

Società Astronomica G. V. Schiaparelli

LE DISTANZE CELESTI

Luca G. Molinari

Nov 2009

1 Premessa

L'Universo è la realtà naturale che più di ogni altra è allusione al concetto astratto di infinito. Come tale, è una sfida alla nostra ragione. La scalata alle distanze cosmiche è un'avventura straordinaria: misurando il cosmo in qualche modo lo facciamo nostro. Per alcuni millenni l'uomo ha osservato l'universo armato dei soli occhi e modesti strumenti di misura e, come per gli animali del racconto dell'arca, ha dato un nome agli astri, popolando il cielo di figure ora mitiche, ora evocative di orizzonti inesplorati, ora familiari; le costellazioni danno un volto all'ignoto e nella loro circolare processione sono una protezione, un segno col quale il viandante notturno si orienta, e nell'abisso riconosce un ordine.

Nella cosmologia greca la Terra era il centro dell'universo, come naturale conseguenza del fatto che i corpi cadono. Sole, Luna e pianeti erano disposti su sfere concentriche, cristalline e impenetrabili. Il prezzo pagato per l'accurata descrizione dei moti planetari era una sempre più insostenibile e complicata combinazione di moti circolari. La semplificazione risolutiva fu la teoria eliocentrica di **Nicolò Copernico**

(1543) che, dopo lunga gestazione, attuò la sua rivoluzione con prudenza, presentando lo scambio di posizioni del Sole e della Terra come semplice artificio per semplificare i calcoli. Nell'introduzione al "De Revolutionibus Orbium Coelestium", dedicata a Papa Paolo III scriveva: ... *non è infatti necessario che queste ipotesi siano vere, e persino nemmeno verosimili, ma è sufficiente solo questo: che presentino un calcolo conforme alle osservazioni.* Il modello copernicano spiega in modo semplice, tra l'altro, il fenomeno della variazione di splendore di Marte, il pianeta che maggiormente poneva problemi al vecchio modello, e l'elongazione massima di Mercurio e Venere dal Sole.

Nello schema copernicano, e tale rimase fino all'Illuminismo, l'universo era ancora racchiuso nella sfera protettiva delle stelle fisse ... *che contiene se stessa e tutte le cose, ed è perciò immobile. In mezzo sta il Sole. Chi infatti, in questo bellissimo tempio, porrà questa lampada in altro luogo?* Giordano Bruno pagò sul rogo la sua visione eretica di un universo infinito e senza centro.

Nel 1576 **Tycho Brahe** fondò Uraniborg, il primo osservatorio di ricerca astronomica, su un'isola al largo di Copenaghen. In

assenza di telescopi, la sua attività consisteva in accurate misure di posizione con grandi quadranti. Le osservazioni di Tycho, le ricerche sui moti planetari di **Johannes Kepler** e il principio di inerzia di Galilei, dimostrarono l'inconsistenza delle sfere concentriche: i corpi celesti si muovono senza bisogno di sostegni.

Nel 1609 iniziò la grande avventura di **Galileo Galilei**. L'osservazione del cielo col primo telescopio (il perspicillum) dischiuse impensati orizzonti. La pubblicazione nel 1610 del "Sidereus Nuncius" suscitò grande scalpore. La scoperta del fenomeno delle fasi di Venere e quella dei satelliti Medicei attorno a Giove spinsero Galilei a sostenere apertamente l'idea che i pianeti realmente ruotino attorno al Sole. L'osservazione delle macchie solari gli consentì di accertare il moto di rotazione del Sole. La Via Lattea si rivelò punteggiata di miriadi di stelle. Entrò in polemica col Collegio Romano e fu ammonito (1616), e poi costretto all'abiura (1633). Fu isolato ad Arcetri dove morì, nel 1642, afflitto dalla cecità.

