

Università "Primo Levi"



2 Febbraio 2018

Introduzione al corso di Astronomia

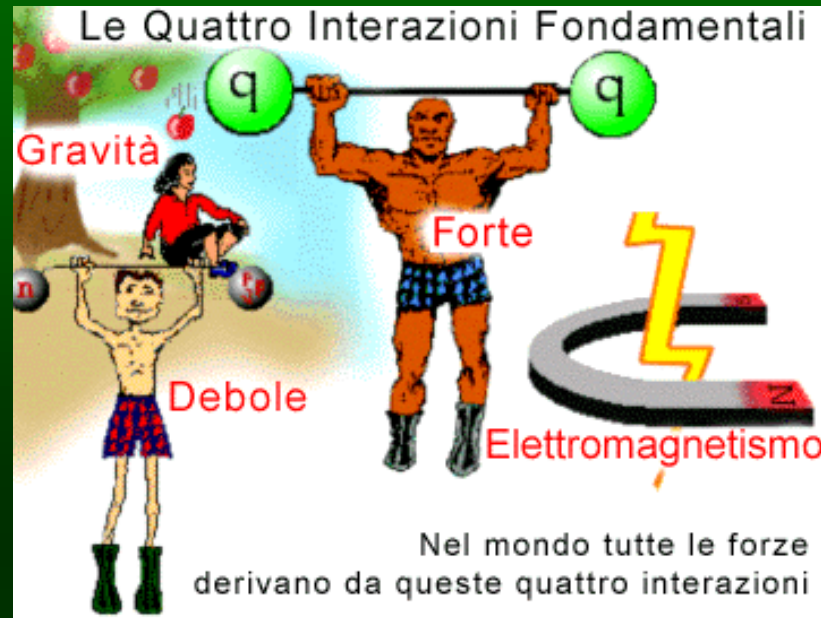
Bedogni Roberto INAF Osservatorio Astronomico di Bologna

<http://www.bo.astro.it/~bedogni/>
email: roberto.bedogni@oabo.inaf.it

Astronomia e/o Astrofisica

Il Cosmo come un grande “laboratorio”

Le forze fondamentali della fisica



Particelle mediatrici di forza: ogni tipo di interazione fondamentale agisce tramite una particella (un esempio è il fotone).

Particelle materiali: Il Modello Standard sostiene che la maggior parte delle particelle materiali finora conosciute è composta di particelle ancora più fondamentali, i **quark** a cui si affianca un'altra classe di particelle i **leptoni** (un esempio è l'elettrone).

Proprietà delle interazioni fondamentali

interazione \ proprietà	Gravitazionale	Elettromagnetica	Debole	Forte	Forte residua
Agisce su	Massa	Carica elettrica	Sapore	Carica di colore	
Particelle	Tutte	Particella carica	Quark e leptoni	Quark e gluoni	Adroni
Particelle mediatrici	Gravitoni (non osservati)	γ	$W^+ W^- Z^0$	8 Gluoni	Mesoni
Intensità per 2 quark u a 10^{-18} m e a 3×10^{-17} m	10^{-41} 10^{-41}	1 1	0.8 10^{-4}	25 60	Non applicabile ai quarks
Intensità 2 protoni nel nucleo	10^{-36}	1	10^{-7}	Non applicabile agli adroni	20

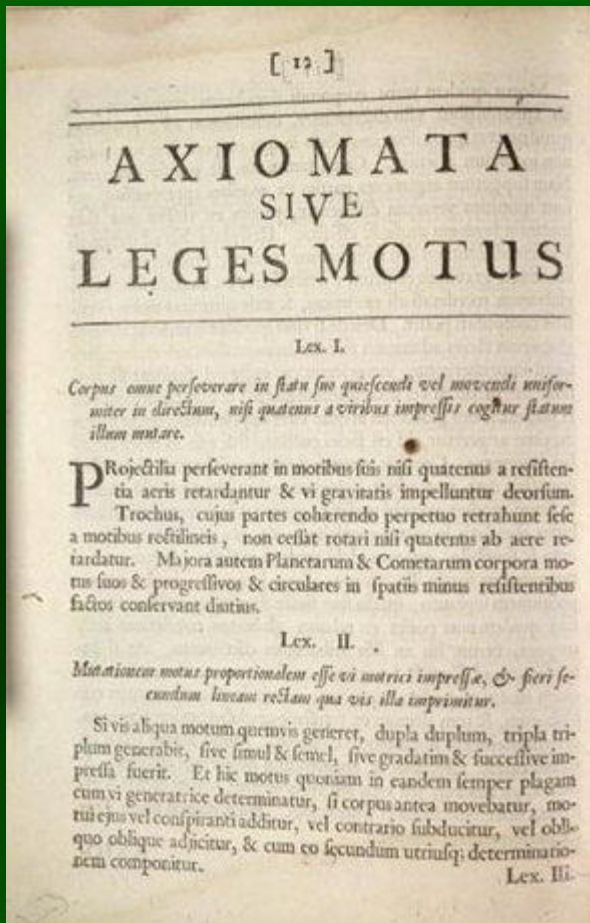
Proprietà delle interazioni fondamentali

Teoria	Interazione	Mediatore	Intensità relativa	Andamento	Raggio d'azione
Cromo dinamica	Forte	gluone	10^{38}	1	10^{-15} m
Elettro dinamica	Elettromagnetica	fotone	10^{36}	$1/r^2$	infinito
Sapore dinamica	Debole	W^+ W^- Z^0 bosoni	10^{25}	$1/r^5$ $1/r^7$	10^{-16} m
Geometro dinamica	Gravità	gravitoni	1	$1/r^2$	infinito

La gravità ed il suo ruolo dal Sistema solare alla struttura su larga scala dell'Universo

Newton e la nuova fisica

la seconda legge del moto



La seconda legge della dinamica afferma che ogni corpo possiede un'inerzia espressa dalla sua **massa m_i (inerziale)** che si oppone agli agenti esterni (le **forze F**) che tendono ad alterare il suo stato dinamico ed a fornirgli una **accelerazione** a tale per cui:

$$F = m_i a = m_i D_2 x / Dt^2$$

dove

- **F = vettore forza**
- **a = vettore accelerazione**
- **m_i = massa inerziale**

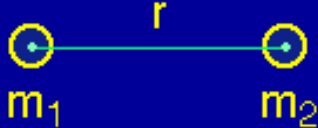
E' solo osservando l'applicazione della **forza esterna** che siamo in grado di valutarne gli effetti e quindi di misurare la massa (inerziale) del corpo sottoposto all'azione della forza

La legge di gravitazione universale

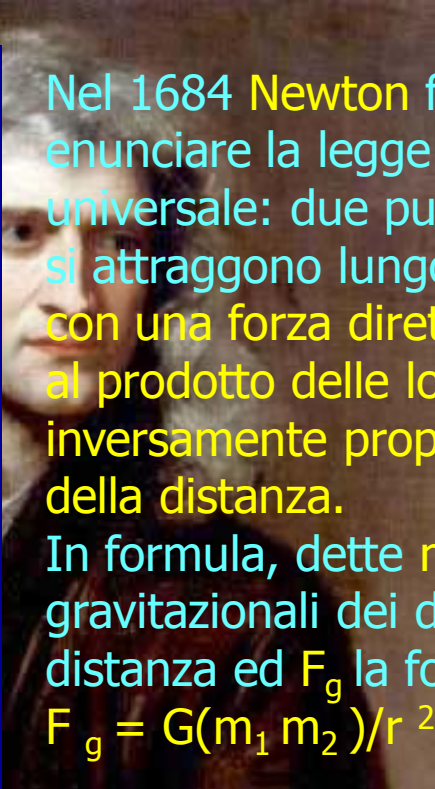
La prima unificazione

Legge di Gravitazione Universale

Ogni corpo nell'Universo attrae ogni altro corpo con una forza diretta lungo la loro congiungente proporzionale al prodotto delle loro masse ed inversamente proporzionale al quadrato della loro distanza.

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


F_g =forza di gravitazione
 $m_1 m_2$ =masse dei due oggetti
 r = separazione tra i due oggetti
 G = costante di gravitazione universale

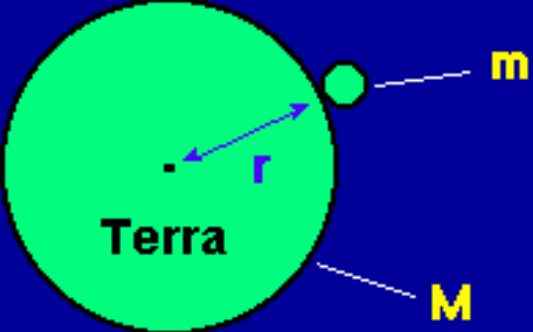


Nel 1684 **Newton** fu in grado di enunciare la legge di gravitazione universale: due punti materiali qualsiasi si attraggono lungo la loro congiungente con una forza direttamente proporzionale al prodotto delle loro masse e inversamente proporzionale al quadrato della distanza.

In formula, dette m_1 ed m_2 le masse gravitazionali dei due corpi, r la loro distanza ed F_g la forza agente, si ha:
 $F_g = G(m_1 m_2)/r^2$

dove **G** è la costante di gravitazione.
Si noti che la potenza di **r** è =2 per cui si parla di campo di forza "centrale".

La “forza peso” è la stessa “forza” che regola il moto dei pianeti



The diagram shows a large blue circle representing Earth, labeled "Terra" and "M". A small red circle representing an object is labeled "m". A red arrow labeled "r" points from the center of Earth to the object. A blue arrow points from the object towards Earth, representing the gravitational force.

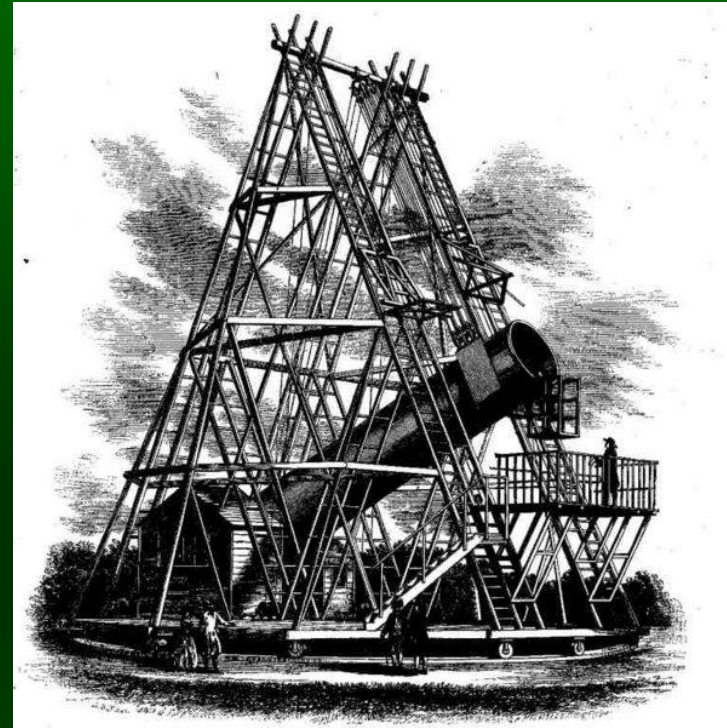
$$\text{Peso} = F_g = G \frac{M m}{r^2} = mg$$

$= g$

M= massa della Terra
m= massa dell' oggetto
r = raggio della Terra
g =accelerazione di gravità terrestre

La scoperta di Urano

L'astronomo
Herschel
scopritore di
Urano.



Urano è il primo pianeta scoperto utilizzando moderni strumenti di osservazione. Fu trovato da Herschel il 17 marzo 1781 che utilizzò un telescopio riflettore con uno specchio di 120 cm di diametro costruito personalmente dall'astronomo inglese.

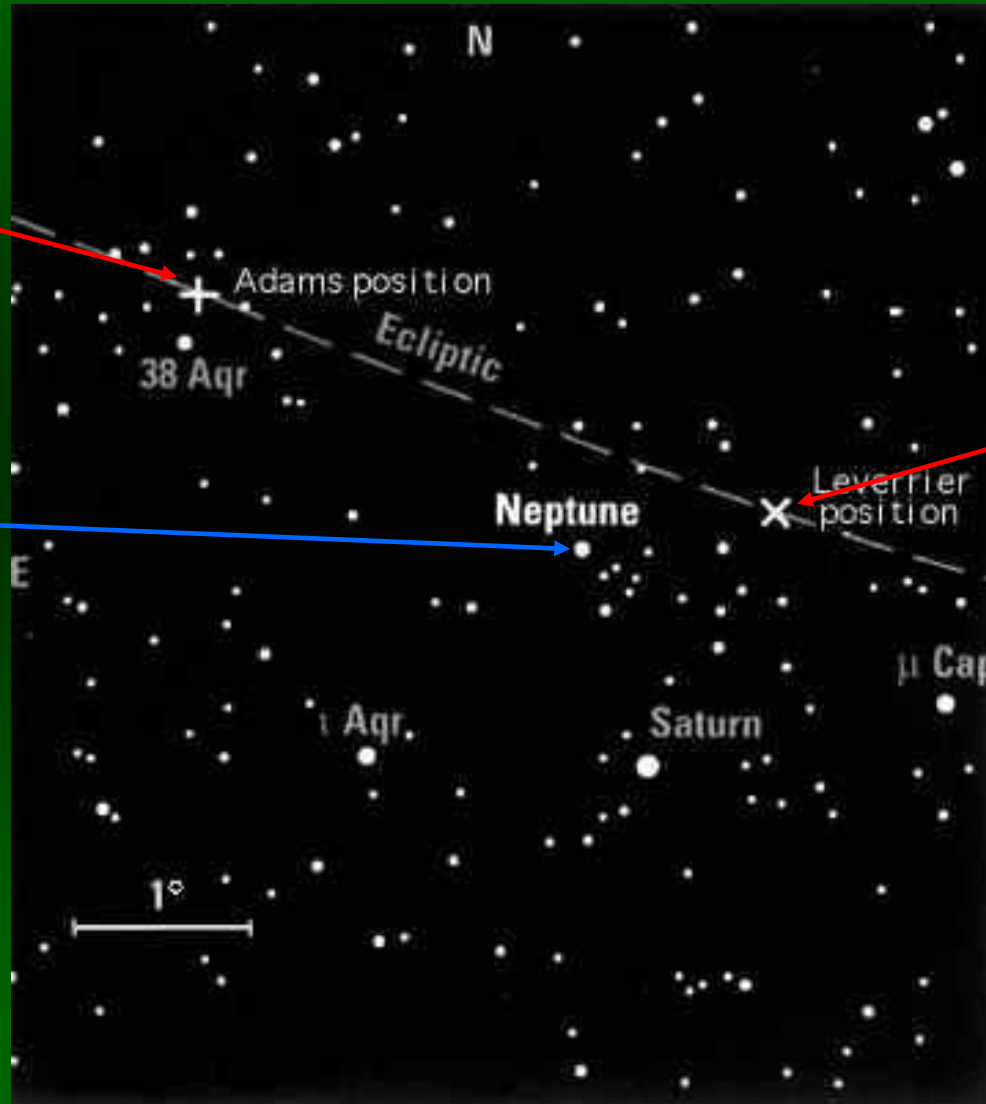
Le proprietà della sua orbita ed i parametri fisici del pianeta furono determinati applicando le Leggi di Newton.

L'apogeo della fisica newtoniana la scoperta di Nettuno

Posizione
prevista da
Adams

Posizione
"vera" di
Nettuno

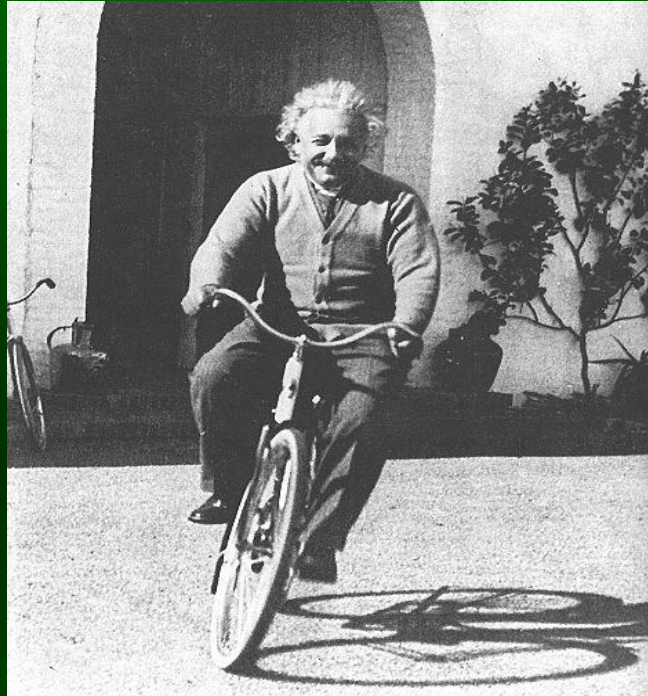
Posizione
prevista da
Le Verrier



La Relatività Generale:

la forza di gravità non esiste
ciò che esiste è lo spazio-tempo che si
“incurva” in presenza di materia-energia

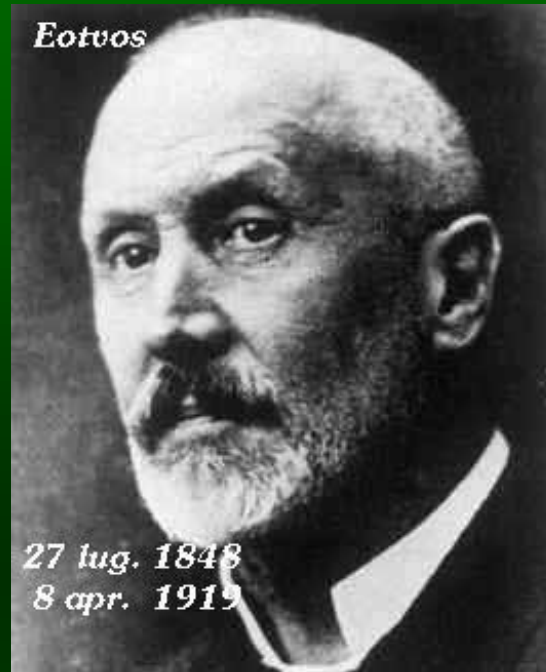
La costruzione di una teoria relativistica che include i sistemi accelerati



Alla fine del 1905 Einstein, conclusa la costruzione della Relatività Speciale, si pose il problema dell'invarianza delle leggi fisiche anche rispetto ai sistemi accelerati che producono tipici effetti "non-inerziali".

Il primo passo in questa direzione fu quello di notare la straordinaria peculiarità della gravità trascurando le altre forze non inerziali

Il Principio di Equivalenza



Eötvös il fisico ungherese che per primo verificò l'uguaglianza tra massa inerziale e massa gravitazionale

Il Principio di Equivalenza afferma che la massa inerziale di un corpo è uguale a quella gravitazionale

$$m_i = m_g$$

indipendentemente dalla loro composizione chimica e struttura fisica; fatto questo già osservato da Galileo Galilei e verificato nei primi decenni del secolo corso dal fisico ungherese Eötvös.

Il Principio di Equivalenza verificato sulla Luna



La gravità nella teoria di Einstein la geometro-dinamica

La gravità è interpretata come effetto geometrico in quanto la *materia* presente nell'Universo determina la *curvatura dello spazio-tempo*.

Le equazioni di Einstein esprimono la relazione fra la curvatura da un lato e la materia ed energia dall'altro.

Equazioni di campo della Relatività Generale

membro di sinistra = membro di destra
curvatura = materia ed energia

Lo *spazio-tempo* è una entità a quattro dimensioni (tre spaziali + una temporale) che sostituiscono lo *spazio* ed il *tempo assoluti* della teoria newtoniana.

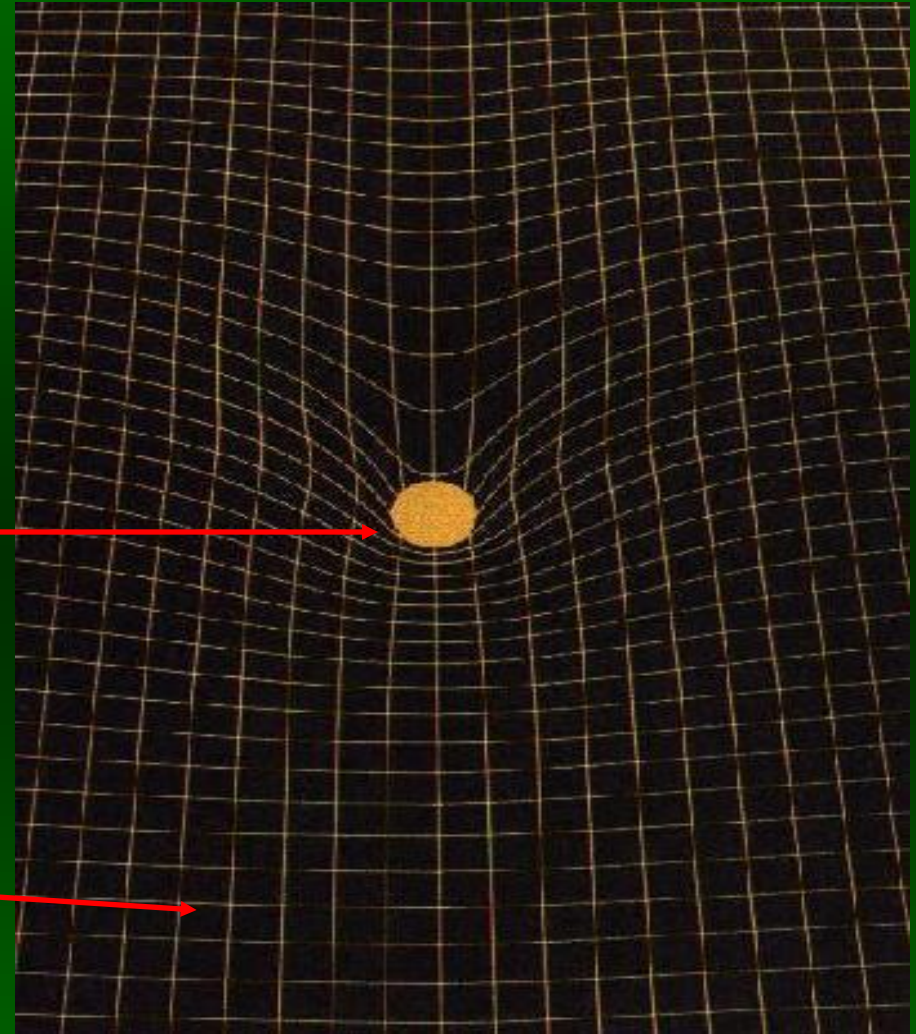
Non solo lo spazio ed il tempo non sono più assoluti ma possono essere intrinsecamente connessi !

La curvatura dello spazio-tempo I

Supponiamo, per meglio rappresentare l'effetto della gravità, che la superficie sia di gomma e vi appoggiamo sopra una sfera di piombo

Il peso della sfera (che simula l'effetto della gravità) fa sì che essa affondi incurvando e deformando la superficie

L'avvallamento prodotto si fa sempre meno profondo mano a mano che cresce la distanza dalla sfera, finché ogni segno di depressione scompare.

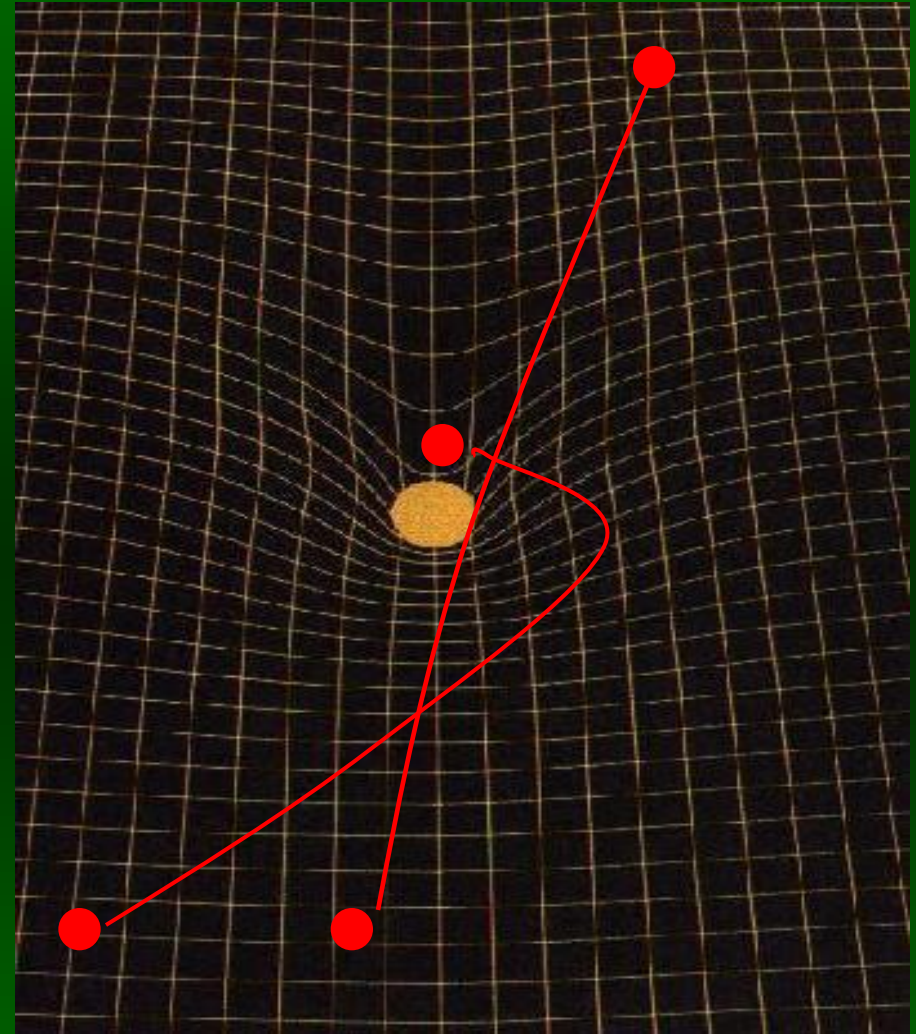


La curvatura dello spazio-tempo II

Se una pallina leggera vi transita vicino essa non solo devia dalla sua traiettoria rettilinea ma può finire anche con il cadere nella buca in fondo alla quale si trova la sfera stessa, proprio come se quest'ultima l'avesse attratta.

Al limite se la sfera è molto massiccia e la buca quindi risulta molto profonda la pallina non esce più !

Se invece la buca è poco profonda oppure la velocità della pallina abbastanza elevata essa esce dalla buca allontanandosi però lungo un direzione diversa da quella originale.



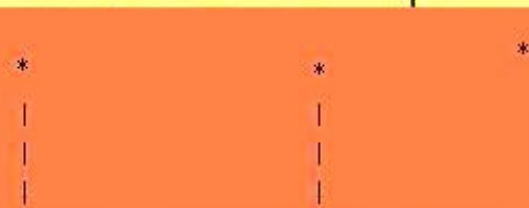
La curvatura dello spazio-tempo : la deflessione della luce

Deflessione della luce stellare da parte del Sole.

Fotografia delle
stelle nella posizione
dietro il Sole
durante una eclisse.



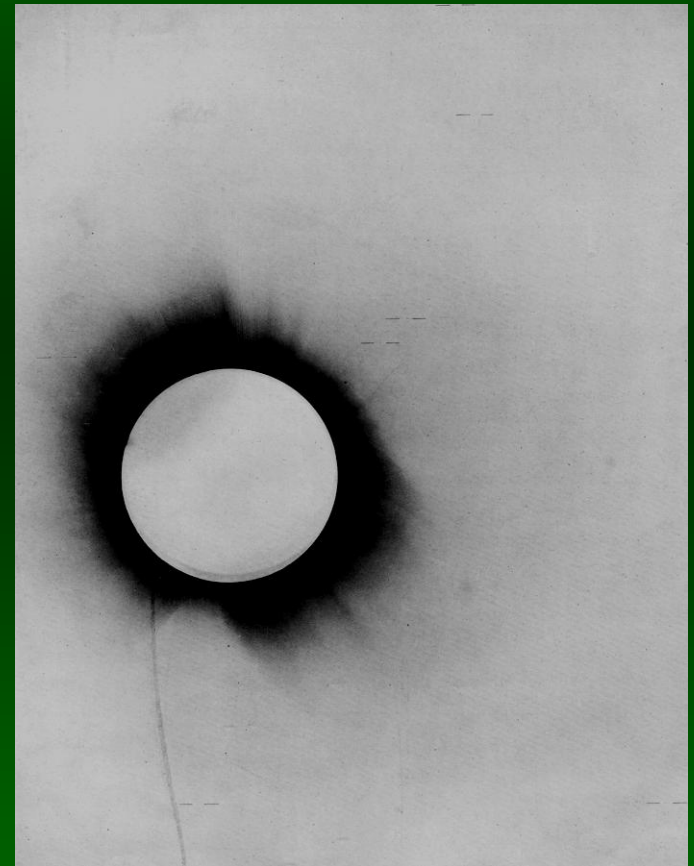
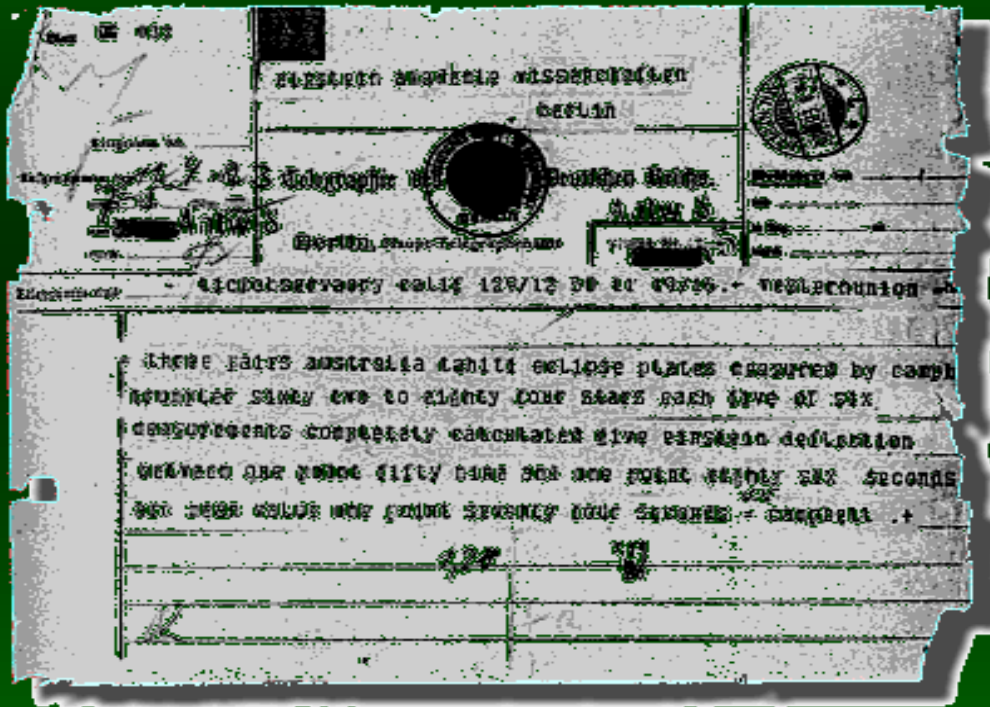
Causa la deflessione
del campo gravi-
tazionale del Sole
la posizione apparente delle stelle
viene "avvicinata" a quella del Sole



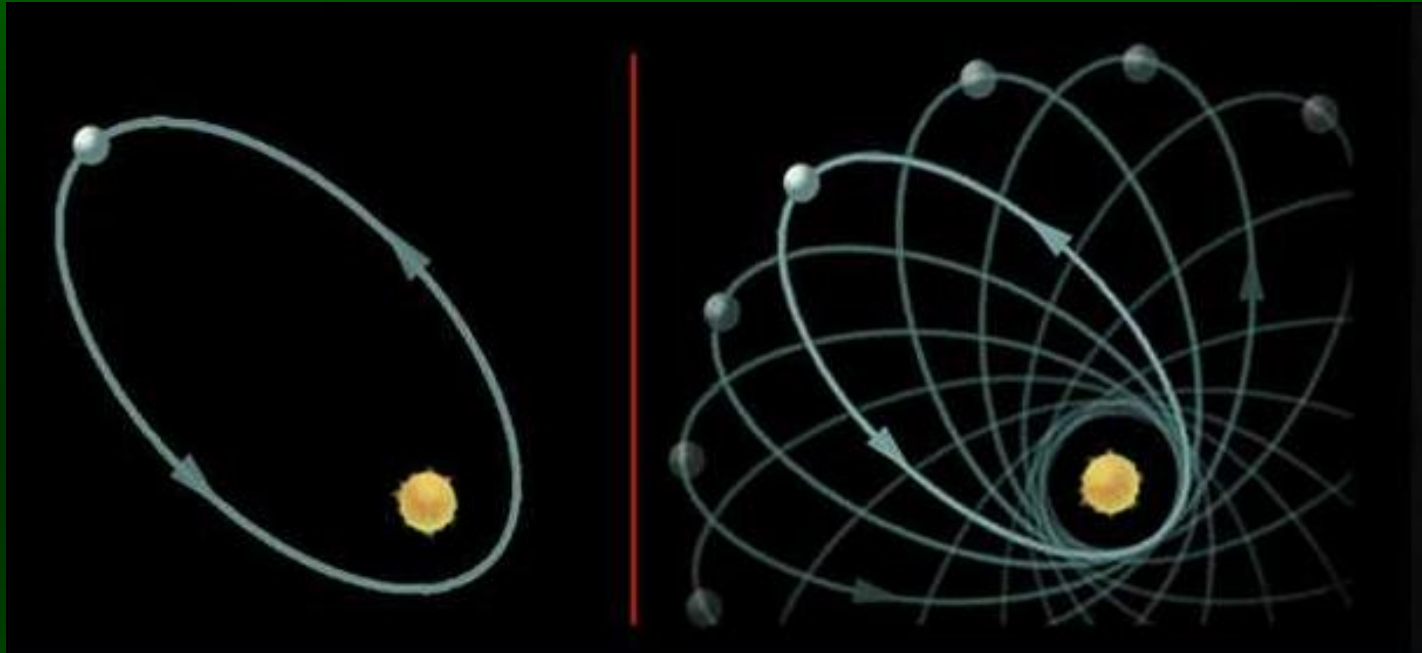
Il campo gravitazionale del Sole
produce un effetto di deflessione
della luce stellare causa la curvatu-
ra dello spazio-tempo.

