



**UNITRE**  
**CORMONS**

**UNIVERSITÀ DELLA TERZA ETÀ**

**UNITRE**

**UNIVERSITÀ DELLE TRE ETÀ**

Sede Autonoma di Cormòns

**STENO FERLUGA**

# **L'UNIVERSO INTORNO A NOI**

**Note di Astronomia e Cosmologia**

**Anno Accademico 2004 - 2005**

**Dispensa dell'Università della Terza Età  
CORMÒNS**

**CON IL SOSTEGNO DI**



**Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia**



**Amministrazione Provinciale Gorizia**



**Comune di Cormons**

## Prefazione

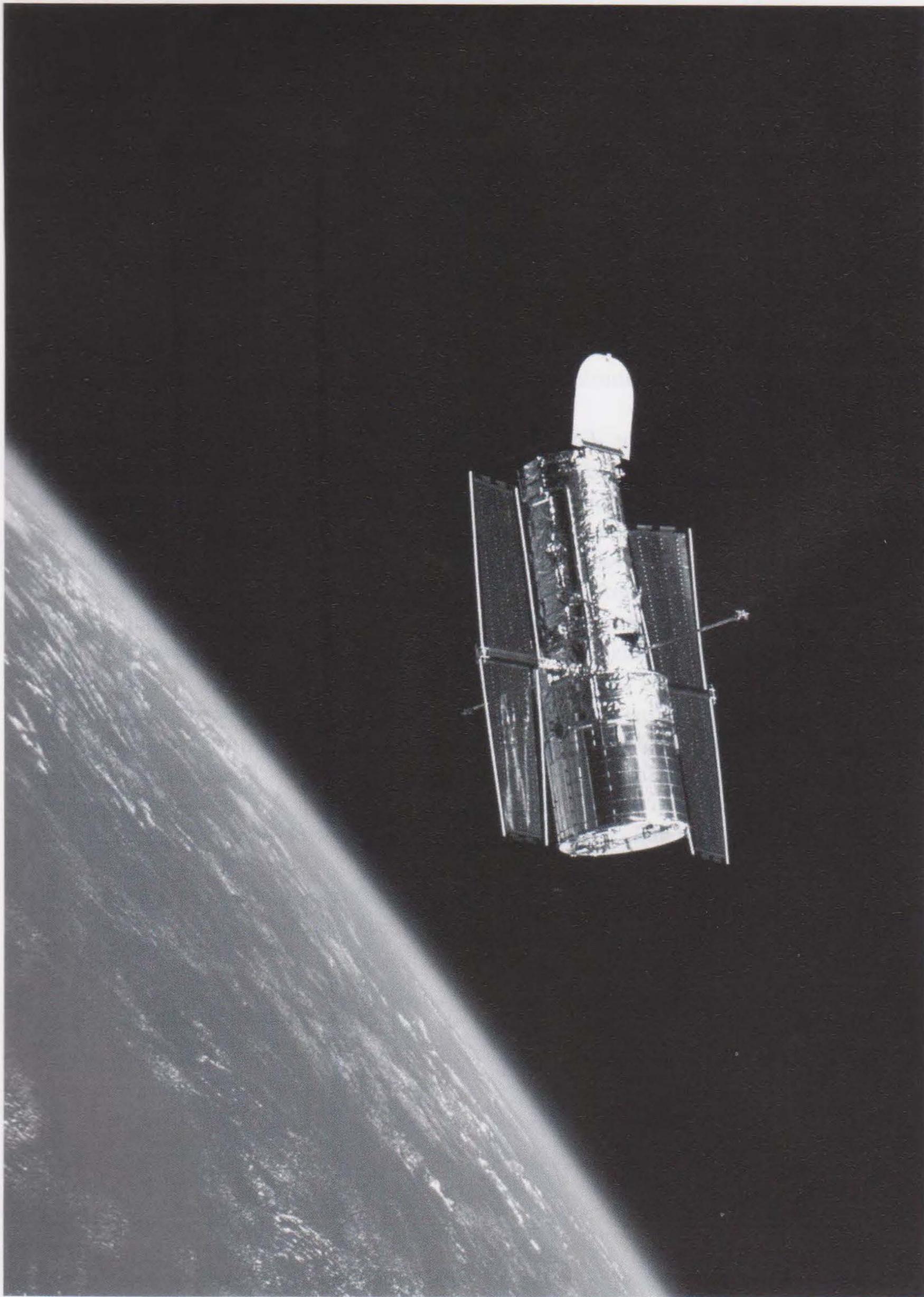
*Mi onoro di presentare la quinta pubblicazione, edita dall'Università della Terza Età - Unitrè di Cormòns, che si intitola "L'Universo intorno a noi" ed è curata dal professor Steno Ferluga.*

*Astrofisico, il professor Ferluga è membro del Dipartimento di Astronomia dell'Università di Trieste, dove ha insegnato Cosmologia e ora insegna Fisica Ambientale. Persona di indubbia e riconosciuta competenza, il professor Ferluga si dedica anche alla divulgazione scientifica con tecniche multimediali basate sul potere comunicativo delle immagini, trasmettendo al pubblico il fascino della conoscenza dell'Universo e la sua straordinaria ed emozionante bellezza. Egli presiede inoltre il CICAP (Comitato Italiano per il Controllo delle Affermazioni sul Paranormale), organizzazione che promuove un'indagine scientifica e critica nei confronti del paranormale.*

*Ferluga collabora con l'Unitrè di Cormòns fin dalla fondazione, e da allora coinvolge ed arricchisce i numerosi studenti con abilità oratoria ed entusiasmo. Questo libro, rispondendo anche a una specifica richiesta degli studenti dell'Unitrè cormonese, raccoglie diversi argomenti trattati nelle lezioni, e contiene anche alcune delle spettacolari immagini che il professore proietta durante le sue conferenze. Ve ne sono anche di inedite - tra cui una dedicata alla posizione di Cormòns nel cosmo - che Ferluga ha realizzato espressamente per questa pubblicazione.*

*Confidiamo che i suoi apprezzati interventi ci accompagnino ancora a lungo, così da offrirci altre opportunità di scoprire e comprendere, il fascino e le meraviglie dell'Universo intorno a noi.*

**Dott. Michele Di Maria**  
Presidente di Unitrè



Il telescopio spaziale Hubble, con cui sono state scattate molte delle immagini del libro.

## Note bibliografiche

Questo libro è basato sui corsi di Astronomia tenuti annualmente dall'autore presso l'Unitrè di Cormòns. Per ragioni di spazio, ovviamente, vi è contenuta soltanto una piccola parte degli argomenti discussi e delle immagini mostrate durante le lezioni. Tuttavia gli studenti più affezionati potranno certamente riconoscerci alcuni fra gli aspetti preferiti, e da parte dell'autore una "promessa mantenuta". Finalmente quelle affascinanti immagini del Cosmo e quei difficili concetti sull'Universo, sentiti a lezione, sono fissati su carta!

Vi è tuttavia anche un altro contributo ai contenuti di questo testo. Si tratta dei copioni - finora inediti - scritti a suo tempo dall'autore per la propria partecipazione a 15 puntate della trasmissione televisiva *Vivere Bene* su Canale5, che era condotta da Maria Teresa Ruta e comprendeva una sezione settimanale di "astronomia in pillole". Per quanto riguarda le immagini (se non specificato altrimenti), si tratta generalmente di materiale reso disponibile dalla NASA su *Internet*, e accuratamente selezionato in funzione della massima qualità grafica ed estetica.

Alcuni delle pagine *Internet* a cui fare riferimento per reperire le informazioni e le immagini originali alla fonte, con la massima risoluzione possibile, sono le seguenti:

<a href="http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/astropix.html">http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/astropix.html</a>	(Attualità astronomica)
<a href="http://www.noao.edu/image_gallery">http://www.noao.edu/image_gallery</a>	(Telescopi da Terra)
<a href="http://www.apolloarchive.com/apollo_gallery.html">http://www.apolloarchive.com/apollo_gallery.html</a>	(Luna)
<a href="http://photojournal.jpl.nasa.gov">http://photojournal.jpl.nasa.gov</a>	(Pianeti)
<a href="http://hubblesite.org/newscenter/newsdesk/archive/releases">http://hubblesite.org/newscenter/newsdesk/archive/releases</a>	(Telescopio Spaziale)
<a href="http://map.gsfc.nasa.gov">http://map.gsfc.nasa.gov</a>	(Fondo cielo)

L'autore ringrazia l'Unitrè di Cormòns per aver pubblicato le immagini a colori mantenendo alto il numero e le dimensioni delle illustrazioni, in modo da rendere partecipe il lettore anche dell'aspetto estetico e spettacolare dell'astronomia, così come presentato nelle lezioni. Ringrazia anche la Pro Loco *Castrum Carmonis* di Cormòns per l'aiuto logistico. Un ringraziamento particolare a Roberta Giusti, del *Servizio Civile Nazionale*, per la collaborazione.

*A mia moglie Patrizia,  
compagna inseparabile della vita  
esempio di generosità  
mai abbastanza riconosciuta.*



*Uomo e donna in contemplazione della luna (C.D. Friedrich 1824; Nationalgalerie Berlino).*

# INTRODUZIONE

## Astronomia, scienza e poesia

L'astronomia è più di una scienza. Infatti aggiunge alla ricerca scientifica il fascino del firmamento. Non si spiegherebbe altrimenti il grande numero di appassionati di questa disciplina, gli *astrofili*, che sono appunto attirati da una passione per il cielo che non ha riscontri in altri settori della scienza. Ad esempio, fa semplicemente sorridere l'idea che possano esistere dei "chimicofili" appassionati studiosi di chimica, e lo stesso vale - a pensarci bene - per le altre scienze. L'astronomia effettivamente possiede una caratteristica eccezionale, perché in qualche modo mette in contatto l'Uomo con la maestà dell'Universo e con la sua sublime bellezza.

Questo libro è scritto proprio con lo spirito di rendere questo particolare significato dell'astronomia, come passione per il cielo e le sue meraviglie. La scelta di dare ampio spazio alle immagini rispetto al testo, che certamente non pretende di essere esaustivo, è stata decisa appunto per far partecipare il lettore di questo aspetto estetico e poetico della scienza del cielo.

C'è poesia nell'astronomia? Di solito, tutti dicono di sì. Effettivamente, parte del fascino popolare dell'astronomia si basa su un comune malinteso: quello d'immaginare l'astronomia come una specie di mistico che scruta i cieli, contemplando le stelle attraverso il cannocchiale. In realtà l'astronomia è una scienza esatta che interpreta l'universo in termini rigorosamente razionali ed analitici, che non lasciano spazio all'immagine poetica. In questo senso l'astronomo nel suo approccio all'universo si pone in una posizione addirittura antitetica rispetto all'artista o al poeta, i quali invece ricercano nell'universo una comunione col mondo interiore.

Eppure, chi scrive pensa che si possa vivere e studiare l'Universo su entrambi i versanti, in modo complementare. Da un lato la ricerca teorica e l'osservazione con tecnologie avanzate ci forniscono l'immagine più completa e profonda della realtà del Cosmo, dandoci la consapevolezza della sua grandiosità in termini razionali. Dall'altro lato, la contemplazione del cielo e l'ammirazione delle sue bellezze, anche attraverso l'occhio del telescopio e delle telecamere spaziali, ci dà un'emozione esprimibile soltanto in termini estetici e poetici.

È certamente inusuale concepire il binocolo come uno strumento *poetico*. Tuttavia, l'immediatezza con cui esso avvicina all'occhio il firmamento non può lasciar indifferente chi è sensibile alla poesia della natura: i pianeti maggiori rilevano allo sguardo la loro realtà di mondi lontani, e le stelle risplendono di luce abbagliante. Rendono bene questo effetto le piccole tele dipinte verso la fine del '600 da Donato Creti (Pinacoteca vaticana): in un'atmosfera quasi magica, la scena silvestre del quadro è dominata da pianeti giganteschi, raffigurati nel cielo così come essi apparivano attraverso i cannocchiali dell'epoca.

Se l'epoca è favorevole, verso la fine del crepuscolo vi è un momento in cui le stelle non risaltano ancora, ma già la Luna e i pianeti sull'eclittica tracciano nel cielo il grande disegno del sistema solare, incorniciato dai contorni oscuri del paesaggio terrestre.

L'incanto poetico di questo ambiente crepuscolare e planetario, che prelude all'avvento della notte più profonda e stellare, ha trovato un interprete ispirato in Caspar David Friedrich, pittore del romanticismo tedesco. Nelle tele di questo artista, mistico e solitario contemplatore della natura, tutti gli elementi del paesaggio assumono un significato metafisico e religioso, e gli astri del cielo sono i simboli del divino (pag. 8).

La contemplazione di un limpido cielo stellato suscita in tutti una intensa emozione, difficilmente descrivibile a parole, e spesso ripropone alla coscienza l'enigma del rapporto tra l'uomo e l'universo. La poesia ineffabile di una notte stellata nasce dunque da una sorta di intimo coinvolgimento dell'osservatore nell'ambiente cosmico che lo circonda. Immersa nel buio, la Terra si fonde con la volta celeste nella sua totalità, e si rivela parte integrante del firmamento. Così, nell'incanto di una notte serena, si dispiega la visione grandiosa del nostro Pianeta affacciato sullo splendore dell'abisso.

*...e tutto di scintille in giro  
per lo vôto seren brillare il mondo.*

G. LEOPARDI, LA GINESTRA



Luna e Marte sopra il castello di Corfe in Inghilterra (*Celestials* 2003).

# LA LUNA

## Conoscere il nostro satellite

La Luna si vede in cielo quasi ogni notte, ma cosa veramente sappiamo della Luna? Essendo il corpo celeste più vicino alla Terra, certamente la Luna è anche uno dei meglio conosciuti. Il nostro Satellite orbita attorno alla Terra in 1 mese, alla distanza di 384 mila chilometri (che su strada rappresentano la percorrenza limite di una buona automobile). La Luna è grande appena 1/4 della Terra, e quindi la sua debole gravità non trattiene un'atmosfera (non c'è "aria").

La Luna è l'unico Mondo diverso dalla Terra, su cui l'uomo sia sbarcato. Ci siamo stati per ben 6 volte tra il 1969 e il 1972, con gli astronauti americani del programma *Apollo*. E se ora non si fanno nuove missioni con equipaggio, è soltanto per comprensibili ragioni economiche.

Abbiamo a disposizione campioni di roccia lunare nei nostri laboratori e musei. Sonde automatiche, in orbita attorno alla Luna, hanno analizzato e fotografato la superficie metro per metro, inviandoci informazioni e immagini straordinarie, che chiunque può visionare al computer tramite Internet. Forse può apparire sorprendente, ma oggi conosciamo la Luna così bene, che ormai non ha più senso osservarla coi telescopi da Terra per scopi di ricerca.

Il più delle volte noi rivolgiamo alla Luna soltanto uno sguardo distratto, e raramente ci soffermiamo ad osservarla attentamente. Ma vale la pena provarci, anche ad occhio nudo se abbiamo una buona vista, oppure con un piccolo binocolo. Sul disco della Luna piena si vedono zone chiare e scure, che sono le montagne e le pianure della Luna. Oggi sappiamo che le pianure (le zone scure) sono distese di lava vulcanica, che erano anticamente credute "mari", e vengono chiamate così ancora oggi. È facile riconoscerle guardando la luna (pag. 13). Il grande *Oceano delle Tempeste* copre quasi tutta la parte sinistra del disco lunare. Al centro in alto si vede il *Mare delle Piogge*. Poi le chiazze scure verso destra sono i Mari della *Serenità* e della *Tranquillità*. Più verso il bordo troviamo i Mari della *Fecondità* e delle *Crisi*.

La Luna rivolge verso la Terra sempre questa stessa faccia. Mentre la faccia nascosta, quella "che sta dietro", è sempre rimasta misteriosa per l'umanità, fintantoché non l'hanno fotografata le sonde automatiche e gli astronauti. La faccia nascosta della Luna è alquanto diversa dalla faccia che vediamo da Terra. È fatta quasi tutta di montagne e crateri, con pochissime pianure.

## Le storiche missioni *Apollo*

Il 20 luglio di quest'anno (2004) sono trascorsi già 35 anni dal primo sbarco sulla Luna. Furono gli astronauti Armstrong e Aldrin dell'*Apollo 11*, a compiere la straordinaria impresa. Poi altre 5 missioni in meno di quattro anni si posarono in diversi punti della superficie lunare, esplorando pianure, crateri, valli e montagne di un altro Mondo. Forse,



Astronauta al lavoro nella valle *Taurus-Littrow* (Apollo 17).

assorbiti come siamo dai nostri problemi “terrestri”, abbiamo un po’ scordato la meravigliosa avventura dell’Uomo sulla Luna, e il suo storico significato. Ma se andassimo a sfogliare le cronache e le immagini di quelle esplorazioni, vedremmo che sono più affascinanti di un racconto di fantascienza (il film *Apollo 13* racconta appunto una storia vera accaduta più di trent’anni fa).

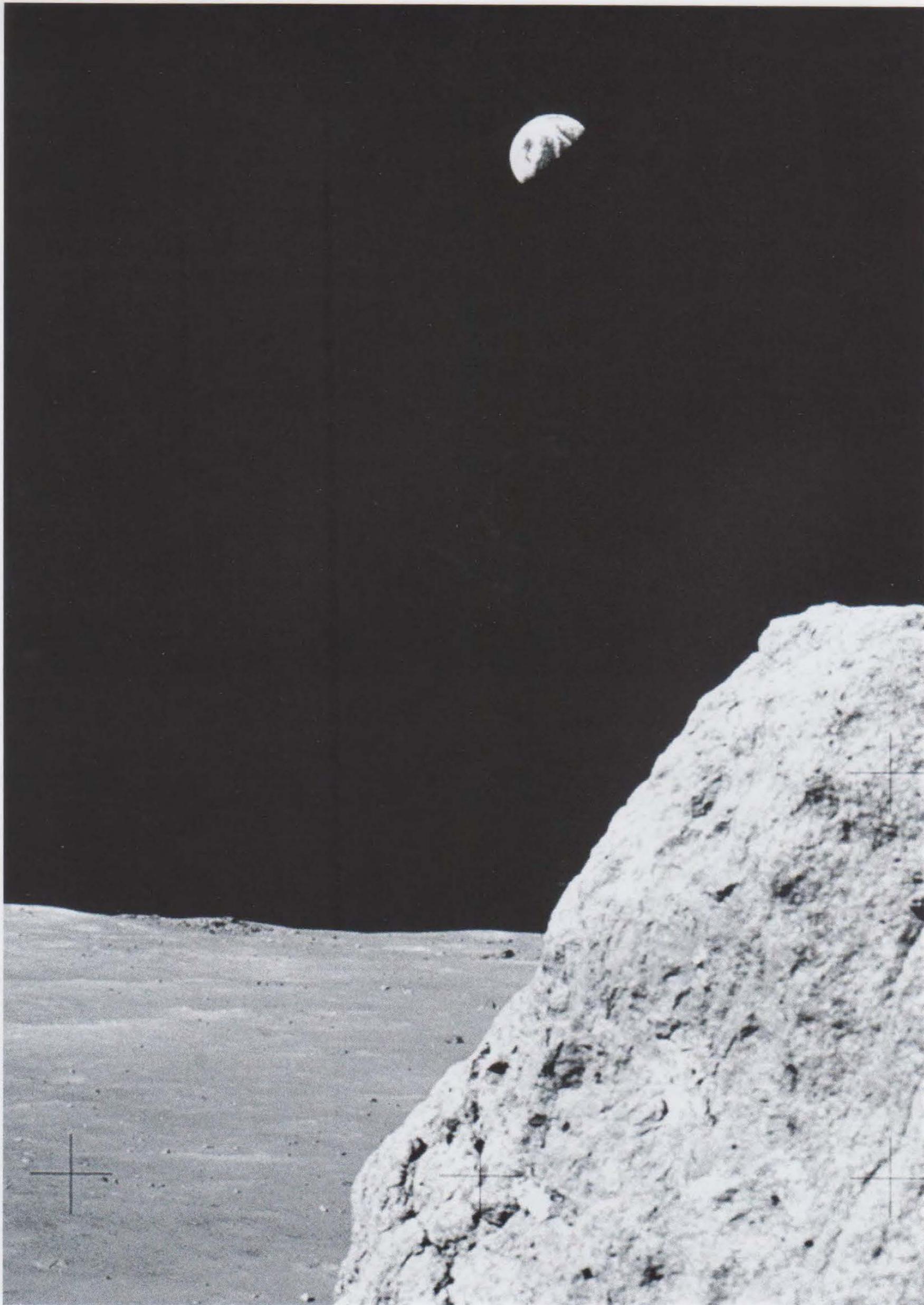
Non abbiamo qui lo spazio per ripercorrere la storia di tutte le esplorazioni lunari. Quindi, anziché rivedere le solite fotografie del “primo uomo sulla Luna” (pubblicate da tutti i giornali), mostriamo qui le spettacolari immagini degli “ultimi uomini sulla Luna”, con l’esplorazione dell’Apollo 17. Ci troviamo in una piana cinta da montagne, ai bordi del Mare della Serenità, nella regione di Taurus-Littrow. Il panorama lunare si dispiega - maestoso - attorno al modulo di atterraggio (LEM). Esplorando la zona con il loro “fuoristrada” (*rover*), gli astronauti si imbattono in enormi macigni sparsi nella vallata...

### **C’è ghiaccio sul la Luna?**

Qualche anno fa si è molto parlato della sensazionale scoperta di acqua sulla Luna. È vera questa notizia? Sappiamo che nei cosiddetti “mari” lunari non c’è traccia di acqua, poiché in realtà sono pianure laviche, coperte di rocce e polvere. Per l’assenza di atmosfera, infatti, sulla Luna l’acqua non può resistere come liquido: evaporerebbe immediatamente.



Dal centro a destra: i *mari* della Serenità, Tranquillità, Fecondità e Crisi (alto).

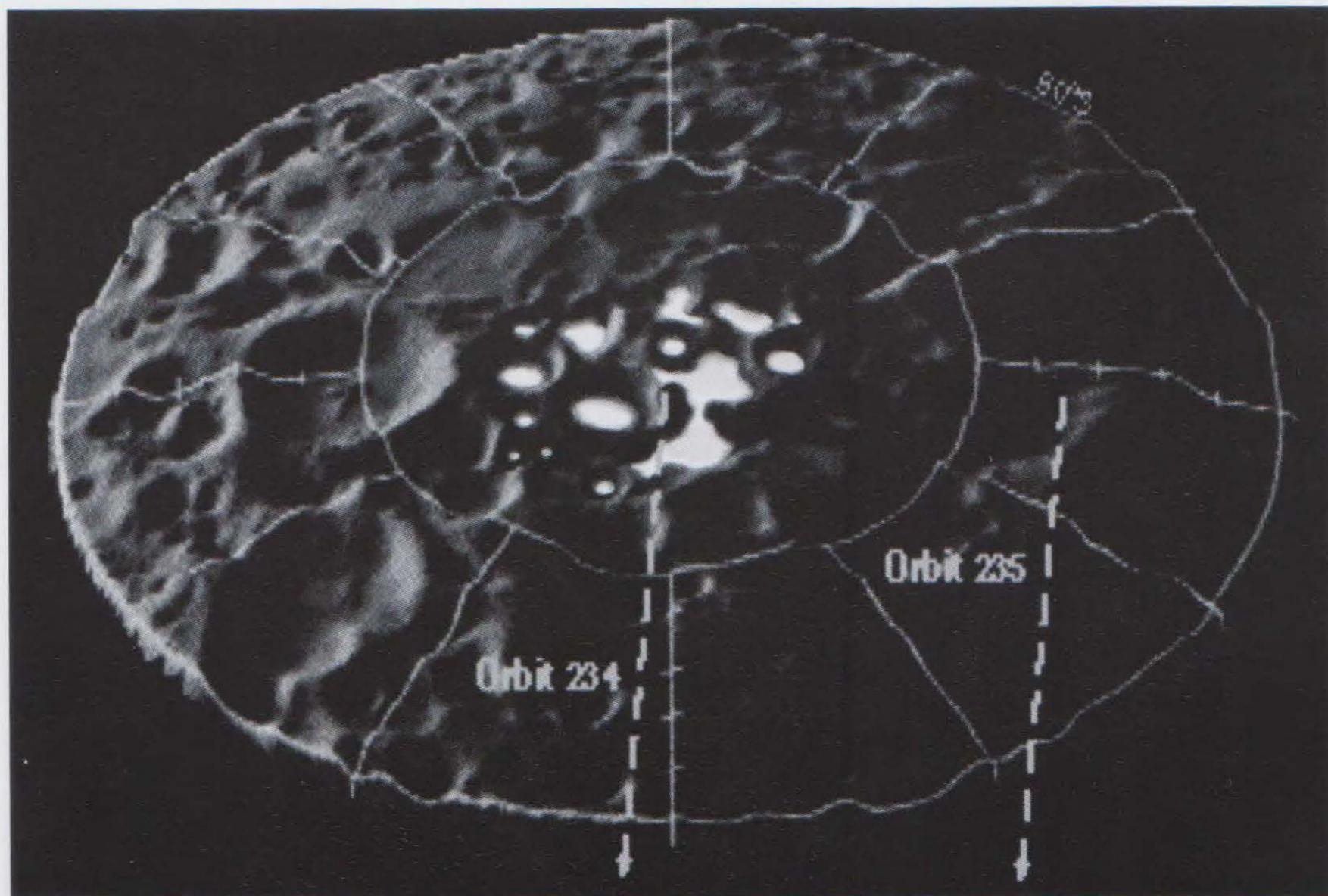


Una tra le ultime fotografie scattate dall'Uomo sulla Luna (Apollo 17).

Tuttavia ci sono delle zone molto particolari, dove l'acqua potrebbe conservarsi sotto forma di ghiaccio. Entro alcuni crateri presso i poli Nord e Sud della Luna, infatti, i raggi del sole (che giungono radenti) non arrivano mai a illuminare e riscaldare il fondo. In quei luoghi sempre nascosti ai raggi solari, la temperatura è di ben 170 gradi sotto zero. Occultato e protetto sotto alcuni centimetri di terriccio lunare, lì potrebbe nascondersi un tesoro di acqua ghiacciata.

La scoperta è avvenuta in due fasi. Nel 1996 la sonda americana *Clementine*, in orbita attorno alla Luna, sorvolava le zone polari illuminando col radar i crateri "sospetti". I raggi riflessi da quei crateri, raccolti e analizzati a Terra, suggerivano la presenza di ghiaccio. Nel 1998 una nuova sonda americana, il *Lunar Prospector*, analizzava poi le stesse zone con un sofisticato rivelatore di neutroni, confermando che dovrebbe trattarsi proprio di acqua ghiacciata: si parla di miliardi di tonnellate. Resta il problema di capire come è arrivata l'acqua lassù. Si calcola che, in quelle condizioni, il ghiaccio è in grado di resistere per miliardi di anni. Questo ghiaccio potrebbe essere stato depositato per esempio da comete, schiantatesi contro la Luna in tempi remotissimi.

Se dunque sulla Luna esiste l'acqua, sotto forma di ghiaccio, ciò significa forse che in futuro potremo viverci? Si può ipotizzare che la presenza di acqua nel sottosuolo lunare favorirà l'insediamento di basi scientifiche lunari nei secoli futuri. Quei crateri protetti dai raggi solari, e dalle interferenze radio terrestri, sarebbero anche il luogo ideale per un osservatorio astronomico... Ma qui entriamo nella fantascienza: prima dovremo risolvere i nostri problemi sulla Terra!



Le zone con possibile presenza di ghiaccio lunare sono segnate in bianco (elab. grafica: S. Ferluga).

## Panorami interplanetari

Oltre ad aver scoperto il ghiaccio sulla Luna, la sonda *Clementine* in orbita lunare ha ottenuto altri importanti risultati scientifici, tra cui ad esempio una dettagliatissima mappa del nostro Satellite. Infine ha scattato alcune eccezionali foto panoramiche, che ci mostrano inedite prospettive planetarie, del tutto sorprendenti per noi "terrestri". Abbastanza stranamente, queste spettacolari immagini - autentiche visioni cosmiche - non sono molto conosciute, e alcune non si sono probabilmente mai viste nei testi astronomici italiani. Inoltre, per rendere le sfumature meglio riconoscibili ed eliminare qualche imperfezione, abbiamo rielaborato tali immagini appositamente per questo libro. Le vogliamo quindi mostrare ai nostri lettori, con il sapore interessante dell'inedito.

Le riprese di *Clementine* intorno alla Luna mostrano il Sole eclissato dietro il bordo lunare; il chiarore della corona solare che si allunga nel cielo, mentre alcuni pianeti risplendono allineati (indicando così la linea dell'eclittica). Ma, pur essendo il Sole nascosto dietro alla Luna, vediamo che essa ha il bordo di colore azzurrino: da dove viene dunque quella luce? È il riflesso del nostro Pianeta che illumina il suolo lunare, la cosiddetta *luce cinerea*, ovvero il "chiaro di Terra" sulla Luna!