Nello stesso anno in cui si spegneva Galilei, il padre della scienza sperimentale, nasceva il grande astro **Isaac Newton**. Nella sua fondamentale opera "Principia Mathematica Philosophiae Naturalis" (1686), in più volumi, pose le basi della scienza fisica. Il moto planetario venne spiegato attraverso la formulazione della legge di gravitazione universale: due masse "puntiformi" m_1 e m_2 a distanza r sono soggette reciprocamente a una forza attrattiva di intensità

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

dove G è una costante di proporzionalità. I calcoli di Halley e la predizione del ritorno

della sua cometa furono spettacolare conferma della validità della teoria.

A partire da Newton, e la sua corrispondenza con Bentley, il problema se l'universo fosse finito o infinito si spostò dal piano puramente filosofico alla discussione scientifica. Il problema ha una lunga storia, il cui aspetto più noto è il paradosso di Olbers, secondo il quale un universo infinito, eterno e pieno di stelle dovrebbe essere luminoso come il Sole, e non esservi mai la notte. Divenne chiara la necessità di studiare la distribuzione nello spazio della materia. Questa esplorazione, che qui si racconta, produsse risultati di eccezionale importanza per il progresso della conoscenza e la visione del mondo. Se i primi piccoli passi richiesero secoli, il XX secolo è testimone di passi da gigante. Ci affacciamo oggi al mistero dei primi istanti dopo la Creazione, e contempliamo un paesaggio celeste mutevole, che invecchia e si espande, e dove spazio e tempo sono intimamente connessi.

2 Le prime misure

Le misurazioni astronomiche sono in genere caratterizzate dall'inaccessibilità del corpo celeste, che si manifesta a noi come segnale luminoso. La misura della distanza è pertanto indiretta e, nel caso più semplice, è affidata a misure di angoli effettuate in punti di osservazione a distanza nota¹. Per misurare la distanza di oggetti lontani,

¹Questa procedura era impiegata in cartografia. Le misure degli angoli A e B e della base AB ricostruiscono completamente il triangolo ABC, dove C è il punto remoto. I lati AC e BC del triangolo sono calcolabili con le leggi della trigonometria piana.



Figure 1: L'universo tolemaico è racchiuso nella sfera delle stelle fisse, nel cui interno ruotano le sfere dei pianeti (da Mercurio a Saturno), del Sole e della Luna. La Terra è il centro.

bisogna osservarlo da punti ben distanziati; la migliore base con cui iniziare è il diametro terrestre.

La prima importante misura delle dimensioni terrestri risale a **Eratostene** (276–194 a.C.). Egli dirigeva la biblioteca di Alessandria, la capitale della scienza antica costruita da Alessandro Magno sul delta del Nilo. Egli osservò che la diversa altezza del Sole ad Alessandria e a Syene, località sul Nilo presso il tropico, corrisponde all'angolo tra le due località misurabile nel centro della Terra. Essendo quindi noti sia l'angolo che la lunghezza dell'arco, Eratostene dedusse il valore del raggio terrestre, abbastanza accurato. La misura fu ripetuta in modo molto impreciso da altri e riportata da Tolomeo nella sua opera *Almagesto* (II sec.d.C.), il testo che compendia la scienza astronomica aristotelica, tramandatoci dagli Arabi e,

per i secoli a venire, riferimento assoluto. Come Cristoforo Colombo verificò di persona, per molto tempo la Terra fu ritenuta più piccola di quanto essa sia.

Particolare fama ebbero le misure effettuate da **Aristarco da Samo** (310–230 a.C.), note anche a Copernico. Egli osservò che quando la Luna è nella fase di mezza illuminazione, essa forma un angolo retto col Sole e la Terra. Questa idea ingegnosa fornisce gratis un angolo altrimenti impossibile da misurare di un triangolo Terra-Luna-Sole. L'angolo tra il Sole e la Luna è misurato da Terra². Nell'ignoranza della misura della base Terra-Luna, egli poté solo dedurre i rapporti tra le misure dei lati della triangolazione: cioè che la distanza Terra-Sole è circa venti volte (in realtà è 380 volte) la distanza Terra-Luna. Inoltre poiché Sole e Luna hanno lo stesso diametro apparente (circa 1/2 grado), tanto da sovrapporsi quasi perfettamente durante le eclissi, concluse che il diametro reale del Sole è venti volte quello della Luna. Infine, dal tempo di transito della Luna nell'ombra terrestre (che egli supponeva cilindrica) durante una eclisse di Luna, egli dedusse che la Luna è circa un terzo del diametro terrestre. Queste misure, alcune chiaramente errate per difetto, permisero tuttavia ad Aristarco di affermare che il Sole è 6 volte più grande della Terra e perciò più degno di essere il centro dell'universo.