La verifica di Eddington della deflessione della luce

Il telegramma con cui Eddington annunciò ad Einstein la verifica della deflessione della luce da parte del Sole.

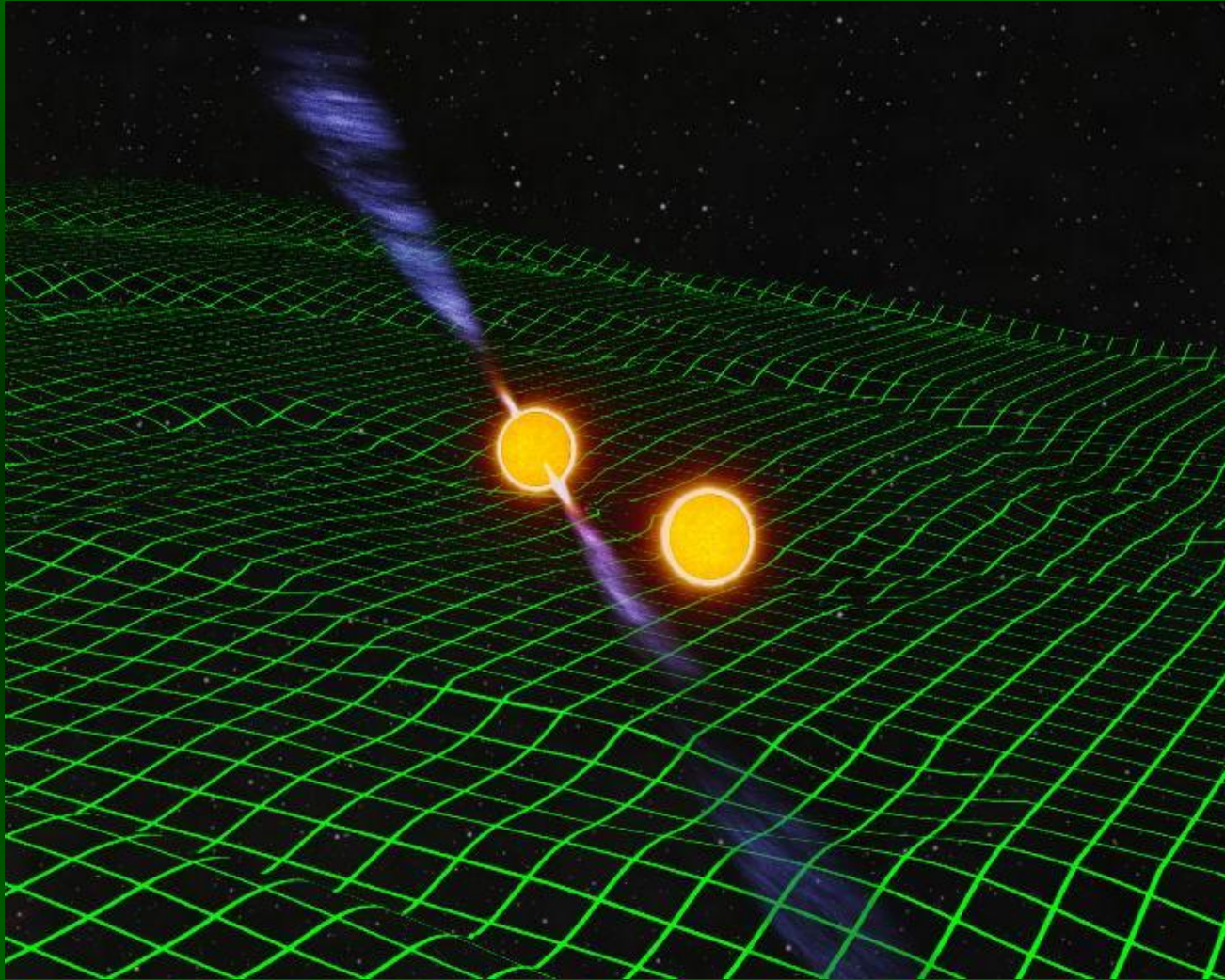


La precessione del perielio di Mercurio



Totale altri pianeti	5557,0 " per secolo
Avanzamento osservato	5599,0 " per secolo
Discrepanza osservata	42,7 " per secolo

I pulsar binari e le onde gravitazionali



Le onde gravitazionali

Una collaborazione globale per osservare le onde gravitazionali



||| EGO

||| VIRGO

LE ONDE GRAVITAZIONALI



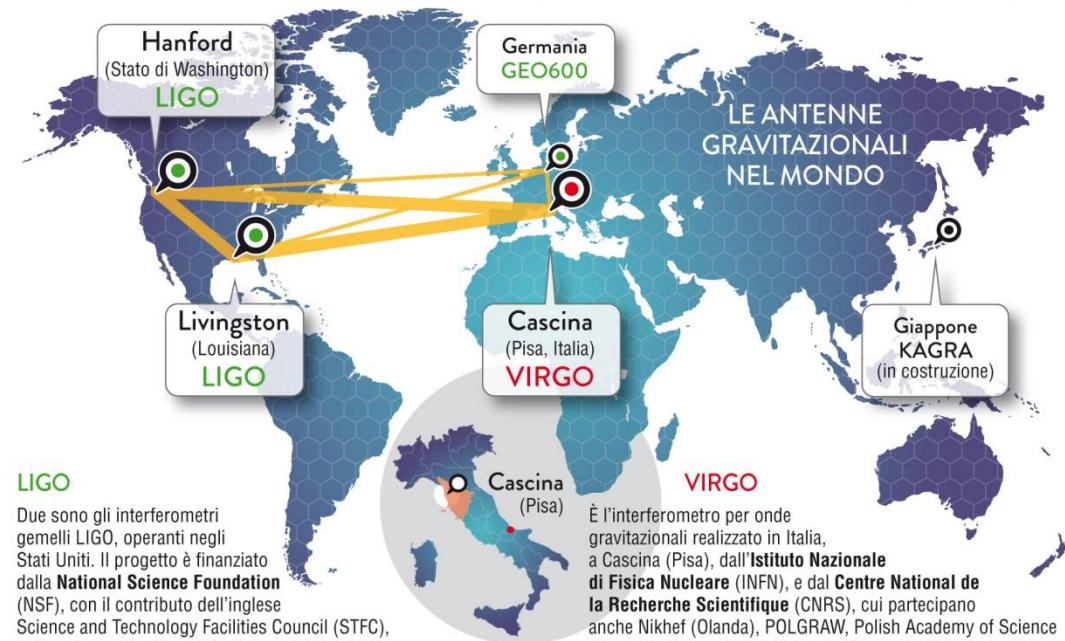
Supernovae, sistemi binari di stelle di neutroni o buchi neri che si fondono e, in generale, gli eventi astrofisici più violenti producono nel "tessuto" dello spaziotempo rapide vibrazioni, che si propagano alla velocità della luce: le onde gravitazionali, che da un secolo erano in attesa della verifica sperimentale diretta.

COME LE RIVELIAMO: GLI INTERFEROMETRI GRAVITAZIONALI

L'interazione gravitazionale è la più debole dell'universo: rivelare le onde gravitazionali è quindi un'impresa complessa. Per riuscirci, i fisici hanno progettato e realizzato speciali rivelatori: gli **interferometri gravitazionali**.

LA COLLABORAZIONE TRA GLI ESPERIMENTI

Avere più interferometri che lavorano contemporaneamente permette di risalire alla direzione di provenienza dell'onda gravitazionale e quindi di identificarne la sorgente. Anche per questo motivo **gli interferometri gravitazionali lavorano in rete e operano come se fossero un unico esperimento** distribuito in varie parti del pianeta. Tra LIGO e VIRGO c'è, infatti, un accordo che prevede la condivisione e lo scambio di soluzioni tecnologiche, il coordinamento nelle campagne di raccolta dati, la condivisione e l'analisi congiunta dei dati.



LIGO

Due sono gli interferometri gemelli LIGO, operanti negli Stati Uniti. Il progetto è finanziato dalla **National Science Foundation (NSF)**, con il contributo dell'inglese **Science and Technology Facilities Council (STFC)**, della tedesca **Max Planck Society**, e dell'**Australian Research Council (ARC)**, ed è operato da Caltech e MIT. La collaborazione scientifica **LIGO** include anche **GE0600** in Germania. Vi partecipano **circa 1.000 scienziati** di istituzioni statunitensi e di 15 altri Paesi.

Advanced LIGO

La fase di miglioramento di LIGO, iniziata prima di VIRGO, si è conclusa nella primavera del 2015. La prima raccolta dati è iniziata a settembre dello stesso anno.

LE ANTENNE GRAVITAZIONALI NEL MONDO

VIRGO

È l'interferometro per onde gravitazionali realizzato in Italia, a Cascina (Pisa), dall'**Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN)**, e dal **Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)**, cui partecipano anche Nikhef (Olanda), POLGRAW, Polish Academy of Science (Polonia), Universitat de Valencia (Spagna) e Wigner Institute (Ungheria). Lo **European Gravitational Observatory (EGO)** è responsabile del funzionamento e della gestione di VIRGO. La collaborazione scientifica VIRGO conta **circa 250 fisici, ingegneri e tecnici di 20 laboratori europei**.

Advanced VIRGO

L'interferometro ha completato la fase di assemblaggio di nuovi componenti che ne hanno migliorato la sensibilità. Nel 2017, conclusa la fase di commissioning, entra in presa dati assieme a LIGO.

GW170817 sorgente di onde gravitazionali

PRL 119, 161101 (2017)  Selected for a Viewpoint in *Physics* week ending
20 OCTOBER 2017
PHYSICAL REVIEW LETTERS

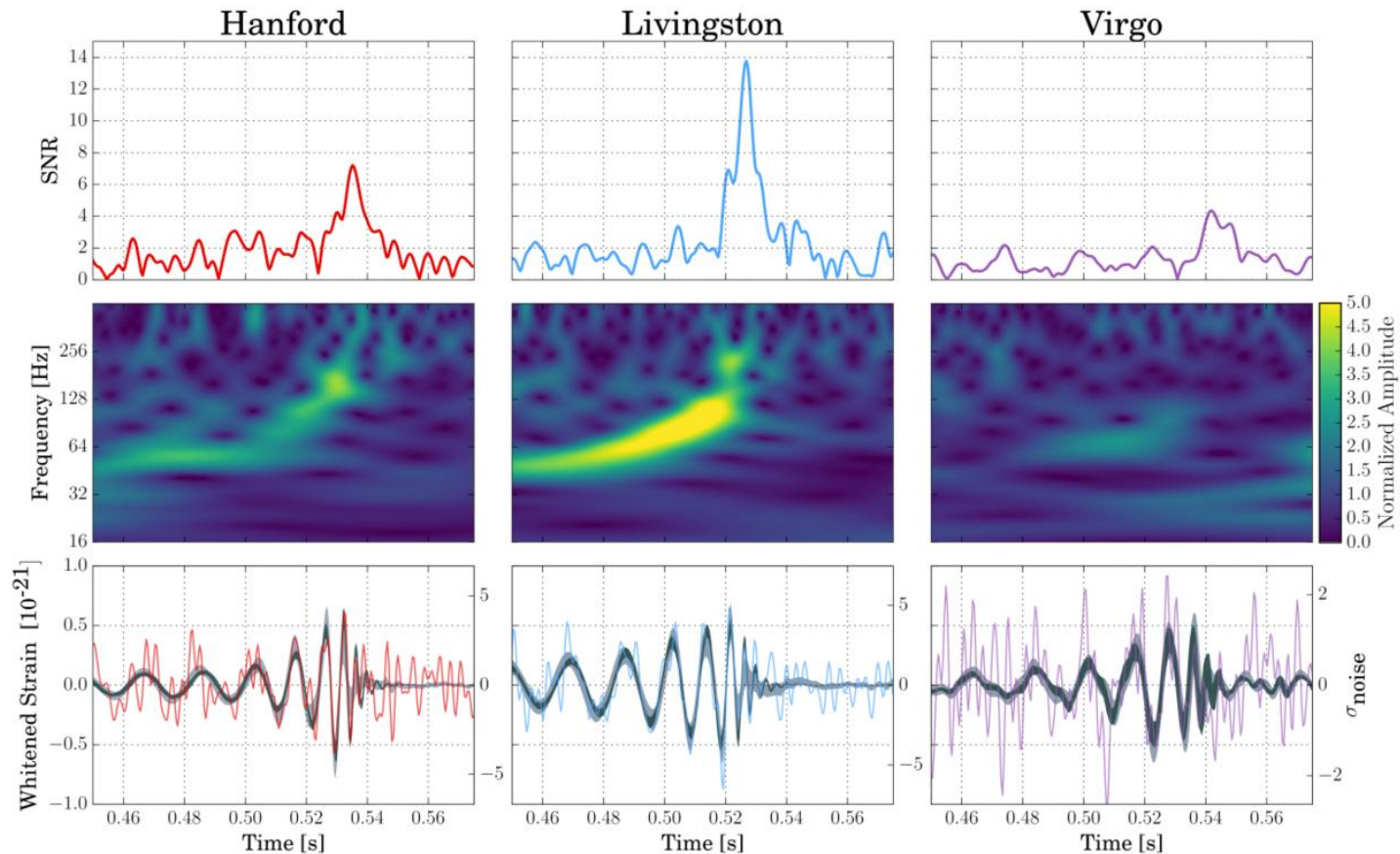


GW170817: Observation of Gravitational Waves from a Binary Neutron Star Inspiral

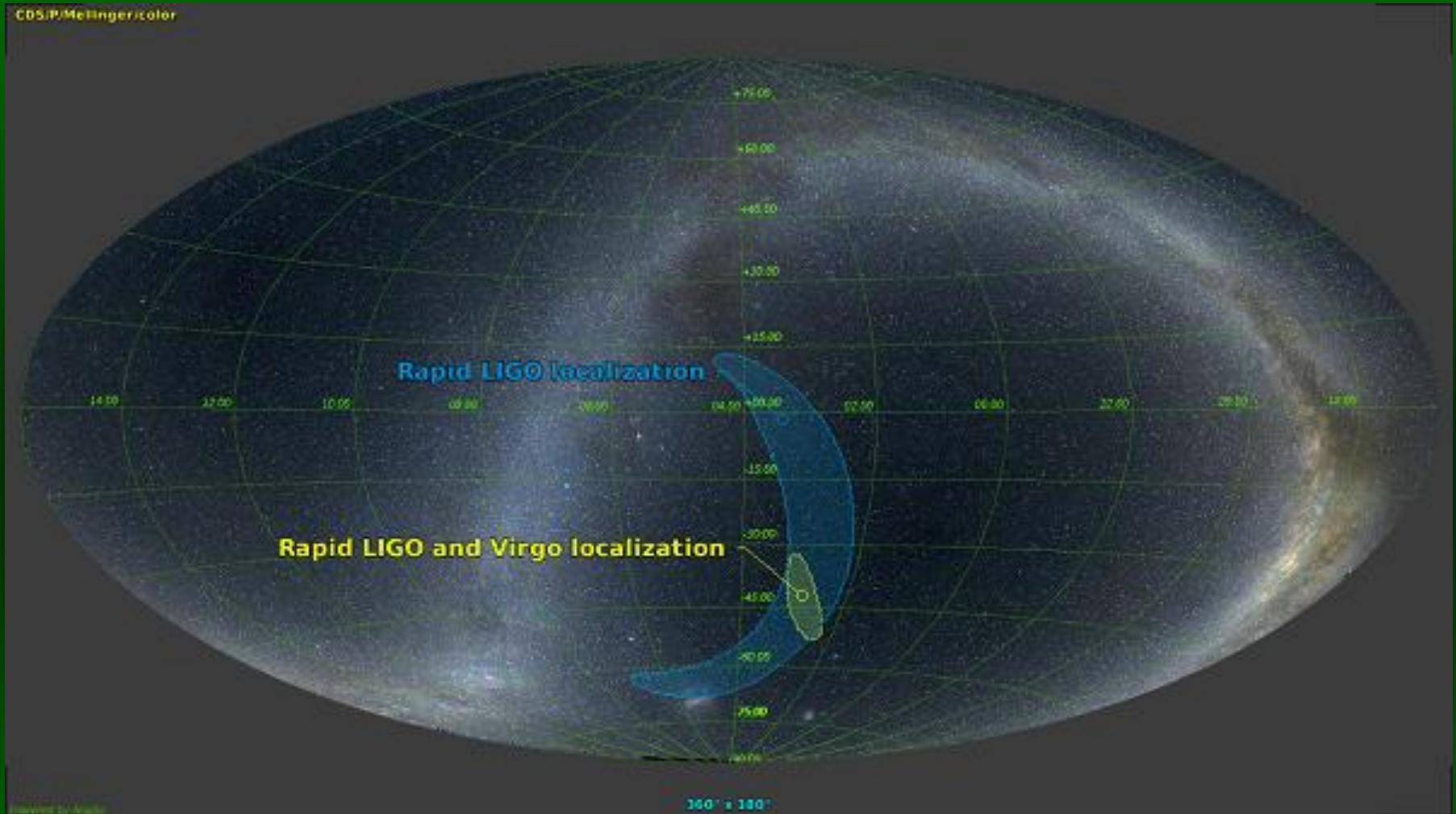
B. P. Abbott *et al.**

(LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration)

(Received 26 September 2017; revised manuscript received 2 October 2017; published 16 October 2017)



La localizzazione della sorgente GW170817

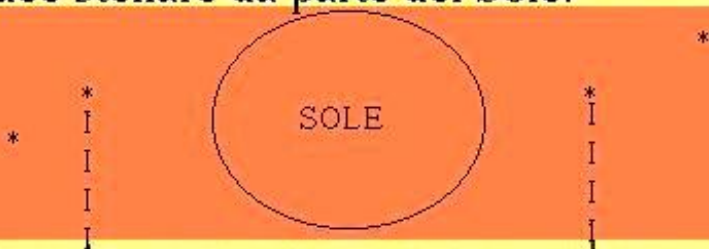


Proiezione Hammer-Aitoff in coordinate equatoriali (declinazione-ascensione retta)

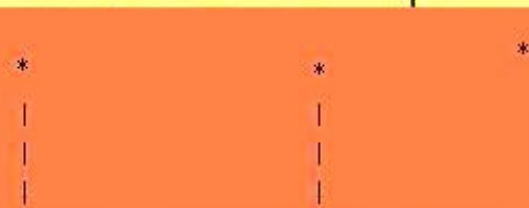
La curvatura dello spazio-tempo : la deflessione della luce

Deflessione della luce stellare da parte del Sole.

Fotografia delle
stelle nella posizione
dietro il Sole
durante una eclisse.



Causa la deflessione
del campo gravi-
tazionale del Sole
la posizione apparente delle stelle
viene "avvicinata" a quella del Sole

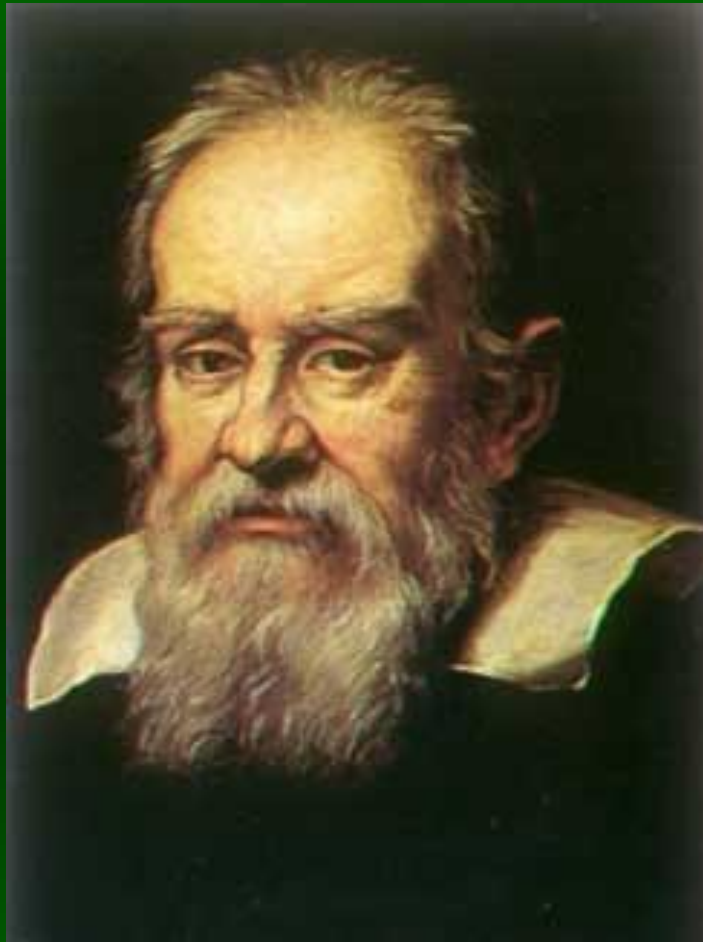


Il campo gravitazionale del Sole
produce un effetto di deflessione
della luce stellare causa la curvatu-
ra dello spazio-tempo.

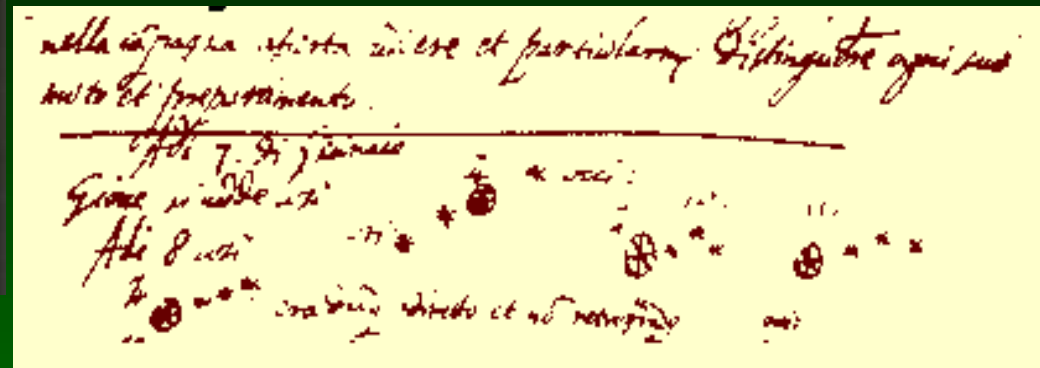


La radiazione elettromagnetica
Luce=informazione
Distanza, composizione chimica, età

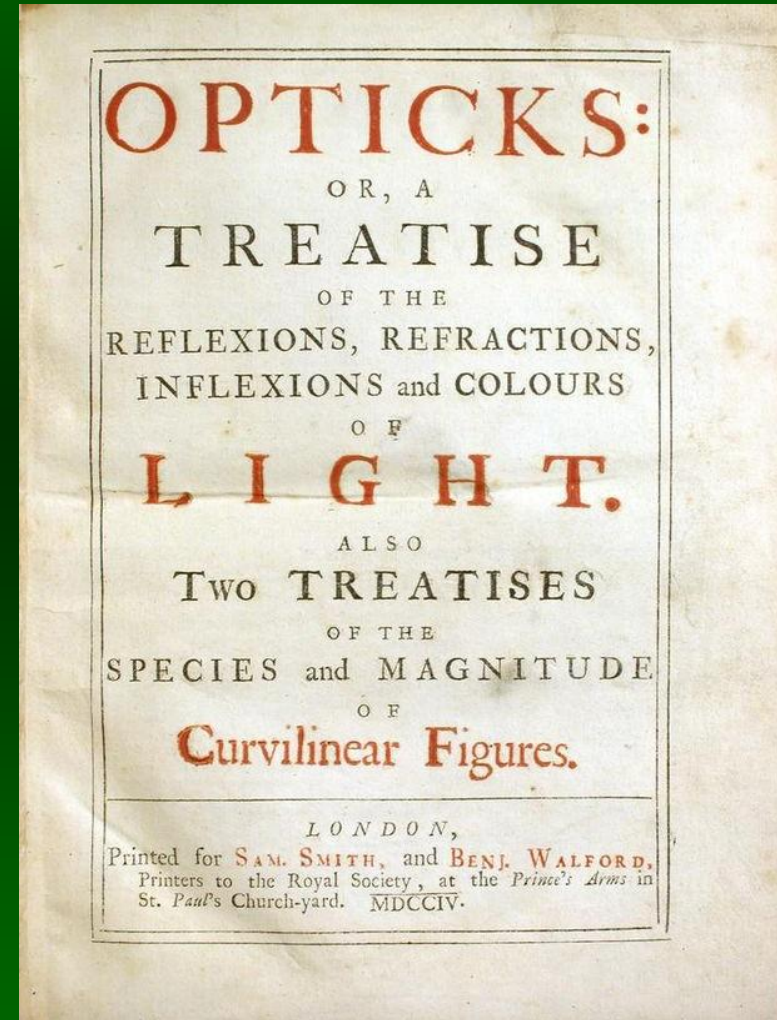
Galileo Galilei



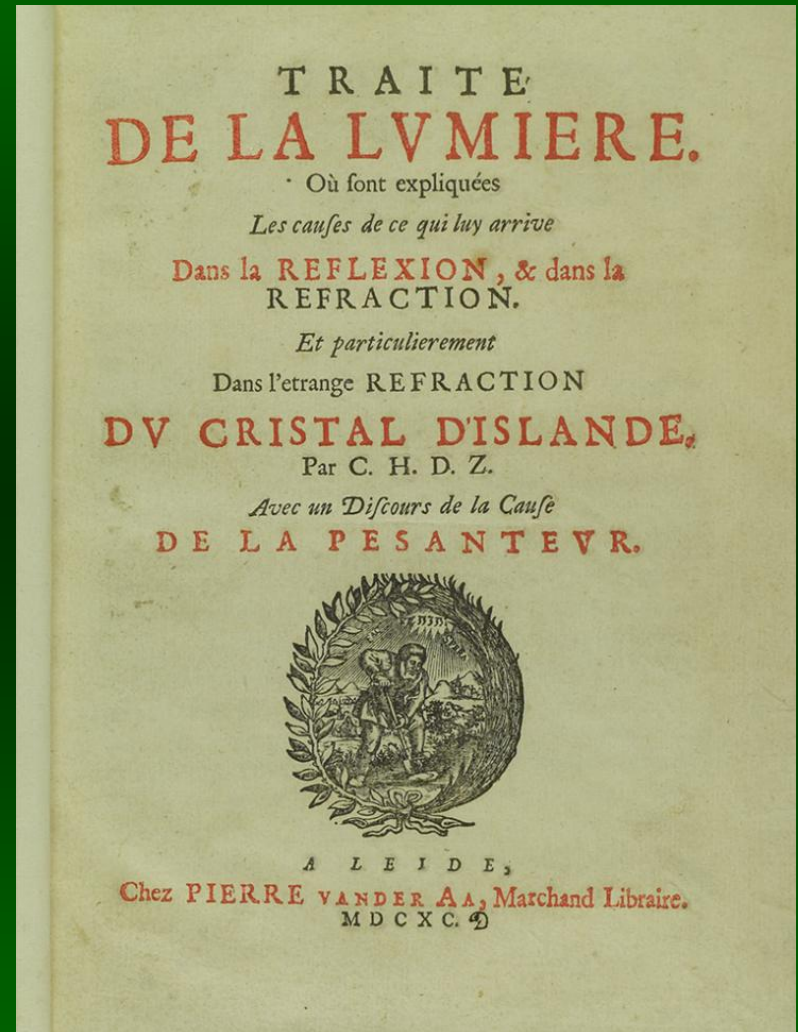
Il cannocchiale di Galileo



Newton e l'ottica geometrica

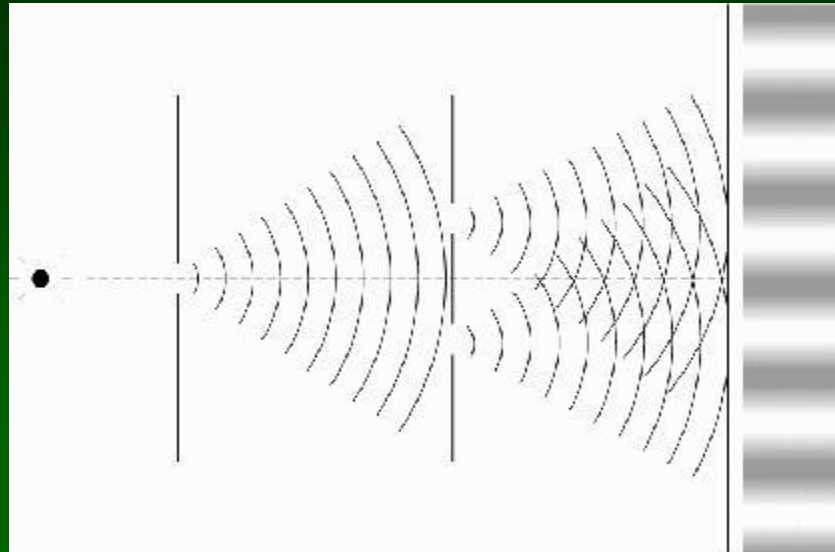


Huygens e l'ottica ondulatoria

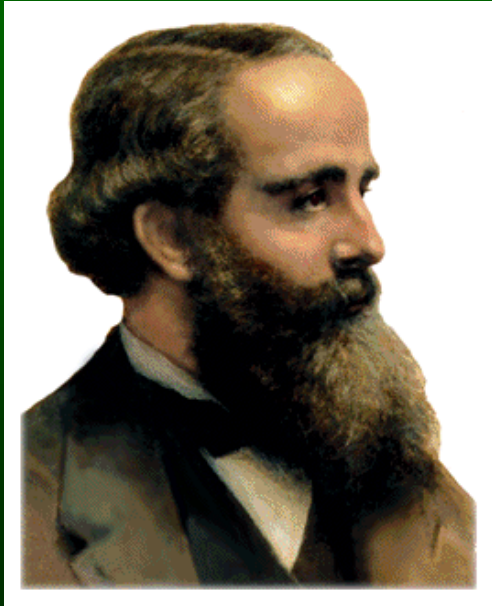


La propagazione della luce

Rifrazione, riflessione, diffrazione ed interferenza delle onde luminose



La luce e la teoria elettromagnetica



J. C. Maxwell



H.R. Hertz

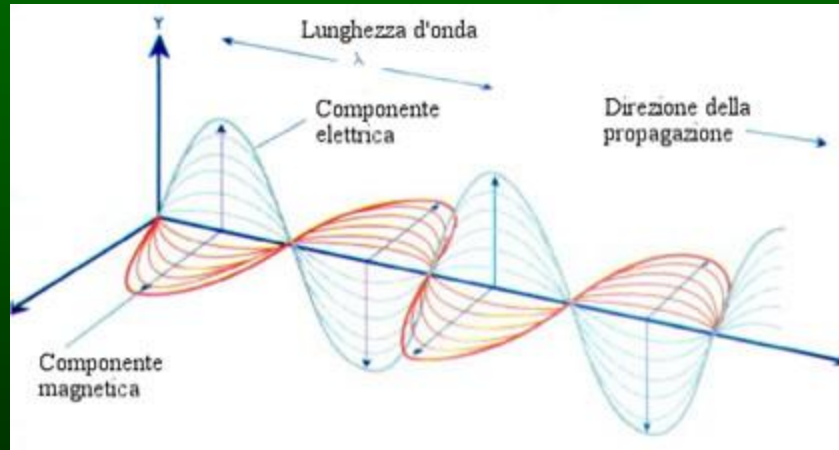
J.C. Maxwell nella seconda metà del XIX secolo riunì in un unico schema elettricità e magnetismo

Nella teoria elettromagnetica un ruolo cruciale viene svolto dalla luce.

H.R. Hertz dimostrò che la luce è un fenomeno elettromagnetico ondulatorio

Divenne quindi cruciale misurarne le proprietà ed in particolare la sua velocità di propagazione

Le Leggi del Campo Elettromagnetico e la velocità della luce



Le equazioni di Maxwell possono essere risolte nel vuoto, ponendo la densità di carica e di corrente di carica uguali a zero, e danno luogo a tipiche equazioni d'onda che soddisfano al Principio di Sovrapposizione. Le onde si propagano ad una velocità caratteristica che è la velocità della luce.

Il meccanismo con cui avviene l'interazione elettromagnetica è quello dell'azione a distanza.