La Luna illuminata dalla Terra nasconde il Sole, visibili 3 pianeti (*Clementine*).



La Terra sorge maestosa dall'orizzonte lunare.



L'immensa solitudine lunare attorno al modulo di discesa dell'Apollo 17.

# TERRA-LUNA PIANETA DOPPIO

## La splendida coppia

Vi siete mai chiesti come appare il nostro Mondo, visto da lontano nello spazio, magari da un altro pianeta? Se proviamo a pensarci, l'immagine che ci viene subito in mente è quella di *un puntino*, perduto nell'immensità del Cosmo. E invece no! In realtà ci sono *due puntini* accostati, che si rincorrono nel cielo: la Terra e la Luna, uno luminoso blu e l'altro debole giallo. In sostanza, il sistema Terra-Luna è un "pianeta doppio", dato che la Luna ha dimensioni piuttosto simili alla Terra pur essendo un po' più piccola. Questo è un caso eccezionale, poiché i satelliti degli altri pianeti sono in proporzione estremamente più piccoli. Per trovare un altro "pianeta doppio", bisognerebbe spingersi fino ai confini del Sistema Solare, dove c'è la misteriosa coppia Plutone-Charonte, che nessuna sonda interplanetaria ha finora raggiunto.

I primi astronauti che sbarcheranno su Marte forse potranno distinguere (in condizioni favorevoli) la Terra e la Luna ad occhio nudo, come due puntini colorati vicinissimi nel cielo notturno marziano. Finora, naturalmente, nessun essere umano ha potuto contemplare di persona questa fantastica visione; però su Marte operano diverse sonde automatiche. Il giorno 8 maggio 2003 la sonda *Mars Global Surveyor*, orbitante attorno al pianeta rosso, ricevette l'ordine di puntare una telecamera in direzione della Terra. Ne risultò la prima fotografia del nostro mondo scattata da un altro pianeta, distante all'epoca ben 136 milioni di km: si indovinano alcune fattezze del globo terraqueo (le Americhe), e nitidamente anche la Luna.

Non sono molte, comunque, le immagini che ritraggono la Terra e la Luna insieme. Infatti, come ben sa chi usa la macchina fotografica, quando si vuole scattare una "foto di gruppo", ci si deve allontanare fintantoché tutti i soggetti rientrano nel riquadro. Quindi, per inquadrare contemporaneamente la Terra e la Luna, occorre allontanarsi di milioni di chilometri. Una simile impresa è alla portata soltanto delle poche sonde spaziali che lasciano la Terra viaggiando verso gli altri pianeti.

## Ritratti di famiglia

A tutt'oggi, in effetti, sono soltanto 6 le sonde interplanetarie che ci hanno inviato "ritratti di coppia" della Terra con la Luna: cinque della NASA, e una giapponese. Poiché difficilmente capita di vedere insieme e confrontare fra loro queste rare immagini, vogliamo qui passarle in rassegna. La prima fotografia fu fatta dal *Mariner 10*, che partì verso Venere e Mercurio, ben 25 anni fa. L'immagine, ancorché non molto nitida, rivela già l'inconfondibile accostamento di colori blu-giallo caratteristico del sistema Terra-Luna (il blu degli oceani, il giallastro del suolo lunare).

Poi, nel 1977, il *Voyager 1* partì per il suo lunghissimo *grand tour* interplanetario verso Giove, Saturno, Urano e Nettuno. Volgendosi indietro verso il nostro Pianeta, da



Il sistema Terra-Luna visto dal Mariner 10 (partito per Venere e Mercurio).



Il sistema Terra-Luna visto dal Voyager 1 (diretto verso i pianeti esterni).



Il sistema Terra-Luna visto dalla sonda Galileo (missione verso Giove).



Il sistema Terra-Luna visto dalla sonda Near (missione per Eros).



Il sistema Terra-Luna visto dalla giapponese Nozomi (persa nello spazio).



Il sistema Terra-Luna visto dal pianeta Marte! (Mars Global Surveyor).

una distanza di 12 milioni di chilometri, la sonda poté ritrarre la Terra e la Luna illuminate posteriormente dal sole, che mostrano entrambe una sottile falce. Per quindici anni, questa fotografia rimase un simbolo del sistema Terra-Luna.

Le immagini più recenti si avvalgono di tecnologie spaziali avanzate. Lanciata nel 1989, la sonda *Galileo* seguì uno straordinario percorso nel Sistema Solare, che sembrerebbe quasi da fantascienza, e invece è un capolavoro di moderna navigazione interplanetaria che sfrutta l'effetto "fionda gravitazionale". La *Galileo* andò dapprima verso Venere e il Sole, poi nel '92 ripassò nei pressi di Terra e Luna - scattando la foto che vediamo - e infine si lanciò verso Giove e i suoi satelliti, tra i quali sta ancora orbitando e lavorando.

Nel 1988, abbiamo poi ricevuto ancora due nuove, splendide immagini del sistema Terra-Luna. In gennaio la *Near*, in partenza per un incontro con gli asteroidi, ci ha mostrato finalmente dei dettagli ben riconoscibili sul nostro Pianeta (si vedono benissimo l'Antartide e l'Australia), e anche sulla Luna.

Poi, nel luglio 1988, per la prima volta i Giapponesi si proiettano nello spazio interplanetario alla volta di Marte. Per acquisire lo slancio necessario alla lunga traversata, la piccola sonda *Nozomi* (Speranza) ha seguito un'originale traiettoria, roteando più volte attorno al sistema Terra-Luna. Immane la "foto ricordo", che mostra la Luna un po' rimpicciolita per l'effetto della prospettiva.

Infine, l'immagine più formidabile. Si tratta della foto scattata addirittura dal pianeta Marte (!) nel maggio 2003, tramite il telescopio di bordo della sonda *Mars Global Surveyor*.

### ***Luce cinerea, chiar di luna, maree e... agricoltura?***

Per vedere la luce cinerea, non occorre andare nello Spazio: la possiamo ammirare pure noi da Terra, anche ad occhio nudo. Quando la Luna ci mostra una sottile falce illuminata, si può scorgere anche la parte oscura del disco, debolmente rischiarata appunto dalla luce cinerea. Con un binocolo, o un piccolo cannocchiale, potremo poi anche vedere i crateri e le montagne lunari lungo il *terminatore*, ovvero la linea che separa la parte illuminata da quella al buio. Lo spettacolo naturale della luce cinerea è molto suggestivo, ed ha anche ispirato poeti ed artisti, come ad esempio il pittore romantico tedesco Caspar David Friedrich (1774-1840).

Quando sarà ben alta nel cielo, la Luna piena illuminerà il paesaggio notturno con il suo caratteristico chiarore biancastro. Già, ma perché al "chiar di luna" il panorama appare vago e lattiginoso, e soprattutto privo di colore? In realtà la luce lunare non cancella i colori. Sono solo i nostri occhi che non hanno la sensibilità sufficiente per vederli, quando la luce scarseggia. Per convincersi di ciò, basta fotografare un panorama notturno illuminato dalla Luna, usando un rullino a colori. Se avremo correttamente programmato la lunga posa, ne risulterà una bella immagine tutta colorata, quasi come una foto scattata in pieno giorno!

Il fatto di vivere in un "pianeta doppio" si manifesta direttamente con il fenomeno delle *maree*. Questo è infatti provocato proprio dalla combinazione delle forze agenti entro il sistema rotante sistema Terra-Luna, come è correttamente spiegato nei testi di meccani-

ca. Volendo però descriverlo in termini intuitivi (cosa non facile), potremmo dire che le acque dei mari si “gonfiano” in direzione della Luna a causa dell’attrazione gravitazionale, mentre nella direzione opposta è la forza centrifuga che le fa “gonfiare”.

Poiché sappiamo che la Luna produce le maree, è possibile che essa influenzi anche il tempo meteorologico, o magari pure la crescita delle colture agricole? A questo proposito dobbiamo dire che - in totale contrasto l’opinione comune - gli scienziati esperti di meteorologia, e anche quelli di scienze agrarie, lo negano decisamente!

## Il “lunone” rosso e la Luna “sul dito”

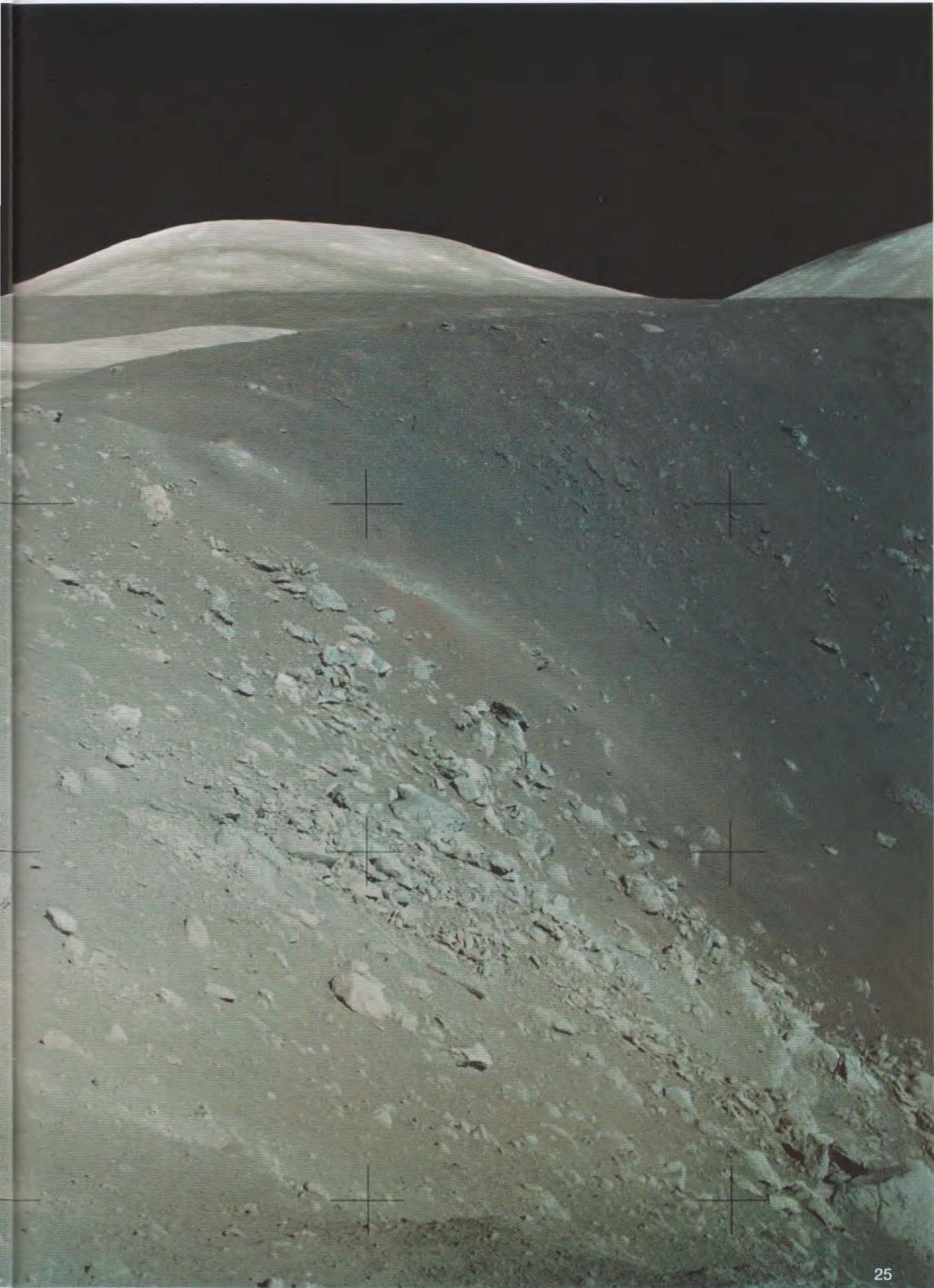
Vi sono alcuni effetti un po’ strani, che talvolta si possono notare guardando al Luna. Per esempio, forse vi sarà capitato di veder sorgere (o tramontare) un gigantesco “lunone” rossastro all’orizzonte; mentre poi, quando è alta nel cielo, la Luna appare molto più piccola. Come mai? Innanzitutto, quanto al colore rossastro, non v’è nulla di strano, perché ce l’ha pure il Sole all’alba e al tramonto (ed è dovuto all’assorbimento dell’aria). Per quel che riguarda invece l’apparente ingrandimento, spesso si pensa che sia l’aria che agisce da “lente”; ma le cose non stanno così (perché l’effetto lente è assolutamente trascurabile). In realtà le dimensioni del disco lunare nel cielo non cambiano, E` soltanto un’illusione ottica, che ci fa apparire la Luna all’orizzonte più “grande”, perché la rapportiamo agli elementi del panorama (case, alberi...) rimpiccioliti in lontananza. Al contrario, la Luna alta nel cielo ci appare più “piccola”, perché la vediamo isolata in mezzo alla vastità della volta celeste.

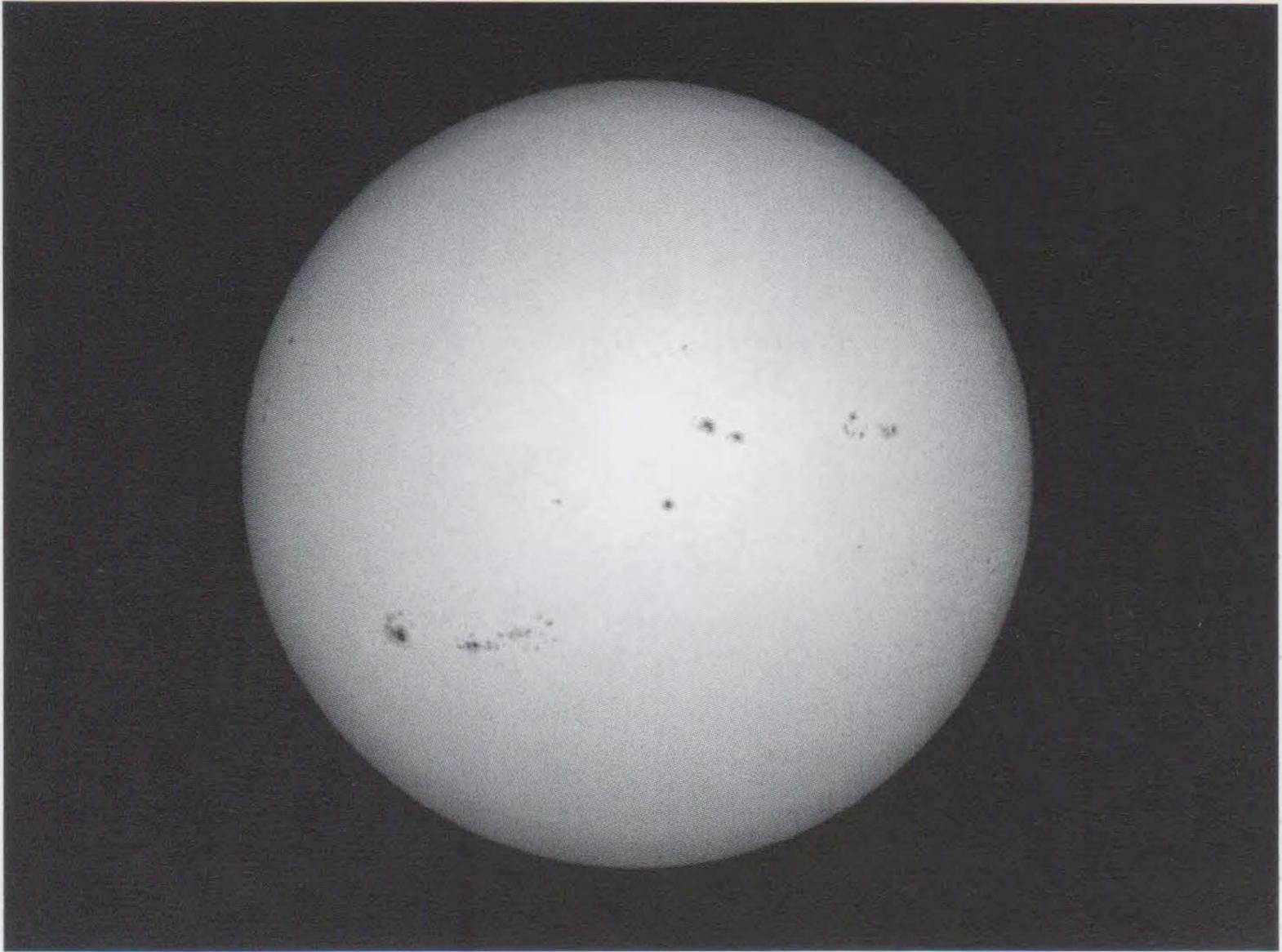
Se la spiegazione appena detta non vi ha ancora convinto, vi suggeriamo una simpatica verifica. Provate ad allungare la mano tesa verso la Luna: guardando la punta del vostro dito indice, vedrete che l’unghia è sufficiente a coprire l’intero disco lunare. In termini geometrici infatti, sia l’unghia dell’indice proteso, sia il disco della Luna, coprono entrambi un angolo di  $1/2$  grado visti dall’occhio dell’osservatore. Ripetendo la prova quando la Luna è bassa sull’orizzonte e poi quando è alta nel cielo, vedrete che essa misura sempre  $1/2$  grado (ovvero è pari all’unghia dell’indice); dunque, se a volte la Luna ci sembra più grande o più piccola, deve trattarsi proprio di un’illusione ottica!

Abbiamo così scoperto che possiamo usare la mano tesa, per misurare gli angoli in cielo. Ad esempio, fra le punte delle dita aperte nel gesto della “V”, noi traggiamo un angolo di 5 gradi; estendendo al massimo pollice e indice, formiamo un angolo di 15 gradi, e così via. Siccome il corpo umano mantiene circa le stesse proporzioni nei vari individui, questo metodo pratico va bene per tutti: donne e uomini, adulti e bambini. Misurare gli angoli sulla volta celeste è dunque facile e divertente, anche se pochi sanno farlo, ed è fondamentale per orientarsi e descrivere ciò che si osserva nel cielo. Ad esempio, se vi capitasse di vedere un oggetto interessante alto nel cielo (non dico debba essere un UFO!), non potrete certo prendergli le misure con il metro. Allora, per sapere “quanto grande” è l’oggetto, si deve misurare (usando la mano tesa) di “quanti gradi” è il suo diametro, “quanti gradi” è alto sull’orizzonte, e verso quale direzione lo si vede. È solo da testimonianze come queste, che si potrà poi capire di cosa si tratta.

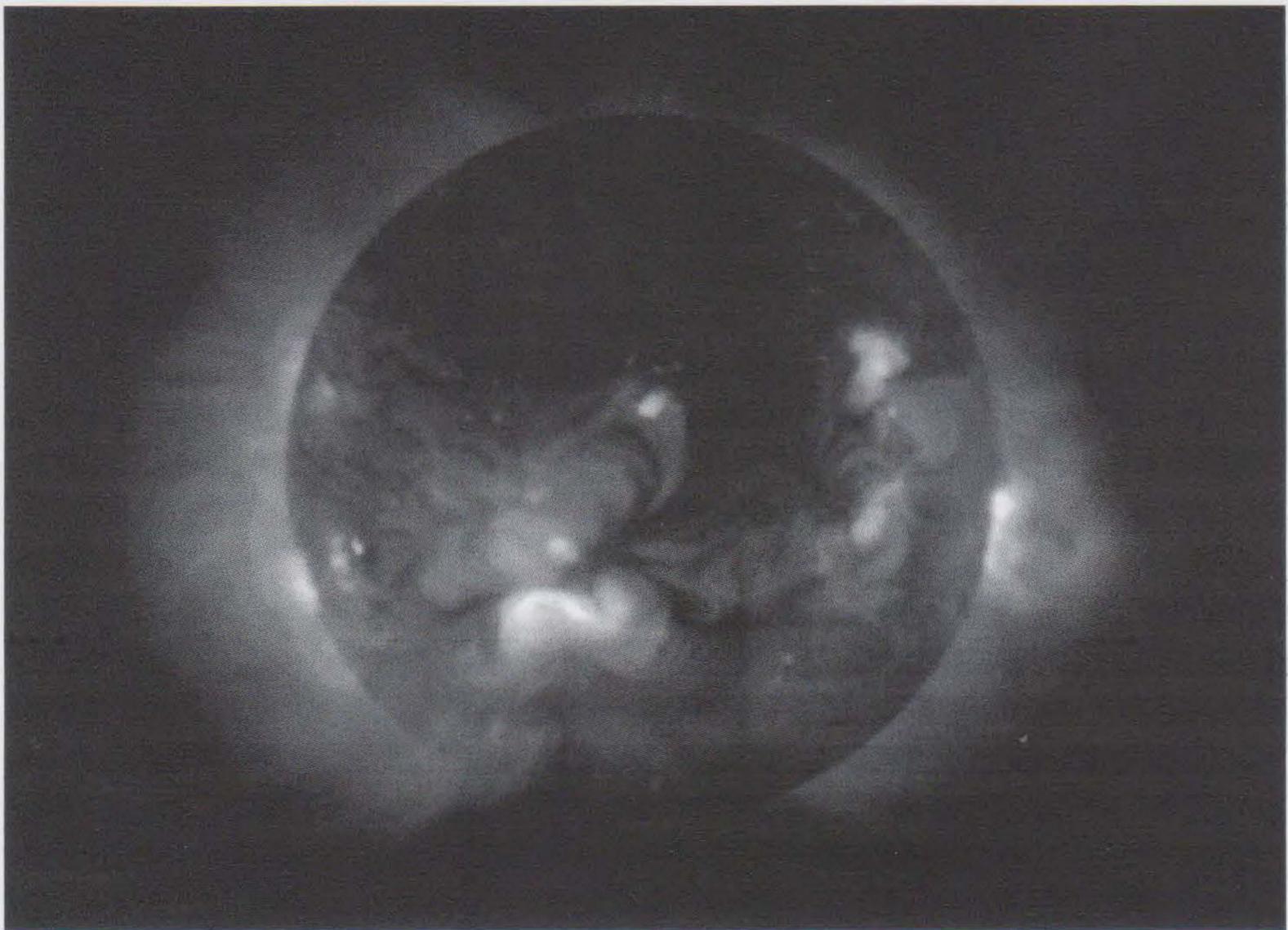


Missione Apollo 17.





Il Sole con alcune *macchie solari*, visto dall'Osservatorio di Catania nel 2001.



Il Sole osservato ai raggi X mostra la *corona solare* (satellite giapponese Yohkoh).

# IL SOLE E LE ECLISSI

## Osservare il Sole - PERICOLO - mai direttamente a occhio!

È sempre fonte di soddisfazione, per chiunque s'interessi d'astronomia, riuscire ad osservare personalmente gli astri di cui si legge nei testi. Ma - ATTENZIONE - mai osservare il Sole al telescopio direttamente ad occhio! Si può diventare ciechi. Basti pensare che, focalizzando i raggi solari con una semplice lente, si riesce a bruciare un pezzo di carta. Immaginate cosa potrebbe succedere, se mettessimo l'occhio nel fuoco di un telescopio (o binocolo) puntato verso il Sole!

Volendo osservare il Sole, si deve invece proiettare la sua immagine sopra uno schermo. In pratica, basterà orientare un cannocchiale in direzione del Sole (senza guardarci dentro!), ponendo un semplice foglio di carta dietro l'oculare alla distanza opportuna (10-20cm). Se avremo puntato bene lo strumento, comparirà l'immagine del Sole proiettata sulla carta. Regolando la messa a fuoco, vedremo nitidamente i contorni del disco solare, e su di esso alcune piccole chiazze scure: le *macchie solari*. In casi eccezionali, le macchie più grosse sono state viste addirittura a occhio nudo al tramonto.

Ma vi è ancora un modo di "osservare il Sole": un modo molto moderno, che potremmo definire *virtuale*. Oggi infatti, servendosi delle moderne tecnologie, è possibile visualizzare il Sole sullo schermo del proprio computer, così come esso viene visto nello stesso istante dai principali telescopi solari nel mondo. In un certo senso, è come se il nostro PC domestico - collegato via Internet - diventasse in quel momento lo schermo di controllo di un grande Osservatorio. L'immagine che qui riportiamo è stata appunto ottenuta in questa maniera, tramite collegamento diretto con il Telescopio dell'Osservatorio di Catania.

## Oltre il visibile - il Sole a raggi X

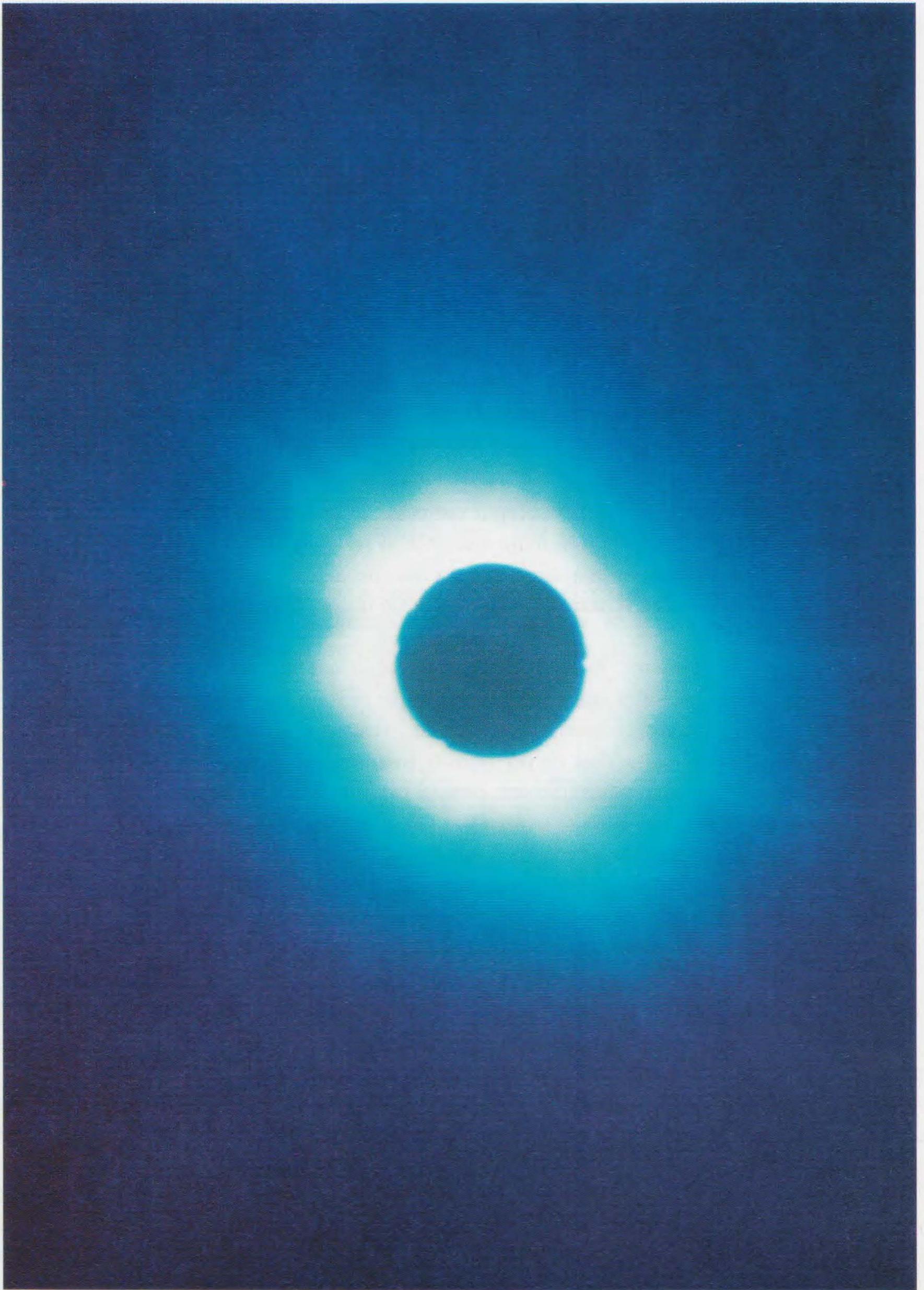
La luce, che i nostri occhi vedono, è soltanto una minima parte delle radiazioni (dette *elettromagnetiche*) che esistono in Natura. Ad esempio, noi non riusciamo a percepire con gli occhi le onde radio, le microonde o l'infrarosso; nemmeno riusciamo a vedere l'ultravioletto, i raggi X o i raggi *gamma*. L'esistenza di tutte queste radiazioni ci è comunque familiare, per le loro applicazioni tecnologiche e mediche.

