

# Legge di Hubble o Legge di Lemaître?

di Rodolfo Calanca

La "*Costante di Hubble*", che indica la velocità con la quale l'universo si espande, riveste com'è noto un ruolo fondamentale in cosmologia per la stima delle dimensioni e dell'età dell'universo, e alla sua determinazione si è giunti a conclusione di un ventennio di grandi scoperte.

In modo pressoché unanime, oggi gli astronomi chiamano questa relazione "*Legge di Hubble*". Siamo però certi che la scoperta della legge, che porta il nome di Hubble, sia indiscutibilmente opera del grande astronomo americano? Considerando la storia, potrebbe essere più corretto riconoscere la paternità della sopra citata legge a un poco noto cosmologo belga di nome **Georges Lemaître**. La stessa cosa varrebbe per la costante di proporzionalità che lega le due variabili (velocità di allontanamento e la distanza), che è appunto detta "*Costante di Hubble*" ed è indicata con  $H = v/d$ ; dove  $v$  è la velocità radiale di allontanamento (in altre parole, la velocità con cui un oggetto si allontana dall'osservatore lungo la linea di visuale) e  $d$  è la distanza dell'oggetto.

In effetti, risulta giusto nutrire dei dubbi: gli studi storici dimostrano infatti che il cosmologo belga giunse a formulare la medesima legge con due anni d'anticipo rispetto a Hubble.



## Chi era Lemaître?

Nato il 17 luglio 1894 nella cittadina di Charleroi, in Belgio, da Joseph Lemaître, avvocato, e Marguerite Lannoy, Georges Lemaître era il più grande di quattro figli. La sua famiglia era formata da devoti cattolici, al punto che il giovane Lemaître sentì forte in sé la vocazione a divenire prete già all'età di circa nove anni. Tuttavia, durante i suoi studi alla scuola gesuitica Sacro Cuore di Charleroi, dimostrò uno spiccato talento per le scienze chimiche, fisiche e matematiche, e anche successivamente al trasferimento a Bruxelles, a causa del cambio di attività lavorativa del padre, Georges si fece notare per le sue abilità in fisica e matematica presso il Collegio di San Michele. Queste sue doti lo portarono infine a laurearsi in ingegneria, avviandolo alla carriera di ingegnere minerario. In realtà però la vocazione a diventare prete non lo abbandonò mai, anche se dovette attendere di superare gli anni e le brutture della Prima guerra mondiale (che trascorse, appena ventenne, al fronte con i fratelli) per avviarsi alla vita religiosa.

Così, nel 1918, con la guerra ormai alle spalle, si iscrisse all'Università Cattolica di Leuven, dove compì studi avanzati di matematica e filosofia. I suoi professori, notando le sue doti in matematica, gli suggerirono di approfondire gli studi di Albert Einstein, cosa che Lemaître fece e che lo portarono a conoscere i risultati del matematico e astronomo inglese **Arthur**

**Eddington** (1882-1944), famoso tra l'altro per aver diretto la spedizione che misurò la deflessione dei raggi luminosi nel corso dell'eclisse di Sole del 1919, considerata una prova decisiva a favore della teoria di Einstein.



Sopra. Georges Lemaître in compagnia di Albert Einstein.

## Georges Lemaître, in breve

Georges Henri Joseph Édouard Lemaître (1894–1966) è stato un matematico e cosmologo belga. Egli ha stabilito che l'Universo è in continua espansione a causa dell'estensione del tessuto stesso dello spazio, producendo l'effetto osservabile noto come "redshift" della luce emessa dalle galassie distanti. Lemaître è stato anche il primo scienziato a dedurre che lo spazio e il tempo hanno avuto inizio in un singolo istante, formulando la legge matematica che

descrive la relazione tra distanza e velocità di allontanamento, legge che però oggi non porta il suo nome ma quello di Hubble.

La teoria che formulò, similmente a quella che comunemente chiamiamo del "Big Bang", prevedeva che l'Universo avesse un'età ben definita e che tutto ciò che possiamo osservare sia il risultato dell'espansione di qualcosa che nell'istante iniziale era compresso in un'unica entità.

Nel 1922 scrisse la sua tesi di laurea "*The Physics of Einstein*" e l'anno seguente venne ordinato prete: aveva 29 anni.

Nonostante fosse un prete, Lemaître si trasferì, grazie a una borsa di studio, all'Università di Cambridge in Inghilterra, dove poté approfondire gli studi sulla relatività generale e lavorare a stretto contatto proprio con Arthur Eddington che gli suggerì di lavorare a una tesi di dottorato sui campi gravitazionali nei fluidi secondo la teoria della Relatività.

Dopo un anno con Eddington, di cui è un incondizionato ammiratore, va a lavorare all'Università di Harvard con l'astronomo **Harlow Shapley** (1885-1972) e al Massachusetts Institute of Technology (MIT), concentrandosi in particolare sulla misteriosa natura di quegli oggetti (le galassie) che al tempo venivano ancora definite "nebulose a spirale". Ha così modo di conoscere di prima mano i lavori al telescopio compiuti da **Hubble** e **Slipher**.