La velocità della luce viene univocamente definita dalle due costanti del campo elettromagnetico la permittività elettrica ϵ_0 e la permeabilità magnetica μ_0

La velocità della luce

La velocità della luce viene definita tramite le due costanti fondamentali del campo elettromagnetico la permittività elettrica ϵ_0 e la permeabilità magnetica μ_0

$$c^2 = \frac{1}{\epsilon_0 \mu_0}$$

$$\epsilon_0 = 8,854187187 \times 10^{-12} \text{ F/m}$$

$$\mu_0 = 4 \times \pi \times 10^{-7} = 12,566270614... \times 10^{-7} \text{ NA}^{-2}$$

In questo modo possiamo scegliere come esatta la velocità della luce nel vuoto pari a

$$c = 299.792.458 \text{ m/sec}$$

La misurazione della velocità della luce

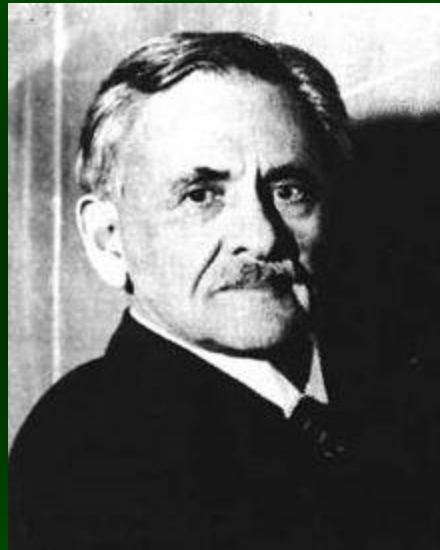


La prima misura della velocità della luce è stata fatta da Ole Roemer, nel 1680 circa, utilizzando una anomalia nella durata delle eclissi dei pianeti Medicei, i satelliti di Giove scoperti da Galileo.

Roemer misurò un valore di circa 210 800 km/s, dovuto alla scarsa precisione con cui aveva misurato il tempo necessario alla luce per percorrere il diametro dell'orbita terrestre.

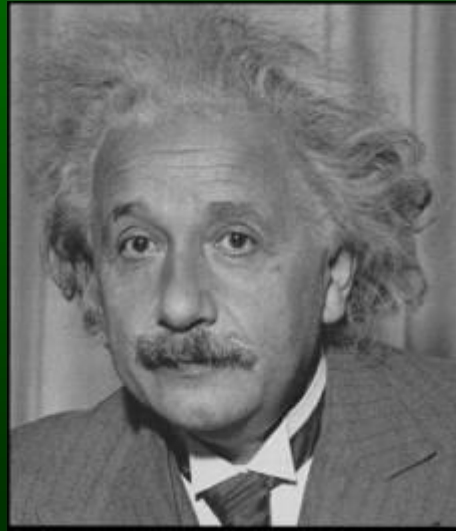
La teoria elettromagnetica, l'etere e lo spazio assoluto

Il paradosso della teoria elettromagnetica consiste nel fatto che essendo la luce un fenomeno ondulatorio è naturale introdurre un mezzo **l'etere** in cui la luce dovrebbe propagarsi.



Fu il fisico A. Michelson che insieme a E.W. Morley propose un esperimento per **verificare l'effetto di trascinamento dell'etere** sulla velocità della luce verificando che tale effetto non esiste e quindi che l'etere è inutile

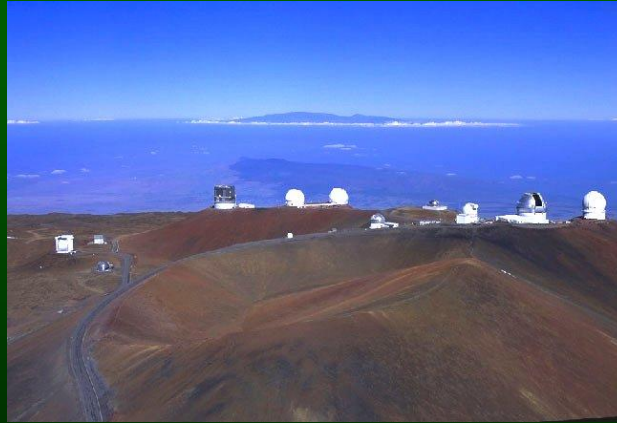
Einstein e la Relatività Ristretta



Fu Einstein a ricomporre il quadro, eliminando l'etere, e dimostrando che il principio della Relatività Galileiana può essere esteso ai fenomeni elettromagnetici e quindi valere anche per le equazioni di Maxwell

1. purché si utilizzino le trasformazioni di Lorentz al posto di quelle Galileiane
2. si accetti che la luce si propaga sempre alla stessa velocità in ogni sistema di riferimento inerziale indipendentemente dalla loro velocità relativa
3. si rinunci definitivamente non solo all'idea di spazio ma anche a quella di tempo assoluto

Luce – Astronomia -Informazione



Tutto ciò che osserviamo nel cielo notturno è la “luce” emessa, assorbita o riflessa dai corpi celesti

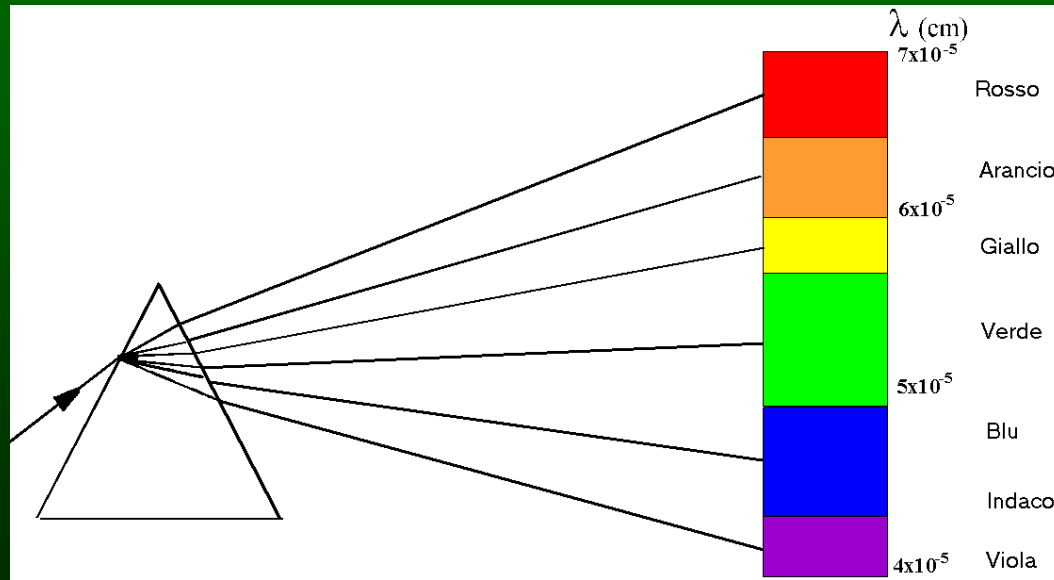
Possiamo quindi misurare :

1. L'intensità luminosa della sorgente (fotometria)
2. Le singole componenti luminose (alle diverse lunghezze di onda - spettroscopia)
3. L'altra componente osservativa è costituita dal vento solare ed dai raggi cosmici : particelle energetiche, antiparticelle, antimateria ... materia oscura (?)

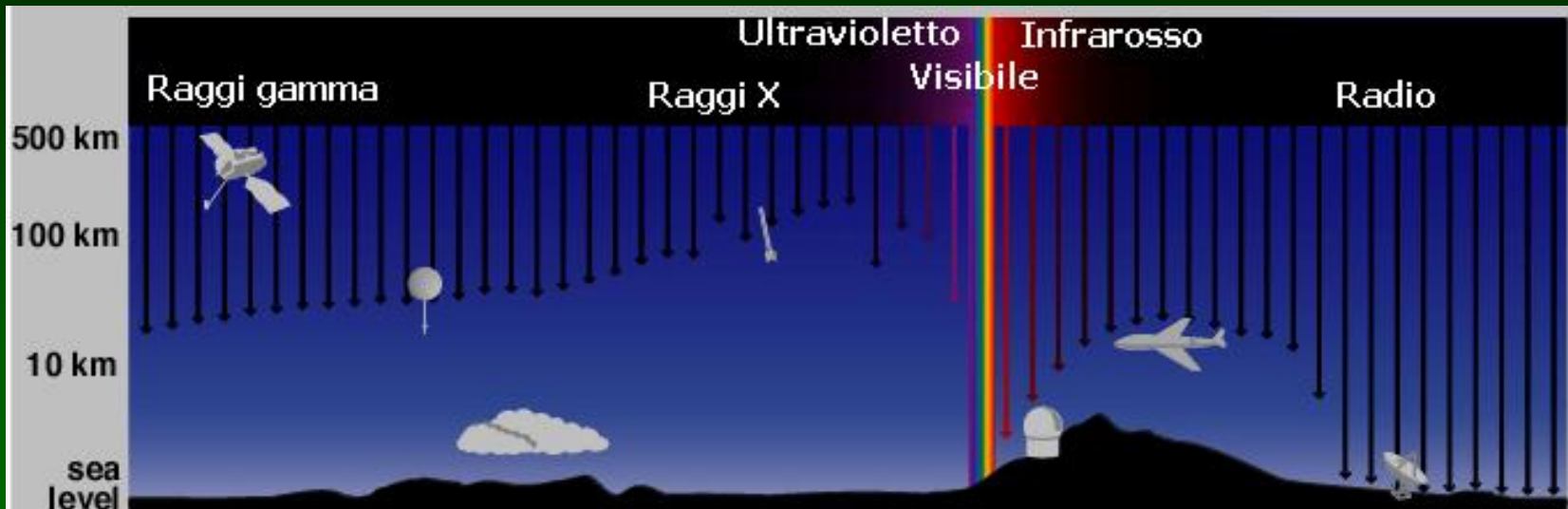
La velocità della luce



Lo spettro visibile ...ed oltre

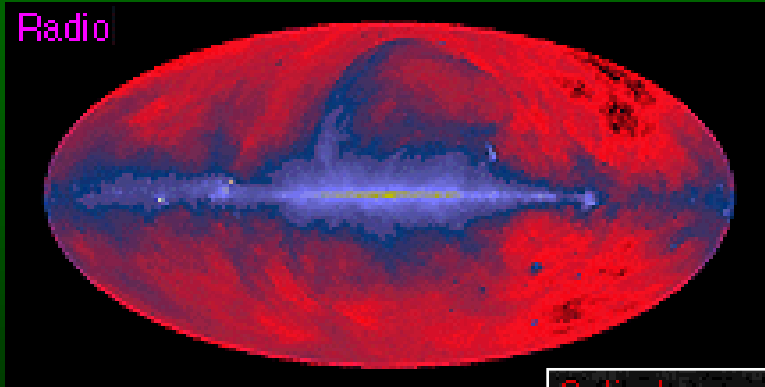


... una piccola parte dello spettro elettromagnetico



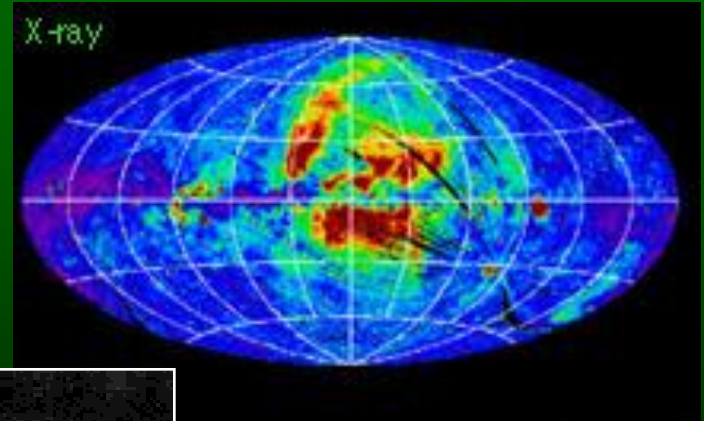
Nuove finestre sul cielo per la Galassia

Radio



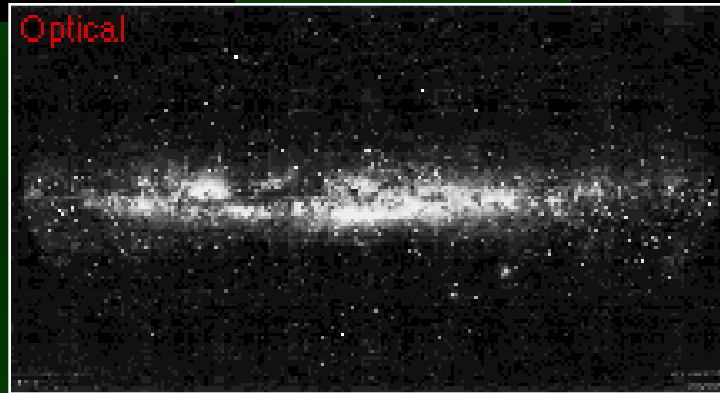
Radio

X-ray



X ray

Optical



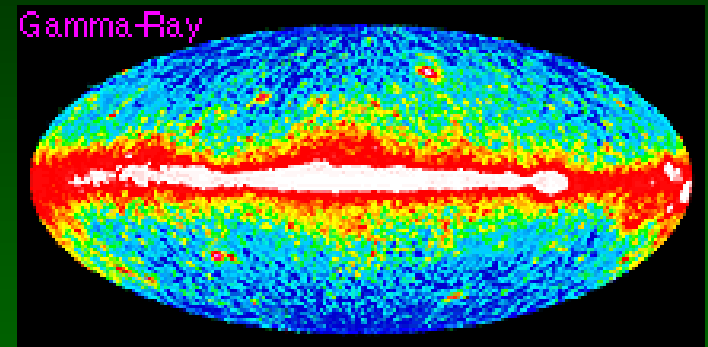
Visuale

Infrared



Infrarosso

Gamma-Ray



Gamma

Distanze

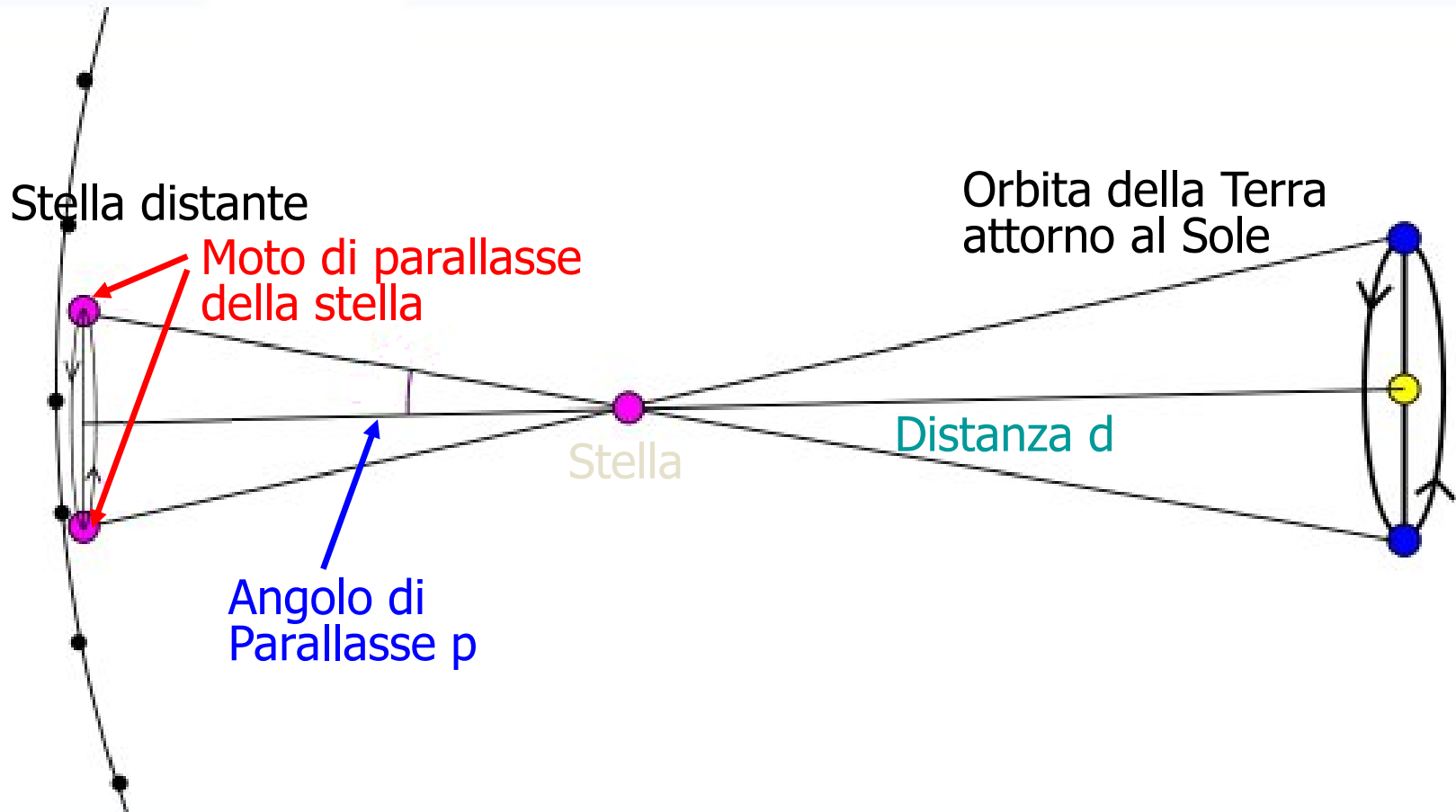
L'Unità Astronomica U.A.

Il valore odierno dell'Unità Astronomica, dedotto da misure radar, è

U.A. = 149 597 970,5 km
pari ad una parallasse solare
 $p = 8,794148''$ secondi d'arco



Le ellissi parallattiche-metodo geometrico



Unità di misura delle distanze delle stelle

L'anno luce

L'anno luce è la distanza che la luce percorre, alla velocità di 299793 km/sec in un anno

Ne risulta quindi:

$$1 \text{ a.l.} \sim 299793 \times 365,265 \times 24 \times 3600 \sim 9,461 \times 10^{12} \text{ km}$$

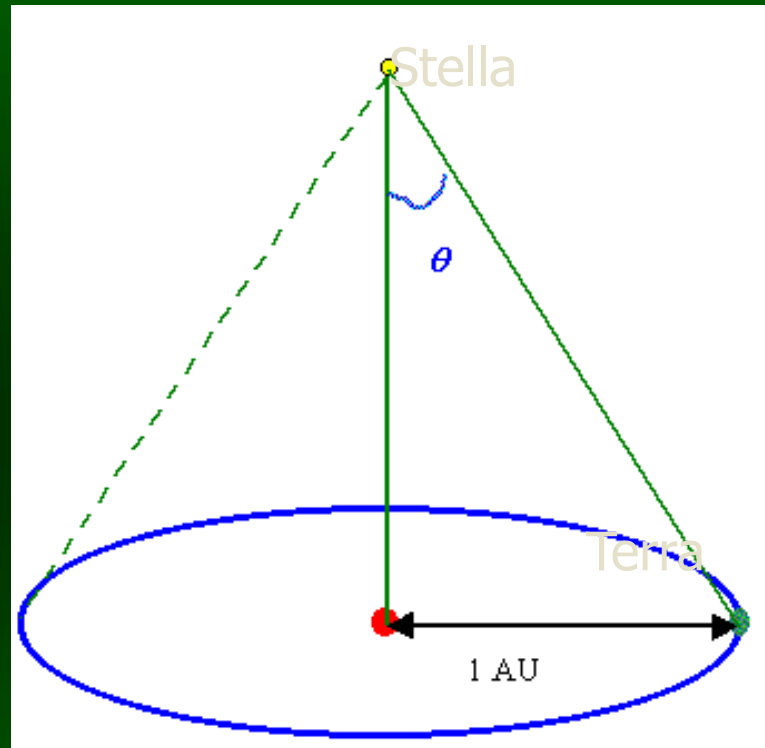
Più precisamente abbiamo

$$1 \text{ a.l.} = 9\,460\,730\,472\,580,8 \text{ km} = 9\,460,730472580 \text{ miliardi di km}$$

$$1 \text{ a.l.} = 63\,241,077 \text{ UA}$$

$$1 \text{ a.l.} = 0,306\,601\,394 \text{ parsecs}$$

Unità di misura delle distanze delle stelle il parsec (pc)



Il parsec è definito come la distanza dalla quale l' Unità Astronomica (U.A.) si "vede" sotto un angolo $\theta=1''$ (secondo) di arco pari ad $1/3600$ di grado

1 parsec $\sim 3,26$ a.l. (anni luce)

Parsec, anno luce ed unità astronomica

Non è difficile ricavare una semplice relazione tra le principali unità astronomiche

$$d = 1 \text{ parsec} = 206\,265 \text{ UA} = 3,2616 \text{ a.l.}$$

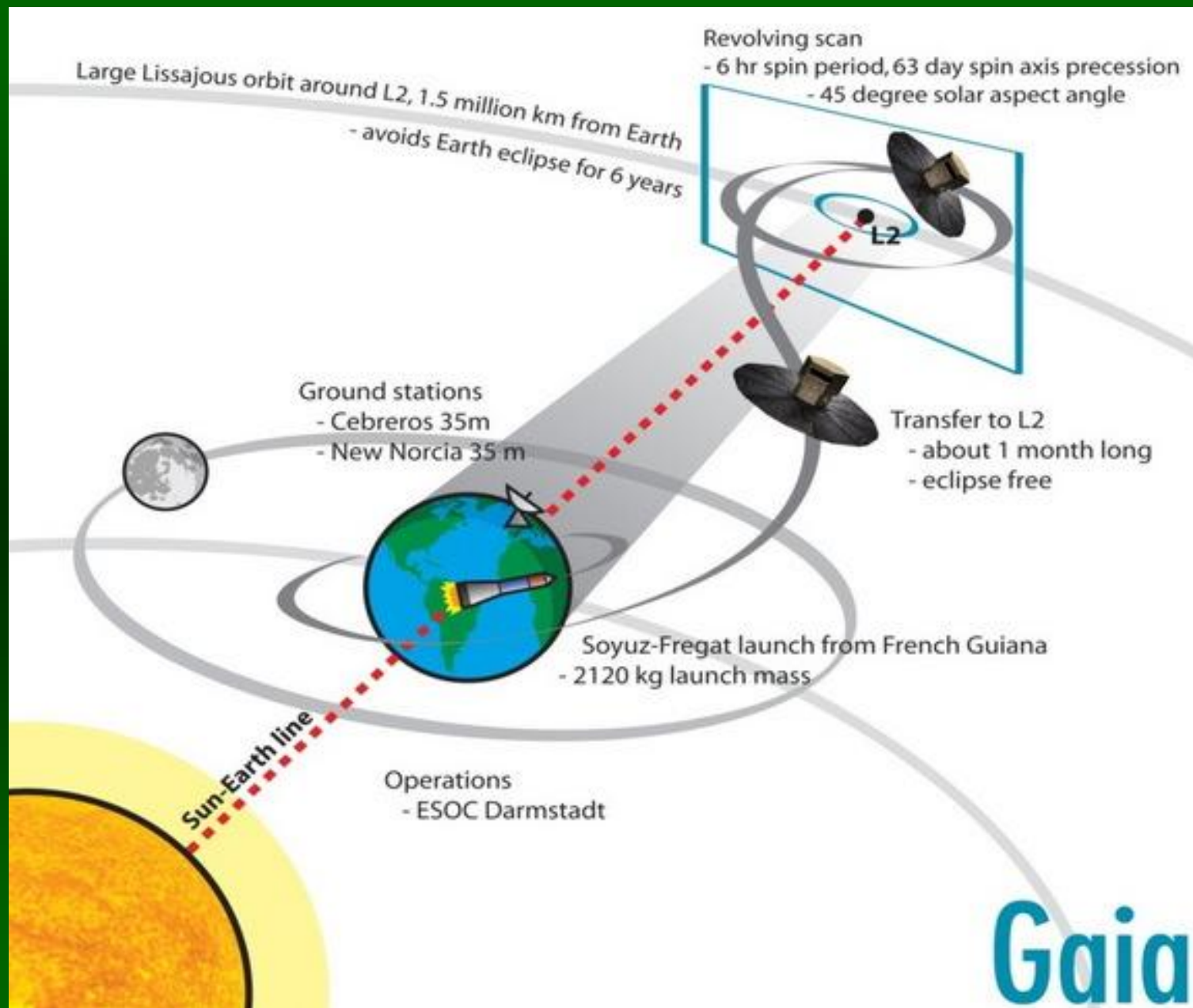


Ad esempio, il satellite Hipparcos ha misurato la parallasse di Proxima Centauri, la stella più vicina, pari a

0,77233 secondi di arco ($\pm 0,00242''$)

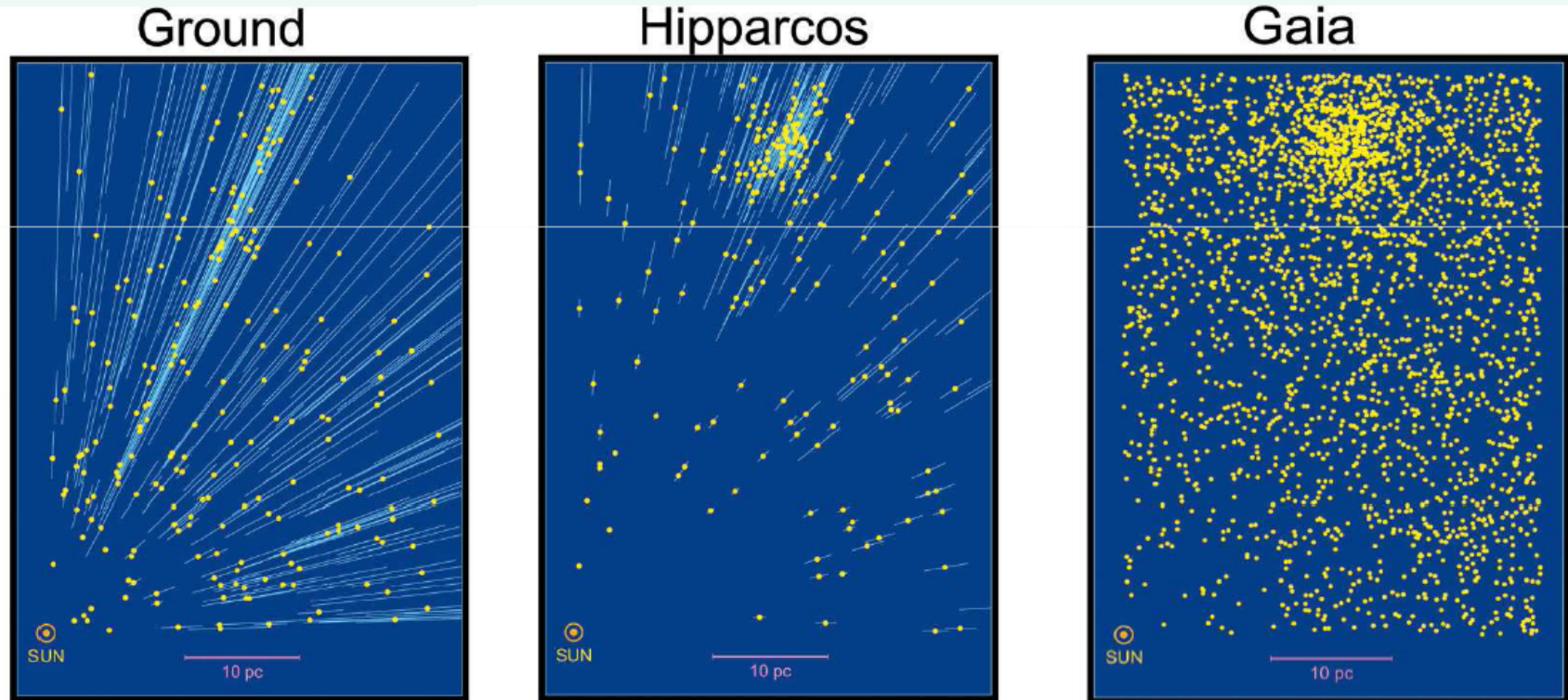
Quindi la sua distanza è di $1/0,772 = 1,29$ parsec oppure di 4,22 anni luce (± 0.01 a.l.).

La missione GAIA



La maggiore accuratezza della missione GAIA

Astrometric accuracy: the Pleiades



$\pi = 7.59 \pm 0.14$ mas - 132 pc, MS fitting (*Pinsonneault et al. 1998*)

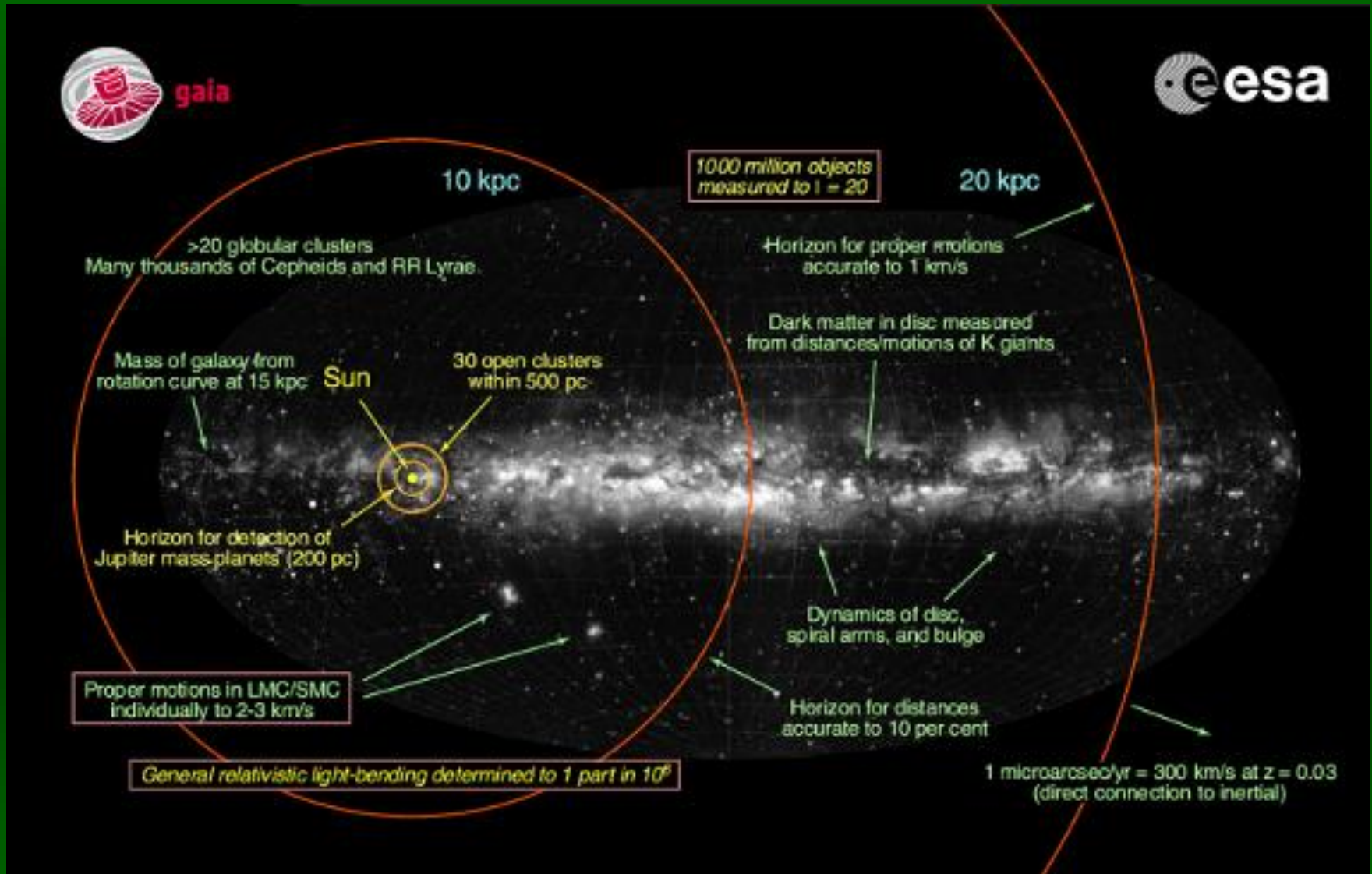
$\pi = 7.69$ mas - 130 pc, various methods (*Kharchenko et al. 2005*)

$\pi = 7.49 \pm 0.07$ mas - 133 pc, from 3 HST-FGS parallaxes in inner halo (*Soderblom et al. 2005*)