Forse non tutti sanno però che radiazioni elettromagnetiche di ogni genere vengono emanate anche dai corpi celesti. Il Sole, ad esempio, emette quasi tutta la sua energia sotto forma di radiazioni che i nostri occhi non possono vedere! Alcune di queste radiazioni sarebbero addirittura mortali per noi esseri umani, se non vi fosse lo schermo protettivo della nostra atmosfera.

Gli strumenti ottici, come i telescopi, ci mostrano l'immagine del Sole utilizzando la luce visibile. Ma oggi esistono anche altri strumenti astronomici (radio-telescopi e satel-



Nell'eclisse totale (1999) la luna nasconde il disco del sole e rende visibile la corona solare.



La *corona* si vede fino a 3 diametri solari, *in basso* (D.Negro e S.Ferluga 1999).

liti), capaci di mostrare l'aspetto Sole utilizzando gli altri tipi di radiazioni (invisibili) che esso emette. Il risultato è sorprendente: oltre il visibile, il volto familiare del Sole si trasforma, e rivela tutta la spaventosa potenza. Le immagini, ottenute nell'ultravioletto, nei raggi X (e anche nelle onde radio), parlano da sé. Trattandosi di radiazioni invisibili, i colori che mostriamo sono ovviamente "codificati", e rappresentano diverse lunghezze d'onda, oppure livelli di luminosità.

Esistono anche dei filmati, in cui si può vedere il Sole ruotare davanti agli occhi. Si tratta più precisamente di *animazioni*, che sono ottenute componendo fotogrammi scattati in giornate successive. Infatti una rotazione completa del Sole si compie in 25 giorni circa. Le caratteristiche regioni luminose, e le prominente che si elevano alte sopra la superficie (*fotosfera*) solare, sono modellate dall'intenso campo magnetico del Sole. Di tutta questa potente attività, in luce visibile si notano in pratica soltanto le *macchie solari*.

## Tempeste magnetiche e "terremoti" solari

L'attività del Sole varia nel tempo. Vi sono periodi in cui è relativamente quieto, che si alternano a periodi in cui si "agita" con più violenza. È un fenomeno conosciuto da secoli, perché la semplice osservazione delle macchie lo rivela. Un ciclo completo di attività dura circa 11 anni, e l'ultimo massimo è stato intorno al 2002; ora siamo in fase decrescente, e non è escluso che il surriscaldamento delle ultime annate sia dipeso anche dalla accresciuta attività del Sole.

Esplosioni, brillamenti, tempeste magnetiche, e anche "terremoti" squassano la superficie fotosfera del Sole, quando l'energia dalle profondità sottostanti irrompe all'esterno. Infatti la temperatura superficiale del Sole è soltanto - si fa per dire - di 6000 gradi centigradi (e quella delle macchie un po' meno); mentre nell'interno si incontrano temperature sempre più alte, fino a raggiungere ben 15 milioni di gradi al centro.

Proprio nel centro del Sole si genera tutta la sua energia, che gli permette di irraggiare luce e calore con continuità già da 5 miliardi di anni, e per altrettanti ancora. Questa energia - che è anche l'energia che ci consente di vivere - è il prodotto di innumerevoli reazioni termonucleari, in cui gli atomi d'idrogeno si trasformano in elio (esattamente come avviene nell'esplosione della bomba H).

Le *tempeste solari* sono perturbazioni magnetiche, che possono anche minacciarci seriamente. Infatti il Sole attivo scaglia intensi getti di particelle energetiche nello Spazio. Quando queste raggiungono il nostro Pianeta, esse vengono incanalate dal campo magnetico terrestre verso le regioni polari, dove entrano nell'atmosfera producendo il tranquillo e innocuo spettacolo delle *aurore*. Tuttavia in questi casi gli apparecchi elettronici, gli apparati ricetrasmittenti e i satelliti diventano *a rischio*, poiché contengono congegni sensibili che una violenta tempesta solare può anche mandare in "tilt".

## L'eclisse totale del 1999

11 agosto 1999. In quella data, alla metà del giorno, la notte è scesa sull'Europa Centrale. Città come Monaco di Baviera, Salisburgo, Graz, Bucarest, sono piombate nel buio gelido dell'eclisse totale di Sole. Il fenomeno ha coinvolto molte Nazioni, attraversando l'Europa (dall'Inghilterra alla Romania), e proseguendo in Asia (dalla Turchia fino all'India).

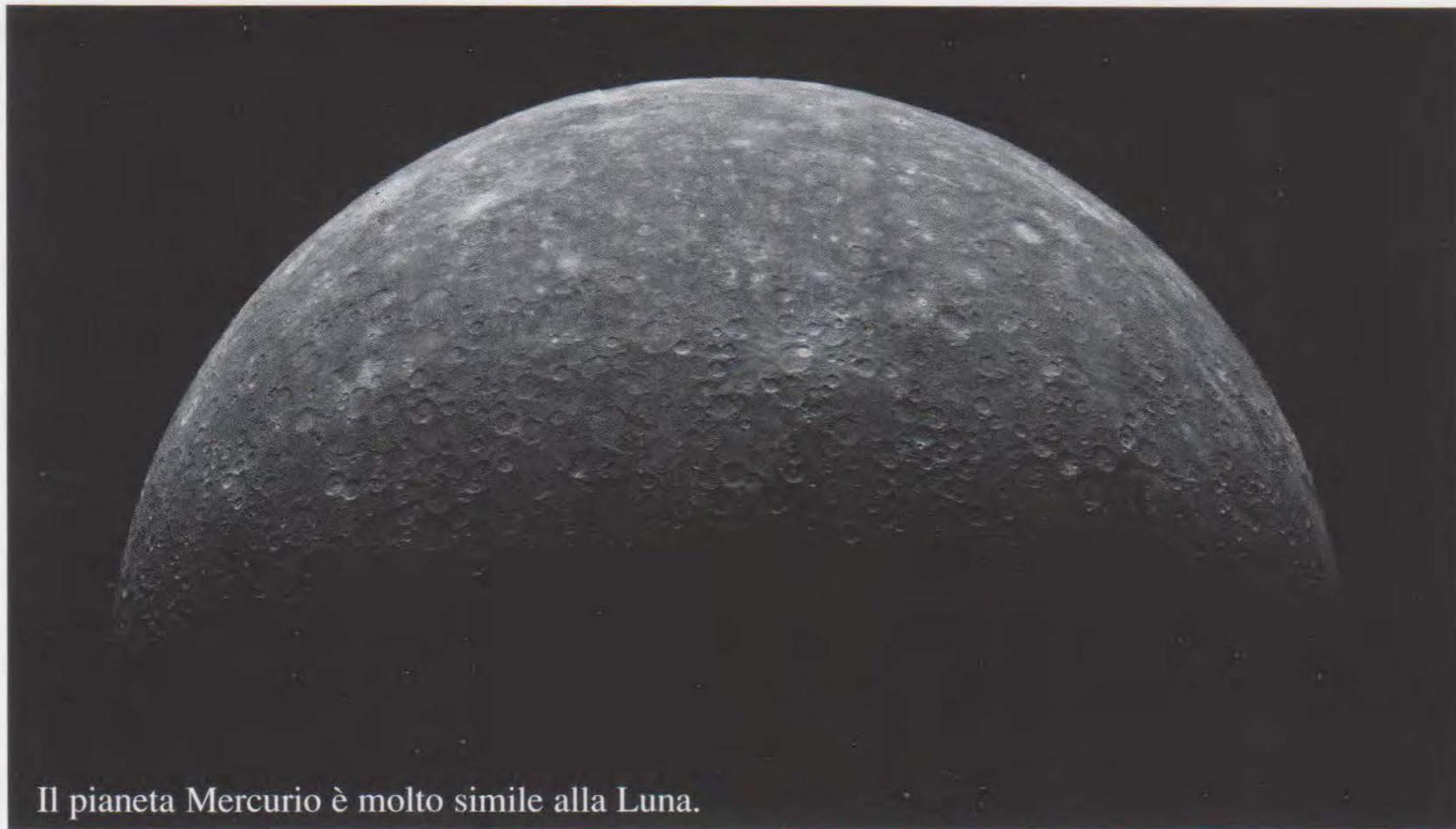
Vista dall'Italia, purtroppo, l'eclisse è stata soltanto parziale, e il Sole è rimasto visibile come una sottile falce, senza venire oscurato completamente dalla Luna. Spettacolo comunque affascinante, ma ben poca cosa se confrontato con la terribile grandiosità dell'Eclisse Totale. In Italia infatti, poiché una parte (pur piccola) del disco solare è rimasta visibile, la luce del giorno (pur attenuata) non si è oscurata del tutto.

Invece nel Centro Europa, durante la fase totale (2 minuti circa) è sceso davvero il buio della notte, e in cielo si sono viste addirittura alcune stelle e pianeti! Ma questa non è che una piccola meraviglia, se comparata alla straordinaria visione della *corona solare* che si può contemplare nel corso della *totalità*. Durante l'eclisse totale il Sole oscurato appare come un disco nero, mentre dai bordi spuntano fiammeggianti protuberanze e intorno risplende luminescente la Corona Solare - una visione sublime normalmente preclusa ai nostri occhi, per il bagliore accecante del Sole.

Non sono molte le persone che hanno la fortuna di assistere a questo straordinario spettacolo naturale, e chi lo ha potuto ammirare non se lo scorderà per tutta la vita. Nessuna fotografia (pag. 28), film o video può riprodurre la sublime visione dell'eclisse totale: troppo violenti sono i contrasti di luce, troppo tenui le sfumature. L'ampia *corona* emana un'irreale luminescenza azzurrina con pennacchi ricurvi e striati (linee magnetiche), mentre alcuni punti di abbagliante luce purpurea (le protuberanze) emergono dal disco nero del Sole occultato. Tutto ciò è stato purtroppo invisibile dall'Italia, dove ci si è dovuti accontentare della sola eclisse parziale - fenomeno abbastanza banale che non permette di vedere né la *corona* né le protuberanze.

Milioni di persone si sono mosse in Europa nel 1999 per raggiungere la ristretta *fascia della totalità* dell'eclisse, ma purtroppo in molte località l'evento è stato disturbato dalla pioggia. Chi scrive ha avuto invece la fortuna di contemplare il fenomeno in un cielo quasi libero da nubi, avendo scelto un'altura sopra il lago di Gmunden in Austria (pag. 29). Non è possibile con le parole descrivere la grandiosità dell'evento e l'intensità dell'esperienza, ma basta ricordare che durante quei due indimenticabili minuti si sentiva la gente che urlava per la meraviglia e piangeva per l'emozione!

Gli astronomi professionisti non si accontentano di osservare la Corona Solare soltanto durante le eclissi totali, per pochi minuti, a distanza di anni. Il *coronografo* è uno strumento che produce una specie di "eclisse artificiale": un apposito dischetto metallico inserito dentro il telescopio nasconde il disco solare, per mostrare le protuberanze e la *corona*. Operando in alta quota, dove l'aria è più rarefatta, si ottengono risultati molto interessanti: vi sono filmati (presi ad esempio alle Hawaii a più di 4000m d'altezza) che mostrano le variazioni quotidiane della *corona solare* durante periodi di molti mesi.



Il pianeta Mercurio è molto simile alla Luna.



L'unica panoramica a colori del suolo di Venere  
(ripresa dalla sonda sovietica *Venera 14*).  
La forma ad U dell'immagine dipende  
dall'inclinazione della telecamera.

# MERCURIO, VENERE, MARTE

## Da Mercurio un Sole tre volte più grande

Inizieremo la nostra esplorazione del Sistema Solare, partendo dai due pianeti Mercurio e Venere, che vengono anche chiamati *pianeti interni* perché orbitano vicini al Sole, restando appunto all'interno dell'orbita terrestre

Mercurio, il pianeta più vicino al Sole, non è un mondo dove ci soffermeremo molto. Si tratta davvero di un posto invivibile: pensate che la temperatura è tale da far fondere il piombo! Non c'è atmosfera, e il suolo è tutto tormentato di crateri. Se non fosse per la vicinanza del Sole che ci appare 3 volte più grande, e per l'insopportabile calore, sembrerebbe quasi di stare sulla Luna.

Effettivamente Mercurio assomiglia molto alla nostra Luna, anche per le sue dimensioni - seppure un po' maggiori. Come vediamo dalla foto, ottenuta nel "sorvolo" del pianeta da parte della sonda americana Mariner 10, la superficie di Mercurio è molto craterizzata e appare quasi indistinguibile da quella lunare, per un occhio non esperto.



Sono visibili lastroni di roccia e sassi in primo piano. L'orizzonte si vede in alto a sinistra e a destra. Alla base si notano dettagli della sonda, come l'asticciola colorata.

Elaborazione grafica: S. Ferluga.

## Venere svelata dal radar

Venere, bellissima per la sua insuperabile luminosità - in omaggio al suo nome mitologico - si è sempre nascosta all'occhio indiscreto del telescopio, celandosi dietro un velo impenetrabile di nubi. Tuttavia il radar di una sonda americana, in orbita attorno a Venere, è riuscito a penetrarne il segreto. Sotto le nuvole, la superficie del pianeta è un orrido deserto di lava, con crateri e vulcani attivi, avvolto da un'irrespirabile e caldissima atmosfera corrosiva (pag. 36).

Ma come si mostrerebbe alla nostra vista il panorama venusiano, potendo scendere e posarsi al suolo? La sonda sovietica Venera 14 è riuscita nell'impresa, e ha scattato una straordinaria fotografia (l'unica panoramica a colori), pochi istanti prima di venire corrosa e distrutta dal terribile ambiente venusiano. Nell'immagine si vedono in basso al centro alcuni lastroni di lava (insieme alla base della sonda), e una distesa di pietre che si allontana verso l'orizzonte in alto su due lati (pag. 32-33).

## Il "volto" di Marte

Antichi Marziani costruttori di enormi monumenti sul Pianeta Rosso? Osservando bene l'immagine scattata vari anni fa dalla sonda Viking in orbita attorno a Marte, sembra proprio che sia una faccia umana scolpita in una montagna! In tanti ci hanno creduto, ignorando gli avvertimenti dei soliti scettici, che in questo caso parlavano di effetti di luce, scarsa risoluzione, eccesso di contrasto, ecc.

Una immagine più nitida, ottenuta successivamente da una nuova sonda americana (Mars Global Surveyor), ci mostra finalmente la "faccia" con maggiore dettaglio. Ecco di cosa veramente si tratta: è una collina erosa dal vento! Dunque, come è già accaduto per tanti "misteri" pseudo-scientifici, anche in questo caso gli scettici avevano ragione.

## Acqua marziana?

Il Pianeta Rosso rimane pur sempre un mondo misterioso e affascinante. Il suo colore rossastro, che lo rende inconfondibile in cielo, deriva da speciali ossidi che ricoprono la superficie. Il suolo marziano è un deserto di sassi, sabbia e rocce; ma le fotografie dall'orbita mostrano senza ombra di dubbio che un tempo vi scorreva l'acqua. Se dunque su Marte c'era l'acqua, forse in passato vi prosperava anche la vita? Oppure la vita esiste ancora, magari nel sottosuolo? Per rispondere a queste affascinanti domande, sono discese su Marte diverse sonde automatiche, che oltre a fotografare il panorama, hanno anche scavato e analizzato il terreno (pag. 37). Ma quanto alla vita, finora non è stato trovato nulla: nemmeno un batterio.

Non dimentichiamo che Marte ha un'atmosfera, anche se più tenue della nostra, e che la temperatura è fredda ma abbastanza mite (alcuni gradi sotto zero). Insomma Marte è un posto dove si potrebbe vivere abbastanza bene. C'è pure un cielo sempre rosa anche a mezzogiorno, quando fa bel tempo, e quando fa brutto può addirittura nevicare.

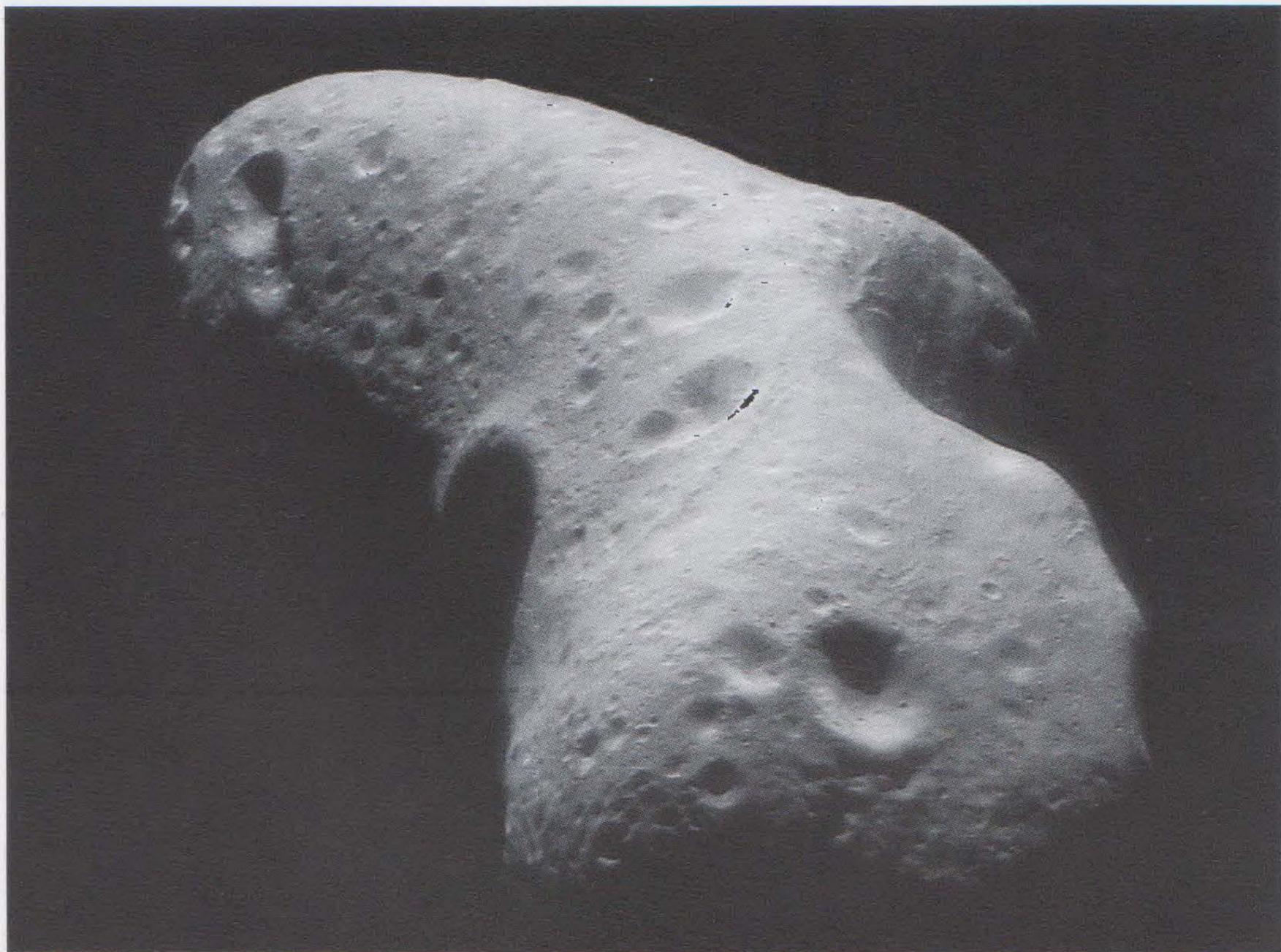
Riusciranno mai gli astronauti a sbarcare su Marte? Finora, la conquista umana di Marte è stata sempre rinviata, per i suoi alti costi. Tale straordinaria impresa costerebbe infatti in modo notevole, e quindi verrebbe avversata come uno spreco per motivi politici, soprattutto di propaganda. Perché in realtà, a conti fatti, verrebbe a costare soltanto come... un paio di portaerei!

## Allarme Asteroidi

La Terra sta per essere distrutta da un asteroide! Lo abbiamo sentito dire più volte, e non solo nei film del filone catastrofico. Ma cosa c'è di vero?

Qui vediamo l'asteroide Eros, fotografato dalla sonda NEAR. Proprio Eros, che è lungo una decina di km, rischia prima o poi di colpire la nostra Terra. Sarebbe una catastrofe planetaria, come quella che ha cancellato i dinosauri, ma abbiamo milioni di anni di tempo per deviarlo prima che ci piombi addosso.

Per fortuna, non tutti gli oggetti che dal cosmo cadono sulla Terra hanno le dimensioni di un asteroide. Innumerevoli sono i granelli di polvere che bruciano entrando nell'atmosfera, e che noi chiamiamo "stelle cadenti" o più propriamente *metèore*. Un po' più grandi, ma già molto rare, sono le meteoriti: si tratta di autentici frammenti di altri mondi, caduti dal cielo.



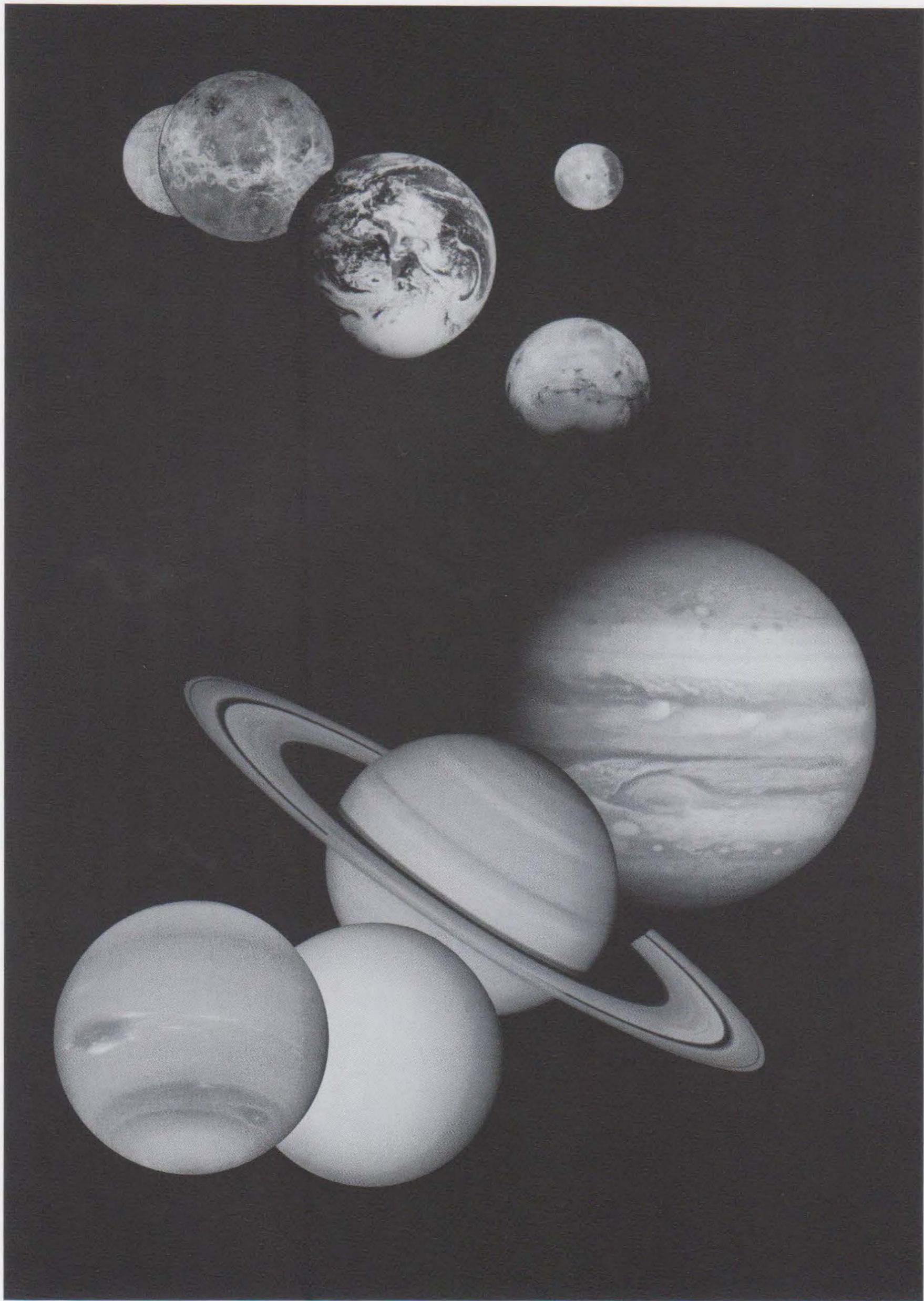
L'asteroide Eros, sorvolato dalla sonda *NEAR*.



Il pianeta Venere, coperto di nubi, è stato svelato dal radar.



L'interno del cratere marziano Endurance, esplorato dalla sonda semovente *Opportunity*.



I pianeti: Mercurio, Venere, Terra-Luna, Marte, Giove, Saturno, Urano, Nettuno (*non in scala*).

# I PIANETI ESTERNI

## Urano, un pianeta "grigio"

Nel nostro viaggio verso le regioni esterne del Sistema Solare, ci siamo ormai lasciati alle spalle tutti i pianeti visibili ad occhio nudo. Sono i pianeti conosciuti già nell'antichità. Il più lontano di essi, Saturno, si credeva che segnasse il limite estremo del nostro Sistema Planetario, ovvero - per i filosofi di allora - di tutto l'Universo.

Non abbiamo qui lo spazio per trattare diffusamente di Giove, Saturno e degli altri pianeti esterni. Ci acconteremo di ammirare alcune splendide visioni fotografiche di questi corpi celesti ottenute dalle sonde interplanetarie (pag. 40-41).

Oggi sappiamo che al di là di Saturno orbitano nell'ordine i pianeti Urano, Nettuno e Plutone. La scoperta di ciascuno di essi rappresentò all'epoca una impresa titanica, un trionfo della ragione e della volontà dell'Uomo. Ma fu anche una avventura drammatica di sentimenti e rivalità, intuizioni ed errori, fortuna e sfortuna.

I risvolti umani della storia della scoperta dei pianeti esterni sono così appassionanti, che se ne potrebbe trarre senz'altro un film o uno sceneggiato televisivo di successo - e chissà che questo non sia un buon suggerimento per qualche regista... Ma purtroppo qui non abbiamo lo spazio per parlare di storia dell'Astronomia (magari forse lo faremo in un'altra occasione), perchè ora vogliamo sapere tutto ciò che di questi lontani pianeti si conosce oggi, nell'era dei viaggi spaziali.

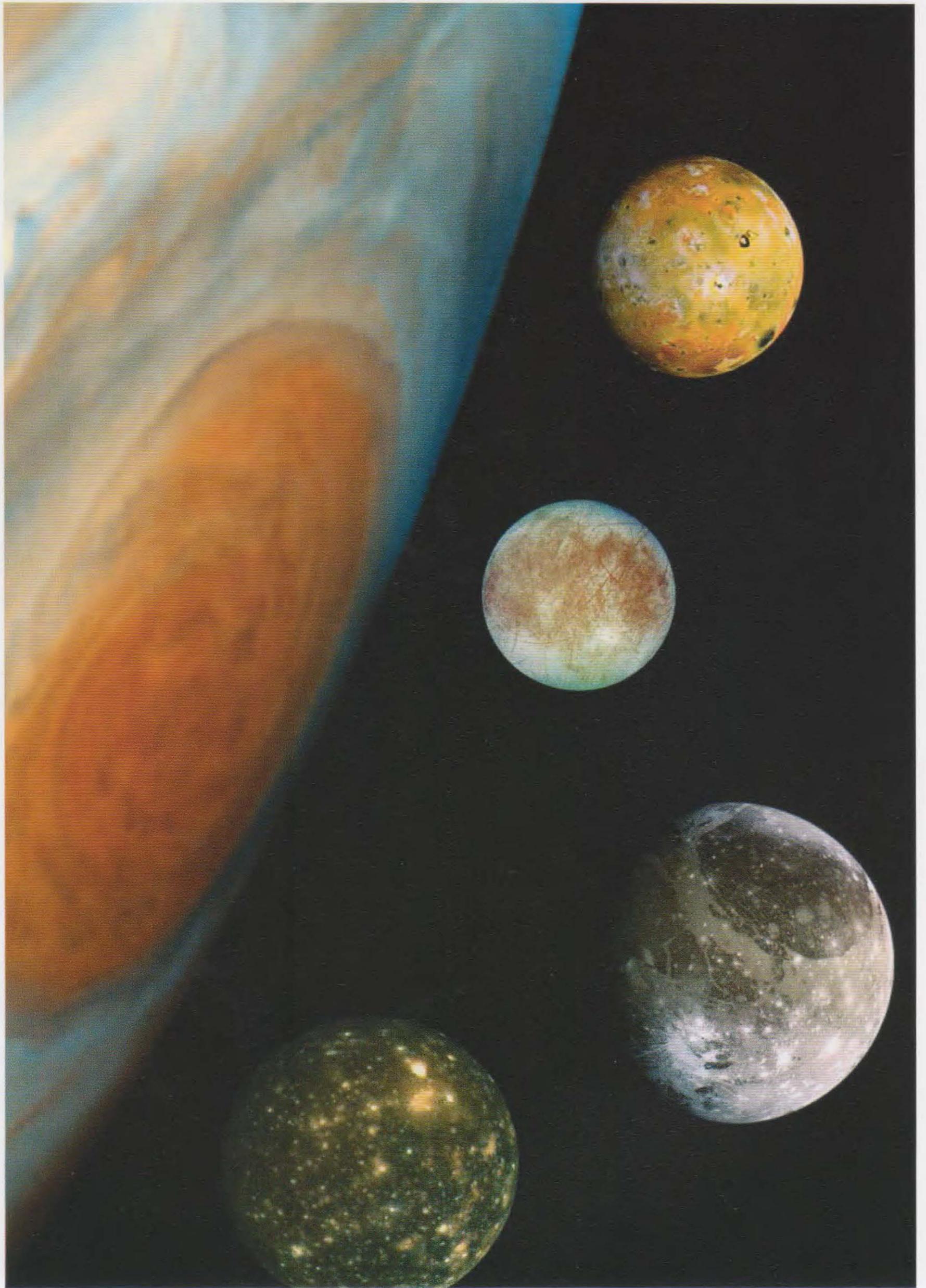
## Plutone spodestato?

