi, ci deve essere stata un'epoca in

cui la materia che oggi è sparsa nelle innumerevoli galassie, stelle, nebulose e pianeti era tutta concentrata in un volume relativamente ristretto.

Ma a questo punto alcuni cosmologi moderni ci fermano: « Adagio – ci dicono – chi vi garantisce che tutta la materia che vedete sia sempre esistita o, se non è esistita dall'eternità, che sia stata creata tutta insieme? ».

#### CREAZIONE CONTINUA

È ormai evidente che, al punto in cui siamo, non possiamo più andare avanti basandoci unicamente sui principi e sulle leggi della fisica che avevamo introdotto sperimentando sulla Terra o nelle sue vicinanze.

All'inizio di questo secolo la fisica atomica, che stava appunto sviluppandosi, aveva subito la sua più profonda crisi, che fu risolta solo quando gli scienziati si resero conto che, scendendo nel mondo dell'estremamente piccolo, non si potevano trasportare, inalterate, le leggi trovate nel nostro. Fu così che il principio di indeterminazione subentrò al principio di causalità e il concetto di certezza divenne solo un caso particolare del concetto di probabilità, che rimase il solo dominatore del mondo dell'atomo.

Similmente, se vogliamo sviluppare teorie che abbraccino l'intero universo, pur conservando e applicando tutte le leggi che abbiamo scoperto, quando ci riferiamo alle parti che lo compongono (siano queste atomi, pianeti, stelle o galassie) dobbiamo introdurre nuove ipotesi o definire nuovi principi quando ci riferiamo a esso come un tutto. È evidente che anche in questo caso le ipotesi e i principi saranno ridotti al minimo e scaturiranno direttamente dall'interpretazione dell'esperienza, come una pura astrazione di ciò che osserviamo o crediamo di osservare. Naturalmente c'è da aspettarsi che, se saranno diverse le ipotesi o i principi dai quali partiremo, potranno essere diverse anche le teorie cosmologiche che ne risulteranno. Da ora in poi non avremo più, dunque, avanti a noi risultati sicuri (almeno concettualmente) ma risultati diversi, che accetteremo o no secondo l'affidamento datoci dalle premesse o la credibilità dei risultati.

Ciò detto, fermiamoci a fare una riflessione semplice ma di vasta portata. Come tutti sanno, gli antichi credevano che la Terra fosse il centro dell'universo e Sole, Luna, pianeti e persino tutte le stelle (che venivano immaginate attaccate a una sfera) le facevano corona e si muovevano intorno a essa. Quattrocento anni fa, Copernico sbalzò via la Terra da questa posizione privilegiata che venne a essere occupata, invece, dal Sole. In seguito si capì che anche il Sole, stella tra le stelle, non aveva altro privilegio se non quello di essere al centro di un sistema di corpi, privilegio che però avevano anche i pianeti circondati da satelliti e forse moltissime altre stelle, centri di altrettanti sistemi planetari. Tuttavia, all'inizio del secolo scorso, le ricerche di W. Herschel indussero a credere che il nostro



sistema solare si trovasse in una posizione centrale rispetto all'enorme sistema stellare del quale faceva parte e che era stato chiamato Galassia. Abbiamo già spiegato questo errore e come si poté constatare, invece, di occupare un punto qualunque della Galassia. Ma la scoperta della fuga delle galassie, tutte in moto di allontanamento rispetto alla nostra, ci aveva prospettato la possibilità di abitare in una galassia particolare, al centro dell'universo. Ora abbiamo saputo che anche questa è solo un'apparenza, dovuta al fatto che tutto lo spazio si dilata, e che questa apparenza si ripete in maniera identica per chiunque si trovi in ciascuna delle altre galassie.

Dunque tutte le volte che abbiamo immaginato di essere in un punto particolare dell'universo abbiamo sbagliato, poiché abbiamo successivamente appreso che la Terra non è l'unico pianeta, il Sole non è l'unica stella, la Galassia non è l'unica galassia e né la Terra, né il Sole, né la Galassia occupano una posizione privilegiata.