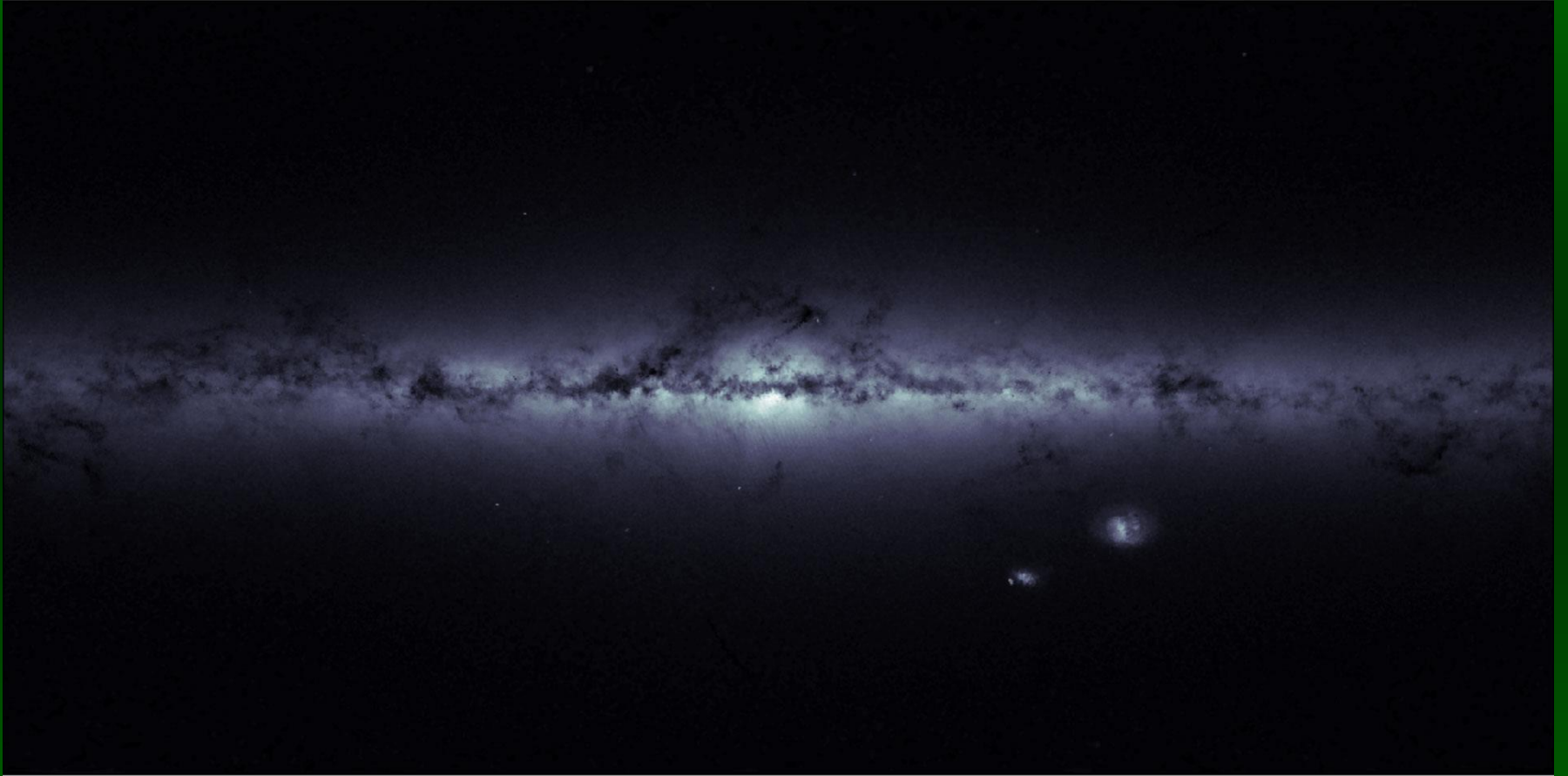
$\pi = 8.18 \pm 0.13$ mas - 122 pc, new reduction Hipparcos data (*Van Leeuwen 2007*)

faintest MS stars have $V < 15 \rightarrow$ Gaia individual parallaxes with $\sigma(\pi)/\pi < 0.1 \%$

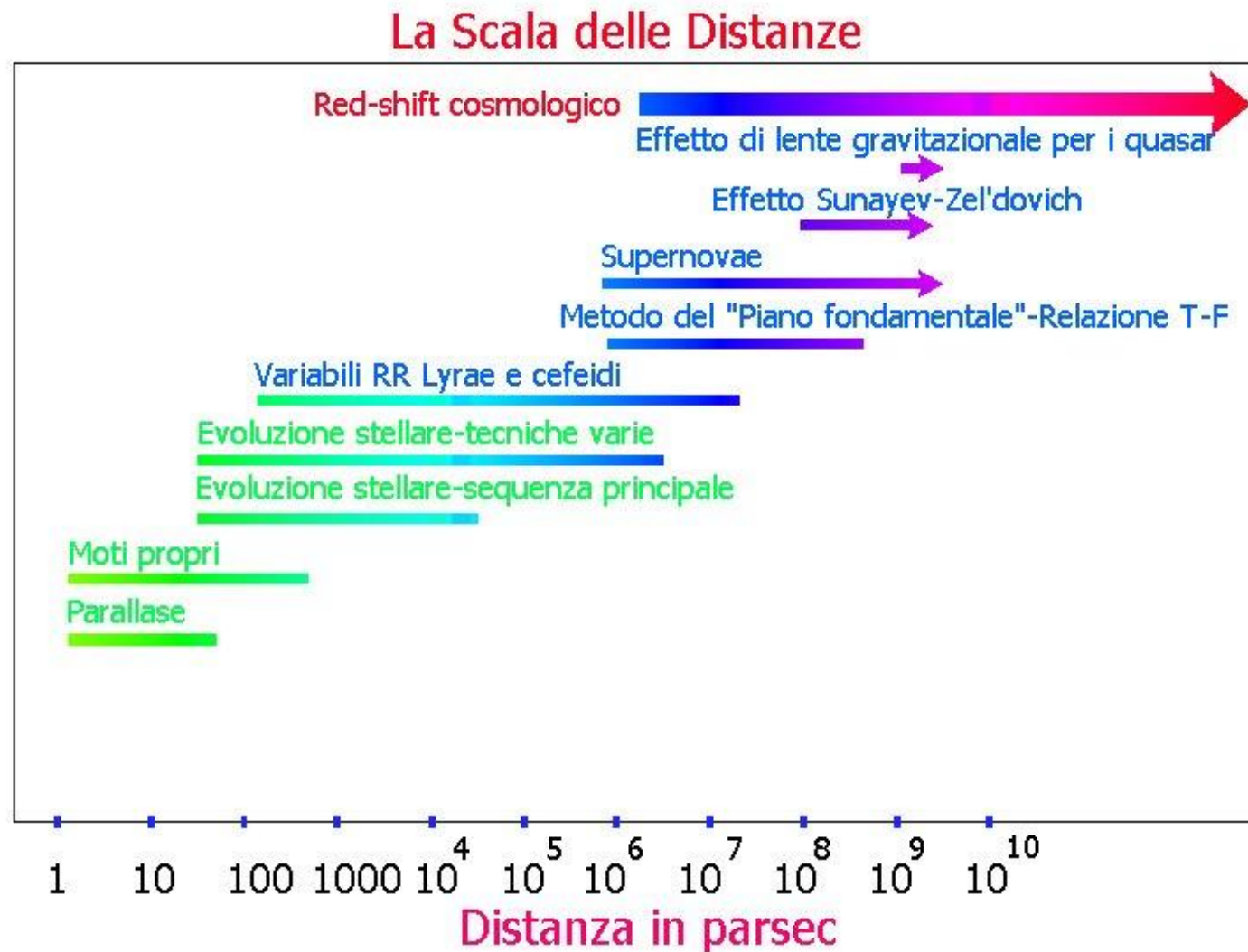
La maggiore accuratezza della missione GAIA



I primi risultati della missione GAIA

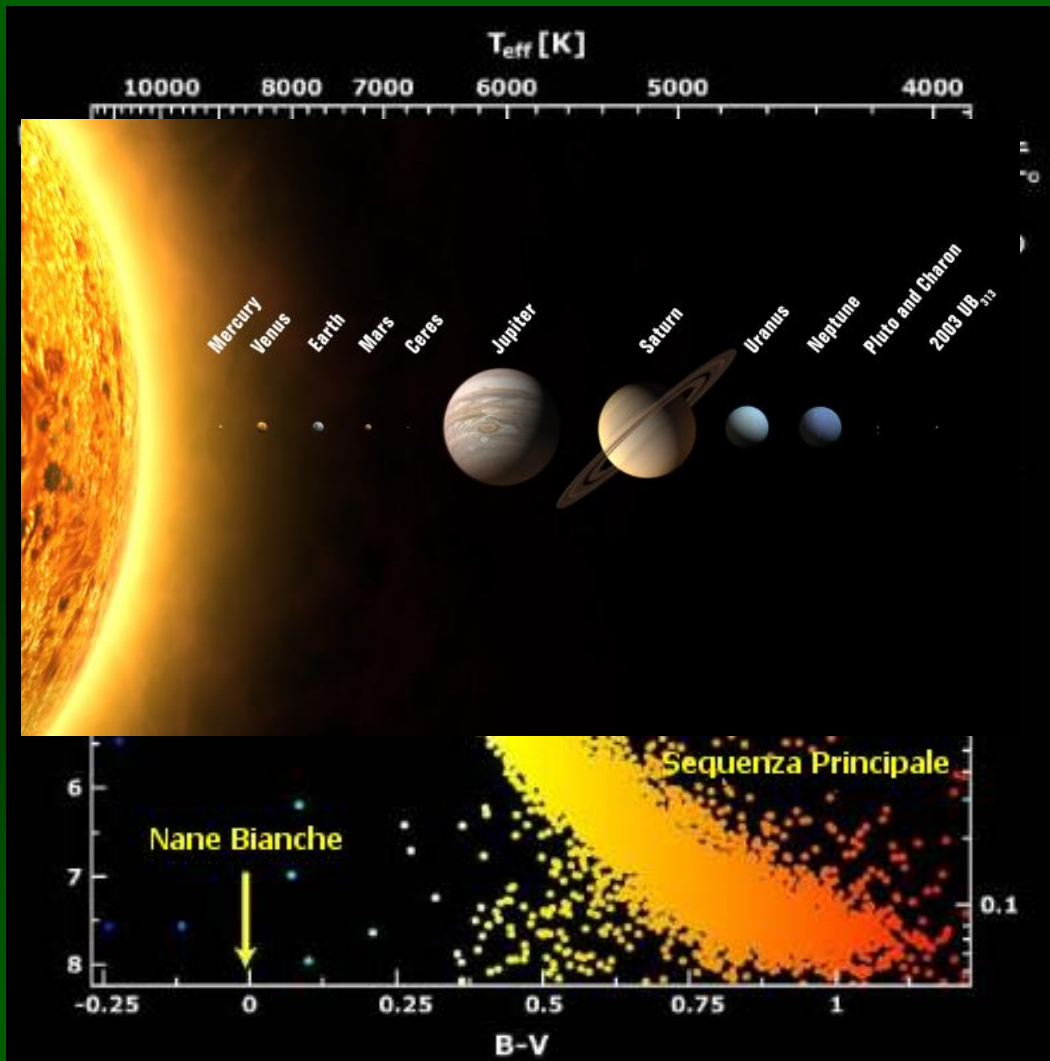


La scala delle distanze astronomiche-metodi "fisici"



Il problema delle età

La scala dei tempi



Al fine di misurare l'età del Sistema solare si utilizzano degli "orologi" a lungo termine derivati dal decadimento di alcune specie fisiche.

Le misure fatte con questi elementi radioattivi su campioni di meteoriti mostrano che l'età del Sistema solare è almeno 4,55 miliardi di anni. Per gli Ammassi Globulari si utilizza l'evoluzione stellare

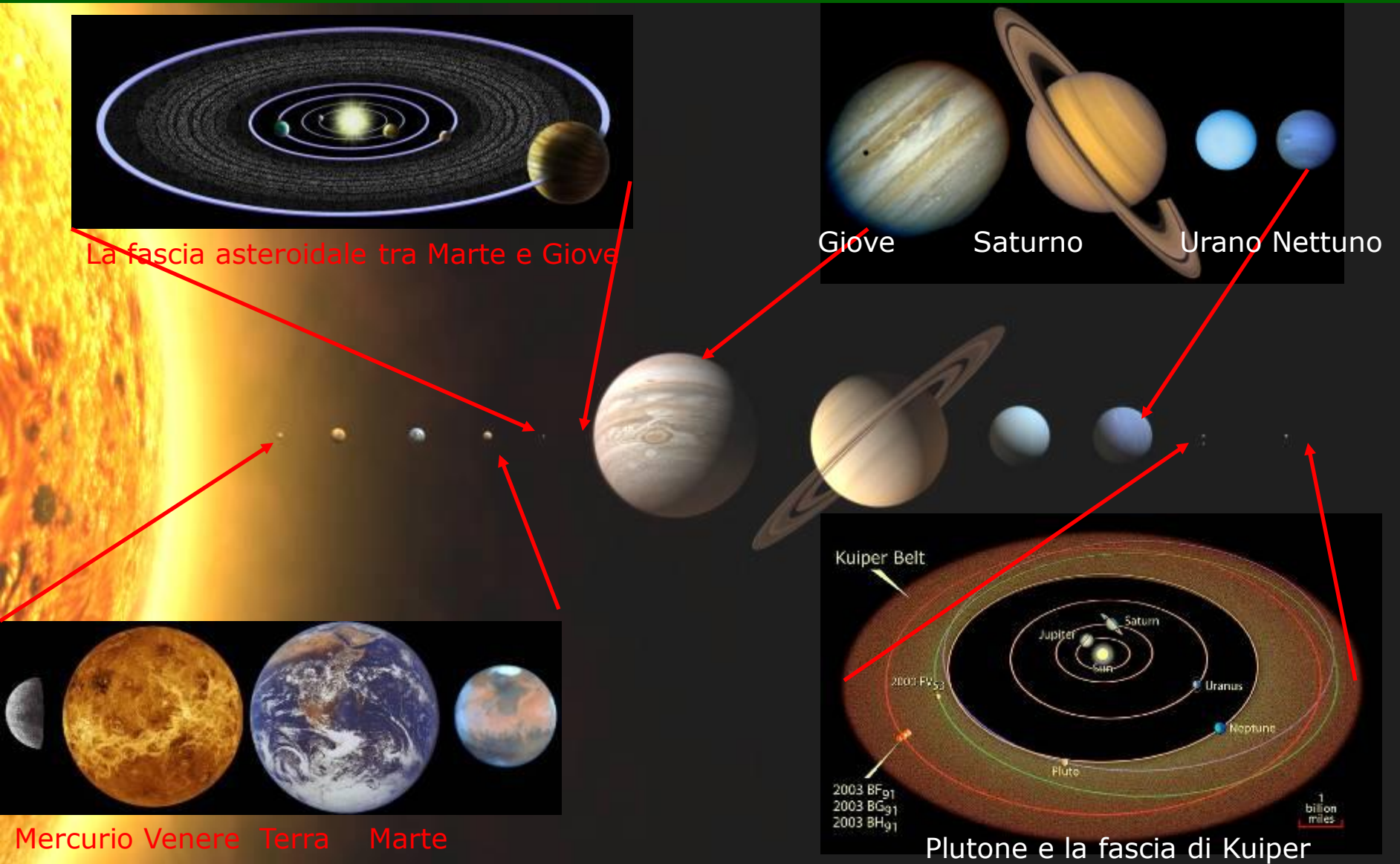
Ad esempio si ricava per M55 una stima dell'età di circa:
 $14 \pm 1,2$ miliardi di anni

Il Sistema solare

Pianeti-satelliti-asteroidi-TNOs-comete-
meteoriti

Distanze planetarie e parametri fisici
dei pianeti

I corpi del Sistema Solare



La misura delle distanze nel Sistema solare



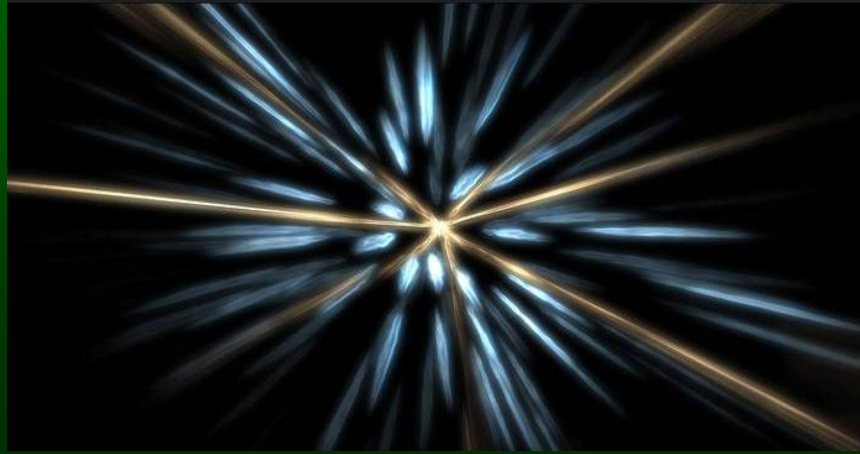
Unità Astronomica-UA
Distanza Terra - Sole
149 597 870 km

Eliosfera

Mezzo Interstellare

La misura delle distanze oltre il Sistema solare

L'anno luce



L'anno luce è la distanza che la luce percorre, alla velocità di 299793 km/sec in un anno

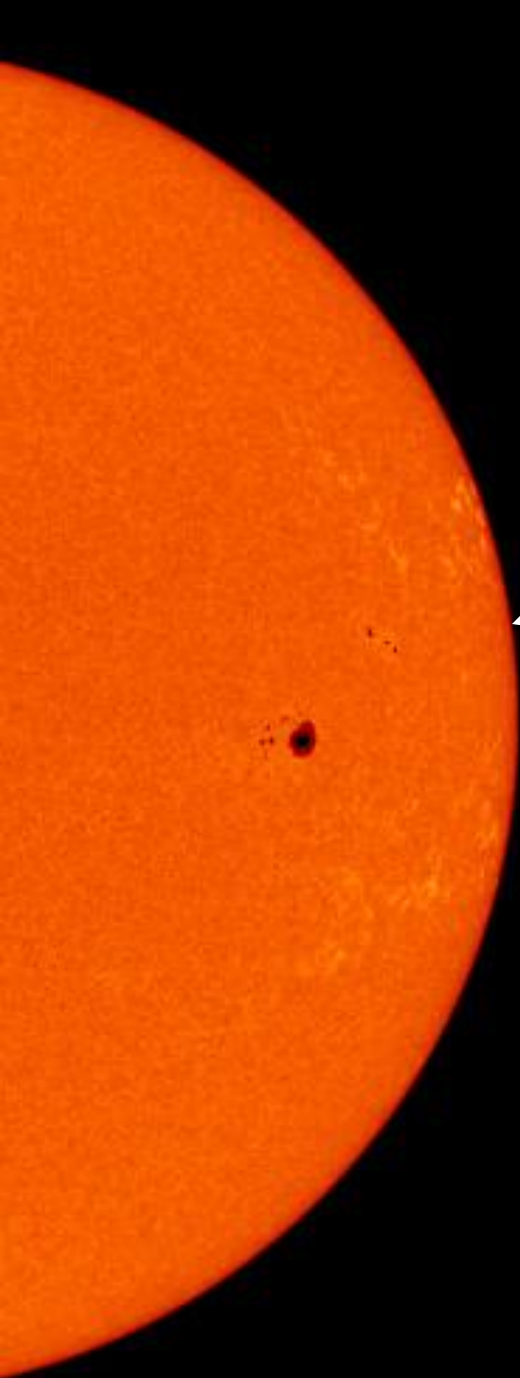
$$1 \text{ a.l.} \sim 299793 \times 365,265 \times 24 \times 3600 \sim 9,461 \times 10^{12} \text{ km}$$

Cioè abbiamo

$$1 \text{ a.l.} = 9\,460\,730\,472\,580,8 \text{ km} = 9\,460,730472580 \text{ miliardi di km}$$

$$1 \text{ a.l.} = 63\,241,077 \text{ UA}$$

$$1 \text{ a.l.} = 0,306\,601\,394 \text{ parsecs}$$



~ 149 500 000 km
8,32 minuti-luce



Terra

Distanze planetarie
in "unità-luce"

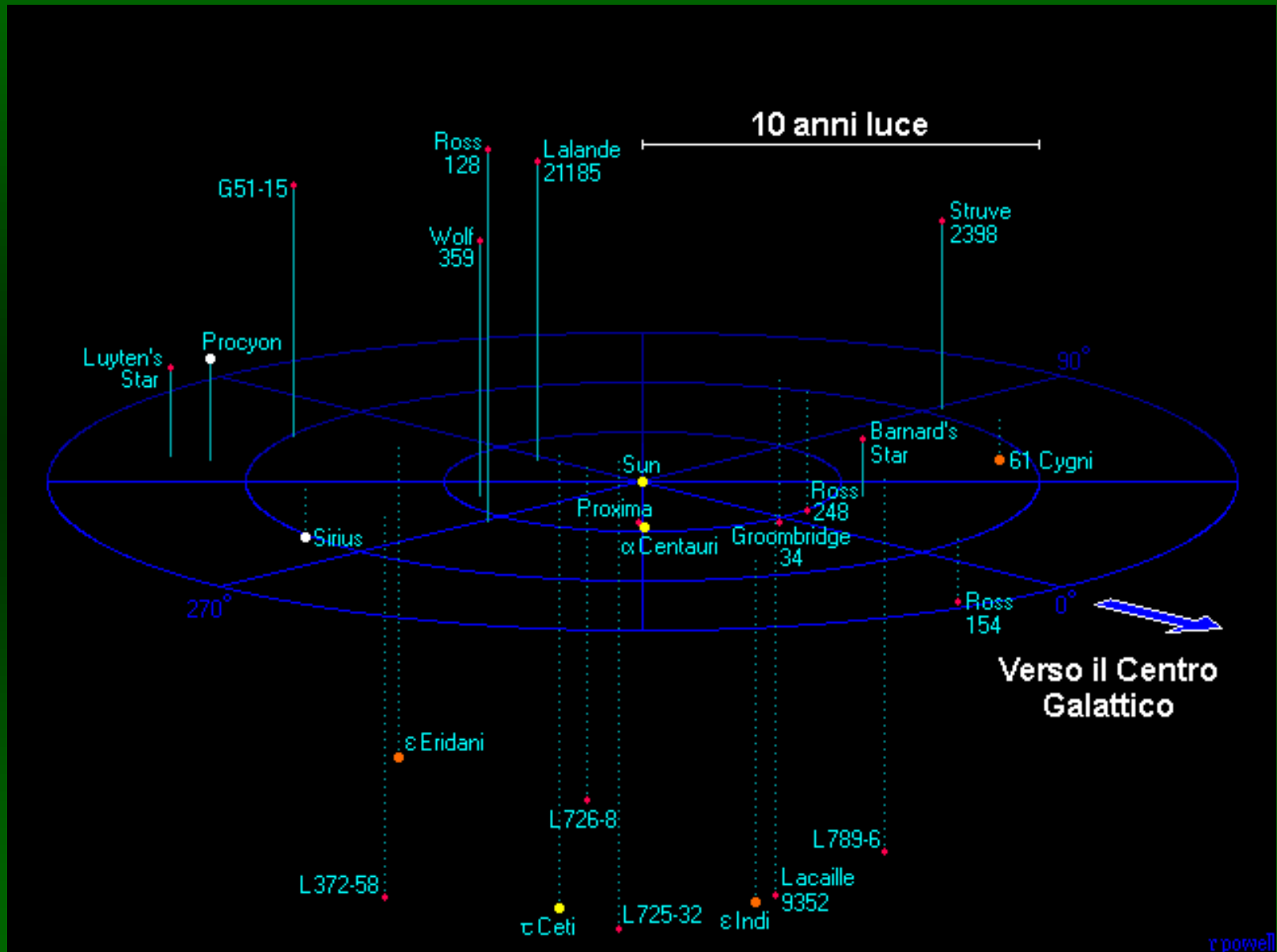
~5 906 000 000 km 5,3 ore-luce



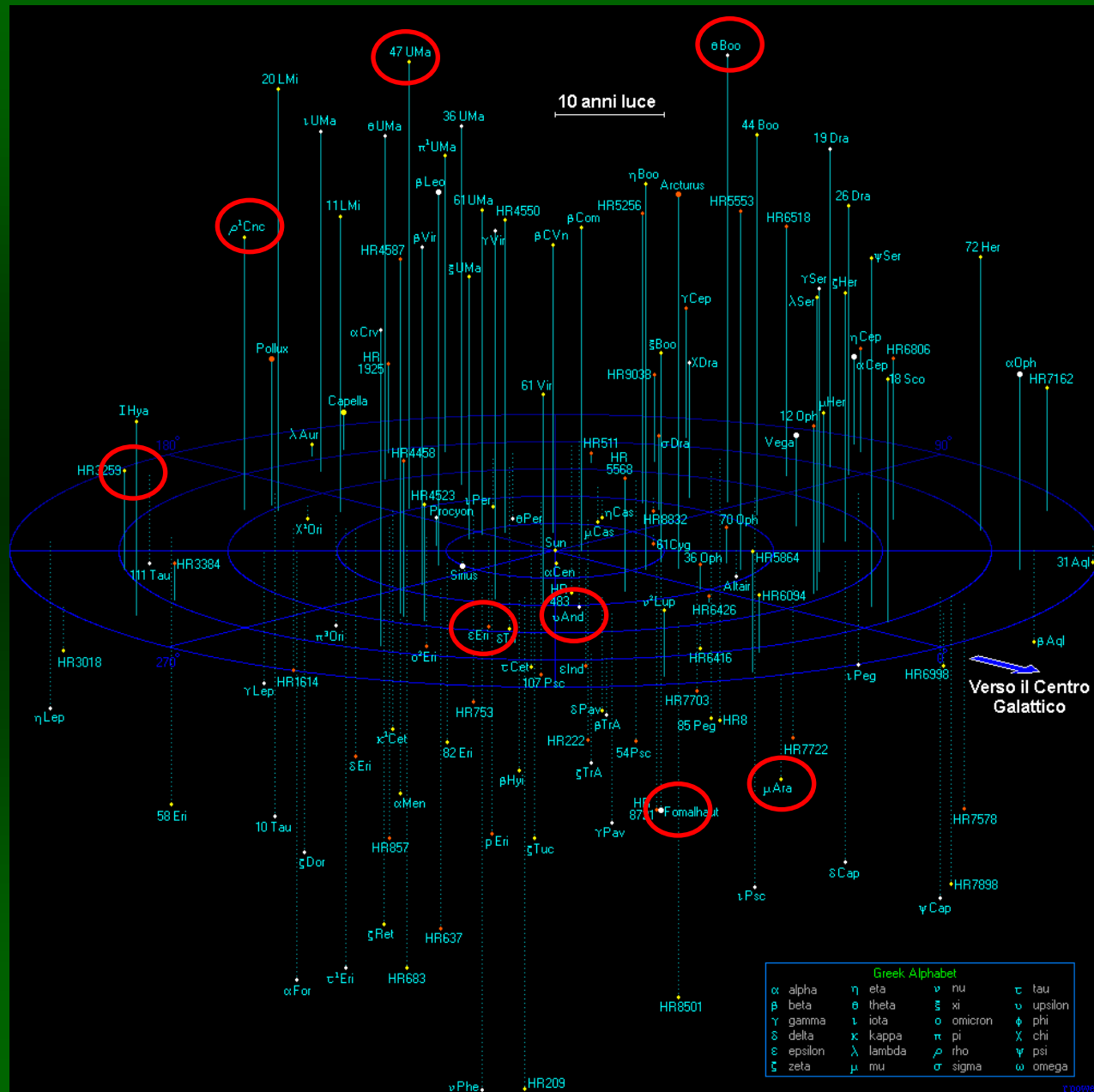
Plutone

Oltre il Sistema solare
stelle-nebuloase-nubi oscure

Distanze e dimensioni -le stelle entro 12 anni luce



Distanze – distribuzione delle stelle entro 50 anni luce



M 45 Ammasso aperto le Pleiadi (Toro)

Dati osservativi (epoca J2000.0)

Costellazione	Toro
Ascensione retta	3 ^h 47 ^m
Declinazione	24° 7'
Distanza	443 a.l. (136,2+/-1,2 pc)
Magnitudine apparente (V)	1,6
Dimensione apparente (V)	110'

Caratteristiche fisiche

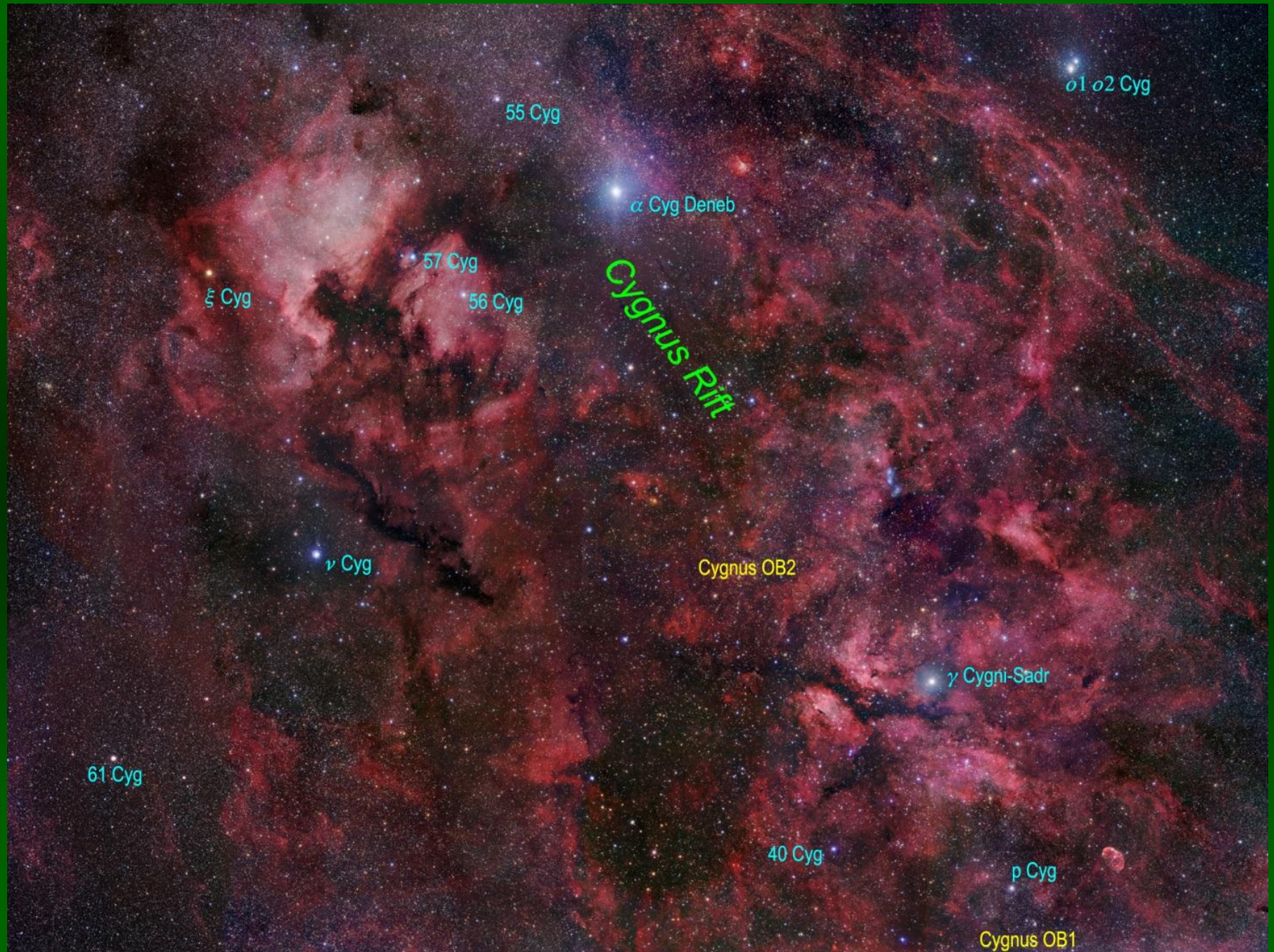
Tipo	Ammasso aperto
Dimensioni	12 a.l. (4 pc)
Età stimata	100 milioni di anni

Altre designazioni

M45, Mel 22, Cr 42



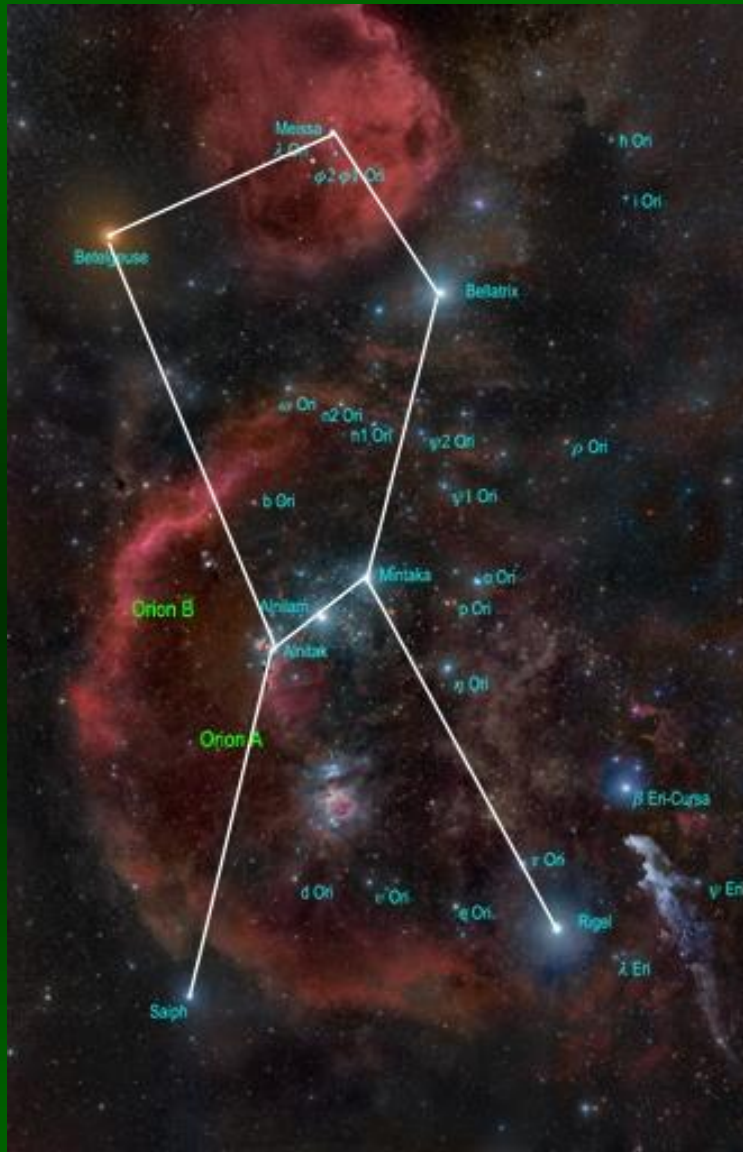
Costellazione del Cigno



Costellazione di Orione



Nord



Estensione 594° gradi quadrati

Image Credit & Copyright: S. Guisard and R. Gendler

Oltre il Sistema solare

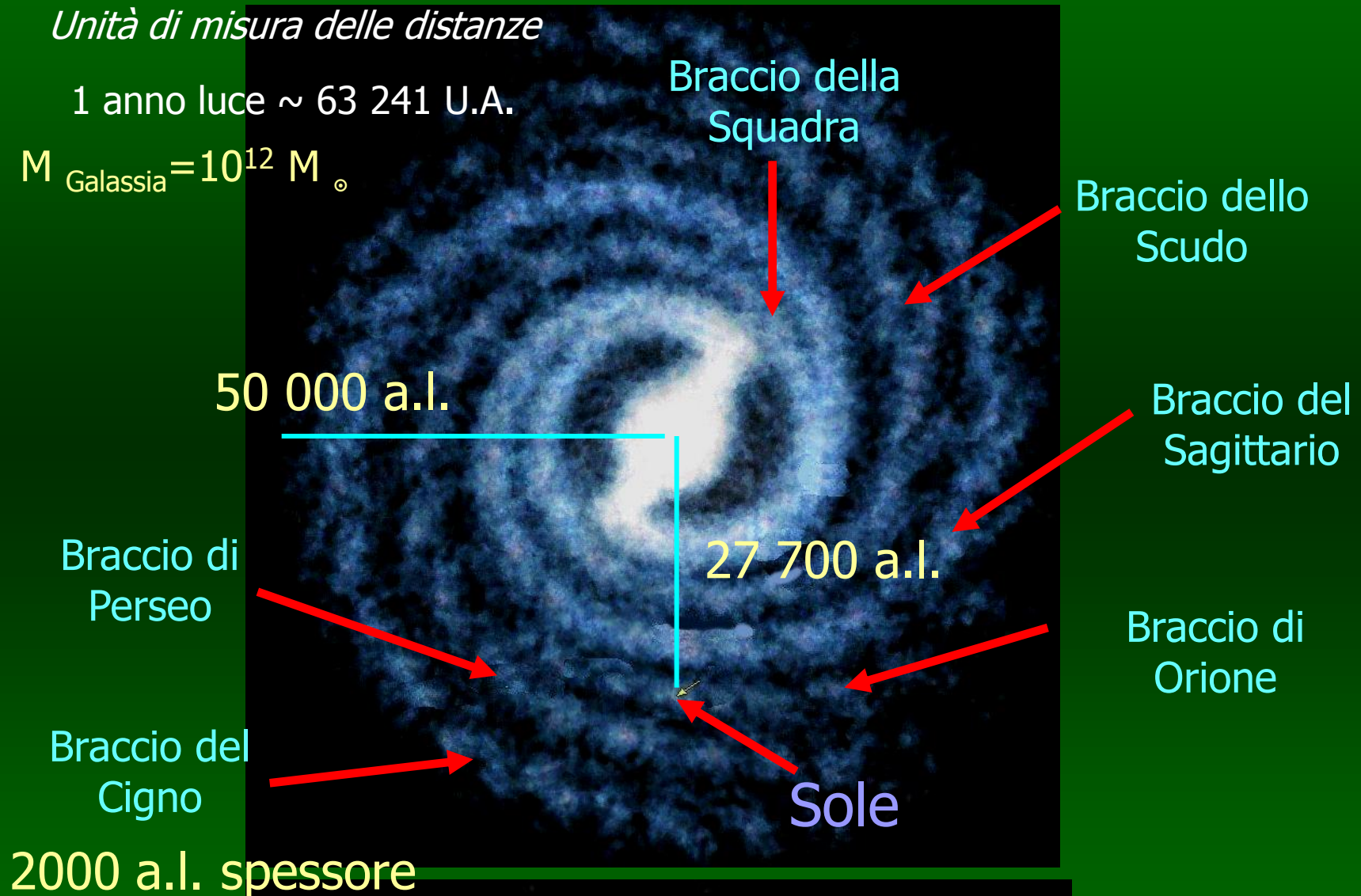
La Via Lattea

Distanze e dimensioni - la Via Lattea

Unità di misura delle distanze

1 anno luce $\sim 63\,241$ U.A.

