

I MOTI DELLA TERRA



Isabella Masina

Università degli Studi di Ferrara & INFN Sez. Ferrara



Liceo Roiti, Ferrara, 17/04/2023

I MOTI DELLA TERRA

ovvero

“chiacchierata estemporanea” ~~dialogo~~ sui massimi sistemi
per il progetto Art & Science across Italy – INFN & CERN

Scopo: promuovere la cultura scientifica tra le studentesse e gli studenti delle scuole secondarie di II grado, coniugando i linguaggi dell'arte e della scienza

<https://artandscience.infn.it/il-progett>
o/

Come si muove la Terra, e rispetto a cosa?
La risposta dipende dal gatto ...

A stylized illustration of two cats sitting on a red-tiled rooftop at night. The cat on the left is grey and the one on the right is white. They are looking towards a large, bright yellow full moon in a dark blue sky filled with stars. In the background, there are silhouettes of buildings with some windows glowing yellow. The overall style is simple and whimsical.

Gatto
astronomo

Gatto
cosmologo

ASTRONOMIA

1. Moti della Terra rispetto al Sole,
2. del Sistema Solare rispetto alla Galassia,
3. della Via Lattea rispetto alle galassie «vicine» ($<10^9$ anni luce)

Velocità astronomiche: 0.3-300 km/s

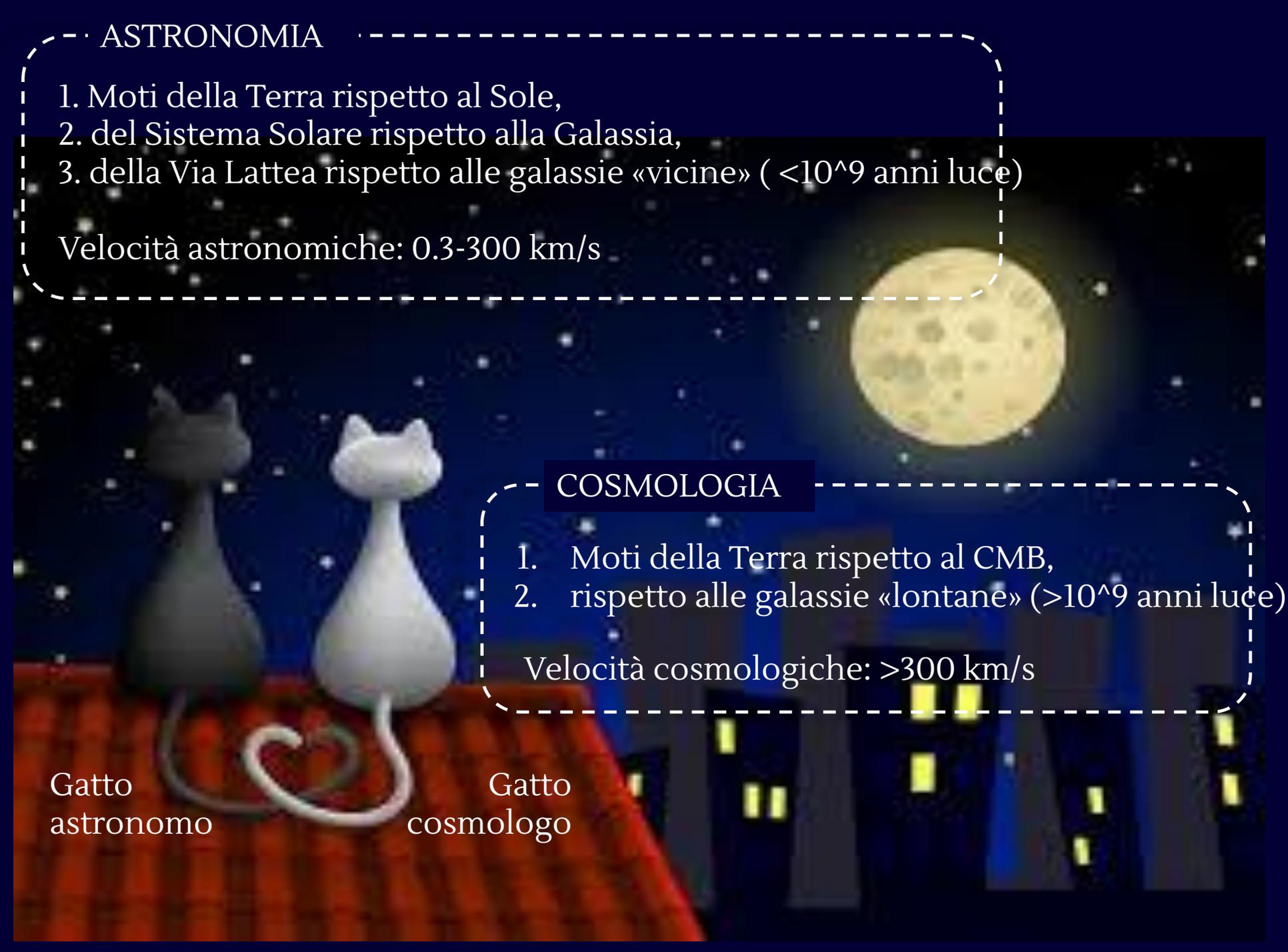
COSMOLOGIA

1. Moti della Terra rispetto al CMB,
2. rispetto alle galassie «lontane» ($>10^9$ anni luce)

Velocità cosmologiche: >300 km/s

Gatto
astronomo

Gatto
cosmologo



ASTRONOMIA

- Un video ispirante: «**How the Solar System really moves (Update!)**»



<https://www.youtube.com/watch?v=fJuaPyQFrYk>

ASTRONOMIA 1: Terra-Sole

... facciamo un po' di
domande!

ASTRONOMIA 1: Terra-Sole

... facciamo un po' di domande!

Quali velocità per i moti di ROTAZIONE e RIVOLUZIONE ?
(in Italia)

1) 3 m/s

2) 0.3 km/s

3) 30 km/s

1) 1 km/s

2) 30 km/s

3) 3000 km/s

ASTRONOMIA 1: Terra-Sole

... facciamo un po' di domande!

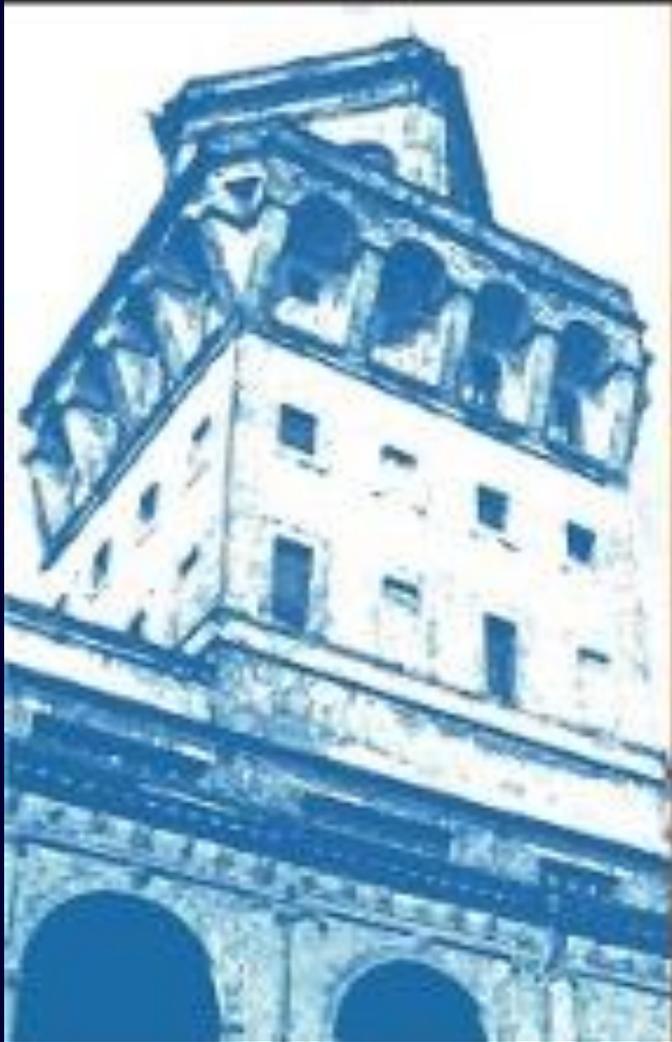
Chi ha avuto il «colpo di genio» dell'eliocentrismo (rotazione+rivoluzione)?

1) Aristarco di Samo (III sec a.C)

2) Copernico

3) Galileo

...studiando a Bologna (da un prof di Ferrara)!



<https://www.youtube.com/watch?v=j4iER8yG27A>

ASTRONOMIA 1: Terra-Sole

... facciamo un po' di domande!