Inoltre noi, oggi, sappiamo che come ogni corpo è composto da un numero enorme di atomi e molecole, il cui insieme presenta le stesse proprietà, così accade per l'universo, purché si considerino volumi convenientemente grandi. In altre parole, se prendiamo piccole parti di spazio, possiamo trovare in ognuna di esse o un certo numero di pianeti, o una o più stelle, o addirittura una o più galassie. Ma considerando un volume più grande di quello racchiuso da una galassia o da un ammasso di galassie, vi troveremo galassie di tutti i tipi e, soprattutto, la stessa densità media di materia, che avrà le stesse proprietà, rispetto a un ugual volume considerato in un'altra zona dell'universo, distantissima dalla prima. Ebbene questo concetto esprime il cosiddetto principio cosmologico che, enunciato nella forma più sintetica e rigorosa, dice: *la struttura e le proprietà dell'universo su larga scala sono ovunque le stesse.*

È importante sottolineare che, benché suggerito dall'esperienza, anche questo principio nasce da un'esigenza puramente razionale. Lo scienziato ne ha bisogno perché deve credere in una base su cui poggiare tutto il suo edificio. Come ha bisogno del principio della conservazione di qualcosa, sia essa il moto o la quiete di un corpo, la materia o l'energia. Questa pietra angolare che regge tutta la sua costruzione non può essergli fornita dall'esperienza, che può solo avviare la ragione sulla strada che la conduce a formulare il principio. Il principio stesso rimane invece un'astrazione, della quale solo la ragione resta padrona e arbitra. Per questo un principio ragionevole per certi scienziati può non essere tale per altri, che possono rifiutarlo o sostituirlo con un altro, che soddisfi la loro ragione.

Così è avvenuto anche per il principio cosmologico, al quale, intorno al 1948, H. Bondi e T. Gold proposero di sostituire il cosiddetto principio cosmologico perfetto che afferma che: *la struttura e le proprietà*

*dell'universo su larga scala sono sempre le stesse ovunque e in tutti i tempi.*

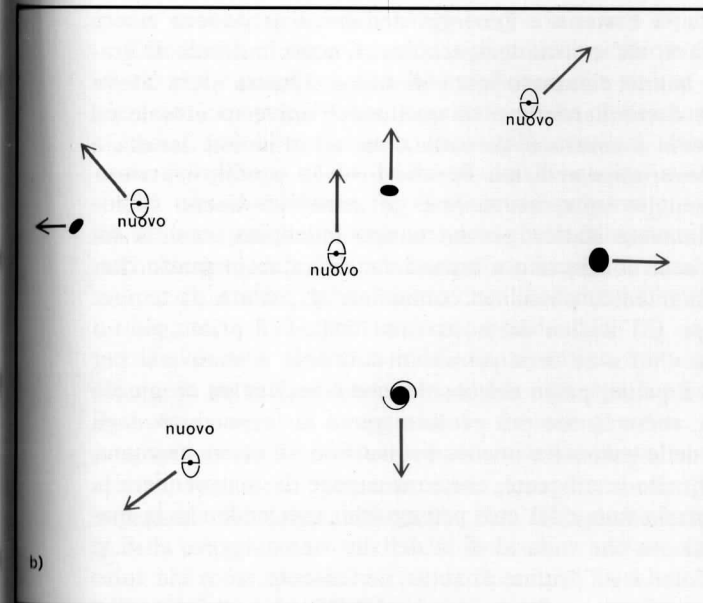
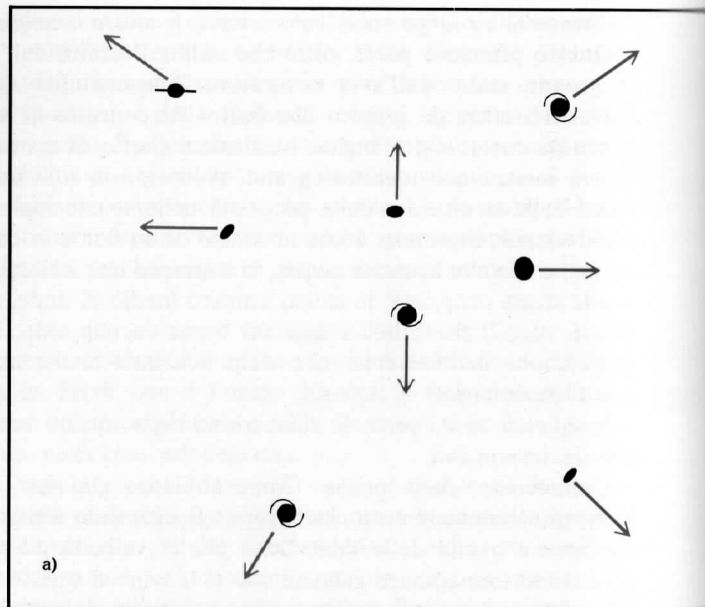
Questo principio parte, oltre che dall'uniformità dell'universo osservata in grande scala, dall'aver constatato l'impossibilità dell'esistenza di un universo statico sia infinito che finito. Al concetto di un universo statico la scuola cosmologica inglese sostituisce quello di un universo stazionario in cui, sempre considerando grandi volumi, non solo non vi sono cambiamenti della struttura o delle proprietà nello spazio ma neppure nel tempo. L'universo è, insomma, come un tratto di un fiume in cui, pur non passando mai due volte la stessa acqua, vi è sempre una stessa quantità di liquido, con le stesse proprietà, lo stesso numero medio di onde, che hanno le stesse forme, ecc. Il fluire dell'acqua del fiume corrisponde, in questo caso, all'espansione dell'universo, che viene accettata anche nella teoria dell'universo stazionario.