$M_{\text{Galassia}} = 10^{12} M_{\odot}$



Le Galassie esterne alla Via Lattea distanze e dimensioni



Il grande dibattito

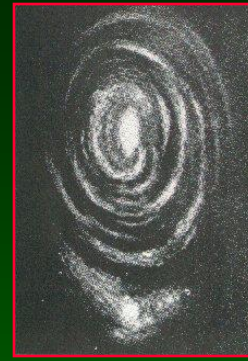


Harlow Shapley

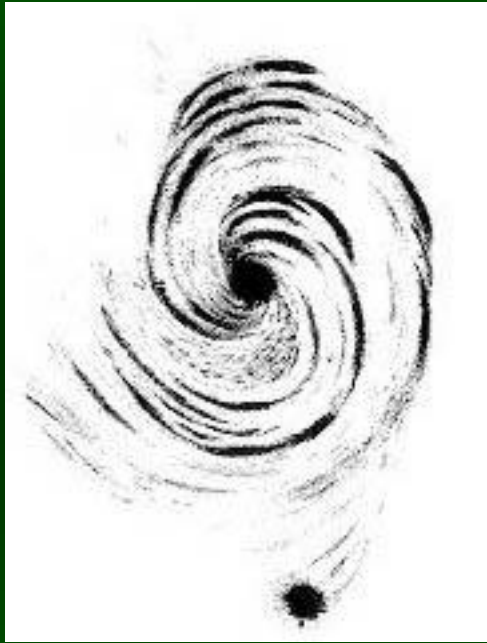


Heber D. Curtis

Washington, aprile 1920: quale è la natura delle nebulose a spirale?



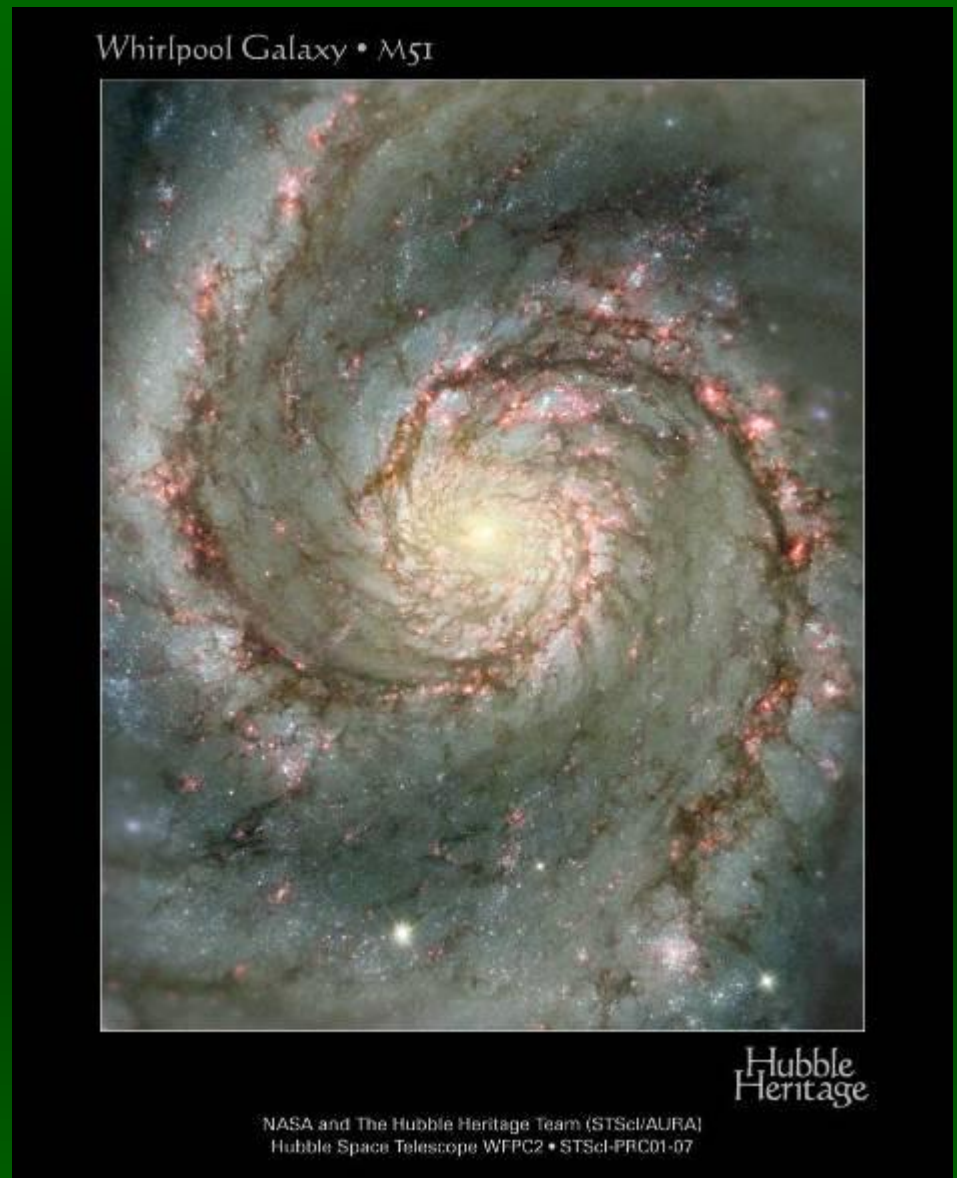
Come è cambiata l'osservazione dei corpi celesti



M51

1845

Dipinto di
Lord Rosse



M51

2002 Telescopio Hubble

La struttura dell'universo



Più lontano più giovane o più vecchio ?
La luce e l'archeologia astronomica

Distanze e tempi- Più lontano, più indietro nel tempo

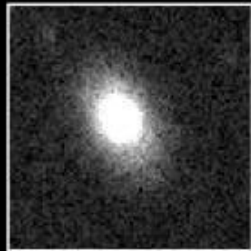
Evoluzione di una galassia ellittica

Oggi

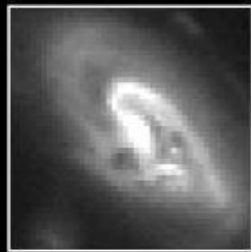
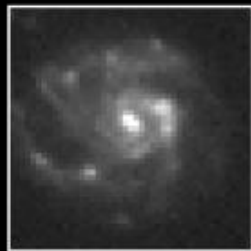
5 miliardi

9 miliardi

12 miliardi di anni fa



Più si guarda
lontano, come
distanza
spaziale, più in
realtà si esplora
l'Universo
indietro nel
tempo.



Oggi

5 miliardi

9 miliardi

12 miliardi di anni fa

Evoluzione di una galassia a spirale

Anni-luce (anni fa)

Vega

26



Deneb

1600



galassia di Andromeda

2 milioni



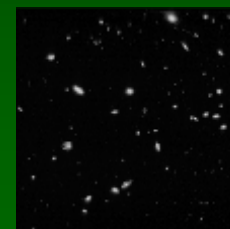
NGC1316
(ammasso di Fornax)

70 milioni



CI0939+4713
(ammasso di galassie)

4 miliardi



Lontano in distanza a ritroso nel tempo

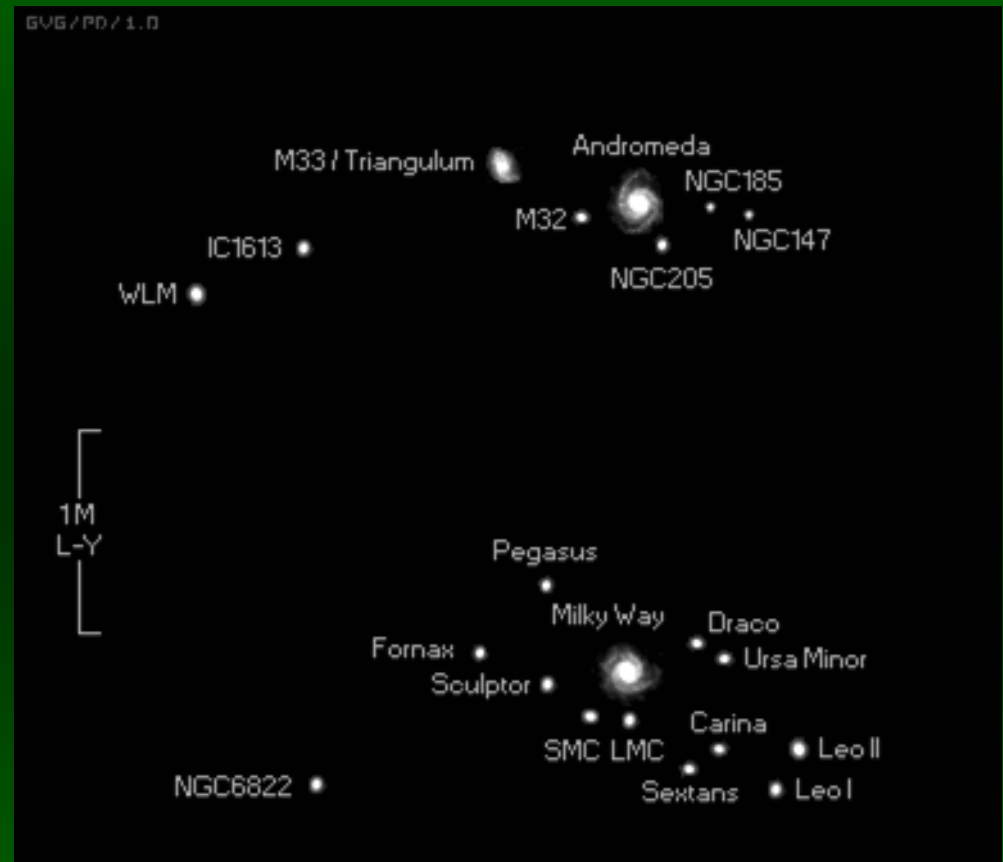
L'Ammasso Locale

z (redshift) ~ 0

d (distanza da noi) $\sim 2 \times 10^6$ a.l.

"look back time" (da noi) $\sim 2 \times 10^6$ anni

età (dal Big Bang) $\sim 12 \times 10^9$ anni



2.000.000 a.l.

Il Superammasso ed il Grande Attrattore

z (redshift) $\sim 0.012-0.015$

d (distanza da noi) $\sim 200 \times 10^6$ a.l.

"look back time" (da noi) $\sim 200 \times 10^6$ anni

età (dal Big Bang) $\sim 12 \times 10^9$ anni



200.000.000.000 a.l.

Le più vecchie galassie -il campo profondo di HST

z (redshift) $\sim 0,83$

d (distanza da noi) $\sim 8 \times 10^9$ a.l.

"look back time" (da noi) $\sim 8 \times 10^9$ a.l. anni

età (dal Big Bang) $\sim 5-6 \times 10^9$ anni

Ammasso di galassie
MS 1054-03
Distanza 8 miliardi di a.l.



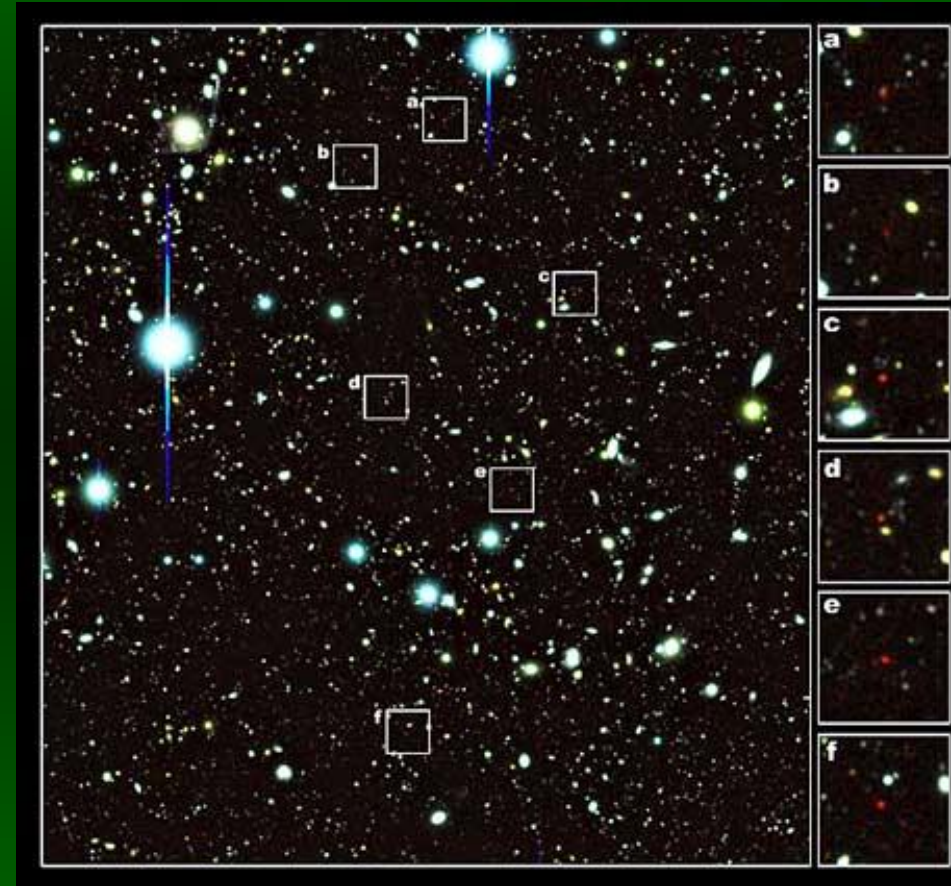
I più vecchi quasar

z (redshift) $\sim 6,41$

d (distanza da noi) $\sim 12 \times 10^9$ a.l.

"look back time" (da noi) $\sim 12 \times 10^9$ anni

età (dal Big Bang) $\sim 500 \times 10^6$ anni



2MASS Local Universe

+90°

RGB Channels:

R = Ks-band (2.2 μm), <14 mag

G = H-band (1.6 μm)

B = J-band (1.2 μm)

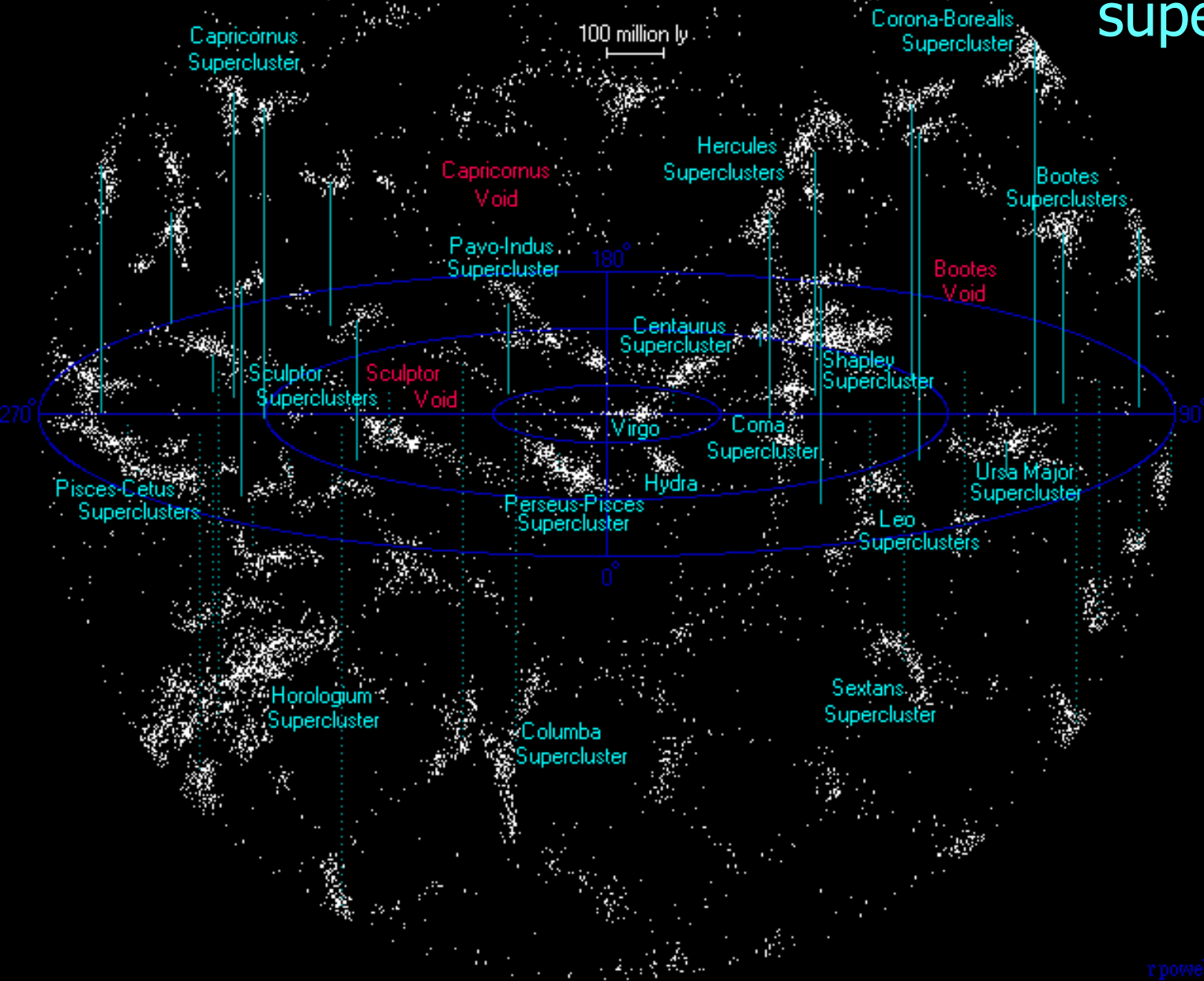


-90°

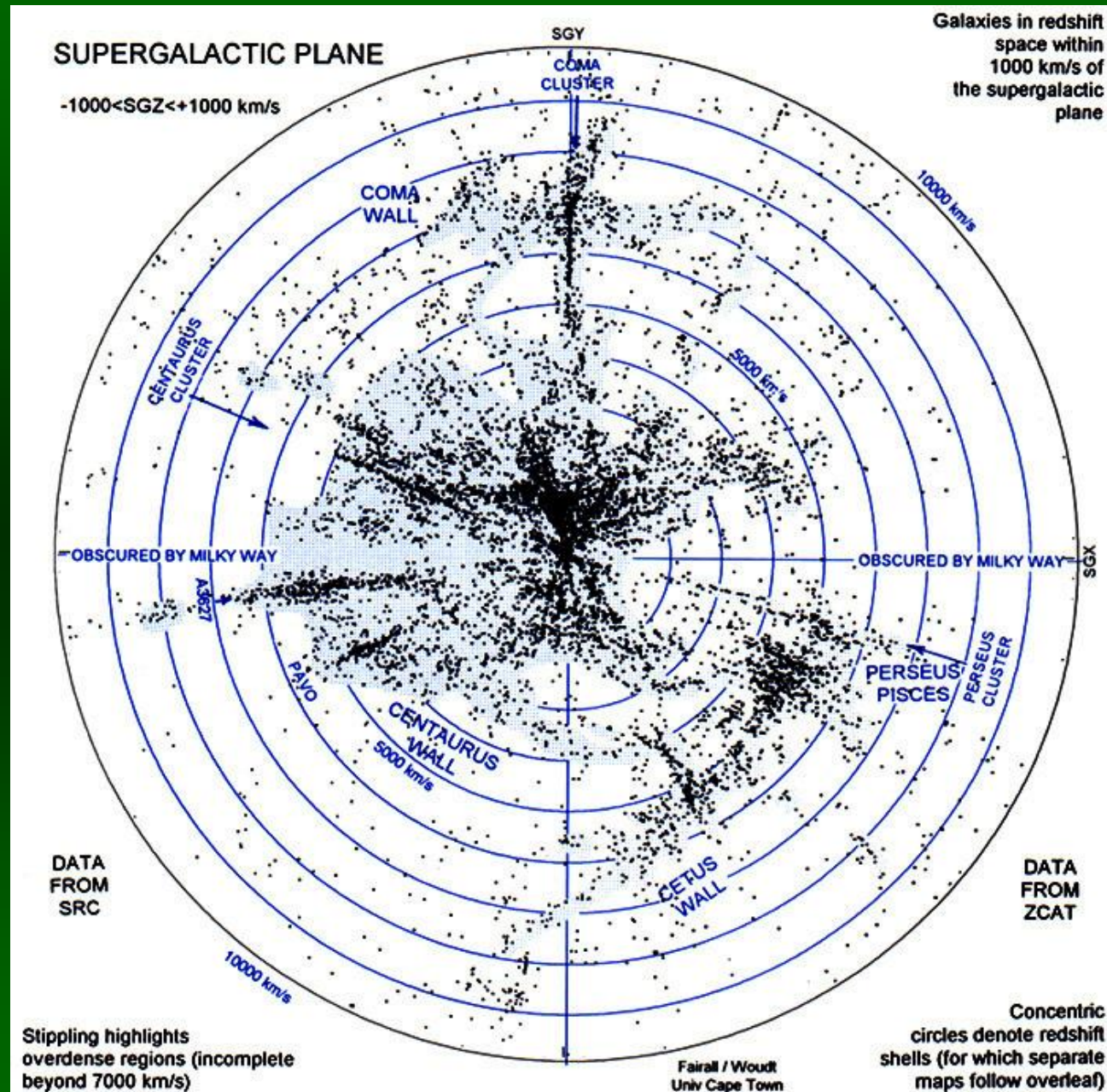
La distribuzione delle galassie



Ammassi e superammassi



Ammassi e superammassi



L'espansione dell'universo

Effetto Doppler-onde sonore

Il fischio della locomotiva si propaga con la stessa frequenza davanti e dietro



Il treno è fermo

Il fischio della locomotiva si propaga ad una frequenza più alta (acuta) nella direzione del moto, più bassa (grave) nella direzione opposta al moto



← Il treno è in moto

L'effetto Doppler si ha con tutti i moti ondulatori, sia quelli di propagazione delle onde sonore nell'aria che quelli di propagazione delle onde luminose nel vuoto

Onde sonore

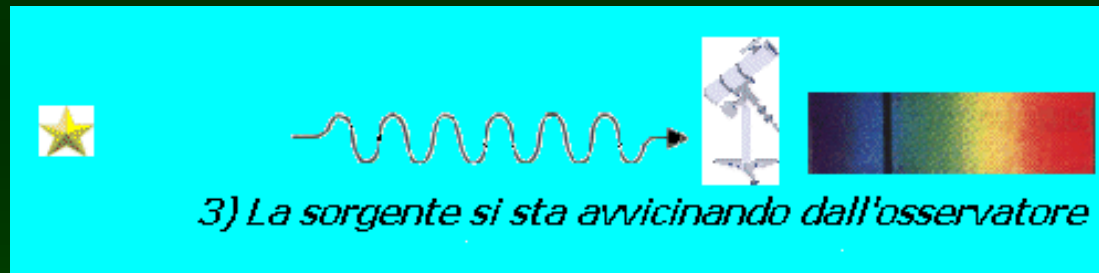
Se siamo fermi ad un passaggio a livello ed un treno viene verso di noi fischiando ascoltiamo un suono che sia fa sempre *più acuto in avvicinamento* mentre diventa *sempre più grave in allontanamento*.

Effetto Doppler-onde Luminose

Nel caso della "luce" emessa da un corpo celeste



se questi si avvicina essa appare, all'osservatore terrestre, come "più acuta" cioè di frequenza più elevata e quindi "blu"



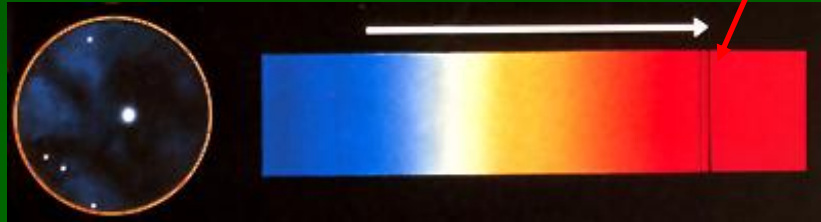
se invece si allontana essa appare di frequenza "più bassa" e quindi "rossa".



Red-Shift (spostamento verso il rosso) e galassie



A sinistra: le immagini
delle galassie



A destra: gli "spettri"
delle galassie con la
riga H e K del calcio
che si sposta
sistematicamente
verso il rosso
(lunghezze di onda
maggiori)

Universo in espansione

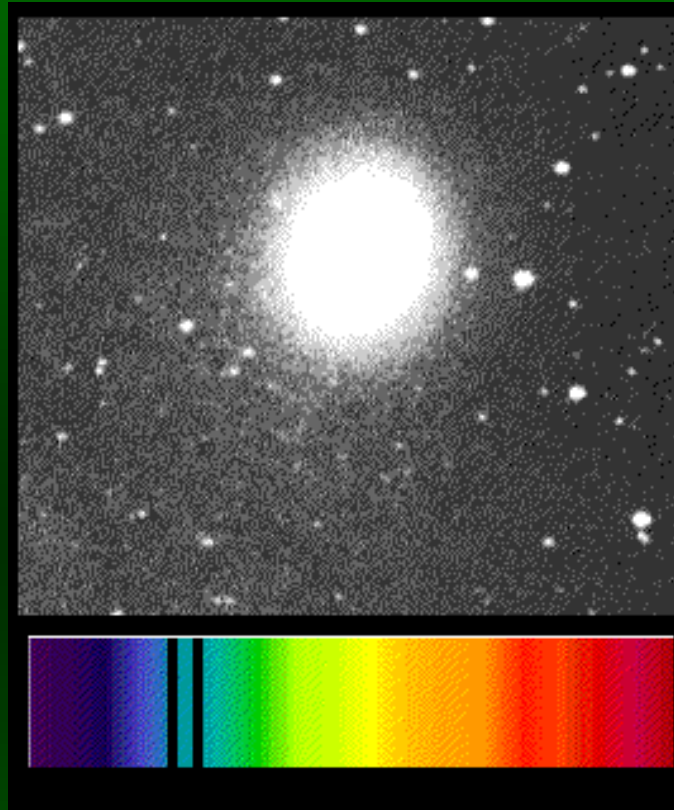
1929

E.P.Hubble

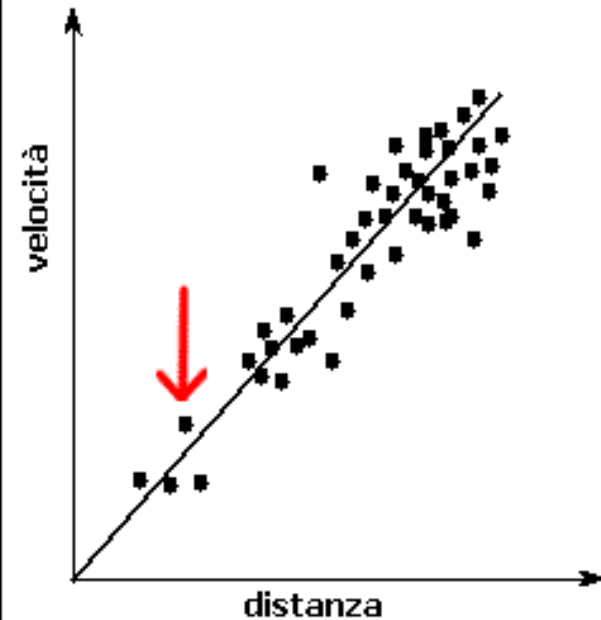
scopre la
relazione tra
velocità radiale
delle galassie e
la loro distanza:

$$V = H_0 \cdot d$$

primo indizio di
un'espansione
dell'universo.



Legge di Hubble
velocità di recessione = $H \times$ distanza



Costante di Hubble-Tempo di Hubble

H_0 (km/sec)/Mpc Lunghe distanze	Anno	Autore	t_H in miliardi di anni= $977,8H_0$
530	1929	Hubble	1,845
100	1979	De Vaucouleres	9,78
95±4	1980	Aaronson	10,29
90±10	1993	Tully	10,86
87 ±7	1994	Pierce	11,24
H_0 (km/sec)/Mpc Corte distanze	Anno	Autore	Età in miliardi di anni
50	1971	Sandage	19,56
67 ±8	1989	Van den Berg	14,59
55 ±7	1995	Sandage e Tamman	17,78
67 ±7	1995	Reiss et al	14,59
85	1996	Misure HST	14,77

The background of the slide is a composite image. On the left, there is a visualization of the cosmic web, showing a dense network of green and blue filaments against a black background. On the right, there is a rectangular inset with a blue border showing a deep-field image of a galaxy cluster, filled with numerous yellow and orange galaxies of various shapes and sizes. The text is centered over these images.