Perché il sistema di Aristarco non è stato subito accettato?

a) altri sistemi «concorrenti» funzionavano molto meglio:

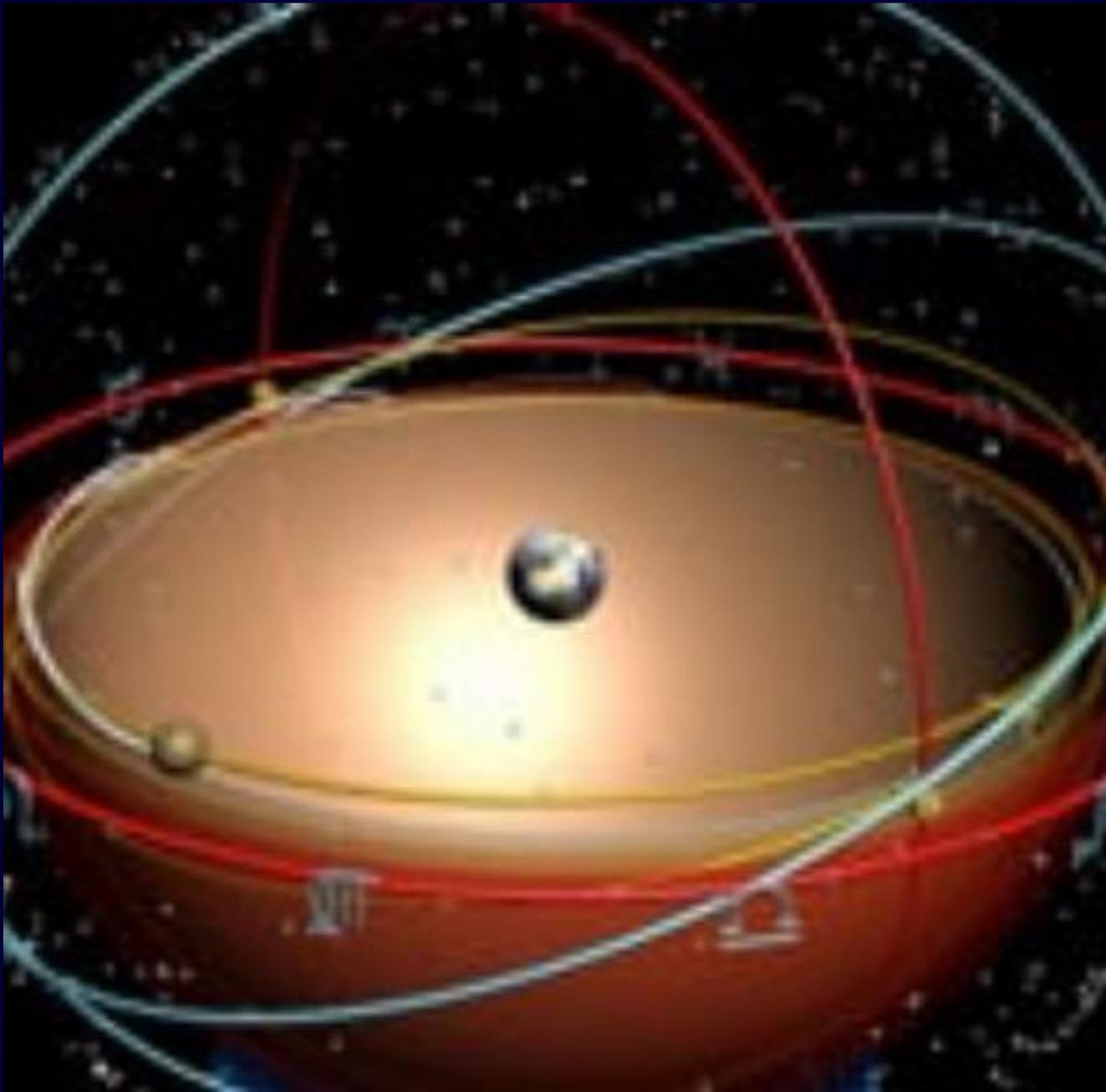
1) Eudosso-Callippo (IV sec a.C.): sfere omocentriche

2) Apollonio-Ipparco (III sec.a.C.) (Tolomeo): epicicli, deferenti, eccentrici

b) mancavano le prove:

Critica (III sec a.C.) alla rivoluzione: perché non si vedono parallassi?

Risposta di Aristarco: le stelle fisse sono troppo lontane...



<https://vimeo.com/497716584>

ASTRONOMIA 1: Terra-Sole

... facciamo un po' di domande!

Allora cosa ha fatto Copernico?

Non ha fornito nessuna prova, ma ha aggiunto al sistema di Aristarco epicicli, deferenti etc per farlo funzionare bene



<https://www.astronomia.com>

E Keplero cosa ha fatto?

Non ha fornito nessuna prova, ma ha capito che le orbite ellittiche (3 leggi, 1609-1619) funzionavano benissimo

Baratteremmo una teoria complicata ma che prediceva bene le osservazioni (Modello Standard di Tolomeo) con una teoria più semplice che prediceva le osservazioni meno buone (Aristarco)?
o con una complicazione che prediceva le osservazioni della teoria semplice (Copernico, Keplero)?

Solo se la teoria semplice facesse predizioni osservabili!

ASTRONOMIA 1: Terra-Sole

... facciamo un po' di domande!

Allora cosa ha fatto Copernico?

Non ha fornito nessuna prova, ma ha aggiunto al sistema di Aristarco epicicli, deferenti etc per farlo funzionare bene



<https://www.astronomia.com>

E Keplero cosa ha fatto?

Non ha fornito nessuna prova, ma ha capito che le orbite ellittiche (3 leggi, 1609-1619) funzionavano benissimo

Galileo credeva erroneamente che le maree fossero una prova della rivoluzione...

(non accettò mai le orbite ellittiche di Keplero: diceva che alcuni dei suoi argomenti fossero «piuttosto a diminuzione della dottrina del Copernico che a stabilimento»)

ASTRONOMIA 1: Terra-Sole

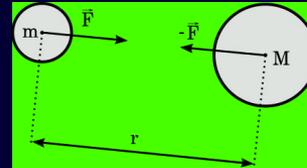
... facciamo un po' di domande!

E allora quale «colpo di genio» ha «sbloccato» la situazione?

(1686, Principia): LA MASSA SECONDO NEWTON (o Hooke?)