In questo caso, però, la dilatazione dello spazio comporta due conseguenze importanti.

Cominciamo dalla prima. Come abbiamo già visto, osservando le galassie più lontane si nota che le loro velocità sono altissime, fino a divenire prossime a quella della luce. Dato che la velocità cresce con la distanza, si possono immaginare galassie che si trovino a questo limite e oltre. Tali galassie non potranno mai essere osservate da noi perché la luce che deve informarci della loro esistenza non ci può mai raggiungere. In altre parole esse cesseranno di esistere, uscendo dal nostro universo.

D'altra parte (e questa è la seconda conseguenza) ammettendo il principio cosmologico perfetto, si afferma che le proprietà dell'universo sono le stesse non solo dovunque ma anche in tutti i tempi. Se dunque consideriamo un certo volume di questo universo in espansione, è evidente che se in un dato istante conteneva un certo numero di galassie, per esempio 50, dopo qualche tempo, a causa dell'espansione, queste 50 galassie si saranno allontanate l'una dall'altra e nello stesso volume ne sarà rimasto un numero inferiore, per esempio 40. Questo significa che la densità, in quel campione di spazio, è diminuita e ciò contrasta col principio cosmologico perfetto, secondo il quale le proprietà dell'universo non variano col tempo.

Perché la densità rimanga inalterata e il principio cosmologico perfetto sia rispettato, Bondi, Gold e Hoyle affermano che nello spazio vi deve essere una continua creazione di materia (FIG. 124). La quantità che deve comparire nell'universo per far rispettare l'equilibrio è un atomo di idrogeno per centimetro cubo ogni milione di miliardi di anni. Potrebbe sembrare una quantità piccola ma non dimentichiamo che anche un centimetro cubo è molto piccolo, soprattutto confrontato col volume dell'universo. I sostenitori di questa teoria non escludono che la materia possa crearsi in grandi quantità e in zone relativamente ristrette. Per esempio i quasar, che po-



**Fig.124** Qui e nella pagina a fronte conseguenze del principio cosmologico perfetto e creazione continua: se l'universo si espande e le galassie si allontanano l'una dall'altra (in a) è necessaria la creazione continua di nuova materia e nuove galassie per mantenere costante la densità (in b).

trebbero essere punti particolari nei quali la materia entra nell'universo.

