

*Ammasso di Fornace*

Mosaico di immagini prese col telescopio VST

# L'universo da Aristotele al'Hubble Space Telescope



**Massimo Capaccioli**

*Università di Napoli Federico II*

*INAF - Istituto Nazionale di Astrofisica*



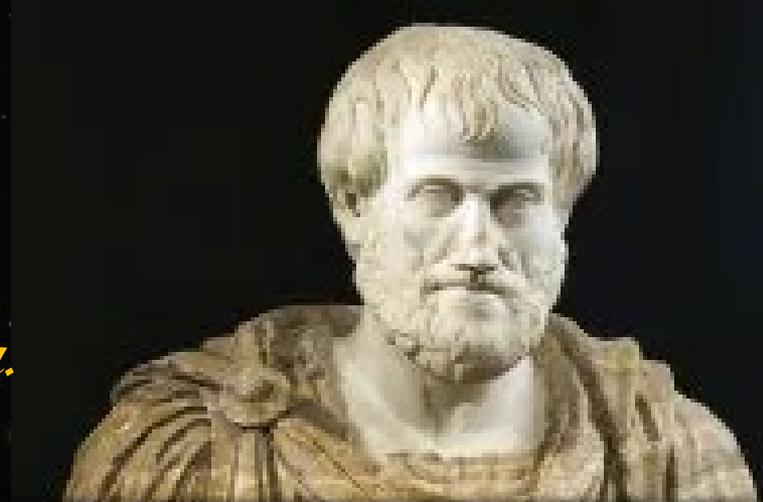
# La spinta di una stupefatta curiosità: Ulisse

Aristotele (384-322 a.C.)

**Dante Alighieri (1265-1321)**

*Inferno*, XXVI, vv. 118-120

*Considerate la vostra semenza:  
fatti non foste a viver come bruti,  
ma per seguir virtute e canoscenza.*



700 anni!

Colonne  
d'Ercole



Dante  
Alighieri

# La spinta di Ulisse

**Leonardo da Vinci (1452-1519)**

Naturalmente li omni boni desiderano sapere



La Gioconda

**Edwin Powell Hubble (1889-1953)**

Equipped with his five senses,  
man explores the universe around  
him and calls the adventure Science



NGC 2841

# Cos'è la scienza?

## E perché studiarne la storia?



I santi di oggi non sono necessariamente più santi di quelli di mille anni fa; i nostri artisti non sono necessariamente più grandi di quelli della Grecia antica; anzi, sono probabilmente inferiori; e, naturalmente, i nostri uomini di scienza non sono necessariamente più intelligenti di quelli antichi; tuttavia una cosa è certa, la loro conoscenza è molto più vasta e accurata. L'acquisizione e la sistematizzazione della conoscenza positiva è l'unica attività umana realmente cumulativa e progressiva.

George Sarton, primo docente di storia della scienza a Harvard

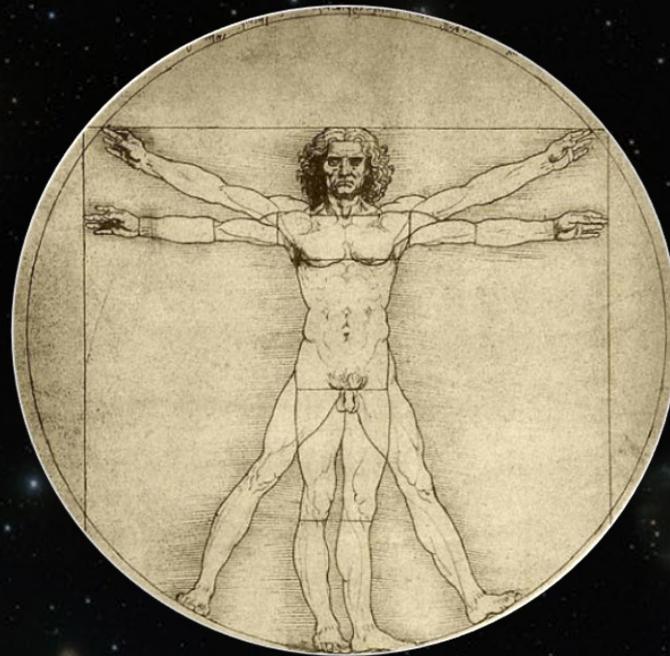
Citato da M.J. Crowe, *Modern Theories of the Universe: Da Herschel a Hubble*, New York:

Dover (1994)

# Domande e risposte

Le domande poste dalla scienza sono sempre le medesime, suggerite dalle osservazioni e mediate da un antropocentrismo latente.

**Ciò che cambia col tempo sono le risposte.**



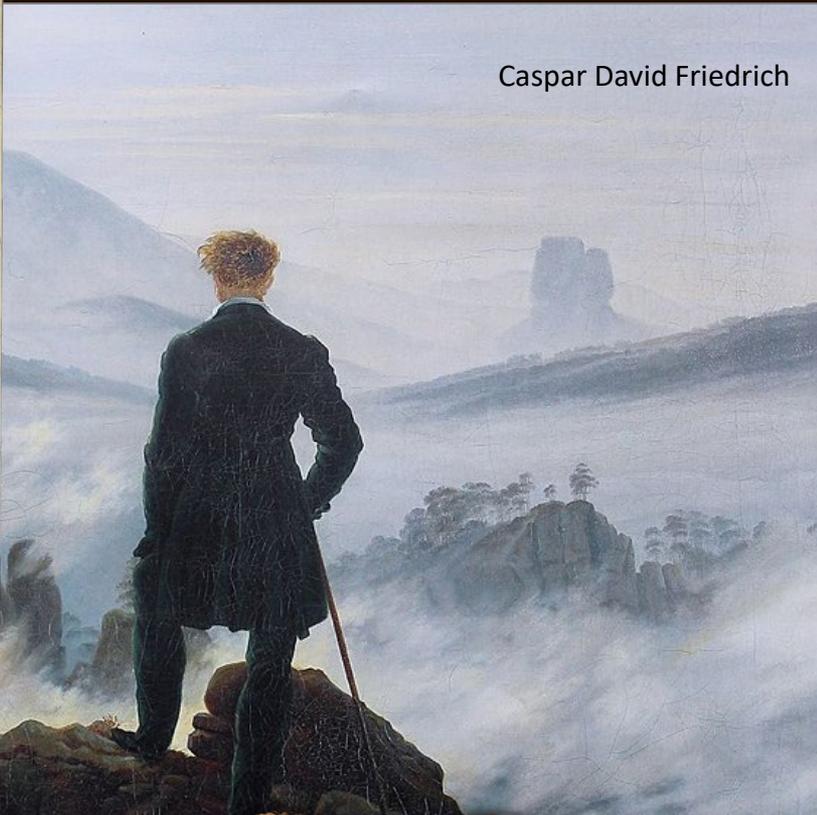
Leonardo da Vinci  
L'uomo vitruviano

The background of the slide is a reproduction of Michelangelo's famous fresco, "The Creation of Adam," from the ceiling of the Sistine Chapel. The central focus is the two hands reaching toward each other: Adam's hand on the left, extended from a reclining position, and God's hand on the right, extended from a reclining position within a group of figures. The space between the two hands is the largest, and the text is overlaid on this area.

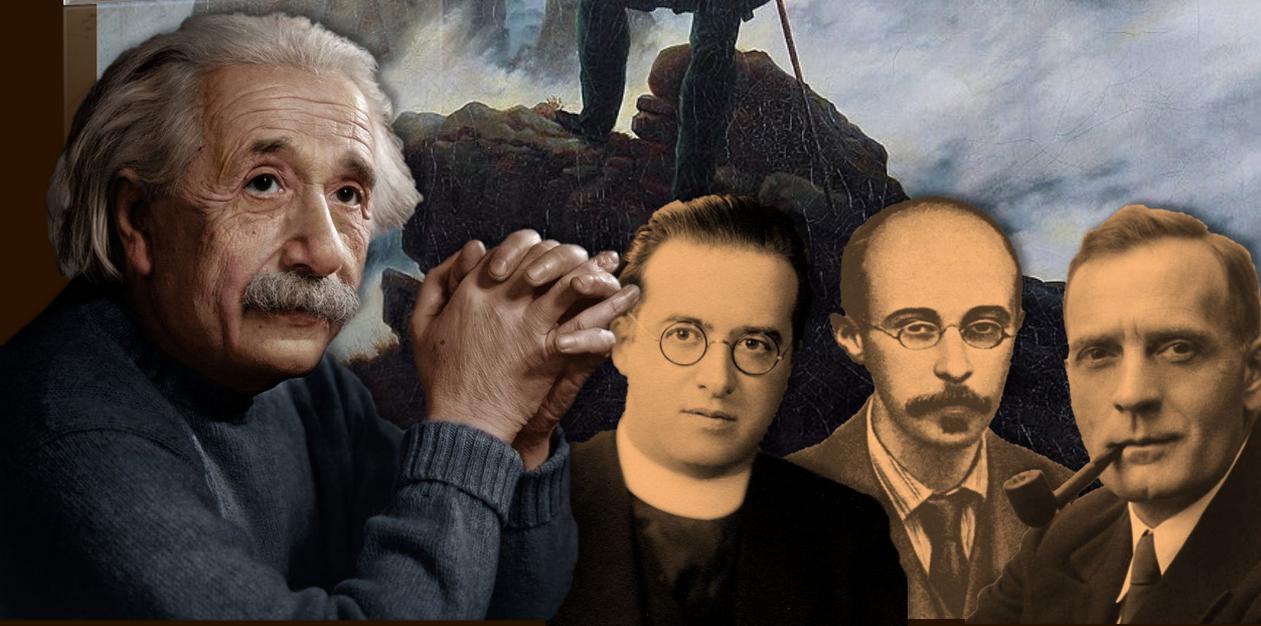
## Tre domande su tutte:

- i. C'è stato un inizio?
- ii. Come finirà tutto questo?
- iii. Qual è il ruolo dell'uomo?

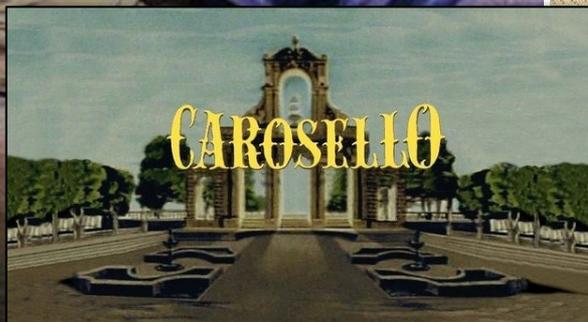
# Un rapido viaggio nella cosmologia



Caspar David Friedrich



Simon Vouet  
*Le Muse Urania e Calliope*



Carocci editore  Sfere

Rotazione diurna della sfera celeste.

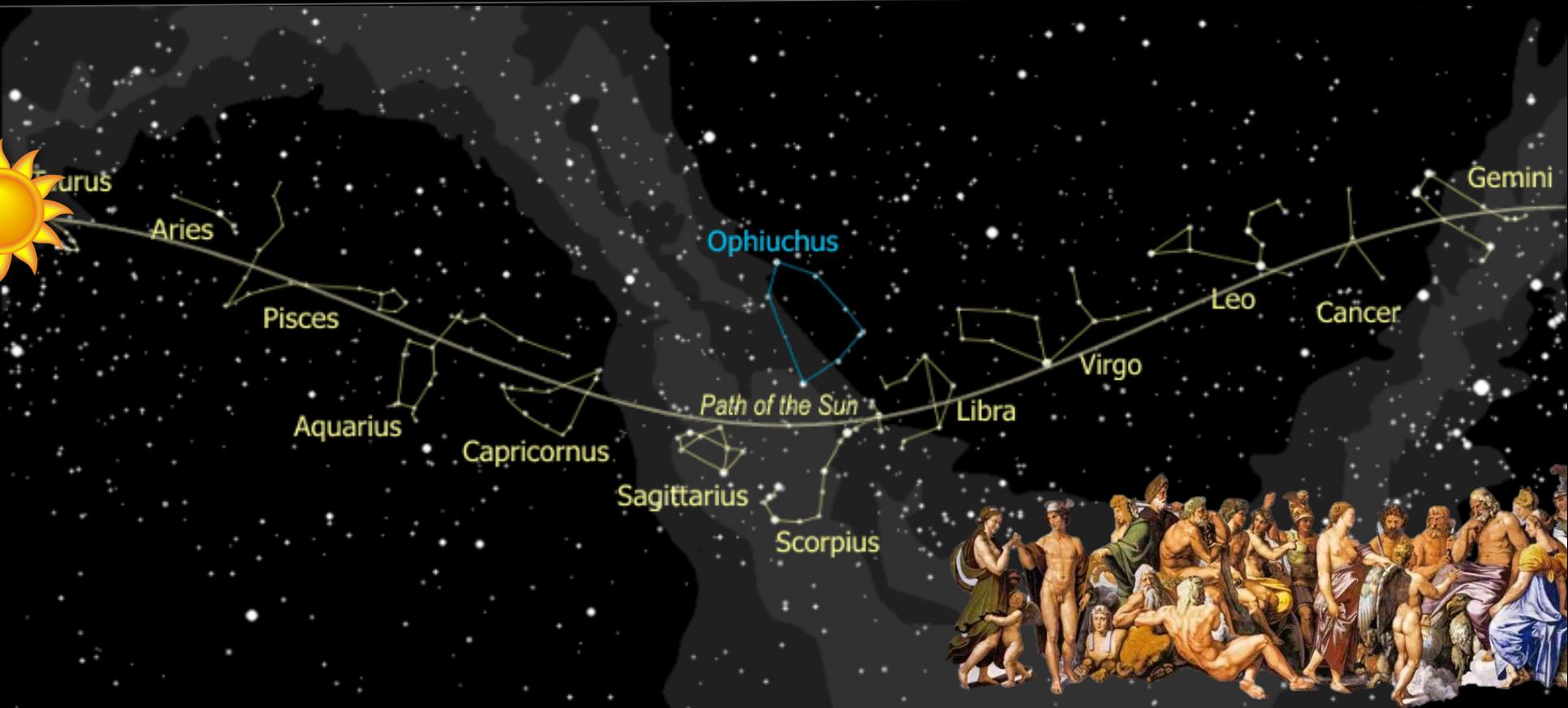
Tutto è cominciato da qui ...  
dalla scoperta di regolarità nei moti celesti



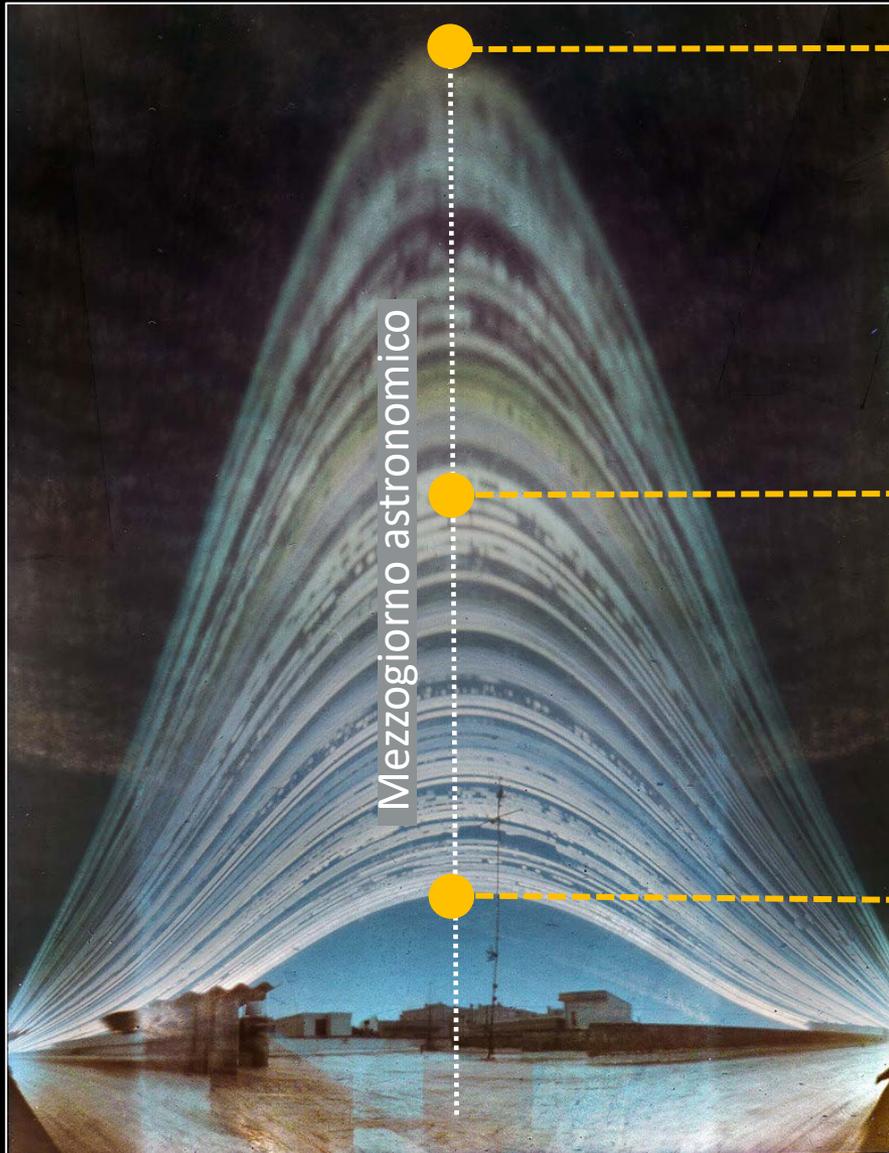
# Il moto annuo del Sole tra le 12 costellazioni dello Zodiaco

*Sunt Aries, Taurus, Gemini, Cancer, Leo, Virgo,  
Libraque, Scorpius, Arcitenens, Caper, Amphora, Pisces*

dal *Computus manualis magistri Aniani*, del monaco benedettino Aniano, XIII sec.



# Il moto diurno del Sole



Solstizio d'estate  
21 giugno

Esposizione persistente di sei mesi  
che racchiude in un'esposizione  
unica l'arco di tempo tra due solstizi  
*Copyright Gianluca Belgrado*

Equinozi

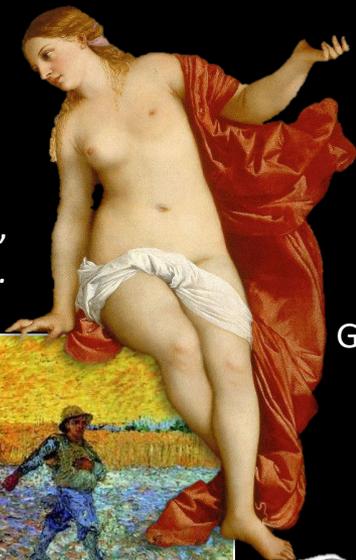


Solstizio d'inverno  
21 dicembre

Alba

Tramonto

# La Stella Diana: mutevolezza e simboli



Tiziano Vecelio,  
*Amor sacro ...*



V. van Gogh, *Seminatore*

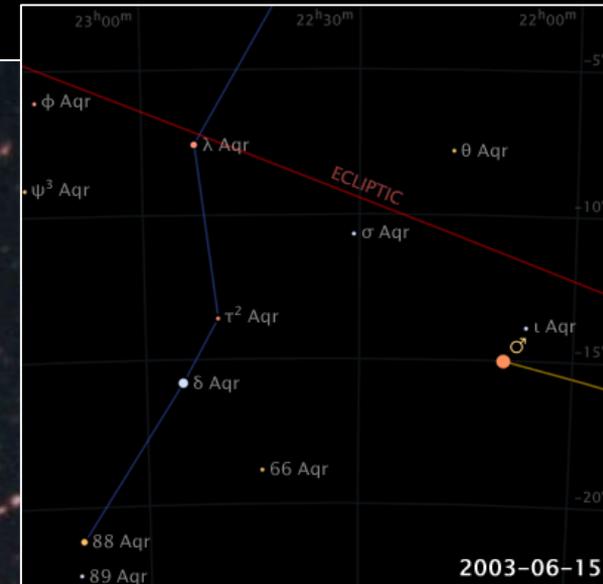
Gustave Courbet  
*Autoritratto*



Artemide  
Diana



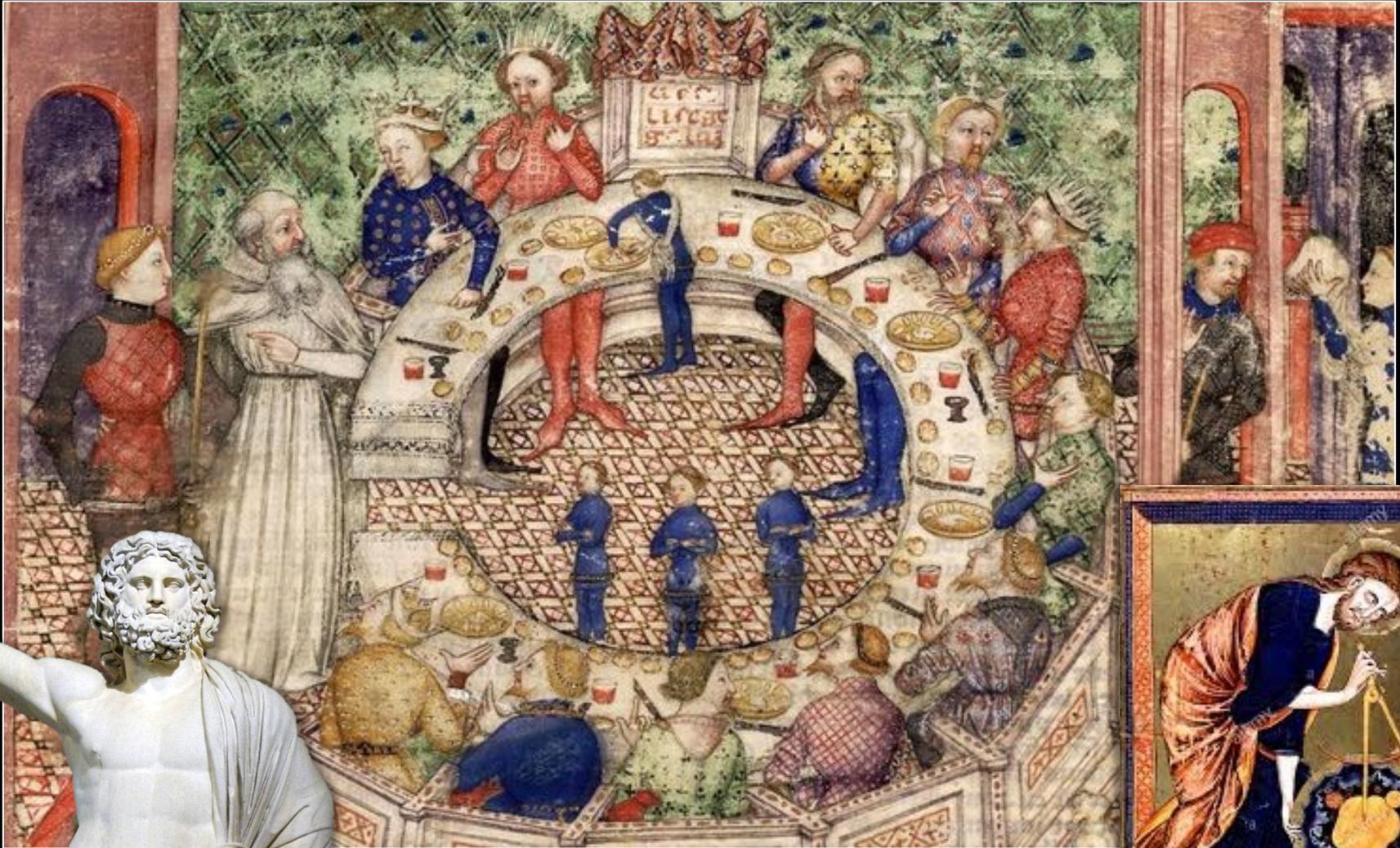
# I pianeti: le stelle erranti e i loro dietro fronte



in ordine di velocità crescente ↑  
Luna  
Mercurio  
Venere  
Sole → Terra  
Marte  
Giove  
Saturno

# L'ossessione della perfezione geometrica

Re Artù e i cavalieri della tavola rotonda, segno di geometrica democrazia.

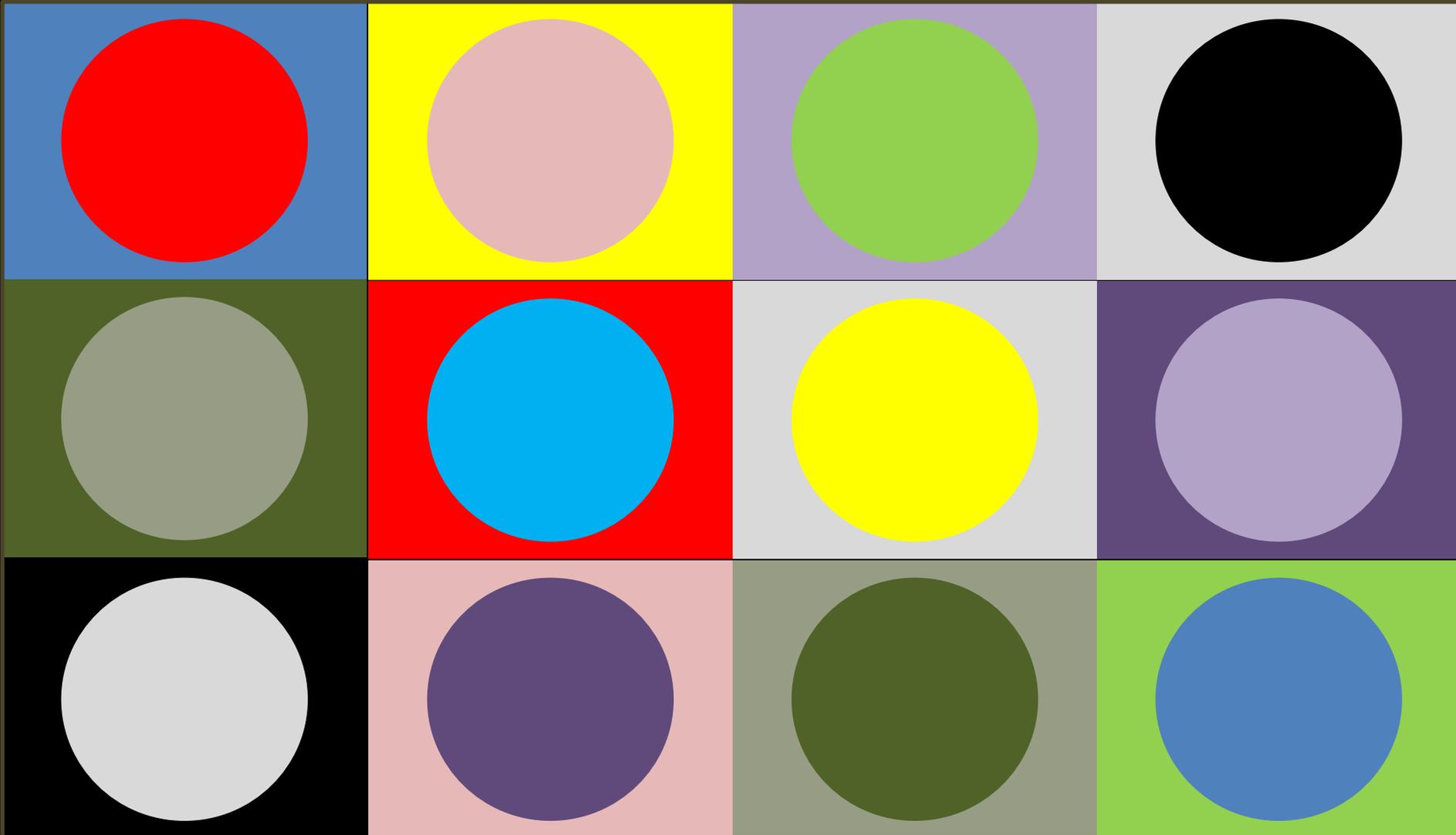


Zeus di Smirne, Louvre

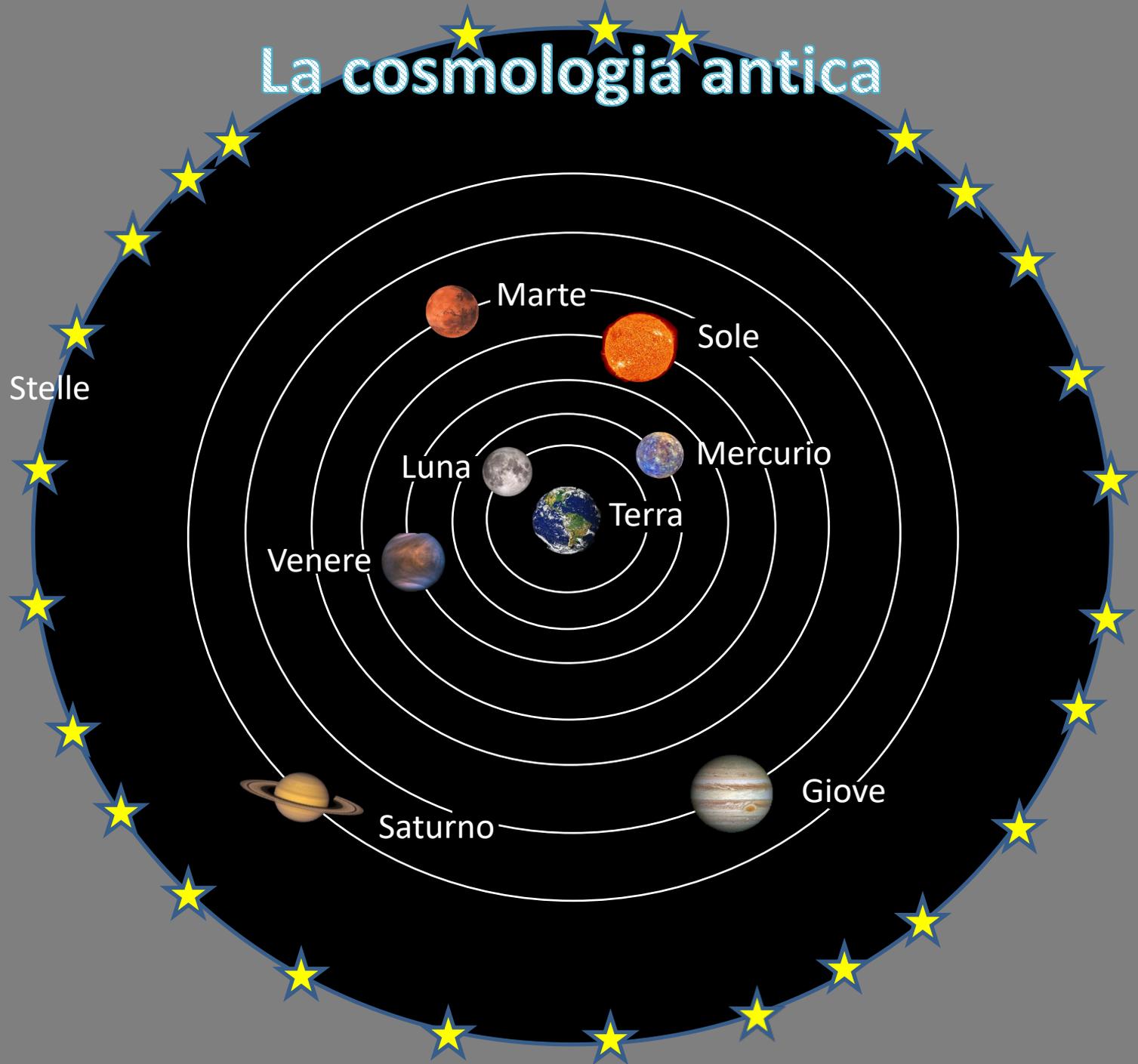
Bibbia francese  
del XIII secolo

# L'ossessione della perfezione geometrica

Andy Warhol?



# La cosmologia antica



# Modelli per salvare le apparenze e la perfetta circolarità dei moti

**Eudosso di Cnido**

(400-355 a.C.)

**Aristotele**

(384-322 a.C.)

**Ipparco di Nicea**

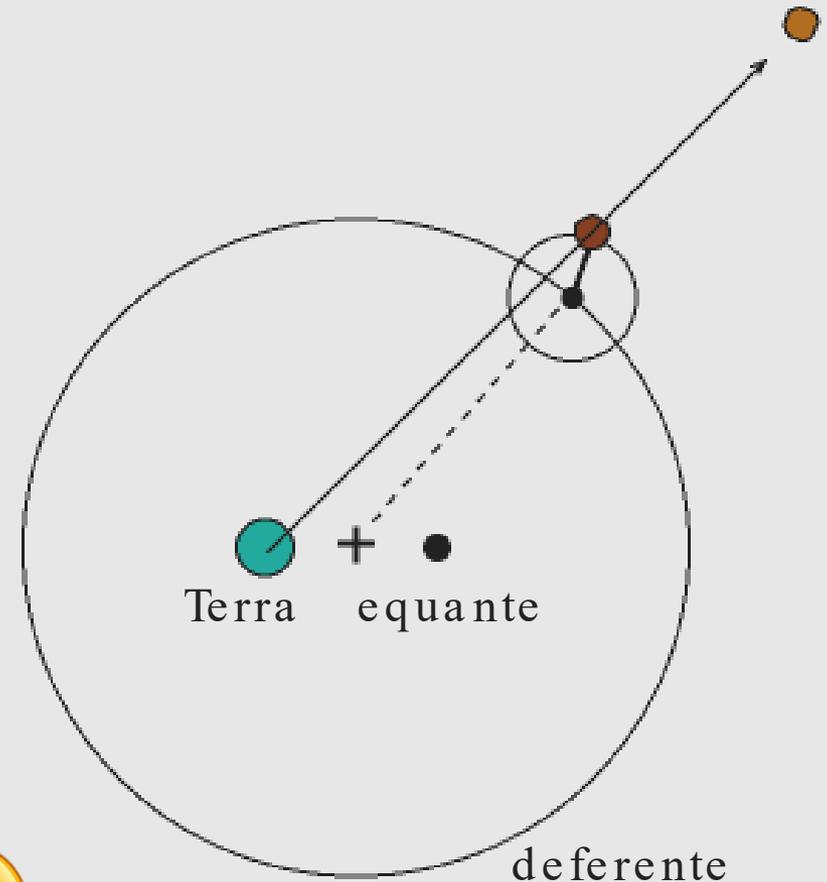
(200-120 a.C.)

**Claudio Tolomeo**

(100-175 d.C.)



Espediente tolemaico per salvare l'uniformità



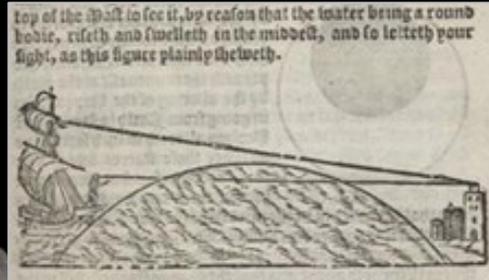
# Il cosmo secondo Greci e cristiani

Aristotele  
(384-322 a.C.)

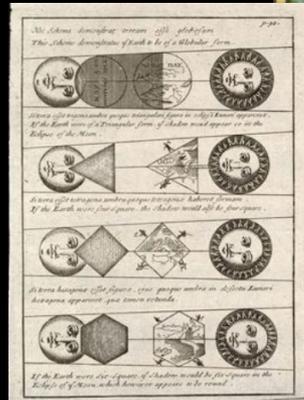
✓ **Geocentrico** (ma non per tutti; e.g. Aristarco)

Terra sferica

Andreas Cellarius, *Harmonia Macrocosmica*, (1660/61)

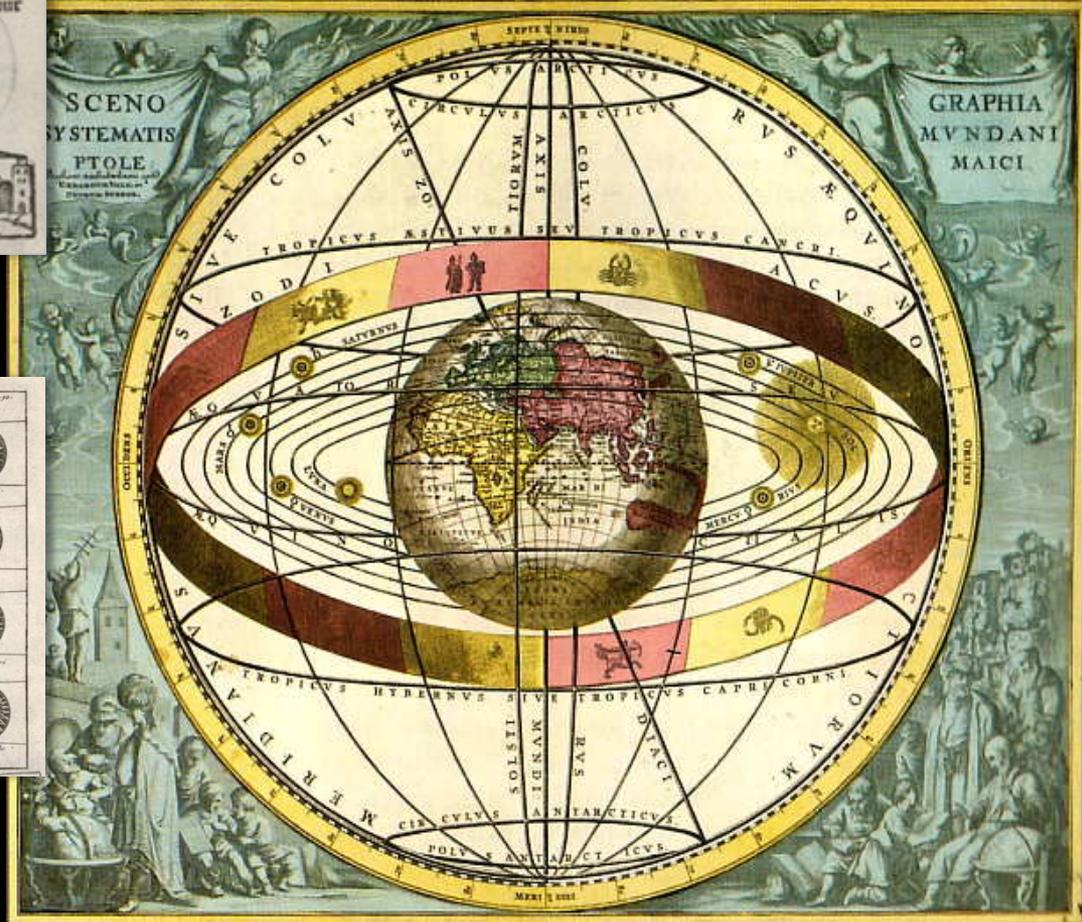


M. Blundeile his  
exercises (1613)



Universal  
Geography  
(1711)

Tommaso d'Aquino  
(1225-1274)



# Il cosmo secondo Greci e cristiani

Aristotele  
(384-322 a.C.)