Ipparco (190–120 a.C.) fu il più grande astronomo dell'antichità. A lui risalgono l'introduzione del reticolo dei meridiani e paralleli, la scala delle magnitudini stellari e la scoperta della lentissima precessione degli

²L'angolo fu valutato circa 87° , quando in realtà è 89° , 8.

equinozi, per la quale il polo celeste degli Egizi non coincide con quello odierno. Studiando la geometria delle eclissi di Sole e di Luna, stabilì la distanza Terra-Luna in 59 raggi terrestri, quasi il valore corretto!

Nei quindici secoli seguenti la scienza astronomica occidentale non conobbe grandi progressi; gli Arabi furono importanti tramite di conoscenze col remoto oriente e a essi risale la nomenclatura di molte stelle. La tecnica delle misurazioni si raffinò grazie a nuovi strumenti, necessari alla navigazione in mare come nel deserto.

3 Il sistema solare

Come ricordato nella premessa, la Rivoluzione Copernicana fu concepita nei chiostri di Cracovia in un tempo di scoperte e di crescita culturale e non produsse un incendio, ma si propagò in sordina, tra persone colte e aperte al nuovo, con la diffusione della carta stampata e gli scambi tra le università. La maturazione del nuovo modello planetario giunse col contributo decisivo di **Johannes Kepler**, con la pubblicazione delle famose tre leggi nel 1609 (I e II) e nel 1619 (III):

I) *I pianeti descrivono orbite ellittiche aventi un fuoco in comune, occupato dal Sole;*

II) *L'area spazzata nell'unità di tempo dalla congiungente il Sole col pianeta è costante;*

III) *Per tutti i pianeti il rapporto a^3/T^2 tra il cubo del semiasse maggiore a dell'orbita e il quadrato del periodo di rivoluzione T è lo stesso per tutti i pianeti.*

Le leggi, frutto di un imponente lavoro di interpretazione dei dati astronomici accu-

mulati durante la sua collaborazione con Tycho Brahe, furono in seguito dimostrate da Newton, fondatore della dinamica.

Dato che i periodi orbitali T dei pianeti erano ben conosciuti, la misura precisa di una sola distanza planetaria dal Sole avrebbe consentito, per la III legge, la determinazione di tutte le altre. Non solo, grazie alla teoria di Newton e alla misurazione compiuta da Cavendish della costante universale di gravitazione G , avrebbe fornito il valore della massa del Sole M_{\odot} :

$$\frac{a^3}{T^2} = \frac{GM_{\odot}}{4\pi^2}$$

L'attesa misura venne effettuata sotto il regno di Luigi XIV durante una grande opposizione di Marte, quando cioè Sole, Terra e Marte sono allineati e la distanza Marte-Terra è minima. Durante la più grossa spedizione scientifica del secolo, da Parigi alla Cayenna in Sudamerica, organizzata da **Gian Domenico Cassini**, si misurò la distanza di Marte con simultanee osservazioni in due località distanti circa 6000 Km. Con semplici calcoli si dedusse la distanza di Marte dal Sole.

Le distanze planetarie sono normalmente espresse in Unità Astronomiche (U.A.), che corrisponde alla lunghezza del semiasse maggiore dell'orbita terrestre, circa 150 milioni di Km.

A Parigi, nel 1675, Roemer misurò la velocità della luce con una tecnica ingegnosa basata sull'osservazione delle eclissi del satellite Io di Giove, ben visibile anche a modesti ingrandimenti. I tempi misurati per un certo numero di eclissi sono diversi secondo la posizione della Terra. Infatti, quando la Terra si muove verso Giove la luce del satellite deve compiere un tragitto sem-

pre più breve. Se si allontana, i tragitti e i tempi si allungano. A quel tempo i moti dei satelliti medicei erano studiati con attenzione, al fine di produrre tavole per la determinazione dell'ora attraverso l'osservazione. Ciò era particolarmente utile per il calcolo della longitudine.