Nel 1927 discusse la sua tesi di dottorato presso il MIT, tesi intitolata "*The gravitational field in a fluid*

*sphere of uniform invariant density according to the theory of relativity*". In essa veniva formulato un universo sferico la cui massa è costante ma il suo raggio è in continuo aumento. Questa estensione è la causa del moto delle galassie che si mostrano in allontanamento da un osservatore posto nella Via Lattea.

Successivamente al dottorato, Lemaître proseguì con lo studio e nello sviluppo delle sue teorie cosmologiche: fondamentali risultarono le conoscenze e le scoperte di alcuni astronomi del suo periodo tra cui **Henrietta Leavitt**, **Edwin Hubble** e **Vesto Slipher** (vedi box "Dalle Cefeidi alla Costante di Espansione").

I risultati dei suoi studi vennero proposti in francese, in una pubblicazione belga (Lemaître era tornato in Belgio nel 1925, assumendo la cattedra di matematica presso l'Università Cattolica di Leuven) intitolata "*Annali della Società Scientifica di Bruxelles*". La sua teoria prevedeva anche la famosa legge che è oggi nota come "Legge di Hubble".

## Dalle Cefeidi alla Costante di Espansione

La cronologia ufficiale per ciò che riguarda la formulazione della "legge di Hubble" ha il suo punto di partenza nel 1908, quando **Henrietta Leavitt** (1868-1921), studiando delle variabili Cefeidi presenti nelle Nubi di Magellano, poté annunciare che "le variabili più luminose sono anche quelle contraddistinte dal periodo di variabilità più lungo". La scoperta è sensazionale, perché la relazione permette di risalire alla magnitudine assoluta e da questa alla distanza della stella e della galassia che la contiene.

Quattro anni dopo, **Vesto Slipher** (1875-1969), del Lowell Observatory, scopre che numerose "nebulose spirale" sembrano allontanarsi da noi ad elevata velocità.

Nell'arco dei dieci anni successivi alla formulazione della teoria Generale della relatività (1916-1927), Einstein sviluppa un modello statico

dell'universo, seguito subito dopo da altri cosmologi, tra i quali W. De Sitter, A. Friedmann e G. Lemaître, che propongono modelli di universo in espansione più avanzati, sempre però coerenti con la teoria della Relatività.

Nel 1923 **Edwin P. Hubble** (1889-1953), lavorando all'Osservatorio di Monte Wilson, scopre 12 variabili Cefeidi nelle "nebulose spirale" M31 e M33. Deducendone le distanze, egli ha ormai la ragionevole certezza che le galassie che le ospitano sono esterne alla nostra Via Lattea, e molto più lontane.

Nel 1929, lo stesso Hubble, studiando altre galassie spirale, scopre una relazione, da lui chiamata "relazione velocità-distanza", secondo la quale la velocità d'allontanamento di una galassia è tanto maggiore quanto più grande è la sua distanza.

Gli anni trascorsero e nel dicembre 1964 Lemaître fu costretto ad abbandonare l'insegnamento a causa del suo precario stato di salute. Poco prima della sua morte, avvenuta a causa della leucemia il 20 giugno 1966 all'età di 71 anni, poté

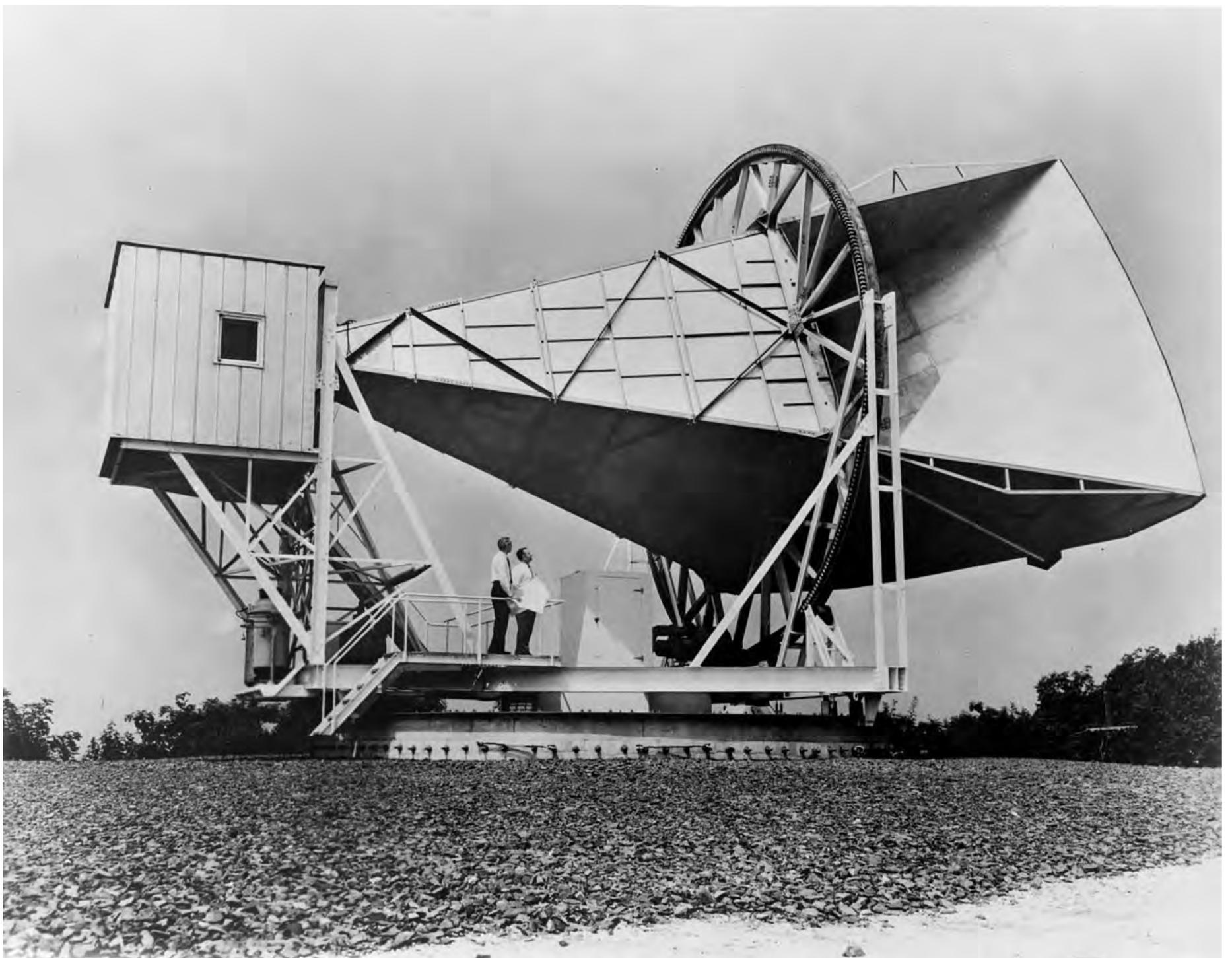
apprendere della scoperta (del 1964) ad opera di Arno Penzias e di Robert Wilson che, con la "Horn Antenna", avevano rilevato la **Radiazione Cosmica di Fondo** (CMB), prova che dopotutto l'Universo era nato con un Big Bang.