Questa è, in sintesi, la teoria dell'universo stazionario, basata sul principio cosmologico perfetto: l'universo è sempre esistito e sempre esisterà; in ogni istante una certa quantità di materia o di energia 'esce' dall'universo osservabile mentre una uguale quantità 'entra', creandosi continuamente. Naturalmente è solo una teoria, che spiega certi fatti partendo da alcune ipotesi e soprattutto dal principio cosmologico perfetto. Vedremo ora a quali risultati si può giungere partendo, invece, dal principio cosmologico nella sua forma iniziale, che avevamo enunciata per prima.

#### LA GRANDE ESPLOSIONE

Supponiamo che il principio cosmologico perfetto non sia vero e che l'universo sia lo stesso ovunque ma non in tutti i tempi. Ciò significa che ha avuto e ha un'evoluzione nel tempo. Ma in quale tempo? Forse in quello che misura il nostro orologio? No di sicuro, poiché abbiamo visto che vale solo per noi e che basta andare su una stella di Orione per crederci contemporanei di Augusto, mentre per un essere che abiti ora su un pianeta di Andromeda noi siamo ancora, di gran lunga, di là da venire.

Cercheremo dunque di introdurre un nuovo concetto di tempo, che possa

essere adatto a tutto l'universo e che chiameremo, appunto, tempo cosmico. L'unico modo di definirlo è proprio attraverso l'evoluzione dell'universo. Il principio cosmologico dice che l'universo è lo stesso in tutti i punti ma non necessariamente in tutti i tempi. Se dunque facendo due distinte misure di una certa grandezza fisica, per esempio della densità media, otteniamo due risultati diversi, diremo che tra le due misure sarà passato un certo tempo che sarà misurato proprio dalla variazione della densità. Questo tempo cosmico risulterà legato all'universo come un tutto e il suo fluire segnerà i vari momenti dell'evoluzione cosmica.

D'altra parte abbiamo già osservato che l'universo è in espansione e, se non accettiamo la teoria dell'universo stazionario, legata al principio cosmologico perfetto, dobbiamo concludere che, risalendo nel tempo, vi deve essere stata un'epoca in cui tutta la materia era concentrata in uno spazio relativamente ristretto. Si è calcolato che ciò deve essere accaduto quindici miliardi di anni fa<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Secondo i risultati pubblicati da A. Sandage e G.A. Tammann nel 1975, l'evento si sarebbe verificato 17,7 miliardi di anni or sono nel caso che non ci sia una decelerazione nella velocità di espansione dell'universo. In realtà questa decelerazione sembra essere molto piccola. Gli stessi autori, attribuendole il valore 0,1, ottengono appunto 15 miliardi per l'età dell'universo.

In quell'epoca tutta la materia e l'energia dell'universo doveva essere concentrata in una sfera, all'enorme temperatura di cento miliardi di gradi, che gli astrofisici hanno chiamato sfera di fuoco. Questa sfera aveva un raggio appena un decimiliardesimo di quello dell'universo attuale ed era composta da protoni e neutroni, da radiazione ad altissima densità e da un gas di fotoni, elettroni e neutrini. Benché fosse in equilibrio termodinamico, questo miscuglio infuocato (come gli astrofisici hanno dimostrato) non poteva rimanere statico per un tempo indefinito, così, a un certo momento, deve aver cominciato a espandersi. È a questo punto che, verificandosi un cambiamento, possiamo cominciare a parlare di tempo.

È l'origine dei tempi. È l'origine del nostro universo. È il primo giorno della creazione, in cui l'informe caos primitivo comincia a muoversi per diventare qualcosa. È il primo passo del cosmo, che è ancora un crogiuolo di materia ed energia, verso forme più evolute, verso la formazione degli elementi, delle stelle, delle galassie e ancora più su fino all'essere animato, a quello pensante, a quello intelligente, che sarà capace di comprendere la lunga strada dalla materia fino a lui e di proseguirla, trascendendo la materia stessa, verso qualcosa che vada al di là del suo stesso corpo, al di là dell'intelligenza, che forse è all'origine di tutto, certamente ciò a cui tutto tende: lo spirito.