Legge di gravitazione universale

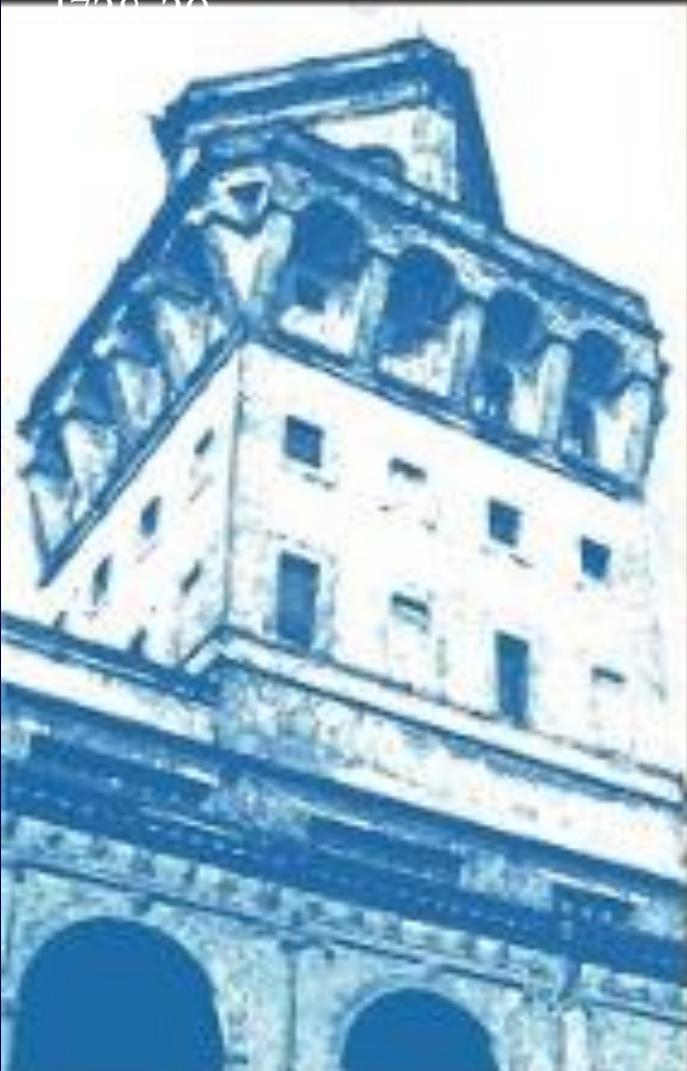
$$\vec{F} = -G \frac{mM}{r^2} \hat{r}$$



□ leggi di Keplero

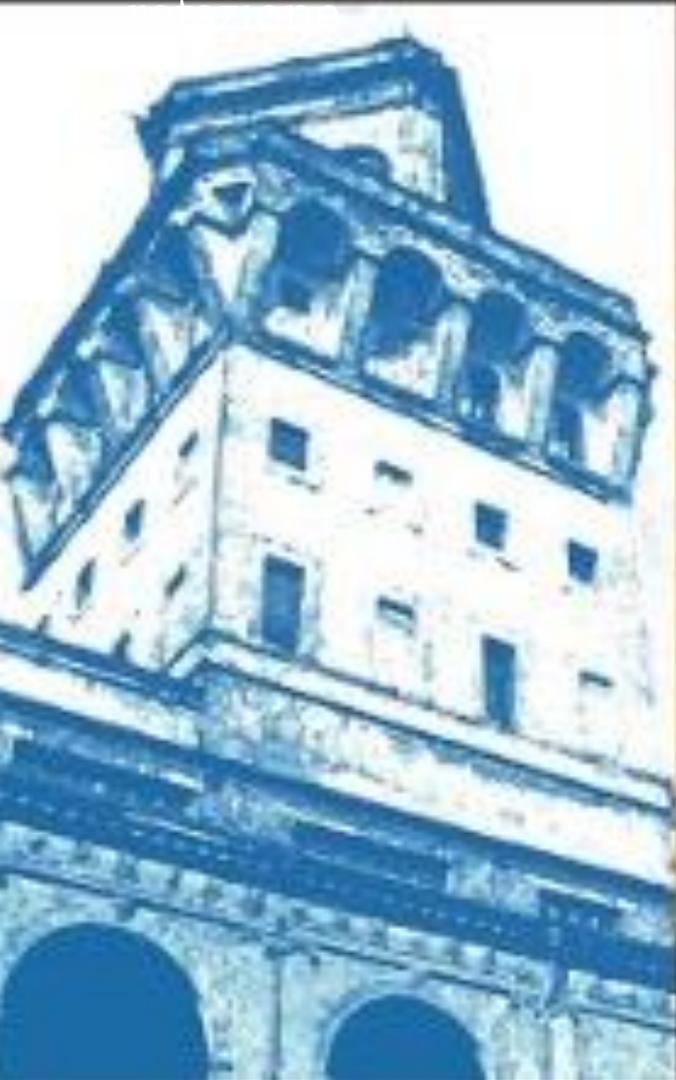
Intanto nessuno trovava parallassi... finche' a Bologna...

Nel 1727-28 Eustachio Manfredi scopre un fenomeno annuale legato alla rivoluzione che chiama aberrazione (pubblicato solo nel 1729 per ritardi con il referse romano)
Fenomeno studiato (dopo), spiegato(!) e pubblicato (prima) da James Bradley nel 1729-30



<https://www.youtube.com/watch?v=YODuOMgRmPo>

Nel 1790-92 Giovanni Battista Guglielmini fornisce una prova della



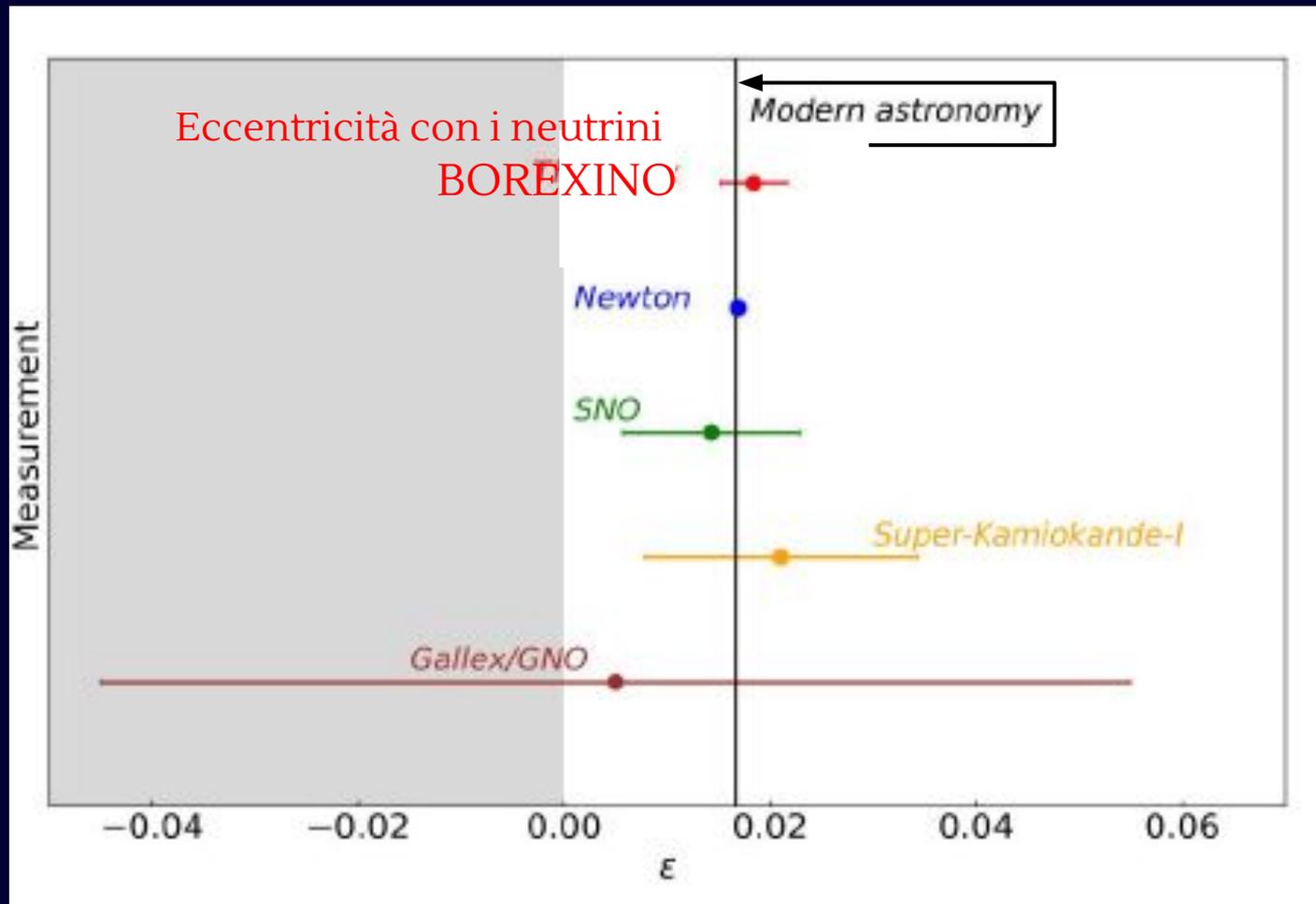
<https://www.youtube.com/watch?v=3Q2k874xsVw>

Foucault 1851 (fenomeno osservato da Viviani, ma senza collegarlo alla rotazione)

... torniamo ai nostri giorni!

Tutti i parametri dell'orbita della Terra rispetto al Sole sono misurati benissimo

Addirittura con i neutrini!

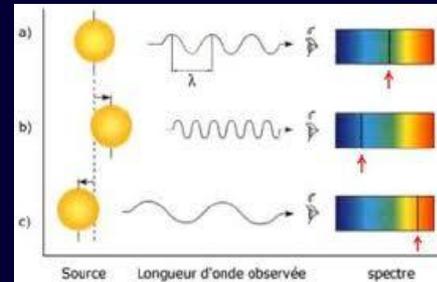


ASTRONOMIA 2: Sistema Solare-Galassia

Cataloghi di stelle per mappare la galassia Herschel (1785)

Misure di luminosità e redshift (effetto Doppler) permettono di ricostruire le informazioni alla base del video iniziale ($v=230$ km/s)