## La Teoria Cosmologica di Lemaître

Gli studi cosmologici di Lemaître si realizzano in due fasi nel corso degli anni successivi al 1927, dopo che ebbe conseguito il dottorato presso il Massachusetts Institute of Technology (MIT). In un primo tempo egli combina le sue idee teoriche con le osservazioni strumentali. Così, la sua cosmologia si appoggia saldamente sia sulle equazioni della Relatività sia sulle osservazioni degli astronomi americani che attribuiscono una velocità di recessione alle galassie. Ne esce un

modello cosmologico non statico, nel quale la caratteristica principale dell'universo è la sua espansione.

La seconda fase è forse quella più innovativa e rivoluzionaria: se oggi l'universo è in espansione, è del tutto plausibile pensare che in un lontano passato esso fosse condensato in quello che Lemaître chiama "atomo primitivo". Con gli opportuni aggiornamenti, questa idea, decenni

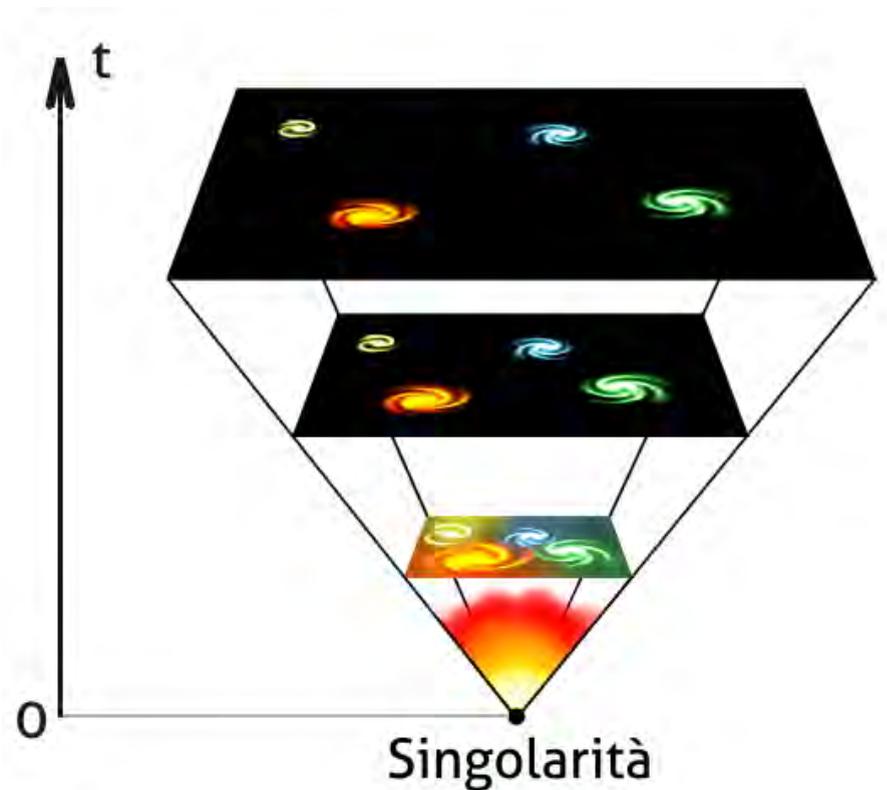


**Sopra.** L'antenna "Horn Antenna" con la quale Penzias e Wilson scoprirono, nel 1964, la radiazione cosmica di fondo a Holmdel, nel New Jersey.

dopo, diventerà la ben nota teoria del Big Bang. Come legittimamente scrive l'astrofisico francese J. P. Luminet, «l'eccezionale importanza del lavoro di Lemaître consiste nell'avanzare, per la prima volta, l'ipotesi che le velocità di recessione delle nebulose extragalattiche siano la conseguenza cosmica dell'espansione dell'Universo nell'ambito della relatività generale».