Il magico momento dell'origine. Si calcola che già dopo un secondo la temperatura della sfera di fuoco era scesa da cento a dieci miliardi di gradi, mentre il raggio era aumentato di ben dieci volte. Dopo appena cento secondi il raggio era aumentato cento volte. Non è dunque un'espansione, ma una vera e propria esplosione dell'universo. Un'esplosione inimmaginabile, che supera in rapidità e grandezza qualsiasi altra, attraverso la quale nasce l'universo, la cui corsa vertiginosa continua tuttora e non sappiamo né quando né se si arresterà.

Nei primi minuti, attraverso una notevole attività di sintesi dei nuclei atomici nascono gli elementi leggeri e si forma una miscela composta essenzialmente da idrogeno (intorno al 75%) e da elio (circa il 25%), nella quale sono presenti tracce di altri elementi, come il litio e il berillio. Intanto la temperatura continua a scendere e dopo diecimila anni ha raggiunto i 10 000 K mentre dopo un milione di anni è di appena 600 K. È a questo punto che dalla miscela primordiale di idrogeno ed elio si incominciano a formare le prime condensazioni dalle quali nasceranno poi le galassie popolate di stelle, nel cui interno, come abbiamo visto, si formano, dall'idrogeno, gli elementi pesanti, fino al ferro, al piombo, all'oro.

È una visione cosmica stupenda, così affascinante, anche dal lato estetico, da sembrare più l'opera di un artista che una descrizione della realtà. Ci viene il dubbio che il fisico si sia lasciato dominare dal poeta annidato nel suo subcosciente e abbia scelto i numeri per dar vita a una propria vi-

sione, così come il compositore sceglie le note e il pittore combina i colori.

Chiediamo, dunque, qualcosa di più. Una prova concreta, sperimentale, di ciò che è accaduto. Quando ci dicono che su una certa parte della terra c'era anticamente il mare, possiamo anche crederci ma se troveremo tracce di pesci fossili ne saremo ancor più convinti. Potremmo cercare qualcosa del genere anche come prova di questa evoluzione dell'universo.

Già oltre venti anni fa, G. Gamow pensava che questa specie di fossile dovesse esistere. Abbiamo visto che la temperatura della sfera di fuoco dal momento della grande esplosione in poi, è rapidamente diminuita. La cosa era naturale, dal momento che il volume dell'universo è continuamente aumentato e l'energia termica, spandendosi in un volume sempre più grande, si deve essere continuamente diluita, naturalmente in modo uniforme, in tutto l'universo. Ma diluita non significa estinta. Oggi dunque vi dovrebbe essere un irraggiamento termico generale, sparso per l'universo, corrispondente a una temperatura relativamente bassa, ultimo residuo di quello, fortissimo, presente nella sfera di fuoco. Ebbene, nel 1965, due ingegneri dei laboratori della Bell Telephone scoprirono casualmente questo irraggiamento di fondo. Successive misure hanno permesso di trovare che corrisponde a una temperatura assoluta di tre gradi assoluti (più precisamente, 2,7 K) e hanno confermato che non proviene da alcuna direzione particolare, giungendoci in ugual misura da tutte le direzioni dello spazio, in modo da far ragionevolmente ritenere che riempie in modo uniforme tutto l'universo.

Abbiamo trovato un fossile dell'universo primitivo ma possiamo fare molto di più. Quando nel nostro viaggio dalla Luna alle galassie decidiamo di fermarci, continuando a proseguire solo con lo sguardo, assicuriamo chi ci aveva seguito fino a quel punto che sarebbe stato compensato da una visione ben più straordinaria di quella offerta dall'esplosione di M 82 o dall'escursione sulla più peculiare delle galassie. Ora è giunto il momento di mantenere la promessa. Osservando dalla Terra le galassie più lontane, giungiamo fino a centinaia di milioni di anni luce, osservando i quasar ci spingiamo ad alcuni miliardi di anni luce. Vediamo, cioè, galassie e quasar non come sono oggi ma come erano miliardi di anni fa. Il viaggio nello spazio sta diventando un viaggio nel tempo, in un tempo estremamente remoto, poiché OQ 172, il quasar più lontano finora osservato, dista circa quindici miliardi di anni luce. Ma quindici miliardi di anni fa nasceva appunto l'universo, quindi, se la teoria della grande esplosione è giusta, possiamo avere una prova ancora più tangibile della radiazione di tre gradi, residuo dell'esplosione: possiamo assistere alla nascita dell'universo.