La velocità della luce, circa 300 mila Km/sec. nel vuoto, ci introduce a una importante unità di lunghezza: l'anno luce, la distanza che la luce percorre in un anno. Vale circa 10 mila miliardi di Km.

Con l'avvento del telescopio, il sistema solare si popolò di nuovi pianeti. Urano, al limite della visibilità a occhio nudo, fu scoperto da W.Herschel nel 1781. Fu poi la volta di Cerere (scoperto a Palermo da Padre Piazzi nel 1801), il primo di una numerosa schiera di asteroidi. Le irregolarità del moto di Urano rispetto alla teoria di Newton, indussero indipendentemente Adams e Le Verrier a ipotizzare un nuovo pianeta e a calcolarne con grandissimo sforzo l'orbita. Nel 1846 Nettuno fu scoperto dove era stato previsto. L'impresa fu ripetuta da Tombaugh, che nel 1930 scoprì Plutone. Questo orbita a circa 40 unità astronomiche dal Sole (6 miliardi di Km.) ed è oggi classificato *pianetino* assieme a Cerere ed Eris (grosso asteroide oltre l'orbita di Nettuno). Dal bordo del sistema planetario ci affacciamo, come da un balcone, su un insondabile abisso.

4 Le distanze stellari

Nell'800 i tempi erano maturi per osservazioni precise. Argelander aveva in preparazione un atlante stellare di oltre

300mila stelle (il Bonner Durchmusterung), classificate e cartografate in anni di osservazioni. Bessel, matematico e astronomo, nel 1829 osservò uno spostamento apparente della stella 61 Cygni, e lo interpretò correttamente come un effetto prospettico, dovuto al moto di rivoluzione terrestre. Infatti, a distanza di sei mesi la Terra si porta in punti tra loro distanti 2 unità astronomiche, e questo comporta che gli astri vicini appaiano proiettati su due sfondi di cielo diversi. Nel corso dell'anno appaiono percorrere piccolissime ellissi, immagini dell'orbita terrestre. L'ampiezza angolare del semiasse maggiore è *l'angolo di parallasse*, e la sua (difficilissima) misura fornisce facilmente la distanza dell'astro. Bessel calcolò per la 61 Cygni circa 11 anni luce; non era ancora giunta in Europa la notizia dell'osservazione compiuta a Città del Capo della stella α Centauri, assai più vicina. La minima distanza spetta ad una stella piuttosto debole, di nome Proxima, a soli 4.2 anni luce.

Introduciamo un'ultima unità di misura: il *parsec* è la distanza alla quale una stella avrebbe un angolo di parallasse di 1" (un osservatore sulla stella vedrebbe il raggio Terra-Sole entro l'angolo visuale di 1"). Il parsec corrisponde a 3.26 anni luce (si usano poi i multipli chiloparsec Kpc e megaparsec Mpc). Poiché anche Proxima si trova a distanza superiore a 1 Parsec, gli angoli di parallasse stellari sono sempre piccolissimi e inferiori a 1". Ciò anche spiega perché la totalità delle stelle abbia al telescopio un aspetto puntiforme e non siano osservabili sistemi planetari (nei moderni grandi telescopi queste osservazioni sono in qualche caso possibili). Per l'arduo compito della misura delle parallassi stellari, come anche

per lo studio di stelle doppie, furono costruiti telescopi di grande lunghezza focale e in località con atmosfera particolarmente stabile, per consentire elevati ingrandimenti.