Secondo alcuni astronomi, Plutone non sarebbe più l'ultimo pianeta del Sistema Solare, come si imparava a scuola. Anzi, non sarebbe nemmeno un pianeta! In realtà Plutone è un oggetto assai particolare. Innanzitutto è molto piccolo (addirittura più piccolo di qualche asteroide). Quindi alcuni ricercatori hanno recentemente voluto sottolineare questo fatto, dandogli una specie di "doppia cittadinanza": pianeta sì, ma anche asteroide.

Inoltre Plutone ha un'orbita ellittica allungata, a differenza degli altri pianeti che ce l'hanno quasi circolare. Di conseguenza, talvolta accade che Plutone si avvicini al Sole più di Nettuno. Probabilmente non molti lo sanno, ma fino a pochi anni fa, era proprio Nettuno - e non Plutone - l'ultimo pianeta del Sistema Solare. Infine c'è l'ipotesi che esista un misterioso "Pianeta X", lontano oltre Plutone, ma questo è ancora un altro discorso...

## Le Comete: Hale-Bopp e le altre

Ma cosa sono veramente, e da dove provengono le comete? L'antica superstizione popolare temeva questi astri chiamati come terribili presagi di sventura. Oggi sappiamo che si tratta di corpi celesti assolutamente innocui, degni soprattutto di essere ammirati per la loro meravigliosa bellezza, e di essere studiati per le preziose informazioni scientifiche che custodiscono.



Giove con i suoi 4 satelliti maggiori in scala (*dall'alto*: Io, Europa, Ganimede e Callisto).



Spettacolare visione del globo di Saturno con gli anelli controluce e il satellite Mimas (*Cassini*).



Il nucleo della cometa di Halley mentre emette getti di gas e polveri (sonda *Giotto*).

Le comete, insieme agli asteroidi, vengono classificate tra i cosiddetti corpi minori del Sistema Solare. Infatti il "cuore" di una cometa, cioè l'oggetto che sprigiona la lunga coda, è una specie di piccolo asteroide, che ha le dimensioni di una decina di chilometri appena. Si tratta di un agglomerato di roccia e ghiaccio, che al calore dei raggi solari evapora proiettando potenti getti di gas in tutte le direzioni. Il nucleo cometario resta così avvolto da un'enorme nube di vapore e particelle solide (la chioma), che poi si disperde nello spazio interplanetario lasciando una immensa coda di gas e pulviscolo, lunga anche milioni di chilometri. Quasi sempre poi la coda si sdoppia in due parti: una dritta e azzurrina (gas luminescente) e l'altra incurvata e giallastra (pulviscolo illuminato dal sole).

E' chiaro dunque che una cometa non potrà sopravvivere indefinitamente passando nelle vicinanze del Sole, perché ad ogni transito attraverso il Sistema Solare essa letteralmente si consuma. Esistono infatti comete che dopo un numero rilevante di passaggi hanno perso in gran parte la loro coda. Viceversa, le comete più spettacolari sono generalmente quelle che vengono viste al loro primo transito, o che comunque ritornano dopo periodi molto lunghi, dell'ordine di un secolo o più. Viene anche da chiedersi che cosa resti di una cometa "esaurita". Verosimilmente essa si trasforma in una sorta di asteroide; e questo è forse proprio il caso di Chirone, uno stranissimo oggetto a metà tra cometa e asteroide.

Il regno delle comete si trova lontano oltre Plutone, dove esse rimangono inalterate nelle gelide distese dello spazio interstellare per miliardi di anni, e rappresentano probabilmente i residui più esterni della formazione del Sole e dei Pianeti. Si ritiene che di questi piccoli corpi ghiacciati ne esistano a milioni, distribuiti in una sorta di nuvola attorno al sistema solare (la nube di Oort); ma a quella distanza risultano per noi invisibili, perché senza coda cometaria e perché la luce solare non vi arriva. Soltanto in rari casi, qualcuno di questi oggetti si dirige verso le parti interne del sistema solare, e allora sviluppa la coda diventando una cometa vera e propria.

Le apparizioni di grandi comete sono rare e spettacolari, anche se ve ne sono parecchie ogni anno visibili con piccoli telescopi. Molti ricordano la cometa Hale-Bopp, una delle più belle del '900, insieme alla West del '76 e alla Halley del '10. Però anche queste sono poca cosa se confrontate con la magnificenza di alcune comete apparse nell'800 e del '700.

## Vita dalle comete?

Alcuni ricercatori hanno formulato l'ipotesi che l'origine della vita, comparsa sulla Terra circa 4 miliardi di anni fa, sia da addebitarsi alle comete. Altri studiosi, come il celebre astrofisico Fred Hoyle, sono arrivati al punto di sostenere che le epidemie di influenza potrebbero dipendere da virus lasciati cadere sulla Terra dalle comete. Ma si tratta di teorie scientifiche davvero credibili?

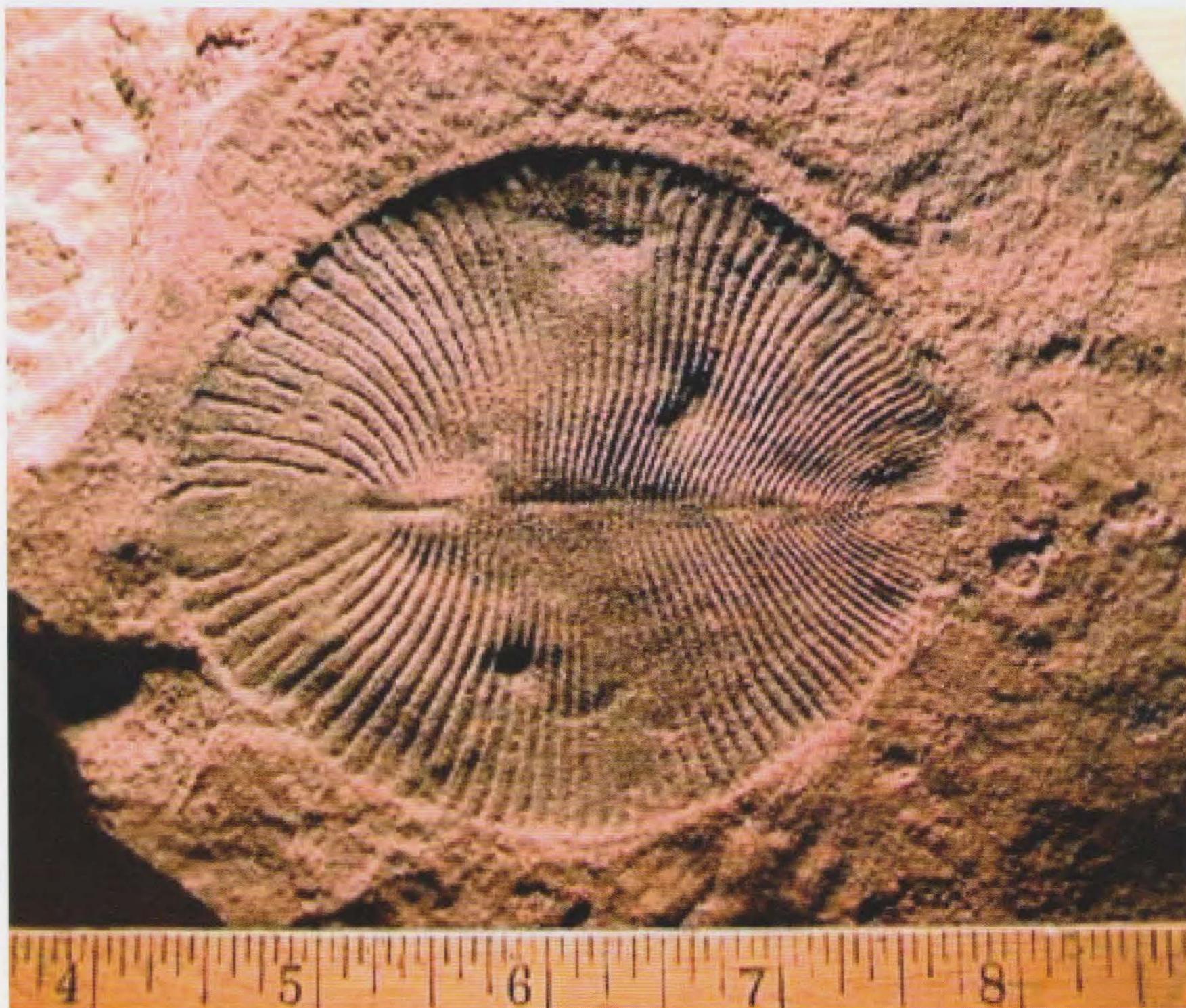
In verità, oltre agli stessi ideatori, non sono molti gli scienziati che prendono sul serio ipotesi del genere, specie quella dell'influenza "cometaria". Peraltro, l'interazione della vita primordiale con un ambiente planetario e interplanetario molto diverso da ora, va presa attentamente in considerazione.



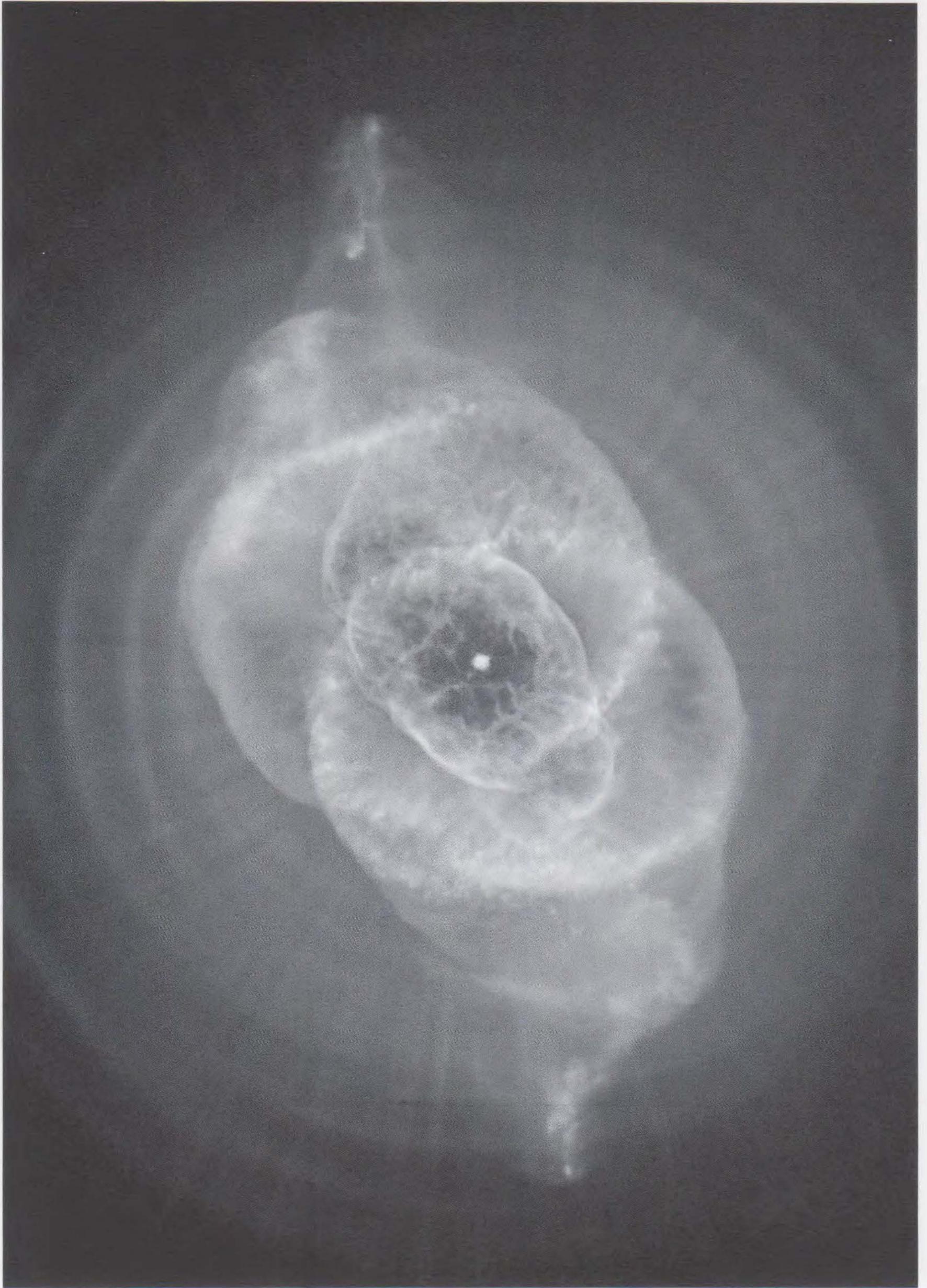
La splendida cometa Hale-Bopp: la coda *gialla* è di pulviscolo, quella *blu* è di gas.

L'origine della vita è per la scienza ancora misteriosa. Al di fuori della Terra finora non se ne sono trovate le tracce, e nemmeno gli indizi. Eppure in alcuni luoghi del Sistema Solare le condizioni ambientali non sembrerebbero tanto proibitive, da rendere del tutto impossibile lo sviluppo di forme viventi. Purtroppo dobbiamo dire onestamente che di questo problema ne sappiamo ancora troppo poco, e che l'esplorazione interplanetaria in funzione biologica è appena ai primi passi.

Il nostro Pianeta rimane dunque l'unico caso nel cosmo dove siamo certi che esiste la vita. L'evoluzione biologica della Terra certamente riguarda più la Paleontologia, piuttosto che l'Astronomia. Tuttavia, quest'ultima non può ignorare la presenza della vita, intesa come fenomeno cosmico. Così in chiusura di quest'ultima parte dedicata al Sistema Solare, e prima di passare alle Stelle, vogliamo soffermarci un attimo a riflettere: Infatti proprio sul nostro pianeta Terra ha luogo il più complesso fenomeno conosciuto nell'intero Universo: la *vita* - che a sua volta è in grado di produrre il più straordinario e fisicamente inspiegabile effetto: la *coscienza*.



Fossile di *Dickinsonia* (Ediacara, Australia) risalente a 600 milioni di anni fa, in grandezza naturale.



La nebulosa "Occhio di Gatto".

# STELLE E NEBULOSE

## Dai Pianeti alle Stelle, un enorme balzo

Ed eccoci giunti finalmente a parlare di *stelle*! Già, perché finora abbiamo sì discusso di astri, ma limitandoci ai *pianeti* del nostro Sistema Solare. E scorrendo di stelle e pianeti, sentiamo qui il dovere di precisare che gli scienziati, e in particolare gli astronomi e gli astrofisici, considerano tutta l'*astrologia* (al di là del suo significato storico e culturale) totalmente priva di valore scientifico.

Infatti anche noi stessi - che in questo studio stiamo esplorando le meraviglie del Sistema Solare con gli occhi dell'Astronomia moderna, cioè i telescopi e le sonde spaziali - mai abbiamo nemmeno menzionato parole come "segno zodiacale", "ascendente", "influsso astrale" e termini simili (che si trovano negli oroscopi ma che sono privi di senso per gli scienziati).

Tra i *pianeti* e le *stelle* esiste una differenza enorme, anche se in cielo ad occhio nudo ci sembrano soltanto dei puntini luminosi, e magari certe volte abbiamo difficoltà a distinguere gli uni dalle altre. I *pianeti* sono mondi più o meno simili alla nostra Terra, in orbita anch'essi attorno al Sole che li illumina e li riscalda. Invece le *stelle* sono altrettanti Soli, caldi e splendenti come il nostro Sole, ma così lontani nelle profondità dello Spazio che ci appaiono solo come piccoli punti di luce.

Le distanze delle stelle sono davvero "astronomiche". Pensate che se volessimo riprodurre in scala il Sistema Solare a casa nostra qui a Cormòns, riducendo il Sole alle dimensioni di una biglia da flipper, allora la Terra diventerebbe un granello di sabbia lontano 3 metri, mentre Giove orbiterebbe fuori delle pareti esterne della casa. La stella più vicina sarebbe allora un'altra pallina da flipper, posta alla distanza di Palermo!

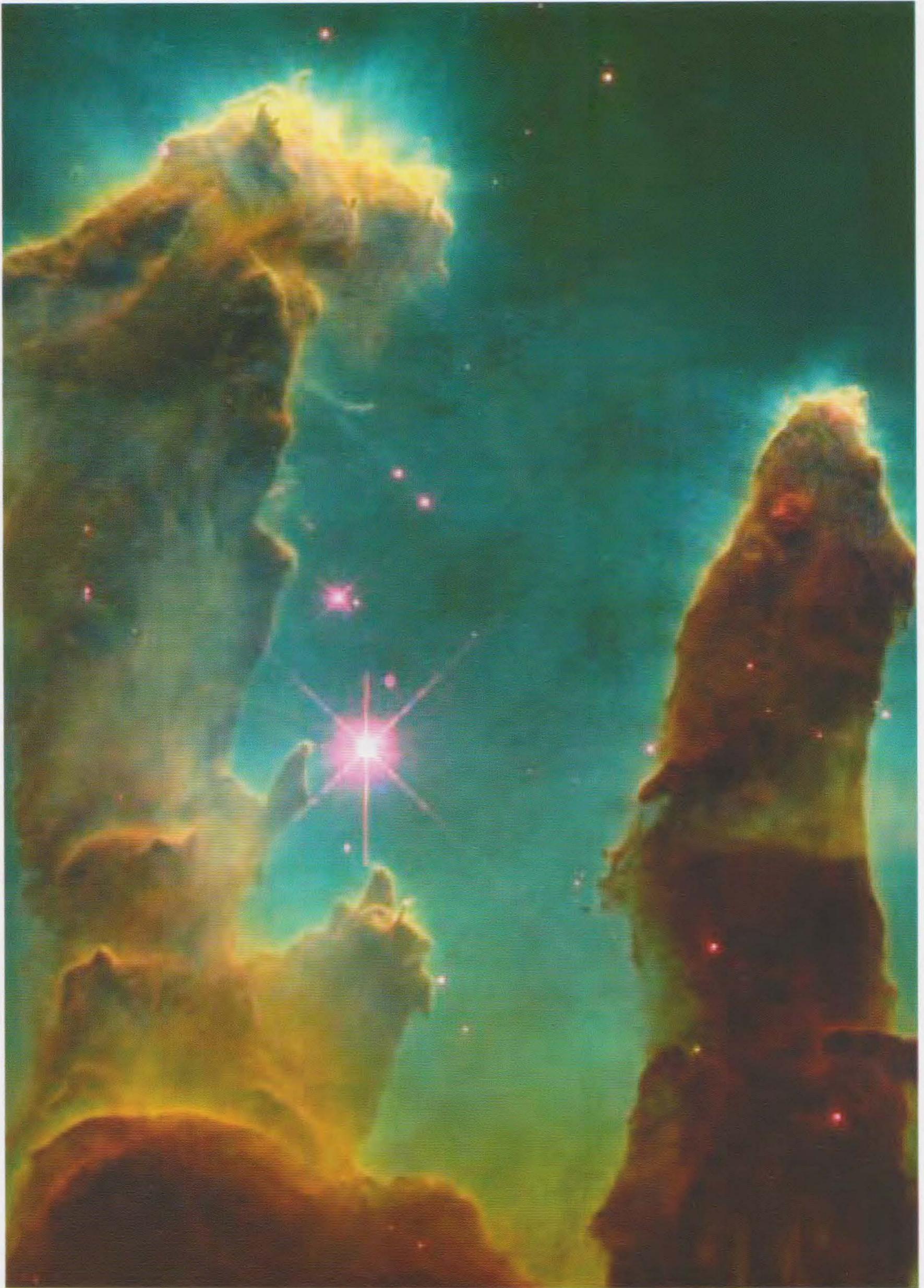
## Che cos'è un anno-luce?

Espresso in chilometri, 1 *anno-luce* equivale a 10.000 miliardi di chilometri. Il termine *anno-luce* deriva dal fatto che questa distanza viene percorsa dalla luce in un anno esatto (per confronto, si pensi che la luce arriva dalla Luna alla Terra in 1 secondo circa).

Un anno-luce è una distanza che si può immaginare molto intuitivamente, ottenuta accostando uno vicino all'altro 1 miliardo di pianeti Terra: pensate la Terra come una pallina, mettete 1 miliardo di palline in fila e ottenete una fila lunghissima, lunga praticamente un anno-luce.



I colori delle stelle indicano la temperatura (*rosso, giallo, blu* = 3000, 6000, 30000 gradi).



Formazione stellare nella nebulosa "Aquila".

## Le Stelle, innumerevoli Soli di mille tipi e colori

Volete vedere bene da vicino una Stella - bella, tipica, regolare, calda al punto giusto - una stella *da manuale* insomma? Guardate il Sole. Effettivamente il nostro Sole è davvero un buon "padre di famiglia": da 5 miliardi di anni svolge con equilibrio il proprio lavoro, irradiando i suoi pianeti con un flusso costante di energia (luce e calore) che permette alla vita di crescere e svilupparsi.

Ma non tutte le stelle sono così. Alcune sono stelle variabili, cioè producono parossistiche esplosioni (che potrebbero incenerirci all'istante se avvenissero sul Sole). Altre stelle formano sistemi doppi o multipli (e ruotando l'una attorno all'altra potrebbero spazzare via gli eventuali pianeti nelle vicinanze). Vi sono stelle che emettono mortali radiazioni ad alta energia come raggi X e gamma, e altre che lampeggiano 30 volte al secondo, simili a mostruose luci stroboscopiche (le *pulsar*).. Certe stelle possono gonfiarsi a dismisura centinaia o migliaia di volte, diventando *giganti* o *supergiganti* (ed eventualmente inghiottendo i propri pianeti), ed alcune possono anche risucchiare una stella compagna con la propria forza di gravità.

Per le stelle "normali" - che comunque rappresentano la maggioranza della popolazione celeste - il carattere distintivo fondamentale è il *colore*. Ad occhio nudo è difficile vedere i colori delle stelle, poiché siamo scarsamente dotati per la visione notturna, ma in questo periodo si può notare di sera verso Sud una stella luminosa che risalta per il suo colore rossastro: è Betelgeuse, nella costellazione di Orione. Questa stella è anche così grande che, pur essendo a enorme distanza, si riesce a distinguerla come un dischetto nei più grandi telescopi.

I colori delle stelle sono semplicemente espressione della loro temperatura superficiale (pag. 48). Si passa dal rosso cupo (3000 gradi), al giallo del Sole (6000 gradi), fino al blu (30000 gradi e oltre). Naturalmente nell'interno stellare la temperatura è assai più alta: si arriva a milioni e anche miliardi di gradi. È questo l'infernale ambiente dove avvengono continuamente le reazioni nucleari, che producono l'energia irraggiata poi dalla stella nello spazio.

Per effetto della gravitazione, le stelle si aggregano poi a formare gruppi e ammassi, che contengono da poche unità fino a milioni di membri. A seconda della loro forma geometrica, gli ammassi ci appaiono come *aperti* (aspetto irregolare) oppure *globulari* (forma sferoidale).

## Le Nebulose, spettacolo interstellare

Nelle profondità dello spazio non vi sono soltanto stelle isolate, ma esiste anche della tenue materia diffusa tra una stella e l'altra, che si chiama appunto *materia interstellare*. In alcune regioni del cielo la materia interstellare si addensa al punto da formare grandi nubi oscure o luminescenti: le *nebulose* (pag. 49).

Le nebulose si possono osservare ovviamente al telescopio; ma la celebre Nebulosa di Orione si riesce a distinguere anche ad occhio nudo come un tenue fiocco di luce, e vista

poi al binocolo è un vero spettacolo (cercatela nelle sere d'inverno guardando verso Sud, e trovando dapprima la costellazione di Orione con l'aiuto di una piccola mappa celeste).

A causa della scarsa sensibilità notturna dell'occhio umano (meglio di noi il cielo stellato lo vedono forse i gufi o altri rapaci della notte), purtroppo gli ineffabili ed evanescenti colori naturali delle nebulose sfuggono alla nostra visione diretta. Tuttavia, utilizzando fotografie a lunga posa ed elaborando opportunamente le immagini in modo da far risaltare anche i più deboli contrasti di luminosità e colore, è possibile compensare l'inedeguatezza della nostra vista. Possiamo così contemplare l'Universo in tutta la sua naturale bellezza, che si rivela ogni giorno più affascinante, grazie ai sempre migliori strumenti d'osservazione di cui disponiamo.

## Splendori della Via Lattea

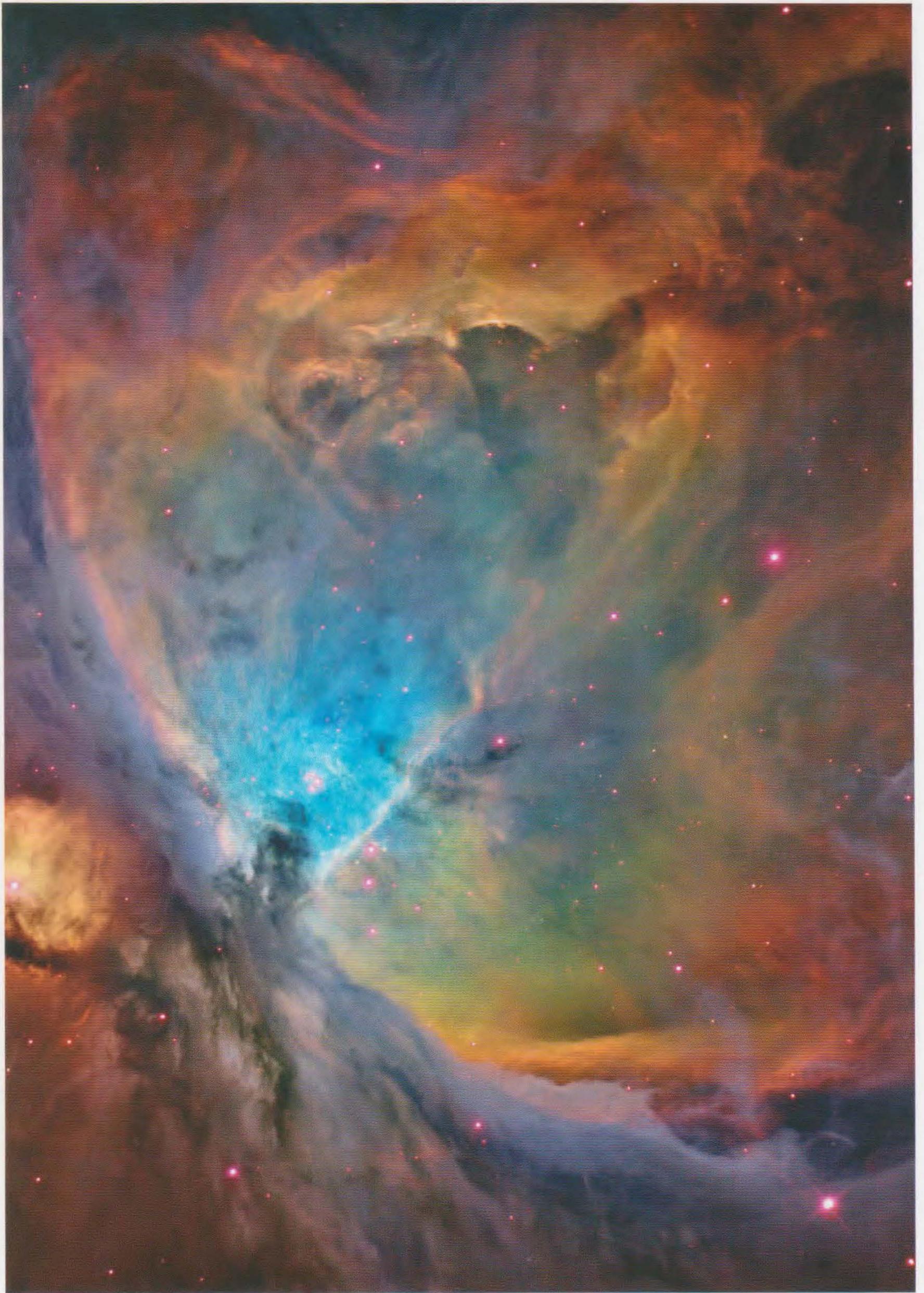
Gli straordinari colori delle nebulose non sono soltanto belli esteticamente, ma hanno realtà un significato fisico, che possiamo anche imparare a "leggere". Per esempio, molte nebulose presentano delle regioni luminose color porpora: quello è certamente idrogeno ad alta temperatura. Poi si possono vedere delle aree grigiastre: si tratta di pulviscolo illuminato dalle stelle circostanti. In altri casi si può notare uno splendido color verde smeraldo: è ossigeno rarefatto. Vi sono anche delle zone più scure, che a volte si addensano nascondendo le stelle retrostanti: questo è l'effetto assorbente delle polveri.