Nel 1927 Lemaître pubblica un fondamentale articolo in francese dal titolo "**Un universo omogeneo di massa costante di raggio crescente, che giustifica la velocità radiale delle nebulose extragalattiche**".

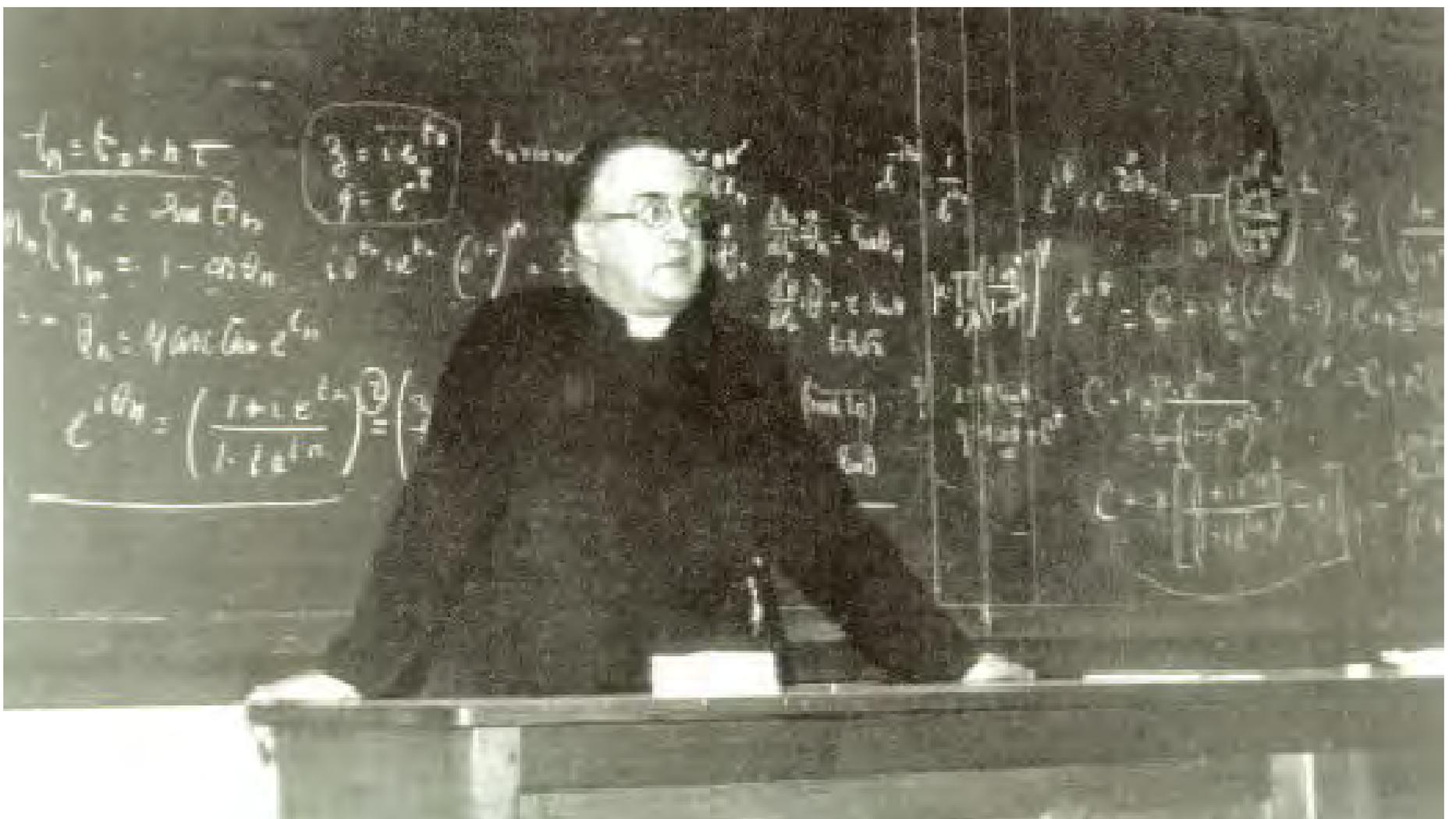
L'universo di Lemaître è ovviamente basato sulla relatività ma rispetto ai modelli precedenti di altri cosmologi egli ammette che l'energia si conserva e che la pressione di radiazione nei primi stadi dell'espansione gioca un ruolo fondamentale. Il modello proposto è però ancora privo di una singolarità iniziale e in seguito, per i contributi teorici di Eddington alla sua definitiva elaborazione, fu chiamato **modello di Lemaître-Eddington**.



Sopra. L'Universo in espansione, come teorizzato da Lemaître .

