

Uno sguardo sull' Universo: la nuova Cosmologia



Bibliografia e riferimenti

- Edward HARRISON: *Le maschere dell' Universo*, Rizzoli (1986), a livello divulgativo impegnativo
- Edward HARRISON: *Cosmology* (Cambridge University press), a livello triennio universitario
- M. REES: *Prima dell' inizio* (Cortina, 2000)
- A.F.G. Intervento al convegno “Scienza e fede”, a cura di A. Reale e A. Scafati (Lombardo 2003)
- Molti altri, impossibili da citare
- Siti Web:
 - [Http://www.astro.ucla.edu/~wright/cosmolog.htm](http://www.astro.ucla.edu/~wright/cosmolog.htm), con link alla versione italiana
 - <http://www.hep.upenn.edu/~max>
 - Questo intervento apparira' su: www.lngs.infn.it

Cos' e' la Cosmologia

Cos' e' la Cosmologia

- ➔ *Cosmologia = Descrizione dell' Universo*

Cos' e' la Cosmologia

- ⇒ *Cosmologia = Descrizione dell' Universo*
- ⇒ *Cosmogonia = Descrizione dell' origine dell' Universo*

Cos' e' la Cosmologia

- ⇒ *Cosmologia = Descrizione dell' Universo*
- ⇒ *Cosmogonia = Descrizione dell' origine dell' Universo*
- ⇒ *Universo = Tutto quello che esiste*

Cos' e' la Cosmologia

- ⇒ *Cosmologia = Descrizione dell' Universo*
- ⇒ *Cosmogonia = Descrizione dell' origine dell' Universo*
- ⇒ *Universo = Tutto quello che esiste / Tutto quello che e' possibile vedere (anche solo in linea di principio)*

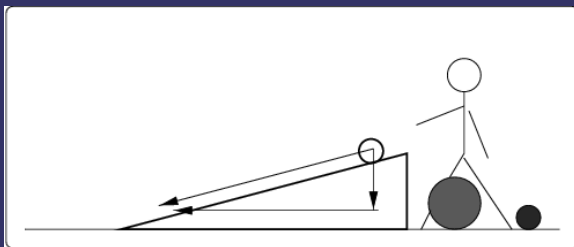
Cos' e' la Cosmologia

- ⇒ *Cosmologia = Descrizione dell' Universo*
- ⇒ *Cosmogonia = Descrizione dell' origine dell' Universo*
- ⇒ *Universo = Tutto quello che esiste / Tutto quello che e' possibile vedere (anche solo in linea di principio)*
- ⇒ *La Cosmologia e' una scienza?*

Cos' e' la Cosmologia

- ⇒ *Cosmologia = Descrizione dell' Universo*
- ⇒ *Cosmogonia = Descrizione dell' origine dell' Universo*
- ⇒ *Universo = Tutto quello che esiste / Tutto quello che e' possibile vedere (anche solo in linea di principio)*
- ⇒ *La Cosmologia e' una scienza?*
- *Scienza: Galileiana*

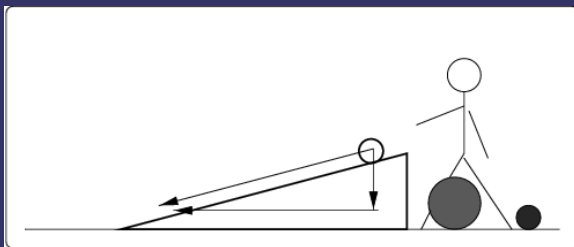
provando e riprovando



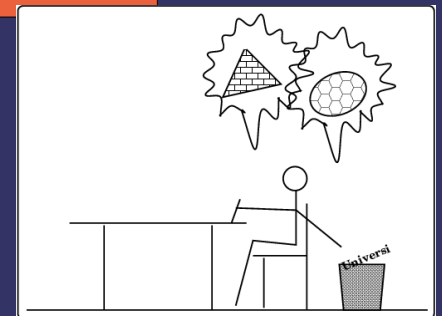
Cos' e' la Cosmologia

- ➔ *Cosmologia = Descrizione dell' Universo*
- ➔ *Cosmogonia = Descrizione dell' origine dell' Universo*
- ➔ *Universo = Tutto quello che esiste / Tutto quello che e' possibile vedere (anche solo in linea di principio)*
- ➔ *La Cosmologia e' una scienza?*
- *Scienza: Galileiana / Darwiniana*

provando e riprovando



vediamo i risultati, i fossili...



Le maschere dell' Universo

- Nel corso della Storia l' Umanita' ha generato molte 'cosmologie' : essenzialmente ogni civiltà ha la sua descrizione ('maschera') perfettamente adatta al suo ambiente e alle sue conoscenze

Le maschere dell' Universo

- Nel corso della Storia l' Umanita' ha generato molte 'cosmologie' : essenzialmente ogni civiltà ha la sua descrizione ('maschera') perfettamente adatta al suo ambiente e alle sue conoscenze
- La cosmologia si evolve al cambiare dell' ambiente/conoscenze

Le maschere dell' Universo

- Nel corso della Storia l' Umanita' ha generato molte 'cosmologie' : essenzialmente ogni civiltà ha la sua descrizione ('maschera') perfettamente adatta al suo ambiente e alle sue conoscenze
- La cosmologia si evolve al cambiare dell' ambiente/conoscenze
- Non esiste una *vera* cosmologia

Le maschere dell' Universo

- Nel corso della Storia l' Umanita' ha generato molte 'cosmologie' : essenzialmente ogni civiltà ha la sua descrizione ('maschera') perfettamente adatta al suo ambiente e alle sue conoscenze
- La cosmologia si evolve al cambiare dell' ambiente/conoscenze
- Non esiste una *vera* cosmologia: umilta'!!

Le maschere dell' Universo

- Nel corso della Storia l' Umanita' ha generato molte 'cosmologie' : essenzialmente ogni civiltà ha la sua descrizione ('maschera') perfettamente adatta al suo ambiente e alle sue conoscenze
- La cosmologia si evolve al cambiare dell' ambiente/conoscenze
- Non esiste una *vera* cosmologia
- Esiste qualcosa dietro la maschera?

Le maschere dell' Universo

- Nel corso della Storia l' Umanita' ha generato molte 'cosmologie' : essenzialmente ogni civiltà ha la sua descrizione ('maschera') perfettamente adatta al suo ambiente e alle sue conoscenze
- La cosmologia si evolve al cambiare dell' ambiente/conoscenze
- Non esiste una *vera* cosmologia
- Esiste qualcosa dietro la maschera?
- Teoria del tutto??

La cosmologia/cosmogonia mitica

- Descrive l' origine e il 'funzionamento' del mondo come conseguenza di interventi di uno o piu' esseri trascendenti/immanenti
- Generalmente non deriva da osservazioni, o le astrae in senso mitico

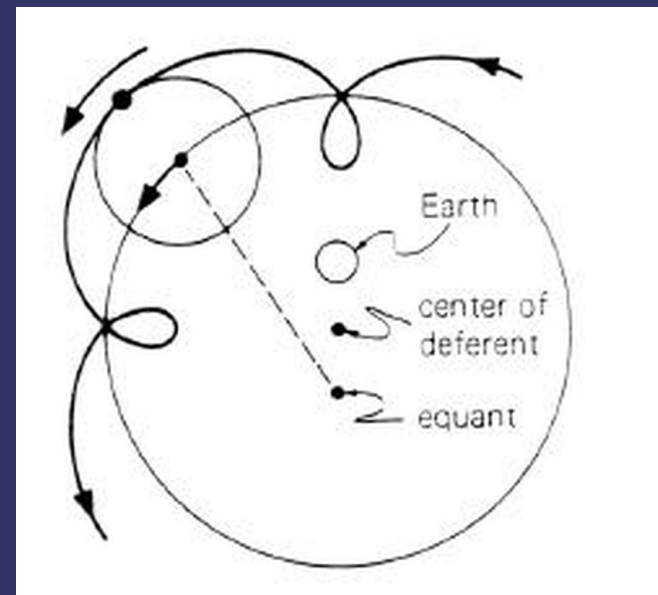
La cosmologia/cosmogonia mitica

- Descrive l'origine e il 'funzionamento' del mondo come conseguenza di interventi di uno o più esseri trascendenti/immanenti
- Generalmente non deriva da osservazioni, o le astrae in senso mitico