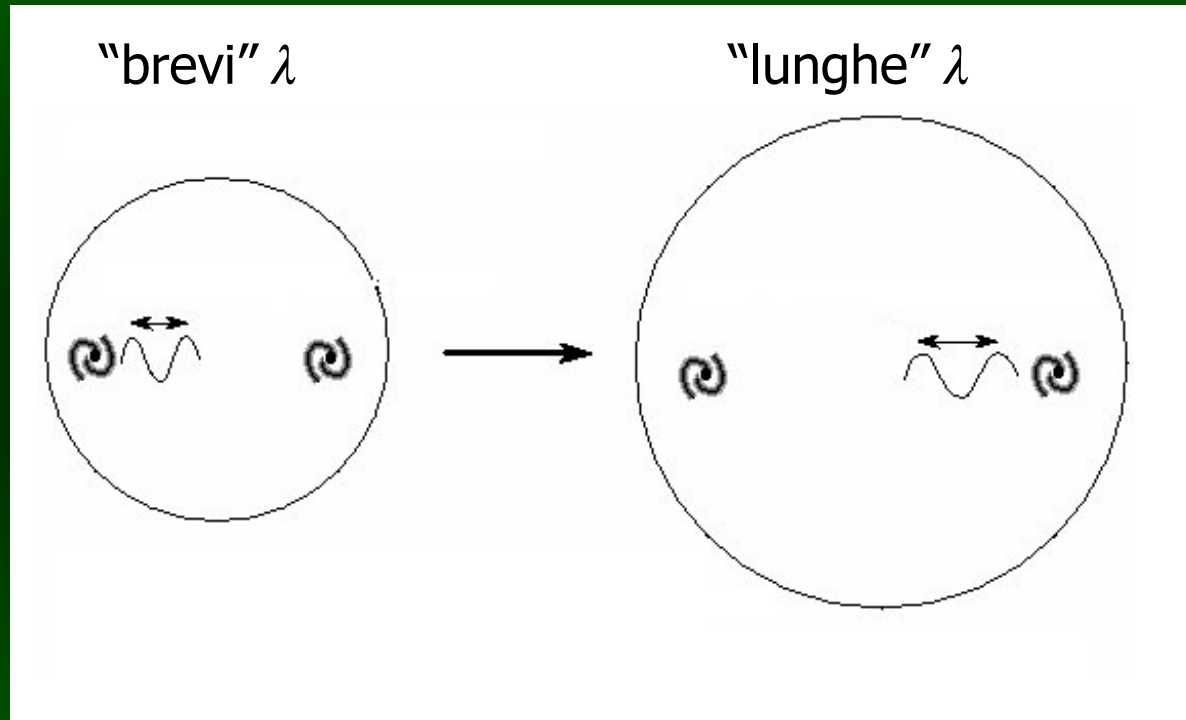
La cosmologia e la struttura dell'Universo

Interpretazioni e modelli

L'espansione dell'Universo

Interpretazione

Allontanamento delle galassie → dovuto all'espansione dello spazio

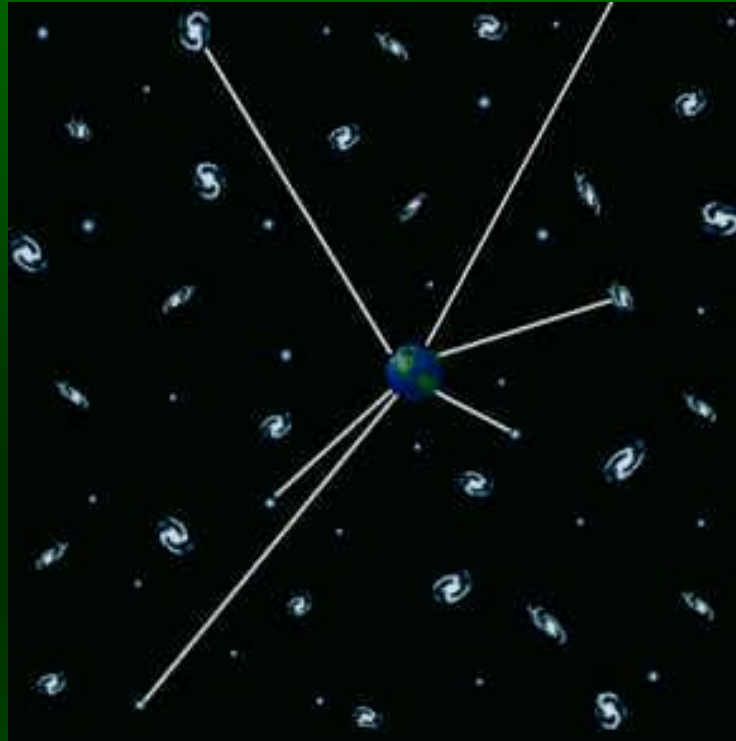


Alla base della Cosmologia moderna sta il dato osservativo che "le galassie si allontanano da noi con una velocità di fuga che è tanto maggiore quanto più sono lontane" secondo la legge di Hubble

$$V_r = c \cdot Z = H_0 \cdot d$$

Principio Cosmologico

Omogeneità ed isotropia dell'Universo



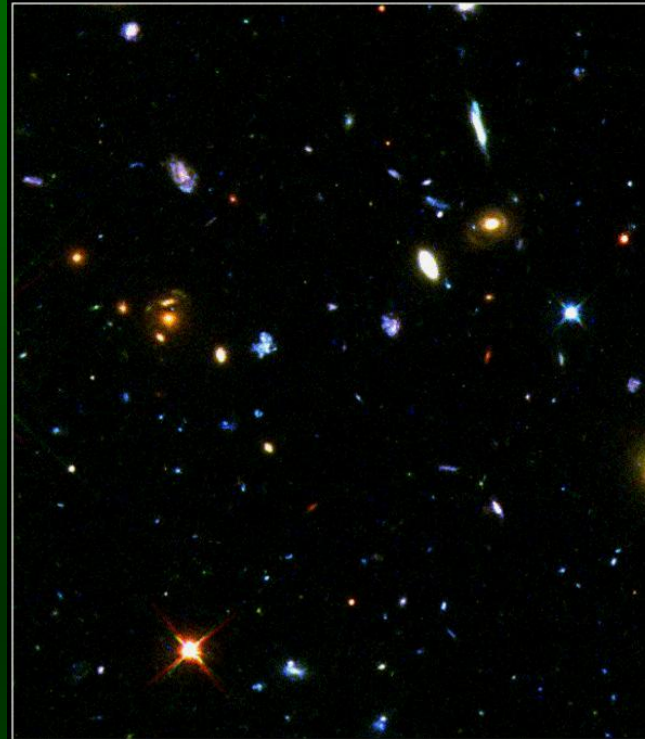
Il Principio Cosmologico afferma che : "l'Universo presenta lo stesso aspetto da ovunque lo si guardi". Valgono cioè le ipotesi di Omogeneità ed Isotropia.

Omogeneità = da qualsiasi parte si osservi la distribuzione delle galassie nell'Universo non si notano "in media" delle differenze

Isotropia = in qualunque direzioni si osservino le galassie non si trova alcuna particolare asimmetria.

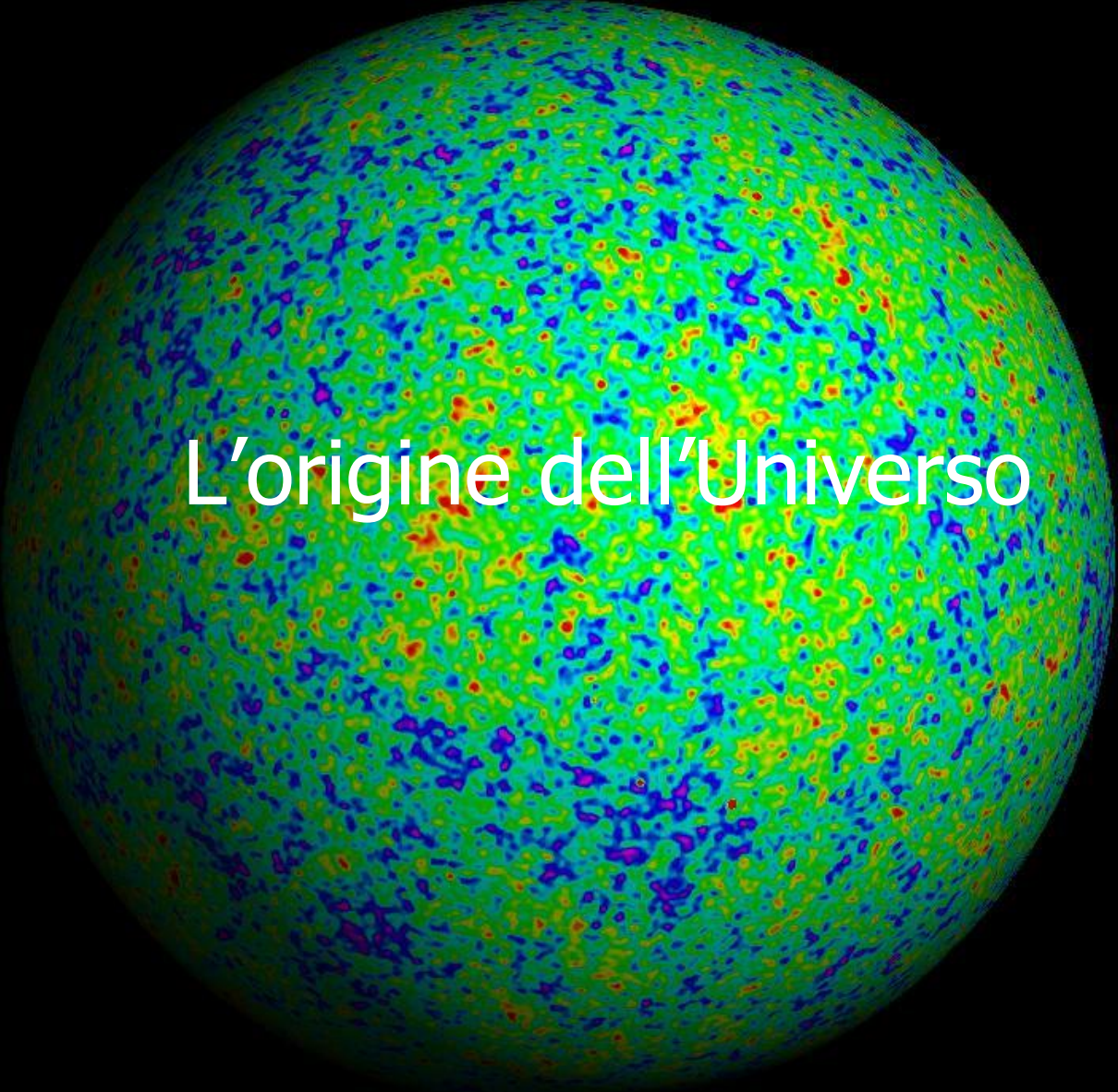
Il Principio Cosmologico

L'universo è una sfera
infinita con il centro in
ogni dove e la
circonferenza in
nessun luogo
(Pascal)



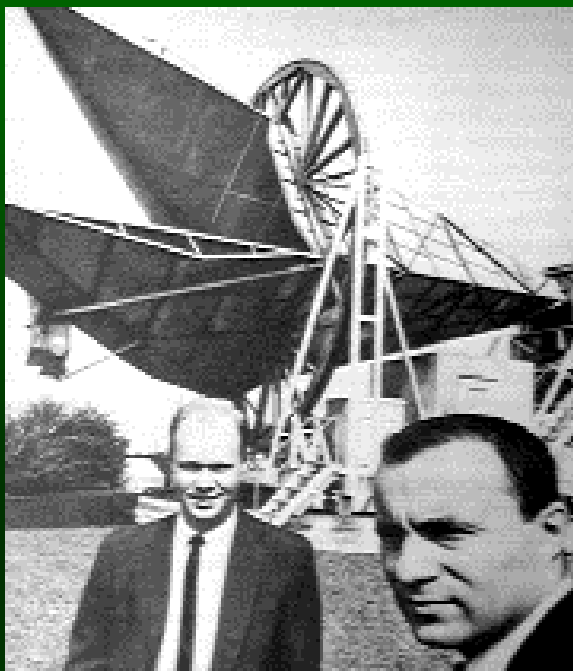
Ma come è possibile ritenere l'Universo isotropo ed omogeneo quando osserviamo intorno a noi le galassie la cui distribuzione è indice di disomogeneità ed anisotropia ?

Le galassie tendono infatti a raggrupparsi in strutture sempre più complesse dette "Ammassi di Galassie" fra cui si frappongono regioni ("Vuoti") in cui non "appare" materia luminosa ?



L'origine dell'Universo

La Radiazione Cosmica di Fondo



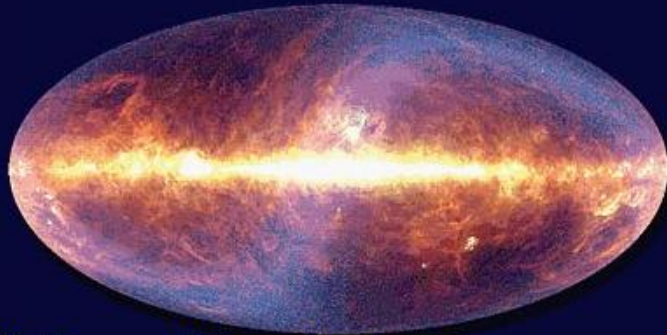
L'antenna con cui Penzias e Wilson osservarono per primi la radiazione di fondo

Nel 1965 Penzias e Wilson dei "Bell Laboratories" stavano provando un rivelatore alle microonde molto sensibile per lo studio dei disturbi alle comunicazioni radio. Essi si accorsero che il loro strumento raccoglieva sempre una quantità di "rumore" che non riuscivano ad eliminare.

Inoltre questo "rumore" era uguale in qualunque direzione puntassero l'antenna e per qualunque giorno dell'anno facessero le misure.

La Radiazione Cosmica di Fondo-COBE

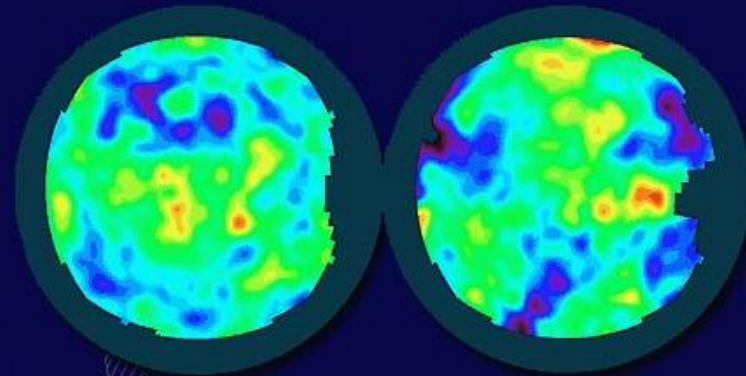
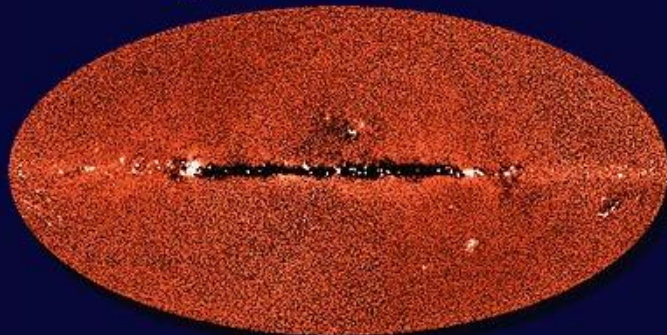
Il cielo osservato da COBE



Il cielo senza la luce zodiacale

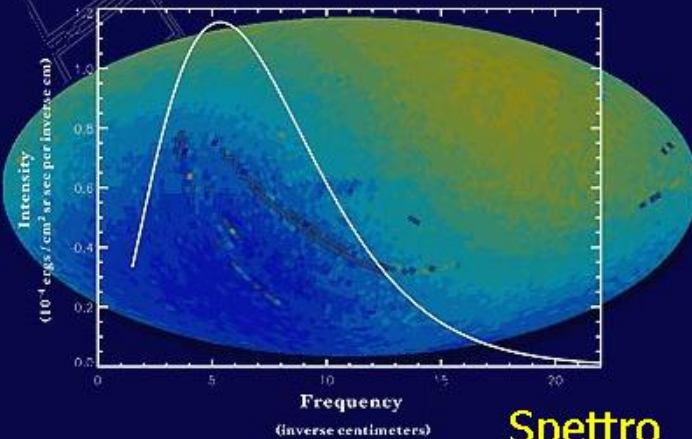


Il fondo extragalattico

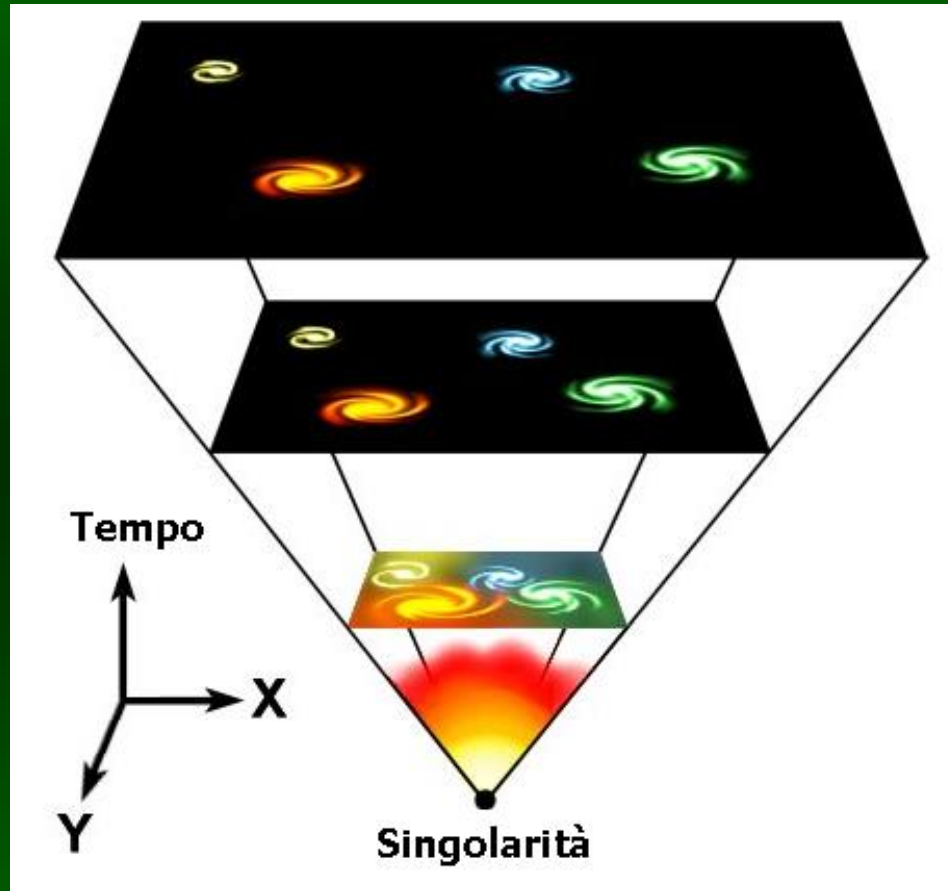


Anisotropia

the
COBE Legacy



Il Principio Cosmologico e la Radiazione Cosmica di Fondo



Esiste però un indicatore della omogeneità ed isotropia a "grande scala" la Radiazione Cosmica di Fondo !

A long-exposure photograph of a night sky over a mountain range. The sky is filled with numerous curved white lines representing star trails, indicating the Earth's rotation. A prominent, bright, straight white line, likely a meteor or satellite, streaks across the upper portion of the frame. The mountains in the foreground are dark and silhouetted against the lighter sky.

I limiti dell'osservazione "luminosa"
Troppo buio – troppa luce

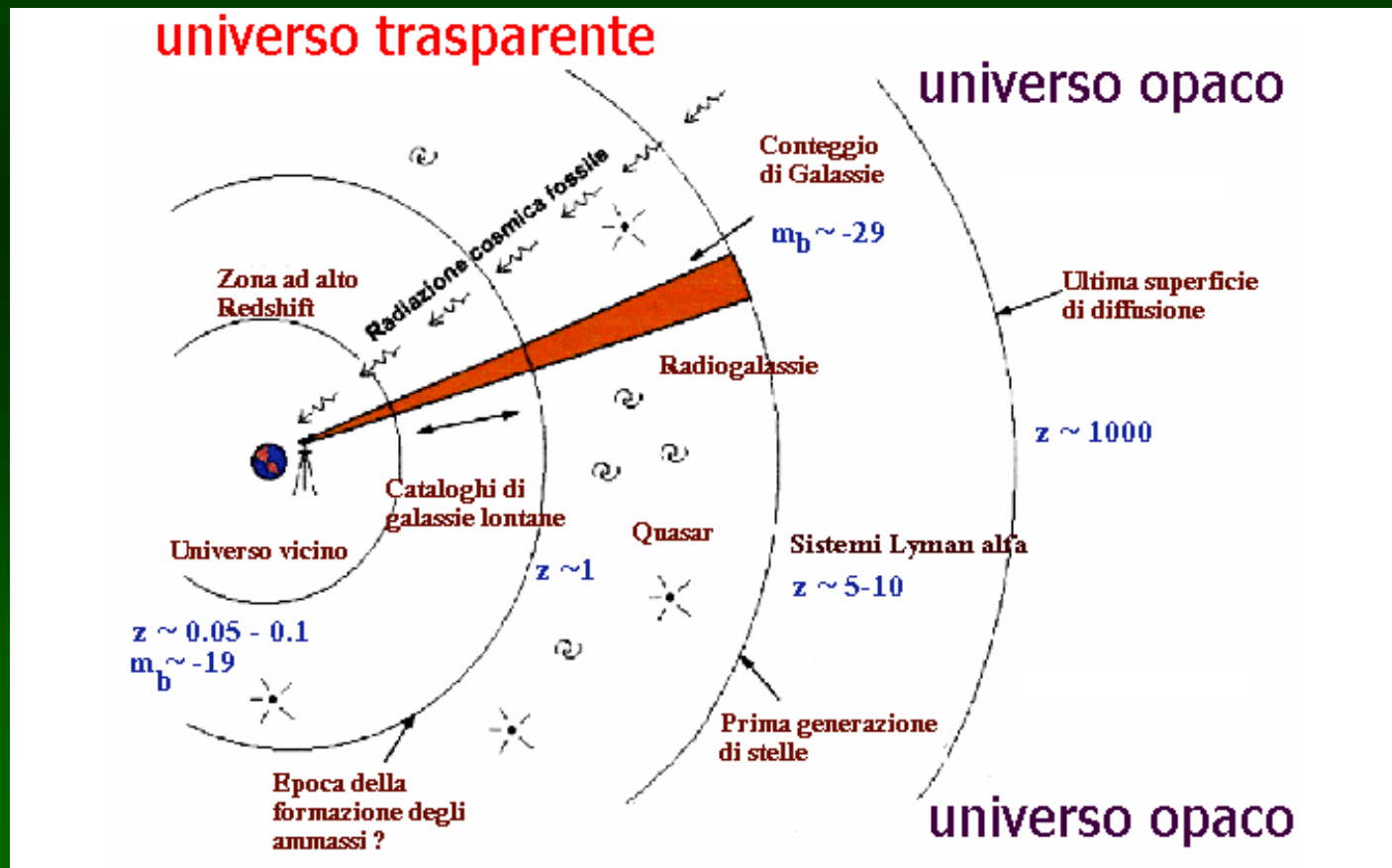
A ritroso in distanza e tempo L'Universo è trasparente

z (redshift) ~ 1100

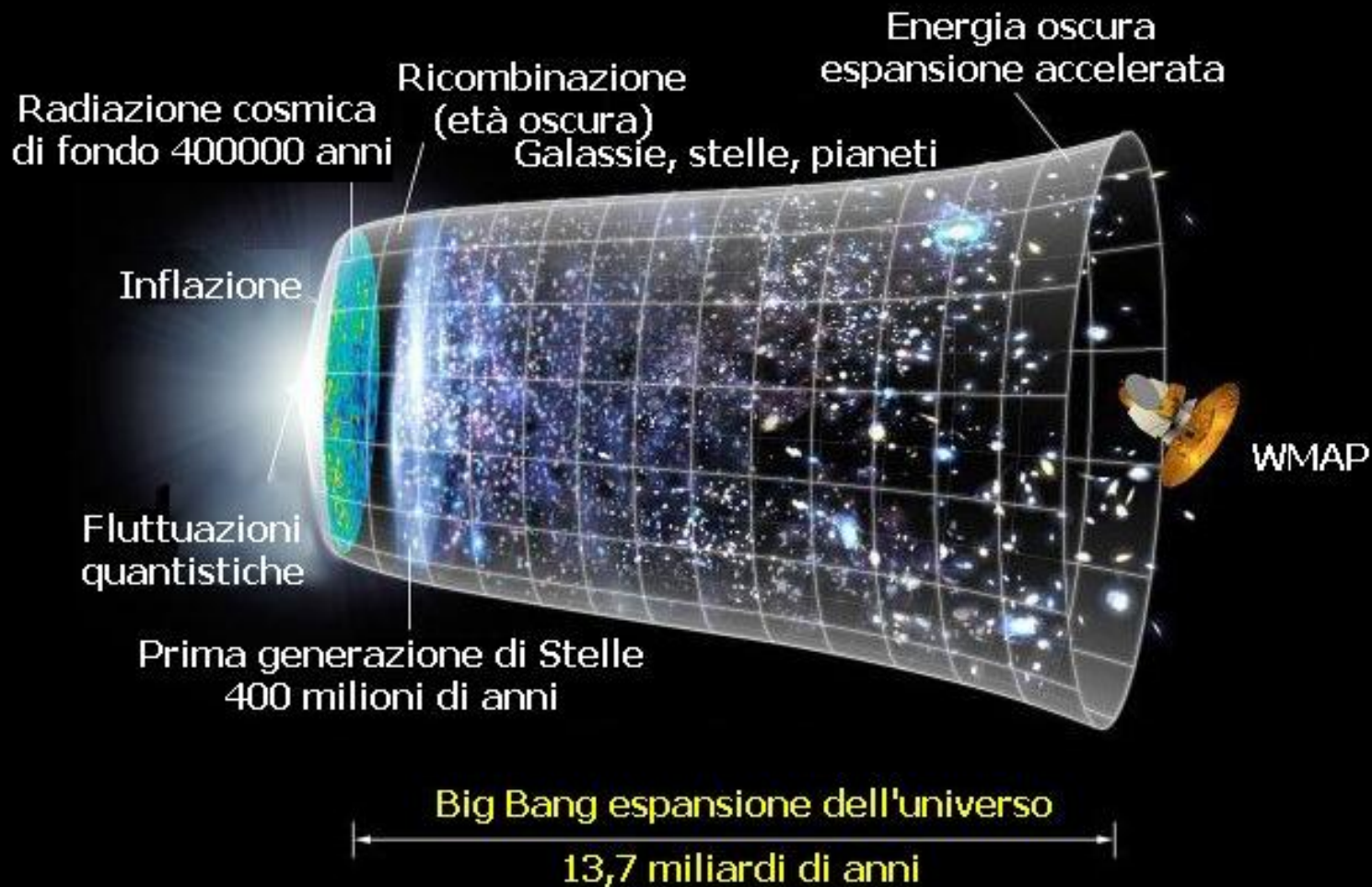
d (distanza da noi) $\sim 14 \times 10^9$ a.l.

"look back time" (da noi) $\sim 14 \times 10^9$ anni

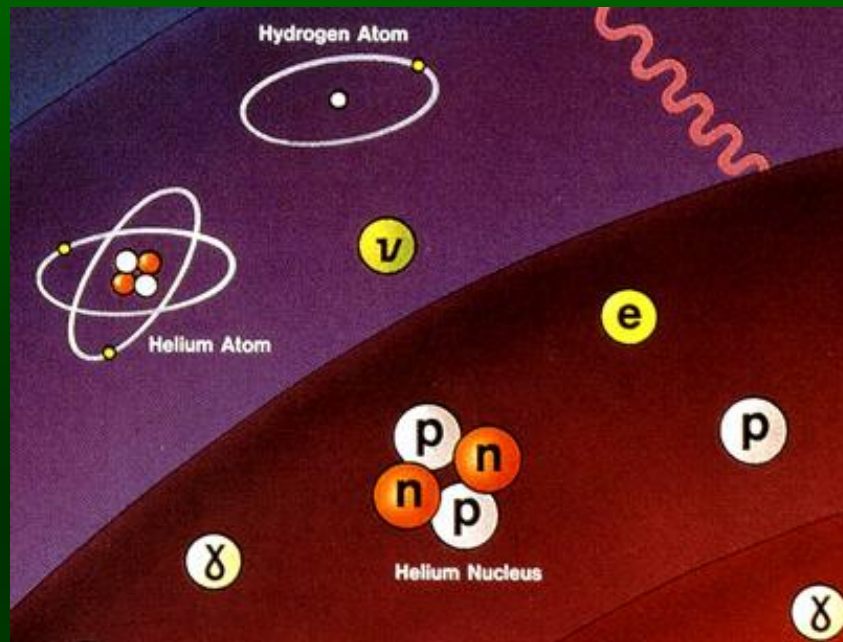
età (dal Big Bang) $\sim 3 \times 10^5$ anni



Lontano in distanza → a ritroso nel tempo



Uno sguardo oltre "l'opaco" la nucleosintesi primordiale



Per tempi $1 \text{ secondo} < t < 3 \text{ minuti}$.

I protoni ed i neutroni si "fondono" tra loro dando luogo a:

- *al Deuterio [^2H], all'Elio 3 [^3He], all'Elio 4 [^4He], al Litio [^7Li]*

A questo punto si sono formati gli elementi "leggeri" tramite la nucleosintesi primordiale mentre si hanno solo tracce degli elementi pesanti che verranno formati nelle stelle in seguito ai processi di fusione termonucleare che avverranno nel loro interno.



Le opinioni ...
(modelli, teorie ...)
Il Modello Standard

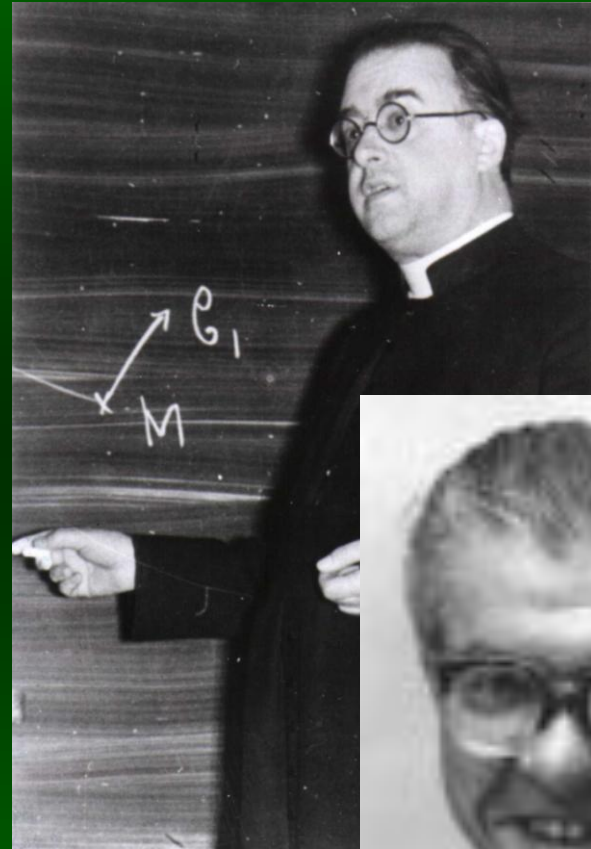


Big Bang

L'universo caldo del Big Bang

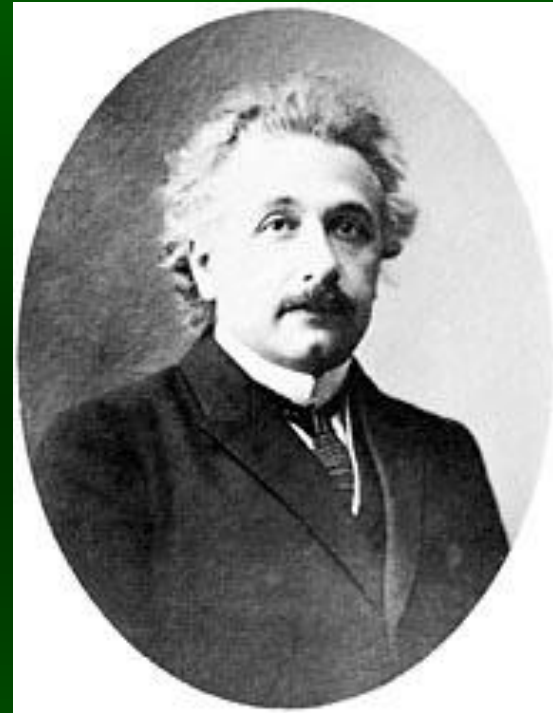
Georges Lemaître per primo suggerì, nel 1931, che l'intero universo potesse essere nato a partire da un atomo primordiale.

Nel 1949, nel corso di un popolare programma radiofonico della BBC, l'ipotesi di un'origine dell'universo fu battezzata sprezzantemente "idea del *Big Bang*" dall'astrofisico inglese Fred Hoyle.



Il Modello (cosmologico) Standard

- Per costruire un *modello cosmologico completo ed autoconsistente* è necessario far riferimento alla teoria della **Relatività Generale di Einstein** il modello comunemente accettato ha le seguenti caratteristiche:
- È nato dal "*Big Bang*" circa 13,7 miliardi di anni fa
- Dopo circa 3 minuti si formano gli elementi primordiali (H, He, Li)
- Dopo circa 380 000 anni la radiazione si *disaccoppia* dalla materia e si formano le galassie
- Ha *tre possibilità di evoluzione futura* definite dalle soluzioni di Friedmann



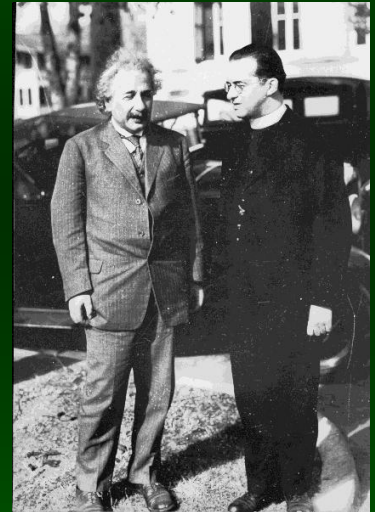
Modelli cosmologici relativistici

Einstein (1917): ottiene un modello di universo statico, ma deve introdurre una “forza repulsiva”: la costante cosmologica.