È in questo articolo che il giovane cosmologo belga compie il passo fondamentale. Nel suo articolo egli scrive infatti:

*«Utilizzando le 42 nebulose extragalattiche che compaiono negli elenchi di Hubble e di Strömberg, e tenendo conto della velocità propria del Sole, si*



Sopra. Una foto di **Georges Lemaître** scattata durante una delle sue lezioni tenute nel periodo dedicato all'insegnamento. Studioso di cosmologia, il suo sforzo si concentrò nello sviluppo della teoria dell'universo non statico, originato da un unico atomo, ciò che in seguito sarebbe evoluta nella teoria del Big Bang.

trova una distanza media di 0,95 milioni di parsec, con una velocità radiale di 600 km/s, ossia 625 km/s a un milione di parsec. Avremo quindi:

$$R'/R = v/rc = 0,68 \times 10^{-27} \text{ cm}^{-1}$$

dove, scritta nella forma

$$H = c \times R'/R = v/r$$

## Ora, perché questa espressione è sfuggita agli astronomi che la riscoprono solo dopo i lavori di Hubble?

L'articolo di Lemaître passa sotto silenzio anche perché, essendo scritto in francese ed essendo apparso in un'oscura pubblicazione (gli "Annales de la Société Scientifique de Bruxelles"), pochi addetti ai lavori hanno la possibilità di prenderne visione. Anche la copia che invia a Eddington è del tutto ignorata: l'astrofisico inglese, suo relatore di tesi, si limita a sfogliarlo distrattamente per poi dimenticarsene del tutto.

La situazione si evolve in modo favorevole a Lemaître solo nei primi mesi del 1930, quando Hubble (nel gennaio del 1929) ha già reso nota la legge che porta il suo nome. Nel febbraio di quell'anno, durante una riunione della Royal Astronomical Society, Eddington e De Sitter (1872-1934) hanno un'accesa discussione sulla corretta interpretazione dei dati riguardanti la velocità di recessione delle galassie, senza però approdare a una soluzione plausibile.

Lemaître, che legge il resoconto della riunione, comprende che nessuno dei due ha letto il suo articolo del 1927, nel quale il problema è correttamente risolto sotto forma di un modello di universo in espansione nel quale le galassie si allontanano secondo una legge nota. Quando scrive

l'equazione precedente è del tutto analoga all'espressione della costante di Hubble sopra riportata [ricordando che  $r = d$  (distanza) e che  $c$  è la velocità della luce]».

Lemaître, quindi, enuncia chiaramente, e in modo inequivocabile, la relazione di proporzionalità esistente tra la velocità di recessione delle galassie e la loro distanza.

al suo ex relatore, la reazione del vecchio scienziato è imbarazzata: «Per noi è stato uno choc scoprire che questo lavoro era già stato realizzato [cioè che era già stata formulata la teoria riguardante la recessione delle galassie, inquadrata in un modello di universo non statico] in modo più completo da Lemaître».

Nella successiva riunione della Royal Astronomical Society, Eddington presenta il modello del cosmologo belga, arricchendolo con ulteriori considerazioni fisico-matematiche. Nella traduzione in inglese dell'articolo di Lemaître del 1927 succede però qualcosa che altera drasticamente il senso del paragrafo (da noi sopra riportato) dove è enunciata la legge di espansione. Il testo appare infatti semplificato e alcune parti sono omesse:

«...da una discussione dei dati osservativi disponibili si può adottare l'espressione:  $R'/R = 0,68 \times 10^{-27} \text{ cm}^{-1}$ »

**Sparisce così la fondamentale espressione analitica  $R'/R = v/rc$ , quella oggi nota come Legge di Hubble.**

# COELESTIS

il Forum dove altri 10. mila come te parlano ogni giorno di astronomia



période de la lumière reçue et  $\delta t_1$  peut encore être considéré comme la période d'une lumière émise dans les mêmes conditions dans le voisinage de l'observateur. En effet, la période de la lumière émise dans des conditions physiques semblables doit être partout la même lorsqu'elle est exprimée en temps propre.

$$\frac{v}{c} = \frac{\delta t_2}{\delta t_1} - 1 = \frac{R_2}{R_1} - 1 \quad (22)$$

mesure donc l'effet Doppler apparent dû à la variation du rayon de l'univers. Il est égal à l'excès sur l'unité du rapport des rayons de l'univers à l'instant où la lumière est reçue et à l'instant où elle est émise.  $v$  est la vitesse de l'observateur qui produirait le même effet. Lorsque la source est suffisamment proche nous pouvons écrire approximativement

$$\frac{v}{c} = \frac{R_2 - R_1}{R_1} = \frac{dR}{R} = \frac{R'}{R} dt = \frac{R'}{R} r$$

où  $r$  est la distance de la source. Nous avons donc

$$\frac{R'}{R} = \frac{v}{cr} \quad (23)$$

Les vitesses radiales de 43 nébuleuses extra-galactiques sont données par Strömberg (1).

La grandeur apparente  $m$  de ces nébuleuses se trouve dans le travail de Hubble. Il est possible d'en déduire leur distance, car Hubble a montré que les nébuleuses extra-galactiques sont de grandeurs absolues sensiblement égales (grandeur = 15,2 à 10 parsecs, les écarts individuels pouvant atteindre deux grandeurs en plus ou en moins), la distance  $r$  exprimée en parsecs est alors donnée par la formule  $\log r = 0,2m + 4,04$ .