Redshift = misura della velocità di allontanamento



ASTRONOMIA 3: Via Lattea-altre galassie

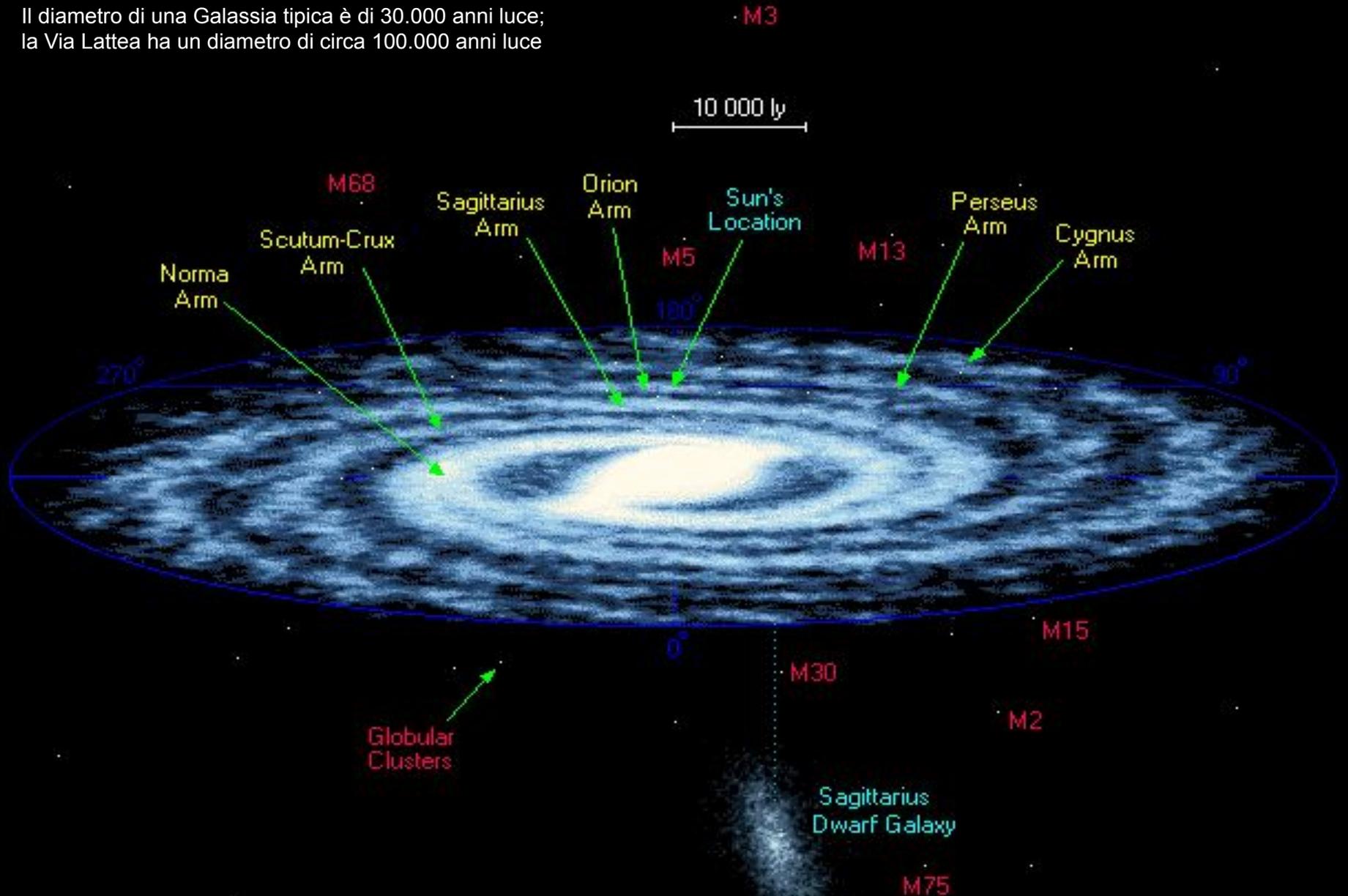
Andromeda è una galassia esterna (1917, Curtis) + Cataloghi di galassie

Legge di Lemaitre-Hubble sull'espansione dell'Universo (1927-29)

... andiamo a vedere!

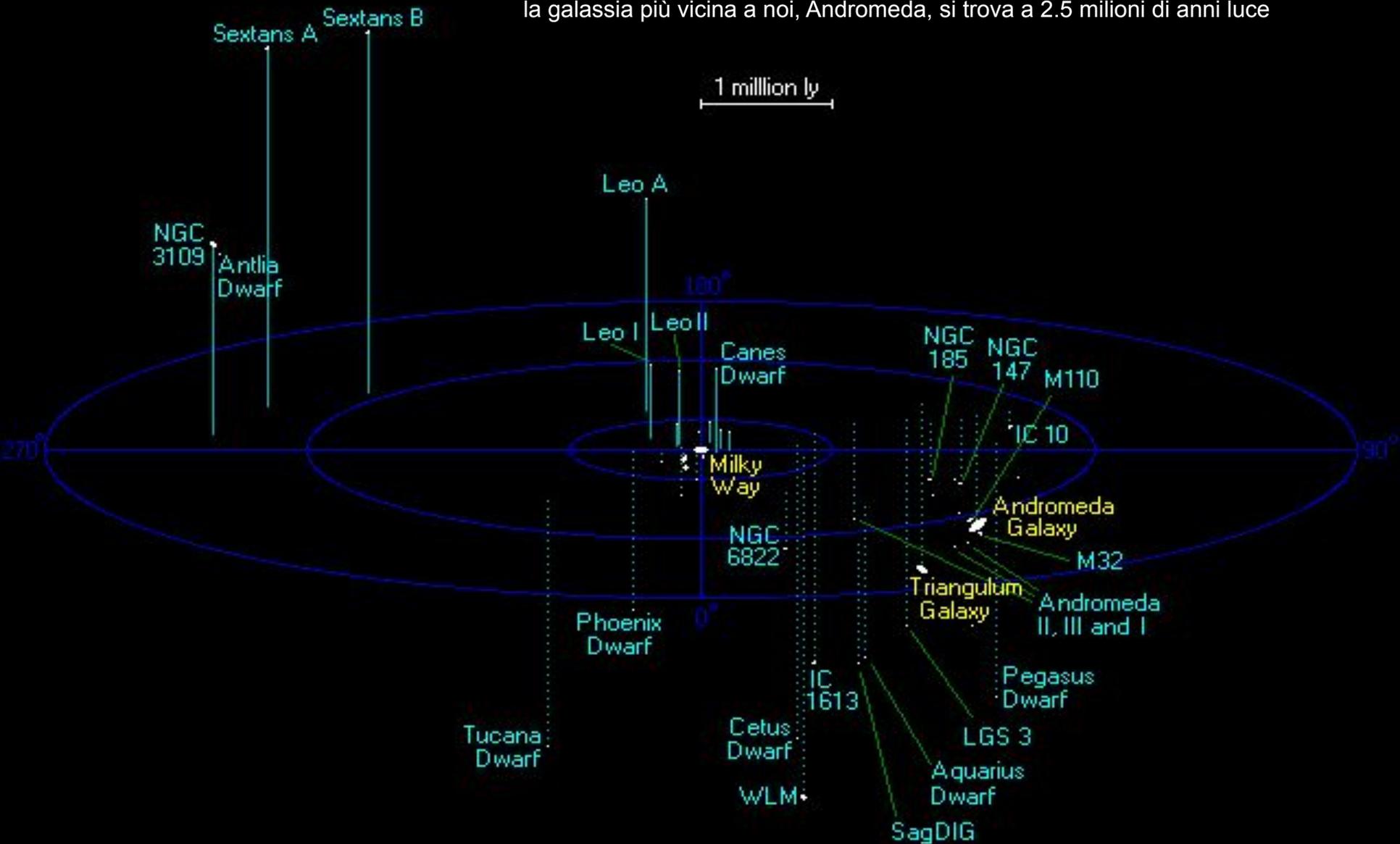
LA NOSTRA GALASSIA

Il diametro di una Galassia tipica è di 30.000 anni luce;
la Via Lattea ha un diametro di circa 100.000 anni luce