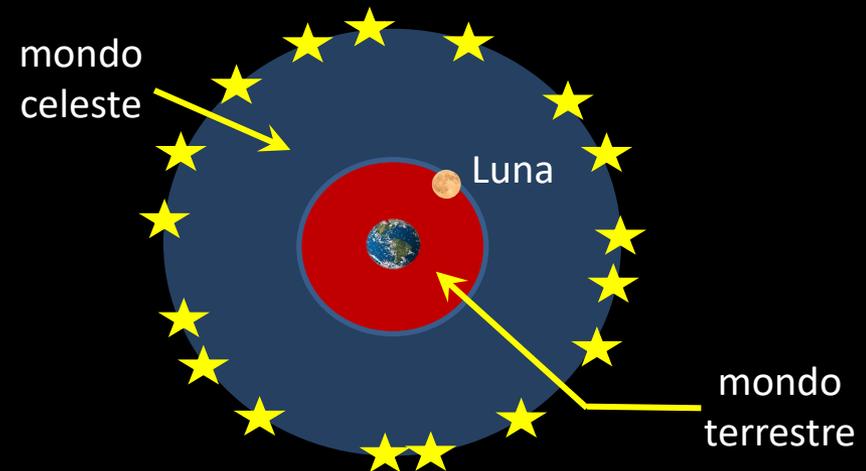


*Le propriétaire en francoys* (1491)

✓ **Geocentrico** (ma vedi anche Aristarco)

✓ **Duale:**

- **mondo terrestre** (sotto la sfera della Luna) corrottile e imperfetto  
**chimica:** terra, acqua, aria, fuoco (Empedocle)  
**moti:** rettilinei che "si consumano"
- **mondo celeste** (sopra la sfera della Luna) incorrottile e perfetto  
**chimica:** etere (Aristotele)  
**moti:** circolari "eterni" (perfezione)



Tommaso d'Aquino  
(1225-1274)

# Il cosmo secondo Greci e cristiani

Aristotele  
(384-322 a.C.)



- ✓ **Geocentrico** (ma vedi anche Aristarco)
- ✓ **Duale:**
  - **mondo terrestre** (sotto la sfera della Luna)  
corrutibile e imperfetto  
**chimica:** terra, acqua, aria, fuoco (Empedocle)  
**moti:** rettilinei che "si consumano"
  - **mondo celeste** (sopra la sfera della Luna)  
incorruttibile e perfetto  
**chimica:** etere (Aristotele)  
**moti:** circolari "eterni" (perfezione)
- ✓ **Racchiuso dalla sfera delle stelle fisse e animato da un motore divino**

Tommaso d'Aquino  
(1225-1274)



# Il cosmo secondo Greci e cristiani

Aristotele  
(384-322 a.C.)



Buch der Natur  
(1481)

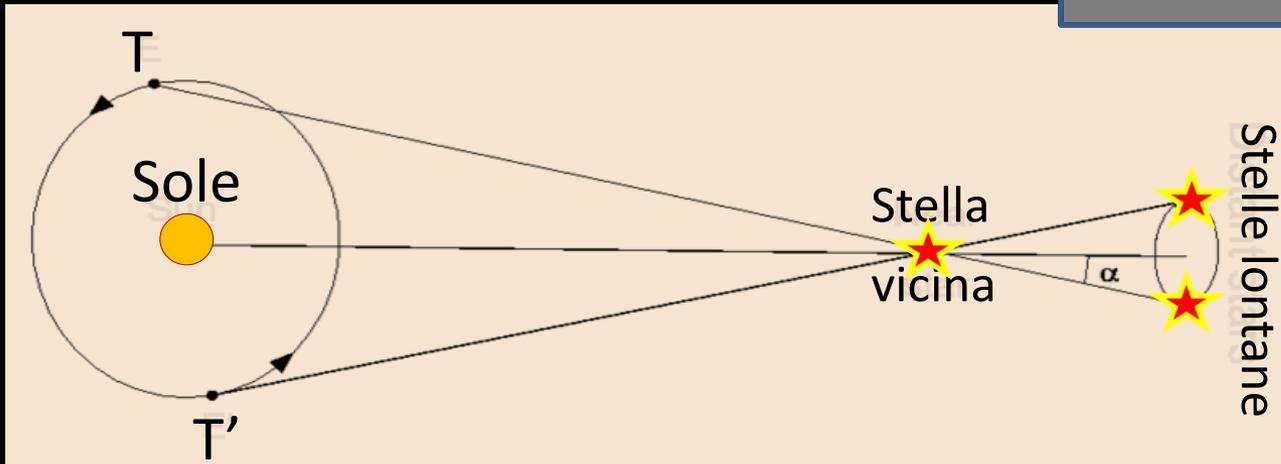
- ✓ **Geocentrico** (ma vedi anche Aristarco)
- ✓ **Duale:**
  - **mondo terrestre** (sotto la sfera della Luna)  
corrutibile e imperfetto  
**chimica:** terra, acqua, aria, fuoco (Empedocle)  
**moti:** rettilinei che "si consumano"
  - **mondo celeste** (sopra la sfera della Luna)  
incorruttibile e perfetto  
**chimica:** etere (Aristotele)  
**moti:** circolari "eterni" (perfezione)
- ✓ **Racchiuso dalla sfera delle stelle fisse e animato da un motore divino**
- ✓ **Horror vacui**
- ✓ **Unico; senza origine né fine (increato); ma non secondo Platone!**

Tommaso d'Aquino  
(1225-1274)

# Tutta colpa della parallasse annua che esiste solo se è la Terra a muoversi

**Parallasse annua:** spostamento apparente sulla sfera celeste di stelle vicine rispetto a quelle deboli di sfondo.

**L'ellissi di parallasse annua:** tanto più **ampia** quanto più l'astro è prossimo alla Terra e tanto più **schacciata** quanto più è basso sull'equatore celeste.



I palazzi più lontani  
sfilano più lentamente  
di quelli vicini

# Facciamo un salto di 14 secoli ...

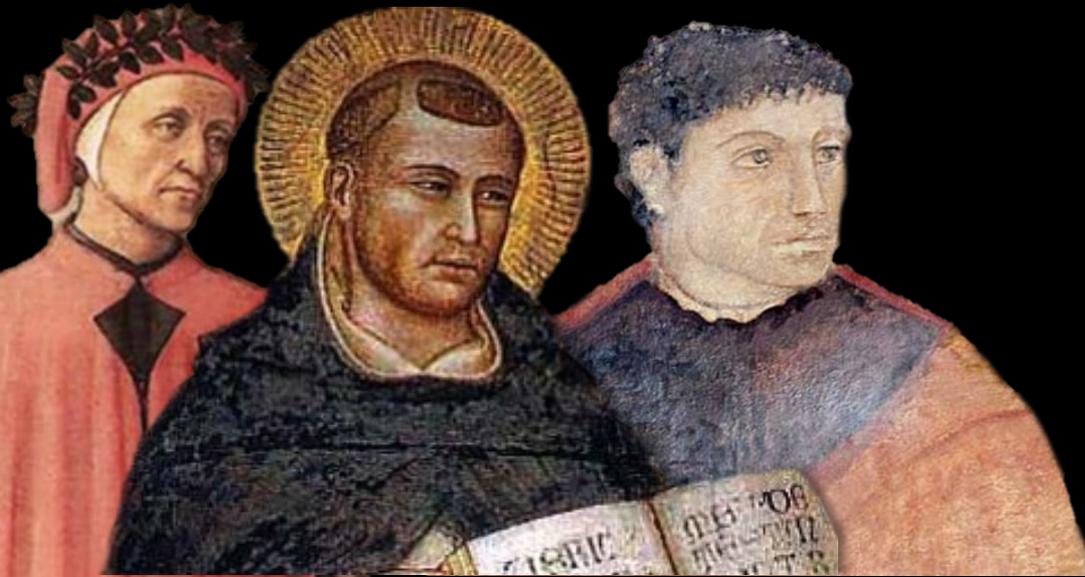
tralasciando i contributi:

- del periodo post-ellenistico
- di mussulmani, indiani e cinesi,
- dei pensatori cristiani,
- del Medioevo e del Rinascimento

Dante

Tommaso d'Aquino

Nicolò da Cusa



# 1543: la (mezza) rivoluzione copernicana

## Il Sole è collocato al centro del mondo



Papa Paolo III  
(1534-1549)



Niccolò Copernico (1473-1543)

A. Cellarius, *Harmonia Macrocosmica*



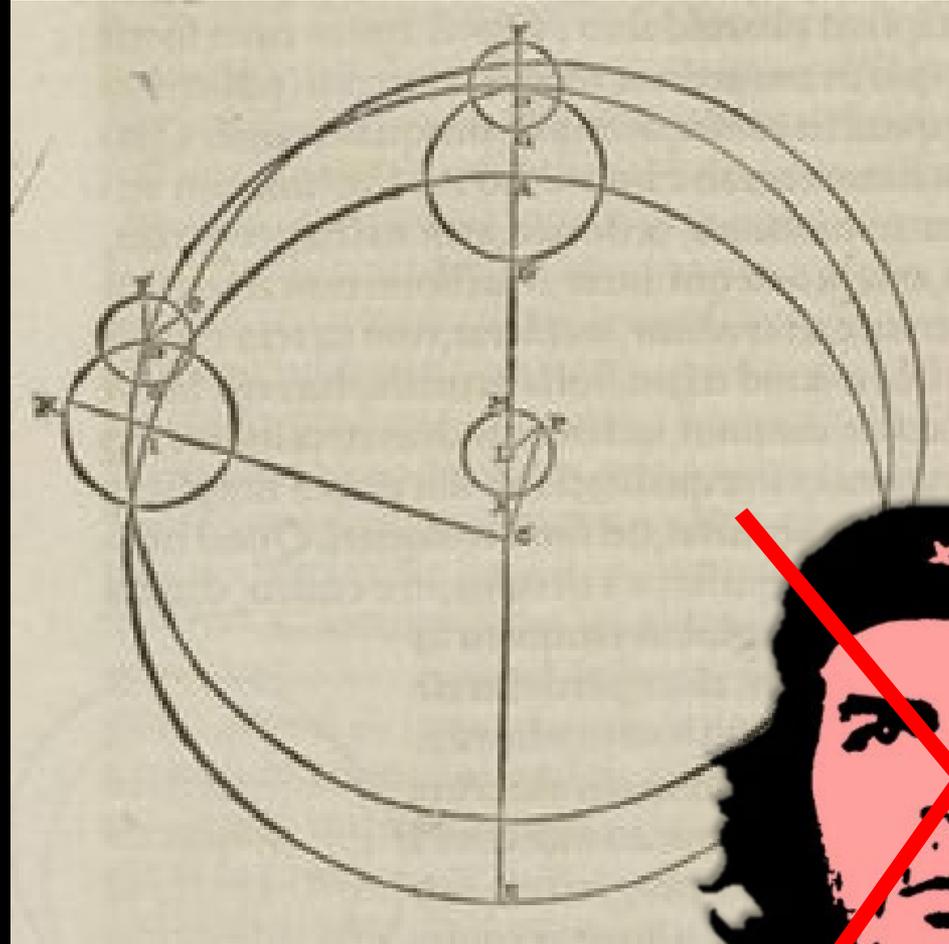
Che Guevara

# Perché mezza rivoluzione?

Resta il postulato dei moti circolari e dunque gli epicicli



Papa Paolo III  
(1534-1549)



*De revolutionibus orbium coelestium*  
(1543)

Niccolò Copernico (1473-1543)



Che Guevara

# Perché chiamarla rivoluzione?

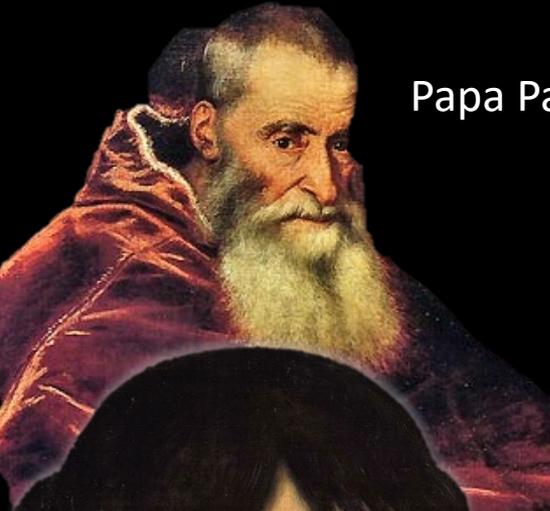
Perché l'uomo, cacciato dal centro del mondo,

non deve più limitarsi soltanto

ad ammirare il Creato:

lo può anche studiare.

Papa Paolo



Giuseppe Cesari  
*Cacciata dal Paradiso Terrestre*



Niccolò Copernico



Apollo del  
Belvedere

# Un'epoca di grandi rivoluzioni (1453)



Caduta di Costantinopoli, 29 maggio 1453

Bibbia di Gutenberg (o *Bibbia a quarantadue linee*), realizzata a Magonza a partire dal febbraio 1453



# Un'epoca di grandi rivoluzioni (1492)

Caduta di Granada  
2 gennaio 1492

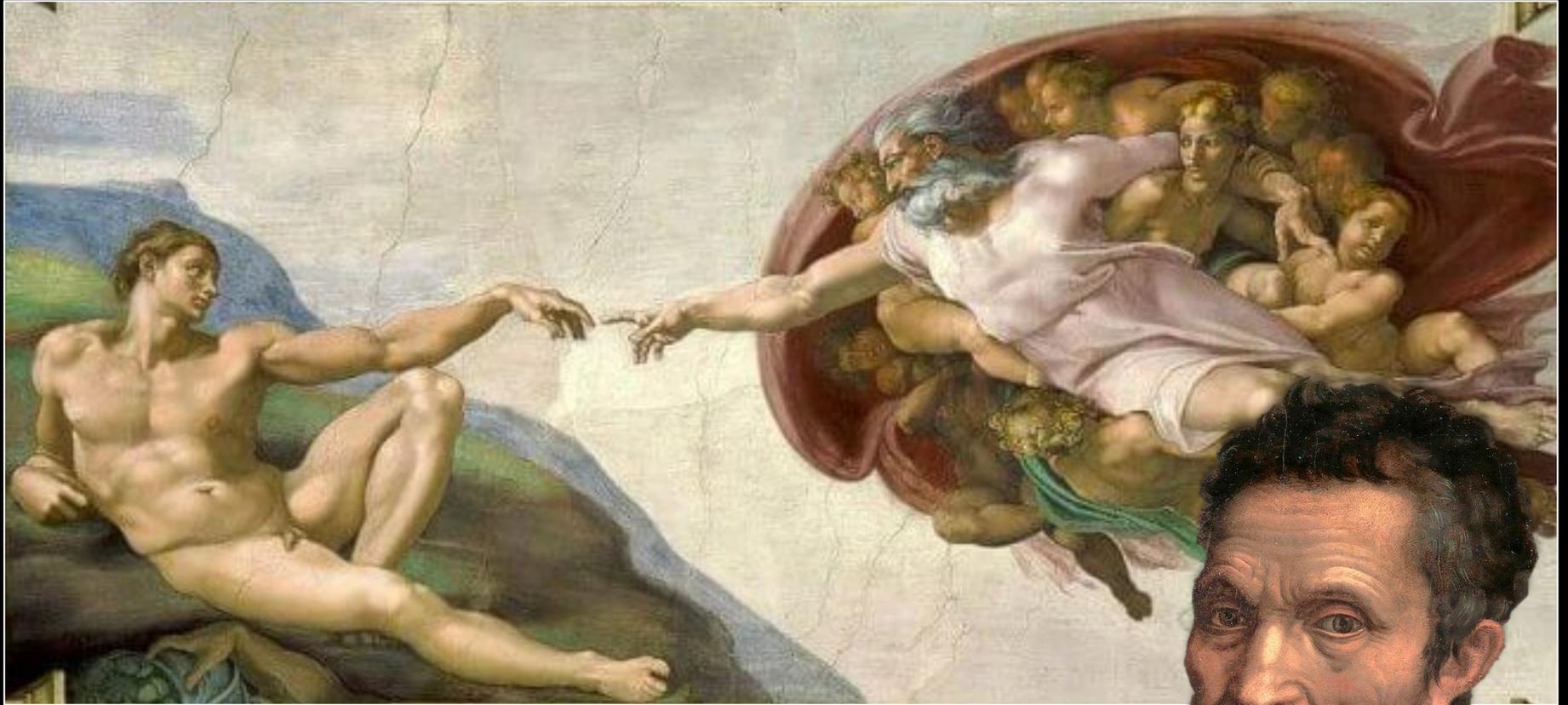


Cristoforo Colombo sbarca a San Salvador (Bahamas)  
12 ottobre 1492

Muore Lorenzo il Magnifico  
8 aprile 1492

# Un'epoca di grandi rivoluzioni (1508-1541)

Michelangelo Buonarroti affresca la Cappella Sistina, 1508-1541



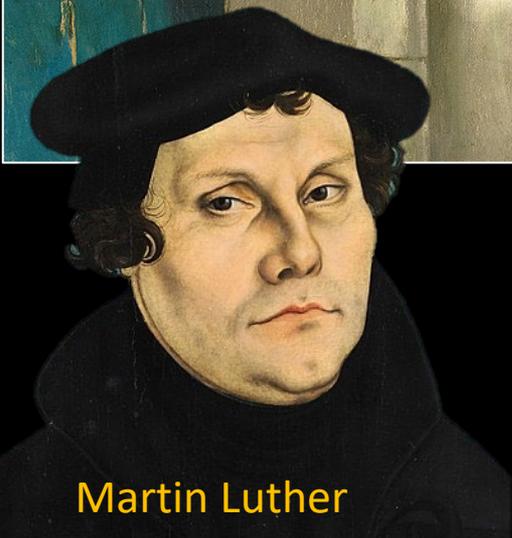
Michelangelo Buonarroti  
(1475-1564)

# Un'epoca di grandi rivoluzioni (1517-1563)

Marin Luther affigge le 95 tesi sulla porta della cattedrale di Wittenberg, 31 ottobre 1517



(Ferdinand Pauwels)



Martin Luther

1542: papa Paolo III indice  
il Concilio di Trento,  
che si conclude nel 1563



# Un'epoca di grandi rivoluzioni (1519-1571)

(Paolo Veronese)

La flotta cristiana sconfigge quella musulmana a Lepanto; 7 ottobre 1571

Fernão de Magalhães inizia il viaggio attorno al globo; 20 settembre 1519

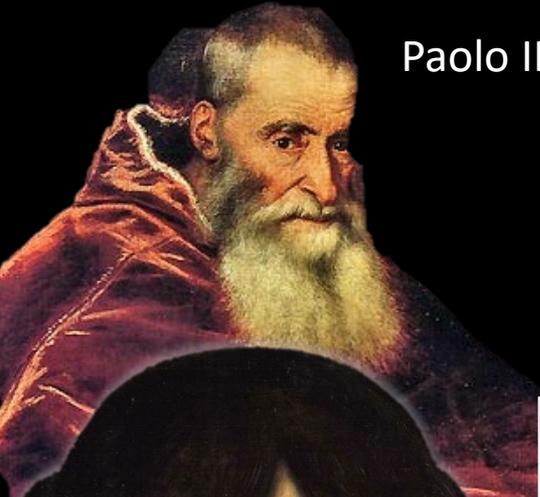


# Eliocentrismo in conflitto con le Scritture

*Libro di Giosuè, 10.12*

*«Quel giorno, quando il Signore diede a Israele la vittoria sugli Amorrei, Giosuè pregò il Signore e gridò alla presenza di tutti gli Israeliti: 'Sole, fermati su Gabaon! e tu, Luna, sulla valle di Aialon! Il Sole si fermò, la Luna restò immobile, un popolo si vendicò dei suoi nemici'.»*

Paolo III



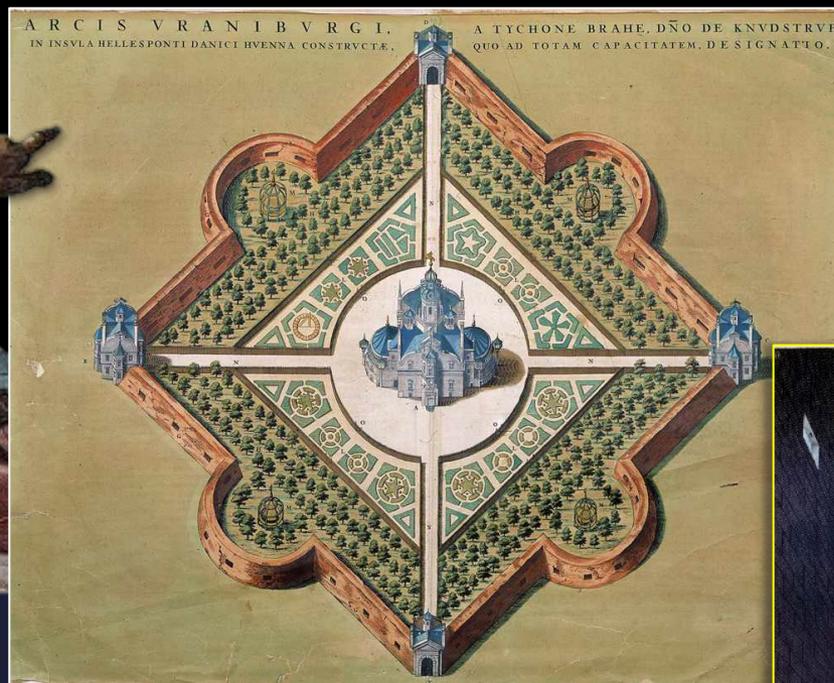
Carlo Maratta  
*Giosuè ferma la corsa del sole*

Niccolò Copernico

# 1580 c.: Tycho Brahe, l'uomo dal naso d'oro controriforma astronomica

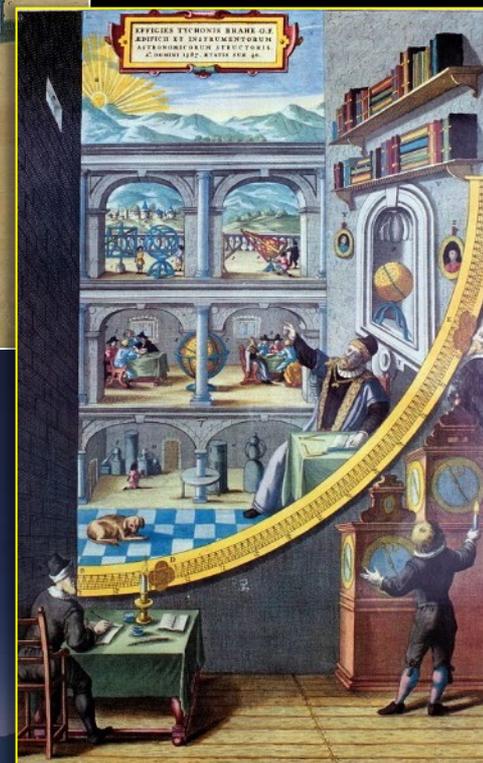


Tycho Brahe  
(1546-1601)



Uraniborg  
sull'isola di Hven

Quadrante  
murale



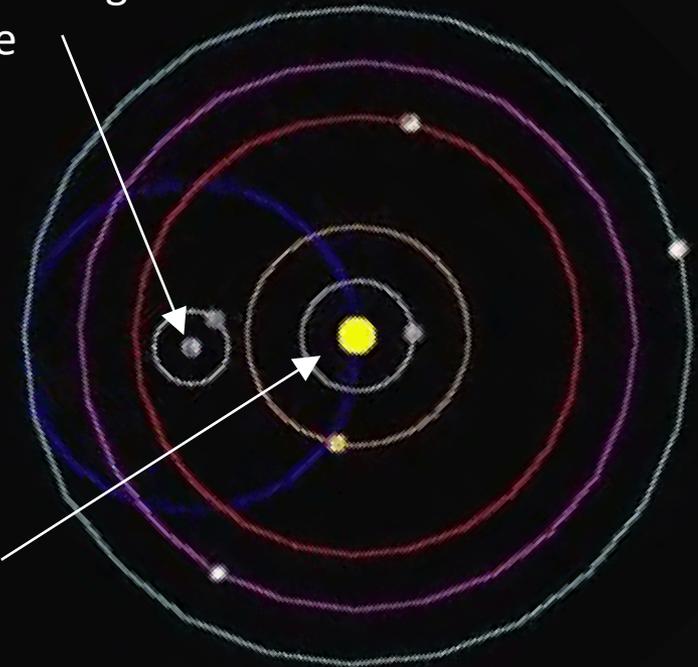
# La reazione intelligente:

## Il modello misto di Tycho Brahe mette in crisi le sfere di cristallo di Aristotele



Tycho Brahe  
(1546-1601)

Terra immobile,  
attorno cui rivolgono  
Luna e Sole



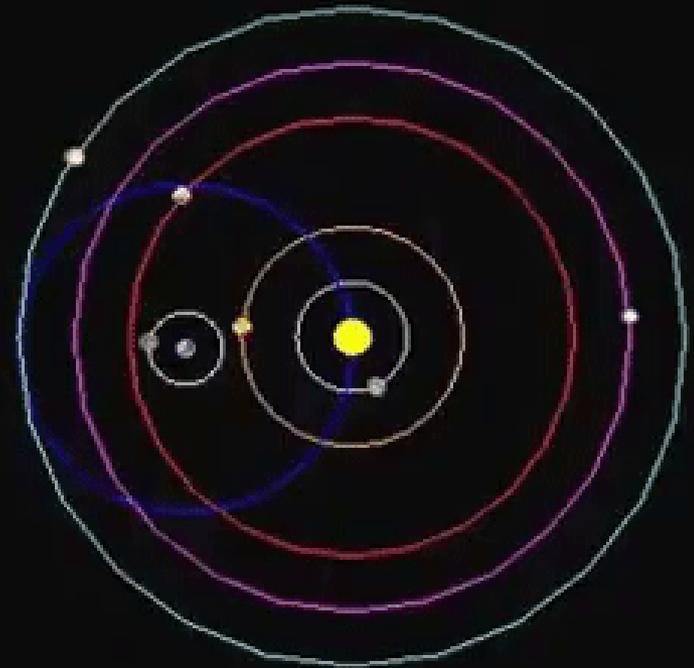
Sole in orbita eliocentrica,  
attorno cui rivolgono tutti  
gli altri pianeti

# La reazione intelligente:

**Il modello misto di Tycho Brahe mette in crisi le sfere di cristallo di Aristotele**



Tycho Brahe  
(1546-1601)



# Chi ha ragione? Copernico o Brahe?



Frontespizio dell'*Almagestum Novum* (1651) del gesuita **Giovanni Battista Riccioli** (1598-1671). La musa Urania regge una bilancia con due modelli concorrenti, quello eliocentrico copernicano (*sinistra*) e quello geocentrico ticonico (*destra*). Il modello tolemaico è abbandonato nell'angolo in basso a destra della scena.



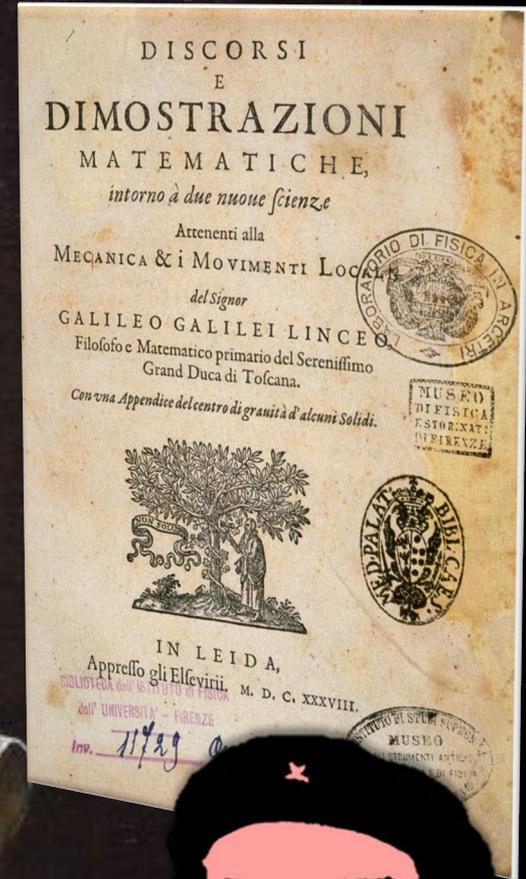
# 1609: Galilei punta il cannocchiale al cielo



Pleiadi dal  
*Sidereus Nuncius*  
(1610)



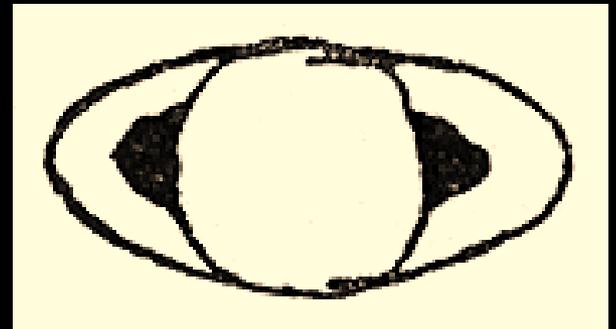
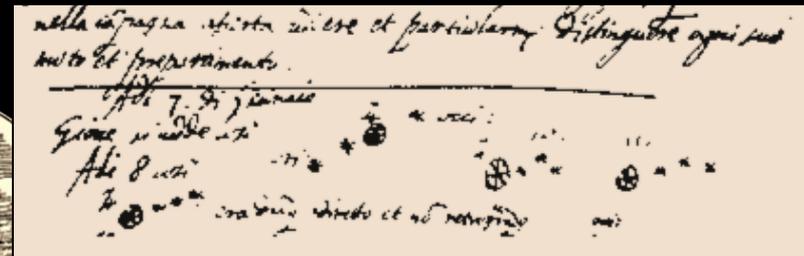
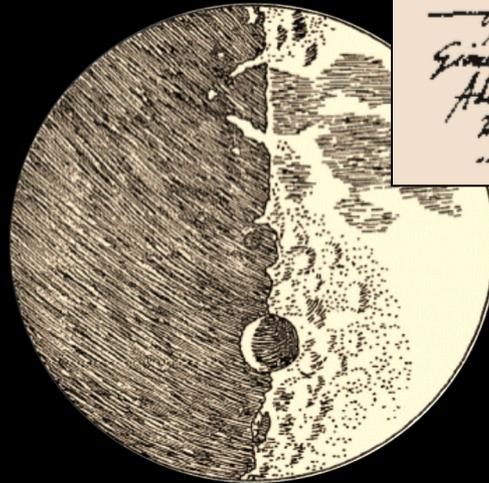
Galileo Galilei (1564-1642)



Che Guevara

# Le scoperte astronomiche di Galilei

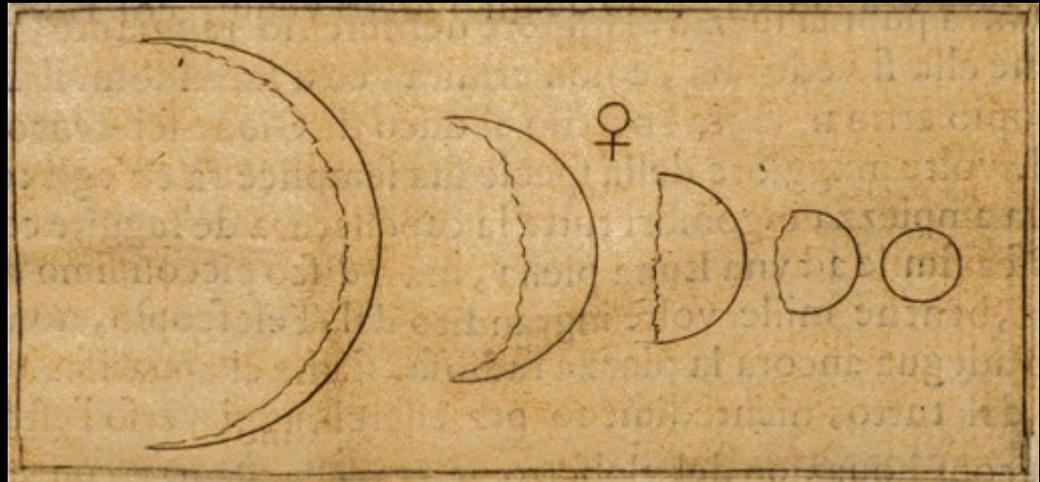
- Asperità e mari sulla superficie lunare
- Lune medicee (4 satelliti maggiori di Giove)
- La struttura tricorporea di Saturno
- **Aristotele ha torto sulla perfezione delle sfere celesti e sull'esclusiva centralità della Terra**



Galileo Galilei (1564-1642)

# Le scoperte astronomiche di Galilei

- La fasi di Venere
  - Copernico ha ragione nel pretendere che sia il Sole immobile e la Terra in moto



# Le scoperte astronomiche di Galilei

- Le stelle sono tante e distribuite nello spazio: «*affollano le profondità siderali*»
- **Nascita di una** nuova cosmologia siderale



**Il metodo scientifico**

# Conflitto tra scienza e fede

«*intesi da persona ecclesiastica costituita in eminentissimo grado [il cardinale Baronio], l'intenzione dello Spirito Santo essere d'insegnarci **come si vadia al cielo, e non come vadia il cielo.***»

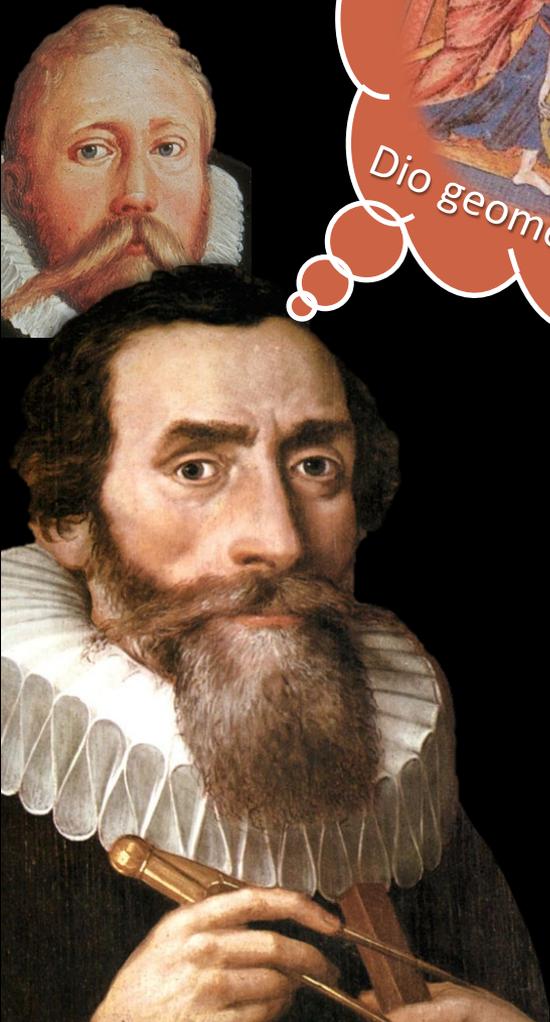
Lettera a Madama Cristina di Lorena, Granduchessa di Toscana (1615)



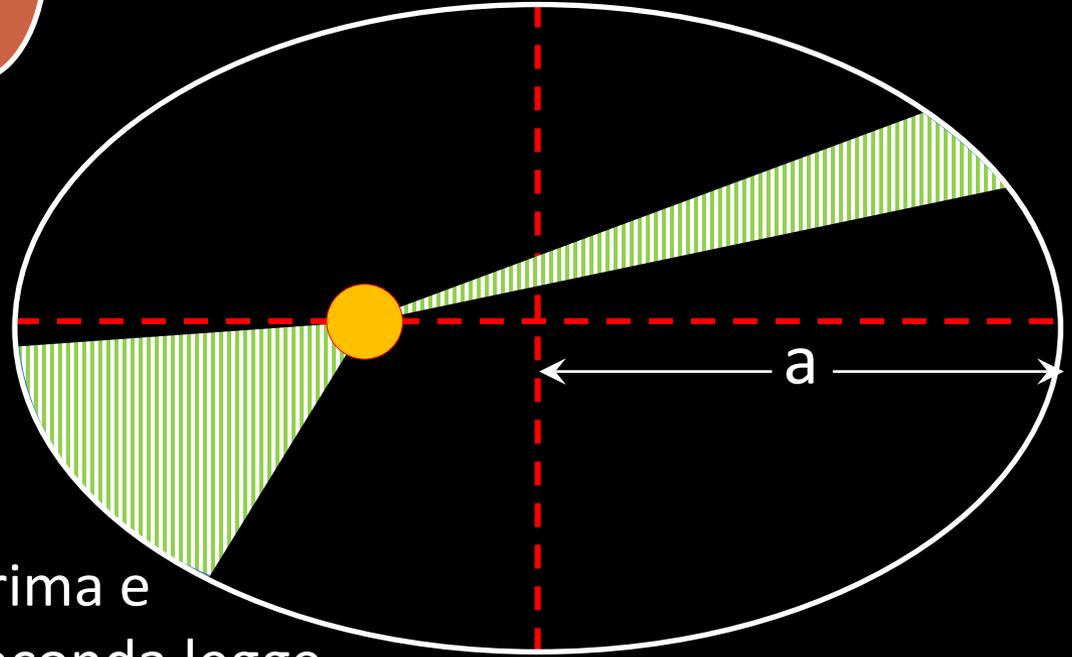
Giordano Bruno  
(1548-1600)



# 1609-1619: Giovanni Keplero e la follia creativa



## Le tre leggi

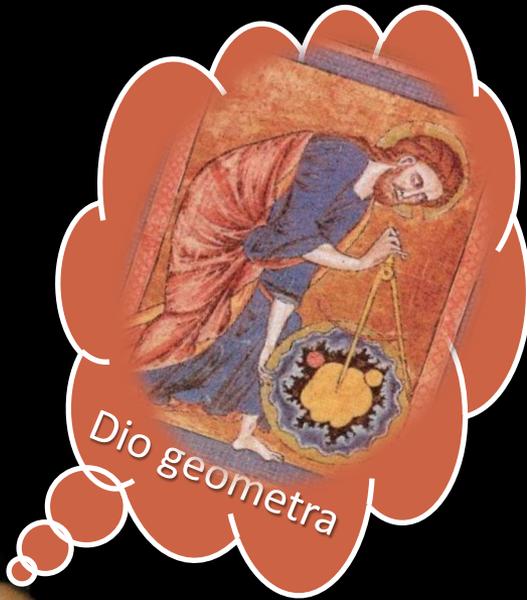


Prima e  
seconda legge

Terza legge  $\frac{a^3}{P^2} = K$

Giovanni Keplero  
(1571-1630)

# La follia creativa: l'armonia delle sfere



Nell'*Harmonices Mundi* (1618) Keplero attribuì gamme di note musicali a ciascuno dei sette pianeti. Era arrivato a queste armonie calcolando le velocità eliocentrica di ciascun pianeta al perielio e all'afelio.