On trouve une distance de l'ordre de  $10^6$  parsecs, variant de quelques dixièmes à 3,3 millions de parsecs. L'erreur probable résultant de la dispersion en grandeur absolue est d'ailleurs considérable. Pour une différence de grandeur absolue de deux grandeurs en plus ou en moins, la distance passe de 0,4 à 2,5 fois la distance calculée. De plus, l'erreur à craindre est proportionnelle à la distance. On peut admettre que pour une distance d'un million de parsecs, l'erreur résultant de la dispersion en grandeur est du même ordre que celle résultant de la dispersion en vitesse. En effet, une différence d'éclat d'une grandeur correspond à une vitesse propre de 300 Km. égale à la vitesse propre du soleil par rapport aux nébuleuses. On peut espérer éviter une erreur systématique en donnant aux observations un poids proportionnel à  $\frac{1}{\sqrt{1+r^3}}$ , où  $r$  est la distance en millions de parsecs.

(1) Analysis of radial velocities of globular clusters and non galactic nebulae. Ap. J. Vol. 61, p. 353, 1925. M<sup>rs</sup> Wilson Contr. N° 292.

Utilisant les 42 nébuleuses figurant dans les listes de Hubble et de Strömberg (1), et tenant compte de la vitesse propre du soleil (300 Km. dans la direction  $\alpha = 315^\circ$ ,  $\delta = 62^\circ$ ) on trouve une distance moyenne de 0,95 millions de parsecs et une vitesse radiale de 600 Km./sec, soit 625 Km./sec à  $10^6$  parsecs (2).

Nous adoptons donc

$$\frac{R'}{R} = \frac{v}{rc} = \frac{625 \times 10^5}{10^6 \times 3,08 \times 10^{18} \times 3 \times 10^{10}} = 0,68 \times 10^{-27} \text{ cm}^{-1} \quad (24)$$

Cette relation nous permet de calculer  $R_0$ . Nous avons en effet par (16)

$$\frac{R'}{R} = \frac{1}{R_0 \sqrt{3}} \sqrt{1 - 3y^2 + 2y^3} \quad (25)$$

où nous avons posé

$$y = \frac{R_0}{R} \quad (26)$$

D'autre part, d'après (18) et (26),

$$R_0^2 = R_2^2 y^3 \quad (27)$$

et donc

$$3 \left( \frac{R'}{R} \right)^2 R_0^2 = \frac{1 - 3y^2 + 2y^3}{y^3} \quad (28)$$

Introduisant les valeurs numériques de  $\frac{R'}{R}$  (24) et de  $R_2$  (19), il vient :

$$y = 0,0465.$$

On a alors :

$$R = R_2 \sqrt{y} = 0,215 R_2 = 1,83 \times 10^{28} \text{ cm.} = 6 \times 10^9 \text{ parsecs}$$

$$R_0 = Ry = R_2 y^{\frac{2}{3}} = 8,5 \times 10^{26} \text{ cm.} = 2,7 \times 10^8 \text{ parsecs} \\ = 9 \times 10^8 \text{ années de lumière.}$$

(1) Il n'est pas tenu compte de N. G. C. 5194 qui est associé à N. G. C. 5195. L'introduction des nuées de Magellan serait sans influence sur le résultat.

(2) En ne donnant pas de poids aux observations on trouverait 600 Km./sec à  $1,16 \times 10^6$  parsecs, 575 Km./sec à  $10^6$  parsecs. Certains auteurs ont cherché à mettre en évidence la relation entre  $v$  et  $r$  et n'ont obtenu qu'une très faible corrélation entre ces deux grandeurs. L'erreur dans la détermination des distances individuelles est du même ordre de grandeur que l'intégrale qui combine les observations et la vitesse propre des nébuleuses (en toute direction) est grande (200 Km./sec. d'après Strömberg), il semble donc que ces résultats négatifs ne font rien pour ni contre l'interprétation relativistique de l'effet Doppler. Témoin que l'imprécision des observations permet de faire est de supposer  $v$  proportionnel à  $r$  et d'essayer d'éviter une erreur systématique dans la détermination du rapport  $v/r$ . EDDINGTON. The determination of the curvature of space time in de Sitter's world M. N., vol. 84, p. 747, 1924, et STRÖMBERG, l. c.

Sopra. Sul testo originale dell'articolo pubblicato da Lemaître nel 1927 sono state evidenziate le parti eliminate nella riproduzione sulla rivista inglese "Monthly Notices of the Royal Astronomical Society", alterando drasticamente il senso del paragrafo nel quale è enunciata la legge di espansione e formulato il valore della Costante. Sparisce così la fondamentale espressione analitica  $R'/R = v/rc$ , quella che è a noi nota come Legge di Hubble. Così tagliato, il lavoro di Lemaître viene ridotto a una banale astrazione, senza risultati di sorta.

## Si trattò di un'omissione intenzionale di Eddington?

Difficile dirlo (sembra che la traduzione in inglese sia stata fatta da Lemaître stesso e sia stato lui a decidere cosa omettere). La cosa certa è che Lemaître aveva perfettamente compreso il senso fisico della recessione delle galassie, concetto che invece Hubble aveva accettato solo dopo lunghi tentennamenti.