Ora che conosciamo il significato dei colori nelle nebulose, potremo anche lasciarci rapire dalla contemplazione estetica, ammirando l'incredibile bellezza - direi quasi "artistica" - delle immagini di queste immagini a colori (pag. 52). Viene da chiedersi se l'arte si debba concepire soltanto come opera umana, o possa anche esistere come espressione della Natura...

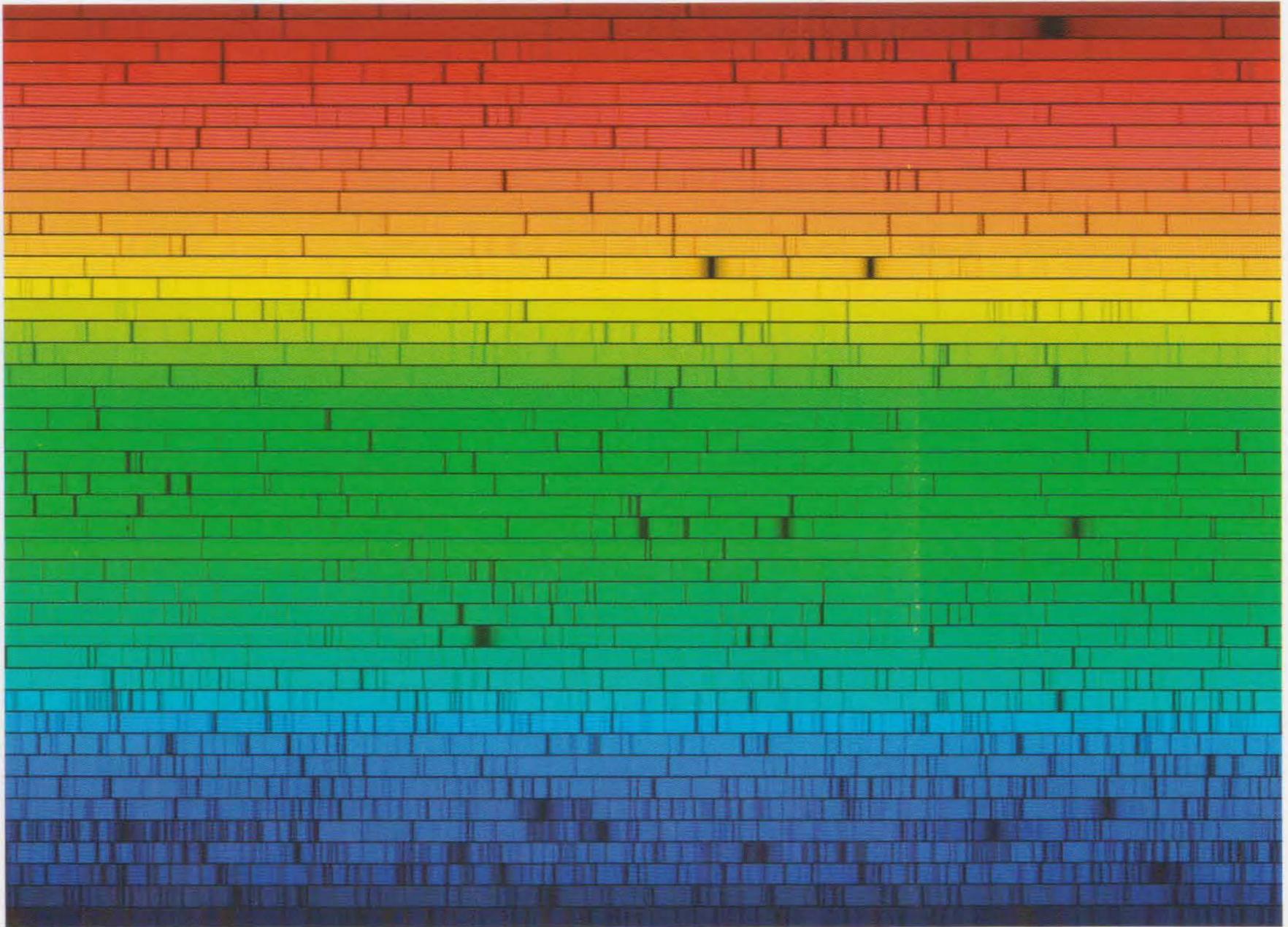
Naturalmente la Scienza non si ferma certo alla semplice contemplazione estetica delle bellezze del cosmo (termine che significa "bellezza", vedi la parola *cosmetici*), perché segue il desiderio umano di capire il Mondo sempre più profondamente. Ci si chiede quindi perché le *nebulose* hanno quelle strane forme, e quale ruolo esse svolgono nel grande quadro d'insieme dell'Universo. Ebbene, la risposta è semplice ed affascinante insieme: le nebulose sono la culla dove le stelle nascono, e sono anche il cimitero dei loro "cadaveri". Ma questa sarebbe un'altra lunga storia da raccontare...

## Gli spettri delle stelle e delle nebulose

Lo studio della luce stellare può darci molto di più di una semplice misura di temperatura. Ciò che si considera è precisamente lo *spettro* della stella. Tale spettro non ha nulla a che vedere con lo spiritismo... ma sta invece ad indicare la scomposizione della luce nelle sue lunghezze d'onda (colori) componenti. Gli astronomi specialisti nell'analisi degli



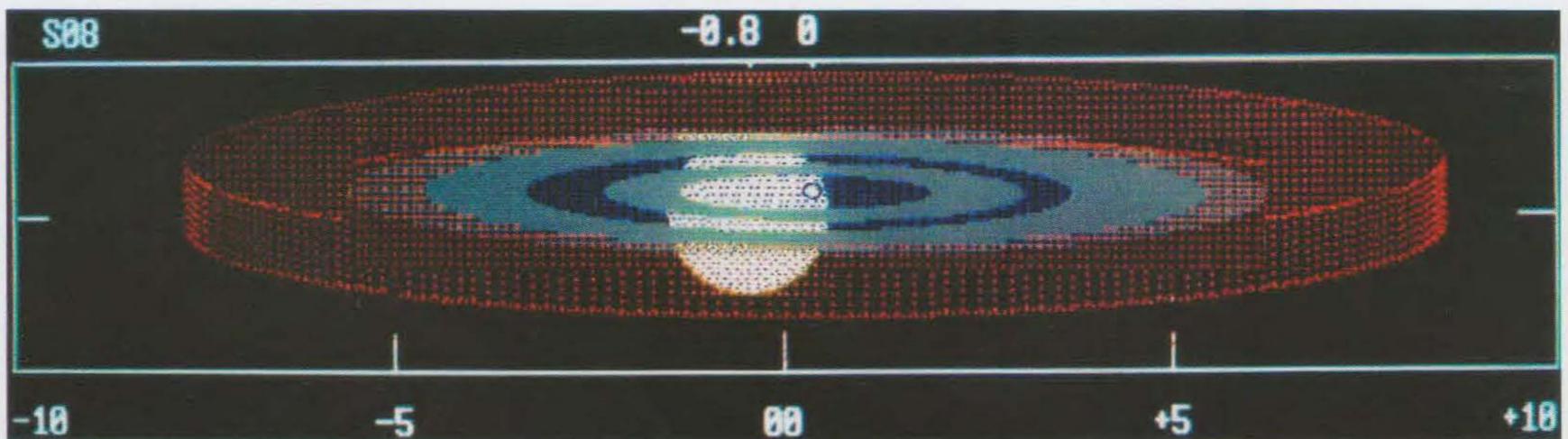
La nebusola di Orione, visibile anche a occhio nudo d'inverno.



Spettro di una stella - il nostro Sole - con le sue righe di assorbimento (linee verticali).

spettri, che si chiamano appunto *spettroscopisti* (e lo scrivente è uno di essi), riescono a misurare con altissima precisione le proprietà fisico-chimiche delle stelle: densità, pressione, temperatura e composizione chimica.

Potremmo dire che in un certo senso analizzare uno spettro è un po' come "portarsi la stella in laboratorio". Per osservare gli spettri stellari è necessario impiegare un apposito strumento, chiamato *spettroscopio*, che deve essere applicato al telescopio. Poi, i dati delle osservazioni andranno analizzati con l'aiuto dei computer, e verranno quindi confrontati con i modelli stellari teorici per verificarne la validità.



Modello fisico della stella peculiare *Epsilon Aurigae*, realizzato dall'autore.



La galassia M104, detta Sombrero

# GALASSIE E AMMASSI

## La nostra Via Lattea, galassia “da manuale”

Con i suoi cento (o forse duecento) miliardi di stelle, nebulose e ammassi confusi in lontananza, la Via Lattea attraversa maestosa la volta celeste. Per ammirare questo spettacolo in tutta la sua grandiosità, bisogna attendere una limpida notte estiva senza Luna, e recarsi in un luogo lontano dall'illuminazione urbana, lasciando prima riposare gli occhi abituandoli al buio per qualche minuto. Allora levare lo sguardo alla Via Lattea, che inonda il cielo col suo splendore diffuso e col bagliore delle sue innumerevoli stelle, è una visione indimenticabile, mozzafiato. Ma non ha molto senso discuterne qui a parole: è un'esperienza che va vissuta di persona.

Cos'è dunque, per gli astronomi, la Via Lattea? Si tratta di un immenso sistema stellare a forma di disco, all'interno del quale noi stessi ci troviamo con il nostro Sole, che è appunto una delle 200 miliardi di stelle di cui questa nostra immensa “isola stellare” è composta. Avendo la forma di un disco visto dall'interno, la Via Lattea ci appare dunque come una fascia che taglia in due il nostro campo visivo; ecco perché la vediamo come una banda che attraversa la volta celeste.

Il nostro sistema stellare, per quanto grandioso, non è l'unico esistente: ve ne sono altri simili, a enormi distanze, perduti negli abissi del cosmo. Un tempo questi giganteschi sistemi stellari venivano indicati con la suggestiva espressione di “universi-isole”, ma oggi vengono chiamati semplicemente *galassie*. La nostra Via Lattea - detta anche Galassia per definizione (con la G maiuscola) - è appunto una perfetta, grande, bella galassia: una “galassia da manuale”, in pratica. Quindi: volete vedere da vicino, vicinissimo, una galassia? Guardate la Via Lattea!

## Le galassie esterne, isole nell'Abisso

E se volessimo spingersi fino ad osservare un “universo-isola” diverso dal nostro - cioè una galassia esterna - occorrerebbe forse un grande telescopio? Per nulla! Basterà puntare lo sguardo verso la galassia di Andromeda, che si potrà vedere benissimo ad occhio nudo (ma dovremo attendere l'autunno) con il suo caratteristico aspetto di una tenue nube luminescente, di forma allungata, rimpicciolita dalla enorme distanza.

Naturalmente le immagini di galassie ottenute dai grandi telescopi, ed opportunamente elaborate per esaltare luminosità, colori e dettagli, offrono uno spettacolo ineguagliabile. Si possono così riconoscere le straordinarie forme che le galassie possono assumere, generate dall'azione combinata di gravitazione, campi magnetici, e onde d'urto.

Nella “galleria” di galassie che qui presentiamo, possiamo ammirare uno sfavillare impressionante di luci e colori, che l'astrofisica ci insegna a interpretare. Le stelle azzurre sono quelle appena formate, le stelle gialle sono quelle più antiche; le macchie rosse sono nubi d'idrogeno, le chiazze scure sono bande di polveri, e così via (pag. 56-57).



La galassia esplosiva M82.

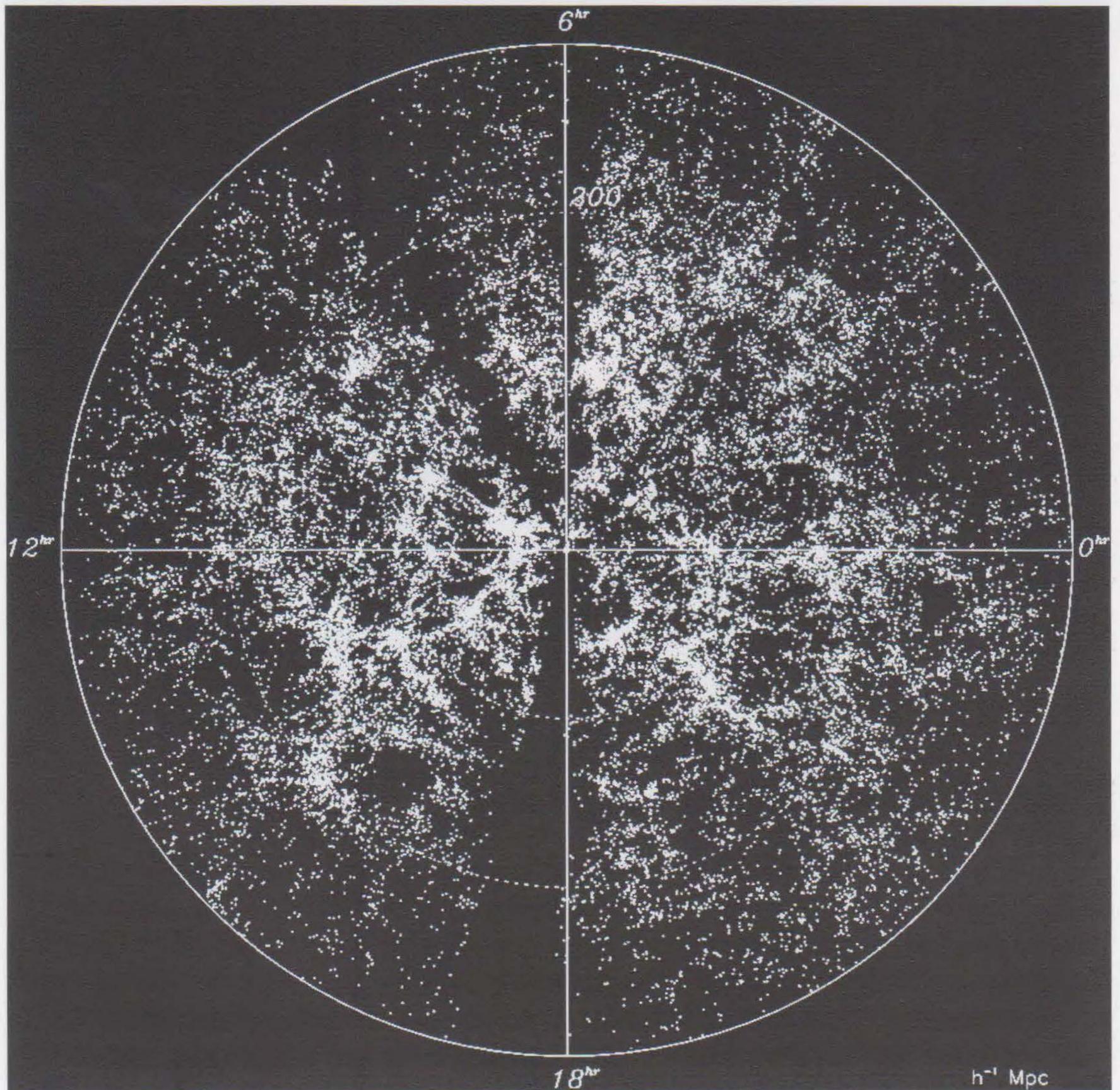


La galassia di Andromeda, M31 (disco *blu*, stelle giovani; bulbo *giallo*, stelle vecchie).

## Ammassi di galassie

Spingendoci a considerare il cosmo su scale sempre più grandi, giungiamo a contemplare la vertiginosa visione di un oceano di galassie che sprofonda nell'Abisso in ogni direzione. Le galassie affollano l'Universo, raccogliendosi in gruppi e ammassi, dove talvolta la concentrazione dei membri è tale da produrre reciproche distorsioni, collisioni e anche "cannibalizzazioni" galattiche.

Noi stessi con la nostra Via Lattea viviamo alla periferia di un gigantesco ammasso di galassie, che conta decine di migliaia di membri: è il *super-ammasso della Vergine*. L'ammasso della Vergine si può vedere d'inverno con un buon binocolo, puntando lo strumento nella zona di cielo compresa tra le costellazioni del Leone e della Vergine: decine di galassie appariranno alla vista come deboli macchioline luminose. Altri super-ammassi, nelle nostre vicinanze (si fa per dire), sono "Chioma" ed "Ercole".



Cartografia delle galassie (6dF) entro 1 miliardo di anni-luce dalla Via Lattea (al *centro*).

## I Campi Profondi

Fin dove arrivano i nostri telescopi? Spingendosi a distanze sempre maggiori, si può ammirare il celebre *Deep Field* (Campo Profondo), ottenuto dal Telescopio Spaziale nel 1995. Si tratta di un autentico campionamento dell'Universo a estrema profondità: in un'area di cielo appena visibile ad occhio nudo nell'Orsa Maggiore, il Telescopio Spaziale ha fotografato più di duemila galassie a una distanza media di 8 miliardi (!) di anni-luce. Con una camera fotografica di ultima generazione (ACS), nel 2004 il Telescopio Spaziale ha superato sé stesso ottenendo il nuovo *Ultra Deep Field* - Campo Ultra Profondo - che si spinge a oltre 13 miliardi di anni-luce, e che attualmente rappresenta l'estrema frontiera dell'osservazione ottica. Vi sono contenute più di diecimila galassie, che la nostra illustrazione stampata a piena pagina (pag. 64-65) non riesce certamente a riprodurre. Per vederle bene, servirebbe un poster di almeno due metri quadrati, dettagliato al decimo di millimetro!

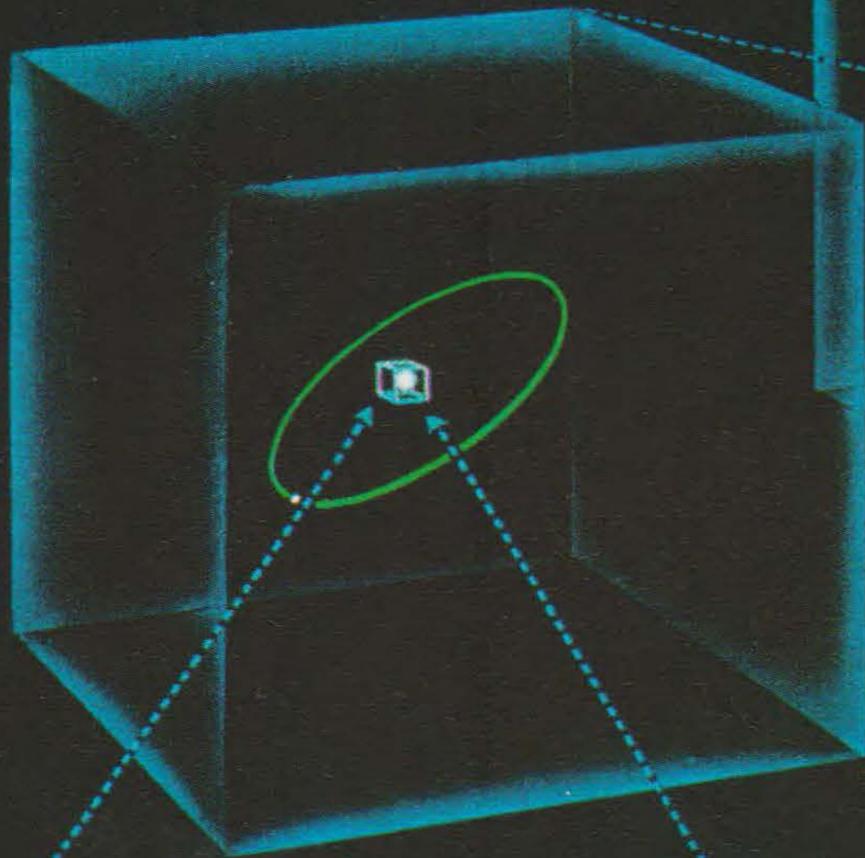
Negli ultimi tempi sono stati battuti diversi record di distanza. Oggi arriviamo a vedere galassie talmente lontane, che la loro luce impiega più 13 miliardi di anni per raggiungerci (pensate che dalla Luna la luce ci arriva in 1 secondo). Alcuni oggetti remotissimi si riconoscono come delle macchioline rossastre nell'immagine dello *spazio profondo* che qui pubblichiamo (pag. 68). Ma non chiedete di più: stiamo guardando gli astri più lontani mai visti dall'Uomo! Dove arriveremo dunque in futuro, usando telescopi sempre più potenti? Ebbene - è sorprendente - ma purtroppo non potremo spingerci molto oltre le distanze attuali. Infatti, madre Natura pone un limite estremo all'osservazione del cosmo; questo limite (per definizione invalicabile) è il *fondo del cielo*, e gli astronomi con i loro strumenti lo hanno già raggiunto. Incredibile? Eppure le cose stanno proprio così. Ne parleremo diffusamente nelle prossime pagine, in cui potremo ammirare addirittura una autentica mappa fotografica del *fondo del cielo*.

## Quanto è grande l'Universo?

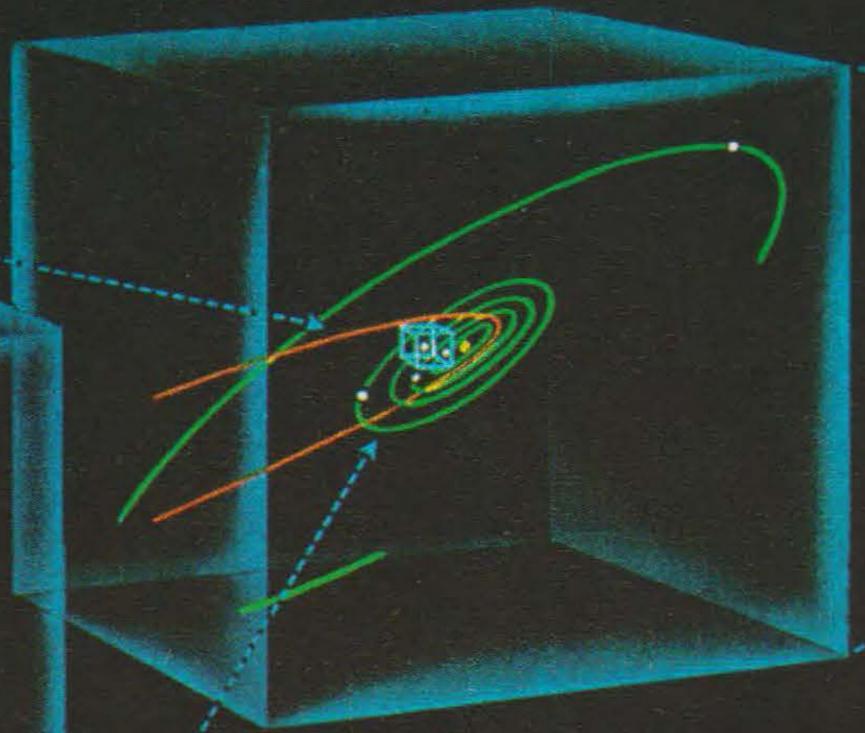
Ci stiamo avvicinando al termine di questo nostro viaggio nel cosmo, che finora ci ha portato a visitare dapprima il Sistema Solare, poi le Stelle e infine le galassie. Vogliamo ora soffermarci un attimo a considerare le enormi dimensioni che abbiamo raggiunto nel nostro percorso verso ciò che è immensamente grande. È opinione diffusa che, per i limiti della natura umana, la nostra mente sia incapace di comprendere le reali dimensioni dell'Universo, dovendosi accontentare di formulare numeri giganteschi (i numeri "astronomici" appunto) senza riuscire ad afferrare davvero il loro significato.

Eppure, noi qui proveremo a sfatare questo luogo comune, impegnando la nostra immaginazione in un'analogia basata su una sequenza di *scatole cinesi*, ognuna delle quali è mille volte più grande della precedente. Se riusciremo, con uno sforzo d'intuito, ad abbracciare mentalmente tutta la serie di queste *scatole* (dalla nostra città fino all'Universo), avremo certamente capito meglio "quanto è grande il Mondo".