HARMONICIS LIB. V. 207

omnia (infinita in potentia) permanens actu: id quod alicuius me non potuit exprimi, quam per continuam seriem Notarum intermedia.

Saturnus Jupiter Mars Terra Venus Mercurius

Hic locum habet etiam 2

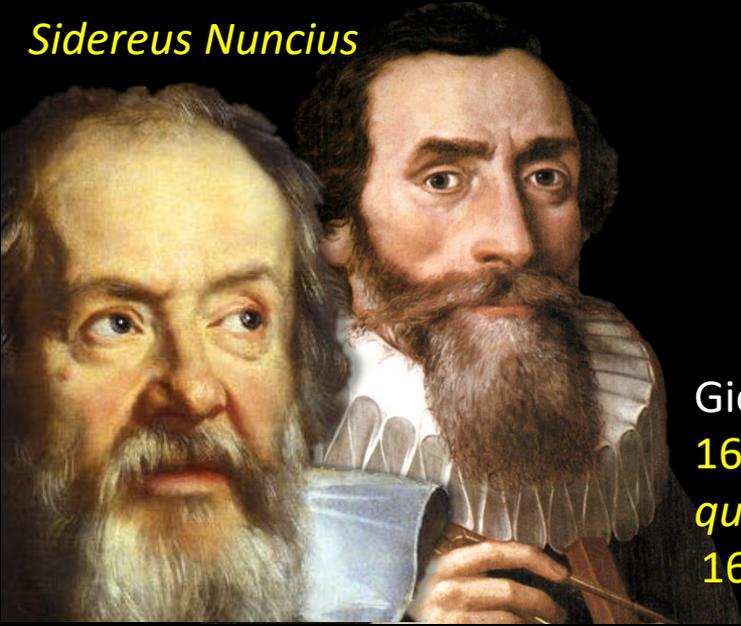


Giovanni Keplero  
(1571-1630)

# Sviluppo del telescopio rifrattore

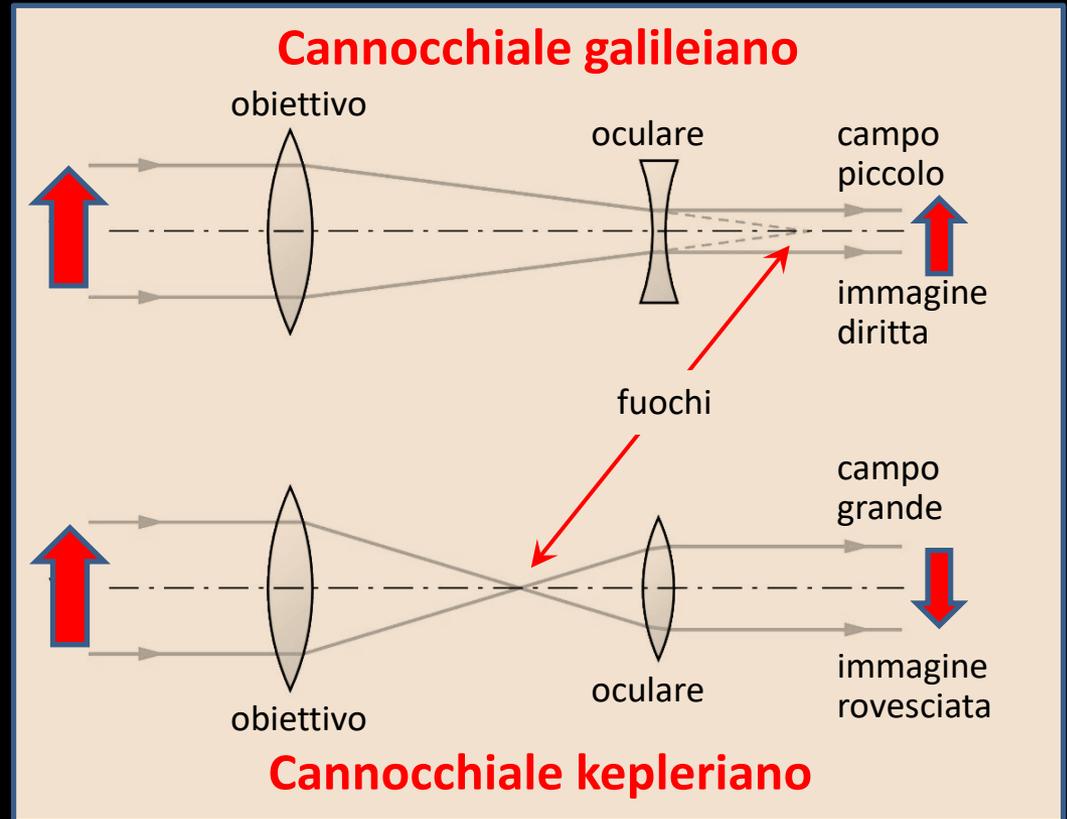


Galileo Galilei  
*Sidereus Nuncius*

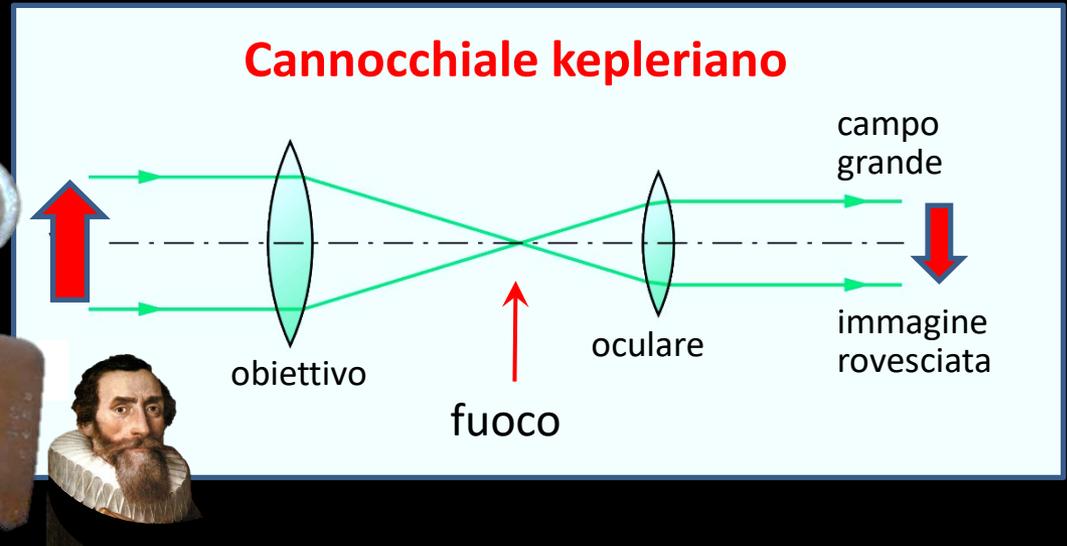


Giovanni Keplero

1604: *Ad Vitellionem Paralipomena, quibus astronomiae pars optica traditur*  
1611: *Dioptrice*



# Il cannocchiale kepleriano vede e ... punta

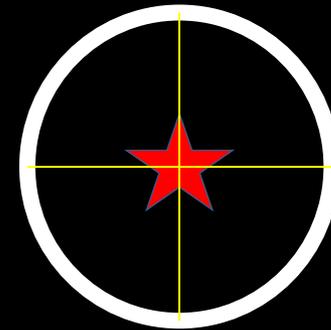


Da strumento di osservazione  
il cannocchiale diventa strumento di misura



William Gascoigne  
(1612-1644)

Reticolo  
oculare



Illuminazione  
laterale

# 1687: Newton

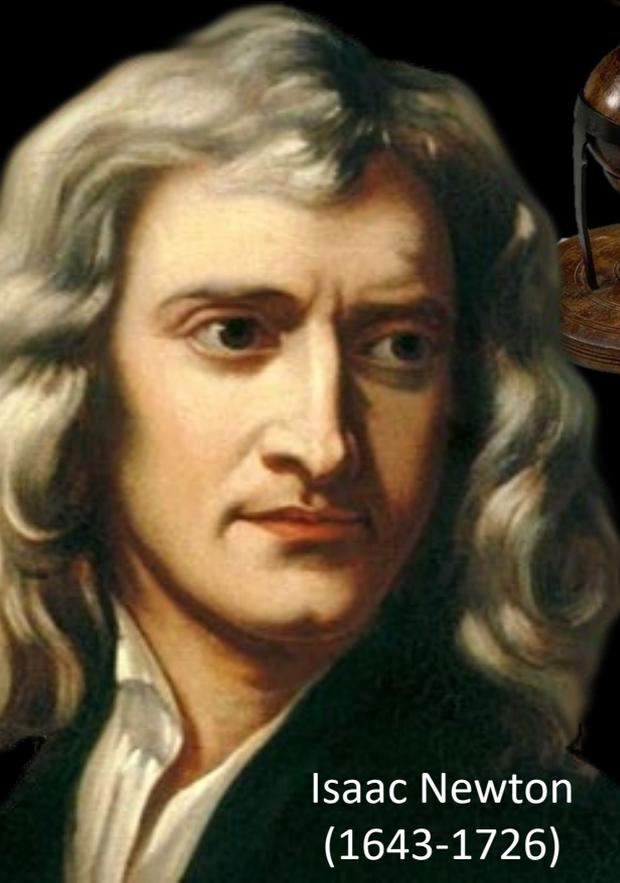
## Ricerca delle cause e degli effetti

*La natura e le leggi della natura  
giacevano nascoste nella notte;  
Dio disse "Sia Newton" e tutto fu luce.*

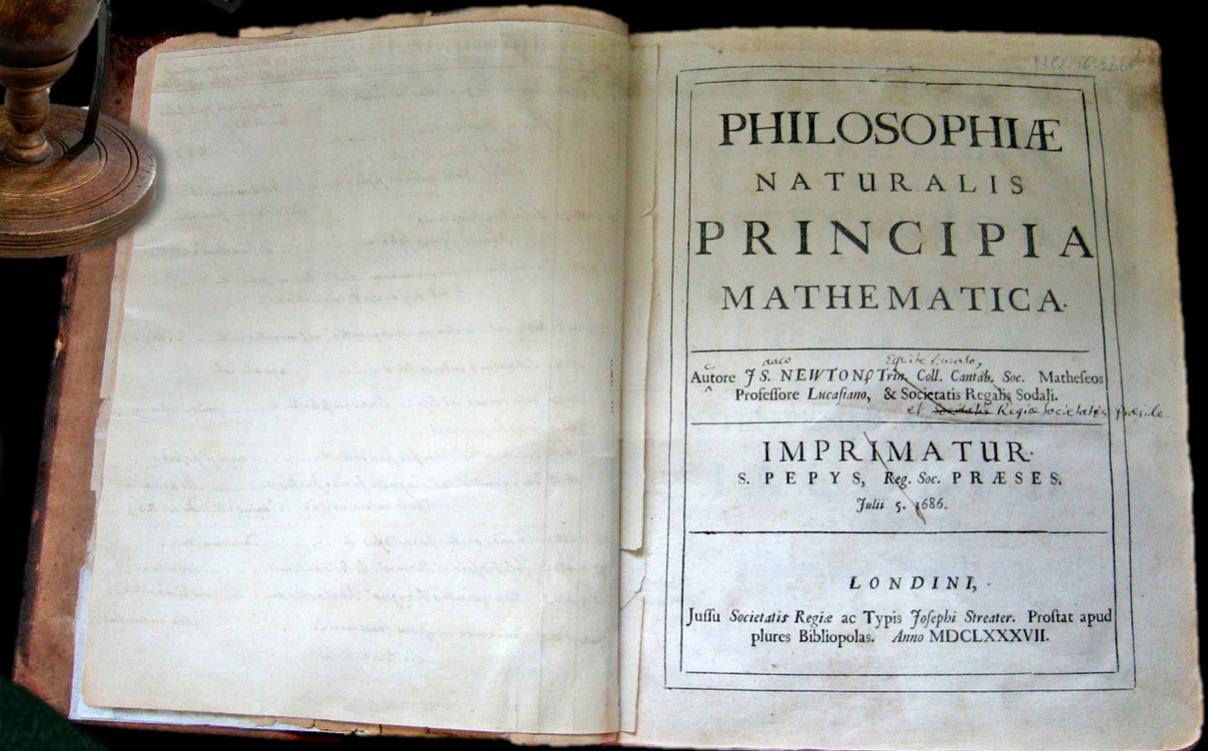
*Alexander Pope, Epitaffio di Newton*

*(Nature and nature's laws lay hid in night;  
God said "Let Newton be" and all was light)*

Telescopio  
riflettore



Isaac Newton  
(1643-1726)



PHILOSOPHIÆ  
NATURALIS  
PRINCIPIA  
MATHEMATICA.

Autore <sup>autore</sup> J. S. NEWTONI <sup>Equitis Cantab.</sup> Trin. Coll. Cantab. Soc. Matheseos  
Professore Lucasiano, & Societatis Regiæ Sodali.  
<sup>et Societatis Regiæ Societatis</sup>

IMPRIMATUR.  
S. PEPYS, Reg. Soc. PRÆSES.  
Julii 5. 1686.

LONDINI,

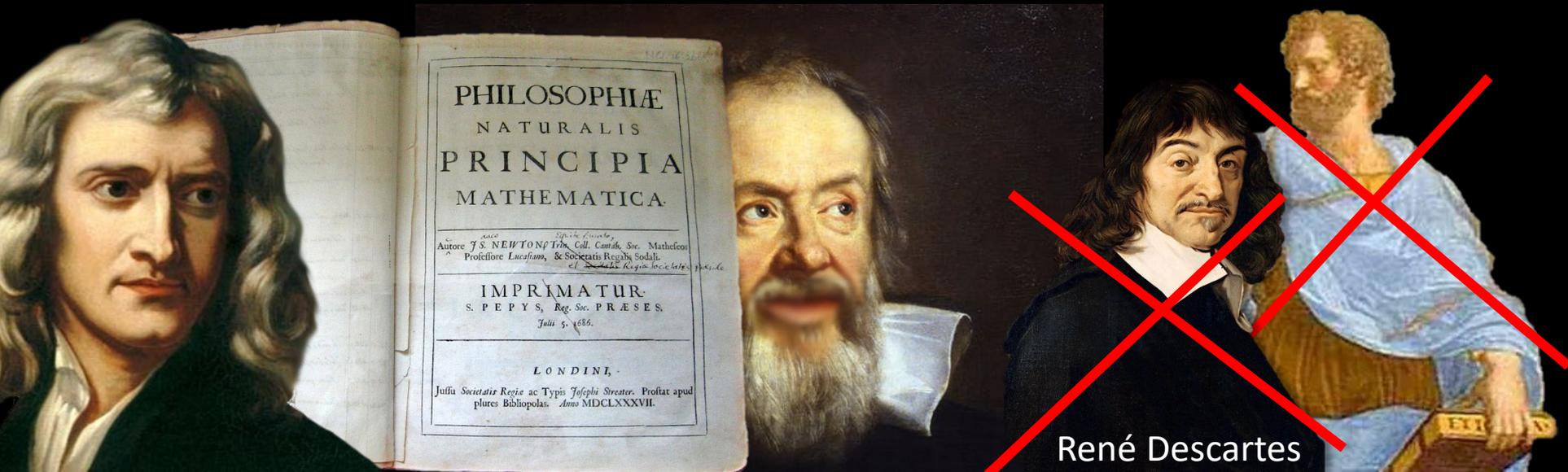
Jussu Societatis Regiæ ac Typis Josephi Streater. Prostat apud  
plures Bibliopolas. Anno MDCLXXXVII.

# 1687: la meccanica di Newton

## una teoria fisica matematicamente fondata

su tre principi:

1. **Principio di inerzia**, conseguenza del principio di relatività galileiano
2. **Legge di proporzionalità tra forza e accelerazione**,  $f = ma$ , tramite un costante del corpo detta massa
3. **Principio di azione e reazione**



Aristotele

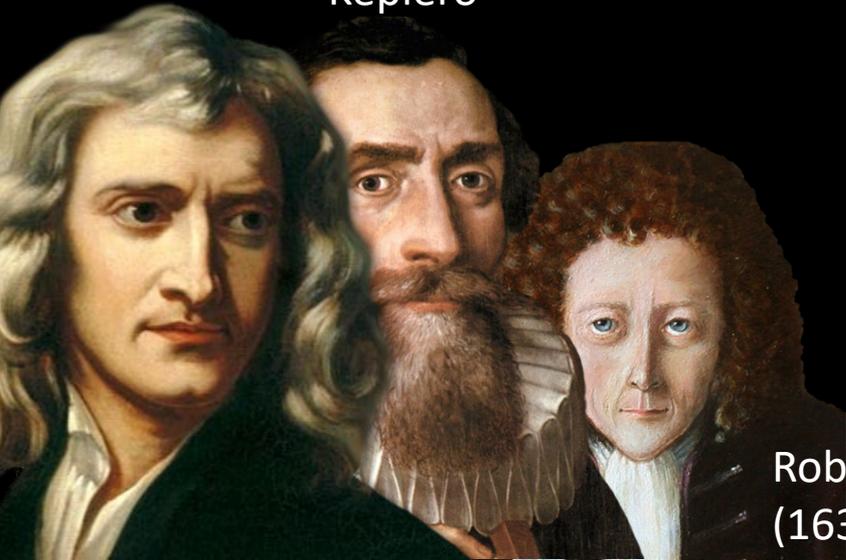
René Descartes

# 1687: la forza di gravità ... verso l'unificazione di cielo e Terra



Newton

Keplero

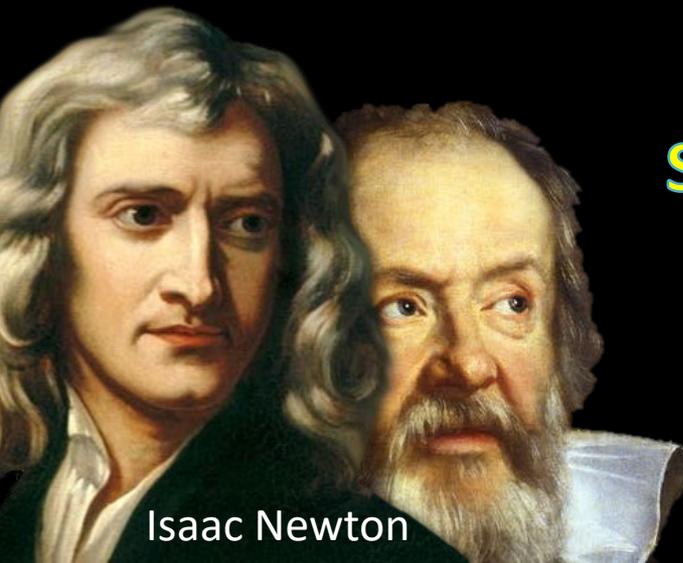


Robert Hooke  
(1635–1703)



# Il cosmo dopo Galilei e Newton

1. I moti del Sistema Solare sono governati dalle **leggi della fisica** e dalla **gravità**, e il **Sole si trova al centro** perché è il più massiccio.
2. La gravità **agisce allo stesso modo in Terra come in cielo** (sconfitta della dicotomia aristotelica).
3. La sfera delle stelle fisse è in realtà una **prateria di astri simili al Sole**.



Isaac Newton

Galileo Galilei

**Servivano telescopi sempre più potenti per guardare gli oggetti celesti in maggiore dettaglio e più lontani**

# XVIII secolo: lenti contro specchi

Archimede



Niccolò Zucchi  
(1586 –1670)



Soffre di aberrazione cromatica  
Pone limiti di peso (dimensioni)  
Elevata trasparenza del materiale  
Elevati costi di lavorazione (2 facce)  
Minore manutenzione  
PSF simmetrica

Esente da aberrazione cromatica  
Limiti di peso meno stringenti (dimensioni)  
Nessuna richiesta di trasparenza del materiale  
Costi di lavorazione ridotti (una sola faccia)  
Maggiore manutenzione (ma alluminatura)  
PSF complicata dal sostegno del secondario  
Adattabilità dei menischi

# Le Lune medicee come orologi universali



dal *Sidereus Nuncius*



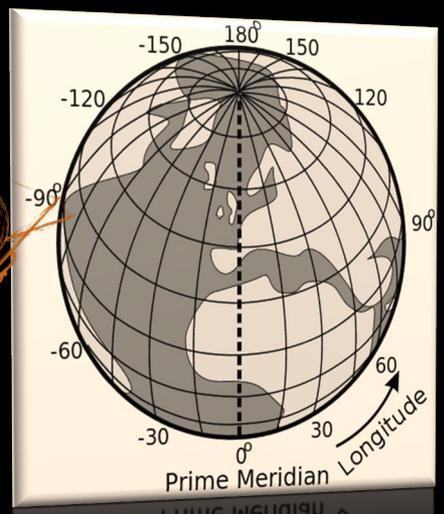
29 luglio 2008, 19.33 UT

Scoperti da Galilei nel **1610**, i **quattro satelliti di Giove** possono fungere da lancette di un **orologio celeste** il cui ritmo viene letto con precisione tramite le **eclissi**.

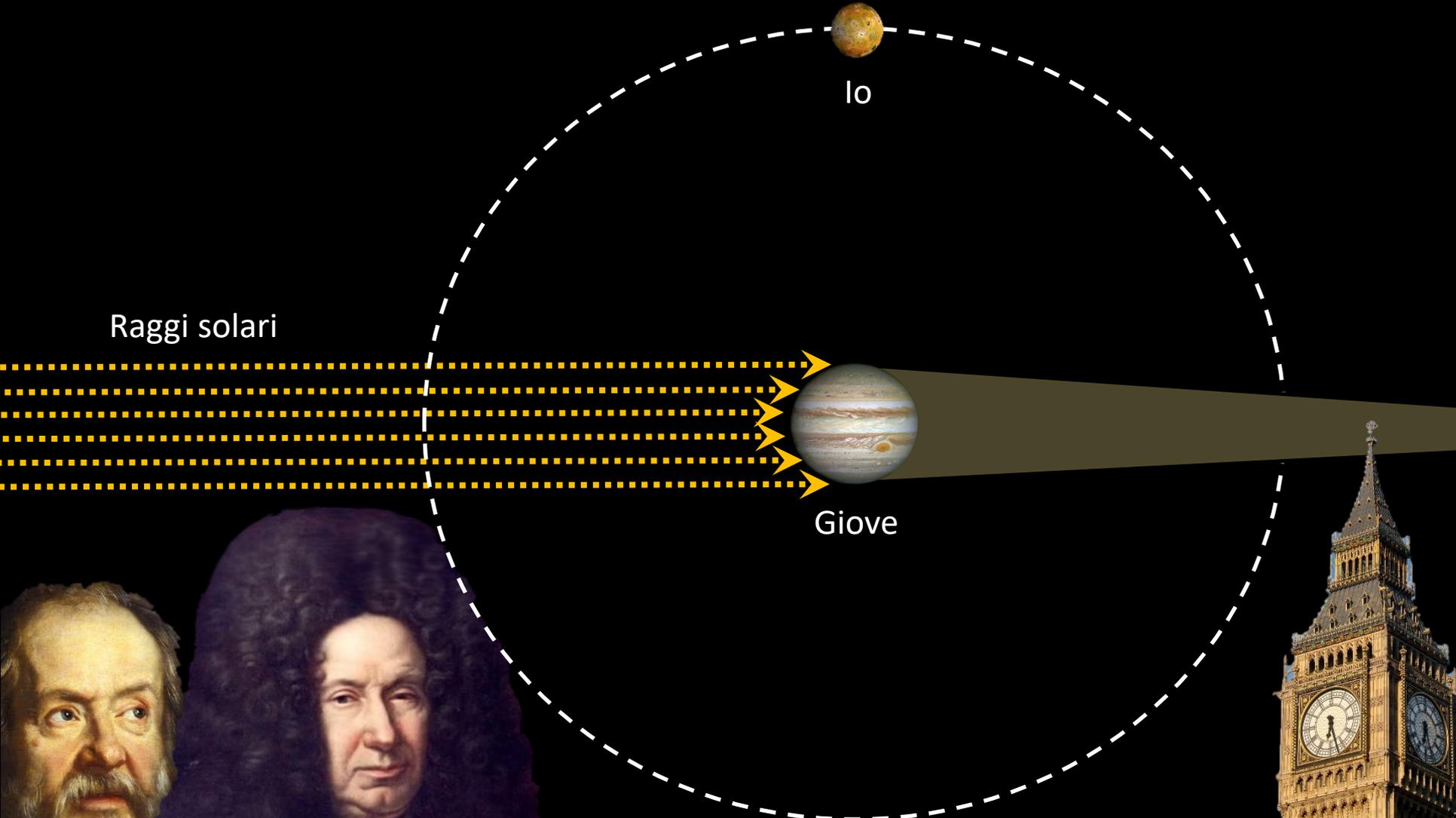
Potenzialmente utili per determinare **la longitudine**.



Galileo Galilei



# Gli intervalli tra due successive eclissi di Io dovrebbero essere costanti e invece...



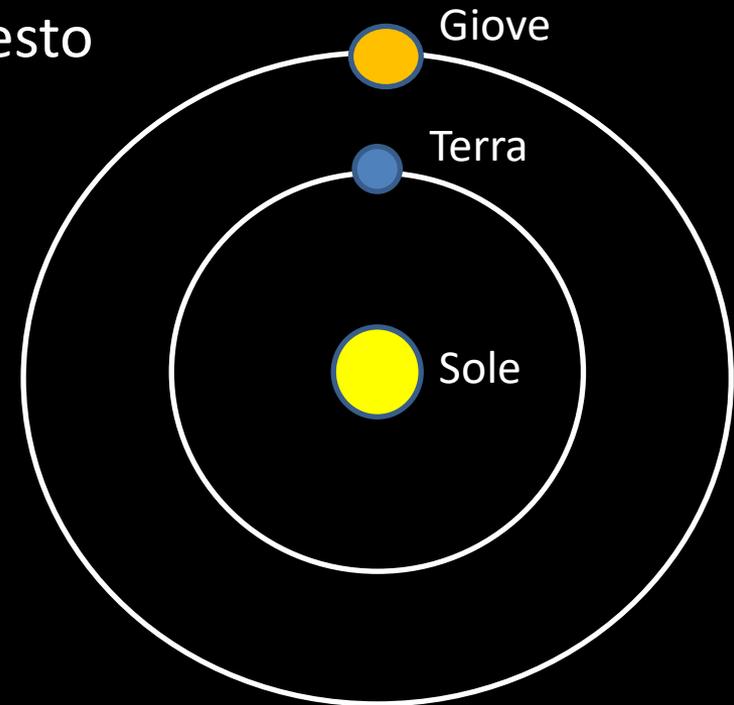
# ... mostrano una disequaglianza dovuta alla geometria del sistema e alla velocità finita della luce

La distanza di Giove dalla Terra oscilla nel tempo tra un valore minimo quando il nostro pianeta gli si avvicina e uno massimo quando si allontana.

Dunque la luce attraverso cui vediamo le eclissi della luna lo compie cammini diversi e questo modula la cadenza delle eclissi stesse.

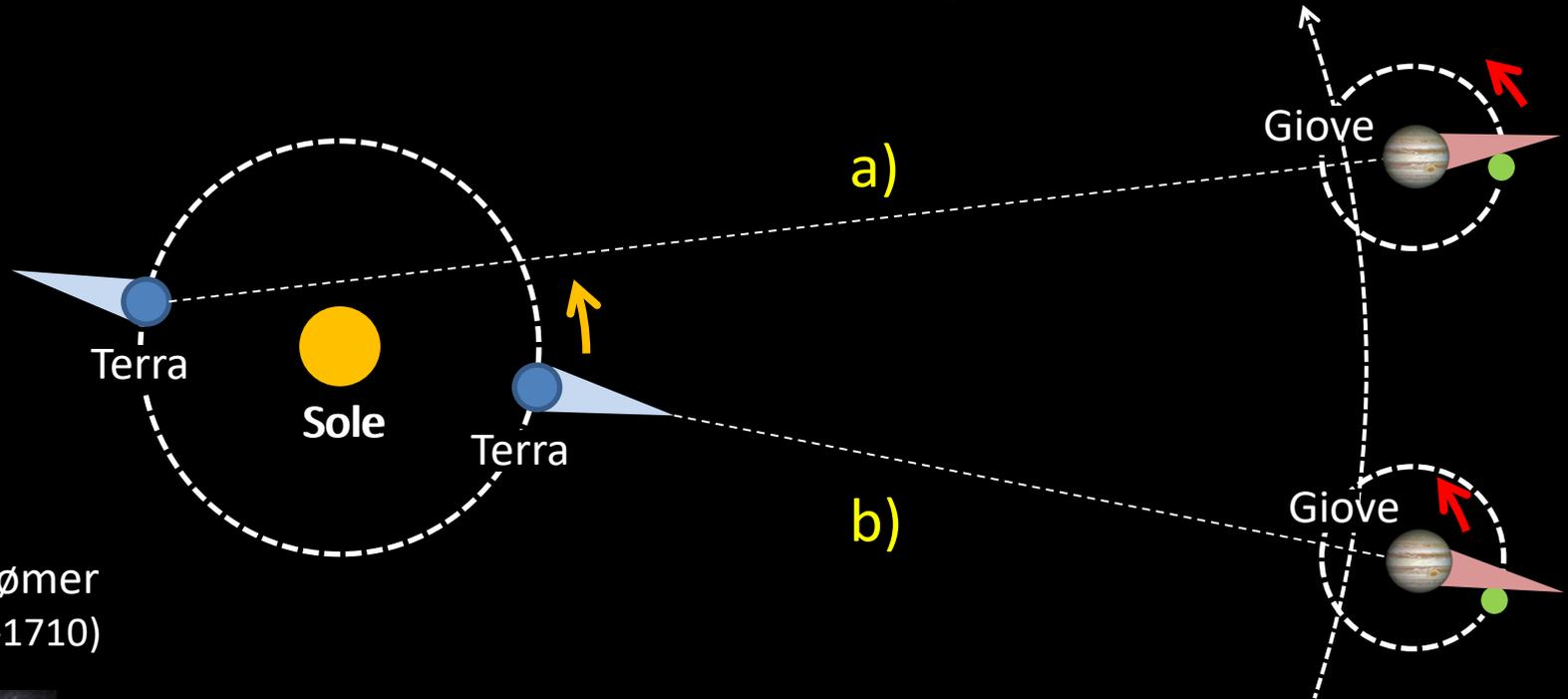
Giovanni Domenico Cassini  
Galileo Galilei

Ole Rømer  
Christiaan *Huygens*



# 1676: prima misura della velocità della luce

Modulazione annuale del *timing* delle eclissi



Ole Rømer  
(1644-1710)

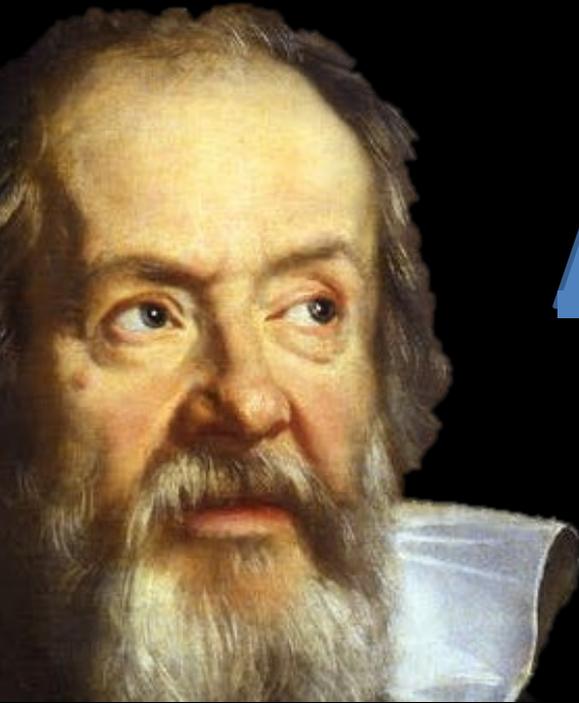
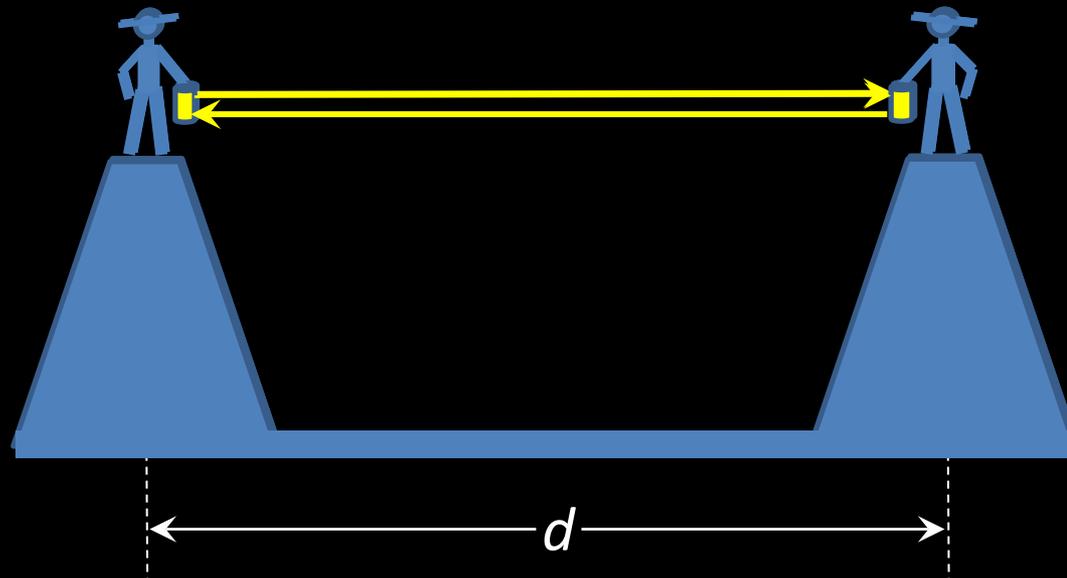
Con un valore incerto della UA, risultò:

$$c = 212.000 \text{ km/s}$$



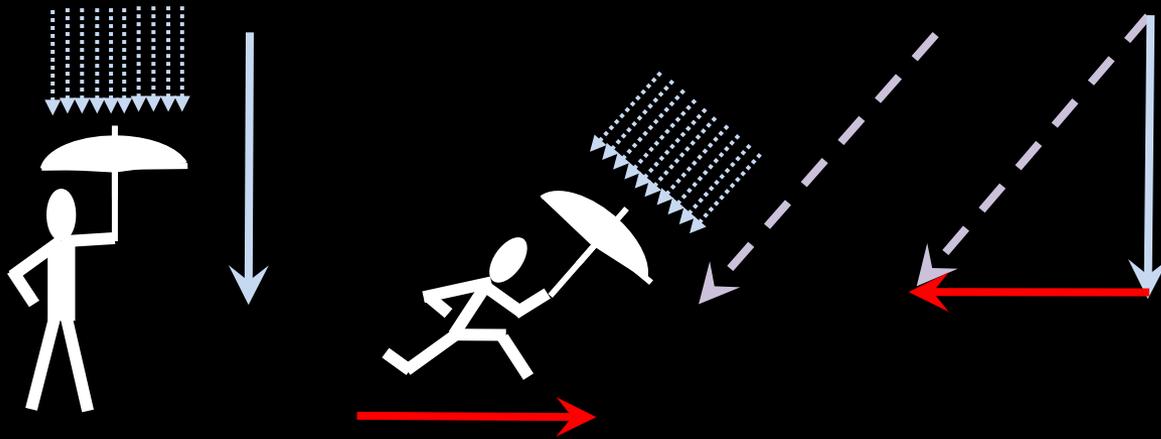
# Ci aveva già pensato Galilei

1667: l'idea venne verificata dall'Accademia del Cimento

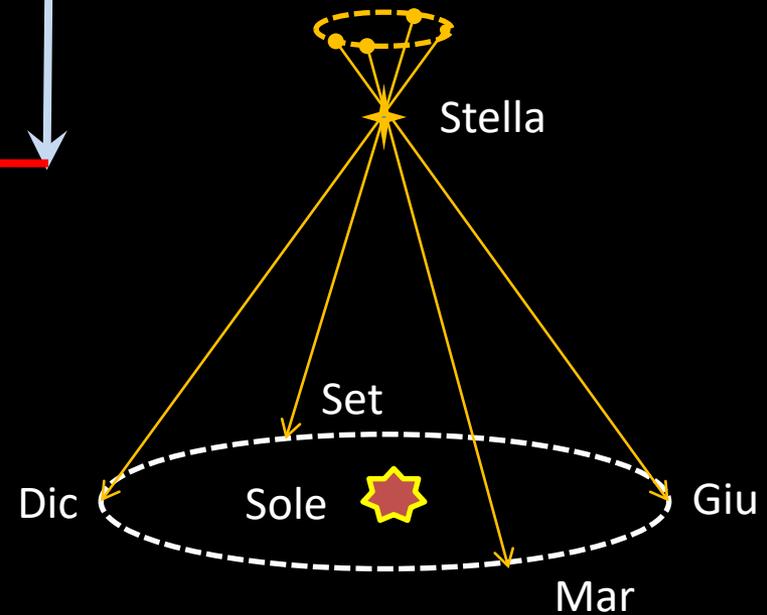


$$c = \frac{2d}{t}$$

# 1727: cercando la parallasse, Bradley scopre l'aberrazione della luce



James Bradley  
(1692–1762)