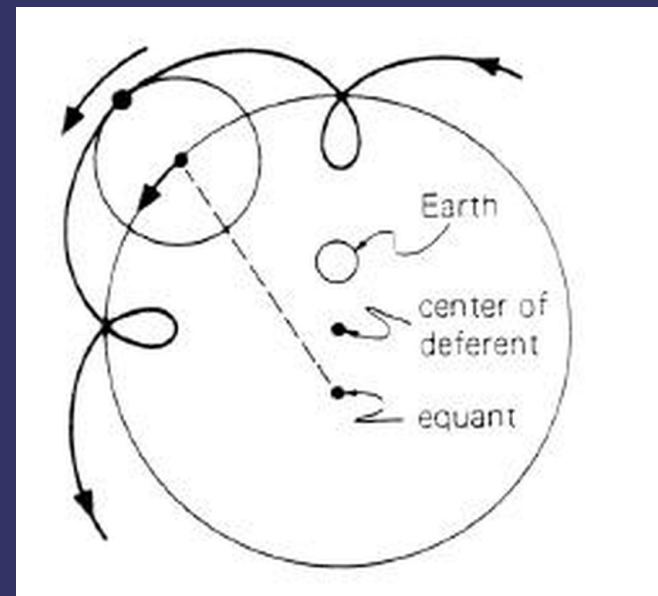
La cosmologia “scientifica” antica

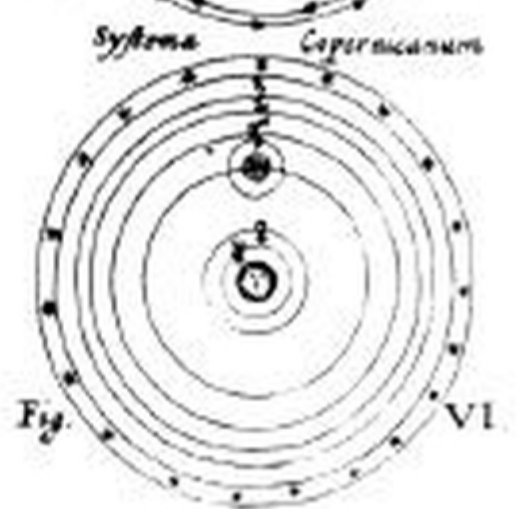
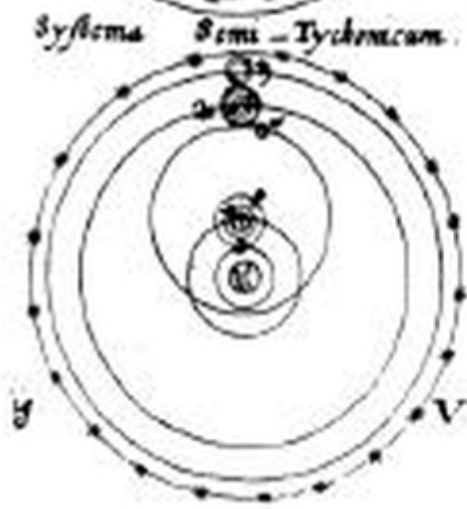
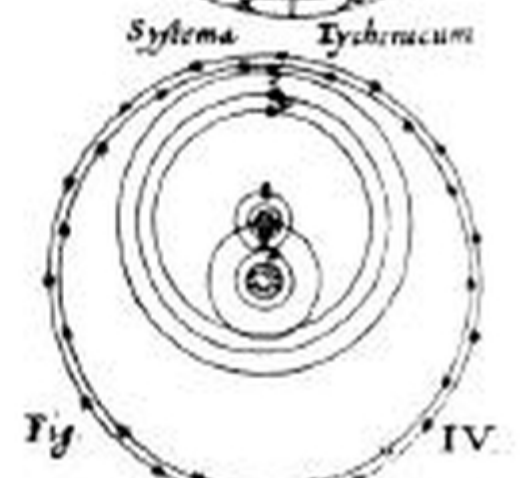
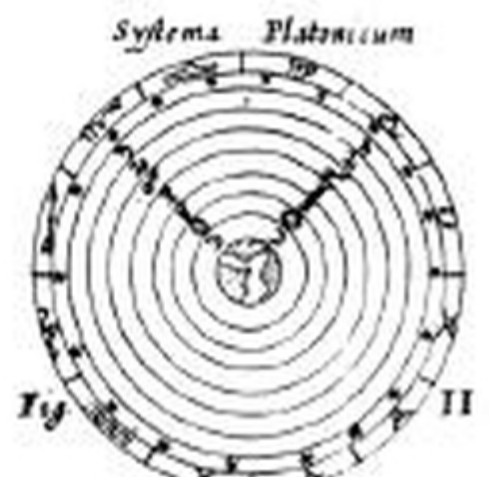
- Non si pone il problema dell' origine o lo demanda al mito
- Cerca una descrizione del mondo coerente con le osservazioni: p.es. Nell' antica Grecia e dopo *mondo = sistema solare (terra, sole luna pianeti)* e fa modelli dei moti relativi
- Massimo livello: Tolomeo e tolemaici, sistema geocentrico, epicicli



La cosmologia “scientifica” antica

- Non si pone il problema dell' origine o lo demanda al mito
- Cerca una descrizione del mondo coerente con le osservazioni: p.es. Nell' antica Grecia e dopo
mondo = sistema solare (terra, sole luna pianeti)
e fa modelli dei moti relativi
- Massimo livello: Tolomeo e tolemaici, sistema geocentrico, epicicli



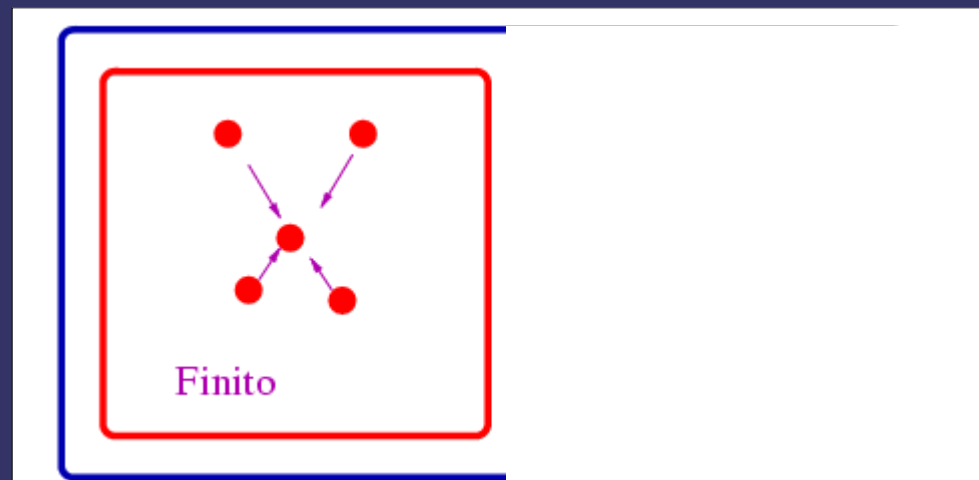


La cosmologia scientifica moderna

- Nasce da rivoluzioni tecniche/teoriche:
 - Copernico/Keplero: la terra non e' il centro dell' Universo
 - Galileo: Metodo scientifico/osservazioni telescopiche
 - Newton: Gravita' come motore primo dei moti degli astri
- L' ambito si allarga e con Newton si estende a tutto l' Universo allora noto (sistema solare – stelle fisse)
- Newton per primo intuisce che la forza di gravita' puo' spiegare la 'forma' dell' Universo
- Universo infinito nello spazio e nel tempo