Il metodo di Bessel è detto parallattico (su base annua) ed è il più preciso, ma si applica solo a poche migliaia di stelle. Questo non è però un ostacolo insormontabile, per la ragione seguente. L'energia luminosa che ci arriva da una stella può essere quantificata attraverso il valore m della "magnitudine apparente".³ La scala di magnitudine è tale che un astro che invia un flusso di energia 100 volte inferiore di un altro, ha magnitudine maggiore del secondo di cinque unità. L'occhio nudo percepisce fino alla magnitudine 6 (il cielo deve essere buio); le stelle che appaiono più luminose, come Sirio, hanno magnitudine apparente negativa. Astri identici a distanze diverse hanno evidentemente valori di magnitudine apparente diversi. Per confrontarli, si introduce la nozione di "Magnitudine assoluta" M , la magnitudine che avrebbe l'astro se fosse alla distanza standard di 10 parsec dalla Terra. La legge di Pogson collega i valori di magnitudine assoluta M e relativa m di un astro a distanza d (in parsec) da Terra:

$$M - m = 5 - 5 \log d$$

Hertzsprung e Russell mostrarono che per le stelle "normali" esiste una relazione tra il colore (legato alla temperatura superficiale, misurabile attraverso lo spettro) e la luminosità intrinseca (misurata da M). Il colore di una stella pertanto indica il valore della magnitudine assoluta M

³Più precisamente, la magnitudine viene riferita al flusso di energia in un certo intervallo di lunghezze d'onda.

che, insieme alla determinazione diretta di m , forniscono la distanza della stella attraverso la relazione di Pogson.

E' opportuno riflettere sul salto fin qui compiuto, e giova un paragone. Se il Sole fosse ridotto a una sferetta di 3 cm di diametro, la Terra e Plutone sarebbero bruscolini a circa 3 e 120 metri di distanza dalla sferetta, e la stella Proxima sarebbe un'altra sferetta a oltre 800 chilometri dal Sole! Il sistema solare è veramente insignificante al confronto con le distanze tra le stelle, e lo spazio praticamente vuoto. Miriadi di stelle ci osservano, come altrettanti punti interrogativi.

5 Le distanze galattiche

La nostra attenzione si muove ora al luminoso cerchio della Via Lattea, che già Galilei aveva risolto in un incalcolabile numero di stelle. **William Herschel**, musicista e poi astronomo del re d'Inghilterra, fu il primo a disegnarne un tentativo di mappa (1780). Contando le stelle visibili nel campo del telescopio puntato in direzioni diverse, e nell'ipotesi di una distribuzione uniforme delle stelle nella Via Lattea, ne dedusse una profondità maggiore ove il conteggio fosse più alto, e ottenne una forma oblunga.

Oggi sappiamo che la Via Lattea ha la forma di un disco assai piatto, e noi ne siamo all'interno, circondati da stelle che vi appartengono. Dove il cielo appare più bianco, stiamo guardando nel piano del disco. Dove le stelle si diradano, osserviamo attraverso lo spessore minore, verso lo spazio esterno alla galassia.

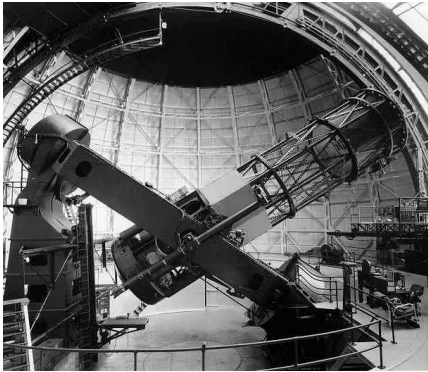


Figure 2: Il Leviathano da 72" di Parsonstown (Irlanda) fu costruito nel 1847 e evidenziò la struttura a spirale delle galassie. Fu per 70 anni il maggiore telescopio del mondo, fino all'avvento del riflettore Hooker da 100", sul Monte Wilson (Cal). Con quest'ultimo Hubble fotografò le Cefeidi in Andromeda, e scoprì la legge che porta il suo nome. Poco dopo entrò in servizio il 5 metri (200") di Monte Palomar.