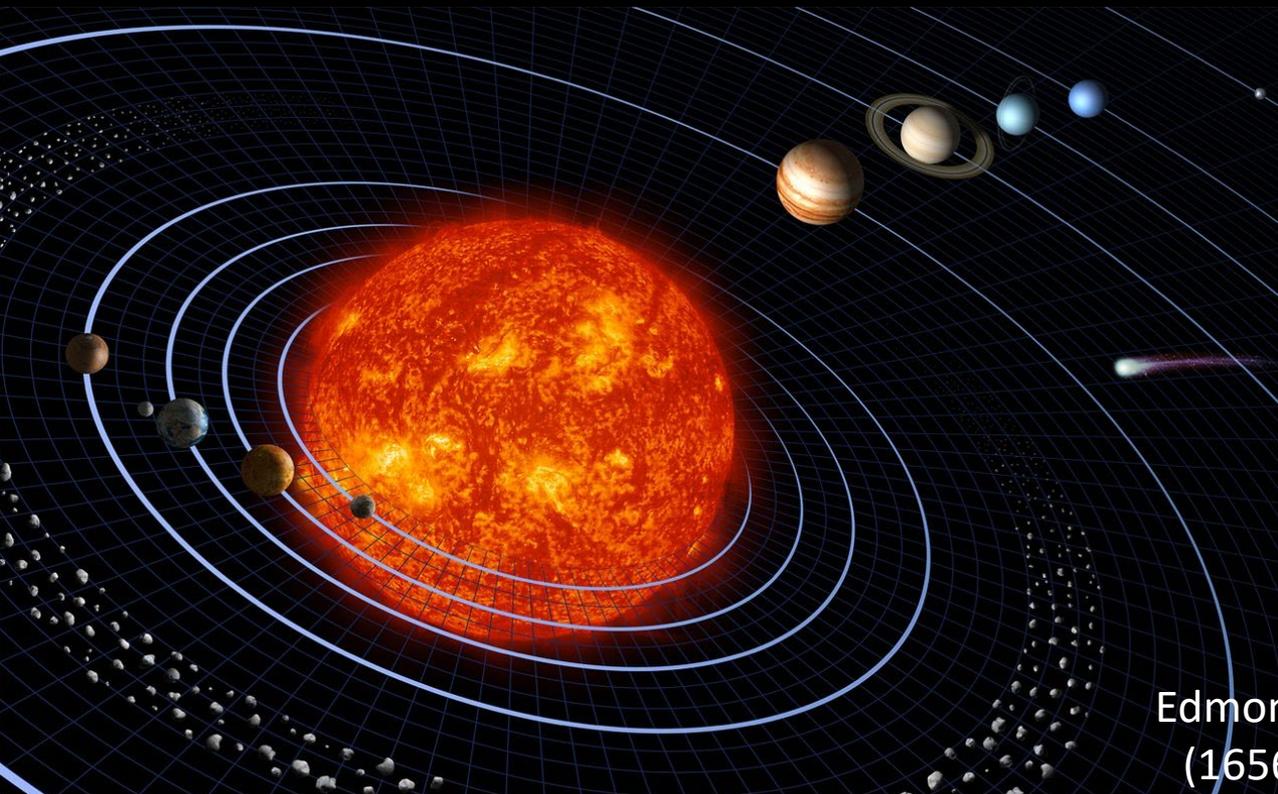
La **aberrazione** dimostrava la rotazione della Terra;  
tuttavia mancava ancora la **parallasse annua**.

# La distanza dal Sole (Unità Astronomica)

Pianeti possono essere messi in **scala di distanza** tramite la **terza legge di Keplero** misurando i **periodi di rivoluzione**

## Transito di Venere sul Sole

Anno 1639	}	121.5 anni
1761		
1769	}	8
1874		
1882	}	105.5
2004		
2012	}	8

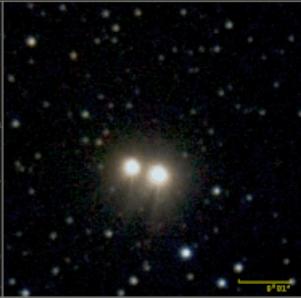


Edmond Halley  
(1656-1742)

# 1838: la prima parallasse

oggi

61 Cygni  
Stella volante  
 $\pi = 0''314$



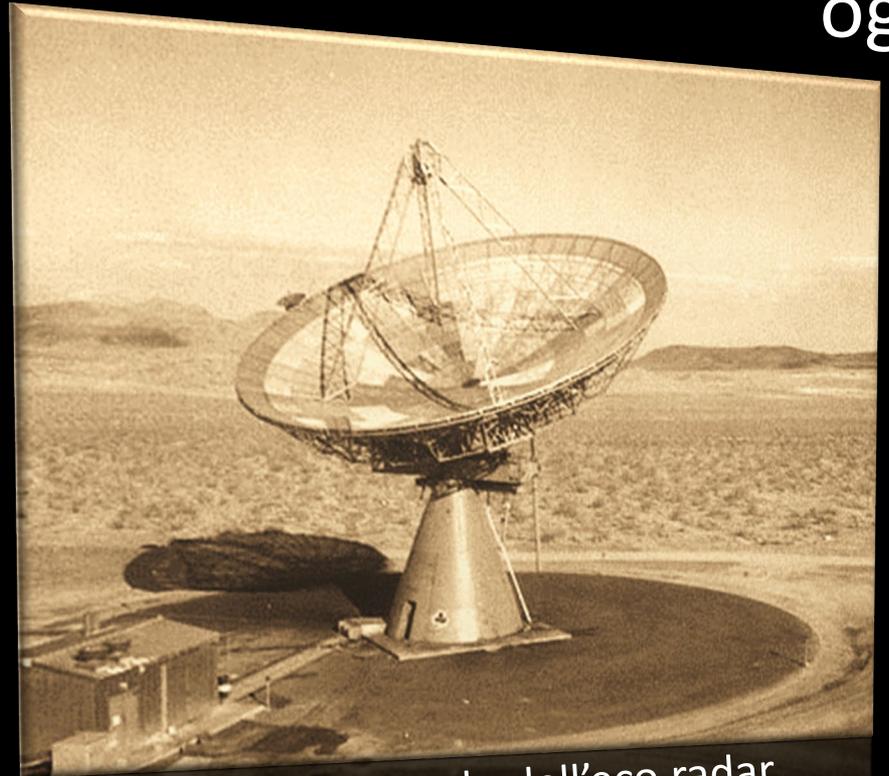
Eliometro di Fraunhofer



Carl F. Gauss



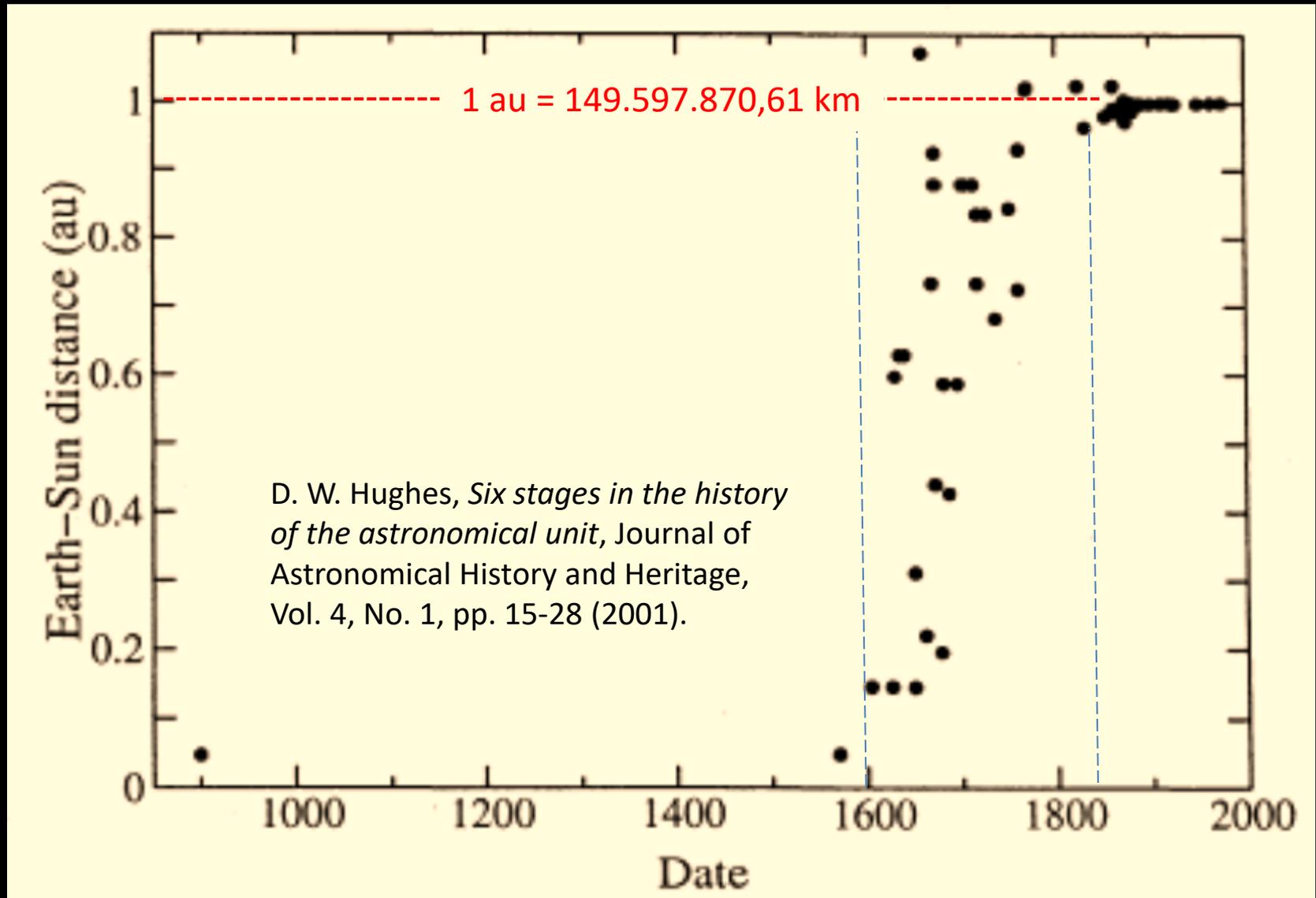
Friedrich Wilhelm Bessel  
(1784–1846)



misurare il ritardo dell'eco radar...

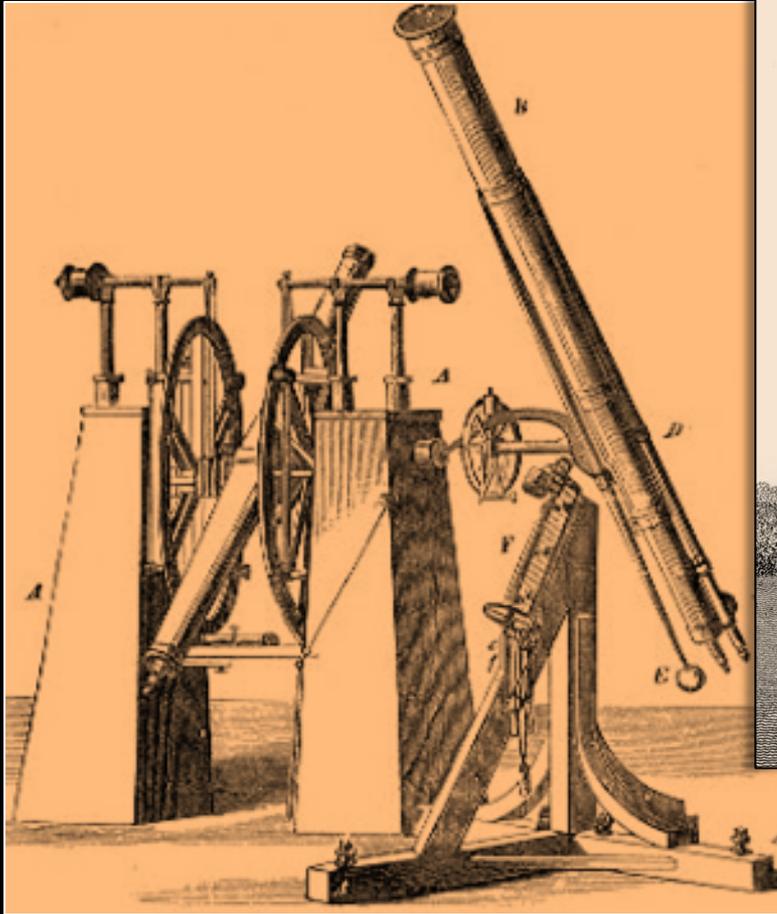
**1 UA = 149.597.870,7 km**

# Storia della misura dell'Unità Astronomica

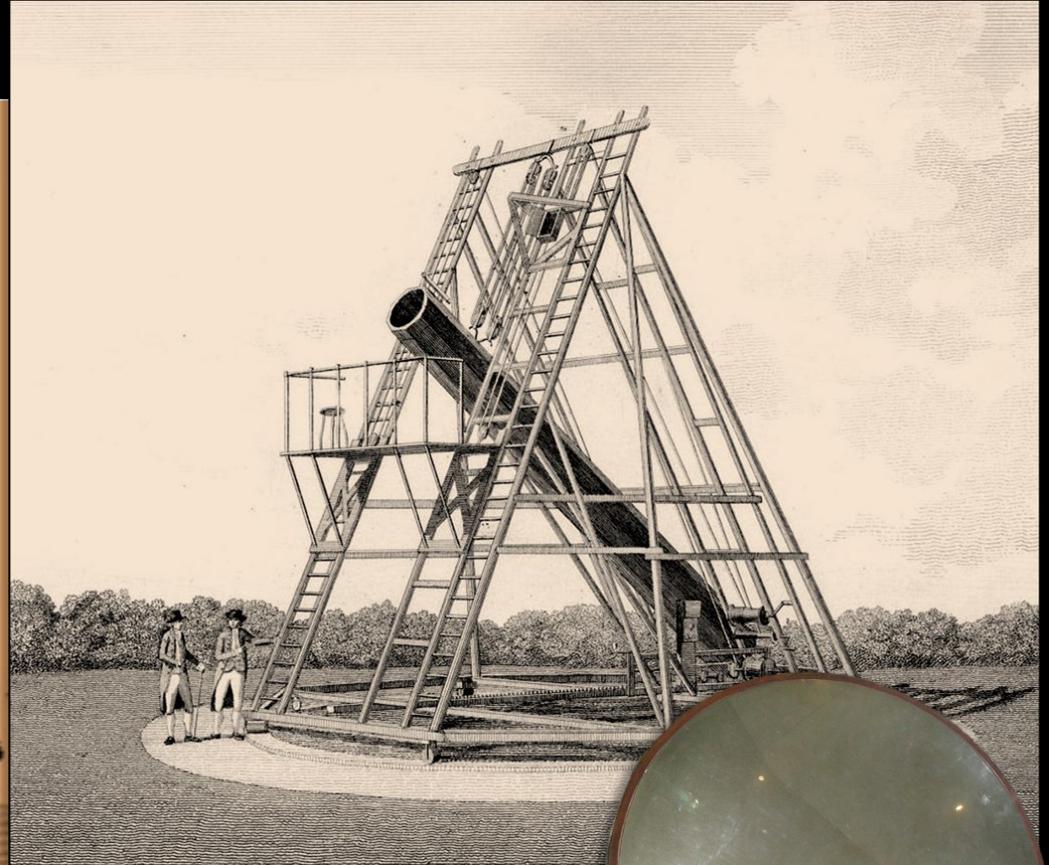


# XVIII sec.: utensili per osservare il cielo

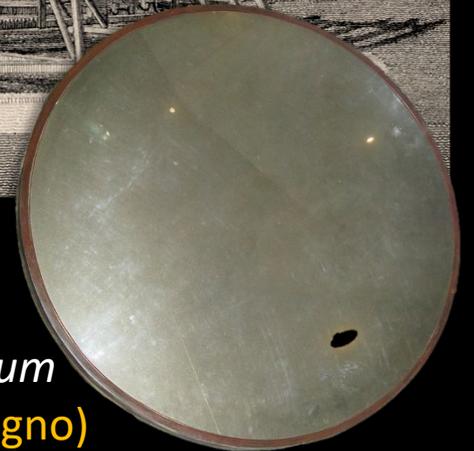
Telescopio da 20 piedi (William Herschel, 1782)



Grande rifrattore dell'Osservatorio di Dorpat  
(Joseph Fraunhofer, 1782)



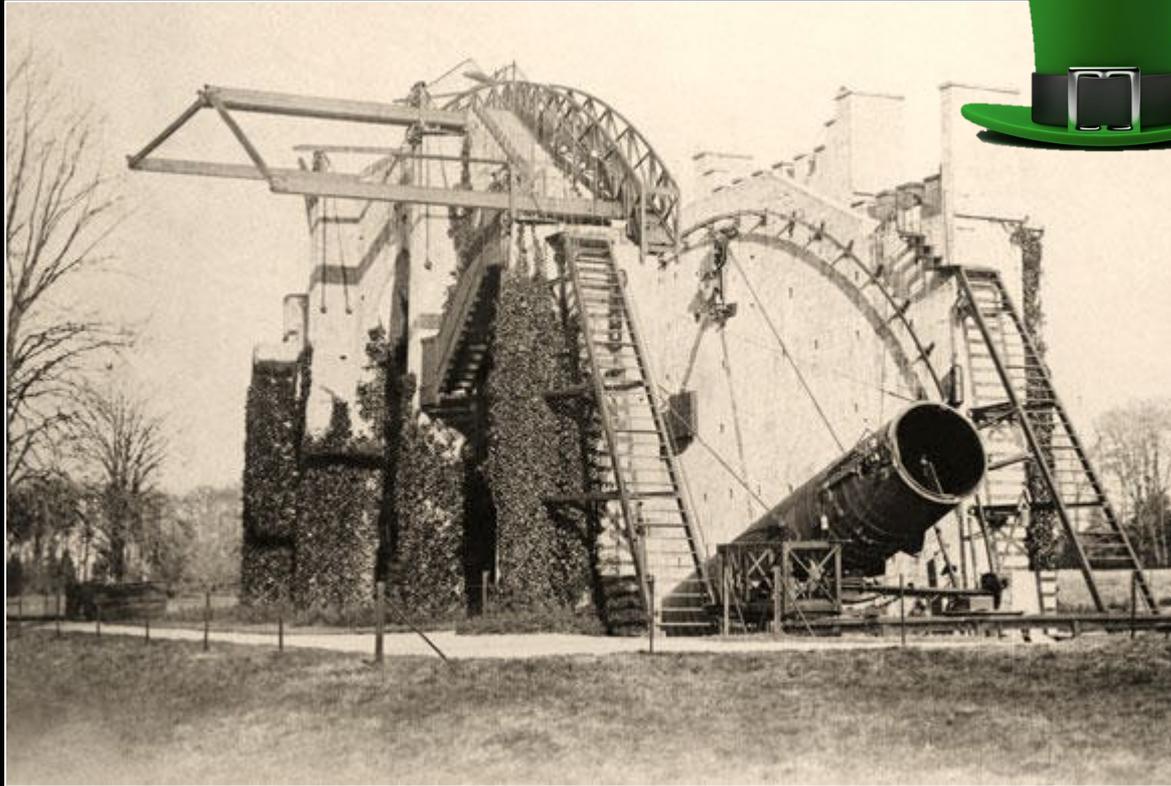
Specchio di  
Herschel in *speculum*  
(lega di rame e stagno)



# XIX sec.: utensili per osservare il cielo



Tour Eiffel in costruzione  
(1888)

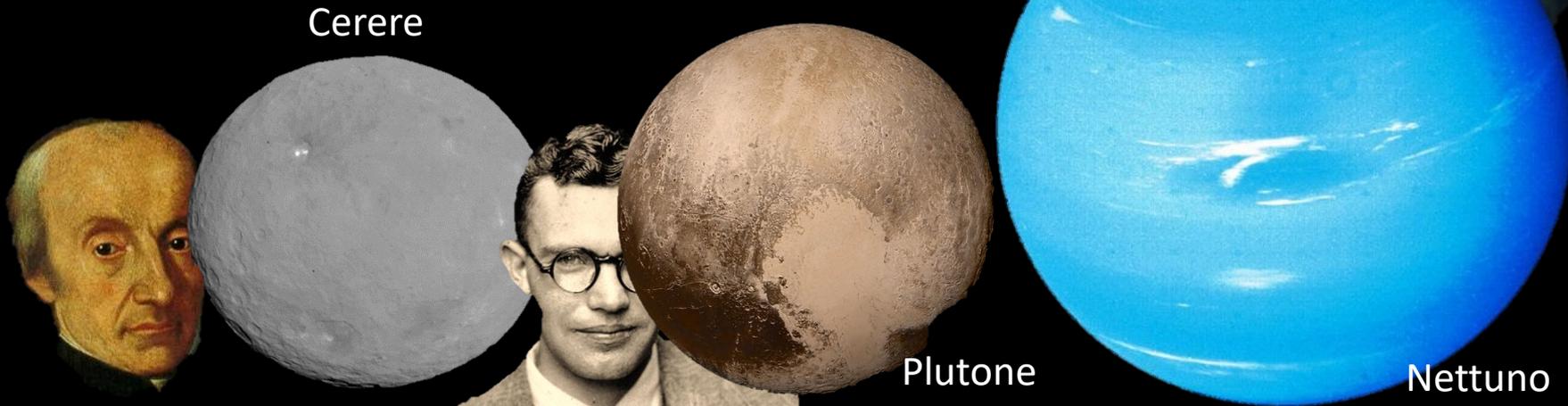
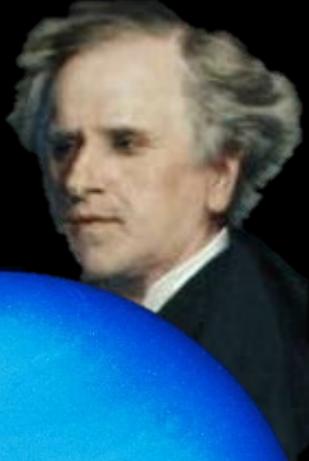


Leviatano di Parsonstown: riflettore da 180 cm  
(William Parsons, terzo conte di Rosse, 1845)  
Rimarrà lo strumento di maggiore apertura sino al 1917



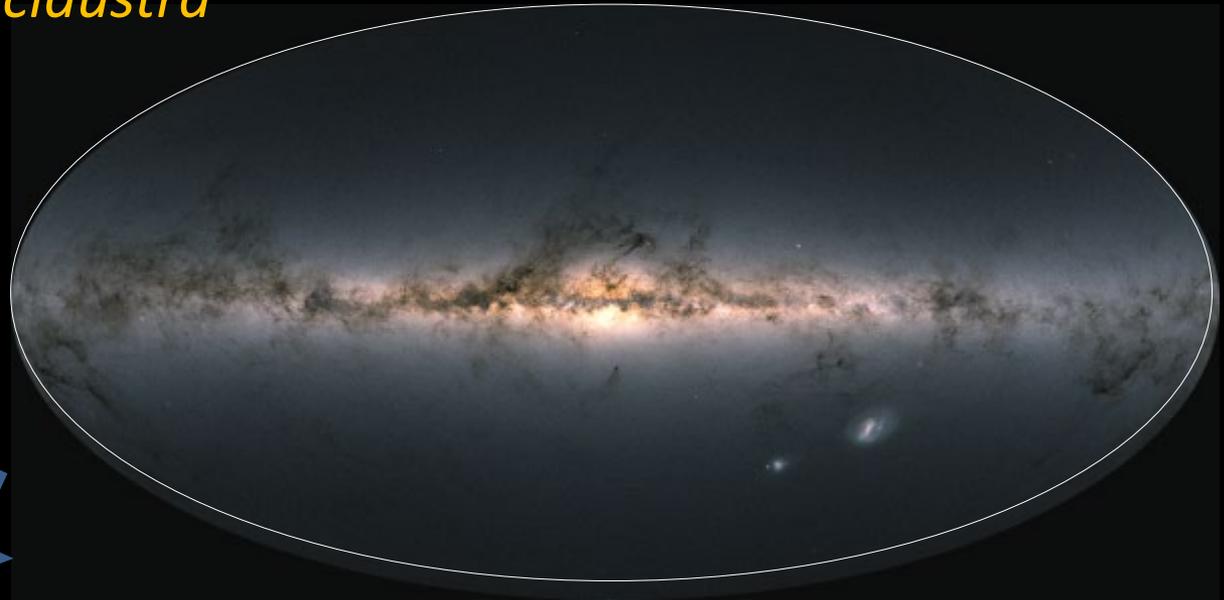
# Nuovi inquilini del Sistema Solare

- Scoperta casuale di **Urano** (William Herschel, **1781**)
- Scoperta del primo **asteroide** (ora pianeta nano), battezzato **Cerere Ferdinanda** (Giuseppe Piazzi, Palermo, **1801**)
- Ricerca di **asteroidi** (Heinrich Olbers, Annibale de Gasparis)
- Scoperta di **Nettuno** (U. Le Verrier-J.G. Galle, **1846**)
- Scoperta di **Plutone** (Clyde Tombaugh, **1930**)
- Scoperta dei **pianeti transneptuniani** ... (**oggi**)

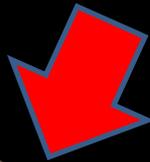


# 1780 c.: William Herschel: conteggi stellari

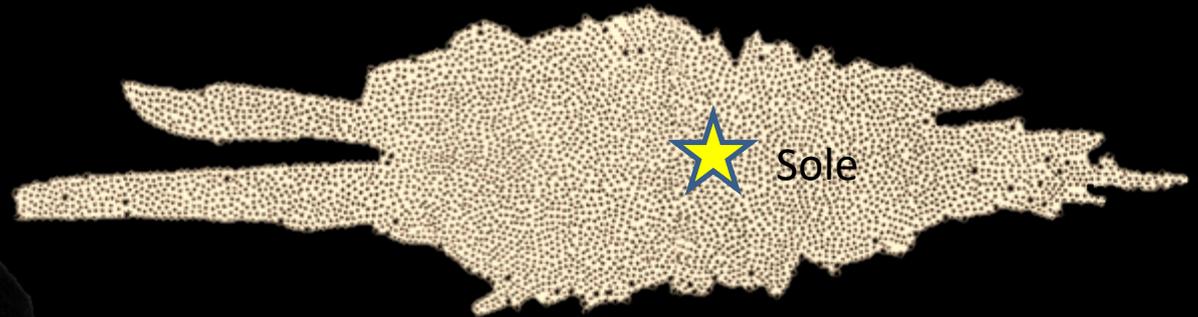
*"Coelorum perrupit claustra"*



Il colore del cielo dalla  
*Gaia's Early Data Release 3*  
(2020)



W. Herschel, *On the Construction of the Heavens* (1785).

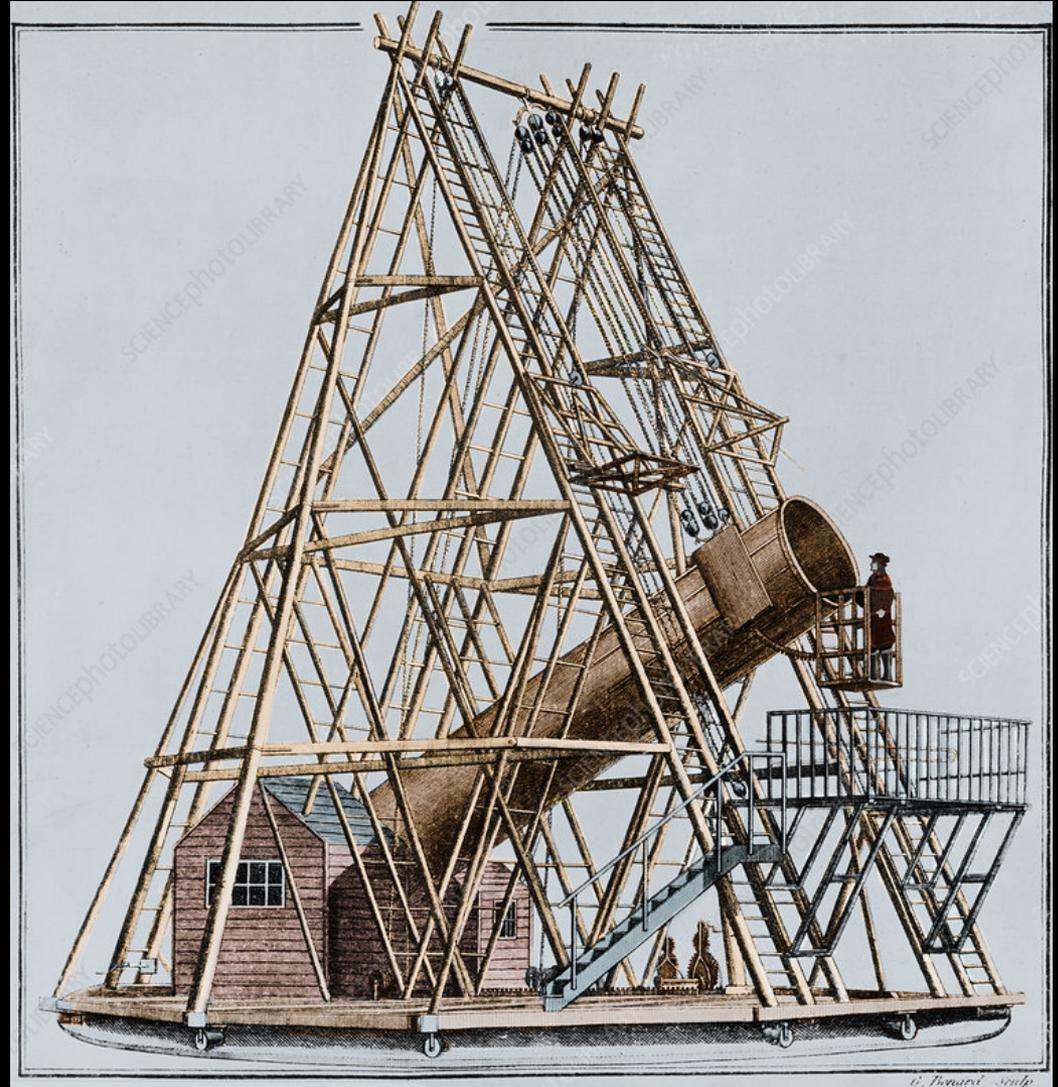


La Via Lattea  
*Star gages*

William e Carolina Herschel

# William Herschel: telescopio *monstre*

ESO-VLT  
8.4m



Riflettore da 40 piedi, apertura 120 cm (Slough)

# William Herschel: nuovi oggetti

## Le nebulose bianche

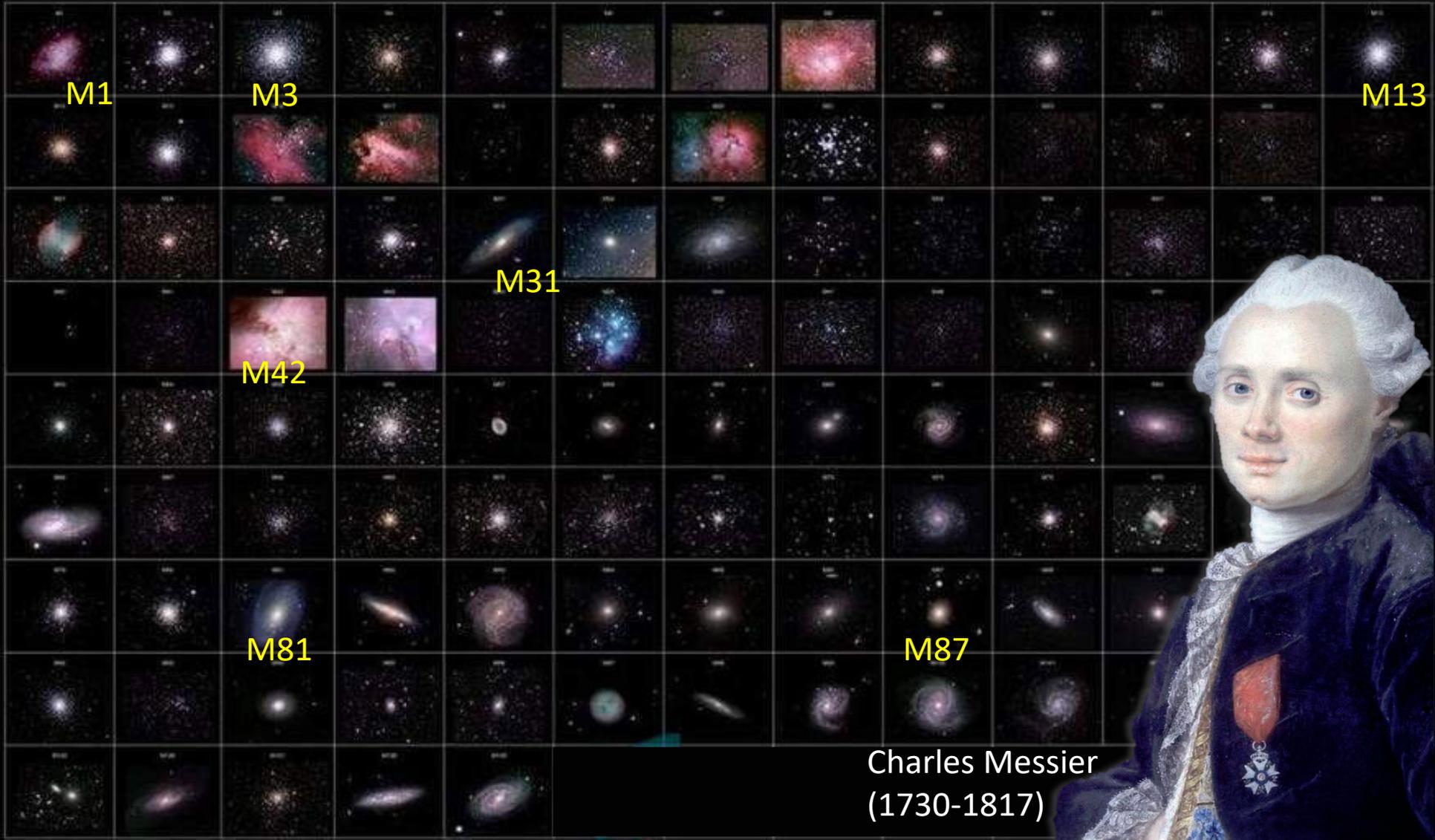
Prima fotografia di M31  
*Nebulosa di Andromeda*  
Isaac Roberts (1888)



Immanuel Kant  
(1724-1804)