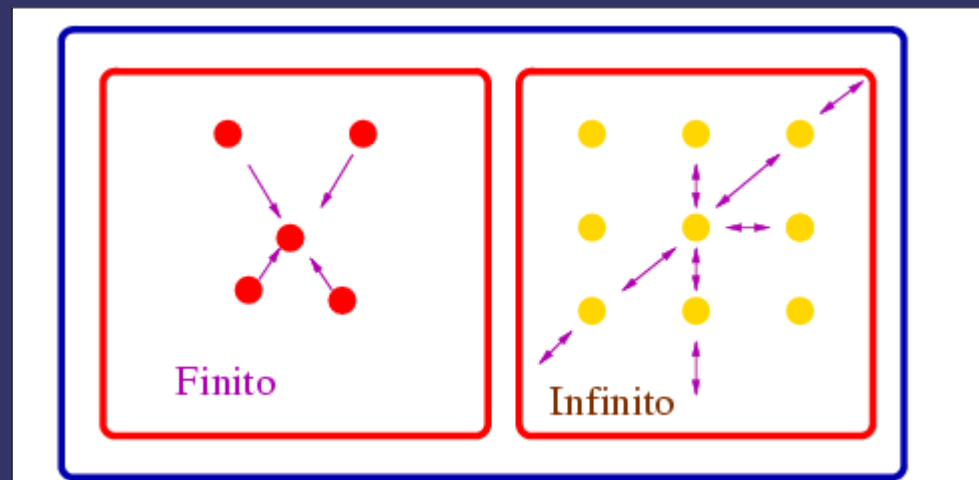
La cosmologia scientifica moderna

- Nasce da rivoluzioni tecniche/teoriche:
Copernico, Keplero, Galileo, Newton.....
- L' ambito si allarga e con Newton si estende a tutto l' Universo allora noto (sistema solare – stelle fisse)
- Newton per primo intuisce che la forza di gravita' puo' spiegare la 'forma' dell' Universo
- Universo infinito nello spazio e nel tempo



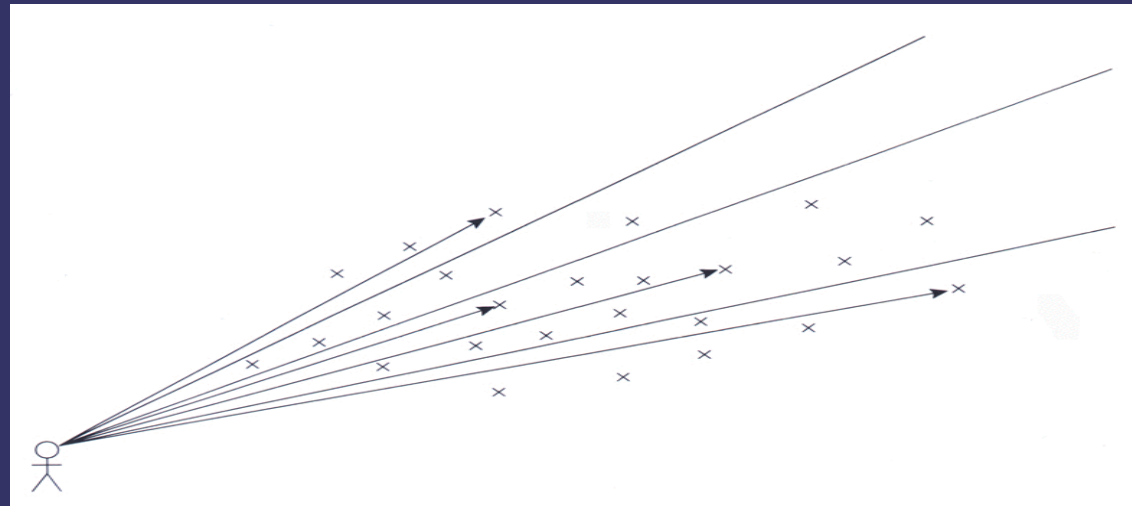
La cosmologia scientifica moderna

- Nasce da rivoluzioni tecniche/teoriche:
Copernico, Keplero, Galileo, Newton.....
- L' ambito si allarga e con Newton si estende a tutto l' Universo allora noto (sistema solare – stelle fisse)
- Newton per primo intuisce che la forza di gravita' puo' spiegare la 'forma' dell' Universo
- Universo infinito nello spazio e nel tempo



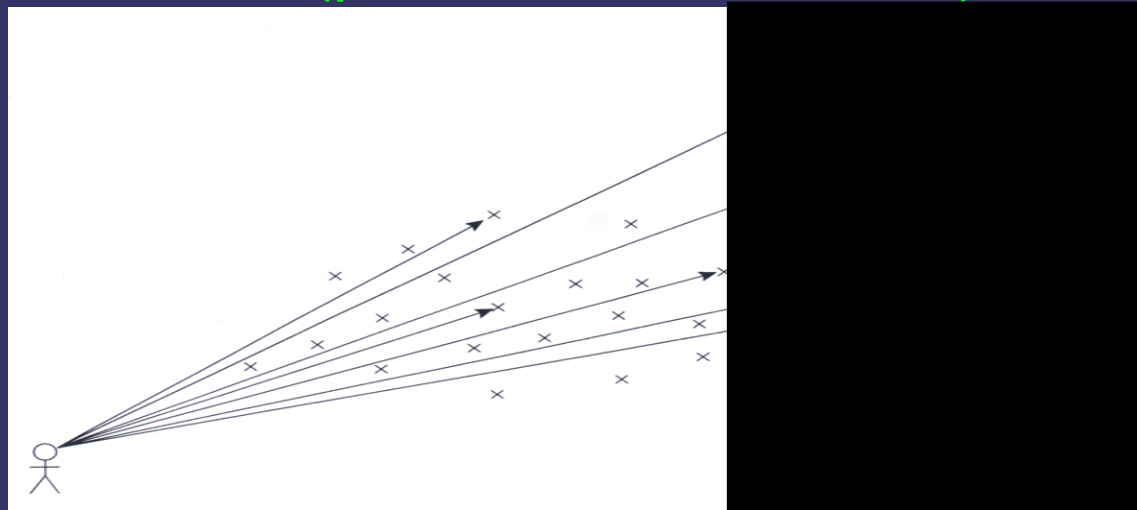
La cosmologia scientifica moderna

- Questo modello va in crisi nella seconda meta' dell' 800: perche' il cielo non e' tutto luminoso come la superficie del Sole? (paradosso di Olbers)



La cosmologia scientifica moderna

- Questo modello va in crisi nella seconda meta' dell' 800: perche' il cielo non e' tutto luminoso come la superficie del Sole? (paradosso di Olbers)



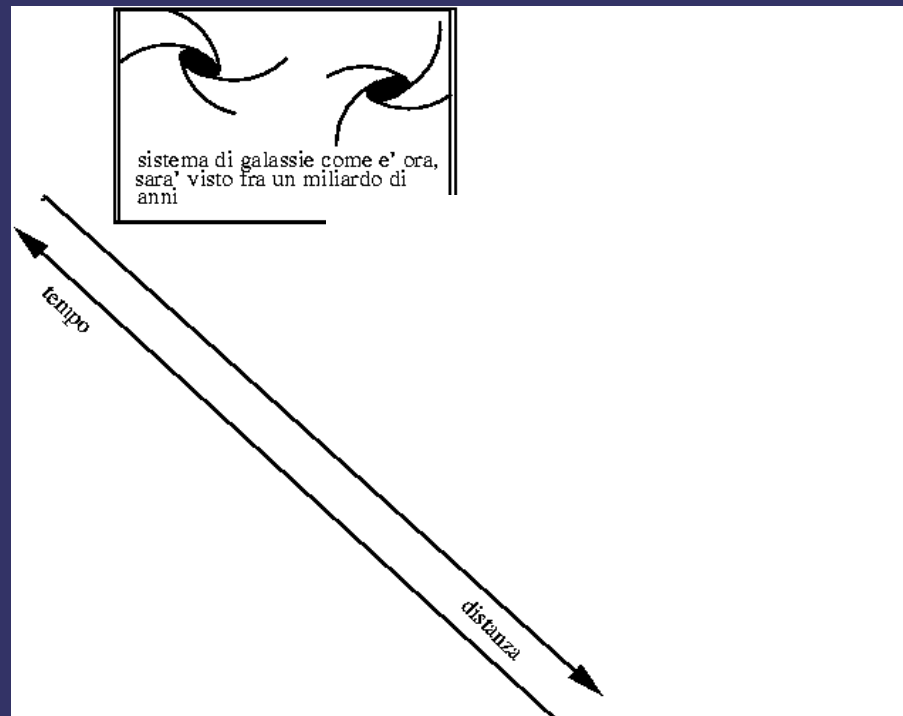
- L' Universo si evolve nello spazio e/o nel tempo