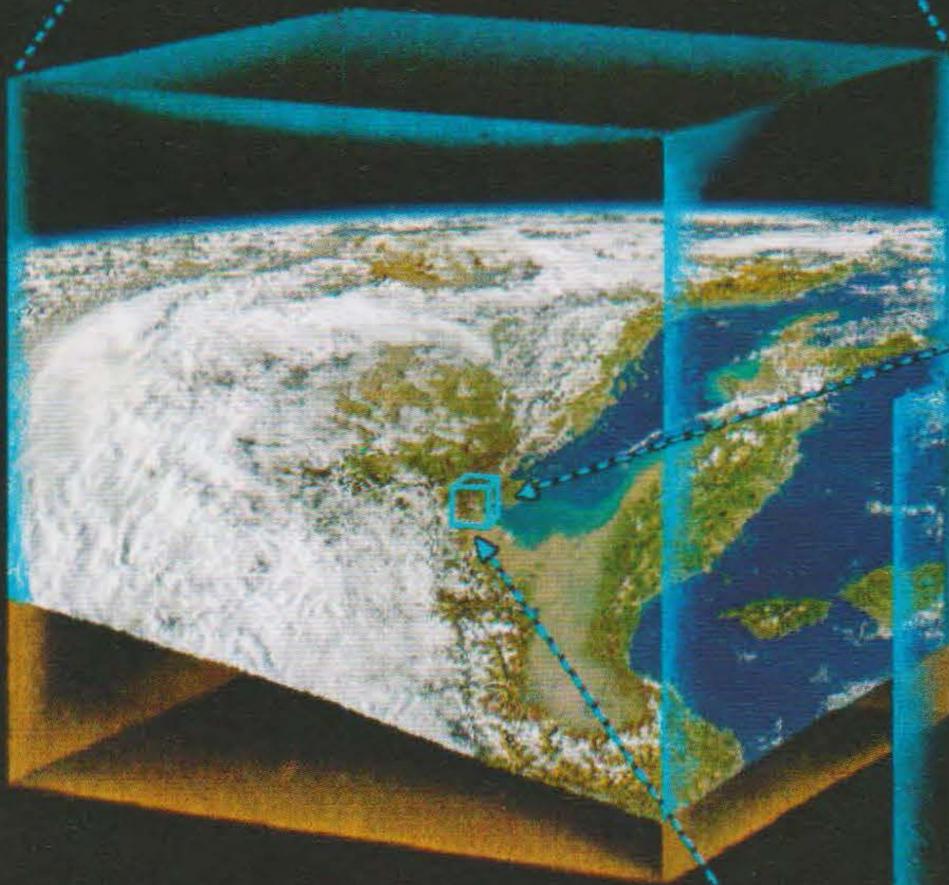
Pubblichiamo qui, a tutta pagina (pag. 60-61), una inedita illustrazione che abbiamo appositamente realizzato con l'intento di agevolare questo percorso intuitivo, volto a *interiorizzare* nella nostra coscienza la "misura dell'Universo". Poiché ciascun elemento della sequenza è 1000 volte maggiore del precedente, occorre innanzitutto imparare a padroneg-



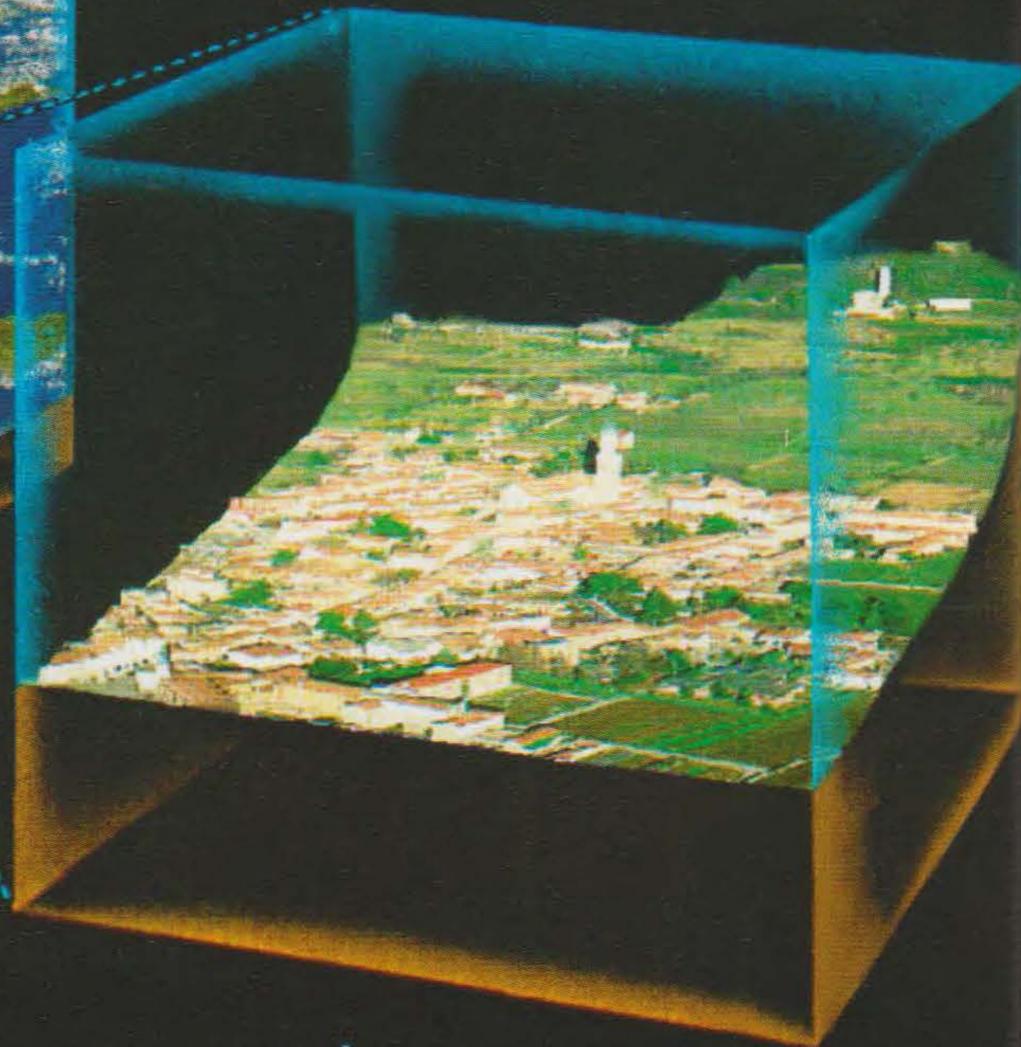
TERRA-LUNA 1 milione km



SISTEMA SOLARE 1 miliardo km

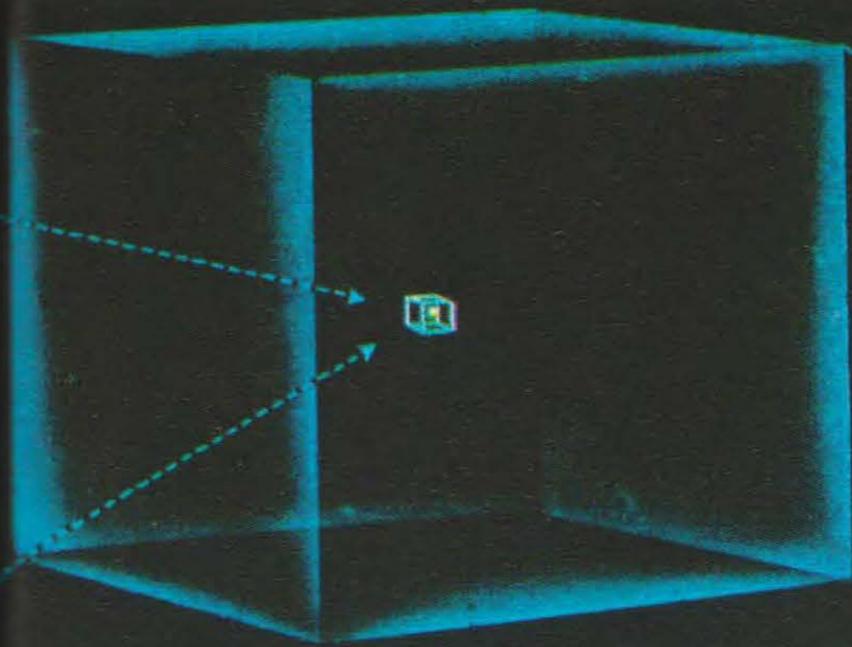


ITALIA 1000 km

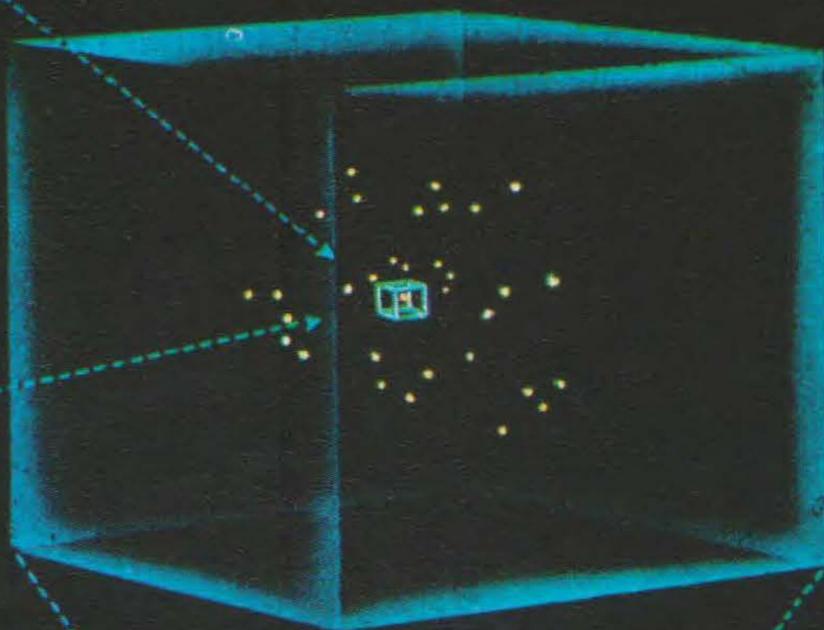


CITTÀ 1 km

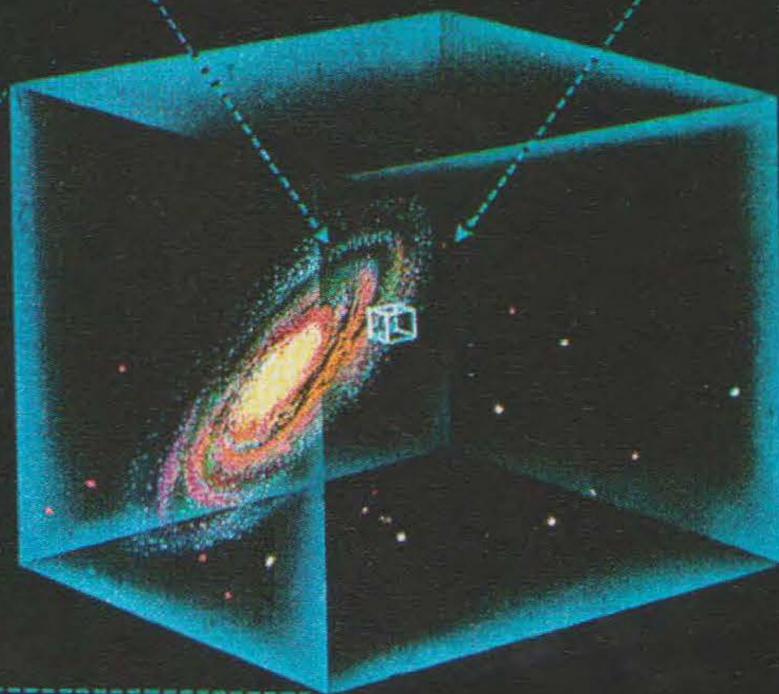
*Grafica originale: S. Ferluga*



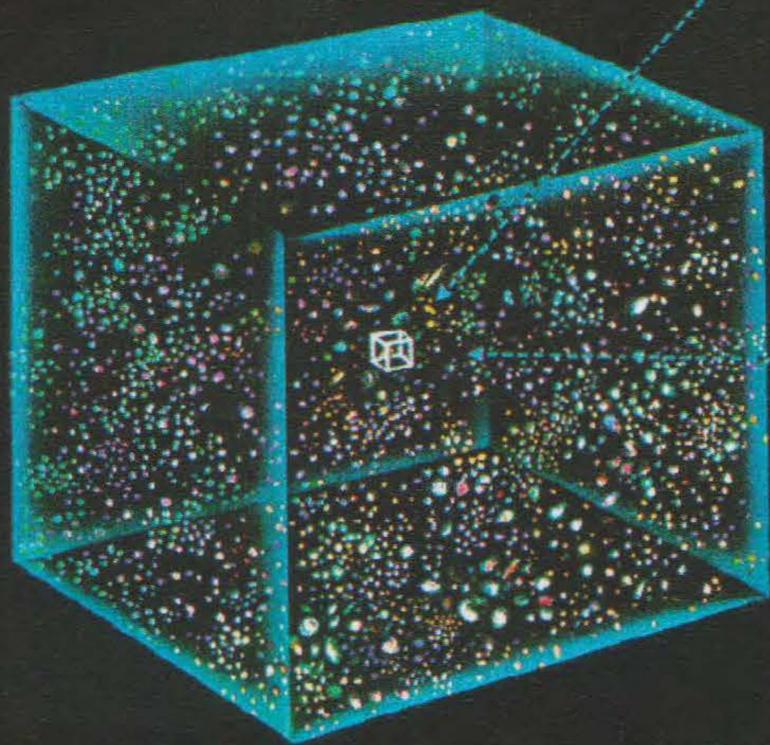
DINTORNI DEL SOLE 0,1 anni-luce



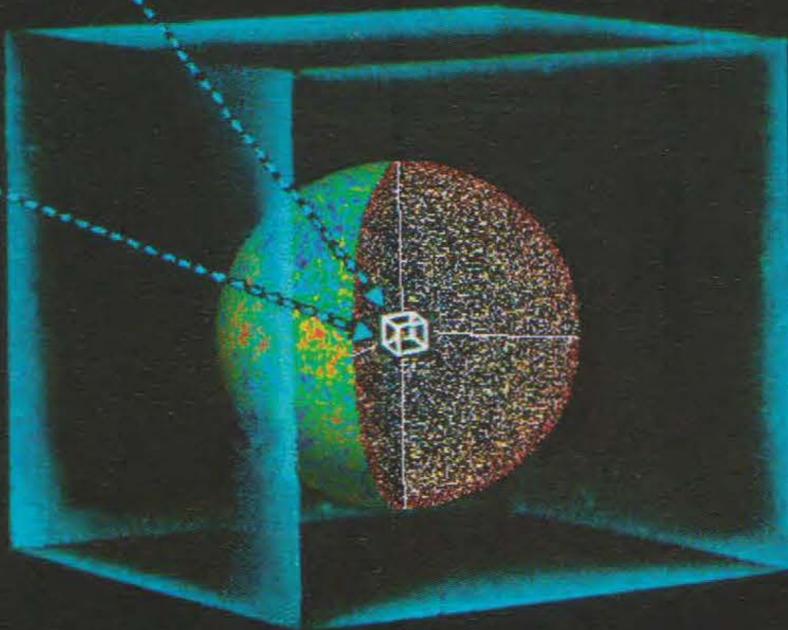
STELLE VICINE 100 anni-luce



VIA LATTEA 100 mila anni-luce



AMMASSI 100 milioni anni-luce



UNIVERSO 13,7 miliardi anni-luce

Dalla città (Cormòns)  
all'Universo, ogni cubo  
è 1000 volte più grande  
(figura inedita).

giare intuitivamente questo fattore 1000: è lo stesso rapporto che c'è ad esempio tra un granello di zucchero di canna (lato 1 millimetro) e il tavolo su cui poggia (lato 1 metro).

La sequenza consiste di 9 *cubi*: la nostra Città (1 km), l'Italia (1000 km), il sistema Terra-Luna (1 milione di km), il Sistema Solare (1 miliardo di km), lo spazio interstellare (0,1 anni-luce), le stelle vicine (100 anni-luce), la Via Lattea (100 mila anni-luce), gli ammassi di galassie (100 milioni di anni-luce), e infine l'intero Universo osservabile (13,7 miliardi di anni-luce).

Consideriamo ora gli estremi della sequenza. Davanti all'elemento iniziale contenente la nostra Città - qui rappresentata con le fattezze di Cormòns - la serie prevederebbe un cubo di 1 metro, ovvero il tavolo stesso su cui stiamo leggendo, dove magari c'è il granello di zucchero di 1 mm... Capito il meccanismo, la sequenza potrà così aiutarci ad acquisire una maggiore consapevolezza della "misura del Mondo".

Per quanto riguarda invece l'altro estremo della sequenza, il lettore attento si sarà forse posto una domanda: *perché l'elemento finale che rappresenta tutto l'Universo osservabile, ha la forma di una sfera?* Perché il suo raggio è di 13,7 miliardi di anni-luce, esattamente pari all'età dell'Universo? E perché noi ci troviamo precisamente al centro di questa sfera?

Le risposte - proprio come nei romanzi gialli - si potranno leggere nei prossimi due capitoli, al termine del libro.

## La struttura a Grande Scala

Siamo così giunti veramente a contemplare il Cosmo nella sua natura più estesa. È quella che gli astronomi chiamano la *struttura a grande scala*, una specie di immane reticolo a maglie irregolari, fatto di nodi e filamenti, che pervade uniformemente l'intero Universo. Questi filamenti e nodi sono raggruppamenti di ammassi e super-ammassi di galassie, che contano ciascuno decine di migliaia di membri.

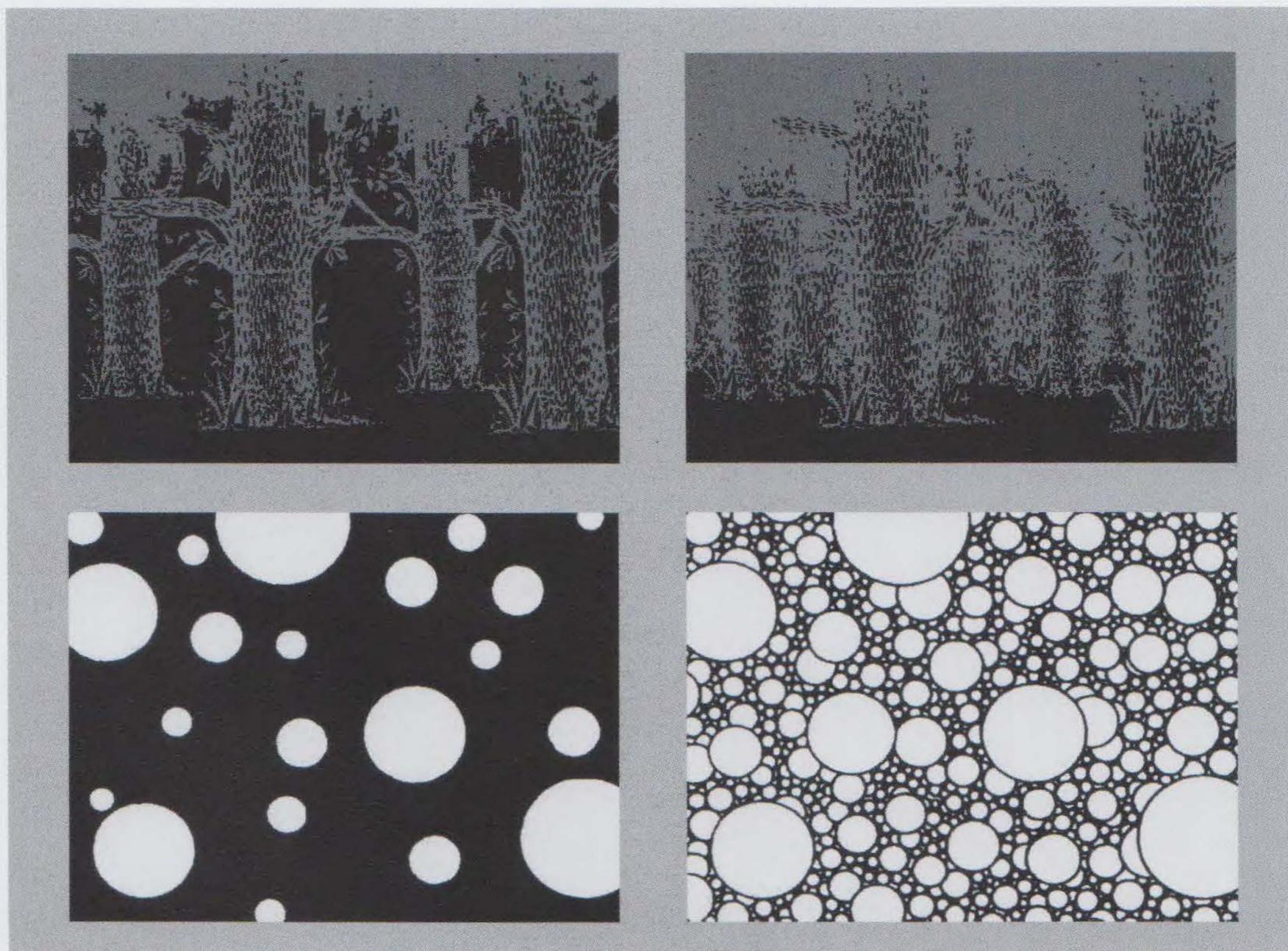
Tracciare una mappa di questa immensa struttura non è facile, perché occorre misurare le posizioni e le distanze di centinaia di migliaia di galassie. Ma è un lavoro appassionante, perché lo strano disegno che ne emerge mostra l'aspetto reale della struttura a grande scala, simile a una spugna o a una ragnatela - che rappresenta, in ultima analisi, il vero volto del nostro Universo.

# LO SPAZIO PROFONDO

## La notte è buia - ovvio ma... sconvolgente!

Ma che c'è di strano nel buio notturno - direte voi - di notte non c'è il Sole, e quindi fa buio! Eppure le cose non sono così facili; perché esistono anche le stelle. E se da sempre l'Universo ospita un numero infinito di stelle sparse nello spazio sconfinato, allora pensandoci attentamente... comprendiamo che in ogni direzione del cielo verso cui spingiamo lo sguardo, dovremmo a un certo punto vedere una stella. Di conseguenza, la volta celeste dovrebbe risultare completamente ricoperta di stelle, al punto da risplendere con chiarezza abbagliante. È questo il famoso *paradosso di Olbers*.

Se non ne siete ancora convinti, pensate a quanto accade entro una foresta. I tronchi degli alberi, per quanto distanti tra loro, formano in lontananza una barriera visuale che impedisce di vedere oltre, poiché ad un certo punto il nostro sguardo s'imbatte comunque in un tronco. Così nell'Universo, pensato come una sterminata foresta di stelle, vedremmo le stelle infittirsi in lontananza nel cielo, fino a formare una impenetrabile barriera luminosa.



*Paradosso di Olbers*, la notte è buia perché la "foresta" di stelle non è infinita (grafica: S. Ferluga).



Campo Ultra-Profondo (UDF), 10000 galassie lontane da 1 a 13 miliardi di anni-luce.



L'aveva già intuito nell'Ottocento il geniale scrittore Edgard Allan Poe: "Se l'Universo fosse fatto come ingenuamente ce lo raffiguriamo - infinito nel tempo e nello spazio, e uniformemente popolato di stelle - allora la notte non potrebbe essere buia". Un secolo fa, il fisico Lord Kelvin (padre della termodinamica) dimostrò poi matematicamente che l'oscurità della notte è la prova manifesta che l'Universo deve essere del tutto differente da come di solito ce l'immaginiamo. Insomma il fatto stesso che di notte fa buio, ciò che sembra un'ovvia banalità, rappresenta invece un fatto paradossale, chiamato appunto *paradosso di Olbers* (dal nome dell'astronomo che per primo lo formulò), e costituisce la più fondamentale delle osservazioni cosmologiche.

In conclusione, la totale oscurità del cielo notturno testimonia le cose non stanno così, come nell'idea "ingenua" di Universo. Quindi, dobbiamo concludere che la nostra idea semplicistica dell'Universo, pensato come una selva sconfinata di stelle e galassie, è profondamente sbagliata!

### **Espansione dell'universo e *redshift***

E' ormai comunemente accettato che il *redshift*, ossia lo "spostamento verso il rosso" dello spettro osservato delle galassie lontane, è la conseguenza dell'espansione cosmica, come scoperto da Hubble nel 1929. E' però importante sgomberare il campo da un curioso equivoco nel quale spesso cadono i non specialisti. Infatti i *redshift* cosmologici non sono dovuti, come spesso si crede, ad una velocità di allontanamento delle galassie da noi (effetto Doppler), ma sono conseguenza dell'espansione dello spazio in cui le galassie si trovano. L'effetto del *redshift* sugli spettri si può notare molto chiaramente dal grafico degli stessi (pag. 69 in alto).

Spesso immaginiamo erroneamente che l'universo si espanda "in qualcosa" come se crescesse entro un ambiente esterno, e anche la tradizionale visione che si dà dell'espansione cosmica è quella di un palloncino che si gonfia. In realtà l'universo si espande *in sé stesso*: l'usuale spazio tridimensionale infinito, che all'origine dell'Universo aveva ovunque una densità altissima, si è poi dilatato (come un panettone infinitamente grande che lievita) e ha visto la distanza tra le galassie aumentare progressivamente (come le uvette nel panettone). E' evidente allora che le galassie non si muovono rispetto allo spazio ma sono invece solidali con esso, per cui non c'è alcuna velocità propria né effetto Doppler.

Il *redshift* cosmologico è dovuto precisamente al fatto che le onde elettromagnetiche partecipano all'espansione cosmica, e così mentre il segnale luminoso viaggia nel cosmo per raggiungerci, la sua lunghezza d'onda *si dilata* ovvero si sposta verso il rosso. Il *redshift* aumenta con la distanza, poiché aumenta lo spazio in espansione che viene attraversato dalle onde luminose. Per il *redshift*, che viene normalmente indicato con  $z$ , vale la relazione  $z = \Delta\lambda/\lambda$ , dove  $\lambda$  è la lunghezza d'onda emessa e  $\Delta\lambda$  la sua variazione.

## Gli strani colori del profondo

Nell'immagine del Campo Ultra Profondo (pag. 64-65), tutti i colori delle galassie che osserviamo sono pesantemente trasformati dall'effetto del *redshift*. Siccome nei *Deep Field* la grande maggioranza degli oggetti ha  $z \approx 1$ , ciò significa che quelle galassie, oltre ad apparire come erano circa 8 miliardi di anni fa, ci mostrano la radiazione del vicino ultravioletto, interamente trasportata nel visibile. Le sfumature cromatiche dell'immagine riflettono quindi dei 'colori ultravioletti', che sarebbero del tutto invisibili all'occhio umano in assenza dello spostamento verso il rosso.

Basta dare un'occhiata a una qualsiasi immagine profonda (pag. 68) per rendersi conto della sovrabbondanza di minuscoli oggetti irregolari e informi, che popolano lo spazio tra le galassie normali. Questi piccoli oggetti, denominati *blocks* dal termine inglese blocchi o unità, appaiono di colore molto blu; ciò significa, tenendo conto del *redshift*, che essi hanno una enorme emissione ultravioletta, tipica di stelle molto giovani. Molti si trovano raccolti in piccoli gruppi, o addirittura aggregati a formare strutture polinucleate più grandi. Infine gli oggetti protogalattici più remoti appaiono tutti rossi, poiché con  $z$  superiore a 6 anche l'emissione ultravioletta viene spostata fino al rosso.

## Le tre distanze cosmologiche

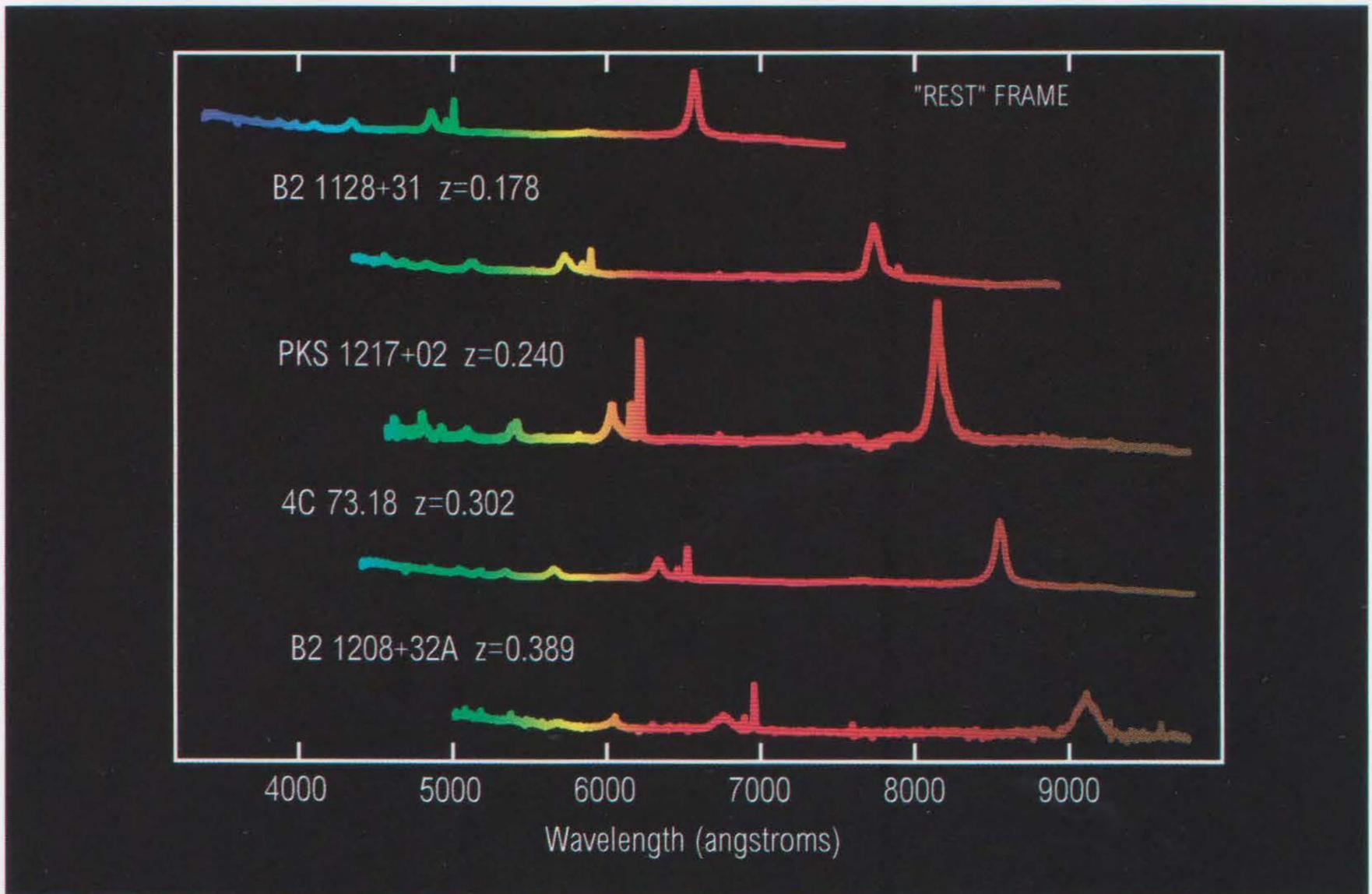
Quanto al concetto di distanza, occorre precisare il fatto fondamentale che in un universo in espansione si possono definire ben tre distanze. La prima è quella che l'oggetto aveva da noi al momento dell'*emissione*, la seconda è quella che l'oggetto ha da noi oggi cioè al momento della *ricezione* del segnale, infine la terza è la distanza di *comunicazione*, ossia quella percorsa dalla luce durante il suo viaggio. I diversi andamenti di queste tre distanze in funzione del *redshift*  $z$  sono disegnati nella figura (pag. 69 in basso).

Ciò che di inaspettato si scopre è che la distanza alla emissione  $D_e$  ha un massimo in corrispondenza del  $z=1,25$ , dopo il quale essa inizia a diminuire (si veda il tracciato  $D_e$  nella figura). Questo significa che la luce, e quindi l'immagine proiettata in cielo degli oggetti che noi osserviamo ad esempio con  $z=3$ , proviene da una distanza da noi inferiore rispetto all'immagine degli oggetti con  $z=2$ , sebbene i primi siano sempre stati e sempre saranno più lontani da noi rispetto ai secondi! Questo si capisce se si pensa che più il *redshift* aumenta, più si vanno ad esplorare epoche antiche, quando l'universo era molto più denso e le distanze reciproche tra gli oggetti erano sempre più piccole.