# 1774: Charles Messier e i "sospia"

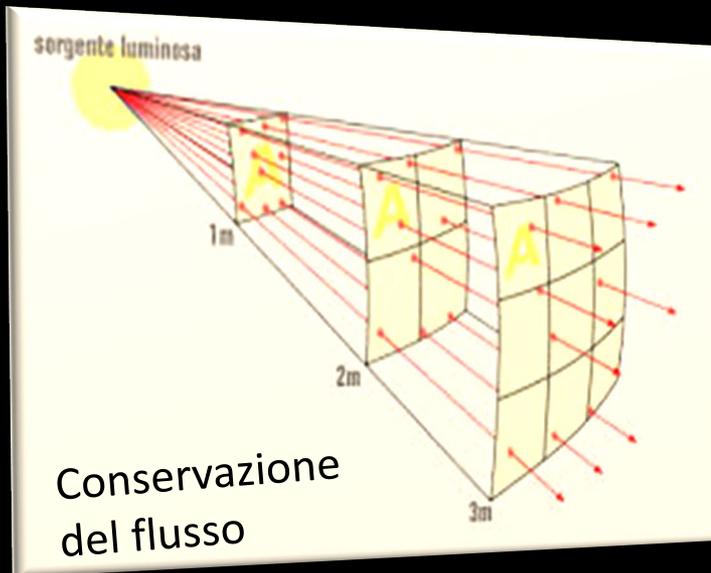


Charles Messier  
(1730-1817)

# La luce come metro per le distanze celesti

Ipotizzando la conservazione del flusso luminoso in un universo euclideo e trasparente (**ma attenzione al paradosso di Olbers**), la distanza può essere ricavata dalla legge di attenuazione del flusso con quadrato della distanza:

$$F = F_0/d^2.$$



flusso luminoso  $F_0$

candela standard posta ad una  
distanza unitaria dall'osservatore



~~$F = F_0/d^2$~~



$d$

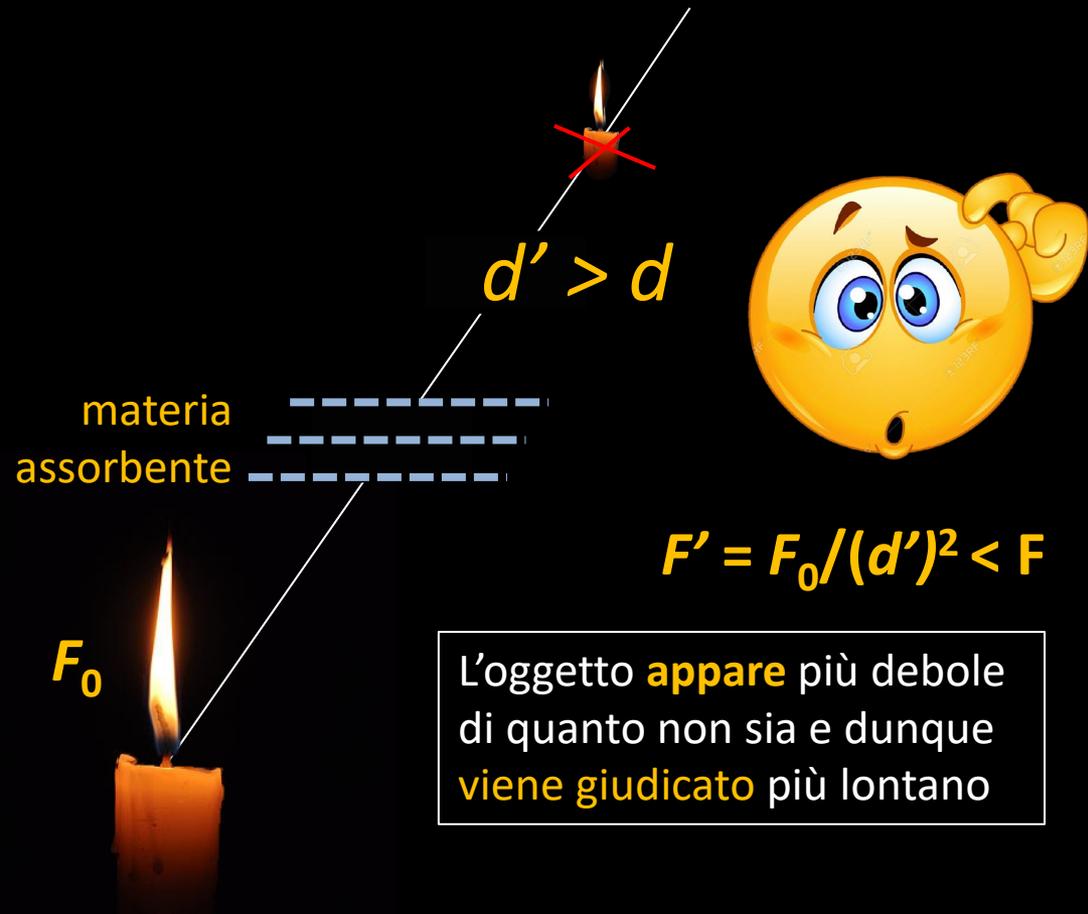
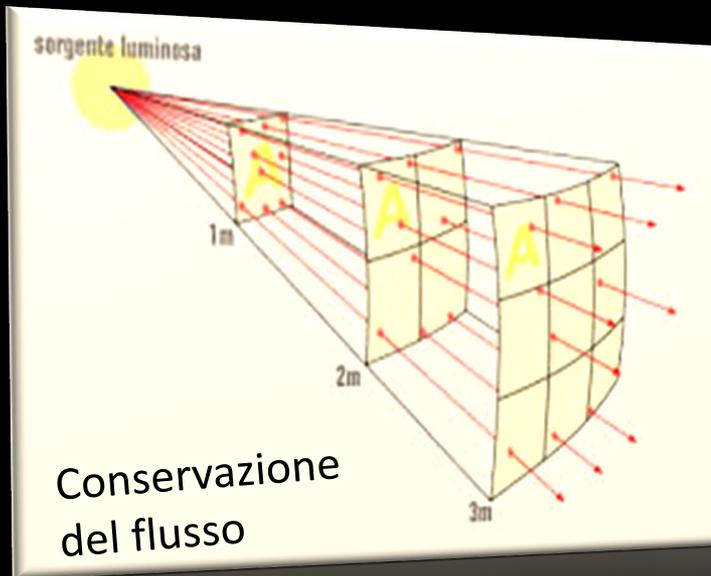
Lo strumento si applica  
solo a famiglie omogenee  
di oggetti celesti

**Attenzione però!**  
Ci sono molte altre ragioni  
per cui la semplice legge di  
conservazione del flusso  
non vale!

# La luce come metro per le distanze celesti

Ipotizzando la conservazione del flusso luminoso in un universo euclideo e trasparente (**ma attenzione al paradosso di Olbers**), la distanza può essere ricavata dalla legge di attenuazione del flusso con quadrato della distanza:

$$F = F_0/d^2.$$



# 1885: grande scoperta e grossa cantonata (Dorpat-Tartu, Estonia)

S And 1885: compare una nuova stella sul nucleo di M31

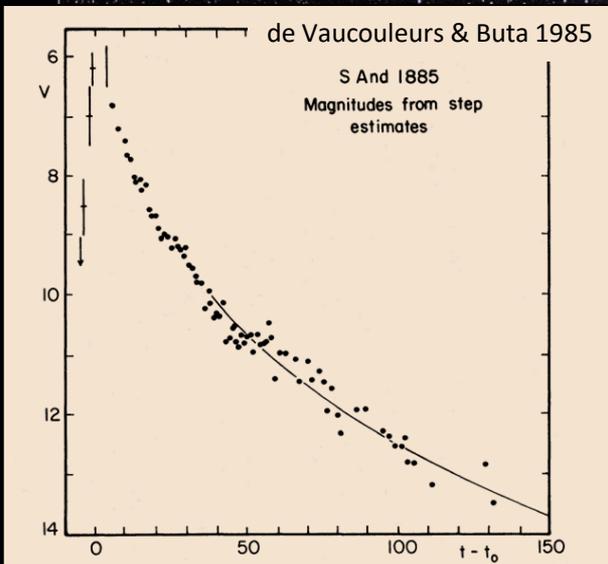
supernova (oggetto ancora sconosciuto)  
scambiata per una stella nova

*prendere lanterne per lucciole*

20 agosto 1885

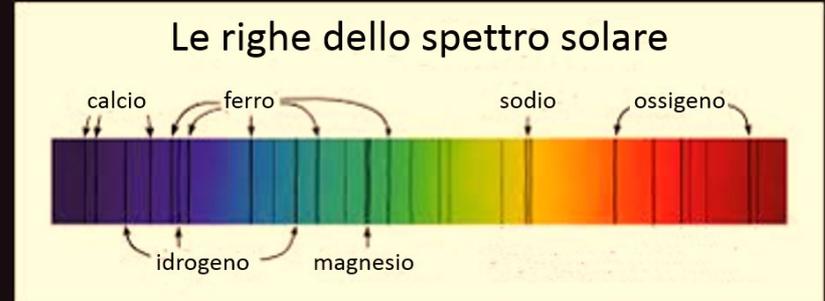
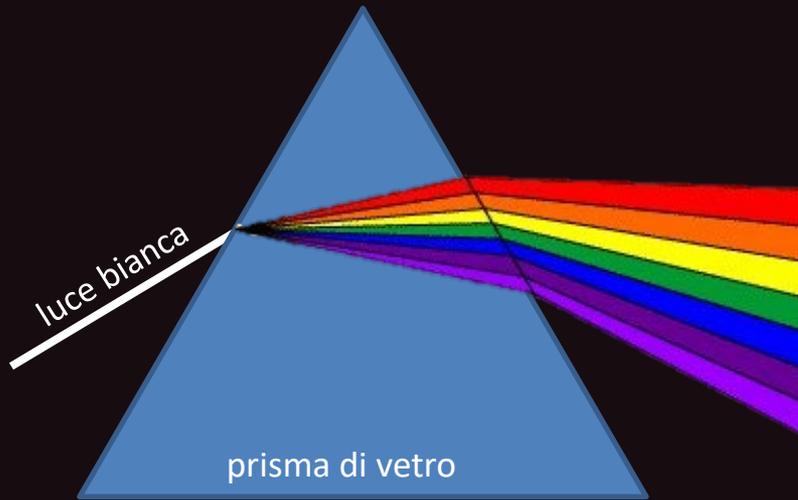


Ernst Hartwig  
(1851-1923)



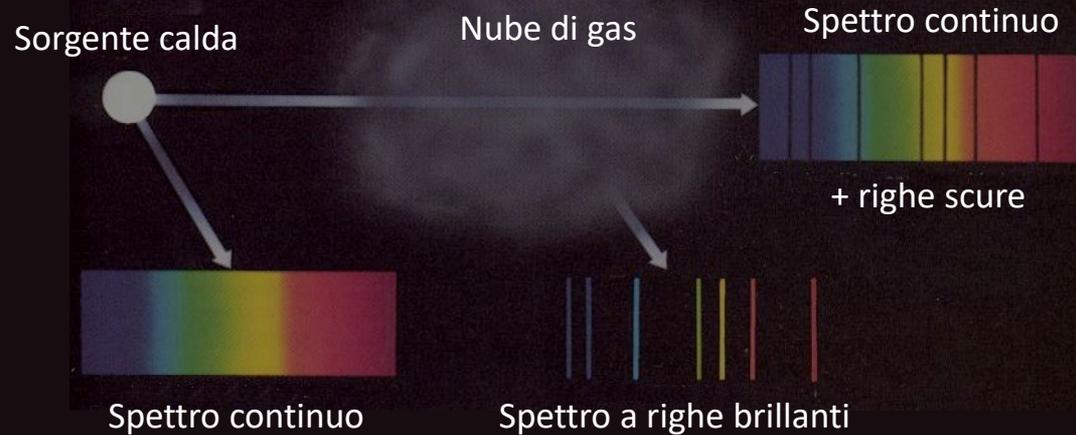
# 1840-1860 c.: metodi e strumenti nuovi

## Spettroscopia



righe spettrali = impronte digitali degli atomi  
(scoperte come l'elio e cantonate come il nebulio)

Joseph von Fraunhofer  
(1787-1826)



Gustav Robert Kirchhoff  
(1817-1894)

Isaac Newton



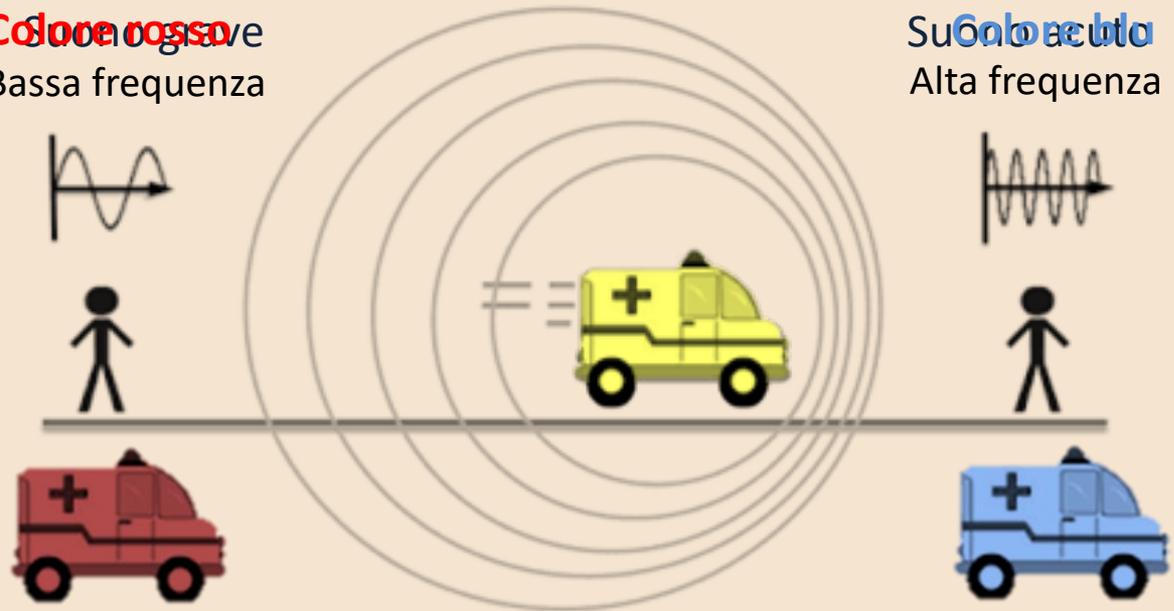
# 1842: effetto Doppler

## Effetto Doppler ottico

colore dell'ambulanza

Colori rossi  
Sotto il veicolo  
Bassa frequenza

Colori blu  
Sopra il veicolo  
Alta frequenza



Christian Doppler  
(1803-1853)

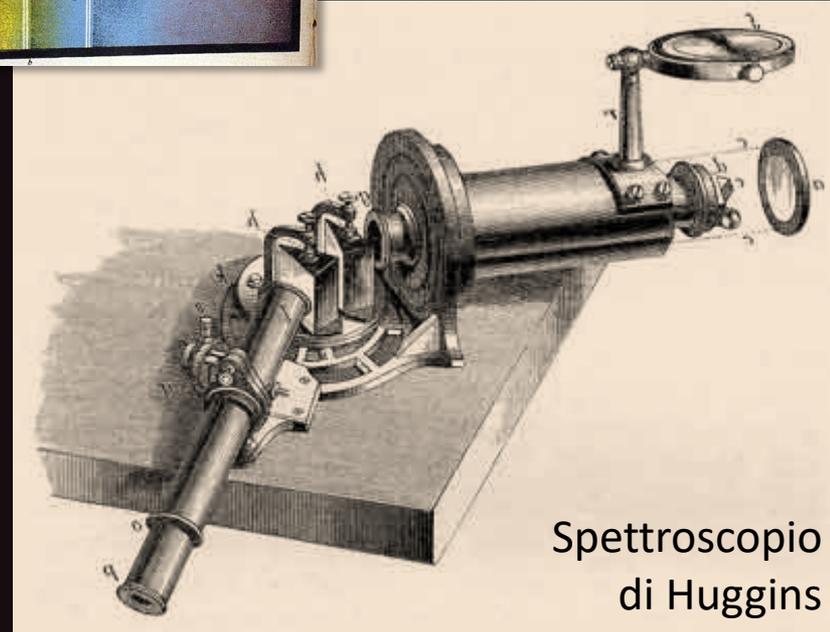
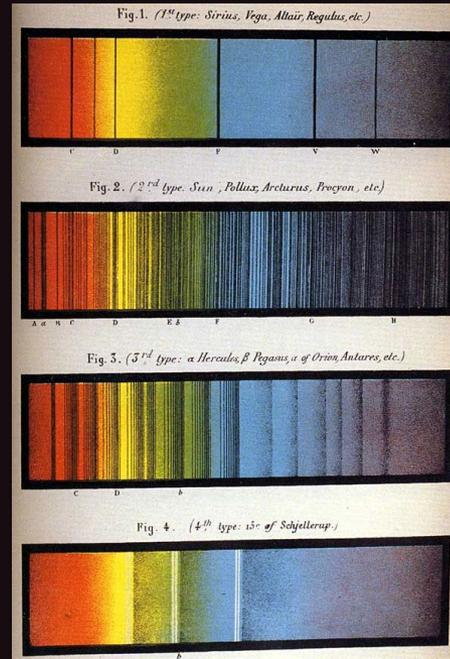
$$V_r = c \frac{\Delta \lambda}{\lambda}$$

# 1860 c.: prime applicazioni della spettroscopia

Classi stellari  
di Secchi

Padre Angelo Secchi  
(1818-1878)

Sir William Huggins  
(1824-1910)



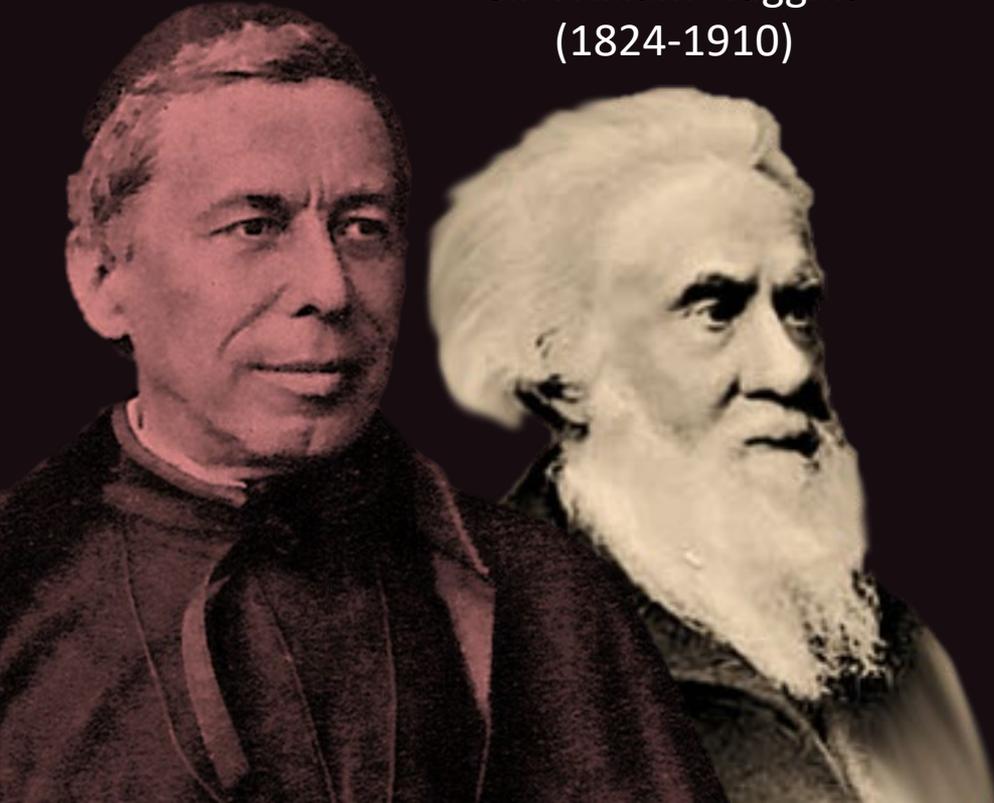
Spettroscopio  
di Huggins

# 1870 c.: ancora sull'unità del cosmo ...

La dimostrazione che i corpi celesti possiedono la **stessa chimica** della Terra conferma quell'**unità tra Terra e cielo** che Newton aveva già trovato con la **gravità**.

Padre Angelo Secchi  
(1818-1878)

Sir William Huggins  
(1824-1910)



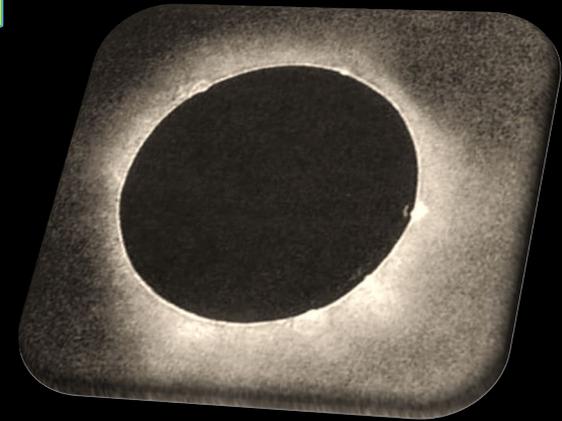
# Dal 1860: metodi e strumenti nuovi

## Fotografia

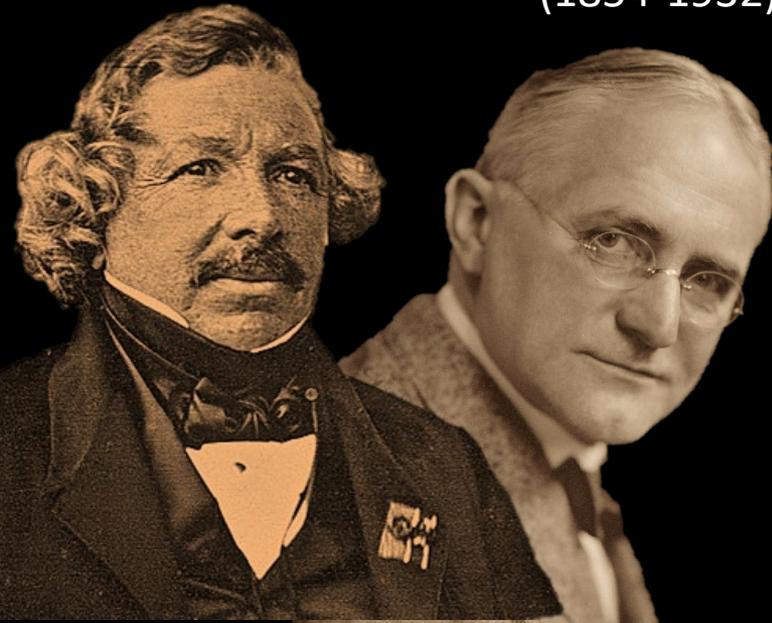


Louis Daguerre  
(1787-1851)

George Eastman  
(1854-1932)



Prima fotografia di una eclissi di Sole  
(28 luglio 1851)

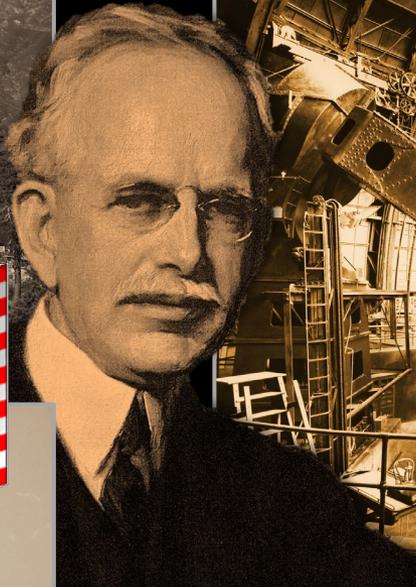


1. Lunghe esposizioni
2. Obbiettività (*verba volant ...*)
3. Semplicità delle misure
4. Duplicabilità (collaborazioni)
5. Memoria (archivio del cielo)

# XX sec.: metodi e strumenti nuovi

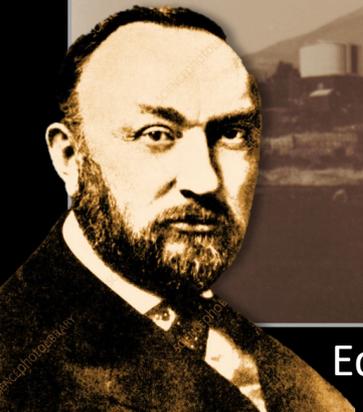
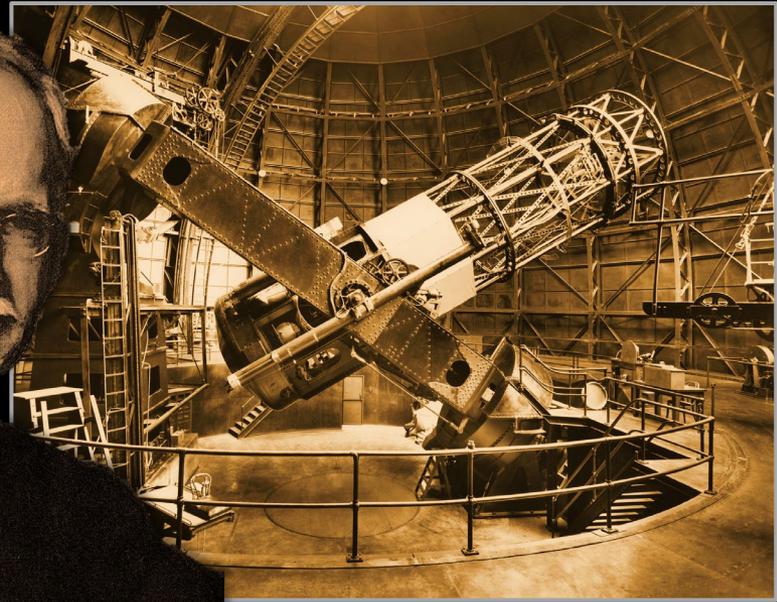
## Riflettori giganti

Riflettore da 100 pollici  
sul Monte Wilson in California  
(George Hale, 1917)



George Ellery Hale (1868-1938)

Stazione australe di Harvard a Arequipa,  
Perù, ai piedi del vulcano El Misti  
(Solon Bailey, 1891)



Edward Pickering (1846-1919)



# L'energia delle stelle e la loro età

- **1860 c.:** se le stelle ricavassero dalla **combustione** l'energia che spendono, potrebbero mantenere lo *status quo* al più **qualche migliaio d'anni**.



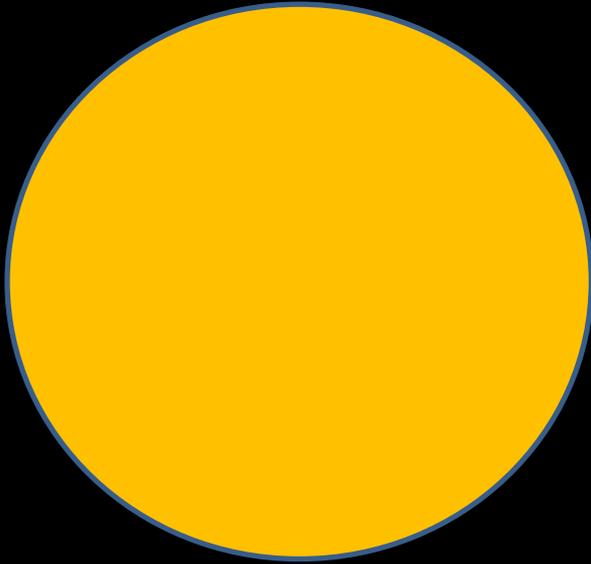
# L'energia delle stelle e la loro età

- **1860 c.:** se le stelle ricavassero dalla **combustione** l'energia che spendono, potrebbero mantenere lo *status quo* al più **qualche migliaio d'anni**.
- **1870 c.:** potrebbero però rifornirsi **catturando asteroidi e comete** (**energia cinetica**) ma ce ne vorrebbero troppe!



# L'energia delle stelle e la loro età

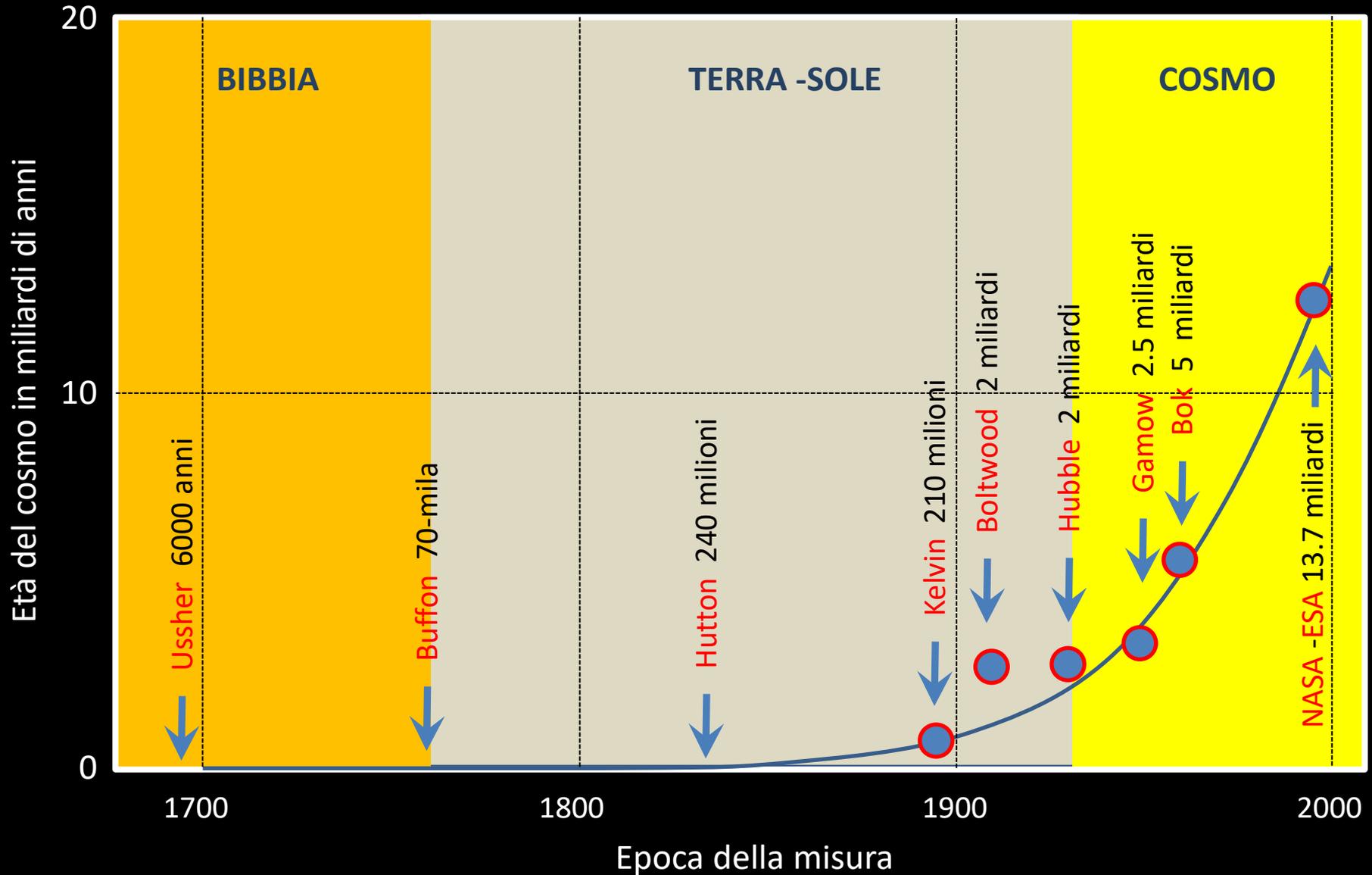
- **1860 c.:** se le stelle ricavassero dalla **combustione** l'energia che spendono, potrebbero mantenere lo *status quo* al più **qualche migliaio d'anni**.
- **1870 c.:** potrebbero però rifornirsi **catturando asteroidi e comete (energia cinetica)** ma ce ne vorrebbero troppe!



- **1875 c.:** potrebbero trarre energia dalla **contrazione gravitazionale?** La proposta, dovuta al tedesco **Hermann von Helmholtz (1821-1894)**, è giusta ma nemmeno questa sorgente può bastare per una vita di miliardi di anni come da stime della età della Terra fatte a inizio '900.



# Timetable della misura dell'età dell'universo

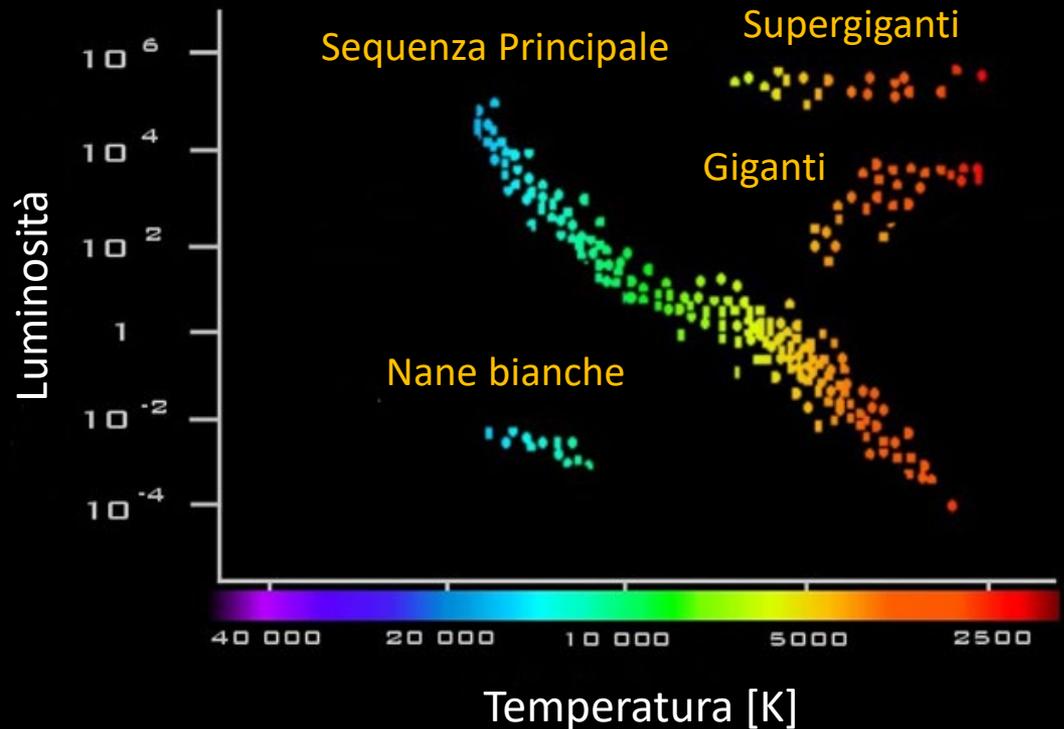
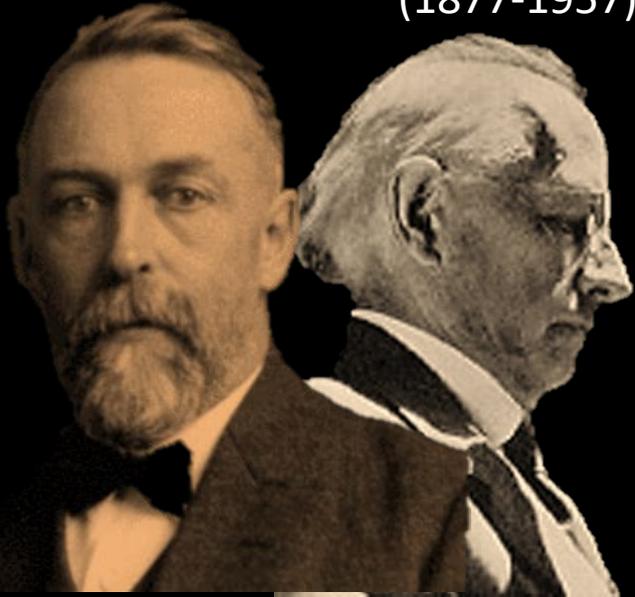


# L'energia delle stelle e la loro età: evoluzione?

- Già negli anni Venti si capì che l'energia delle stelle deve venire da un processo di **trasformazione di massa in energia** (alla Einstein) nei cuori degli atomi, di cui si comincia a conoscere struttura e proprietà, ma latitava il meccanismo di fusione ... sinché nel **1939** il tedesco **Hans Bethe** trovò la soluzione.
- Ma se le stelle si consumano, esse devono evolvere ... ma come? Il primo spunto venne data dal **diagramma di Hertzsprung-Russell (1911)**.

Ejnar Hertzsprung

(1873–1967) Henry Norris Russell  
(1877-1957)



# La nuova fisica: il miracolo del '900

- Unificazione di elettricità e magnetismo (James Clerk Maxwell, 1864) → **etere**
- **La relatività ristretta** (generalizzazione del principio d'inerzia; Albert Einstein, 1905)
- La fisica atomica {
  - Struttura del nucleo atomico (Ernest Rutherford, 1907)
  - Modello dell'atomo (Niels Bohr, 1911)
- **La relatività generale** (teoria della gravità; Albert Einstein, 1916)
- La meccanica quantistica (comportamento e reciproche interazioni di materia ed energia; Max Planck, 1900 ...)