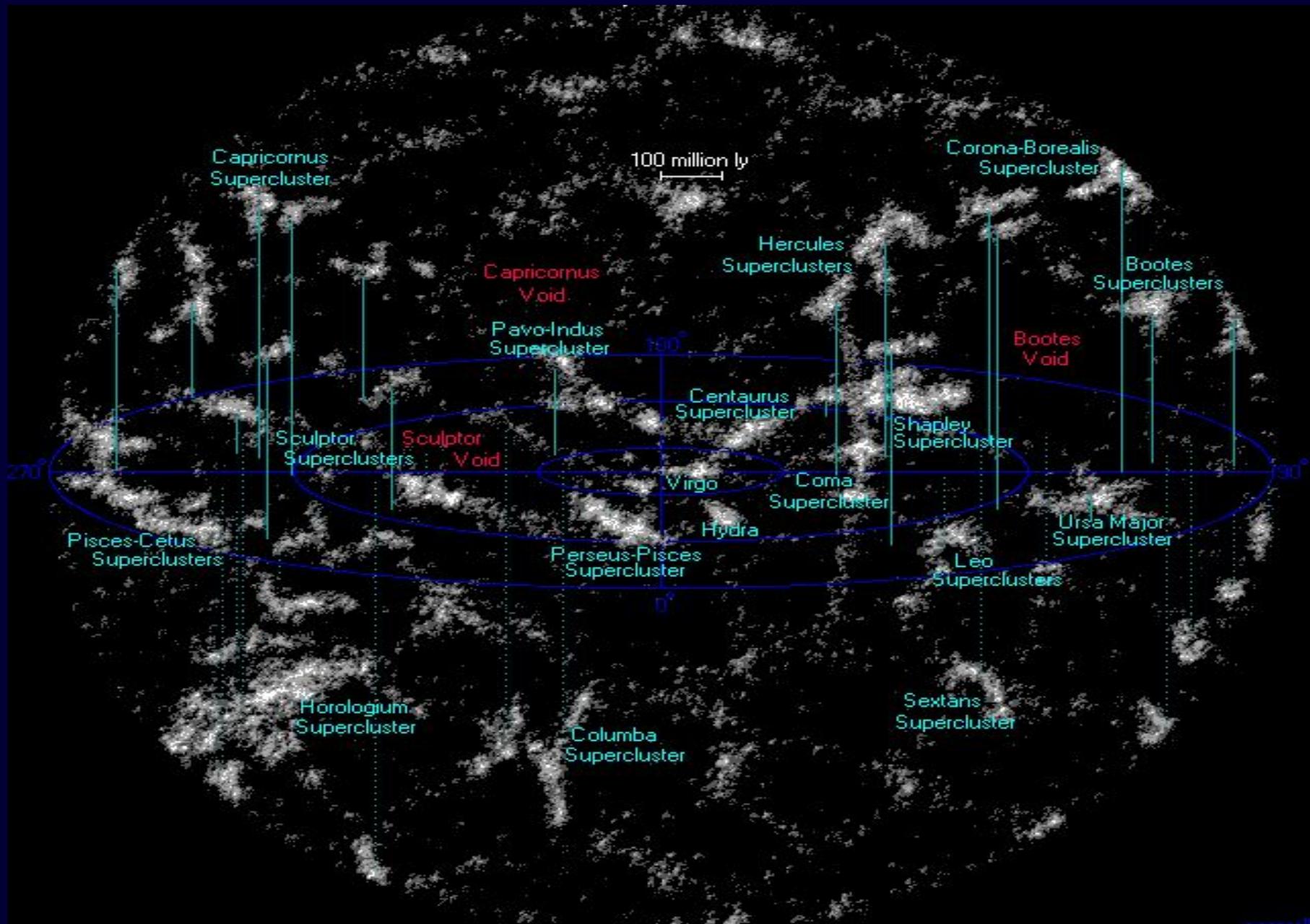


IL "GRUPPO LOCALE" DI GALASSIE

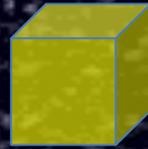
la distanza tipica tra due galassie vicine è di 3 milioni di anni luce;
la galassia più vicina a noi, Andromeda, si trova a 2.5 milioni di anni luce



I "SUPER-AMMASSI" DI GALASSIE E I "VUOTI"



1 miliardo di anni luce



Su distanze > 1 miliardo di anni luce
l'Universo appare
OMOGENEO E ISOTROPO

SIMULAZIONE DELL'UNIVERSO ALLA STESSA EPOCA COSMICA

1 miliardo di anni luce (300 Mpc)



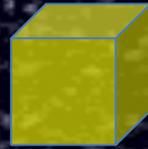
ASTRONOMIA

Virgo
Supercluster

Cosmologia

SIMULAZIONE DELL'UNIVERSO ALLA STESSA EPOCA COSMICA

1 miliardo di anni luce (300 Mpc)



PRINCIPIO COSMOLOGICO

ALLA STESSA EPOCA COSMICA
E SU DISTANZE ABBASTANZA GRANDI,
L'UNIVERSO E' **OMOGENEO ED ISOTROPO**

OSSIA: le proprietà generali dell'Universo appaiono le stesse a tutti gli osservatori che, posti in **qualsunque punto** alla stessa epoca cosmica, lo guardano in **qualsunque direzione**

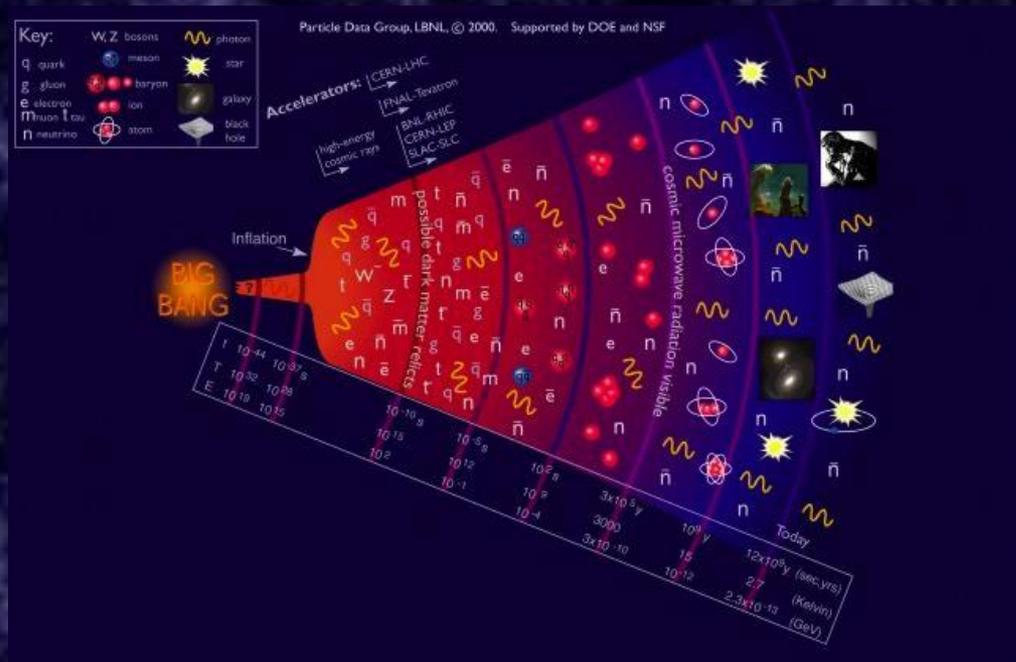
DUNQUE: generalizza il **PRINCIPIO COPERNICANO** "La Terra non occupa una posizione centrale nell'Universo" poiché dice che **NON ESISTE UN CENTRO**

Inizi del XX sec: COSMOLOGIA

studia l' **UNIVERSO** NEL SUO INSIEME

del quale tenta di spiegare:

- 1) Forma
- 2) Origine
- 3) Composizione
- 4) Evoluzione



Inizi del XX sec: COSMOLOGIA

studia l' **UNIVERSO** NEL SUO INSIEME

E' basata su

1) una buona TEORIA della GRAVITA', **la Relatività Generale**

PRINCIPIO COSMOLOGICO



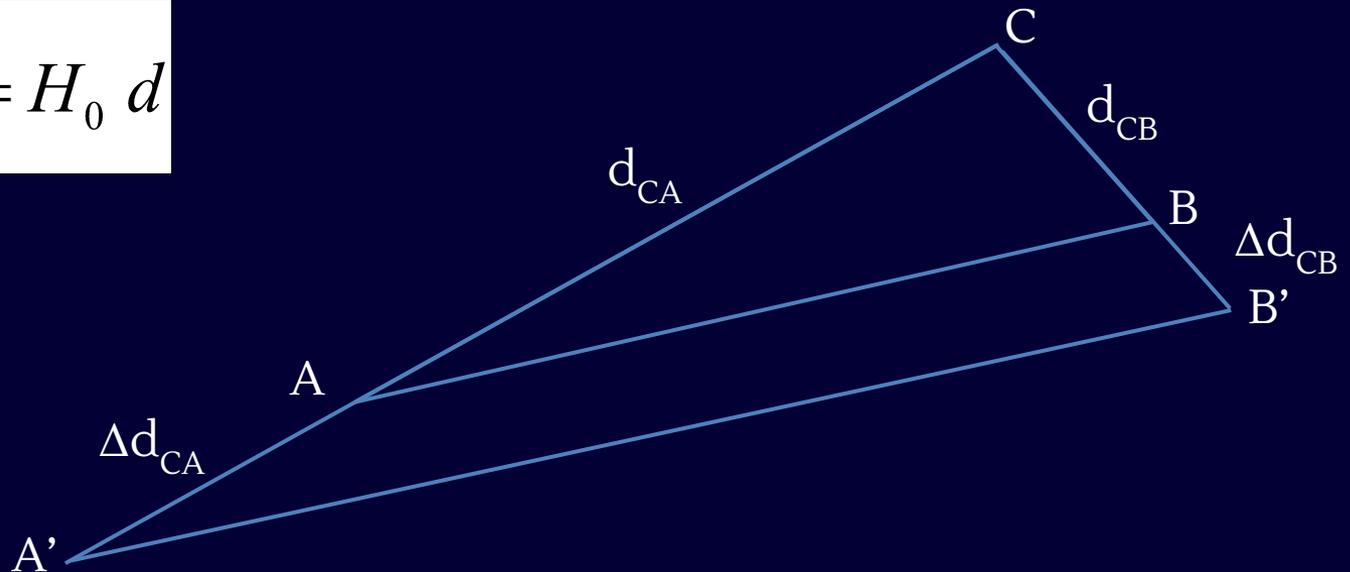
2) DATI OSSERVATIVI su distanze **≥ 1 miliardo di anni luce**