Nel suo libro, "Il regno delle nebulose" del 1936, l'astronomo americano commette poi l'errore di considerare lo spostamento spettrale della luce

delle galassie come un puro effetto Doppler e non come un effetto proprio dell'espansione dell'universo.

Credo pertanto che sia un atto dovuto riconsiderare il contributo del cosmologo belga e, di conseguenza, associarlo al nome di Hubble: avremo quindi, più correttamente dal punto di vista storico, la legge di Hubble-Lemaître e la costante di Hubble-Lemaître.

## Lemaître vs Hubble: reazioni e differenze

Nel 1929, Edwin Hubble pubblicò le sue ricerche in cui compare la legge che porta il suo nome. In quell'occasione Lemaître non ebbe reazioni particolari, non scatenò alcuna protesta, e, pur riconoscendo le sue formule nei risultati di Hubble, si limitò ad accettare com'erano andate le cose. In una successiva traduzione in inglese del suo lavoro, non è chiaro se sia stato addirittura lui stesso l'autore della censura che tagliò la parte del calcolo della Costante di Hubble  $H$  (che calcolò essere pari a 625 km/s/Mpc).

Diversamente da Lemaître, Hubble tuttavia non accettò mai di credere che l'espansione dell'Universo fosse dovuta all'estensione del tessuto dello spazio. Su questa via, invece, lo scienziato belga arrivò a formulare, nel 1931, l'ipotesi che l'universo era inizialmente composto da un singolo atomo in cui era compressa tutta la materia, da cui si è dischiuso l'intero l'Universo che ha cominciato ad espandersi spinto dalla

stessa forza che causa la radioattività negli atomi più grandi e complessi.

Molti grandi scienziati dell'epoca non si trovarono a loro agio con questa teoria, esprimendo diverse perplessità, e invece venne accolta con un certo favore dalla Chiesa, che vedeva nell'esplosione iniziale l'atto di creazione divina.

Al grande Einstein l'idea non piaceva. «*Questa faccenda somiglia troppo alla Genesi* – gli disse durante uno dei loro incontri – *...si vede bene che siete un prete*». A questo universo in mutamento perenne ne preferiva uno di tipo statico, mediamente sempre uguale a sé stesso ed eterno, senza un inizio e una fine. Anche Arthur Eddington lo invitò alla cautela, sottolineando che un'idea di universo che avesse un principio nel tempo, pur se possibile fisicamente, era "filosoficamente ripugnante".