# Congresso Solvay del 1927 (17 premi Nobel)

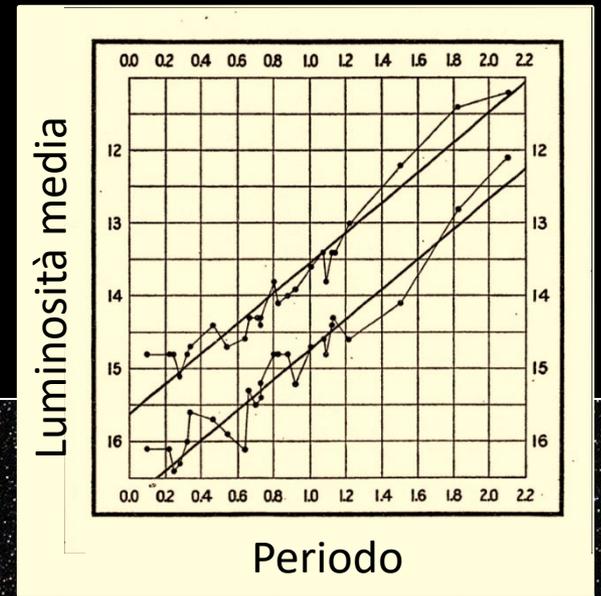
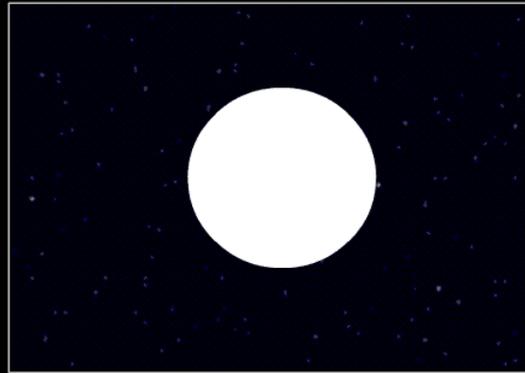
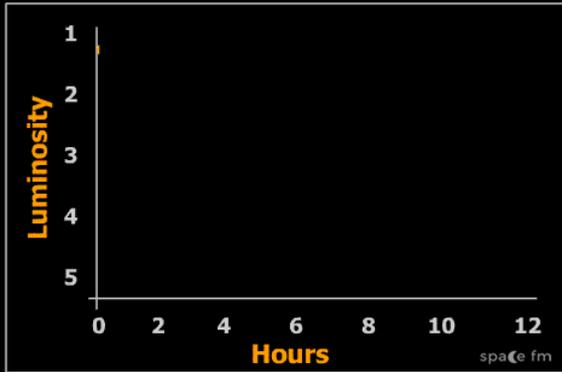
**Dietro:** A. Piccard, É. Henriot, P. Ehrenfest, É. Herzen, T. de Donder, E. Schrödinger, J.E. Verschaffelt, W. Pauli, W. Heisenberg, R. Fowler, L. Brillouin.

**Mezzo:** P. Debye, M. Knudsen, W.L. Bragg, H.A. Kramers, P. Dirac, A. Compton, L. de Broglie, M. Born, N. Bohr.



**Davanti:** I. Langmuir, M. Planck, M. Curie, H. Lorentz, A. Einstein, P. Langevin, C.E. Guye, C.T.R. Wilson, O. Richardson.

# 1907: le Cefeidi come metro cosmico



Nubi di Magellano

Grande Nube  
(160-mila al)

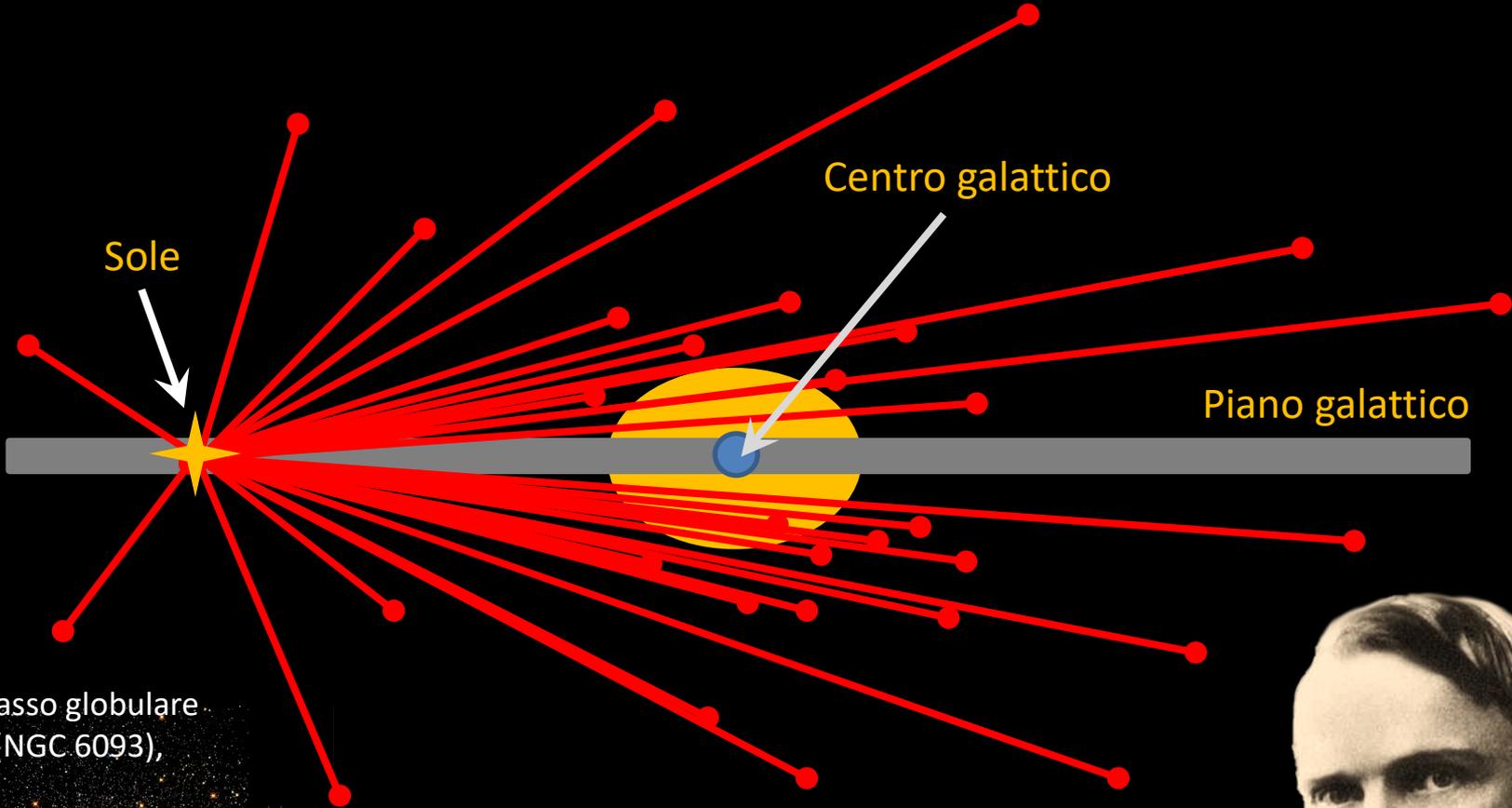
Piccola Nube  
(200-mila al)

Henrietta Swan Leavitt  
(1868-1921)

Antonio Pigafetta  
(1492-1531)



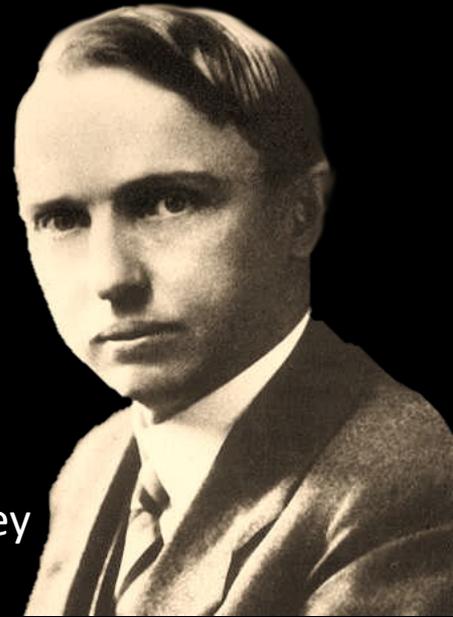
# 1915: la Via Lattea di Harlow Shapley



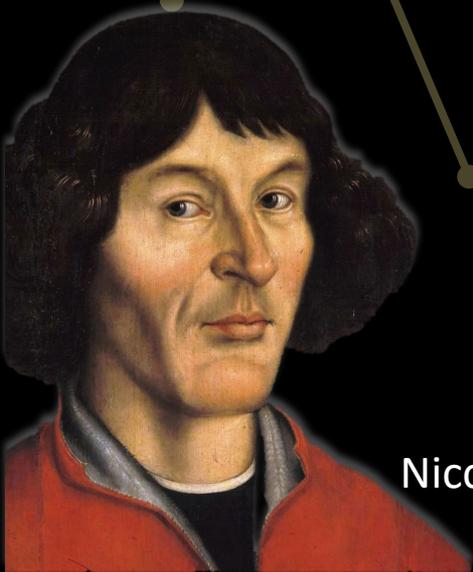
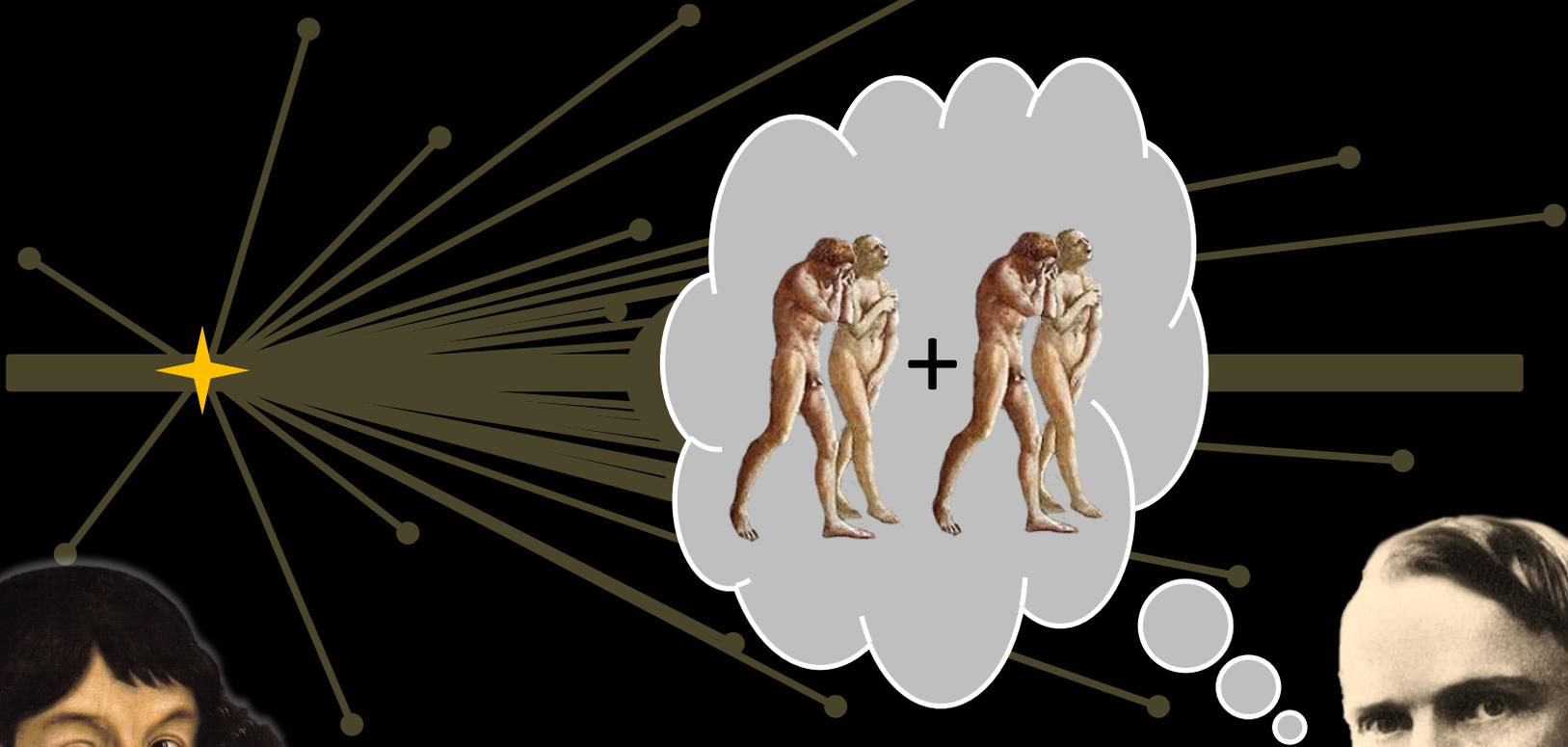
Ammasso globulare  
M80 (NGC 6093),



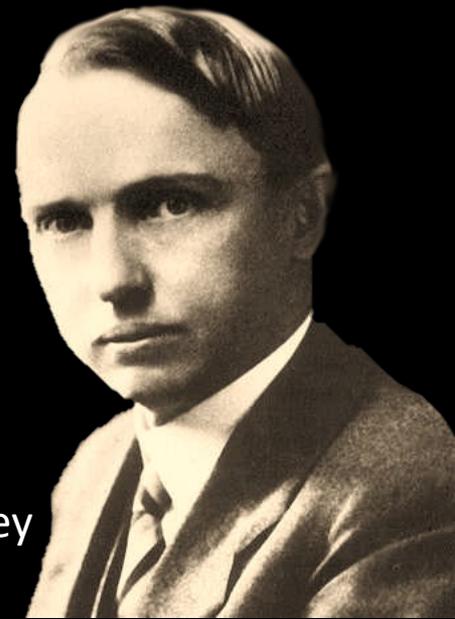
Harlow Shapley  
(1885-1972)



# Un'altra cacciata dell'uomo dal centro del mondo



Niccolò Copernico  
(1473-1543)



Harlow Shapley  
(1885-1972)



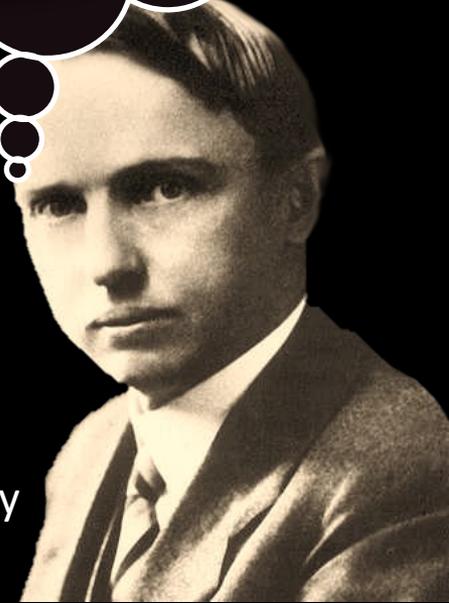
26 aprile 1920

il "grande dibattito"

George E. Hale



Heber Curtis  
(1872-1942)

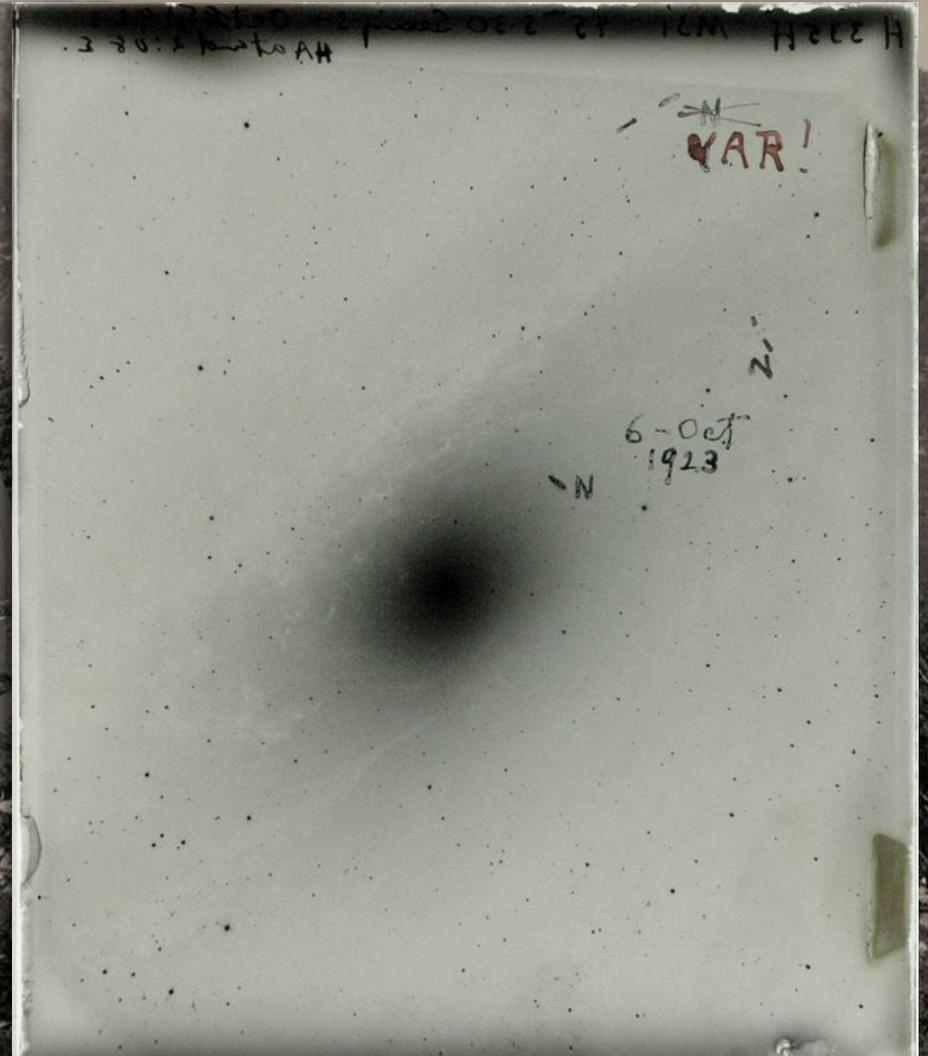


Harlow Shapley  
(1885-1972)

# 1923-1925: la scoperta delle galassie

Edwin Powell Hubble  
(1889-1953)

Mount Wilson Observatory

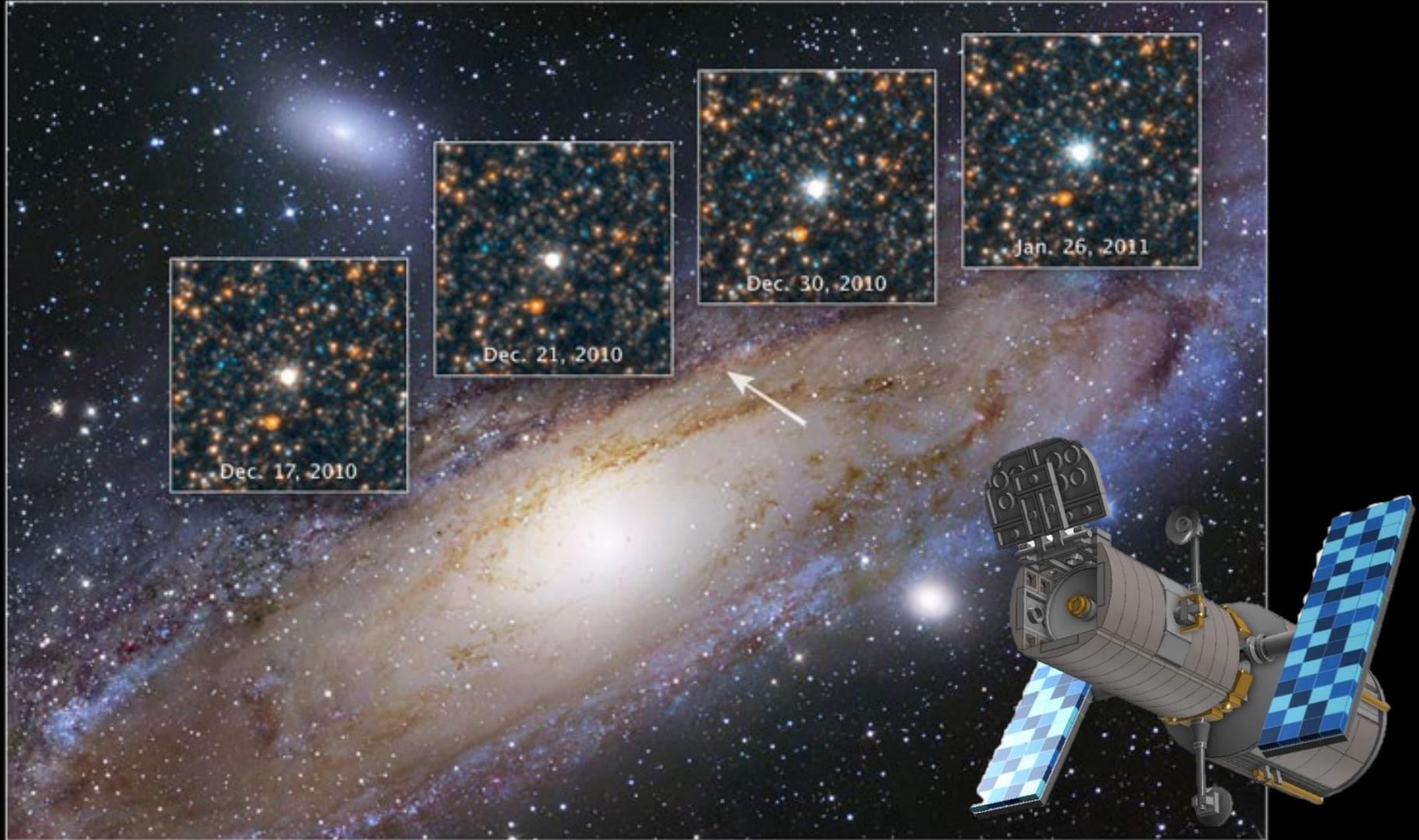


100-inch discovery plate: Cefeide in M31

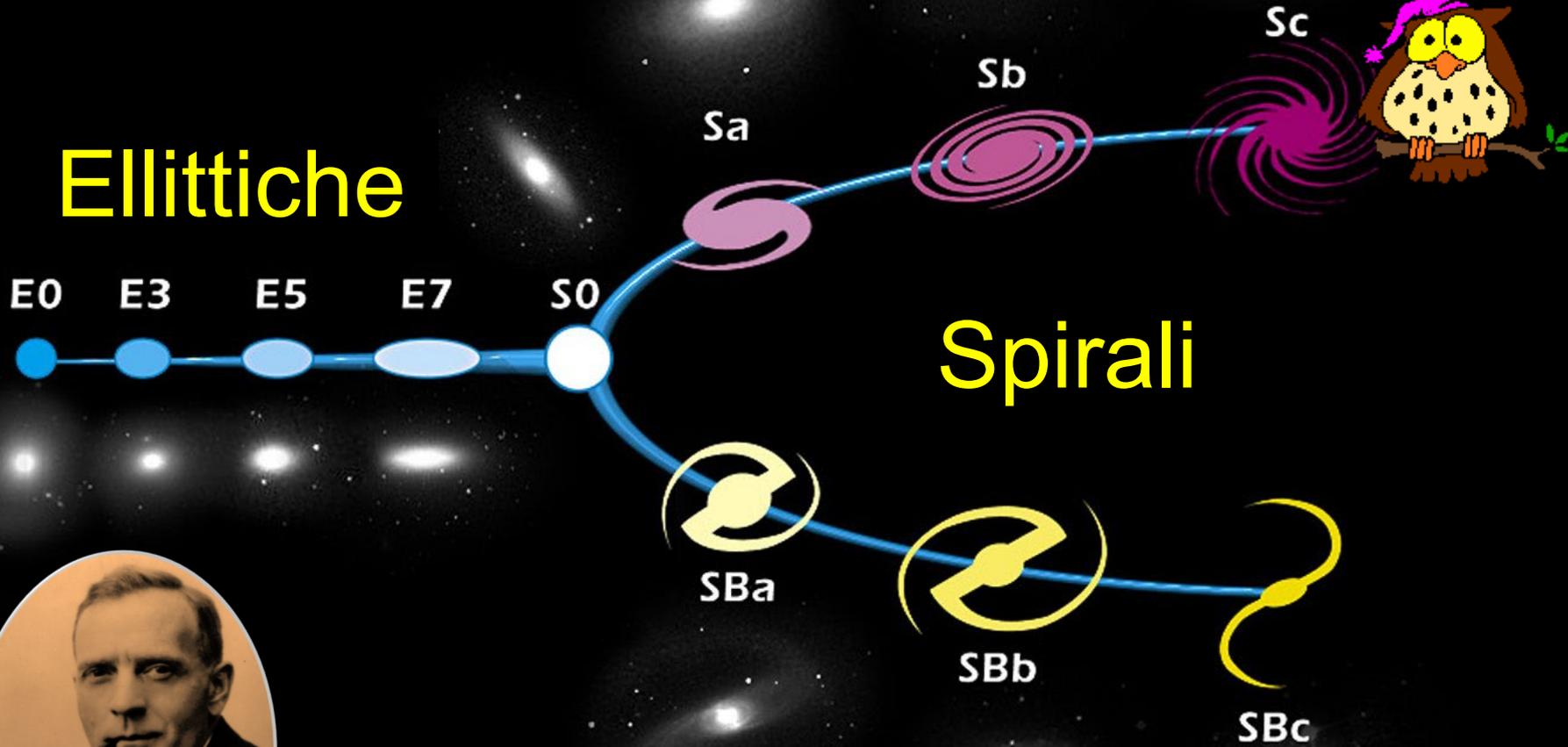
# 2011: la stessa stella cento anni dopo, con HST

Cepheid Variable Star V1 in M31

Hubble Space Telescope • WFC3/UVIS



# 1926: la classificazione morfologica di Hubble



Corsi e ricorsi storici

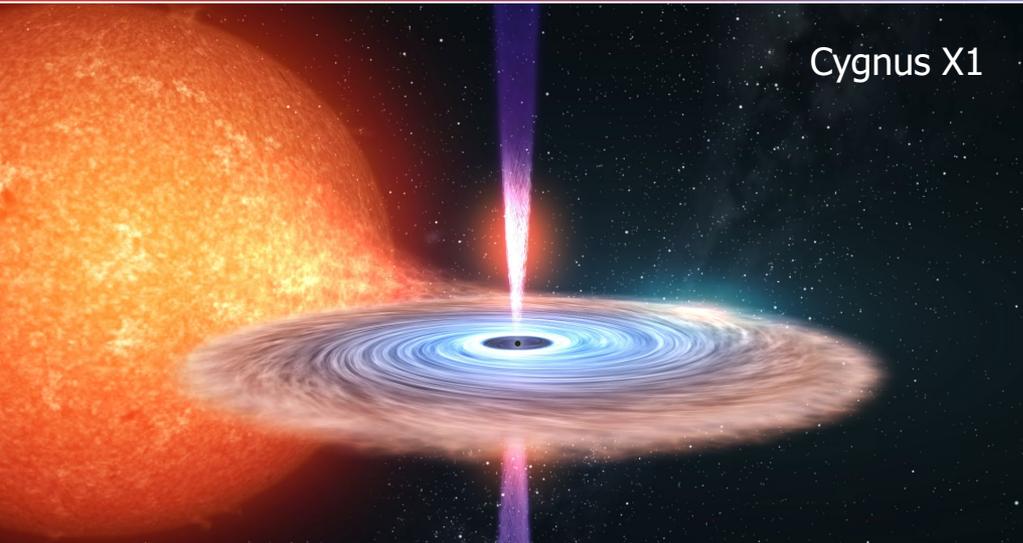
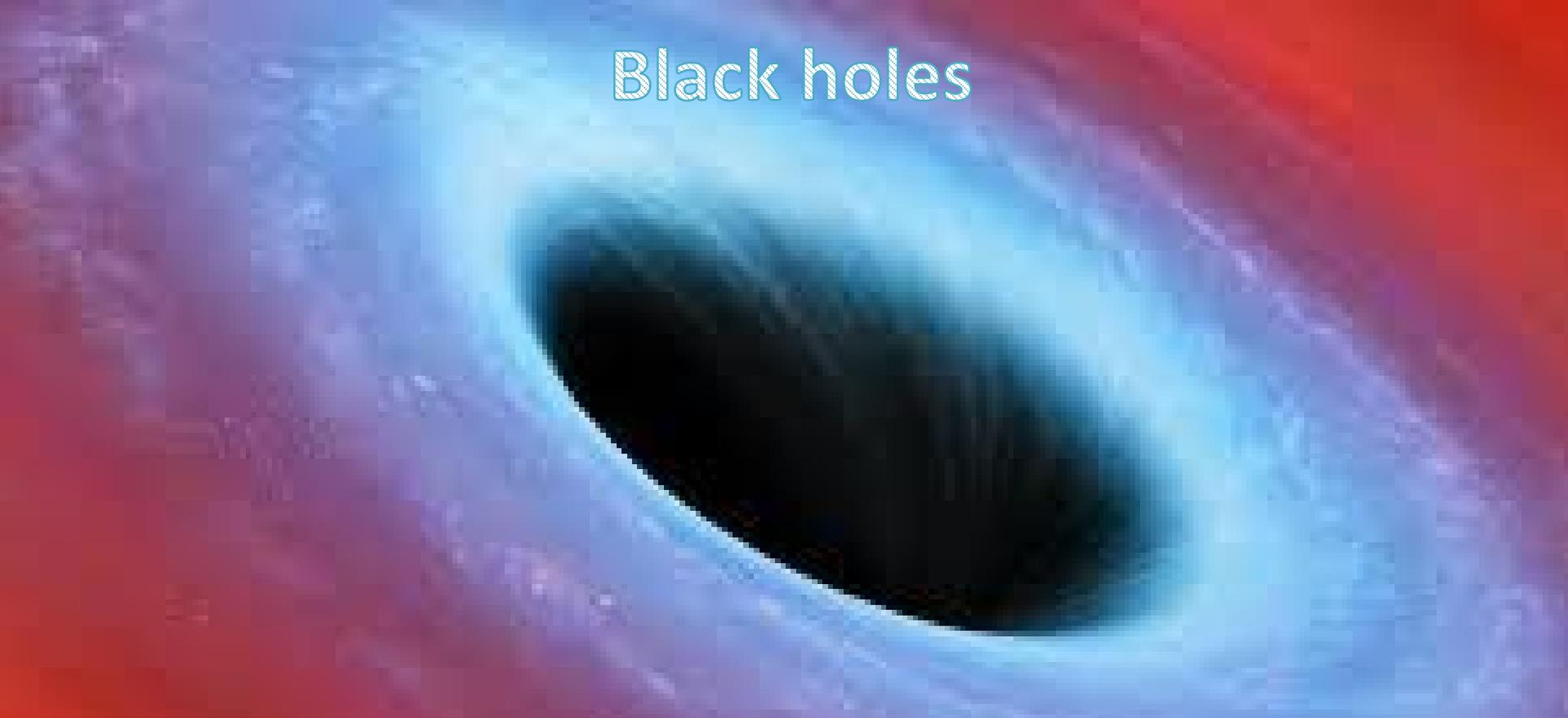
# QUASARS



Alton Chip Arp



# Black holes



Cygnus X1



New Horizon telescope



Karl Schwarzschild

# 1937: *missing mass* nell'ammasso di Coma



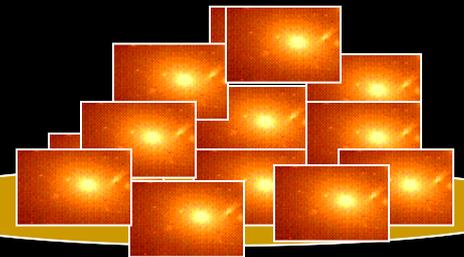
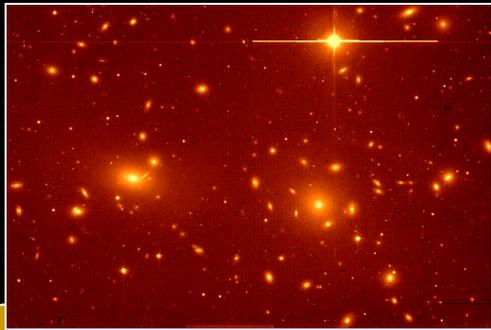
Fritz Zwicky.

# ... degli ammassi in equilibrio dinamico

ammasso  
contenente  $N$   
galassie

anno 1937

$N$  galassie  
*standard*



Fritz Zwicky



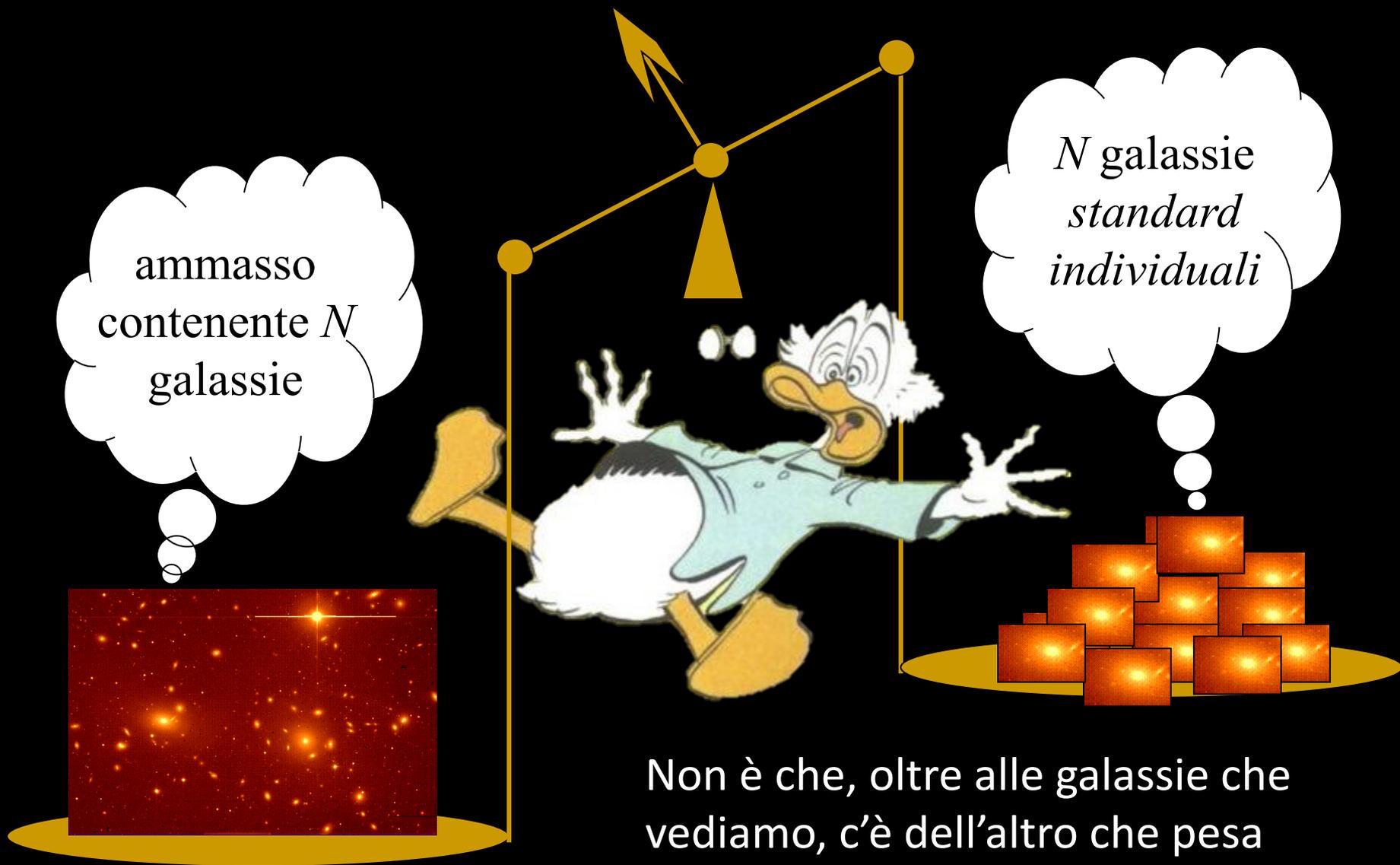
E' la somma che fa il totale ? E invece ...



Ammasso di galassie Abel 1656



# ... l'intero pesa più della somma delle parti



Non è che, oltre alle galassie che vediamo, c'è dell'altro che pesa ma non riluce? Materia oscura .... ?

# Dark matter

## l'80% della materia è oscura

Cos'è

Esiste davvero?

Perché allora ...?

Non so!

Non so!

Perché altrimenti certe cose non si spiegano!