La velocità della luce

Abbiamo nozione dell' Universo soprattutto attraverso la luce: la luce non si propaga istantaneamente, viaggia a una velocità $c=300.000 \text{ Km/s}$

$$\text{Distanza} = c \text{ Tempo}$$

Oggetti che vediamo distanti li vediamo come erano nel passato

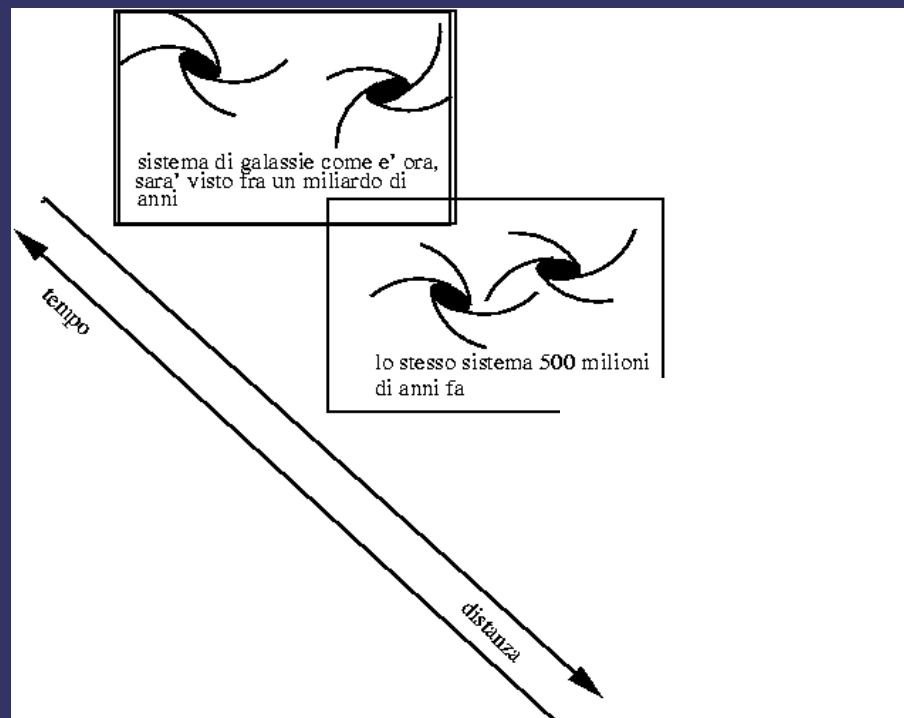


La velocità della luce

Abbiamo nozione dell' Universo soprattutto attraverso la luce: la luce non si propaga istantaneamente, viaggia a una velocità $c=300.000 \text{ Km/s}$

$$\text{Distanza} = c \text{ Tempo}$$

Oggetti che vediamo distanti li vediamo come erano nel passato

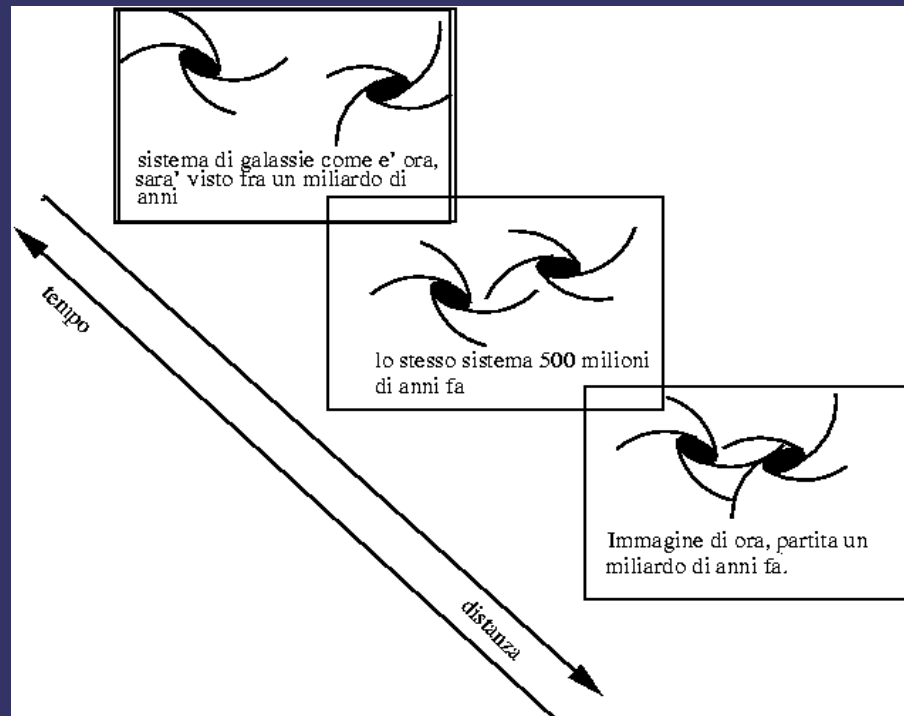


La velocità della luce

Abbiamo nozione dell' Universo soprattutto attraverso la luce: la luce non si propaga istantaneamente, viaggia a una velocità $c=300.000 \text{ Km/s}$

$$\text{Distanza} = c \text{ Tempo}$$

Oggetti che vediamo distanti li vediamo come erano nel passato

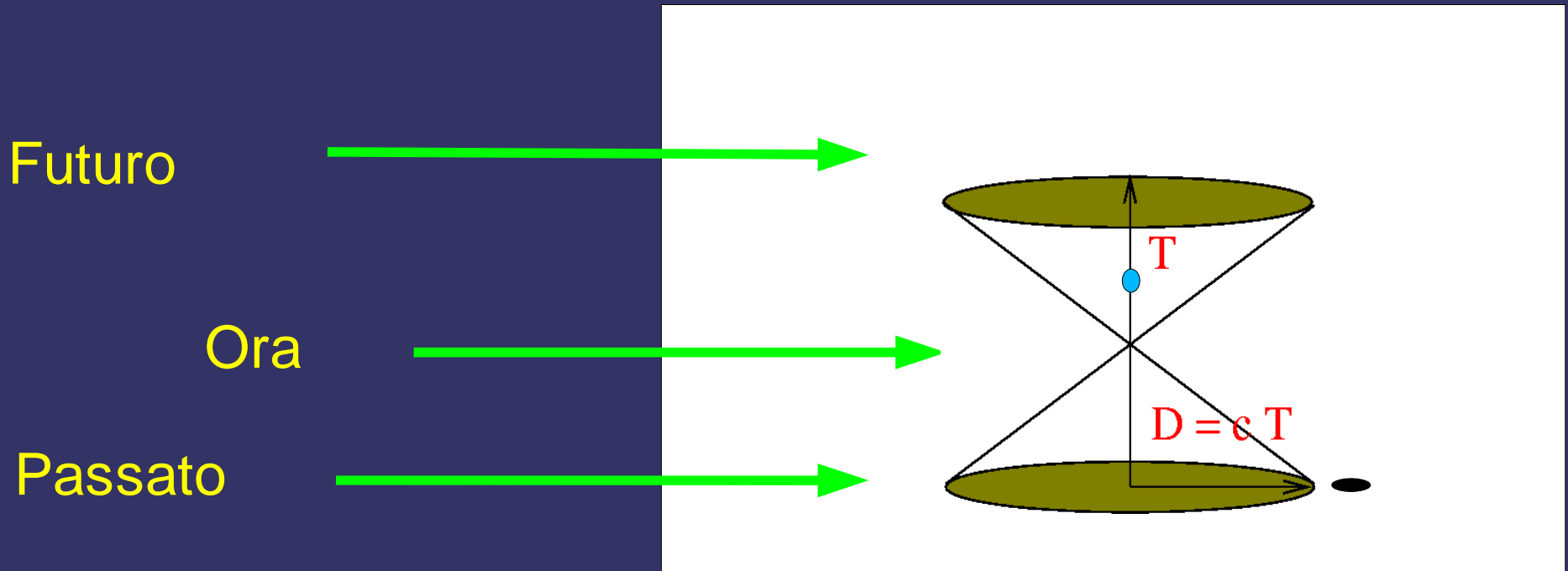


Il "cono di luce"