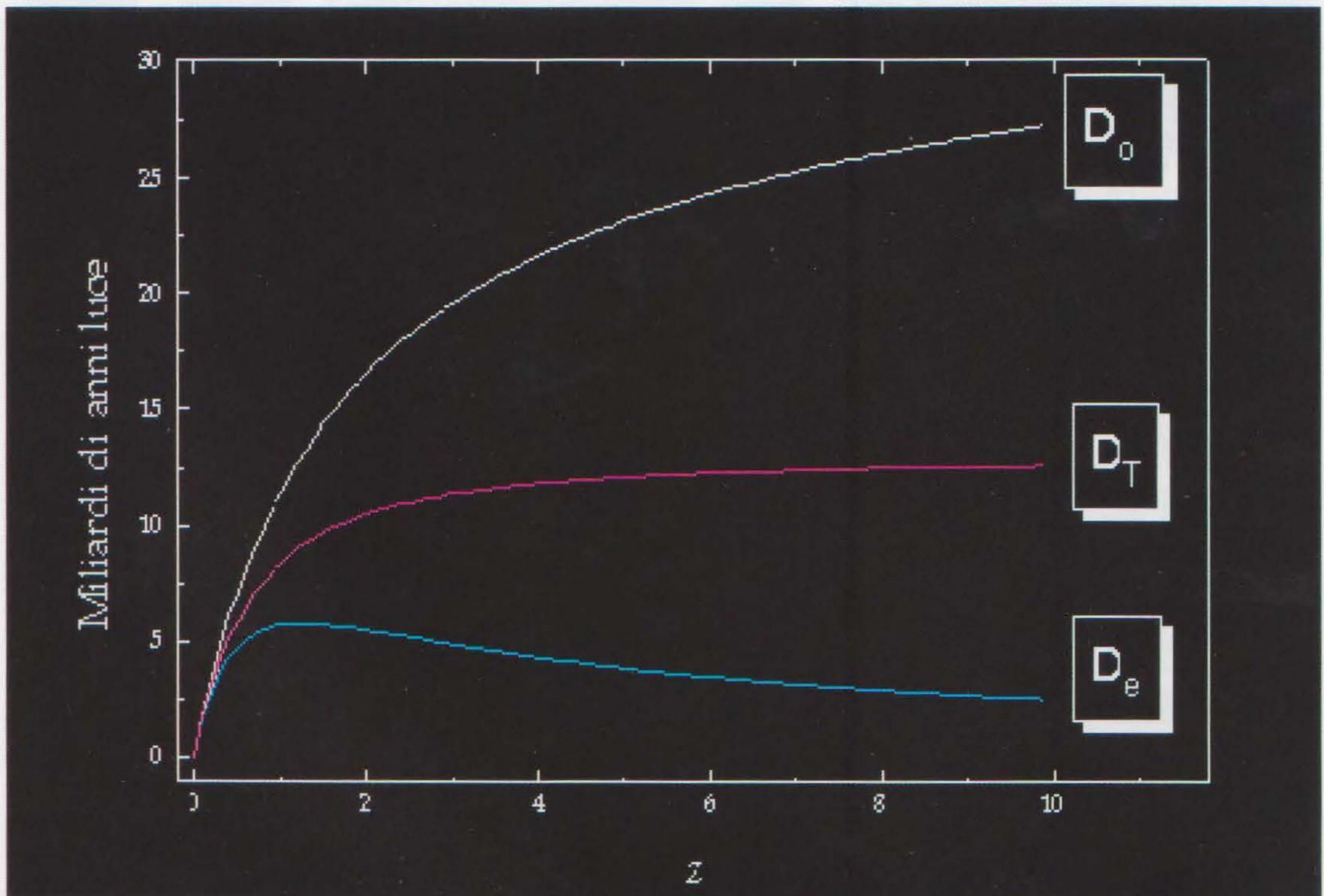
Si assiste così ad un "effetto lente", per cui gli oggetti realmente più lontani, e che quindi hanno emesso la propria luce più indietro nel tempo, appaiono più grandi rispetto a quanto potremmo aspettarci dalle normali regole della prospettiva. Si tratta però solamente di un ingrandimento nelle dimensioni apparenti degli oggetti, mentre l'intensità luminosa diminuisce sempre di più rendendoli sempre più difficili da rilevare. Questi bizzarri effetti dovuti alla espansione cosmica, che fino a pochi anni fa erano solo bagaglio concettuale dei cosmologi, ora nei vari *Deep Field* diventano chiaramente visibili per la prima volta.



Angolo *a destra in alto* di UDF (pag.65): le piccole galassie *rosse* sono a 13,3 miliardi di anni-luce.



Il *redshift*  $z$  sposta gli spettri verso il rosso.



Distanze cosmiche ( $D_e$  = *emissione*,  $D_T$  = *comunicazione*,  $D_0$  = *ricezione*) in funzione del *redshift*  $z$ .



La concezione antica delle "sfere" (da *C.Flammarion*).

# L'UNIVERSO INTORNO A NOI

## L'Universo è finito o infinito?

Una risposta precisa a questo interrogativo, sul quale per millenni si sono cimentati i filosofi, può essere ricavata oggi dalla moderna cosmologia. Come vedremo, vi è un tipo di risposta che si può dare in una maniera chiarissima, immediata. L'universo – inteso come regione cosmica accessibile all'osservazione – è finito, in modo veramente drastico. Infatti, per stringenti ragioni fisiche e geometriche che la natura stessa impone, l'universo osservabile risulta necessariamente finito, pur essendo vastissimo.

Formuliamo la domanda in altri termini. Aumentando il potere dei nostri telescopi e dei nostri strumenti (gli astronomi costruiscono e impiegano strumenti sempre più potenti), potremo esplorare mondi sempre più lontani senza limiti? Potremo conoscere lo spazio cosmico a distanze sempre maggiori senza fine? La risposta è *no*. Infatti, per quanto potenti siano i telescopi, al di là di una certa distanza fissa e ben determinata, non è possibile spingersi. Già con gli strumenti che abbiamo a disposizione da qualche decennio, questa distanza limite è stata raggiunta. Si tratta di un insormontabile orizzonte di visibilità, imposto dalla natura stessa del cosmo, per sua geometria spaziale e temporale.

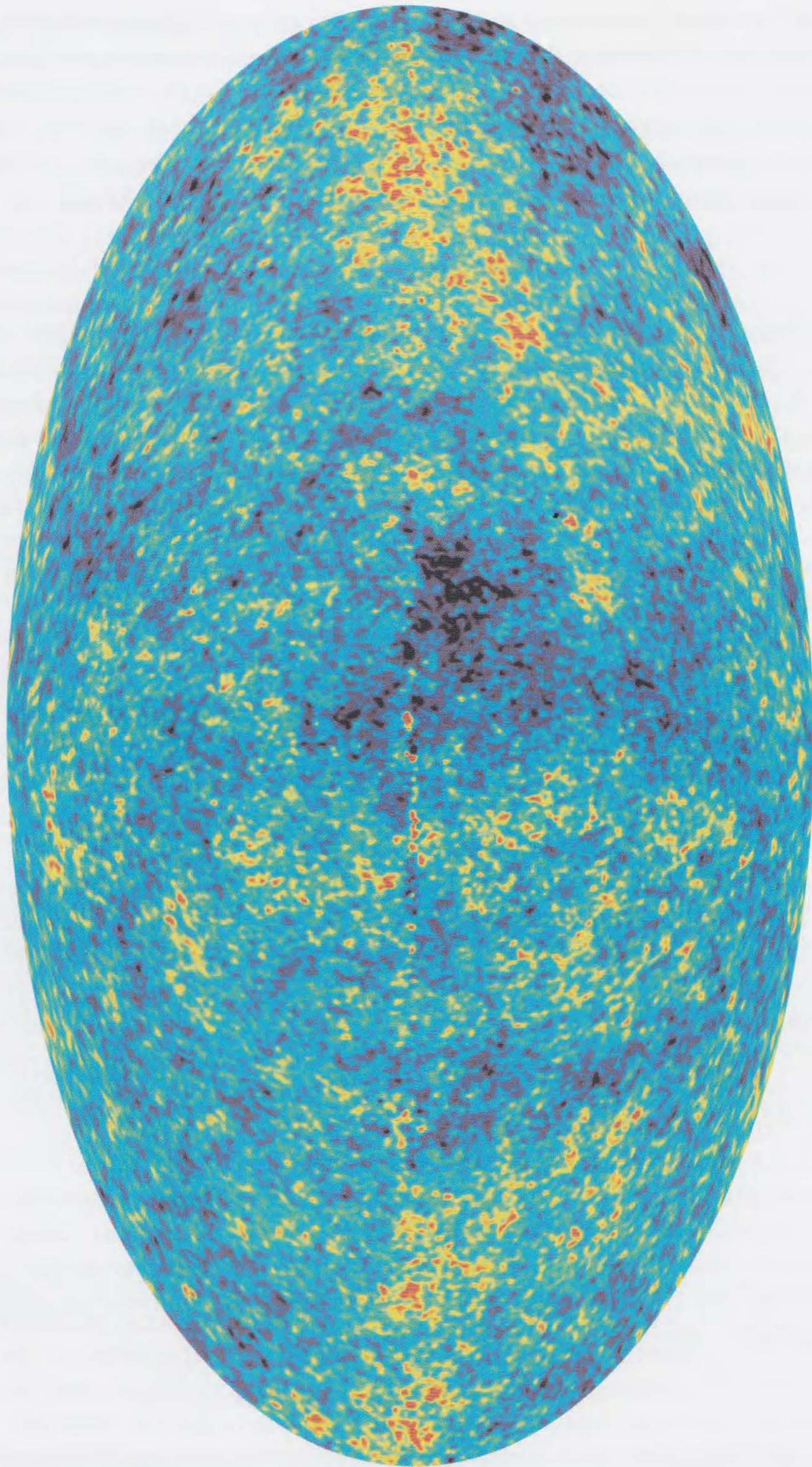
Con la cosmologia moderna, siamo ora giunti a una situazione in qualche modo analoga a quella in cui si trovavano nel Rinascimento gli antichi navigatori, quando si resero conto che la Terra era veramente rotonda: per quanto a lungo si navigasse, non si potevano raggiungere territori più lontani delle dimensioni del nostro pianeta. Si era capito che la Terra era limitata, e che aveva una superficie finita sulla quale c'erano i mari e i continenti. Ciò che rimaneva da esplorare si poteva studiare con maggiore dettaglio, ma non si poteva andar più lontano, per modo di dire...della Nuova Zelanda (posta ai nostri antipodi).

Nel cosmo avviene qualcosa di simile: è impossibile osservare più lontano di una ben determinata distanza, per quanto potenti siano i telescopi che si possono costruire. Comprenderemo la ragione profonda di tale limitatezza (che dipende in ultima analisi dall'età dell'universo) soltanto al termine del libro, il quale appunto intende fornire una descrizione del cosmo nel suo insieme. Ma occorre chiarire le idee sin dall'inizio: l'universo, anche se risulta otticamente inaccessibile, si estende sicuramente anche oltre la distanza osservativa limite. Ed è proprio per tale motivo che si usa il termine "orizzonte cosmico" (come per l'orizzonte marino, oltre il quale il mare continua anche se non è visibile). Nell'universo, la distanza dell'orizzonte è pari precisamente a 13,7 miliardi di anni-luce, ovvero 137 mila miliardi di miliardi di km.

È oggi accertato che l'universo fisico, così come noi lo concepiamo, non esiste dall'eternità, ma ha un'età finita. Una delle fondamentali acquisizioni della scienza del Novecento è, infatti, l'aver scoperto che l'universo stesso ha avuto origine circa quindici miliardi d'anni fa, da uno stato di altissima densità e temperatura: il cosiddetto Big Bang. Da qualche anno, grazie alle accuratissime mappature della sonda *Wmap*, conosciamo il valore dell'età dell'universo con notevole precisione: esattamente 13,7 miliardi di anni (con un'incertezza di appena il 2%).



La volta celeste in luce visibile ci mostra le stelle della Via Lattea.



La volta celeste a microonde (sonda *Wmap*) ci mostra le condensazioni primordiali.

Ma se è vero che l'universo è nato 13,7 miliardi di anni fa, allora cosa c'era prima? Nulla, rispondono i cosmologi. Infatti, eventi che precedono l'origine dell'universo, cioè dello spazio e del tempo, non sono fisicamente concepibili (voler considerare tali eventi sarebbe un po' come cercare sul mappamondo un luogo più a nord del Polo Nord, afferma il celebre cosmologo Steven Hawking). C'è infine da notare che, per l'universo, 13,7 miliardi di anni fa non sono poi tanti. Appena il triplo dell'età della Terra!

## La "lentezza" della luce

Quando noi osserviamo tramite la luce e vediamo "qualcosa", in realtà è la luce che ci arriva da quel "qualcosa" e che colpisce il nostro occhio. Per viaggiare fino a noi questa luce ha messo del tempo. Ad esempio, per arrivare dalla Luna, la sua immagine ha impiegato 1 secondo; per arrivare dal Sole ha messo 8 minuti; quando vediamo un bel panorama dalla cima di un monte, la luce ci ha messo 1 millesimo di secondo. La luce che ci arriva ci porta un messaggio di com'erano gli oggetti quando essa è partita. Questo fatto è fondamentale. Infatti quando noi "vediamo" un oggetto, non lo vediamo come esso come è, bensì lo vediamo come *era* quando mi ha mandato la luce. Dunque, guardare un raggio di luce che arriva è un po' come ricevere una lettera, che ci racconta di ciò che accadeva quando è stata spedita.

Questo fatto, trasferito nell'esperienza quotidiana avrebbe un significato sorprendente: immaginiamo che la luce sia molto lenta, e immaginiamo di osservare una via della nostra città con una luce lentissima, che percorra 1 metro in 10 anni. Se così succedesse, guardando la strada noi vedremmo le automobili moderne pochi metri davanti a noi, poi 20 metri più in là le carrozze dell'Ottocento, poi più in là ancora vedremmo il Medioevo, e in fondo alla via le origini della civiltà...

Possiamo così intuire già ora che la velocità finita con cui la luce si propaga è, insieme all'età finita dell'universo, la ragione profonda per cui al di là di 13,7 miliardi di anni-luce di distanza noi non possiamo vedere più nulla. Infatti nella realtà vediamo intorno a noi le stelle vicine (pag. 72) come sono praticamente all'epoca attuale; poi vediamo le galassie lontane (arrossate dal *redshift*) così com'erano qualche miliardo di anni fa. Infine, alla distanza di oltre tredici miliardi di anni-luce, vediamo (trasportate dal *redshift* nelle microonde) le condensazioni primordiali così com'erano poco dopo la nascita dell'Universo (pag. 73): in pratica vediamo... l'origine stessa dell'Universo!

Ciò limita per sempre il sogno della nostra fantasia di poter andare a immaginare mondi sempre più lontani, a immaginare un cosmo sconfinatamente vasto nello spazio e nel tempo, dove andare a esplorare, con strumenti sempre più potenti, come è fatto il mondo, come è fatta la Natura. Questo sogno d'infinito è perduto per sempre, perché il nostro universo non ci permette di andare al di là di questa "barriera" di osservabilità. Adesso vogliamo capire perché esiste questa barriera.

## Il paradosso risolto

Questo problema ci riporta al *paradosso di Olbers*. L'argomento è stato formulato in molti modi e si è cercato di dare varie possibili spiegazioni, che però sono tutte piuttosto com-

plesse. Rimane comunque il fatto enigmatico che il cielo notturno è buio; un fatto banale, ovvio, ma effettivamente enigmatico. Per uscire da questo paradosso vi sono due soluzioni da considerare:

1. Le sorgenti luminose si allontanano da noi; per quello stesso effetto Doppler che causa lo spostamento verso il rosso dello spettro delle galassie in fuga, si dovrebbe avere una rarefazione del flusso di energia luminosa (perché il colore della loro luce sarebbe più rosso, e dunque meno energetico). Di qui deriverebbe che il flusso che riceviamo dalle regioni più distanti è inferiore a quello ricevuto dalle più vicine, e il flusso totale può avere un valore finito anche se l'universo ha dimensioni infinite.

2. La densità media delle stelle e la loro luminosità media varia nel tempo. Possiamo pensare ad esempio che le stelle si siano "accese" tutte in un certo istante nel passato, prima del quale esse non esistevano. Quest'ultima spiegazione, più ancora della precedente, rappresenta effettivamente la soluzione del problema. La luce delle stelle più lontane semplicemente non ha ancora fatto in tempo a raggiungerci: ecco la ragione per cui non le vediamo!

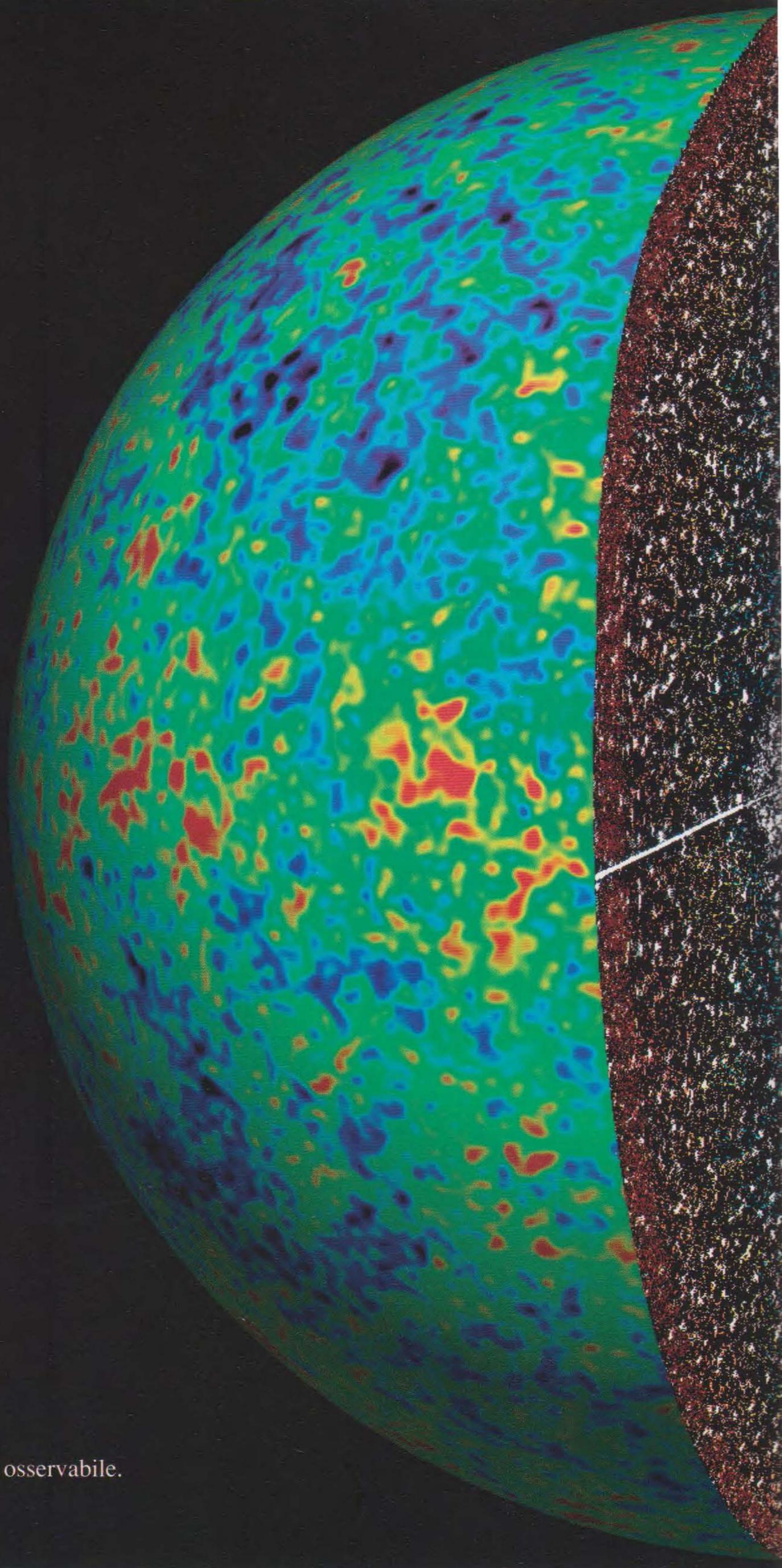
Finora abbiamo parlato di stelle, per semplificare le cose. Ora si sa che nell'universo le stelle sono raggruppate in grandiosi sistemi che si chiamano galassie, e che le galassie sono praticamente gli oggetti unitari nell'universo: le galassie sono fatte di centinaia di miliardi di stelle. Discutendo del paradosso di Olbers, avremmo dovuto più correttamente parlare di *galassie* anziché di *stelle*, ma il problema non cambia: le galassie dovrebbero farsi ombra l'un l'altra. A questo punto viene spontaneo chiedersi: "Ma l'astronomo, che dispone di strumenti sempre più potenti, guardando con i suoi strumenti il cielo, cosa vede?".

Il telescopio rivela più stelle dell'occhio umano, è vero: già Galilei col suo cannocchiale ne vide di più: aumentando la potenza dei telescopi si sono viste sempre più galassie, andando a distanze più grandi. Adesso siamo giunti al punto in cui non si scoprono più tante galassie nuove aumentando la potenza dei telescopi, vale a dire che anche i telescopici sono arrivati al fondo.

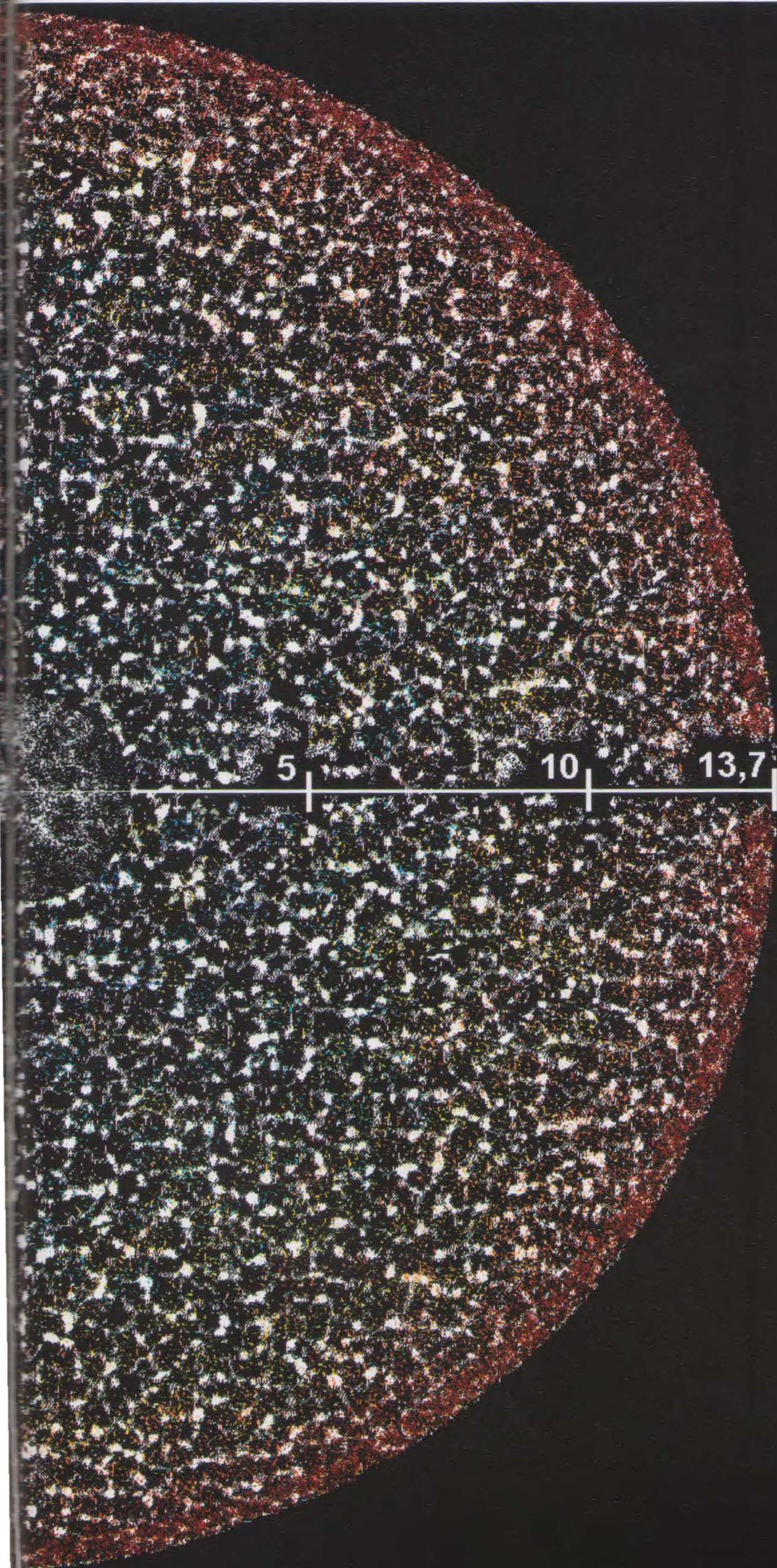
Questa verità immediata è visibile a occhio nudo – che il cielo è buio – si può in qualche maniera sondare utilizzando telescopi potenti. I telescopi mettono in evidenza numerosi oggetti distanti e deboli; tuttavia, al di là di un certo limite, e siamo sui 13-14 miliardi di anni-luce, non ci sono più galassie che si riescono a scoprire, semplicemente perché non ce ne sono altre da vedere.

## La mappa finale

Alle pagine 76-77 è riportata un'inedita mappa dell'Universo, che è stata realizzata dall'autore proprio in occasione di questa pubblicazione. L'Universo osservabile è una sfera centrata sull'osservatore (sfera di Hubble), per cui al centro della mappa c'è la Via Lattea, o meglio la Terra (e più precisamente il lettore del libro). Intorno al vi sono le galassie (puntini), che entro un raggio di circa 2 miliardi di anni-luce sono state già cartografate dai telescopi (sfera grigia centrale) rivelando una distribuzione "reticolare" di agglomerati, qui riportata schematicamente sul resto della mappa (chiazze chiare). Più lontano dal



La nuova e inedita  
*Mappa Totale* dell'Universo osservabile.



*Grafica originale:  
Steno Ferluga*

centro, vediamo le galassie arrossate dal *redshift* (puntini rossi). Vicino al bordo incontriamo le protogalassie in formazione (banda rossastra). Il limite di Hubble è rappresentato dalla radiazione di fondo cielo (guscio della sfera, cfr. pag. 73).

Da notare che le chiazze chiare entro la sfera (super-ammassi di galassie) hanno la stessa misura delle macchie sul guscio esterno (perturbazioni primordiali), a conferma del fatto che la struttura cosmica a grande scala discende dalla geometria delle condensazioni primordiali!

## La radiazione di fondo a microonde

Quindi, ricapitolando le evidenze: il nostro occhio vede il cielo notturno completamente nero, come se le stelle a un certo momento dovessero terminare nella loro distribuzione intorno a noi. Gli strumenti telescopici vedono galassie fino a circa 13-14 miliardi di anni-luce, per quanto siano potenti. In più, nella gamma delle *microonde* si osserva una specie di nebbia luminosa, di muro luminoso, posto a 13,7 miliardi di anni-luce di distanza.

Questo ci fa capire che il limite di osservabilità di cui abbiamo parlato all'inizio deve essere posto a 13,7 miliardi anni-luce di distanza, corrispondente a questo muro di radiazioni di microonde. Non fosse altro perché i telescopi hanno mostrato che oltre i 12-13 miliardi di anni-luce la quantità di galassie osservabili crolla immediatamente: non se ne vedono più.

Se i nostri occhi fossero sensibili alle microonde vedrebbero i forni delle cucine e i ferri da stiro (cioè gli oggetti caldi) risplendere. Applicando la stessa tecnica per osservare il cielo potremo rappresentare la luminosità del cielo nelle microonde: il cielo osservato nella gamma delle microonde rilevano, proviene da 13,7 miliardi di anni-luce di distanza.

Sappiamo che la luce dei nostri occhi vedono non è che una piccola parte delle lunghezze d'onda che permeano il cosmo: i raggi *gamma*, i raggi X, i raggi ultravioletti (che si abbronzano), la luce visibile stessa (con i colori dal violetto al giallo rosso), i raggi infrarossi (che scaldano), le microonde, le onde radio. Vi sono tanti tipi di luce, cioè di radiazioni elettromagnetiche, che i nostri occhi non vedono e che però i nostri strumenti possono rivelare.

Le microonde sono radiazioni elettromagnetiche invisibili all'occhio. Hanno lunghezza d'onda intermedia tra i raggi infrarossi e le onde radio (tant'è vero che le microonde si usano nei forni per cucinare gli arrostiti, come i raggi infrarossi; e si usano anche nelle telecomunicazioni, come le onde radio).