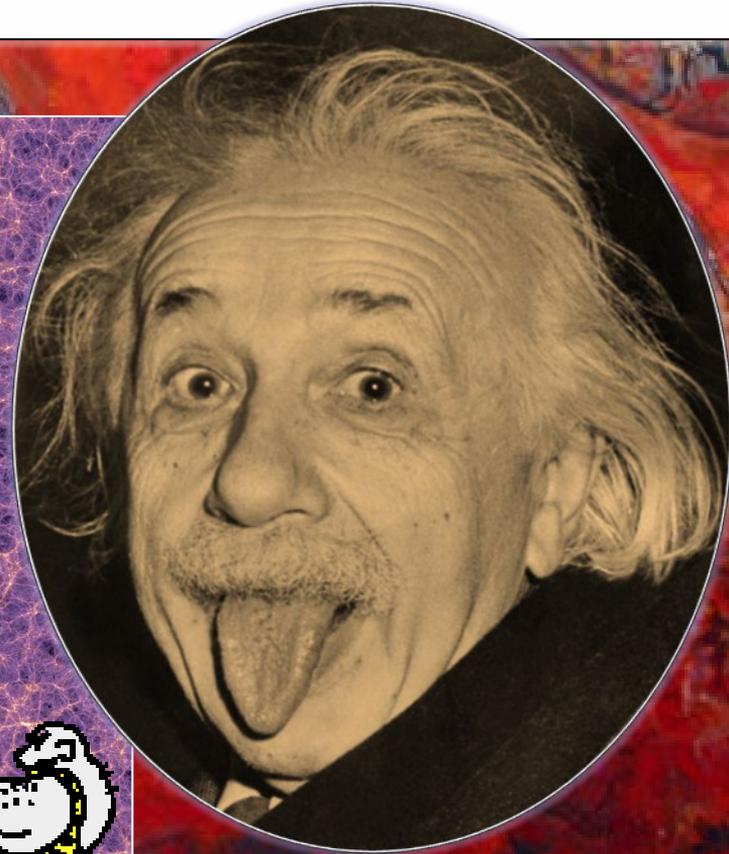
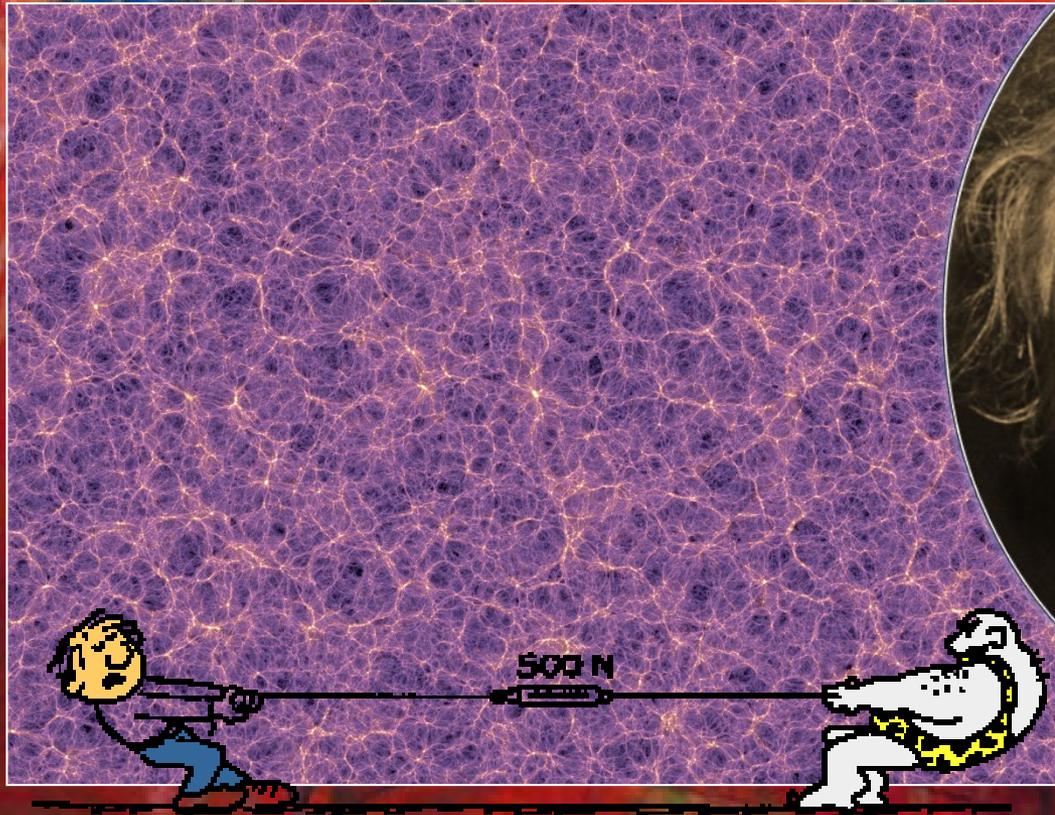


Nessuna interazione con  
le radiazioni elettromagnetiche



# 1916: Einstein e l'universo statico

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

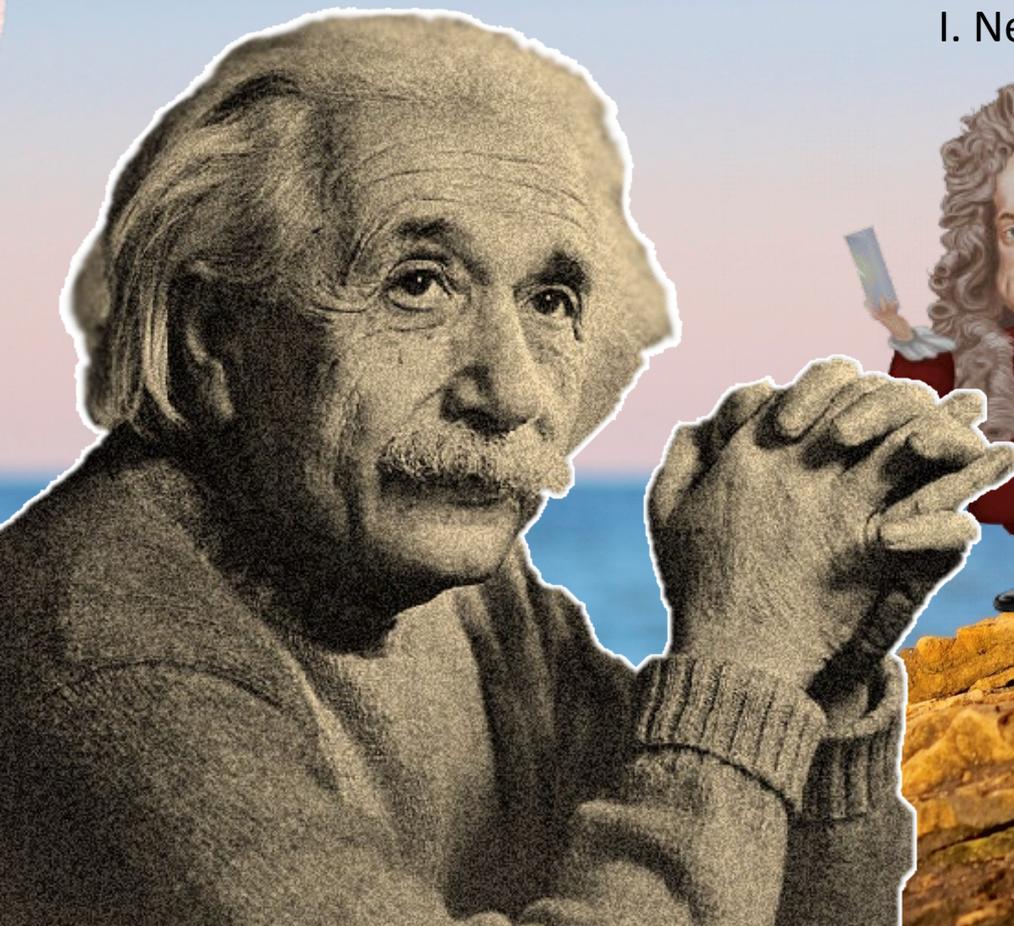


# 1916: il cosmo statico di Einstein

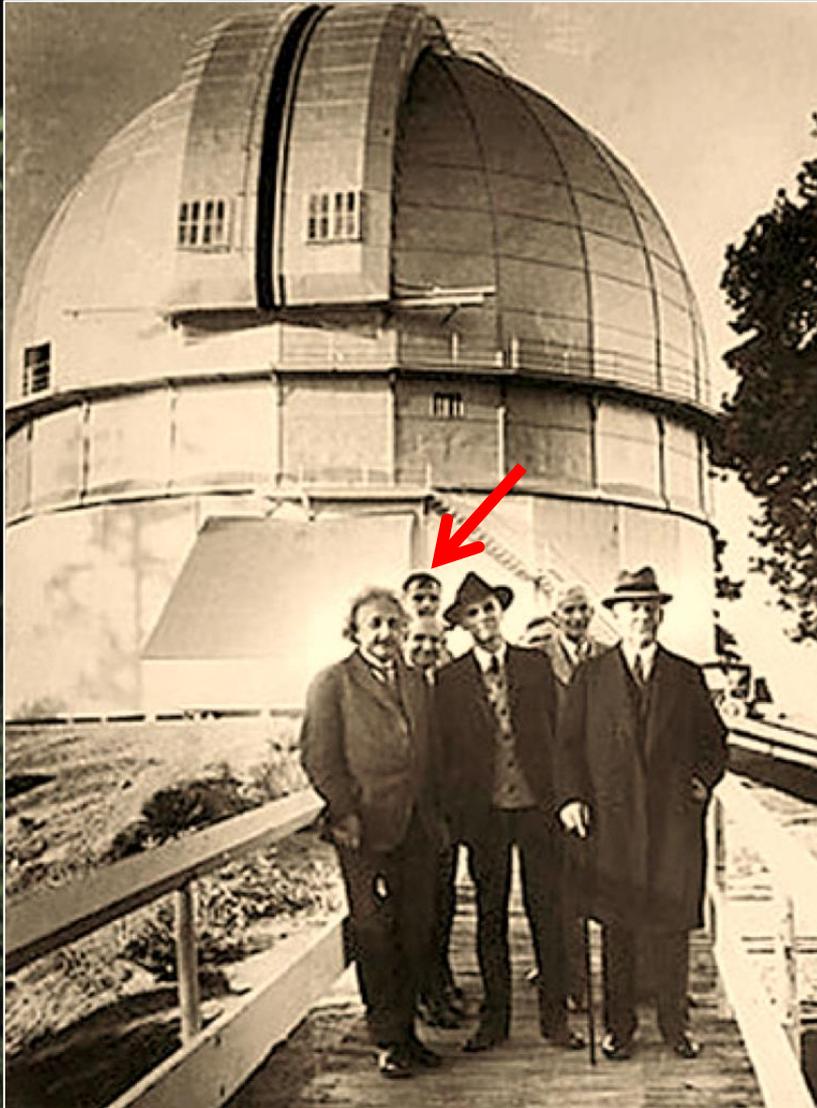
gravità

forza repulsiva

I. Newton



# 1931: fatti e non preconcetti

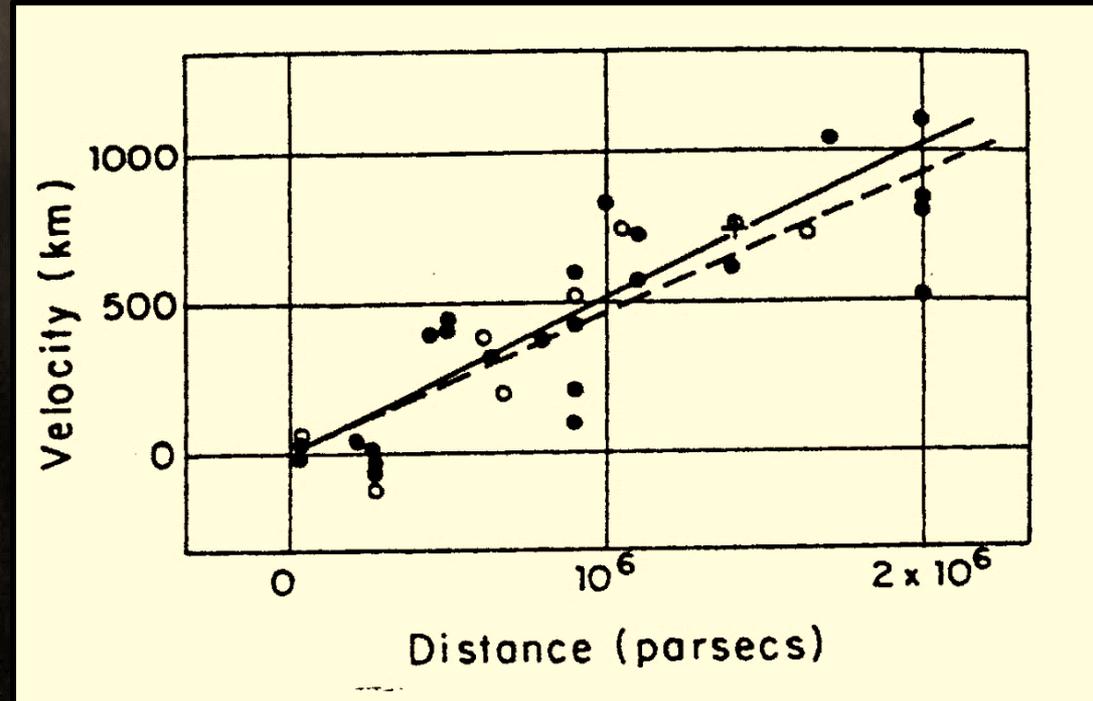
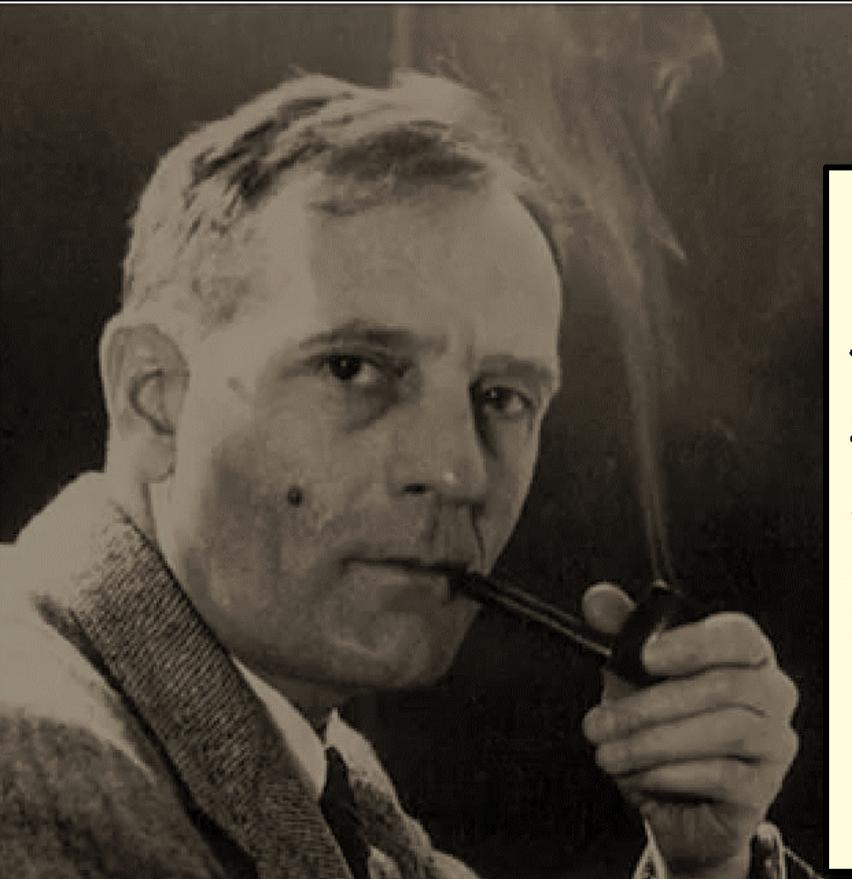
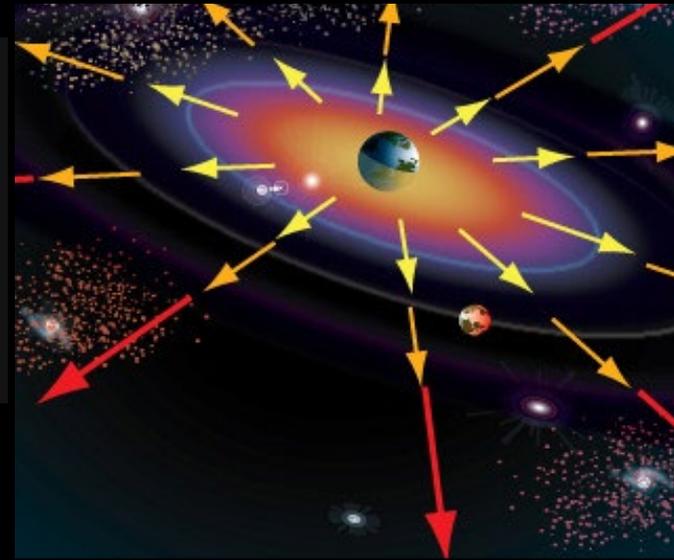
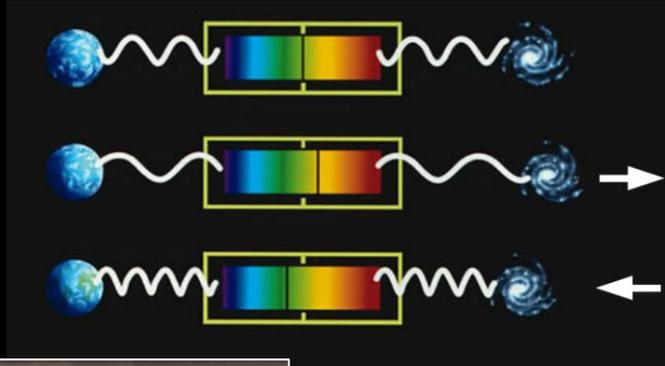


1931:  
Einstein visita l'Osservatorio di Mount  
Wilson e lì incontra Hubble.

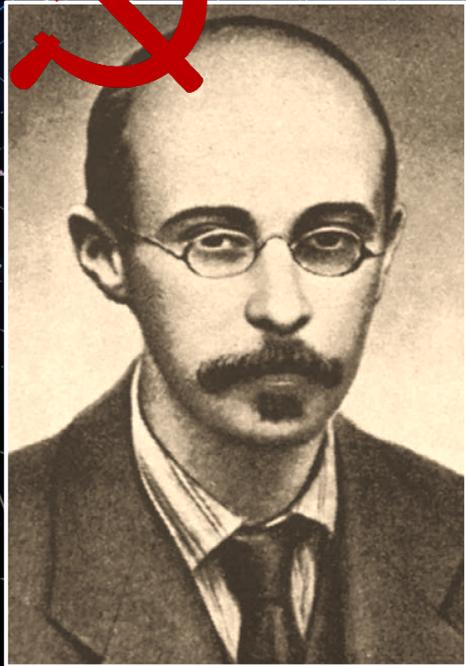
# 1931: la scoperta di Hubble

C'è proporzionalità  
tra distanza e redshift

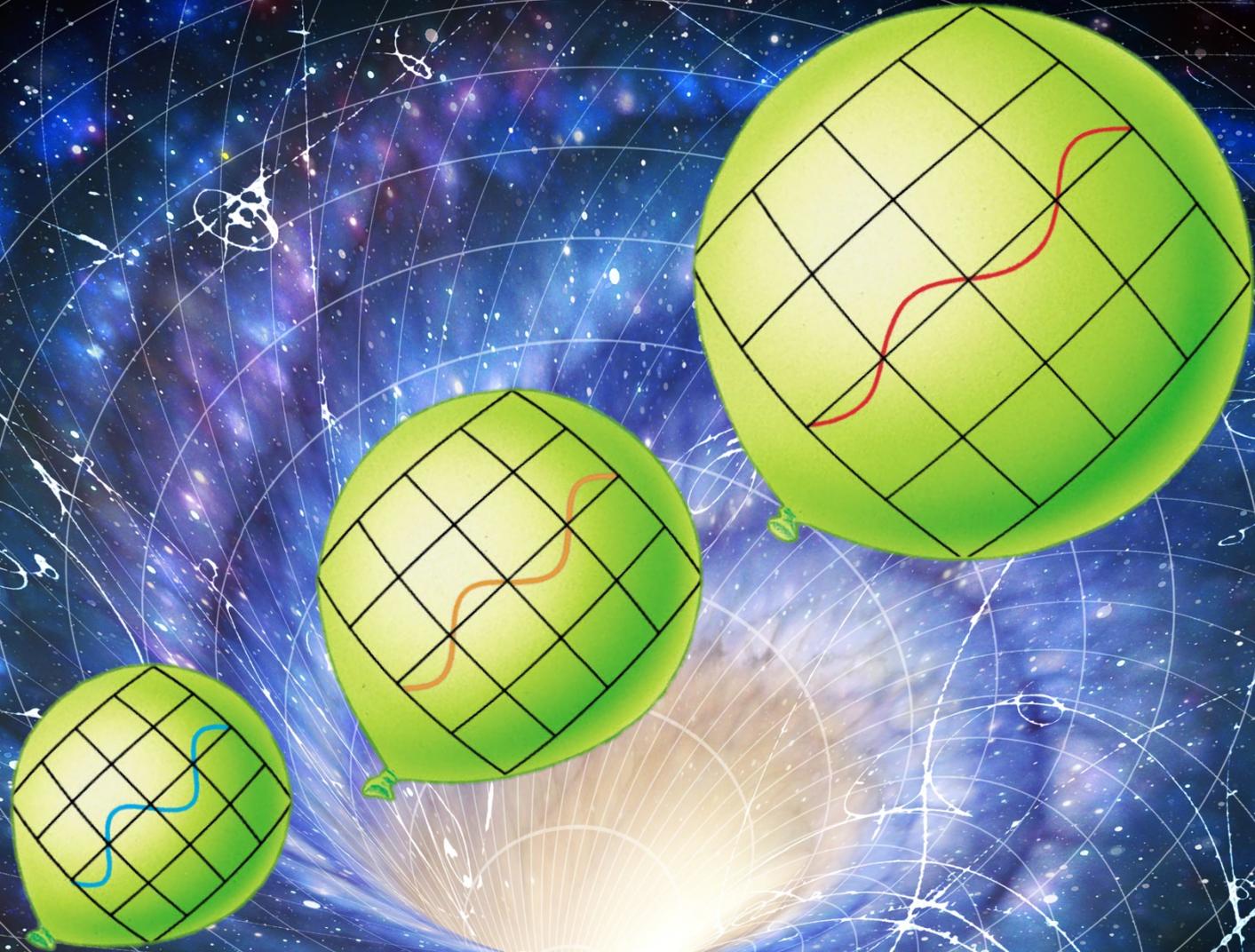
Edwin Hubble (1889-1953)



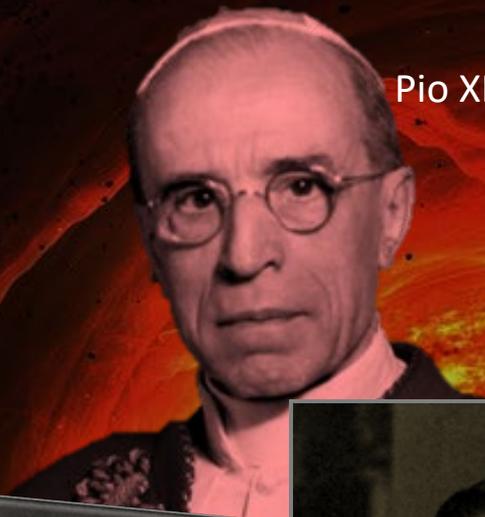
# 1925: universo in espansione



Alexandr Friedmann



# Un enigma: ma se è nato, come è successo?

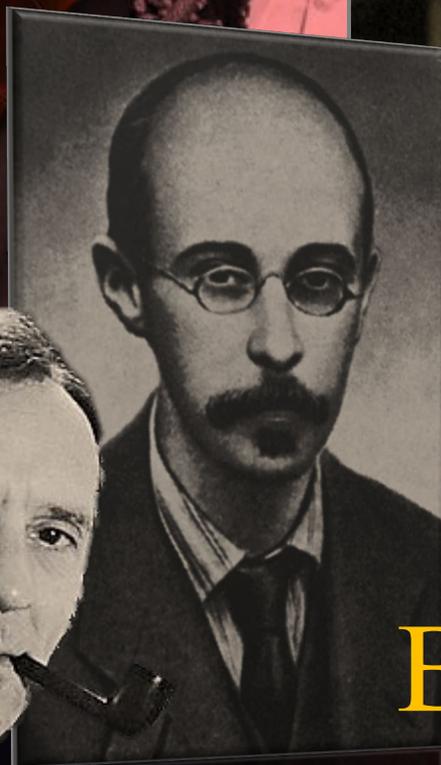


Pio XII

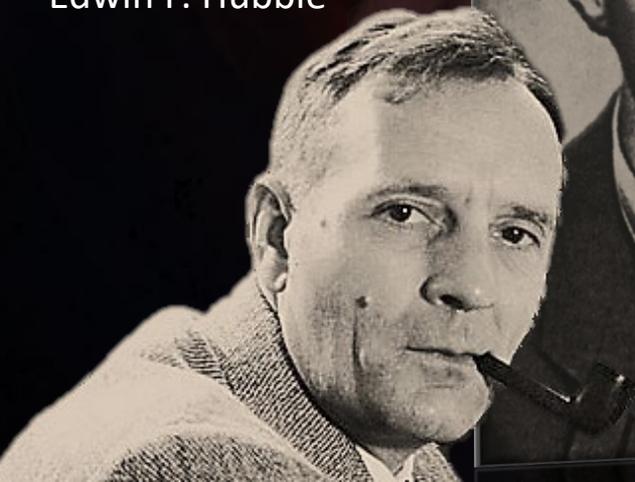
Georges Lemaître, con Albert Einstein



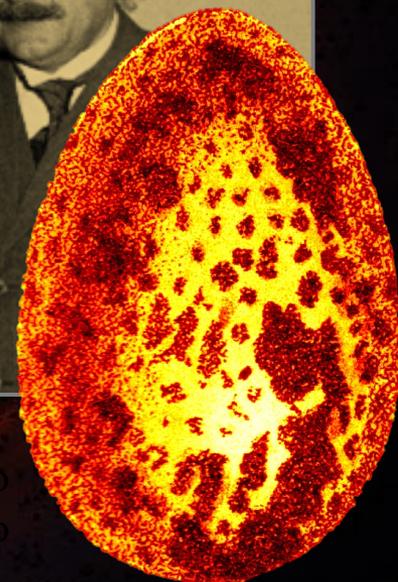
Alexandr  
Friedman



Edwin P. Hubble



**BIG BANG**

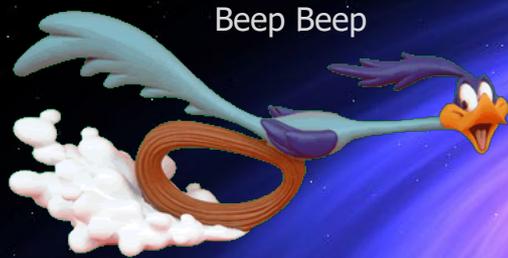


# Una conseguenza: l'universo non è sempre esistito.

Si stima che abbia un'età di  
**13,7 miliardi d'anni**



# Un fatto: l'universo è grande ma non infinito



Esso è contenuto all'interno di una sfera di raggio crescente con il tempo, dove almeno concettualmente possiamo entrare in contatto con tutto (o quasi !!!)

## Connessione causale

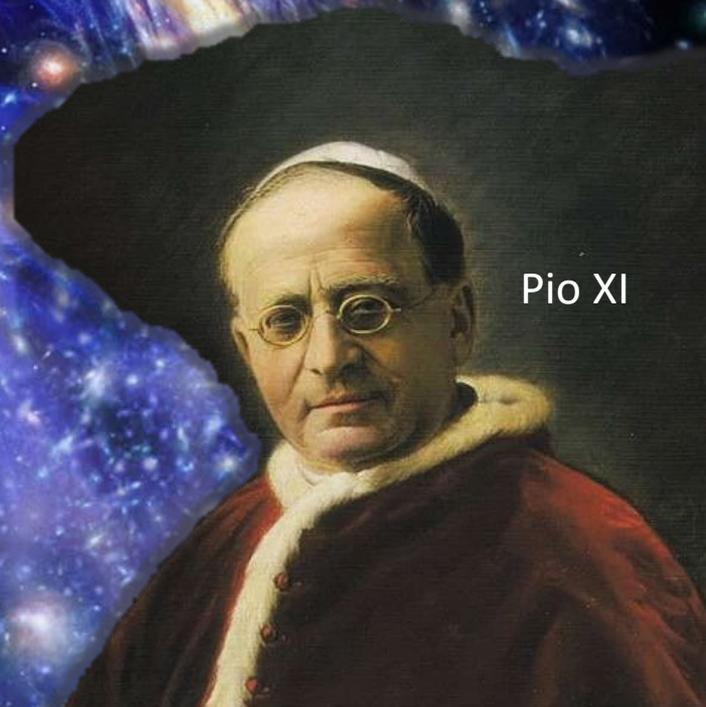
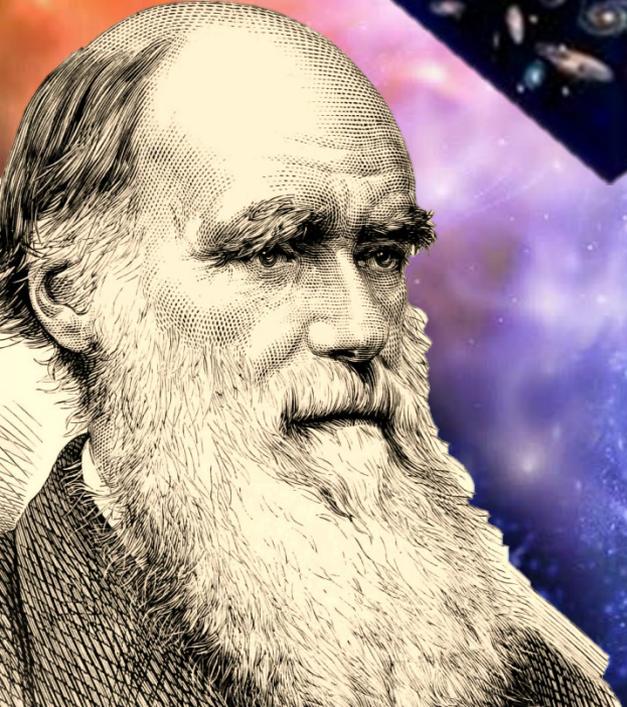
# Una necessità: l'evoluzione

Big Bang

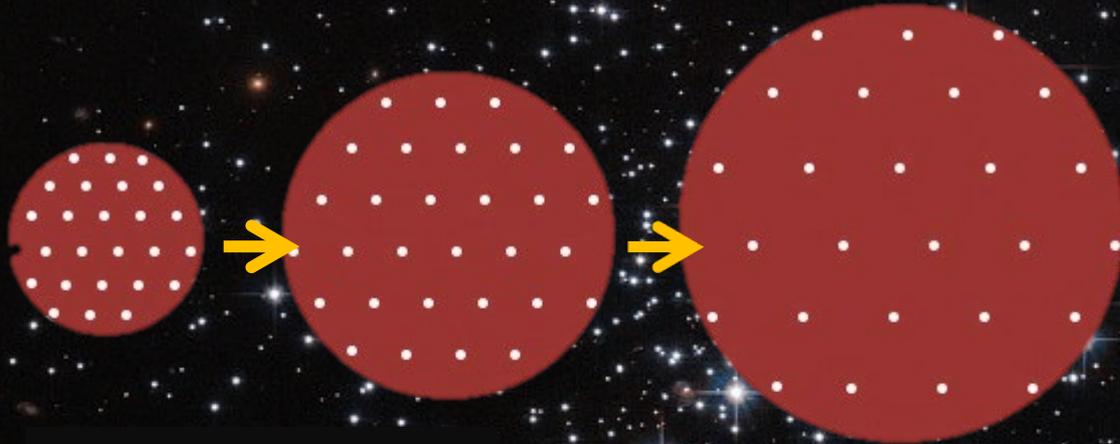
tempo

Charles Darwin

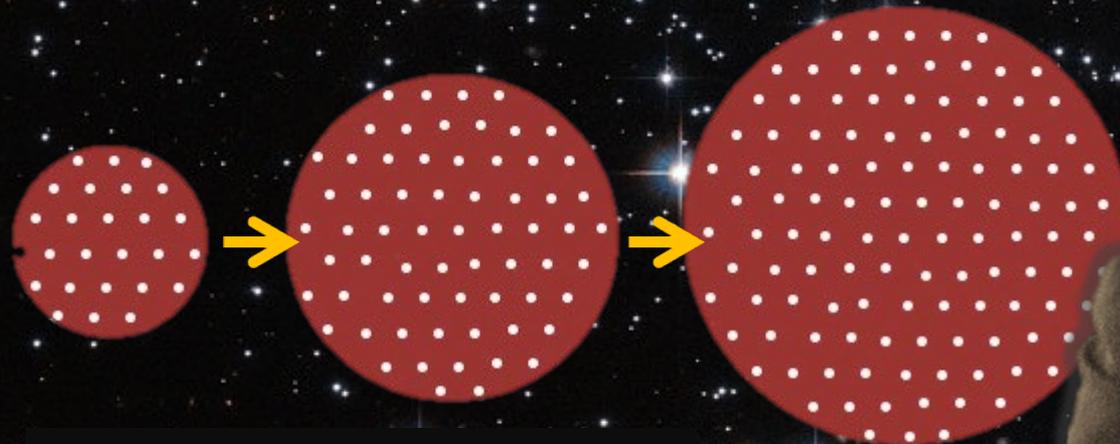
Pio XI



# La teoria del «*tutto cambia perché nulla cambi*»

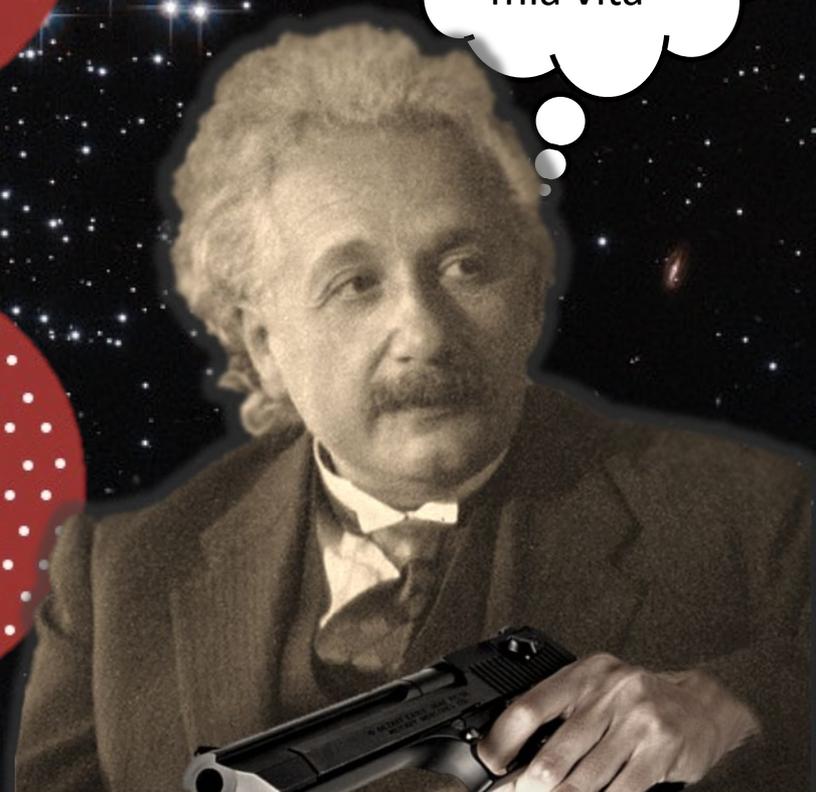


Modello del **Big Bang**



Modello dello **Stato Stazionario**

Il più grande  
errore della  
mia vita





# 1948: l'universo diventa fisico

## La nucleosintesi primordiale

Robert Herman

George Gamow

Ralph Alpher



Zuppa di protoni

PHYSICAL REVIEW

VOLUME 73, NUMBER 7

### Letters to the Editor

**P**UBLICATION of brief reports of important discoveries in physics may be secured by addressing them to this department. The closing date for this department is five weeks prior to the date of issue. No proof will be sent to the authors. The Board of Editors does not hold itself responsible for the opinions expressed by the correspondents. Communications should not exceed 600 words in length.

#### The Origin of Chemical Elements

$\alpha$   
 $\beta$   
 $\gamma$

R. A. ALPHER\*  
Applied Physics Laboratory, The Johns Hopkins University,  
Silver Spring, Maryland

AND  
H. BETHE  
Cornell University, Ithaca, New York

AND  
G. GAMOW  
The George Washington University, Washington, D. C.  
February 18, 1948

AS pointed out by one of us,<sup>1</sup> various nuclear species must have originated not as the result of an equilibrium corresponding to a certain temperature and density, but rather as a consequence of a continuous building-up process arrested by a rapid expansion and cooling of the primordial matter. According to this picture, the

We may remark at first that the building-up process is apparently completed when the temperature of the gas was still rather high, since otherwise the relative abundances would have been strongly affected by resonances in the region of the slow neutron. Hughes,<sup>2</sup> the neutron capture cross sections of various elements (for neutron energies of about 1 e.v.) are exponentially falling with atomic number half way through the system, remaining approximately constant for the heavier elements.

Using these cross sections, one finds from Eqs. (1) as shown in Fig. 1 that the relative abundances of various nuclear species decrease rapidly with increasing atomic number and remain approximately constant for elements heavier than silver. In order to fit the observed abundances<sup>3</sup> it is necessary to assume the integral of  $\rho_0 dt$  during the building-up process equal to  $5 \times 10^8$  g sec./cm<sup>3</sup>.