Friedmann (1922,1924) e Lemaitre (1927) trovano i modelli cosmologici non statici: lo spazio può espandersi (o contrarsi).



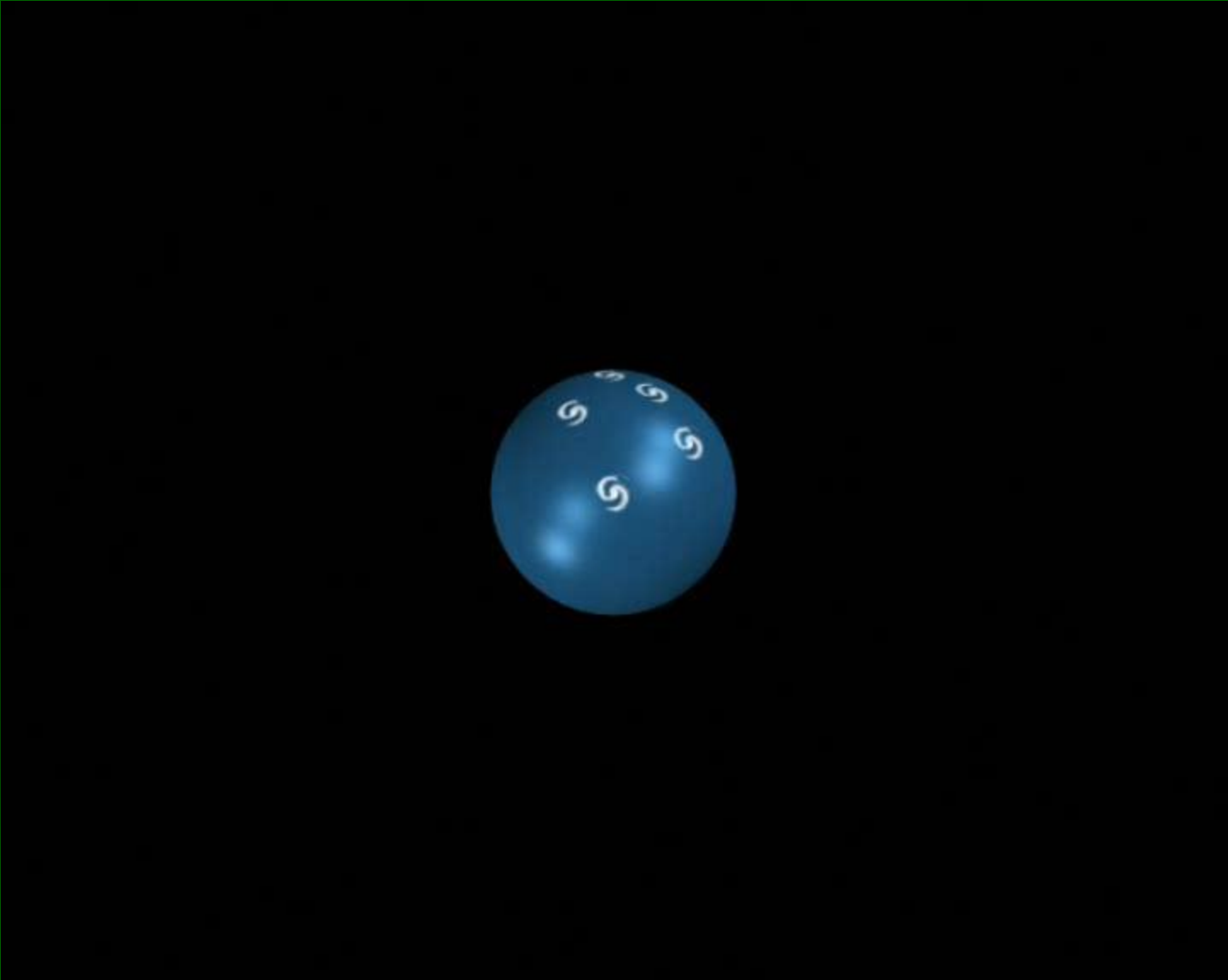
Alexander Friedmann (1888-1925)



Einstein con Georges Lemaitre (1894-1966)

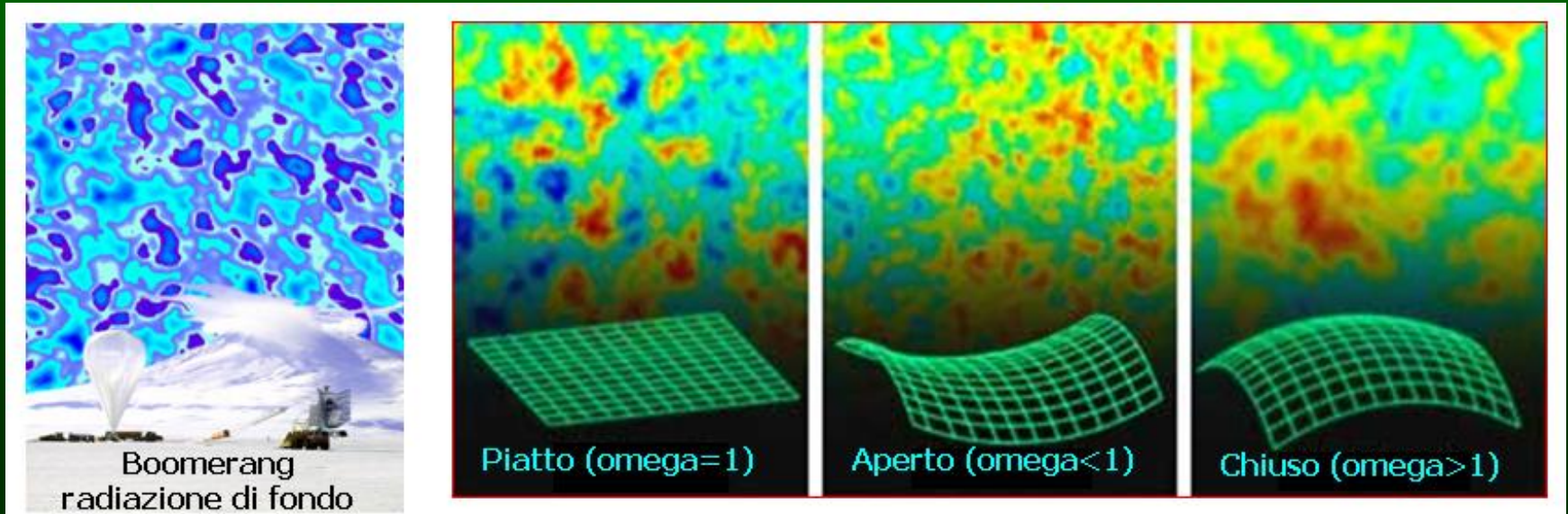
Le osservazioni mostrano che lo spazio sta espandendosi.

Modelli cosmologici relativistici



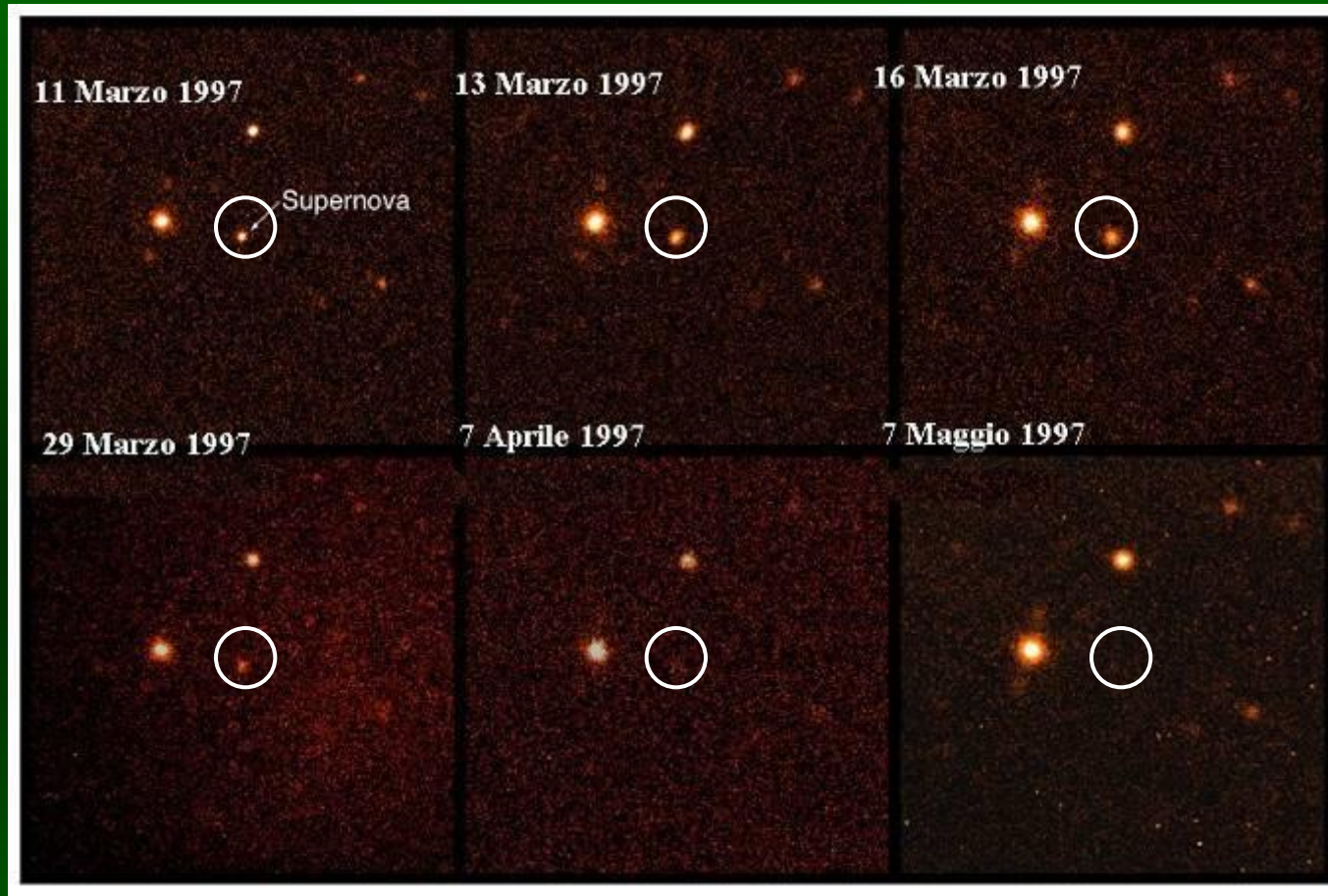
Le osservazioni mostrano che lo spazio sta espandendosi.

La geometria dell'universo



Le proprietà delle fluttuazioni della radiazione cosmica di fondo sono consistenti con un universo piatto, che ha esattamente la densità critica, dunque *infinito*.

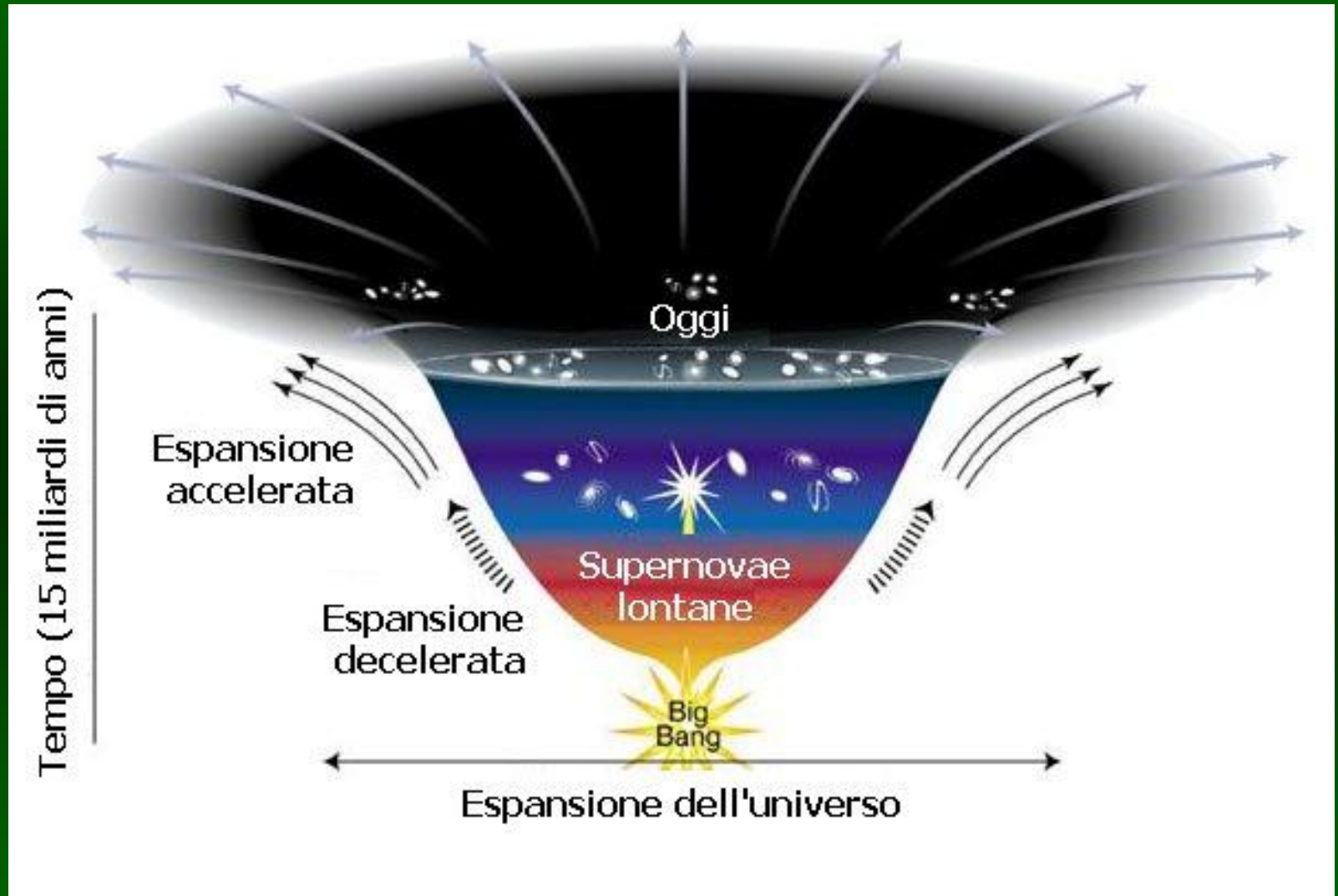
Le osservazioni delle SN di tipo Ia



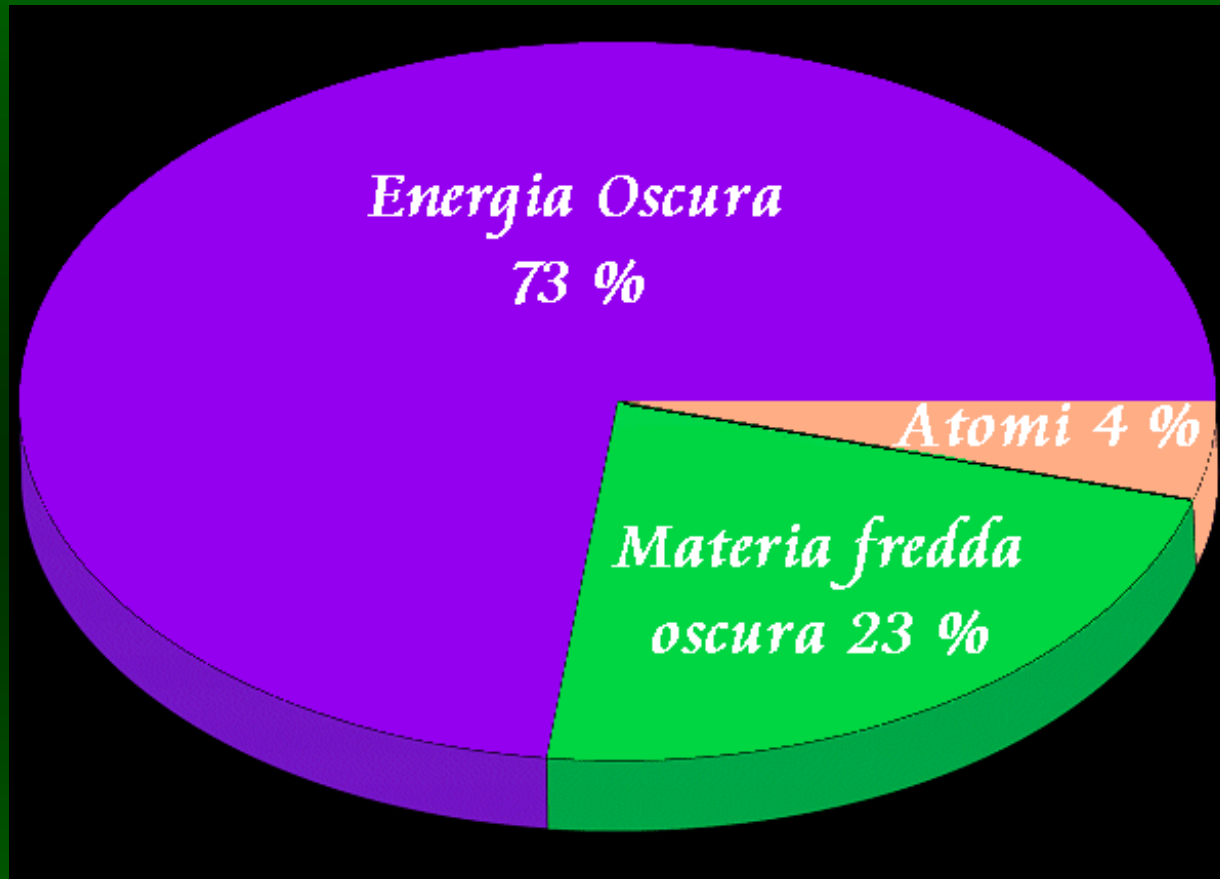
Queste osservazioni appaiono quindi in accordo con un modello di un Universo in cui il ritmo di espansione non rimane costante nel tempo.

E' affermata la possibilità di un espansione accelerata dell'Universo

L'universo ci ha ripensato?

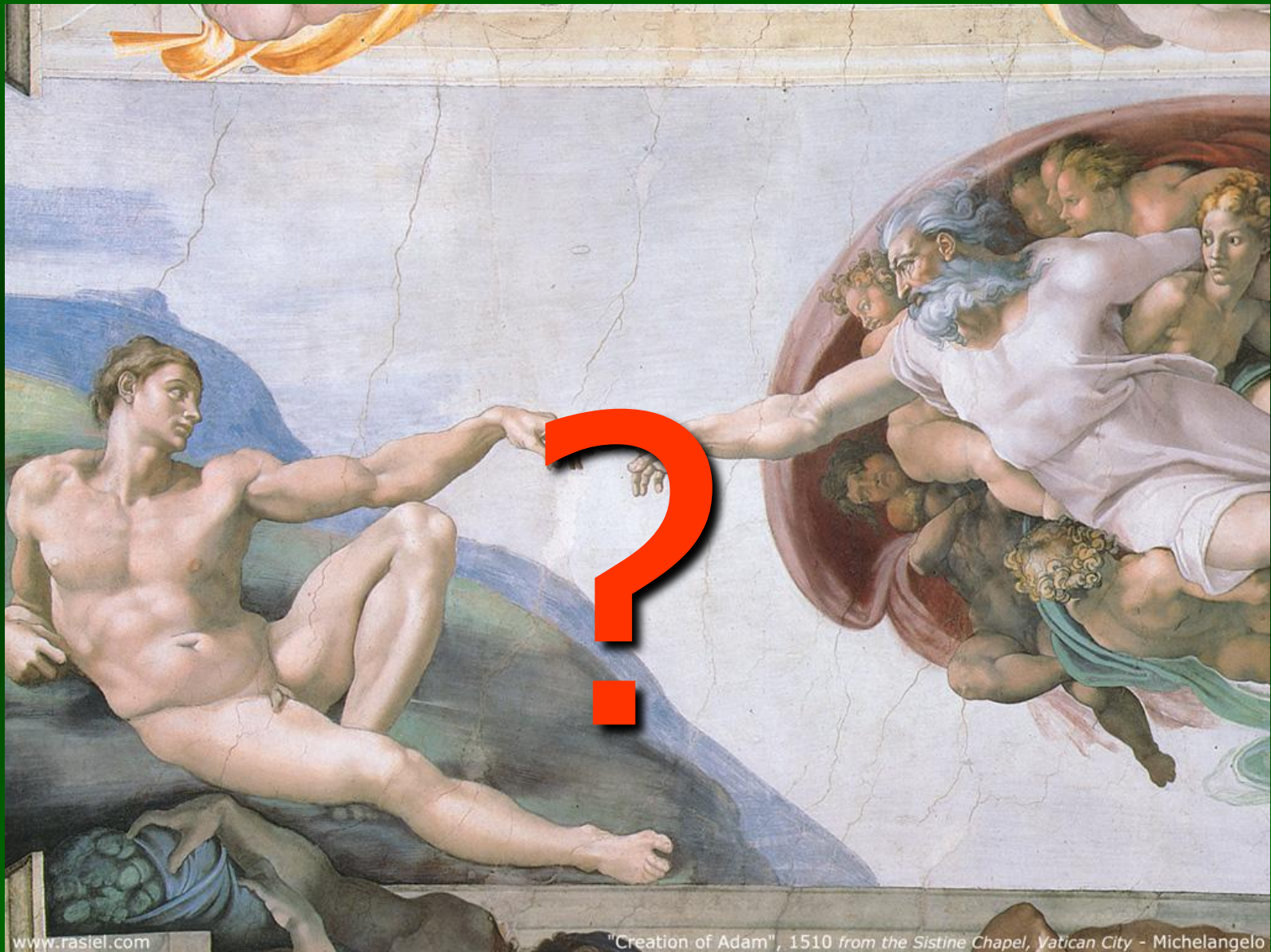


Energia e materia nell'Universo



Fino ad un secondo possiamo “vedere”
anche se non direttamente ma prima ?
Fino a quando ci possiamo spingere ?

All'origine del tutto



La grande Inflazione

L'universo inflazionario

-43
10⁻³² sec

Tempo di Planck

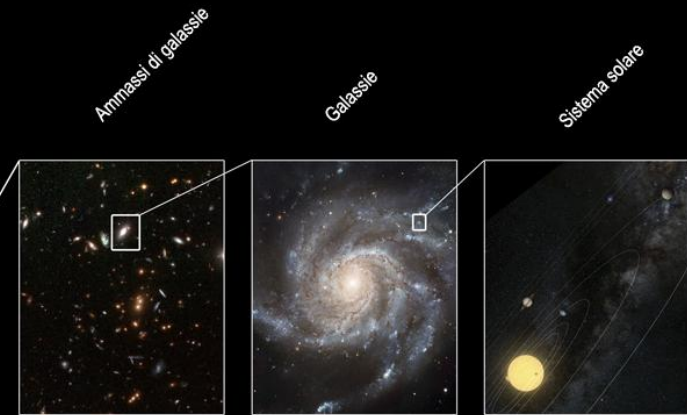
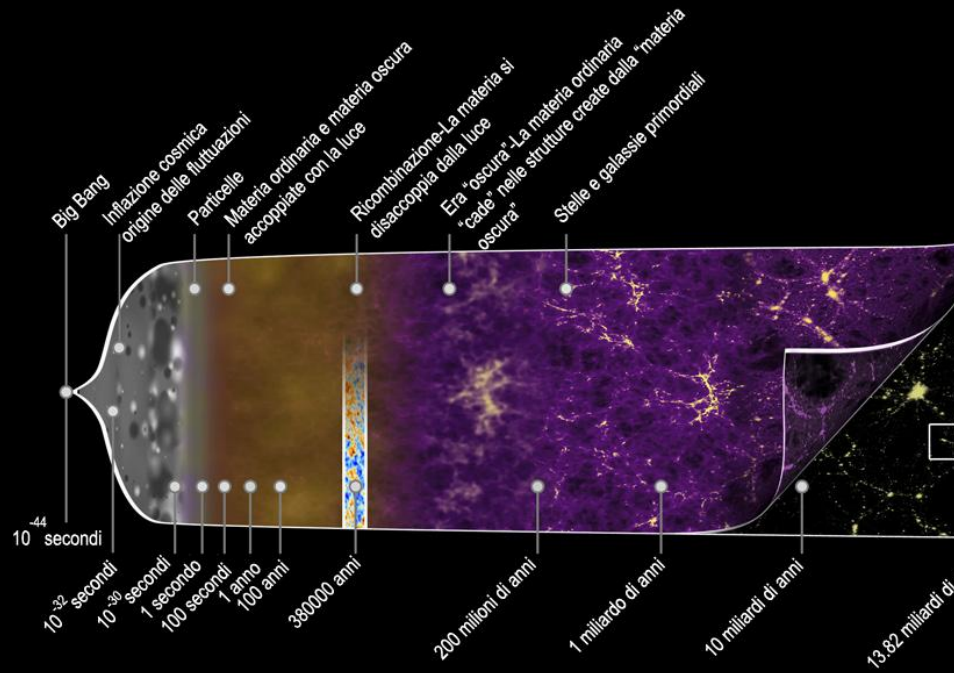
$$\Omega > 1$$

$$\Omega = 1$$

$$\Omega < 1$$



Lontano in distanza → ritroso nel tempo



The image features a deep blue, textured background. In the center, there is a dark, circular region filled with numerous small, bright yellow and white specks, resembling a distant galaxy or a cluster of stars. Overlaid on this central region is the text "Universo o Multiverso ?" in a bright cyan or light blue color. The text is in a sans-serif font and is centered horizontally and vertically within the frame. The overall aesthetic is cosmic and mysterious, with a strong emphasis on the color blue and the theme of space exploration or cosmology.

Universo o Multiverso ?

Microcosmo, macrocosmo e multiversi

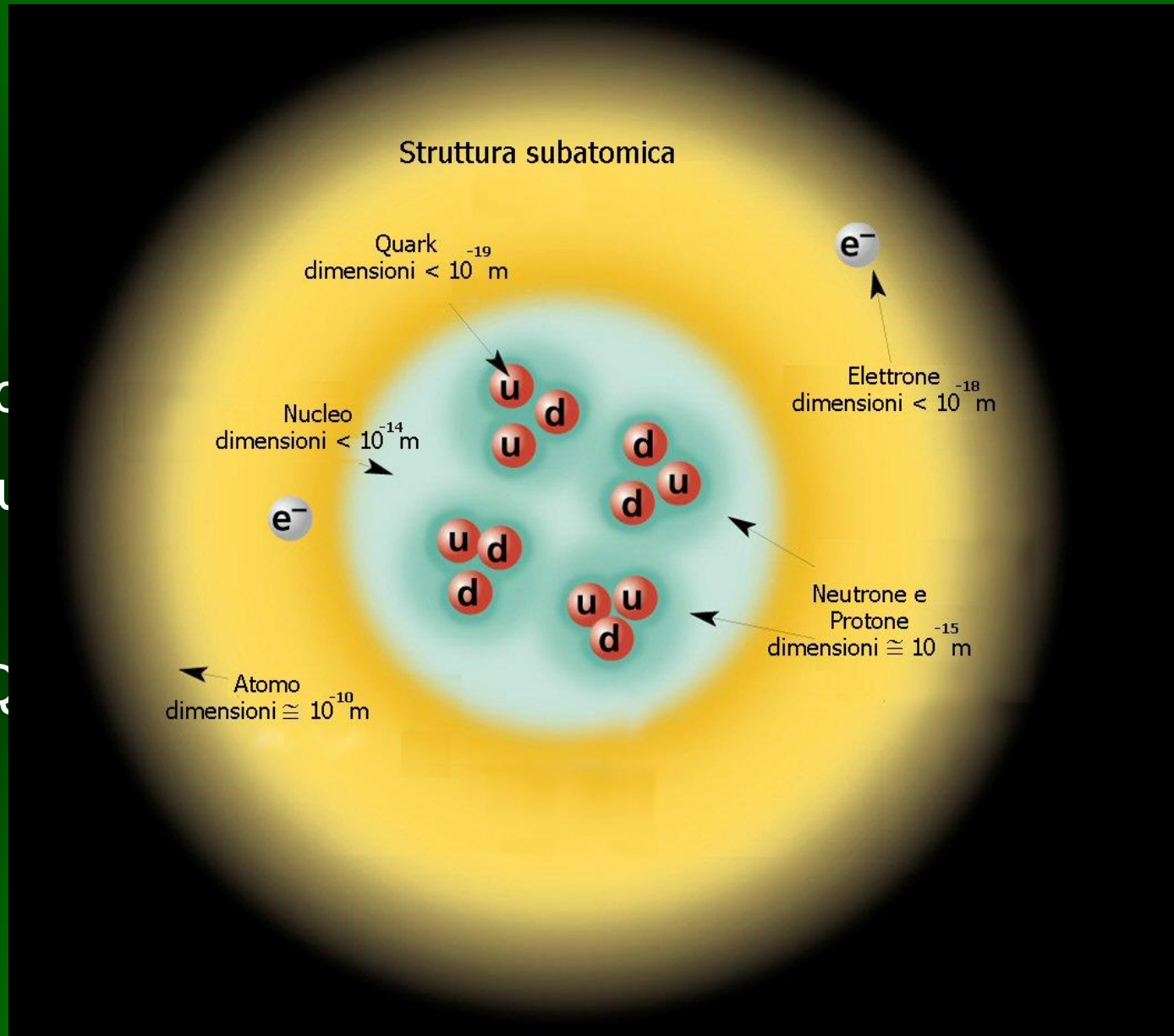
Il BIG BANG fonde le leggi dell'infinitamente grande con quelle dell'infinitamente piccolo e muta la nostra visione dell'Universo facendoci entrare nel Multiverso

Dimensioni del mondo quantistico

Raggio

Nu

Q



10^{-10} m

m

m

Il mondo microscopico e la meccanica quantistica



M. Planck



"Non mi è mai venuto a
che fare" (Erwin Schrödinger, parlando della
meccanica quantistica)

"Penso si possa tranquillamente
affermare che nessuno capisce la
meccanica quantistica" (Richard P.
Feynman)



W. Heisenberg

Il principio di indeterminazione di Heisenberg



In termini matematici si può scrivere come:

$$\Delta p \cdot \Delta x \geq \hbar \text{ dove}$$

➤ $\hbar = h/2\pi = 1,054 \cdot 10^{-27}$ erg sec è la costante di Planck ridotta

➤ Δp rappresenta l'incertezza sulla misura dell'impulso di una particella

➤ Δt rappresenta l'incertezza sulla misura della posizione di una particella

Analogamente alla coppia tempo-energia il principio di Heisenberg vale anche per la coppia posizione-impulso

Dal valore estremamente piccolo di questa costante, h , si può facilmente comprendere che l'effetto di tale principio è irrilevante nel mondo "macroscopico" in cui viviamo.

Determinismo ed indeterminismo

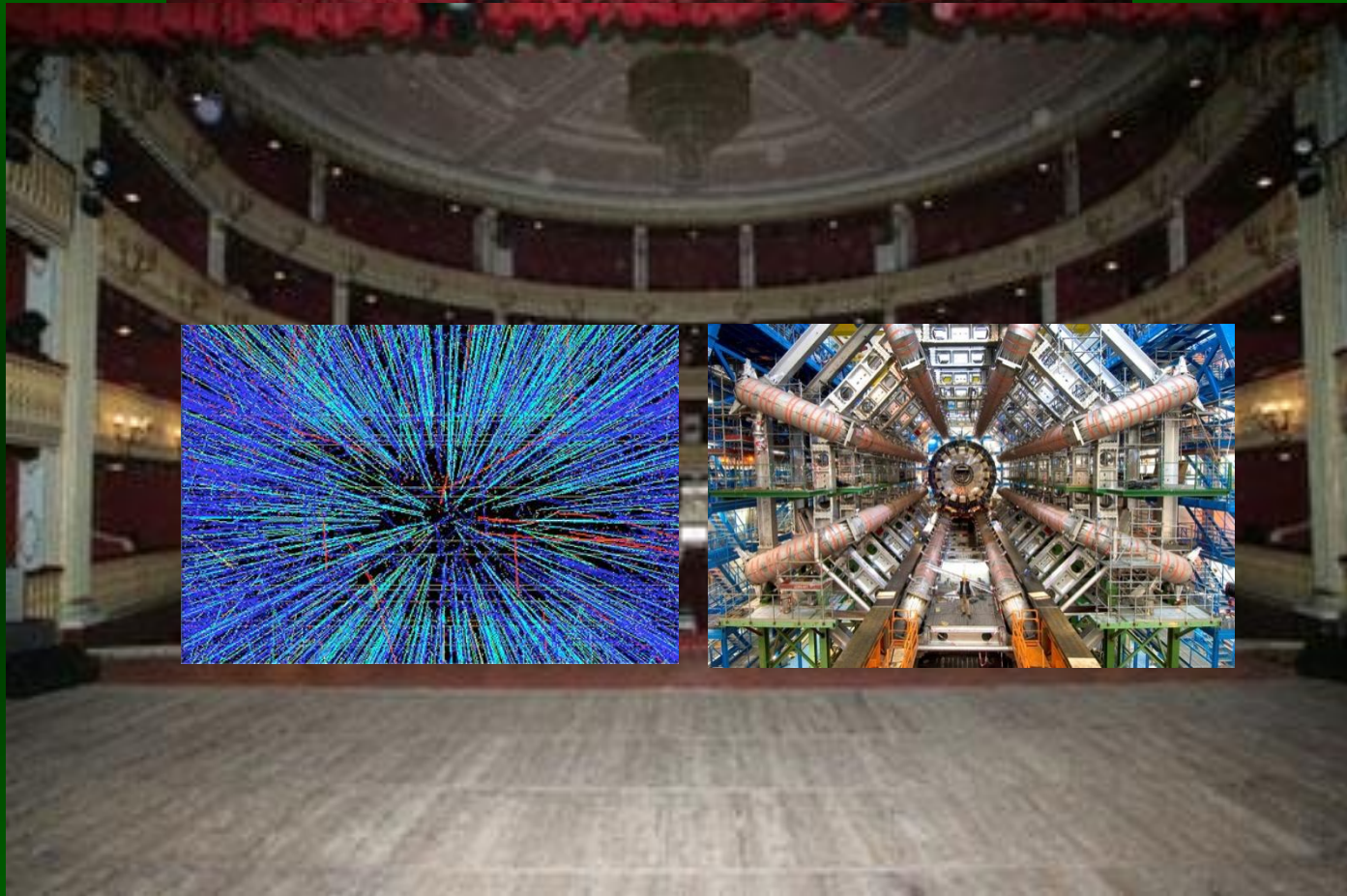


La Meccanica Quantistica non è una "teoria deterministica" e questa è una proprietà fondamentale ed ineliminabile del mondo atomico.