Per giungere fino a questo punto possiamo farci guidare dai conteggi degli oggetti extragalattici. Quando ci spingiamo a grandissime distanze scopriamo che il numero delle galassie diminuisce e invece aumenta sempre



più quello delle sorgenti quasi stellari. Dai conteggi delle radiosorgenti veniamo a scoprire che anche queste, a distanze ancor più remote, diminuiscono. Queste variazioni di numero non avvengono nello spazio ma nel tempo. Allontanandoci sempre di più dalla nostra Galassia giungiamo a vedere com'era l'universo un miliardo, cinque miliardi, dieci miliardi di anni fa, e in questo viaggio nel tempo risaliamo prima all'epoca delle galassie, poi a quella, anteriore, dei quasar, continuando ad avvicinarci sempre di più a quel remoto istante iniziale in cui non esistevano neppure i quasar, neppure la miscela d'idrogeno ed elio: sempre più vicini alla sfera di fuoco, al caos primordiale, all'origine di tutto.

Siamo già giunti, forse, al limite dell'epoca in cui si formarono i quasar, ma non dimentichiamo che in quelle anteriori l'evoluzione è stata molto più rapida e che l'universo è stato notevolmente diverso da quello attuale soprattutto nei primi milioni di anni di vita.

Già i moderni strumenti ci hanno portati vicinissimi al momento dell'origine, a un tempo cosmico dell'ordine di quattrocento milioni di anni. I radiotelescopi della futura generazione, più potenti, ci faranno giungere, forse, a soli dieci milioni di anni dall'istante iniziale. Ancora un passo e osserveremo solo la sfera di fuoco, quella sfera che già abbiamo raggiunto e osservato raccogliendo la radiazione di tre gradi.

E a questo punto possiamo dire veramente di essere arrivati ai confini del tempo e dello spazio. Non potremo più domandarci cosa c'era prima e più in là perché non c'è più un prima e non esiste un oltre.

## Conclusione

Il nostro grande viaggio è giunto al termine. Rapidamente, come quando ci si sveglia da un sogno, torniamo a posarci sul corpo dal quale siamo partiti: sulla Luna o, meglio ancora, sulla Terra, che per noi è molto più comoda. E ora, sotto l'impressione di una visione sia pure sommaria e parziale della realtà extraterrestre, domandiamoci: che cosa rappresentano per l'uomo la conquista della Luna o di un pianeta del sistema solare nell'ambito della scalata all'universo? Nulla. Appena, la conquista di un altro granello di polvere a una distanza corrispondente a un secondo o a pochi secondi, di fronte a miliardi e miliardi di altri granelli sparsi da tutte le parti, entro voragini profonde milioni, miliardi di anni luce. È chiaro che rispetto agli abissi colmi di miriadi di mondi che abbiamo, più che visto, intuito attraverso squarci significativi, anche il raggiungimento delle stelle più vicine e l'esplorazione dei loro pianeti non sarà nulla.

Si potrebbe sperare, naturalmente, che le stelle più vicine siano solo una tappa intermedia e che poi, da un sistema planetario all'altro, o addirittura attraverso lunghissimi balzi senza scalo nello spazio, l'uomo possa giungere a distanze tanto grandi dalla Terra da non essere più insignificanti neanche sul piano cosmico.

È un'illusione. La fisica moderna afferma che nessun corpo, nessuna astronave, può superare la velocità della luce. Quindi, per raggiungere corpi celesti distanti decine o centinaia di anni luce, ammesso di aver costruito il mezzo per una tale impresa, si dovrebbero compiere viaggi lunghissimi e ricorrere a un equipaggio che si rinnoverebbe per diverse generazioni, che molto difficilmente riuscirebbe a mantenere o a riallacciare un legame con gli uomini rimasti sulla Terra. Bisogna pensare che gli uomini e le donne delle generazioni successive alla prima, nati e vissuti sull'astronave, considererebbero quella e quella soltanto il loro mondo. Avrebbero la