Abbiamo nozione dell' Universo soprattutto attraverso la luce:
la luce non si propaga istantaneamente, viaggia a una velocità
 $c=300.000 \text{ Km/s}$

$$D = c T$$

Oggetti che vediamo distanti li vediamo come erano nel passato



Il "cono di luce"

Abbiamo nozione dell' Universo soprattutto attraverso la luce:
la luce non si propaga istantaneamente, viaggia a una velocità
 $c=300.000 \text{ Km/s}$

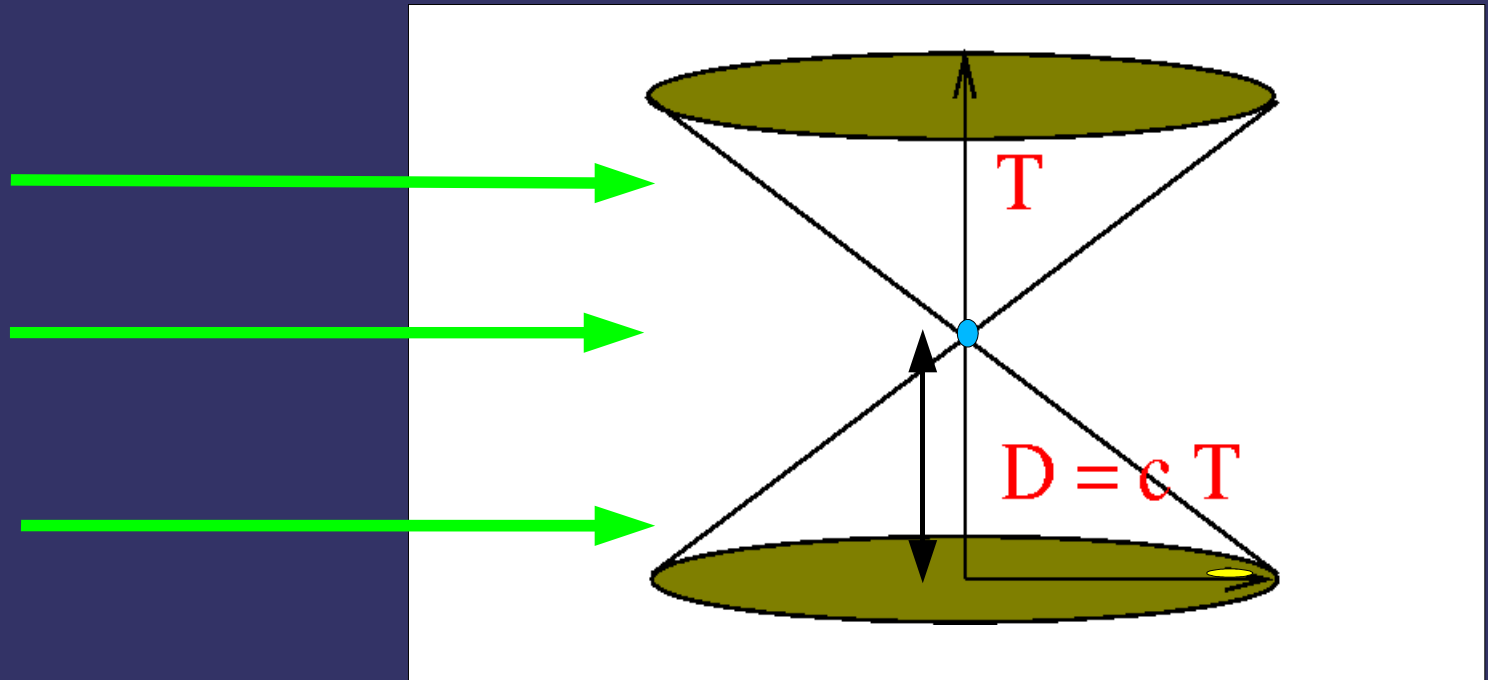
$$D = c T$$

Oggetti che vediamo distanti li vediamo come erano nel passato

Futuro

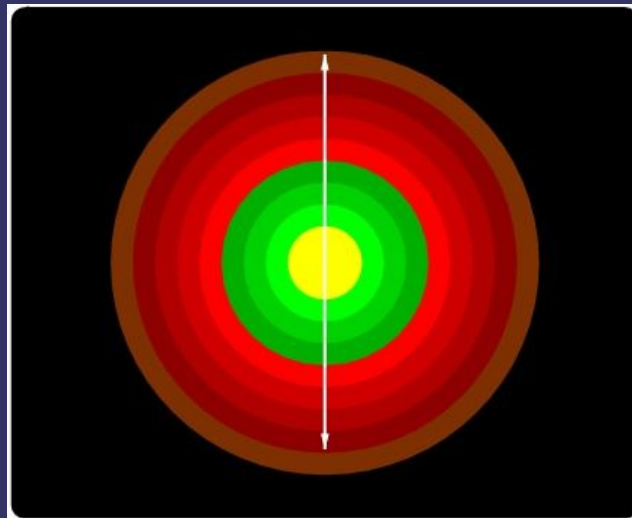
Ora

Passato



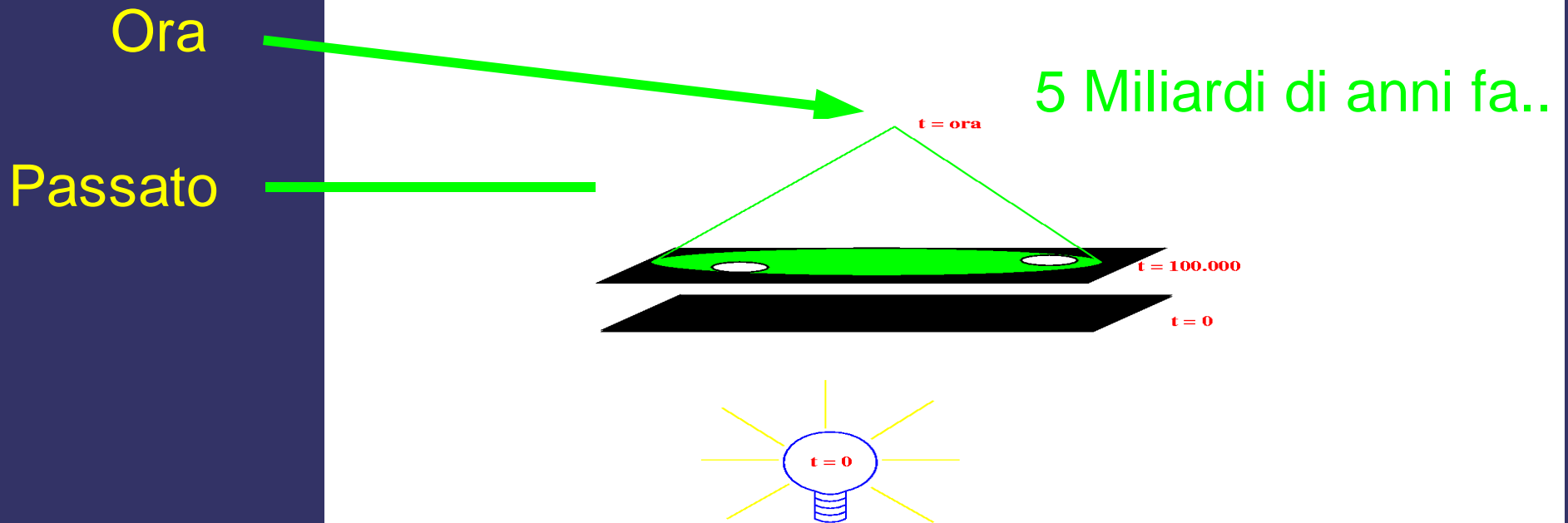
La cosmologia scientifica moderna

- Questo modello va in crisi nella seconda meta' dell' 800: perche' il cielo non e' tutto luminoso come la superficie del Sole? (paradosso di Olbers)
- L' Universo ha un' evoluzione spaziale/temporale