PRINCIPIO COSMOLOGICO

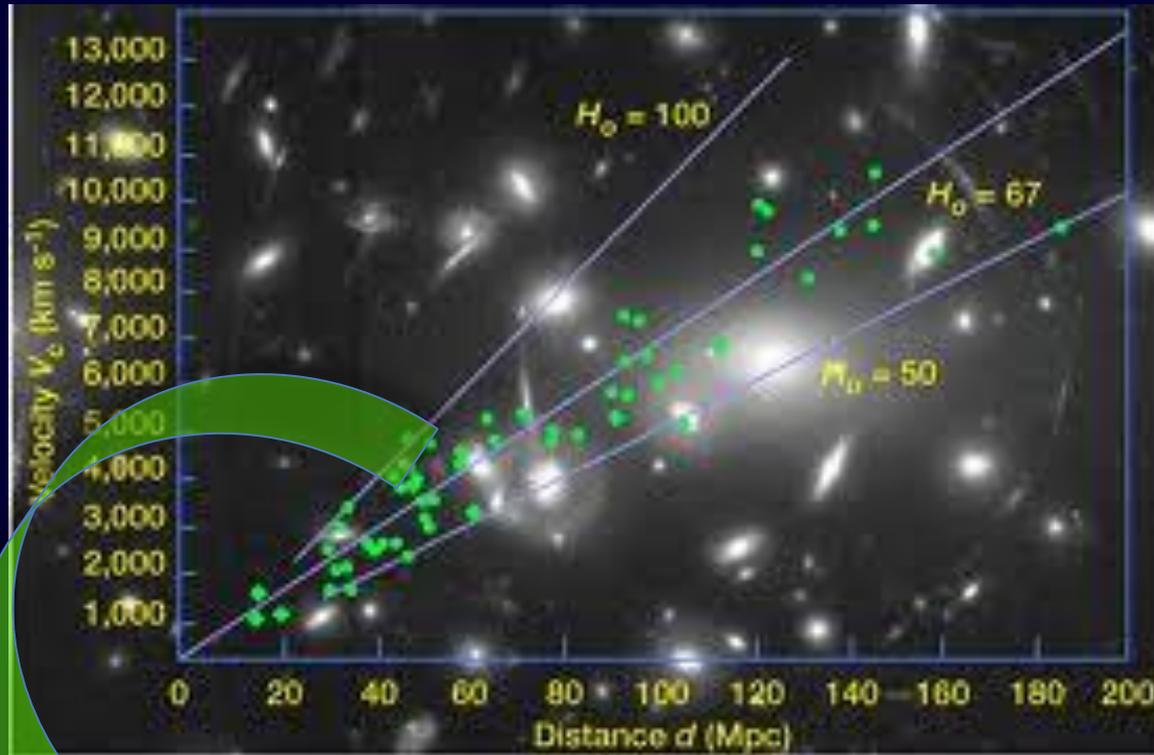
CONSEGUENZE:

- 1) limita il numero di teorie cosmologiche possibili
- 2) prevede che, se l'universo si espande, può farlo SOLO seguendo la legge di Lemaitre-Hubble

$$v = \frac{\Delta d}{\Delta t} = H_0 d$$



ESPANSIONE OSSERVATA (1929)



(Lemaitre 1927)

Hubble
misura
distanza e
redshift di
alcune cefeidi



PRINCIPIO
COSMOLOGICO
SUPPORTATO

$$\frac{v}{d} = H_0 \approx \frac{6\%}{\text{miliardo di anni}}$$

An illustration of two cats, one grey and one white, sitting on a red-tiled rooftop at night. They are looking up at a dark blue sky filled with stars and a large, bright yellow full moon. In the background, a city skyline is visible with several buildings and lit windows. Two blue speech bubbles are positioned above the cats, containing text. The overall scene is a whimsical representation of astronomy and cosmology.

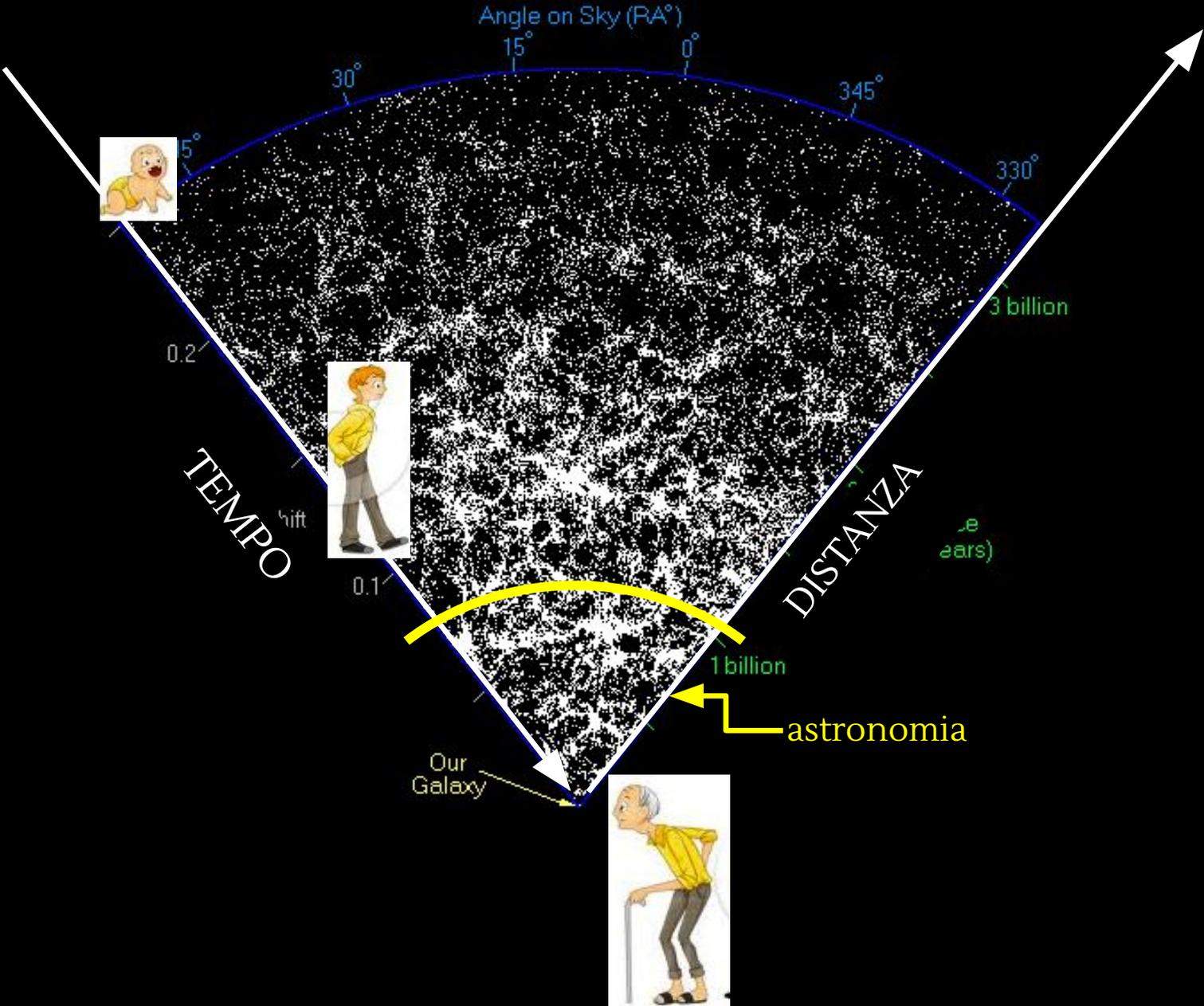
Guarda la Luna,
Giove, Venere,
Sirio,
Andromeda,
etc...

Ma sono tutti dettagli
accidentali locali..
Guarda lontano,
indietro nel tempo!