Il fatto che *non possiamo conoscere contemporaneamente posizione e moto oppure energia e tempo di una particella* non deve essere considerata un effetto d'incapacità sperimentale o di una mancanza di risoluzione degli strumenti ma dipende intrinsecamente dalla natura delle cose.

Il grande spettacolo della fisica moderna

Il palcoscenico gli attori e gli spettatori



La terza grande unificazione

Particelle elementari forze non-gravitazionali della natura

Teoria	Interazione	Mediatore	Intensità Relativa	Andamento	Raggio d'azione
Cromo dinamica	Forte	gluone	10^{38}	1	10^{-15} m
Elettro dinamica	Elettromagnetica	fotone	10^{36}	$1/r^2$	infinito
Sapore dinamica	Debole	W^+ W^- e Z (bosoni)	10^{25}	$1/r^5$ a $1/r^7$	10^{-16} m
Geometro dinamica	Gravità	gravitoni	1	$1/r^2$	infinito

Le unità di Planck

Grandezza fisica	Simbolo	Valore
Distanza di Planck	L_{Planck}	$(\hbar G/c^3)^{1/2} \sim 1,6 \times 10^{-33} \text{ cm}$
Tempo di Planck	t_{Planck}	$(\hbar G/c^5)^{1/2} \sim 5,4 \times 10^{-44} \text{ sec}$
Massa di Planck	m_{Planck}	$(\hbar c/G)^{1/2} \sim 2,177 \times 10^{-5} \text{ g}$
Energia di Planck	E_{Planck}	$(\hbar c^5/G)^{1/2} \sim 10^{19} \text{ GeV}$
Temperatura di Planck	T_{Planck}	$E_{\text{Planck}}/k \sim 10^{32} \text{ }^\circ\text{K}$
Densità di Planck	ρ_{Planck}	$m_{\text{Planck}}/(L_{\text{Planck}})^3 \sim 10^{94} \text{ g/cm}^{-3}$

Le costanti fisiche utilizzate nel definire le grandezze di Planck sono
 $\hbar = h/2\pi = 1,054 \cdot 10^{-27} \text{ erg sec} = 1,054 \cdot 10^{-27} \text{ gr cm}^2/\text{sec}$ (costante di Planck)

$c = 2,997 \cdot 10^{10} \text{ cm/sec}$ (velocità della luce)

$G = 6,673 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^3/(\text{gr sec}^2)$ (costante di gravitazione)

$a = 7,565 \cdot 10^{-15} \text{ erg cm}^{-3} \text{ K}^{-4}$ (costante di densità di radiazione)

$k = 1,380 \times 10^{-16} \text{ erg /}^\circ\text{K}$ costante di Boltzmann

$\varepsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ MKS}$ costante dielettrica del vuoto

L'ultima (?) unificazione Spazio-tempo e forze fondamentali

Ovvero come inserire il palcoscenico (spazio-tempo piatto) su cui si svolge la grande recita delle particelle elementari un protagonista anche lui della recita ??

Quantizzazione dello spazio-tempo curvo ???

Distanza di Planck $1,6 \times 10^{-35}$ metri

0,000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 00016 m

Ovvero essendo

Quark $\sim 0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 1\ \text{m} = 10^{-19}\ \text{m}$

0, 000 000 000 000 000 0001 la dimensione dei quark

L'ultima (?) unificazione Spazio-tempo e forze fondamentali

Come far emergere dalla schiuma quantica uno
spazio-tempo regolare a curvatura nulla ??

Il tempo

Come giustificare l'irreversibilità del tempo
nell'universo in cui viviamo ??



L'Universo prima della nascita dello spazio e del tempo

Cosa c'è prima del tempo di Planck ??

$$t_{\text{Planck}} = (\hbar G/c^5)^{1/2} = 5,4 \cdot 10^{-44} \text{ sec}$$

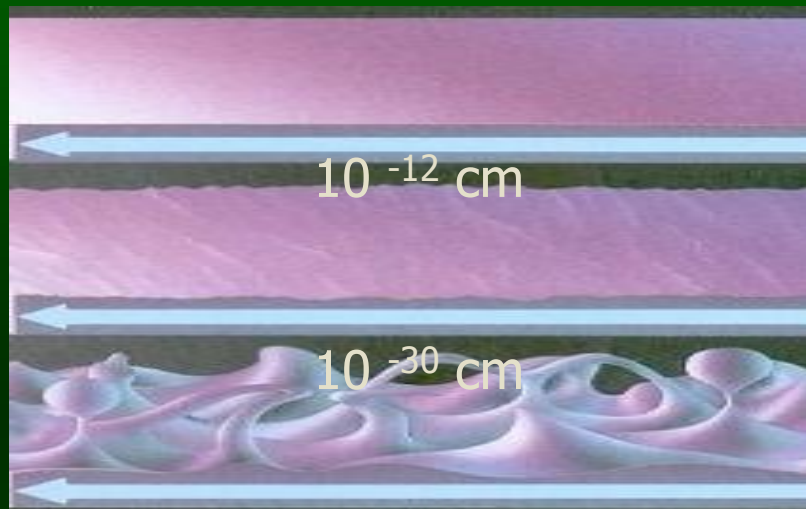
Solo la gravità quantistica potrebbe descrivere l'ingarbugliata "schiuma quantica" alla scala della lunghezza di Planck:

$$L_{\text{Planck}} \sim (\hbar G/c^3)^{1/2} \sim 1,6 \times 10^{-33} \text{ cm}$$

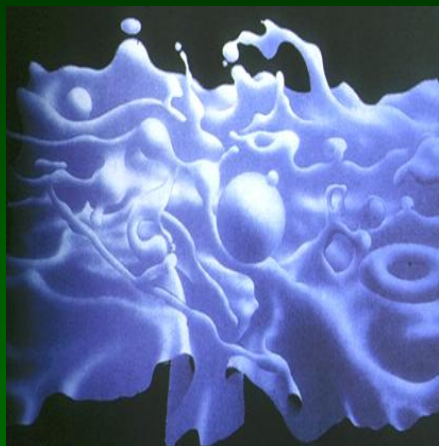
che precede la nascita dello spazio-tempo ! Ma per ora non abbiamo teorie e modelli che sono in grado di descrivere in modo significativo questo stato così complesso.

Quindi il "tempo di Planck" e la "lunghezza di Planck" rappresentano il limite comprensibile all'inizio del tempo e dello spazio.

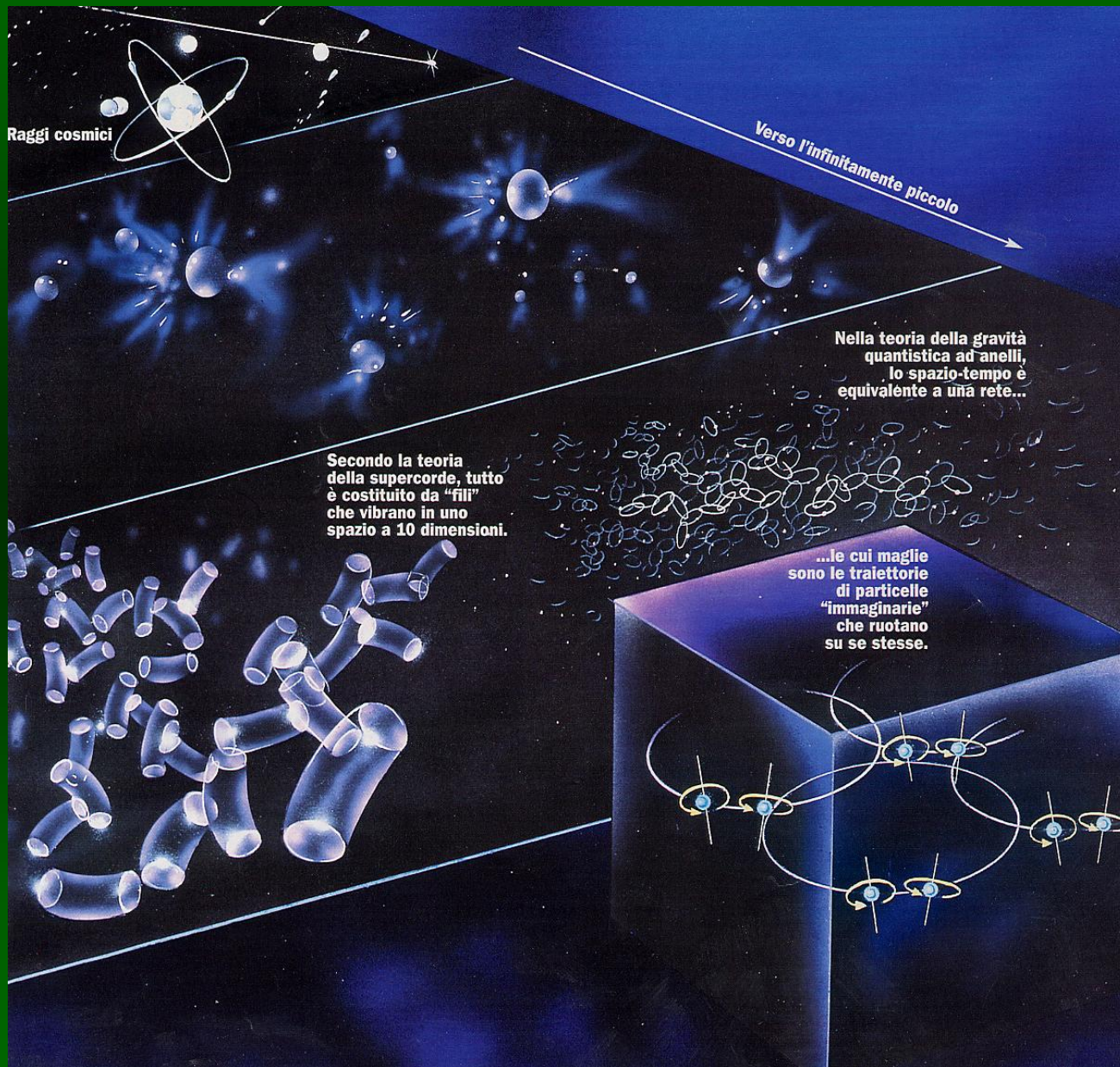
NON esistono un tempo $t=0$ ed un raggio $r=0$!



10^{-33} cm lunghezza di Planck



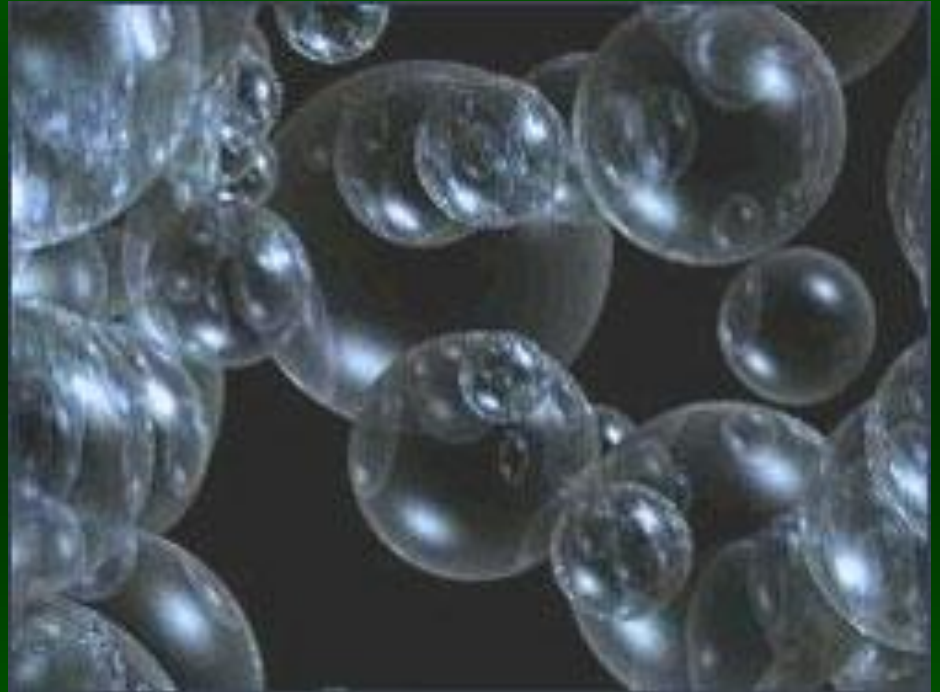
Superstringe e gravità quantistica



Tanti Big Bang ?

Come il nostro cosmo si e' enormemente espanso nei primi istanti , lo stesso potrebbe accadere ovunque e in ogni momento.

Una infinita distesa di spazio da cui emergono bolle di energia, o big bang, semi di tanti universi.





Principio Antropico
Noi nell'Universo o l'Universo è per noi ?

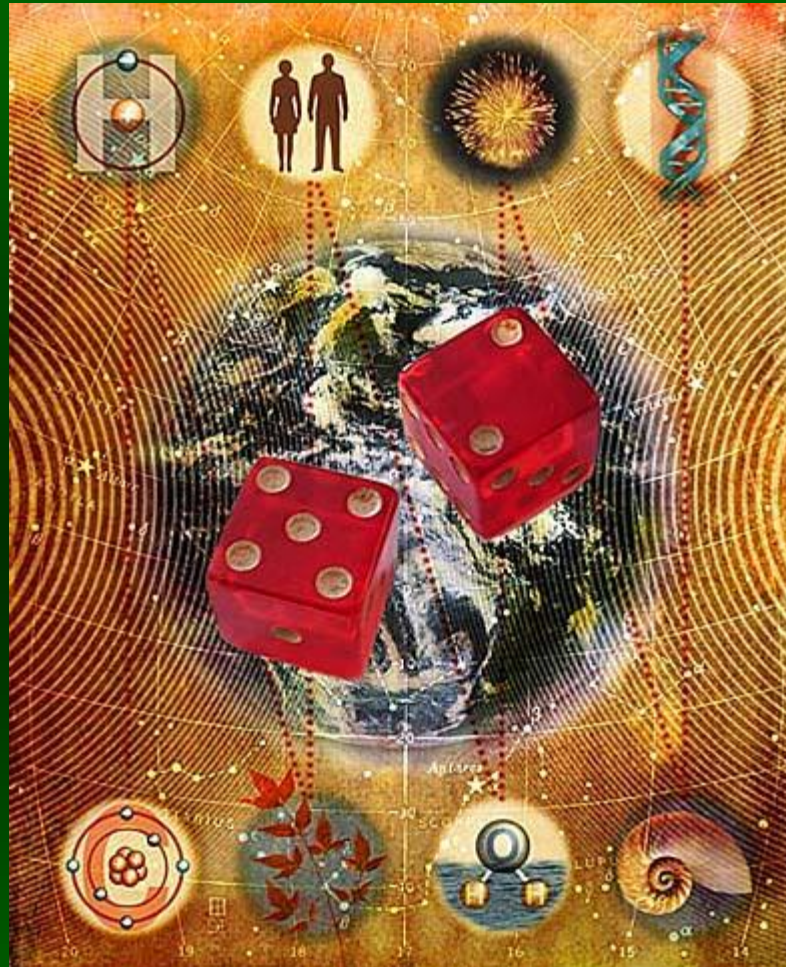
Il nostro Universo



Già nel 1970 l'astrofisico McCrea osservò che abbiamo, evidentemente, un solo Universo da studiare: quello in cui viviamo!

Non possiamo "uscire" dal nostro Universo ed osservare altri Universi per cercare di comprendere se si sono evoluti come il nostro.

Il caso e la necessità



Non possiamo escludere che le proprietà mostrate nel nostro Universo siano dovute al caso.

Il Principio Antropico



Nella sua versione più semplice il Principio Antropico prende atto dell'evidenza:

si possono formare dei tipi di Universo in cui è presente la vita così come noi la conosciamo, tra questi il nostro

Il Principio Antropico: PAD-PAF-PAF

J. Barrow



F. Tipler



J. Barrow e F. Tipler nel 1986 hanno proposto tre forme del Principio Antropico:

- Principio Antropico Debole (PAD)
- Il Principio Antropico Forte (PAF)
- Il Principio Antropico Finale (PAF)

Il Principio Antropico debole



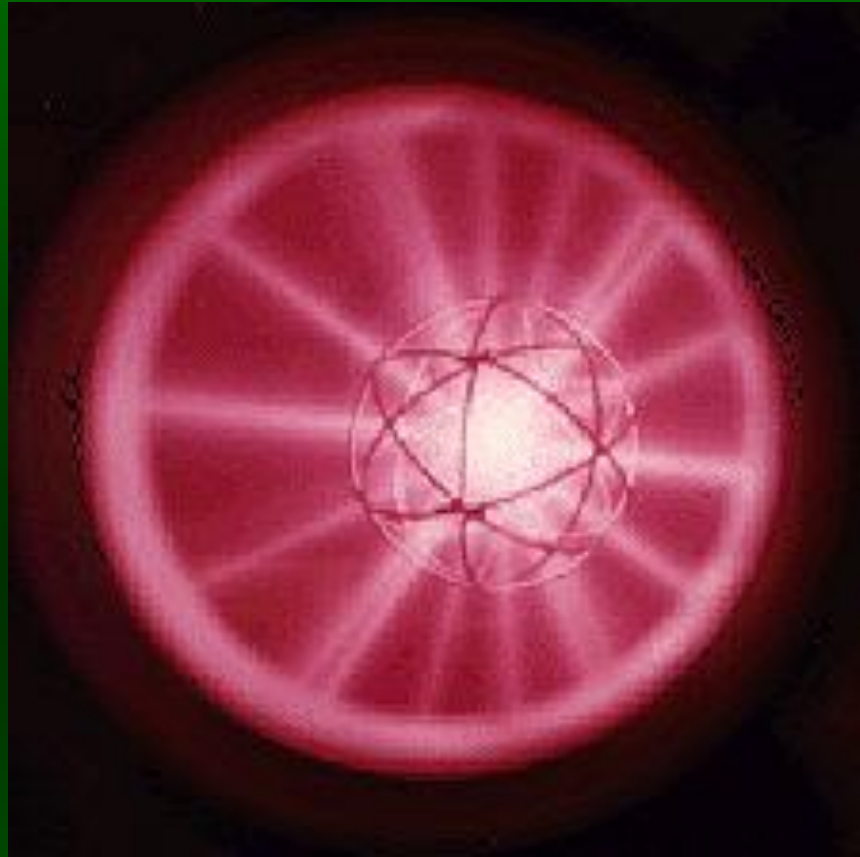
Principio Antropico Debole (PAD): *"I valori osservati di tutte le costanti fisiche non sono tutti ugualmente probabili DEVONO AVERE questi valori per potere rendere possibile la vita basta sul carbonio e quindi l'Universo ha parametri tali da permettere l'evoluzione ed espansione per tempi sufficientemente lunghi da permettere l'emergere della vita".*

Il Principio Antropico Forte



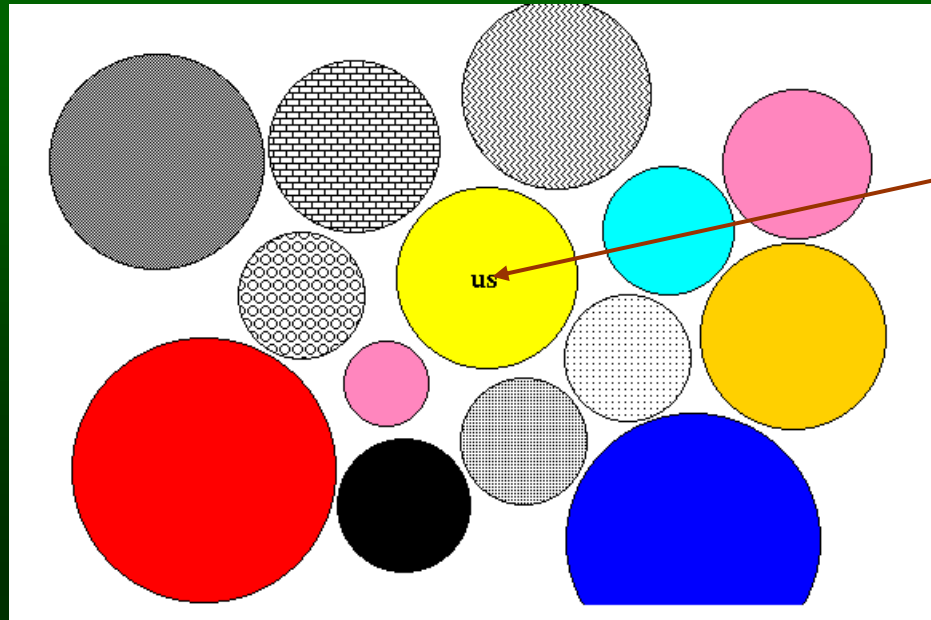
Il Principio Antropico Forte (PAF): *"L'Universo DEVE avere quelle proprietà tali da permettere lo sviluppo della vita ad una data fase della sua esistenza".*

Il Principio Antropico Finale



Il Principio Antropico Finale (PAF): *"il processo di sviluppo dell'intelligenza è strettamente legata a quello dell'Universo inoltre lo sviluppo dell'Universo DEVE permettere alla vita intelligente di esistere per sempre"*

Il Principio Antropico



Il "nostro"
Universo

Il Principio Antropico, dà un riferimento entro cui motivare le coincidenze, apparentemente incredibili, che permettono la nostra presenza in un Universo che appare essere perfettamente impostato per la nostra esistenza.

Tutto, a partire dal valore della costante di struttura fine , fino all'esatto livello della forza nucleare debole, sembra fatto su misura per permetterci di esistere.

Il Principio Antropico stabilisce che la ragione per cui siamo qui a riflettere su questi argomenti, è dovuta al fatto che tutte le variabili corrette sono al loro posto. Secondo i critici, questa è semplicemente una tautologia un modo molto complicato di dire "se le cose fossero differenti, sarebbero differenti".

Le costanti fisiche fondamentali

Costante fisica	simbolo	valore c.g.s.	valore M.K.S.
velocità della luce	c	$2,9979 \times 10^{10}$ cm/sec	$2,9979 \times 10^8$ m/sec
costante di Planck	h	$6,6262 \times 10^{-27}$ erg sec	$6,6262 \times 10^{-34}$ J sec
costante di Planck razionalizzata	$h/2\pi = \hbar$	$1,0545 \times 10^{-27}$ erg sec	$1,0545 \times 10^{-34}$ J sec
carica dell'elettrone	e	$4,8032 \times 10^{-10}$ esu	$1,6021 \times 10^{-19}$ C
massa dell'elettrone	m_e	$9,1095 \times 10^{-28}$ gr	$9,1095 \times 10^{-31}$ Kg
rapporto tra carica e massa dell'elettrone	e/m_e	$5,2727 \times 10^{17}$ esu/gr	$1,7587 \times 10^{11}$ C/Kg
costante gravitazionale	G	$6,6732 \times 10^{-8}$ dyn cm ² gr ⁻²	$6,6732 \times 10^{-11}$ N m ² Kg ⁻²
massa protone	m_p	$1,660 \times 10^{-24}$ gr	$1,660 \times 10^{-27}$ Kg
costante di struttura fine	α	1/137	1/137
raggio dell'elettrone	$r_e = \frac{e^2}{m_e c^2}$	$2,8179 \times 10^{-13}$	$2,8179 \times 10^{-15}$

Le costante di struttura fine



Di tutte le costanti una è particolarmente interessante. Si tratta della costante di struttura fine α definita come una opportuna combinazione di altre costanti fondamentali:

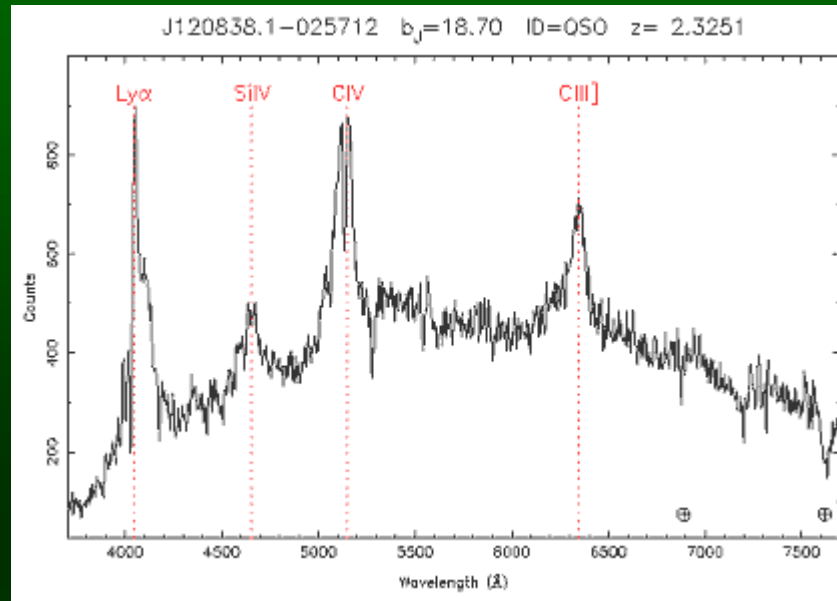
$$\alpha = (2\pi e^2)/hc$$

Questa costante è un numero puro il cui valore è dato da:

$$\alpha \sim 1/137$$

La sua proprietà consiste nel regolare la energia totale degli elettroni in orbita attorno al nucleo atomico !

La costante di struttura fine varia ???



Un esempio di
spettro di una
Quasar

J. Webb e M. Murphy hanno osservato gli spettri dei quasars distanti per verificare se la costante di struttura fine cambia α nel tempo.

Poiché la luce emessa dai Quasars ha viaggiato per miliardi di anni ecco che si può anche pensare che gli spettri dei quasar possano essere diversi (se varia α) da quelli osservati qui, oggi !

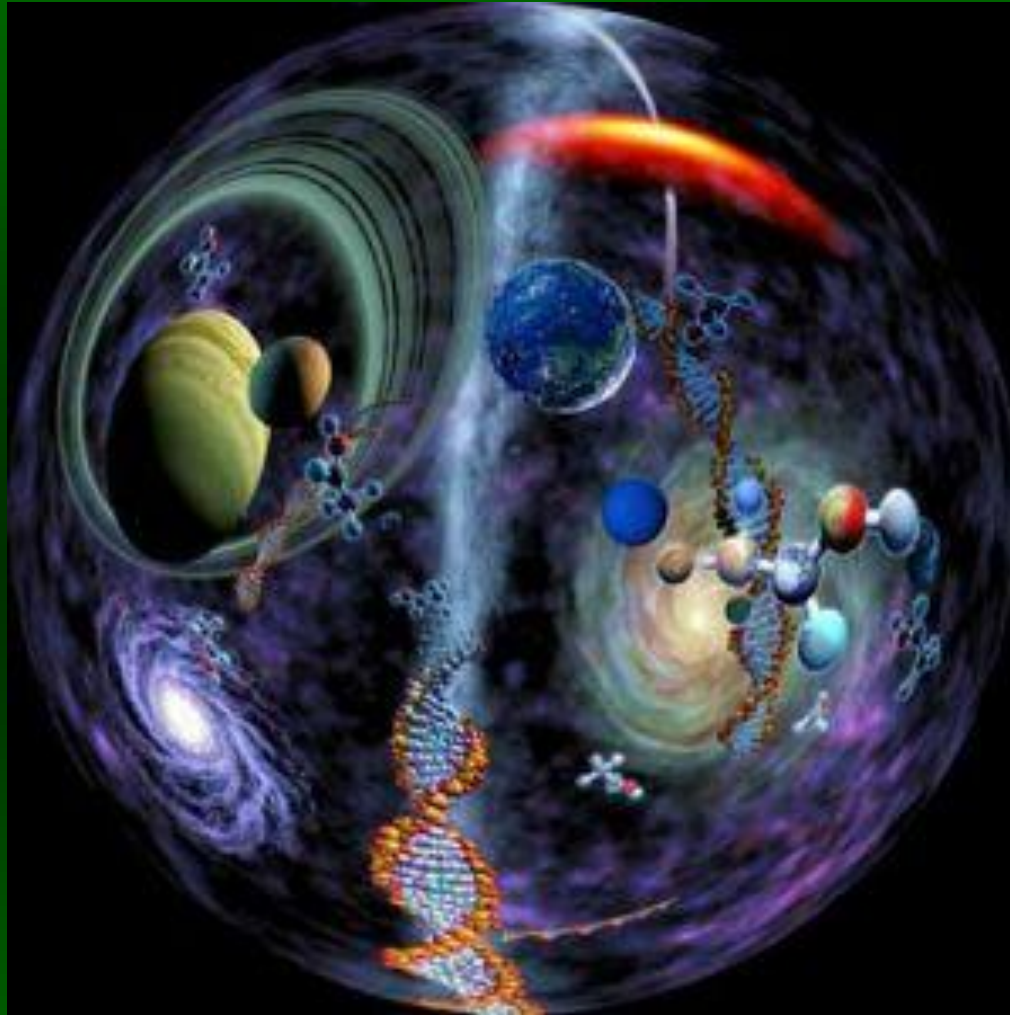
Le misure paragonano la posizione degli spettri delle quasars con quelli di laboratorio per stabilire una eventuale variazione di α nel tempo!

Le osservazioni di 128 Quasars misurano che la variazione di α deve essere di 0,00001 per gli ultimi 11 miliardi di anni

Un Universo "su misura" per noi ?



La (rap)presentazione è finita



... o è appena iniziata ?

Evoluzione dell'Universo



Infiniti inizi ?

Forse il nostro non
è l'unico universo.

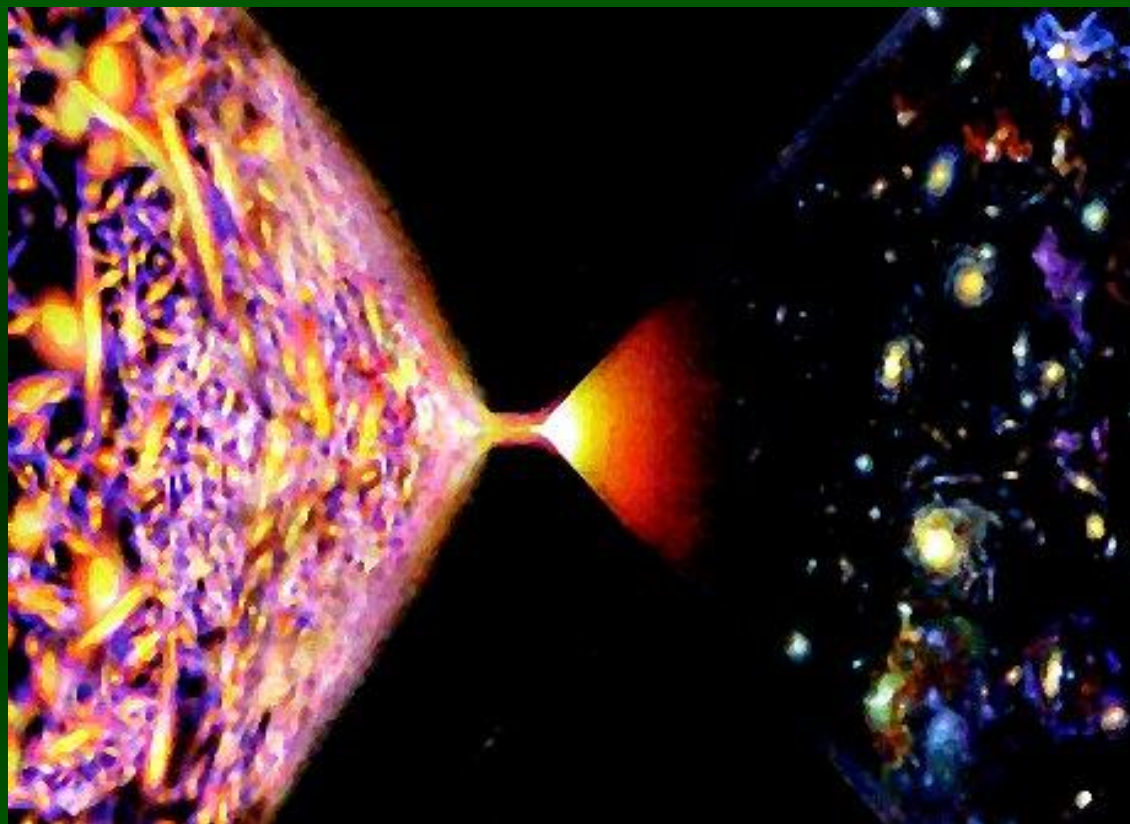
Il Big Bang da cui ebbero
origine lo spazio e il tempo
che conosciamo potrebbe
essere stato solo uno degli
infiniti inizi che generano

infiniti universi



Vorrei cambiare il mio universo

La presentazione è terminata



Grazie