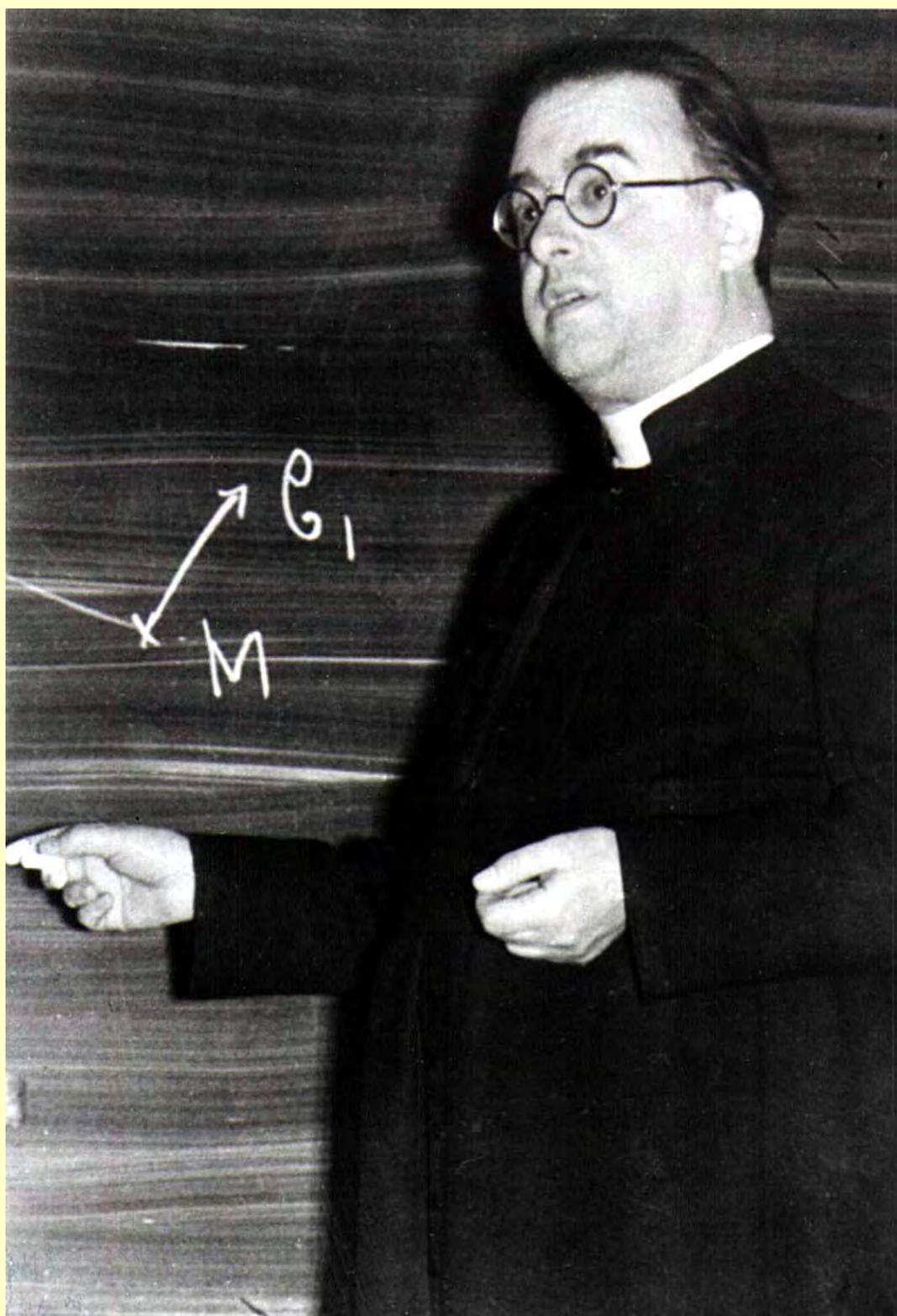


Sopra. Georges Lemaître matematico e astronomo belga, nonché sacerdote cattolico, a colloquio con papa Pio XII.

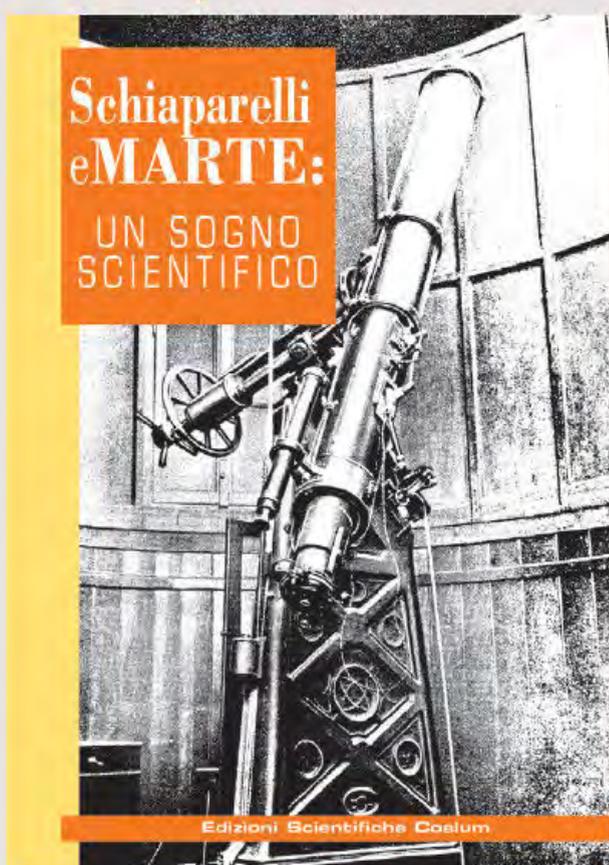
Richard Tolman (1881-1948), grande esperto di cosmologia relativistica e pioniere in questi studi, scrisse: « *Dobbiamo stare estremamente attenti ad evitare che i nostri giudizi siano influenzati dalle richieste della teologia e deviati dalle speranze e dai timori umani* ».

Paradossalmente fu l'astronomo inglese **Fred Hoyle** (1915-2001) a renderla celebre con il nome di "**Big Bang**", nome che in realtà Hoyle coniò in senso polemico, essendo un forte detrattore di questa teoria.

È doveroso notare però che la teoria di Lemaître differisce dal concetto moderno di Big Bang: secondo lo scienziato belga infatti, l'atomo originale aveva una dimensione pari alla distanza tra la Terra e il Sole, mentre i cosmologi di oggi sono propensi a considerare che all'origine di tutto vi fosse una singolarità, ossia un oggetto dotato di massa ma senza dimensione.



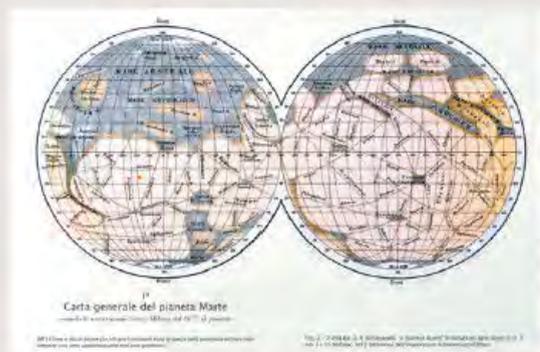
## Schiaparelli e MARTE UN SOGNO SCIENTIFICO



Un elegante volume dedicato al grande astronomo piemontese per "... visitare e riscoprire le parole e i sogni di chi, ormai per sempre, ha legato il proprio nome a quello del pianeta che più di ogni altro ci angoscia con la sua quasi somiglianza, i suoi quasi paesaggi, con la paura simile a quella di poter scorgere altri noi stessi nello specchio."

114 pagine  
17x24 cm  
rilegatura  
in brossura  
copertina  
plastificata

8,60 €



Per ordinarlo, collegati a [www.coelum.com/astroshop](http://www.coelum.com/astroshop)