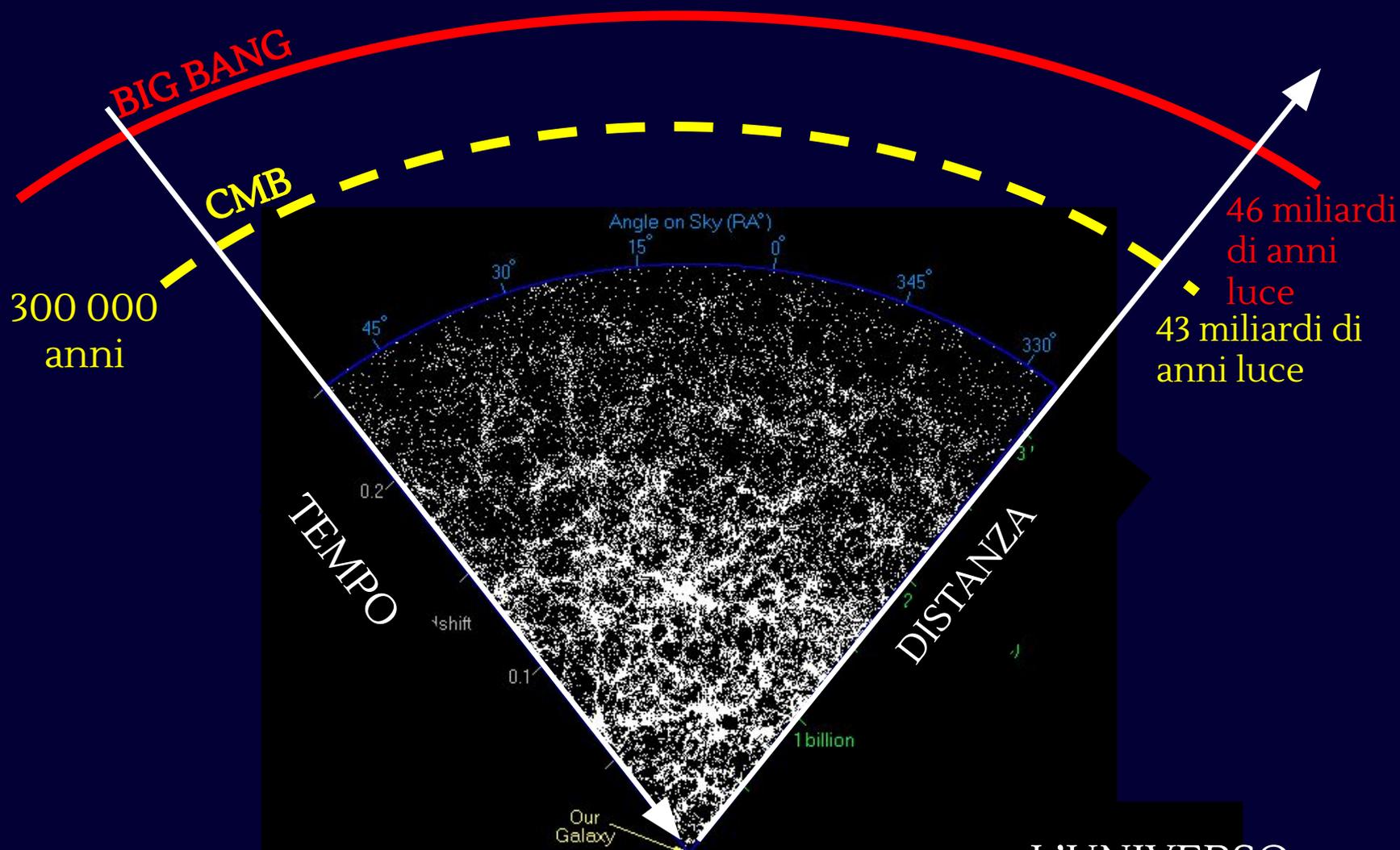
Gatto
astronomo

Gatto
cosmologo

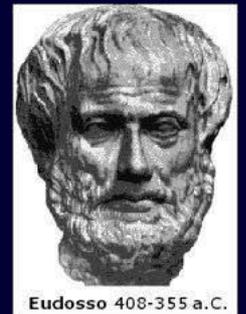
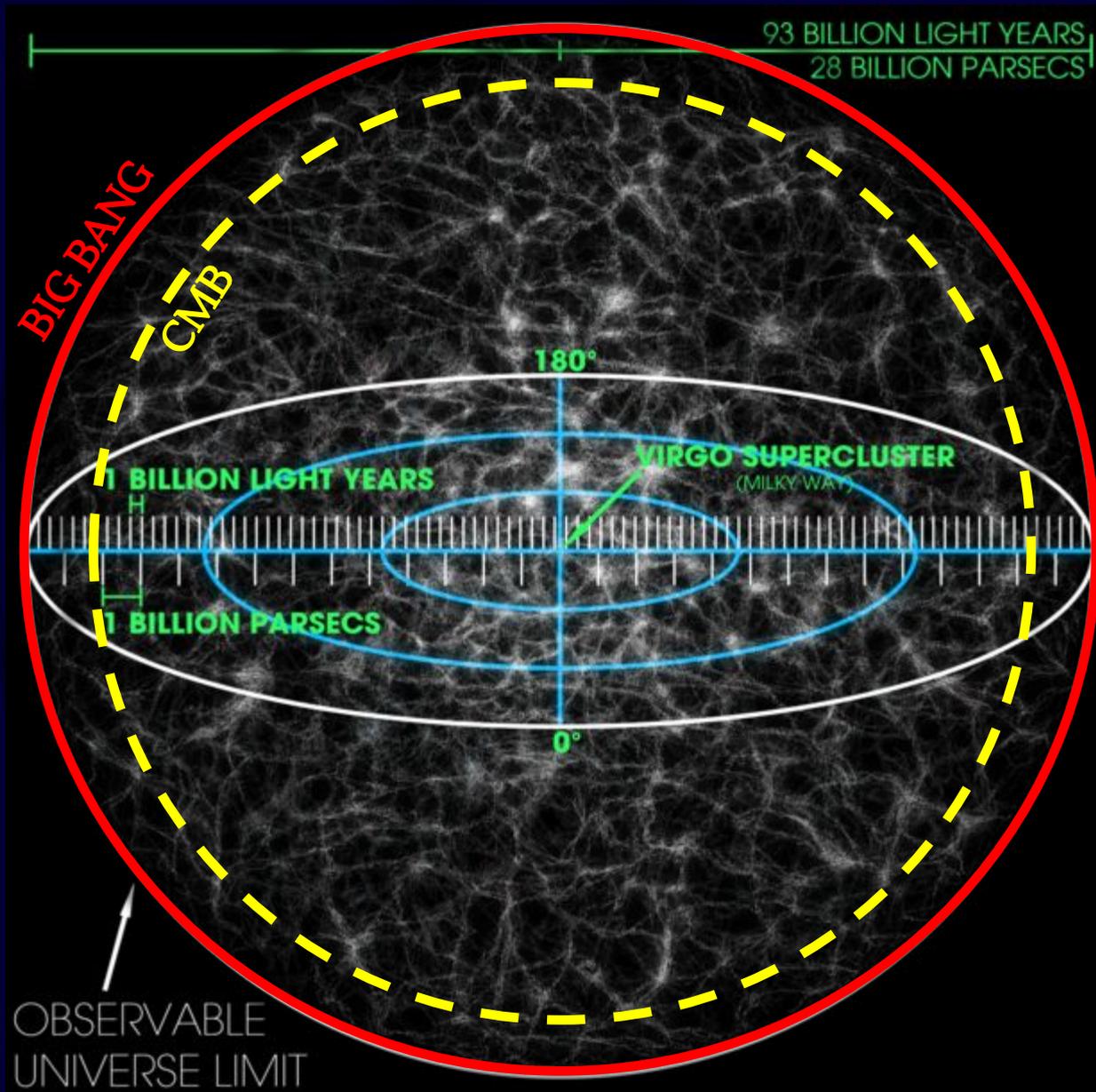
A causa di "c" GUARDARE LONTANO = GUARDARE NEL PASSATO



A causa di "c" GUARDARE LONTANO = GUARDARE NEL PASSATO



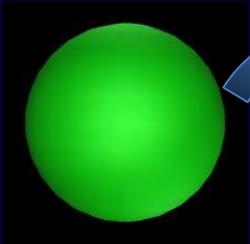
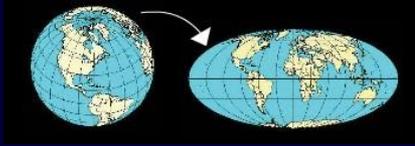
L'UNIVERSO
OSSERVABILE CON I
FOTONI E' **FINITO**