5.1 Le stelle Cefeidi

Un passo decisivo per la conoscenza delle distanze lontane fu la scoperta della relazione *Periodo-Luminosità* da parte di **Henrietta Leavitt**, nel 1912. Ella aveva il compito, presso l'osservatorio di Harvard, di studiare su centinaia di lastre fotografiche le immagini delle stelle variabili nella Piccola Nube di Magellano, e annotarne lo splendore. Queste stelle sono giganti e giovani, splendono come mille o più Soli, e pulsano. La periodica variazione di volume si accompagna a una variazione di temperatura e di splendore. La loro magnitudine M varia periodicamente, in alcuni giorni. Sono dette stelle Cefeidi perchè il prototipo è la stella δ in Cepheus.

Anche se a quel tempo si ignorava la distanza della Nube, Leavitt poteva ritenere che le piccolissime stelle che misurava fossero praticamente alla stessa distanza dalla Terra. Pertanto i valori delle magnitudini apparenti differiscono da quelle assolute solo per una costante. Questo fu cruciale per stabilire quanto segue: il periodo di tempo P in cui si ripete la variazione luminosa di una Cefeide è tanto più lungo quanto maggiore è il suo splendore. Subito dopo Hertzsprung effettuò la taratura della relazione periodo-luminosità con stelle Cefeidi vicine, di cui potesse calcolare la distanza accessibili col metodo della parallasse (secolare)⁴. Da quel momento si poté misurare la distanza di moltissime Cefeidi, semplicemente ponendo nella formula di Pogson la magnitudine apparente m osservata e il valore M dedotto dalla misura del periodo. Basta pertanto individuare e osservare nel

⁴La relazione Periodo-Luminosità è $M = -2.87 \log P - 1.40$, dove P è il periodo in giorni.



Figure 3: L'ammasso globulare di Ercole

tempo una Cefeide, per sapere quanto è distante.

5.2 La Via Lattea e le galassie

Attraverso la mappa degli ammassi globulari, giganteschi e bellissimi agglomerati sferici di centinaia di migliaia di stelle (tra cui anche le variabili) che circondano la Via Lattea **Harold Shapley** riuscì a determinare le dimensioni. Furono compiuti errori, ed ora misuriamo il diametro della Via Lattea in 100 mila anni luce, che racchiudono circa 100 miliardi di stelle⁵.

Rimaneva ancora da stabilire la distanza di innumerevoli oggetti nebulosi: sono interni o esterni alla Via Lattea. La Via

⁵Ci si accorse in seguito (Baade, 1952) che esistono due tipi di stelle variabili, con differenti relazioni periodo-luminosità: questo comportò che molte delle distanze misurate andavano quasi triplicate.

Lattea è tutto il nostro universo o ve ne sono altri? L'inequivocabile risposta fu fornita da **Edwin Hubble**, col telescopio di Monte Wilson, il maggiore al mondo. Egli riuscì a individuare una Cefeide nella galassia di Andromeda (M31). La galassia è visibile anche a occhio nudo e ha l'apparenza di una debole nube. La sua distanza risulta oggi essere 2,3 milioni di anni luce. Ogni galassia è generalmente circondata da molti ammassi globulari, e lo studio degli splendori apparenti di questi permette di dedurre distanze galattiche alle quali le Cefeidi non sono più distinguibili, mentre lo sono ancora gli ammassi.

5.3 La legge di Hubble

Già nel 1914 Vesto Slipher aveva scoperto che, con pochissime eccezioni, le galassie presentano righe spettrali spostate verso il rosso, rispetto alle posizioni delle stesse righe (caratteristiche di elementi chimici presenti nelle galassie) previste dalla teoria e misurate in laboratorio. Lo spostamento (redshift) si interpretava come evidenza del moto delle galassie in allontanamento rispetto all'osservatore (effetto Doppler). Il redshift è proporzionale alla velocità con cui la sorgente luminosa si allontana dall'osservatore, e Slipher misurò velocità superiori a 1000 Km/s.

Edwin Hubble con l'aiuto di Humason⁶ utilizzò il telescopio Hooker per misurare i redshift (e quindi le velocità) di una ventina di galassie per le quali poteva anche determinare la distanza. Nel 1928 pervenne alla famosa relazione: la velocità delle galassie

⁶Humason era conduttore di muli, ma divenne un espertissimo fotografo di spettri di galassie, che richiedevano pose di decine di ore.