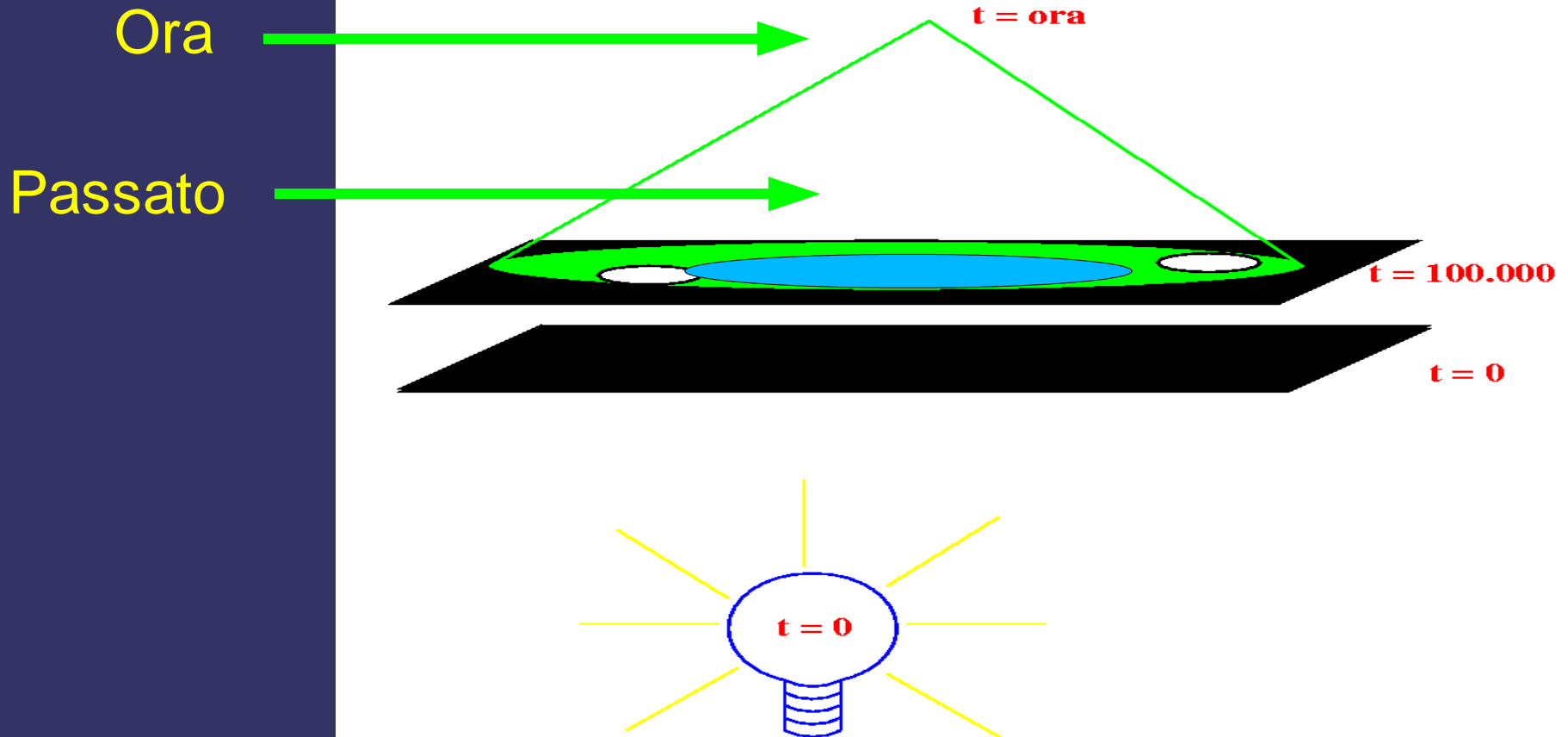
Un modello di Universo

Un universo statico, infinito, che ha un inizio
(Paradosso di Olbers)



Un modello di Universo

Un universo statico, infinito, che ha un inizio
(Paradosso di Olbers)



***Un cambiamento epocale: la
Relativita' Speciale (Einstein 1905)***

Un cambiamento epocale: la Relativita' Speciale (Einstein 1905)

- Osservazione: la velocita' della luce non dipende dalla velocita' della 'lampadina'

Un cambiamento epocale: la Relativita' Speciale (Einstein 1905)

- Osservazione: la velocita' della luce non dipende dalla velocita' della 'lampadina' ↓
- Niente puo' viaggiare piu' veloce della luce!

Un cambiamento epocale: la Relativita' Speciale (Einstein 1905)

• Osservazione: la velocita' della luce non dipende dalla velocita' della 'lampadina'



• Niente puo' viaggiare piu' veloce della luce!

• Spazio e tempo sono sostanzialmente la stessa cosa:anni-luce

Un cambiamento epocale: la Relativita' Speciale (Einstein 1905)

- Osservazione: la velocita' della luce non dipende dalla velocita' della 'lampadina' ↓
- Niente puo' viaggiare piu' veloce della luce!
- Spazio e tempo sono sostanzialmente la stessa cosa
- Materia e energia sono sostanzialmente la stessa cosa

Un cambiamento epocale: la Relativita' Speciale (Einstein 1905)

- ◆ Osservazione: la velocita' della luce non dipende dalla velocita' della 'lampadina' ↓
- ◆ Niente puo' viaggiare piu' veloce della luce!
- ◆ Spazio e tempo sono sostanzialmente la stessa cosa
- ◆ Materia e energia sono sostanzialmente la stessa cosa

Cos' e' l' energia


Un cambiamento epocale: la Relativita' Speciale (Einstein 1905)

- ◆ Osservazione: la velocita' della luce non dipende dalla velocita' della 'lampadina' ↓
- ◆ Niente puo' viaggiare piu' veloce della luce!
- ◆ Spazio e tempo sono sostanzialmente la stessa cosa
- ◆ Materia e energia sono sostanzialmente la stessa cosa

Cos' e' l' energia

- ◆ Prima di Einstein: (meccanica classica)
Energia Potenziale (p.es. Gravita')/Energia cinetica


Un cambiamento epocale: la Relativita' Speciale (Einstein 1905)

- ◆ Osservazione: la velocita' della luce non dipende dalla velocita' della 'lampadina' 
- ◆ Niente puo' viaggiare piu' veloce della luce!
- ◆ Spazio e tempo sono sostanzialmente la stessa cosa
- ◆ Materia e energia sono sostanzialmente la stessa cosa

Cos' e' l' energia

- ◆ Prima di Einstein: (meccanica classica)
Energia Potenziale (p.es. Gravita')/Energia cinetica
- ◆ Prima di Einstein: Energia della luce = colore