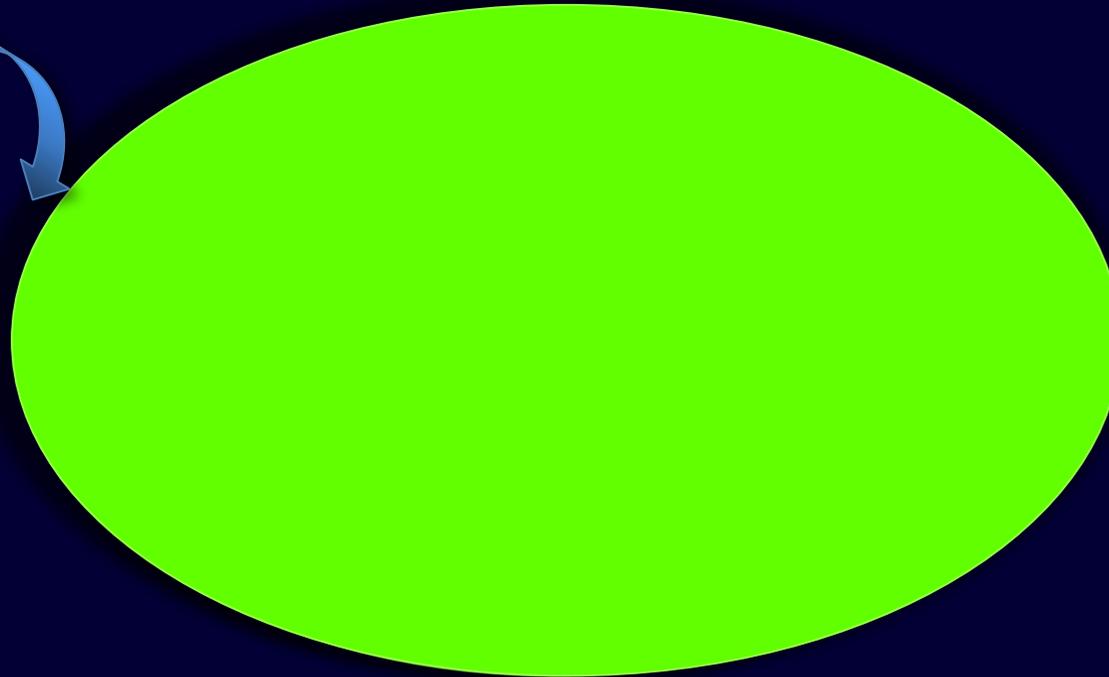
la vendetta

1964 Penzias e Wilson

CMB: T_{media}



$$T_{\text{media}} = 2.7 \text{ K}$$

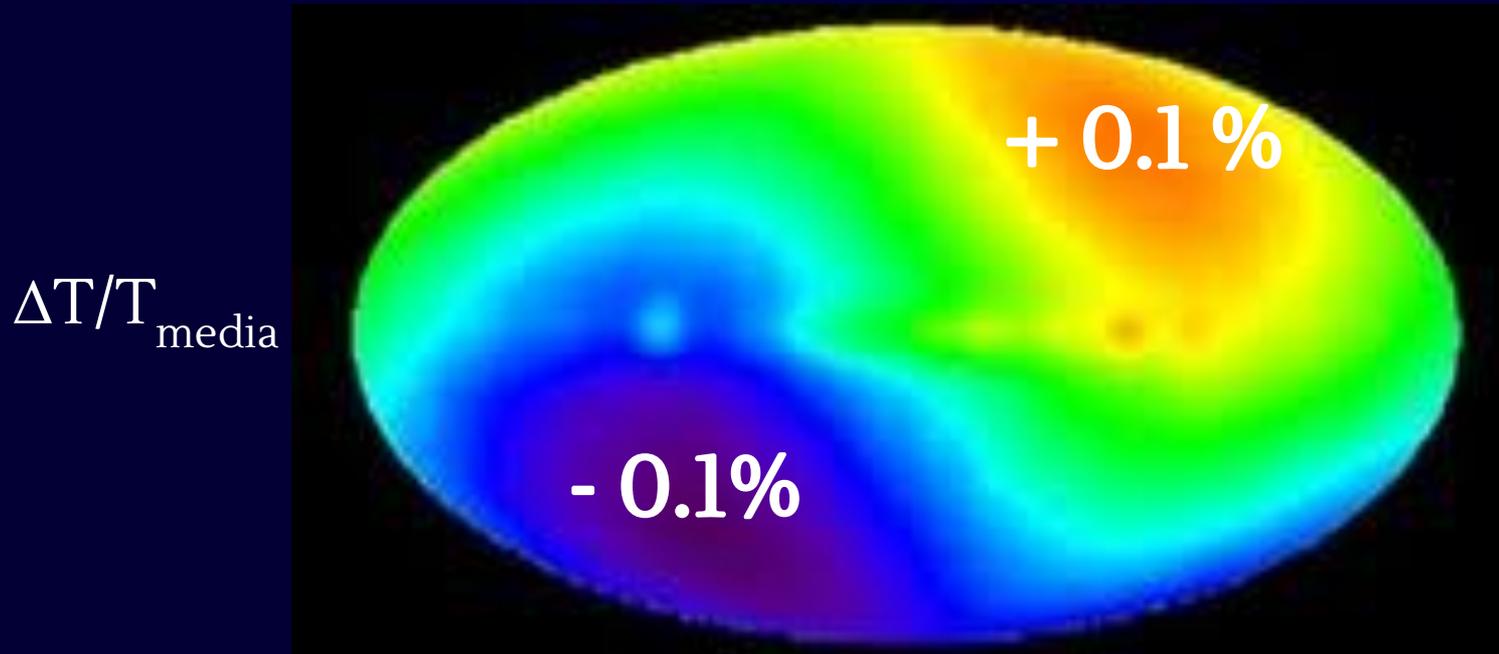


...piu' omogeneo e isotropo di cosi!

PRINCIPIO COSMOLOGICO OK

CMB: DIPOLO

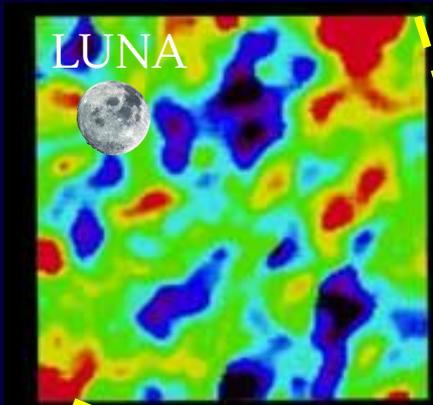
1969



- Interpretazione cinetica (effetto Doppler): rispetto al CMB abbiamo

$$v = (369.82 \pm 0.11) \text{ km/s} \quad \text{Planck 2018}$$

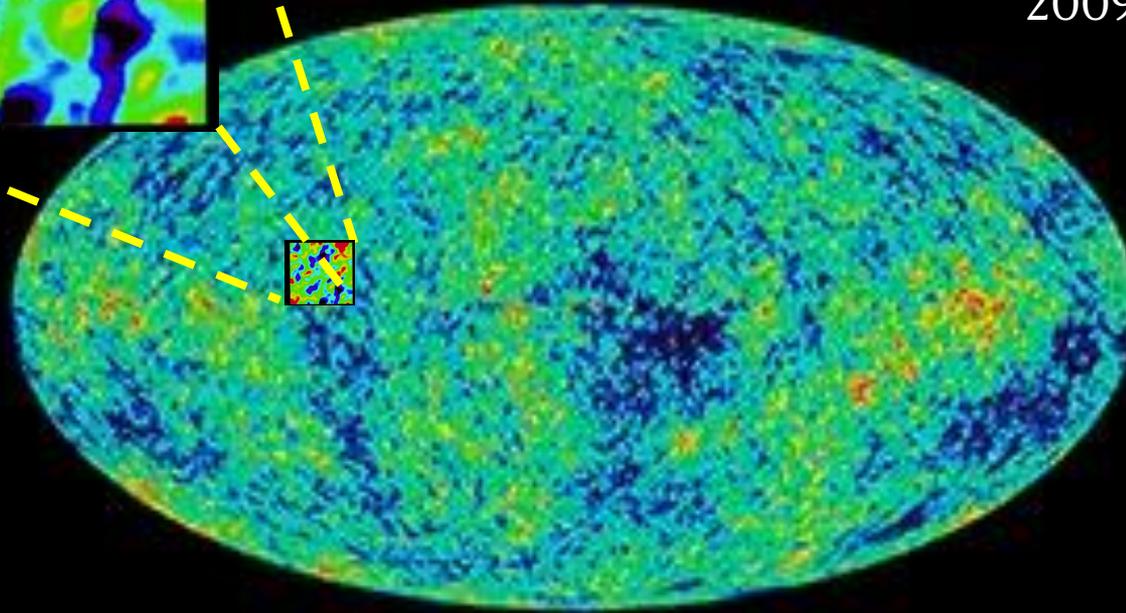
IL CMB FORNISCI UN SISTEMA DI RIFERIMENTO “ASSOLUTO”



CMB: MULTIPOLI



1992 COBE (Mather Smoot)
2001 WMAP
2009 PLANCK



$$\Delta T/T_{\text{media}}$$

\pm
0.001%

Piccolissime **FLUTTUAZIONI DI TEMPERATURA** (anisotropie)
su scala angolare tipica di 1° (2 volte la Luna), danno informazioni su dark matter etc...

Sarebbero inoltre correlate alle fluttuazioni nella materia (anche luminosa: stelle e galassie)

CMB: MULTIPOLI

C'è un effetto di **aberrazione** nei multipoli* del CMB
e fornisce una misura indipendente di v

*correlazione tra multipoli adiacenti ($\ell, \ell \pm 1$):

Challinor et al 2001, Amendola Catena Masina et al 2010, Chluba 2011, ...

Misurata da Planck 2013: $v = [384 \pm 78(\text{stat}) \pm 115(\text{sys})] \text{ km/s}$

Consistente con interpretazione cinetica del dipolo!

MATERIA LUMINOSA (PRIME STELLE E GALASSIE)

Il sistema di riferimento della materia luminosa dovrebbe essere lo stesso del
CMB
(nel Modello Cosmologico Standard)

L'interpretazione cinetica del dipolo nella distribuzione di questa
materia
fornisce una misura di v (Ellis Baldwin 1984)

Secret et al (2022) studiano quasars del Wide-field Infrared Survey
Explorer, e radio-galassie del NRAO VLA Sky Survey trovando

$$v_{ML} \approx 2 v_{CMB} \quad \text{con differenza a } 5.1 \sigma$$

□ Modello Cosmologico Standard e Principio Cosmologico da rivedere?

An illustration of two cats, one grey and one white, sitting on a red-tiled rooftop at night. They are looking towards a large, bright full moon in a dark blue sky filled with stars. In the background, there are silhouettes of city buildings with some windows lit up. A blue speech bubble is positioned above the cats, containing the text 'Devi riconsiderare il principio cosmologico?'. The scene is set against a dark blue background.

Devi
riconsiderare il
principio
cosmologico?

Gatto
astronomo

Gatto
cosmologo



... temo di si...

Gatto
astronomo

Gatto
cosmologo



... temo di si...

Gatto
astronomo

Gatto
cosmologo