è direttamente proporzionale alla loro distanza (*Legge di Hubble*)

$$v = Hd$$

H è la costante di Hubble. Con questa scoperta Hubble ha mostrato che la Natura si comporta come alcuni anni prima il russo Aleksandr Friedmann e il religioso belga Lemaitre avevano previsto come possibilità teorica: l'universo è in espansione e i corpi più lontani fuggono da noi a velocità crescenti. Questo risultato emerge come soluzione spazialmente omogenea e isotropa delle equazioni della Relatività Generale, formulata da Albert Einstein nel 1916.

Con l'esercizio del grande telescopio di Monte Palomar da 5 metri la legge di Hubble è stata confermata su distanze ben maggiori. La misura della costante di Hubble H è tra i compiti del telescopio spaziale Hubble. Il valore di H determina, nel contesto di un modello cosmologico, l'età dell'universo.

La luce dei corpi lontani, per effetto dell'espansione, è sempre più spostata verso il rosso; l'osservazione di questo spostamento è l'estrema risorsa per misurare le dimensioni dell'universo.

Gli oggetti più lontani noti sono i quasar. Nel 1963 Maarten Schmidt, in California, ottenne il primo spettro del quasar 3C273, misurando attraverso il redshift una velocità di 45mila Km/sec, corrispondente a una distanza di circa 3 miliardi di anni luce. Altri quasar sono stati scoperti a distanze maggiori; sono oggetti preistorici, perché la loro luce partì da questi altrettanti anni fa. La conoscenza dell'oggi è perciò ristretta a ciò che è vicino; il lontano si identifica col passato, e la sua

storia è recata da un messaggio di luce sempre più arrossata. L'estremo limite all'osservazione è la "radiazione fossile", prevista da G. Gamow nel 1948. Essa è quanto resta della radiazione elettromagnetica che un tempo dominava l'universo. Col raffreddamento dell'universo in espansione, è comparsa la materia stabile e parte della radiazione presente ha da quel momento seguito un'evoluzione isolata. La radiazione fossile ha straordinarie caratteristiche di omogeneità che erano proprie dell'universo antico. Essa corrisponde fedelmente allo spettro emesso da un corpo nero a 3 gradi Kelvin. Fu scoperta casualmente con una speciale antenna da Penzias e Wilson nel 1965, ed è una importante prova a sostegno del "Big Bang".

L'era di Hubble, se da un lato risponde all'antico quesito del perché il cielo notturno sia nero, se è vero che da ogni parte siamo circondati da stelle e galassie, dall'altro apre una nuova affascinante prospettiva nella cosmologia e porta ad interrogarci su una necessaria origine ed evoluzione del cosmo o, per chi lo intende, sul mistero della Creazione ...

6 Letture

Umberto Forti, *Storia della Scienza, nei suoi rapporti con la filosofia, le religioni, la società*, 6 voll. (1969) Dall'Oglio.

Lucio Russo, *La rivoluzione dimenticata, il pensiero scientifico greco e la scienza moderna*, (1998) Feltrinelli.

Nicoló Copernico, *De Revolutionibus Orbium Coelestium*, PBE testi 5, (1975) Einaudi.

Michael Hoskin, *Storia dell'astronomia di*

Cambridge, (2001) BUR Rizzoli.

A.Koyré, *La Rivoluzione Astronomica, Copernico, Keplero, Borelli* (1966) Feltrinelli.

Emilio Segré, *Personaggi e scoperte della fisica classica*, Biblioteca della Est (1983) Mondadori.

Henry C. King, *The history of the telescope* (1979) Dover (ristampa dell'opera del 1955).

Dava Sobel, *Longitude*, Penguin Books, 1996; (in italiano, Rizzoli).

M. Grosser, *The discovery of Neptune* Dover, 1979.

R.Berendzen, R.Hart, D.Seeley, *Man discovers the galaxies* (1984) Columbia University Press, New York.

Steven Weinberg, *I primi tre minuti*, Oscar Mondadori.