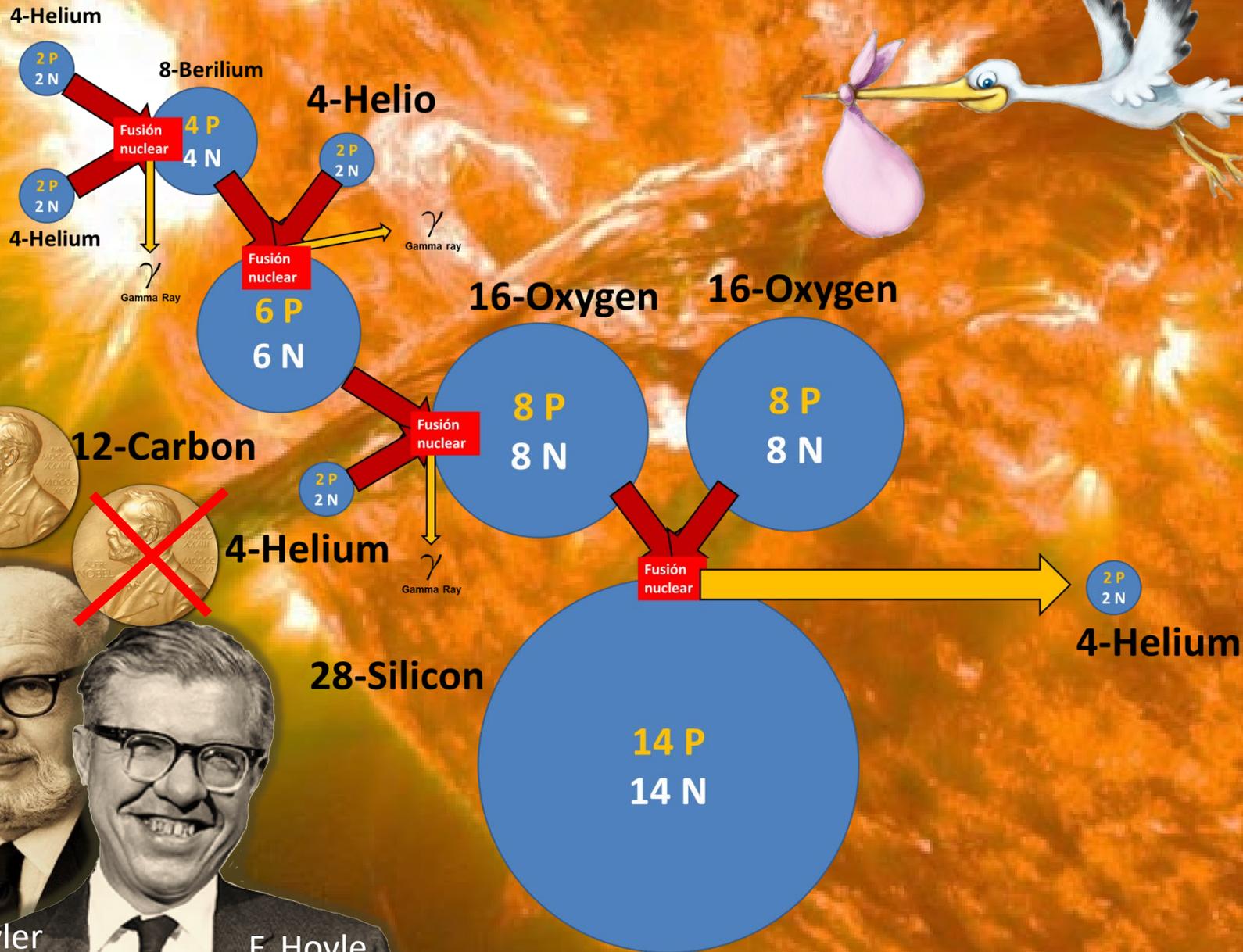
On the other hand, according to the relation for the expanding universe<sup>4</sup> the density depends on  $\rho \approx 10^9 / R^3$ . Since the integral of  $\rho dt$  diverges at  $t=0$ , it is necessary to assume that the building-up process began at a certain time  $t_0$ , after which the relation:

$$\int_{t_0}^{\infty} (10^9 / R^3) dt \leq 5 \times 10^8,$$

which gives us  $t_0 \leq 20$  sec. and  $\rho_0 \leq 2.5 \times 10^6$  g/cm<sup>3</sup>, result may have two meanings: (a) for the building-up process existing prior to that time the temperature



# Stelle: fucine di elementi con $Z > 2$



# 1964: scoperta del CMBR

Antenna a corno dei Bell Labs  
a Crawford Hill, NJ

Arno Penzias

Robert Wilson

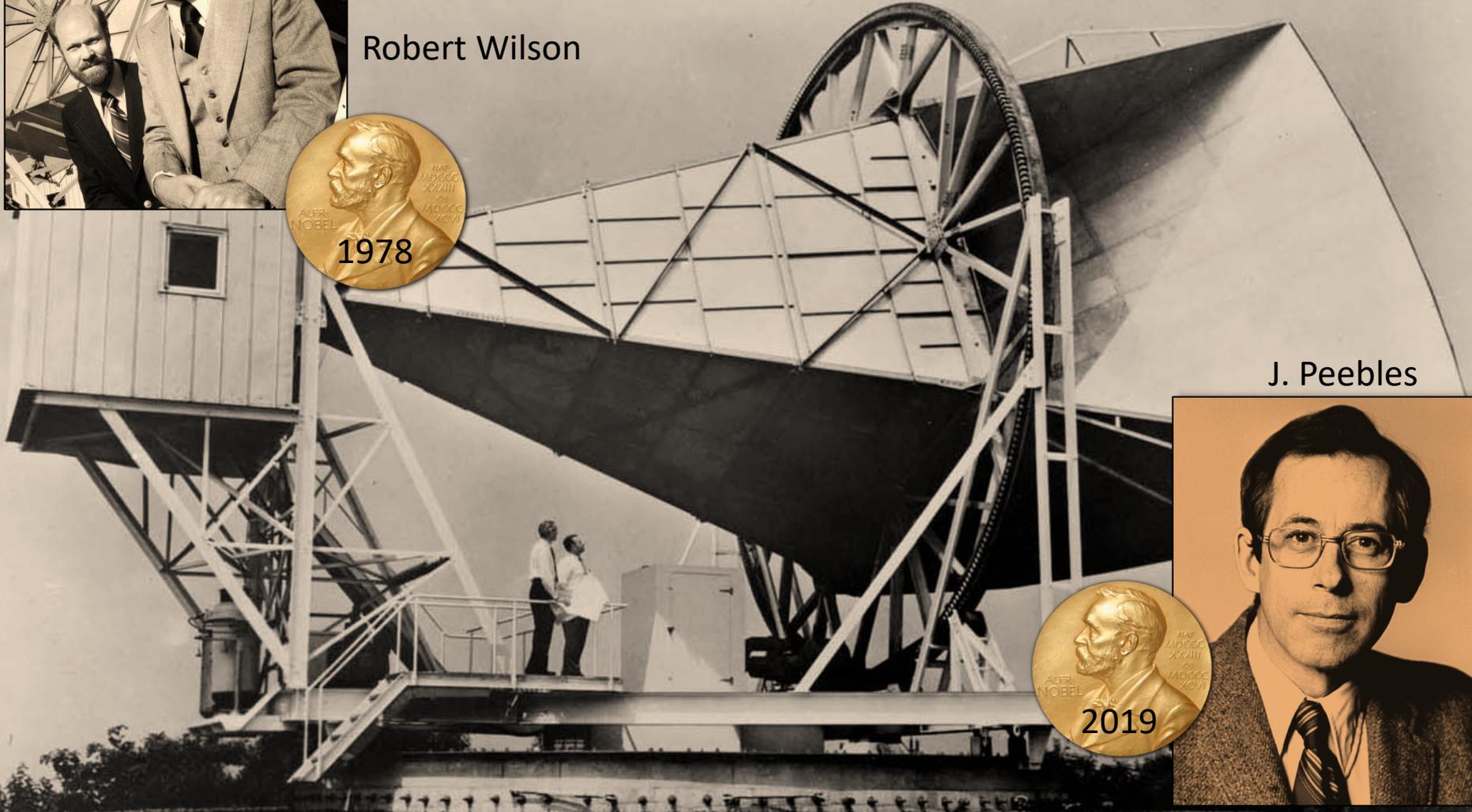


1978

J. Peebles



2019





# Guerra Fredda e scienza

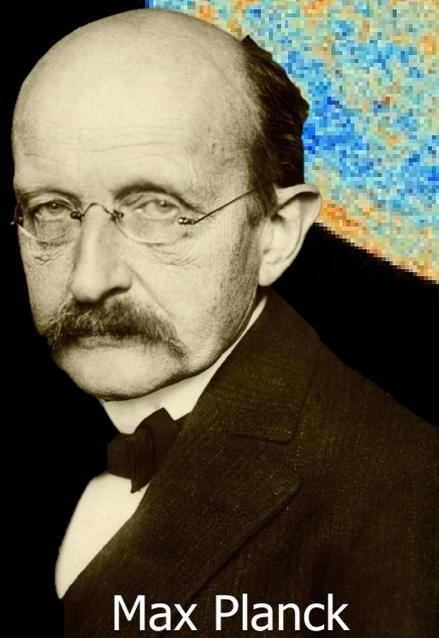
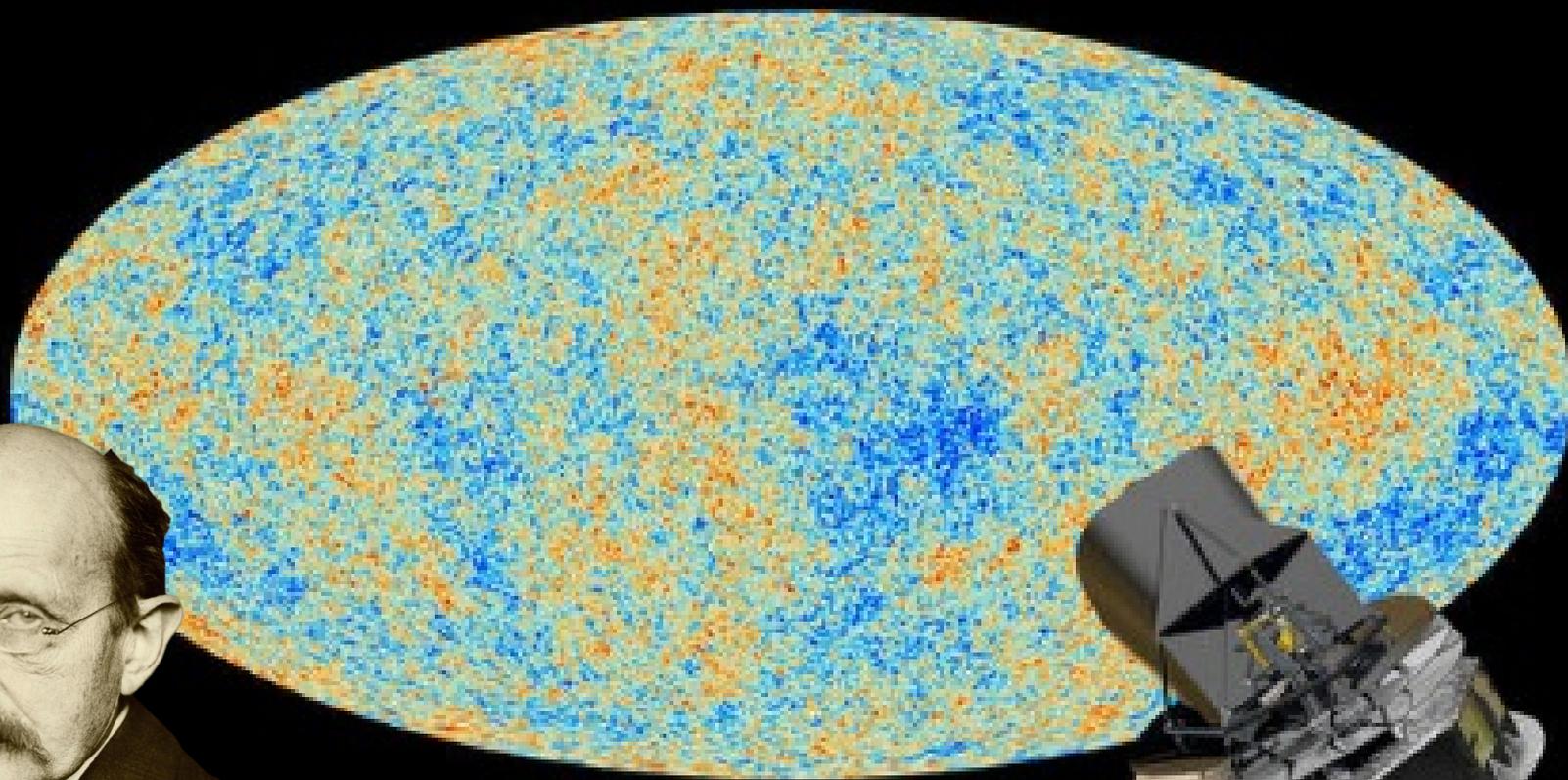


Yakov Zel'dovich

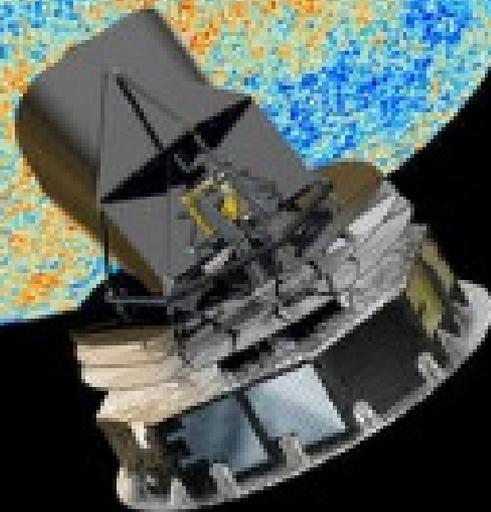
Robert H. Dicke



# 2013: mappa delle minuscole fluttuazioni di temperatura del CMBR ( $< 0,001\%$ )



Max Planck

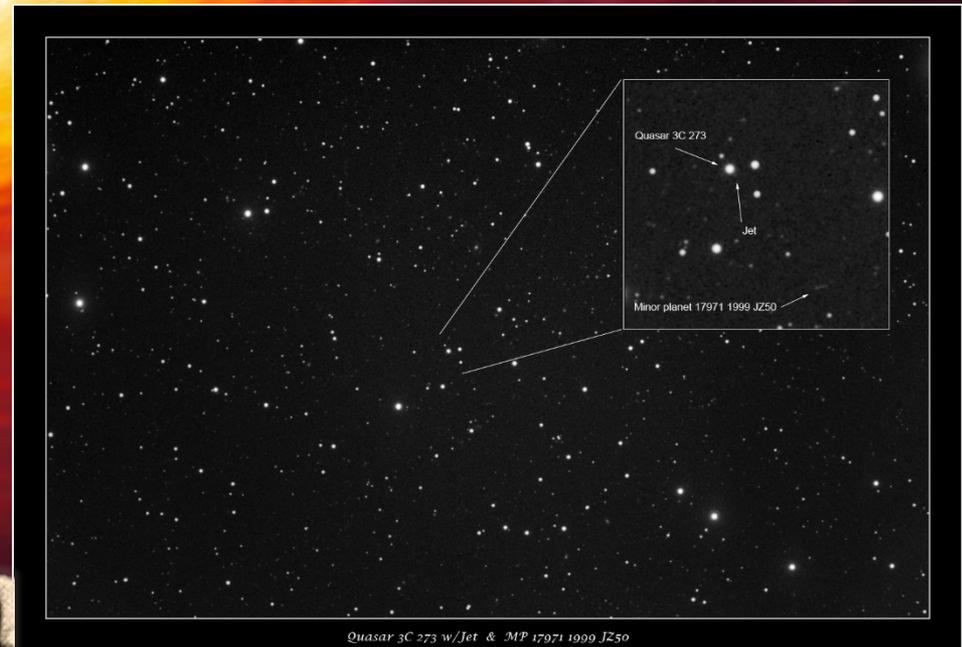
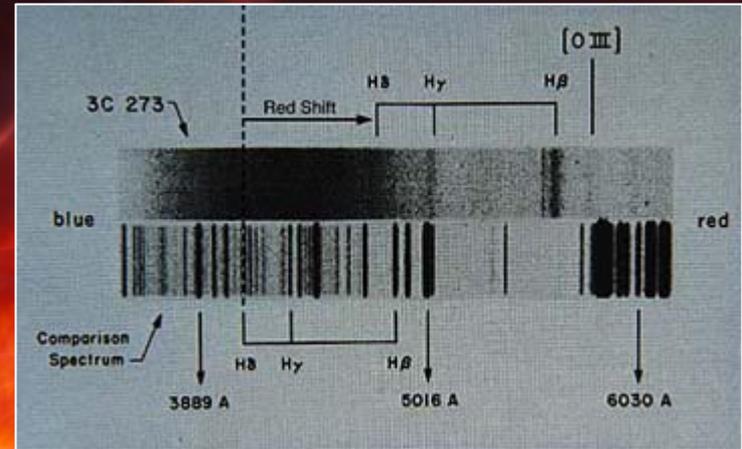


Planck Surveyor

# 1964: la scoperta dei quasar Un'altra prova l'evoluzione



Marteen Schmidt

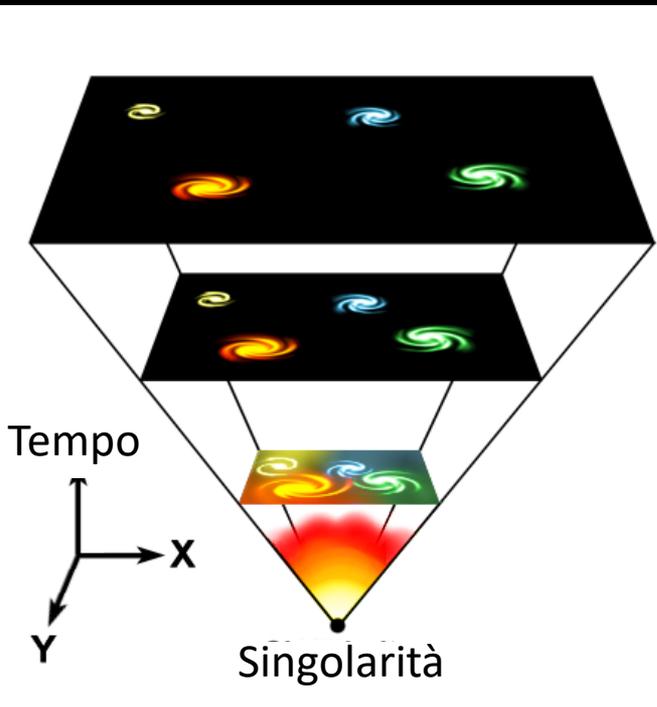


# Una prova 'visibile'

Hubble Ultra Deep Field



# Menu degli universi in espansione

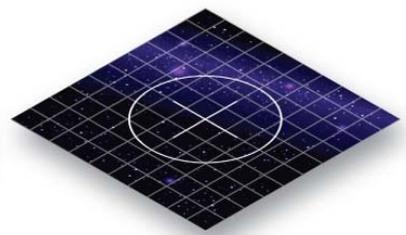


Sferico



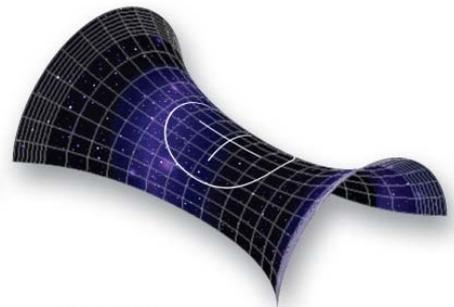
**CLOSED GEOMETRY**  
With positive curvature of space-time, parallel lines converge to a point

Spazio  
Euclideo



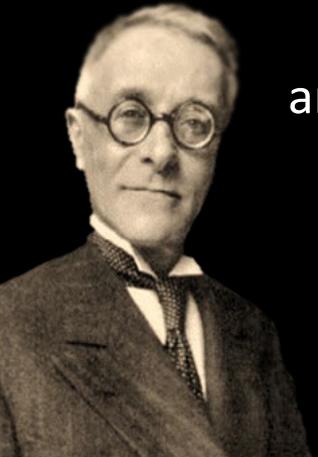
**FLAT**  
The standard model of cosmology says that the geometry of space-time in our universe is flat. The shortest distance between two points is a straight line

Iperbolico

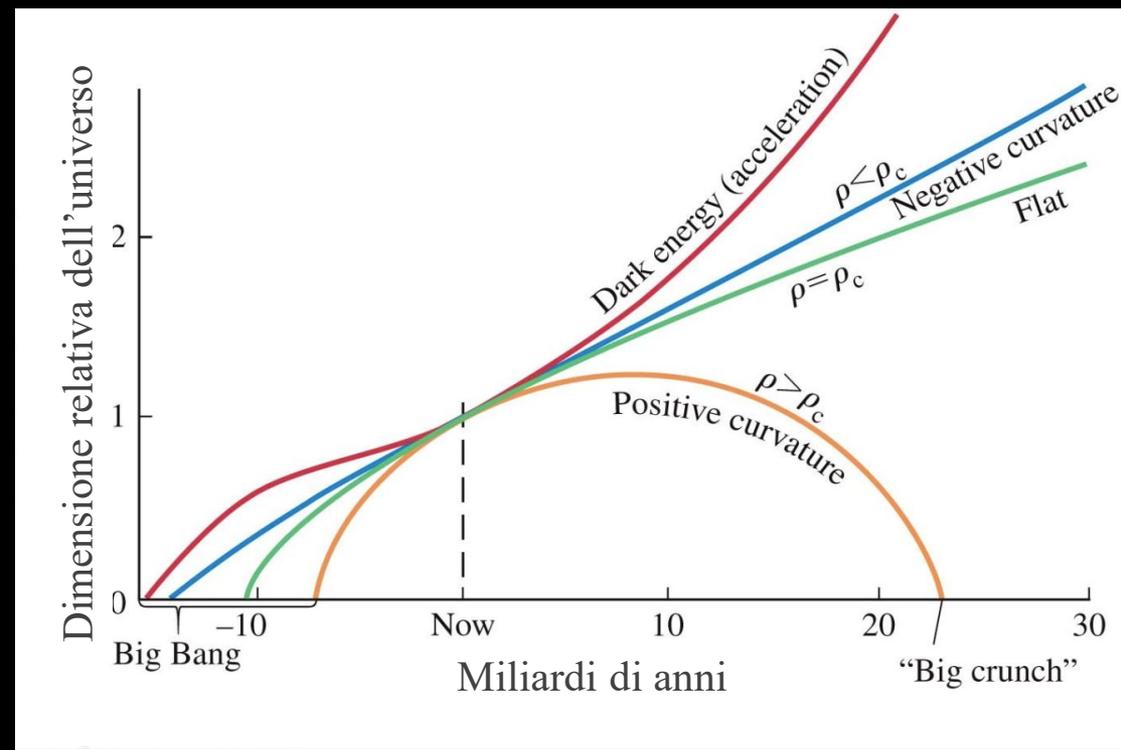


**PRINGLE UNIVERSE**  
An open universe, in which parallel lines diverge, could reconcile string theory and cosmology

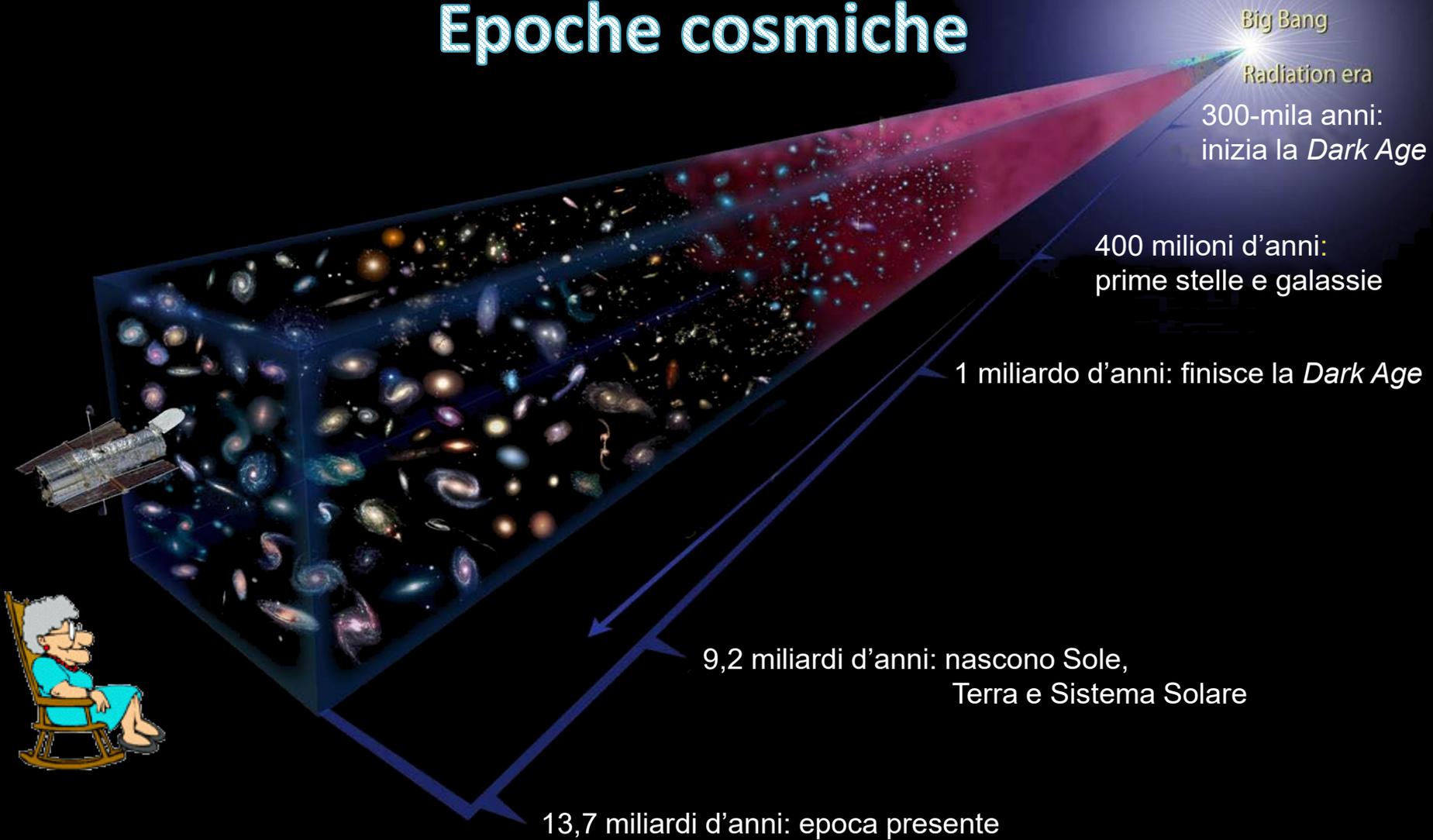
Geometrie e  
andamenti nel tempo



Tullio  
Levi Civita

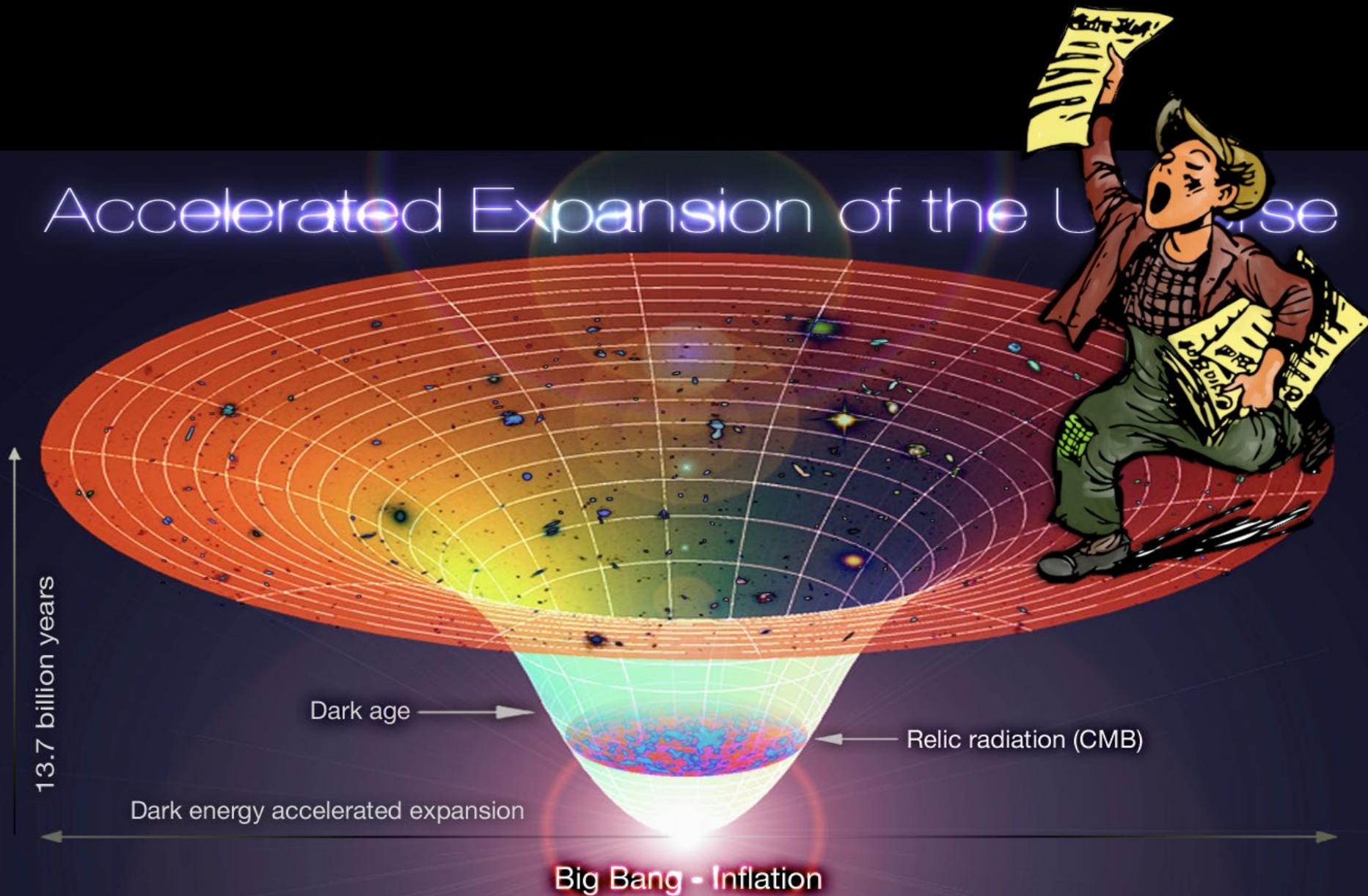


# Epoche cosmiche



# Le SNe mostrano che l'universo accelera

## Accelerated Expansion of the Universe



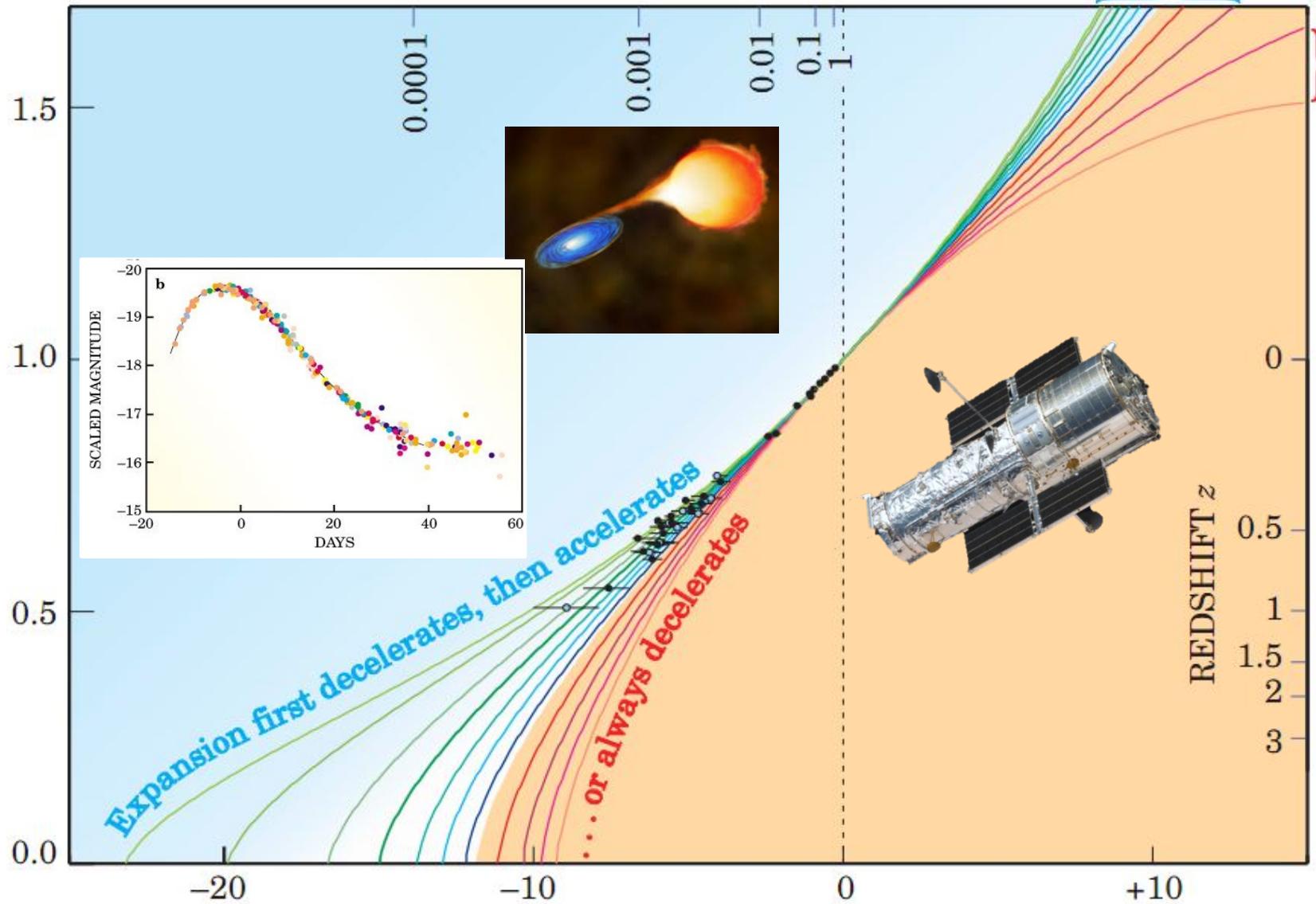
# Crescita del fattore di scala nel tempo

RELATIVE BRIGHTNESS OF SUPERNOVAE

Eternal expansion

Eventual collapse

LINEAR SCALE OF UNIVERSE RELATIVE TO TODAY



BILLIONS OF YEARS FROM TODAY

# Energia Oscura (Dark Energy)

Saul Perlmutter



Brian Schmidt



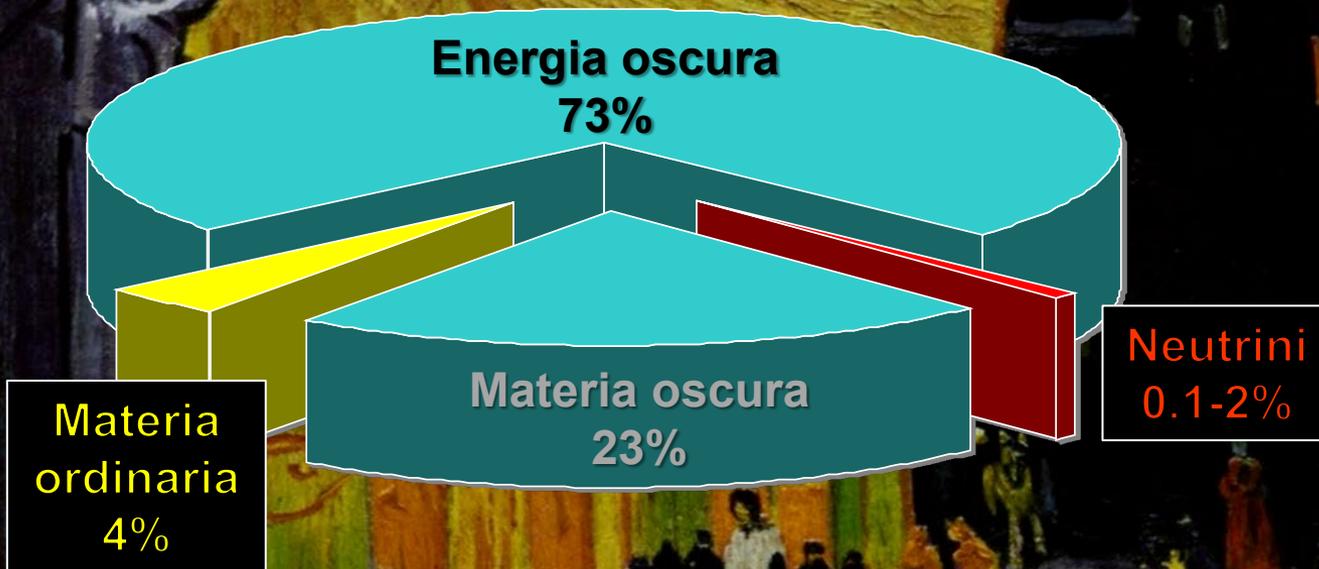
Adam Riess

Premio Nobel per la fisica  
anno 2011



# La materia visibile è una briciola del tutto

## Ecco come apparirebbe il cielo senza le briciole di materia





Grazie della  
attenzione