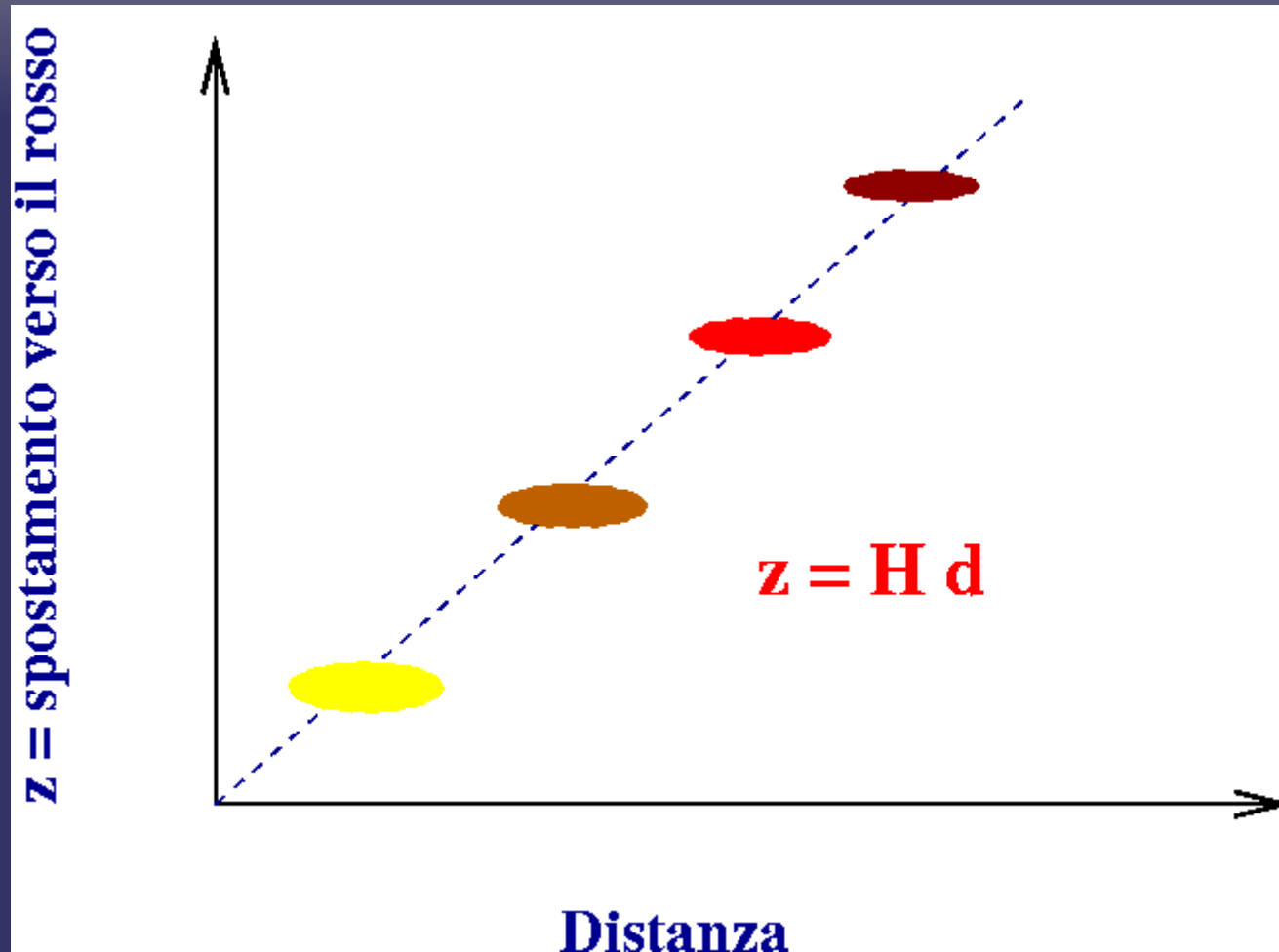
Un cambiamento epocale: la Relativita' Speciale (Einstein 1905)

- ◆ Osservazione: la velocita' della luce non dipende dalla velocita' della 'lampadina' 
- ◆ Niente puo' viaggiare piu' veloce della luce!
- ◆ Spazio e tempo sono sostanzialmente la stessa cosa:
- ◆ Materia e energia sono sostanzialmente la stessa cosa

Cos' e' l' energia

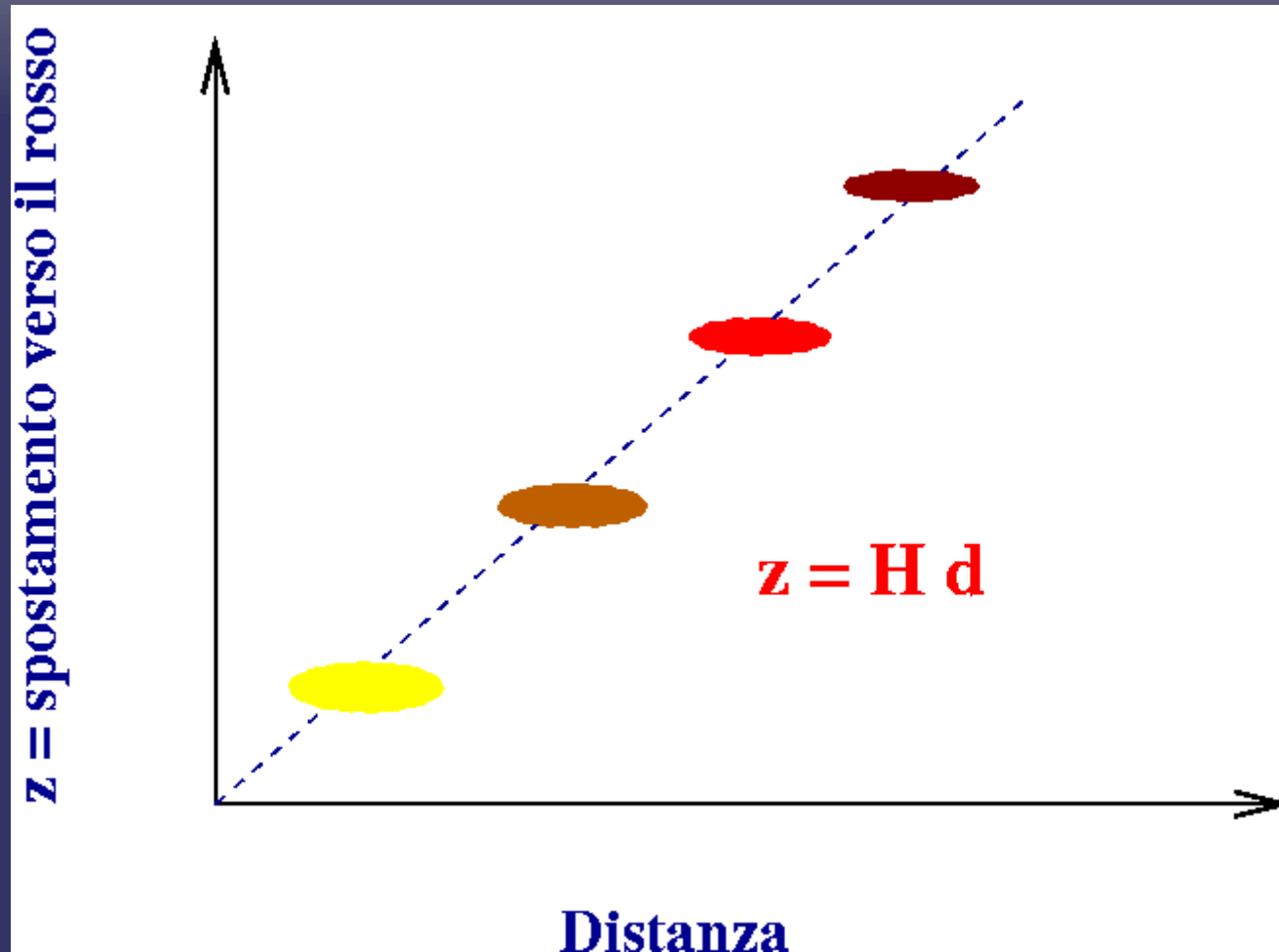
- ◆ Prima di Einstein: (meccanica classica)
Energia Potenziale (p.es. Gravita')/Energia cinetica
- ◆ Prima di Einstein: Energia della luce = colore
- ◆ Con Einstein: Energia di materia: $E=mc^2$