Se noi avessimo occhi capaci di vedere le microonde, oltre che vedere i forni delle nostre cucine estremamente brillanti e pervasi da una gran luce dentro, noi vedremmo il cielo tutto luminoso. E se lo studiassimo, analizzando (così abbiamo fatto con i nostri strumenti) che tipo di radiazioni sono, troveremmo che si tratta di radiazioni provenienti guardate caso, da 13,7 miliardi di anni-luce di distanza. È appunto la *radiazione di fondo*. La sua esistenza fu predetta dai fautori dei modelli cosmologici che richiedono una esplosione iniziale (Big Bang), e fu scoperta in maniera accidentale da Penzias e Wilson nel 1965.

# IL BIG BANG

## La nascita dell'universo

13,7 miliardi di anni fa, dunque, deve essere accaduto un evento di portata cosmica. Questo evento, che si può identificare con la nascita dell'universo stesso, ha nome Big Bang.

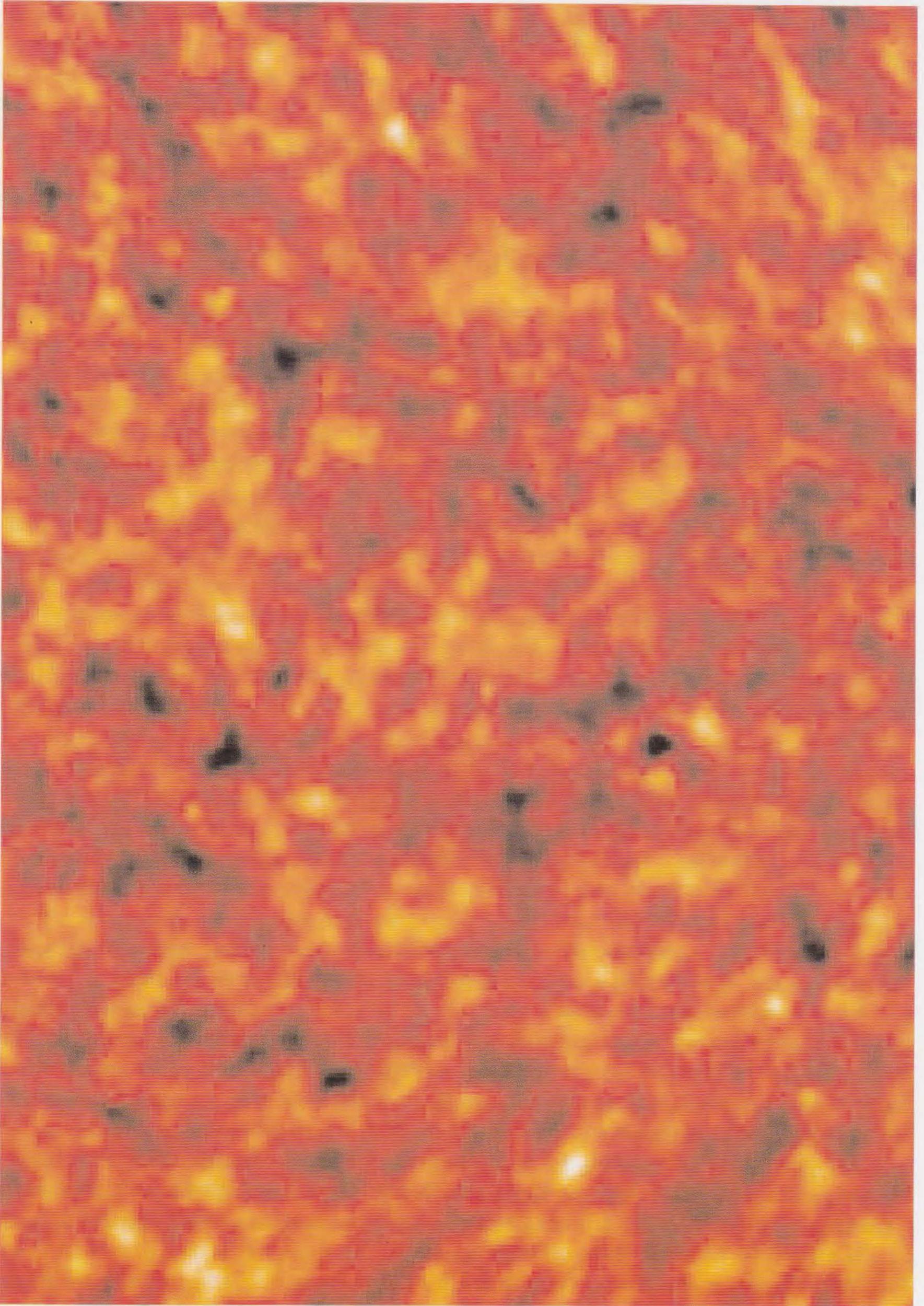
In origine la parola Big Bang era stata introdotta dai detrattori della teoria dell'espansione cosmica (in particolare Fred Hoyle, che considerava invece l'universo stazionario) a scopo denigratorio. A costoro pareva infatti che l'idea della espansione dell'universo somigliasse banalmente all'esplosione di una bomba, un grande Bang appunto. Non solo il termine Big Bang è rimasto in auge, anche ora che l'espansione cosmica è diventata il principio fondamentale della cosmologia moderna, ma anche l'idea dell'analogia con l'esplosione di una bomba.

Però una bomba esplode in un determinato punto dello spazio, e proietta i suoi frammenti tutto attorno (sono molti coloro i quali si chiedono dove mai nello spazio sia esploso il Big Bang!). Invece il Big bang non è un'esplosione avvenuta in un punto, ma è una dilatazione di tutto lo spazio cosmico, che viene osservata dall'interno dello spazio stesso. Bisogna dunque precisare che il Big Bang è analogo a un'esplosione vista *dall'interno* del materiale esplodente (come da un atomo entro la dinamite). Quanto estesa dobbiamo pensare allora la carica di dinamite? Sicuramente molto più estesa di tutto l'universo osservabile.

Una tale concezione del Big Bang, per quanto poco divulgata, è in verità proprio la concezione giusta. In particolare, la detonazione della dinamite cosmica corrisponde a una ben determinata fase dell'evoluzione dell'universo, identificata dalle teorie più moderne col termine "inflazione", che si suppone avvenuta in epoche primordiali, 13,7 miliardi di anni fa. Noi ora viviamo la fase successiva della dispersione del materiale esploso, che continua ancora con velocità decrescente.

Il cosmo, tutto l'universo, può essere considerato come un gas: un gas di galassie, ancorché un gas di particelle. Questo gas cosmico, espandendosi, deve essersi raffreddato. Quindi se adesso la temperatura è quella che è (fa freddo tremendo nello spazio cosmico: 270°C sotto zero!), questo non vuole dire che i 13,7 miliardi di anni fa facesse freddo come ora! Noi dobbiamo calcolare quanto l'universo si è espanso, i conti si fanno con le formule che ricaviamo dalla termodinamica. Si trova che a quell'epoca, quando la densità era altissima, anche la temperatura era altissima (parliamo di miliardi di gradi!).

Temperatura altissima vuol dire grande energia per ogni particella. Infatti la temperatura (quella che noi sentiamo: un oggetto caldo, che scotta) non è altro che l'energia dell'agitazione delle particelle. Allora nelle fasi iniziali dell'universo, 13,7 miliardi di anni fa, l'energia delle particelle doveva essere molto più alta. Questo è un dato di fatto: la densità doveva essere molto alta e l'energia doveva essere molto alta. Che ne è della materia in queste estreme condizioni? Queste condizioni sono state esaminate dai fisici nei labo-



Il mare di fuoco primordiale osservato da *Boomerang*.

ratori e nei grandi acceleratori di particelle, dove per alcune frazioni di secondo si creano condizioni di estrema densità ed estrema energia.

Le particelle elementari, che costituiscono gli atomi, sono a loro volta fatte di quark. Per quanto ne sappiamo, i quark potrebbero essere l'ultima componente costitutiva della materia; se questo è vero, le loro dimensioni dovrebbero essere puntiformi (a differenza delle particelle che, sebbene piccolissime, hanno una dimensione estesa). Volendo ipoteticamente isolare questi quark, spaccando le particelle, occorrerebbe una enorme quantità di energia (ed è appunto quello che i fisici tentano di fare nei grandi acceleratori).

Ecco allora cosa possiamo ricostruire, risalendo sempre più indietro nella storia dell'universo. Abbiamo detto che la densità aumenta sempre più, quindi gli oggetti, le molecole, gli atomi, le particelle si trovano sempre più a contatto. Risalendo indietro nel tempo, anche l'energia aumenta sempre di più; cioè via via che le particelle si trovano a contatto, si trovano anche a spezzarsi, urtandosi con grandissima energia. Quindi le unità di cui le particelle sono composte vengono liberate.

Esiste nella storia del cosmo tutta una successione di epoche, di ere in cui la materia ha assunto vari stati di ristrutturazione, fino a raggiungere le forme che conosciamo noi, cioè di corpi, di aggregati di molecole. Quando la temperatura e la densità erano più elevate, le molecole non c'erano e c'erano solo atomi liberi. In precedenza, quando la temperatura era ancora più alta e la densità era ancora più alta, non c'era posto per gli atomi interi ed esistevano solo elettroni e protoni, cioè particelle singole. E prima ancora la temperatura e la densità erano talmente elevate che non riuscivano più a resistere nemmeno le particelle, che erano frazionate in quark.

In questo genere di scenario dobbiamo immaginare le fasi iniziali dell'universo: una specie di magma caldissimo di quark, che poi piano piano, espandendosi e raffreddandosi, dà modo alle particelle di organizzarsi in nuclei, dà modo ai nuclei e agli elettroni di organizzarsi in atomi, e poi gli atomi in molecole, e le molecole in corpi di forma stellare, galattica, e poi via via fino alle forme biologiche che siamo noi.

## La storia delle origini

Questa serie di eventi è la storia del cosmo. Nei primi miliardesimi di secondo si è avuta la formazione delle particelle. Nei primi minuti si sono costituiti i nuclei atomici, soprattutto nuclei di idrogeno ed elio (i nuclei più semplici). Poi, nel tempo di mezzo milione di anni, si sono definitivamente formati gli atomi.

La nascita degli atomi è un evento di grandissima importanza nella storia cosmica. Infatti, prima della formazione degli atomi, l'universo divenne trasparente, assumendo un aspetto simile a quello che tuttora mantiene. Prima che gli atomi si formassero, le particelle cariche che li compongono (protoni ed elettroni) si trovavano allo stato libero. Ed è ben noto in fisica che le cariche elettriche libere diffondono ed assorbono le radiazioni elettromagnetiche; in altri termini rendono il materiale opaco (i metalli, ad esempio, non sono certo trasparenti: questo perché essi contengono elettroni liberi).

Fino all'epoca della formazione degli atomi, le radiazioni luminose erano rimaste "intrappolate" fra le particelle cariche; ma quando quest'ultime si ricombinarono (for-

mando atomi neutri), le radiazioni iniziarono a viaggiare liberamente attraverso lo spazio (divenuto trasparente). Possiamo ancora vedere questa luce primordiale, sprigionatasi circa 13,7 miliardi di anni fa? Se questa luce ci raggiunge appena adesso, ciò significa che ha impiegato 13,7 miliardi di anni per arrivare in ogni direzione. È la radiazione di fondo a microonde. Una sua immagine nitida ci è stata fornita per la prima volta dalla sonda italiana e americana *Boomerang*. Essa ci mostra “un mare di fuoco” con le condensazioni primordiali, formatesi appena 400mila anni dopo il Big Bang (pag. 80).

Ma il fondo a microonde mostra una temperatura di soli 2,7 gradi assoluti, mentre all'epoca della ricombinazione atomica la temperatura era 3000 volte più alta, e la radiazione sprigionata era brillante luce visibile. Com'è possibile? Semplicemente perché nel frattempo, a causa dell'espansione cosmica, l'universo (e la radiazione in esso contenuta) si è raffreddato e dilatato di 3000 volte. È in effetti solo un enorme spostamento verso il rosso (di un fattore 3000), che impedisce alla radiazione di fondo di arrostirci. Una situazione questa, che ricorda da vicino una delle ipotesi prospettate per il paradosso di Olbers.

Ora, vogliamo risalire sempre più verso l'istante iniziale. Ma in realtà non riusciamo ancora a raggiungerlo con le teorie fisiche, perché nell'istante iniziale dovremmo, in questa semplificazione, pensare ad una temperatura infinita e a una densità infinita (cosa che le nostre teorie non sono in grado di descrivere). Probabilmente non si trattava di condizioni infinite, e questa è soltanto un'astrazione matematica. Lo scenario che abbiamo tracciato è quello che parte da una situazione a circa 1 centomillesimo di secondo dall'inizio, ed è la situazione che è stata completamente verificata a livello sperimentale nei nostri laboratori. Dunque questo disegno di evoluzione cosmica è confortato sia dalla teoria che dall'esperimento.

Se qualcuno chiedesse cosa è avvenuto nel primo centomillesimo di secondo, si dovrebbe parlare soltanto di teorie, perché non abbiamo ancora gli strumenti sperimentali per verificare queste teorie. Di teorie ce ne sono molte, e la situazione è estremamente difficile da descrivere. Via via che si va sempre di più verso l'istante zero, l'energia è più alta; la cosa diventa sempre più difficile. E anche i costi della ricerca diventano sempre più alti. E appunto in questa fase vicina al tempo zero che la teoria moderna prevede sia avvenuto il fenomeno dell'inflazione, da cui l'espansione cosmica avrebbe preso il via. L'immensa energia esplosiva dell'inflazione (che più sopra abbiamo paragonato ad una sorta di “dinamite” cosmica) sembra infatti possa scaturire da una proprietà strutturale dello stesso spazio vuoto, che però non si è ancora ben compresa.

È opportuno a questo punto fare un po' di chiarezza sui diversi significati che vengono correntemente attribuiti al termine “Big Bang”. Taluni indicano con tale termine il tempo zero, l'ipotetica *singolarità* iniziale: un'astrazione matematica dunque. Altri si riferiscono ad un particolare istante, detto tempo di Planck (una frazione di tempo così che per scriverla occorrono 42 zeri dopo la virgola!) al di sotto del quale il concetto stesso di tempo sembra perdere significato. Altri ancora identificano il Big Bang con l'inflazione (una frazione di secondo un po' meno piccola, solo 31 zeri dopo la virgola!). A queste definizioni, con significato di evento quasi istantaneo, fanno poi riscontro altre, in cui per Big Bang si intende un'epoca primordiale più o meno lunga. Ad esempio i primi 3 minuti (formazione dei nuclei), o addirittura i primi 400.000 anni (formazione degli atomi e della radiazione di fondo). Questo dunque è ciò che è accaduto 13,7 miliardi di anni fa: l'origine dell'universo.

# IL FONDO DEL CIELO

## La visione completa

Riprendendo il filo del discorso, abbiamo chiarito come alla distanza di 13,7 miliardi di anni-luce si veda questa barriera luminosa di sfondo. Si tratta del mare di fuoco primordiale, le cui ondulazioni costituiscono appunto i "semi" dei futuri ammassi di galassie. Questa visione è permanentemente impressa sul fondo del cielo, e ci mostra l'universo come esso era circa 400 mila anni dopo l'origine. Viene chiamata radiazione fossile, ed è costituita dalla luce emessa al momento della formazione dei primi atomi nell'universo, quando la temperatura era circa diecimila gradi.

Ecco allora che il nostro viaggio nel cosmo si conclude. Comprendiamo che, al di là di questa distanza limite – corrispondente alla visione dell'origine dell'universo – non possiamo osservare più nulla. Il nulla che vediamo quando osserviamo il buio del cielo notturno, il fascino stesso che ha il cielo notturno, rappresenta il qualche modo il nulla che c'è prima dell'origine dell'universo. Si tratta di un concetto ardito, ma riflettiamo un momento: se per assurdo "qualcosa" fosse esistito ad esempio 30 miliardi di anni fa (cioè prima del Big Bang), ebbene alla distanza di 30 miliardi anni-luce questo "qualcosa" dovrebbe essere visibile. Invece il buio del cielo notturno sta a dimostrare che non c'è nulla a distanze così immense, ovvero che non esisteva nulla in epoche così remote. In conclusione, il buio della notte che sta lì nel cielo, sempre alla portata dei nostri sguardi, è la testimonianza diretta del fatto che l'esistenza dell'universo ha un termine nel passato.

L'universo osservabile intorno a noi è una sfera con il raggio pari a 13,7 miliardi di anni-luce. Un giorno, in un futuro non molto lontano, un astronomo arriverà ad un convegno e dirà: "Ecco a voi la mappa completa dell'universo!" mostrando – magari su uno schermo olografico – una sfera trasparente con all'interno numerosissimi puntini. Questi rappresenteranno le galassie e i loro ammassi, al centro sarà posizionata la nostra Via Lattea, e sul bordo ci sarà un guscio dove si vedranno le galassie più giovani, mentre il guscio più esterno riporterà la mappa dell'universo primordiale disegnata dalla radiazione fossile.

Noi abbiamo già mostrato in anteprima (pag. 76-77) questa mappa in un'inedita figura, dove però alcune ampie parti sono ancora schematiche e dovranno essere riempite appunto dagli astronomi del futuro. Per la precisione, soltanto la decima parte del raggio attorno alla Via Lattea risulta mappata al giorno d'oggi, mentre il volume restante dovrà essere scandagliato dai telescopi del futuro. In totale ci aspettiamo di trovare circa 10.000 miliardi di galassie: l'universo è tutto qui – quando la mappa sarà completata non resteranno più galassie da osservare (un po' come oggi sulla Terra non esistono più nuovi continenti da scoprire).

## Prospettiva spaziale e temporale

Questo fatto avrà un impatto notevole sulla cultura, perché pensare all'universo come qualcosa di limitato ci fa smettere di sognare un cosmo infinito attorno a noi. Anche se vi

saranno 10.000 miliardi di galassie da poter studiare, e quindi un numero immenso di altri mondi, rimane il fatto che l'universo per noi è limitato. Questo limite esiste per un fatto prospettico che la Natura stessa impone, e non è legato invece alla potenza dei nostri strumenti d'osservazione (come sarebbe facile credere).

Anche se noi non siamo al centro del cosmo, vediamo comunque l'universo intorno a noi in tutte le direzioni fino alla distanza limite di 13,7 miliardi di anni-luce. Pertanto il cosmo ci appare come se fossimo esattamente al centro; ed è questo appunto l'effetto prospettico di cui stiamo parlando. Infatti è chiaro che noi in realtà non ci troviamo al centro del mondo, bensì in un posto qualsiasi. Ma da ogni punto dell'universo si percepisce questa strana, distorta visione prospettica intorno all'osservatore. È una visione complessa, in cui lo spazio risulta in qualche modo combinato al tempo. Infatti vediamo intorno a noi una regione d'universo fatta in modo assai particolare: quanto più lontano andiamo ad osservare, tanto più andiamo indietro nel tempo. Alla distanza limite vediamo la materia cosmica come essa era all'epoca delle origini, ovvero il mare di fuoco primordiale da cui ci arriva ancora la sua radiazione fossile. Più in là non possiamo vedere nulla, perché nulla esisteva prima dell'origine dell'universo: questo è il nostro orizzonte cosmico.

## Fisica o metafisica?

Subito dietro la "sfera di fuoco" della radiazione fossile, a soli 500 mila anni-luce di distanza ancora, c'è finalmente l'*orizzonte cosmico*, ovvero la sfera limite. Bizzarra coincidenza davvero, tra la reale struttura dell'universo osservabile e l'intuizione delle "sfere del mondo" degli antichi! E oltre l'orizzonte cosmico? Nulla. L'oscurità abissale del cielo notturno è, in un certo senso, proprio l'immagine di questo Nulla.

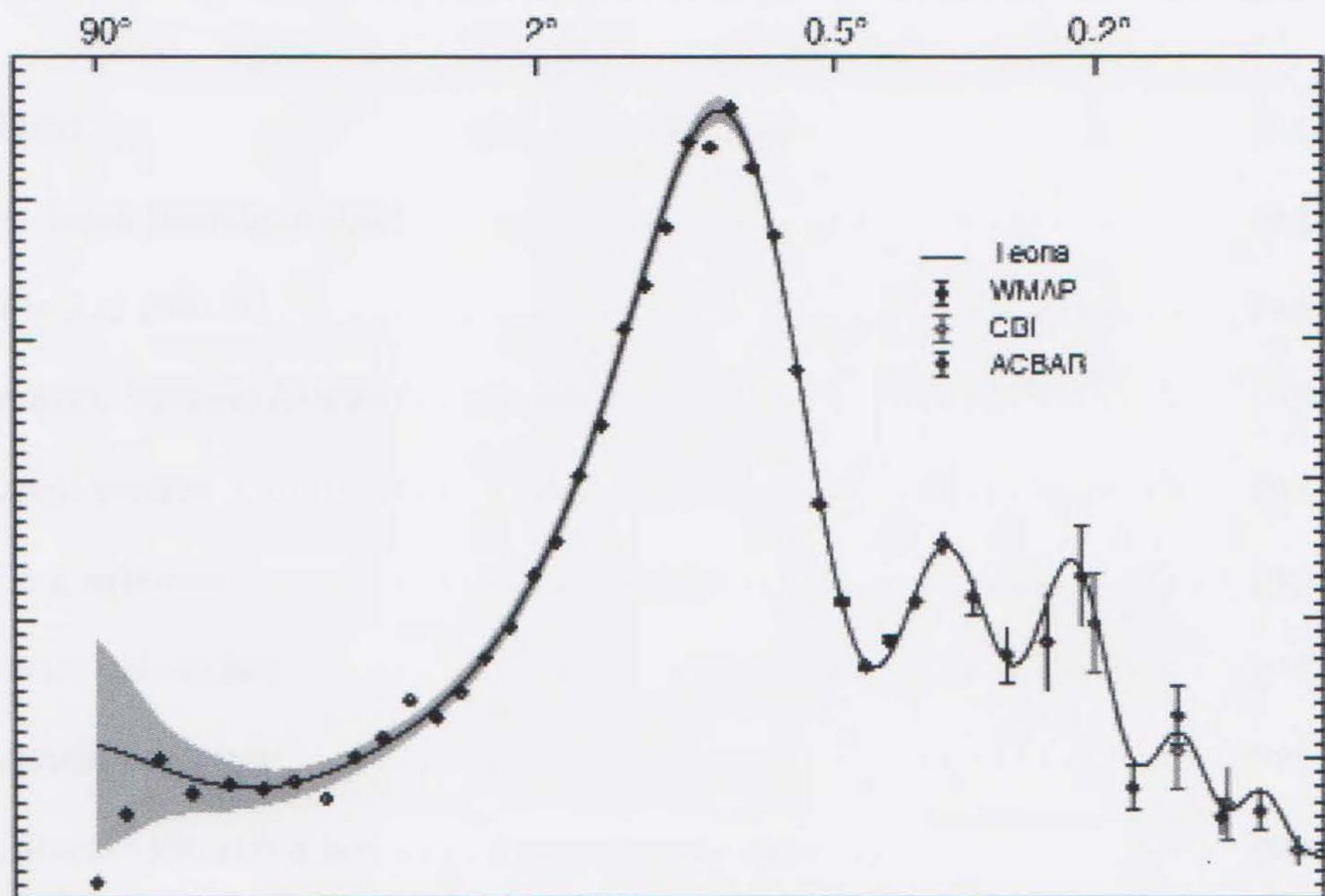
Chiaramente, però, l'orizzonte cosmico è una barriera di carattere esclusivamente prospettico, che circonda l'osservatore nel nostro universo, alla distanza limite di 13,7 miliardi di anni-luce. Nessun osservatore è in grado di vedere più oltre, ma solo perché la luce non ha fatto ancora in tempo a raggiungerlo. Di certo, allora, l'universo fisico deve estendersi anche al di là di questo orizzonte.

Ad esempio, oggi non possiamo assolutamente sapere cosa c'è a 16,7 miliardi di anni-luce di distanza da noi; ma se volessimo pazientare ancora... almeno tre miliardi di anni, potremo vederlo direttamente. Di sicuro ci attendiamo di vedere nuove galassie e ancora galassie, sconfinite distese di galassie; ma quanto più lontano ancora, al di là del nostro orizzonte, si estende veramente l'Universo? Questa domanda sconfinava davvero nella metafisica, perché occorre aspettare miliardi di anni per avere una risposta. Nell'attesa (!) i nostri lettori potranno intanto dilettersi con la nuova e inedita "*Mappa Totale dell'Universo intorno a noi*", che è stata appositamente preparata in occasione della stampa di questo libro.

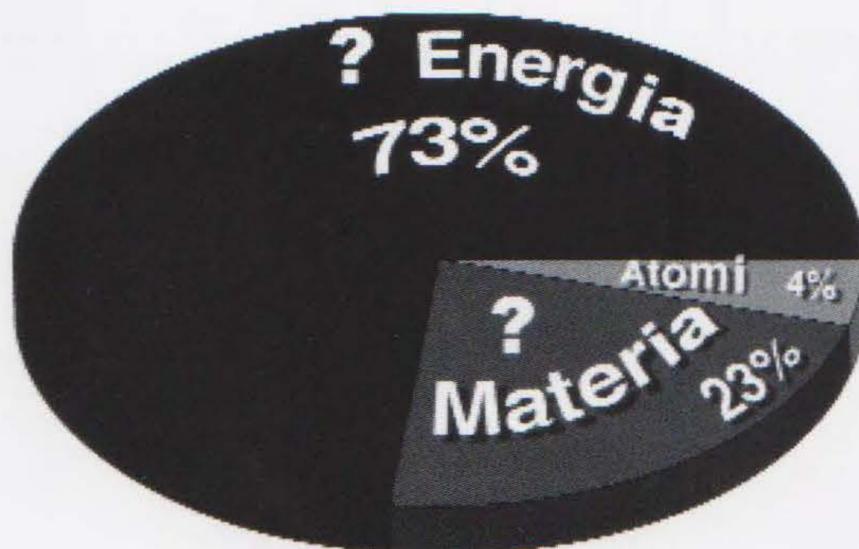
Lo studio di queste ondulazioni del "mare di fuoco" primordiale, fotografato a pagina 80, rappresenta oggi l'ultima frontiera della cosmologia osservativa. I risultati ottenuti dal pallone aerostatico italiano *Boomerang*, insieme a quelli più recenti della sonda americana *Wmap*, hanno fornito una mappa completa delle perturbazioni della radiazione di fondo del cielo. Tale mappa fornisce una visione diretta dell'aspetto dell'Universo pri-

mordiale attorno al luogo dove poi sarebbe nata la Via Lattea. Alla pagina 73 possiamo ammirare questa planisfero celeste riprodotto a colori (codificati), e confrontarlo con un' analogo planisfero del cielo stellato alla pagina 72; per capirne la grandiosità, basti pensare che da ciascuna macchiolina rossa nasceranno tra diecimila e centomila galassie!

L'analisi statistica delle condensazioni primordiali (pag. 73) ne studia il numero in funzione delle dimensioni, mettendo a confronto teoria e osservazione. Il diagramma mostra un accordo eccellente, che consente importantissime deduzioni. Innanzitutto abbiamo un valore sicuro per l'età dell'Universo, che proprio queste osservazioni fissano a 13,7 miliardi di anni ( $\pm 2\%$ ). Ma sorgono anche nuovi problemi. La composizione complessiva dell'Universo ci risulta infatti incomprensibile: come una torta di cui conosciamo soltanto una fetta del 4% (gli atomi), mentre il 23% è costituito dalla misteriosa *materia oscura*, soverchiata dal 73% di una ancor più enigmatica *energia oscura* ora ignota.



Dimensione delle fluttuazioni



La statistica delle fluttuazioni (*sopra*) rivela la composizione dell'Universo (*sotto*)

## Indice

Prefazione .....	pag. 5
Note bibliografiche.....	pag. 7
Introduzione .....	pag. 9
La Luna .....	pag. 11
Terra-Luna pianeta doppio .....	pag. 19
Il Sole e le eclissi .....	pag. 27
Mercurio, Venere, Marte .....	pag. 33
I pianeti esterni.....	pag. 39
Stelle e nebulose.....	pag. 47
Galassie e ammassi.....	pag. 55
Lo spazio profondo.....	pag. 63
L'Universo intorno a noi .....	pag. 71
Il Big Bang.....	pag. 79
Il fondo del cielo .....	pag. 83

## **ELENCO PUBBLICAZIONI DELL'UNITRÈ DI CORMÒNS**

1999: CORSO DI LINGUA E CULTURA FRIULANA  
*autore: ins. Anna Madriz*

2000: PERCORSI EBRAICI DELLA MODERNITÀ  
*autore: ins. Marco Grusovin*

2002: ORIGINI E SVILUPPO DEL CASTELLO DI CORMÒNS  
*autore: ins. Roberto Tirelli*

2003: DAL DOPOGUERRA ALLA GUERRA  
*autore: ins. Luciano Patat*

Finito di stampare  
dicembre 2004

Stampa: Grafica Goriziana - Gorizia 2004