Un Universo in evoluzione



Osservazioni astronomiche di Hubble e collaboratori

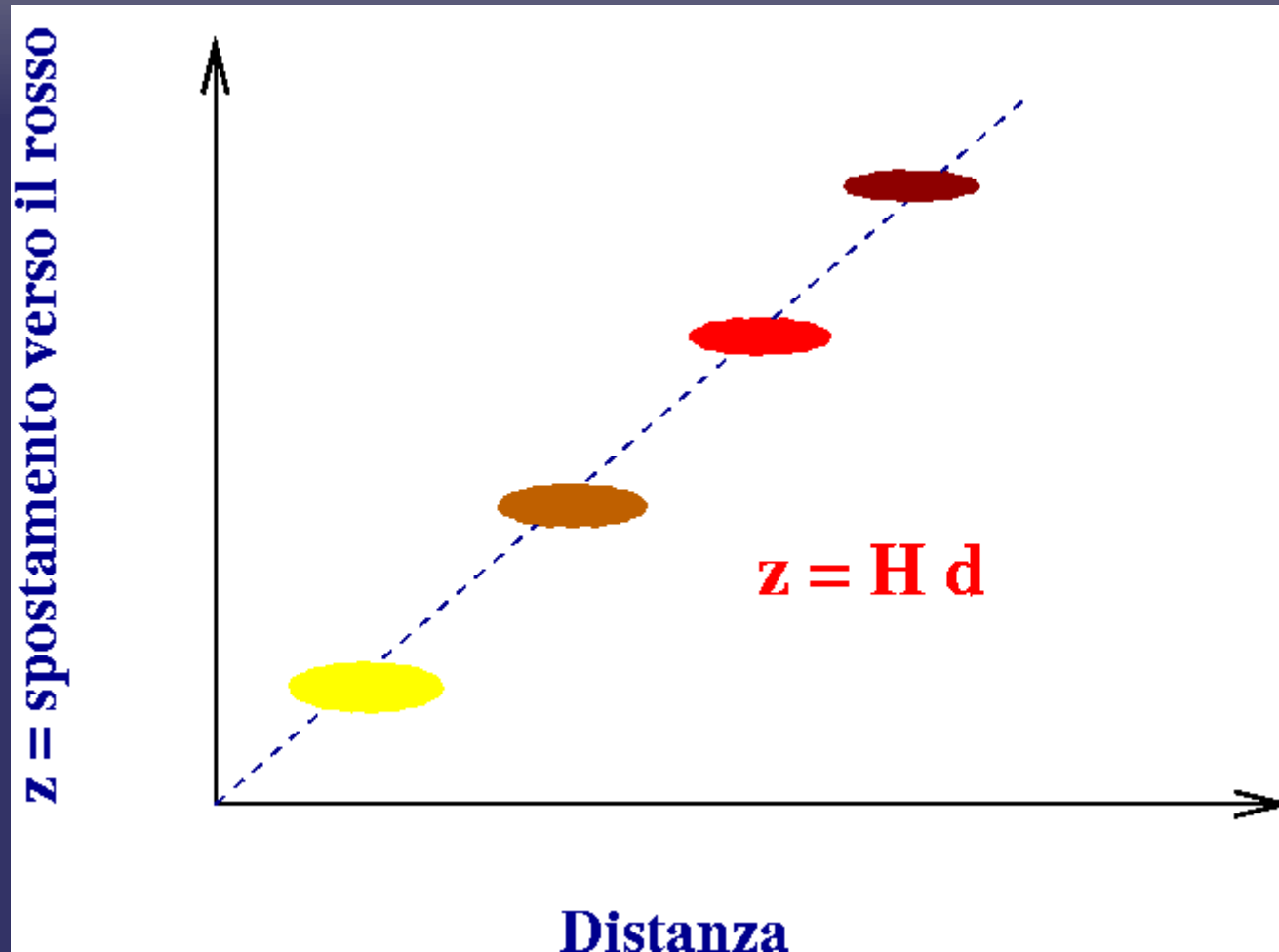
Un Universo in evoluzione



Osservazioni astronomiche di Hubble e collaboratori

Il colore della luce emessa da oggetti distanti dipende dalla distanza

Un Universo in evoluzione

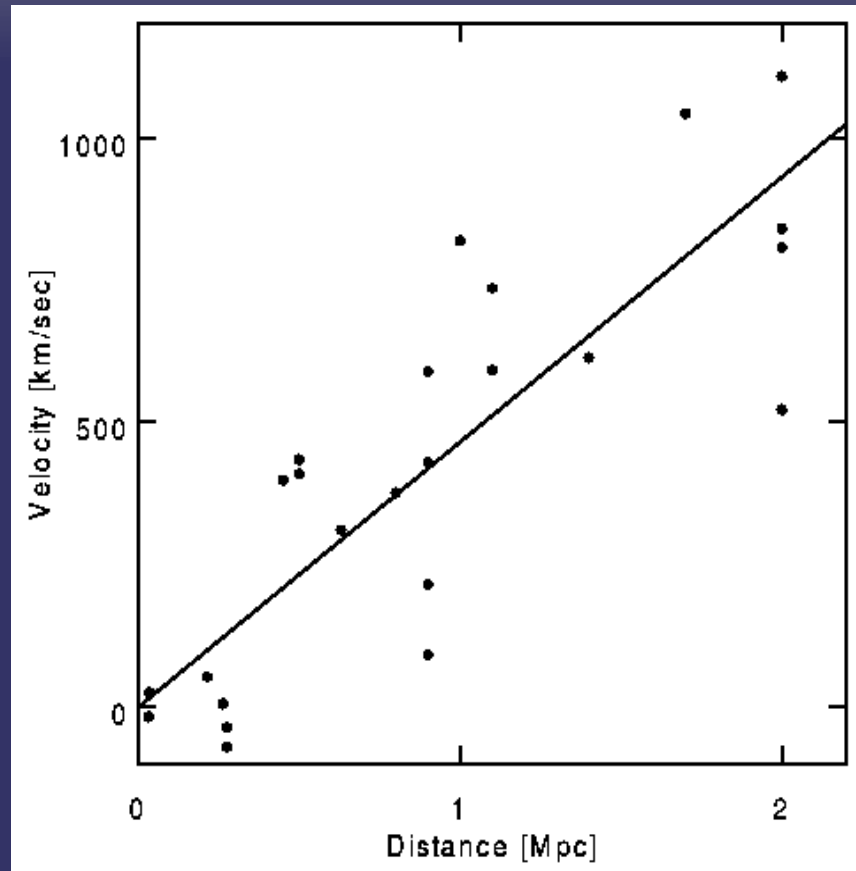


Osservazioni astronomiche di Hubble e collaboratori

Il colore della luce emessa da oggetti distanti dipende dalla distanza

Il colore (energia) della luce dipende dalla velocità della 'lampadina'

Un Universo in evoluzione



Misure effettuate da Hubble e collaboratori nel 1929:
Distanza di Galassie verso Velocita' relativa all' osservatore

Un Universo in evoluzione

Tre problemi:

- 1) Come misurare le distanze
- 2) Quello che si misura non e' la velocita'
- 3) Conseguenze del risultato

1) Il problema delle scale di distanza: misure dirette (parallasse) solo relativamente vicino.

Definizione di indicatori:

→ Classi di oggetti astrofisici di caratteristiche "standard" da usare come pietre miliari

Sistema Solare

Parallasse....

Cefeidi....

Supernovae

Ore luce

30000 anni-luce

10 M a-l

1 MM a-l

Un posto speciale?

Le Galassie distanti si allontanano da noi?? L' unico modo di riconciliare le osservazioni col principio copernicano:

Un posto speciale?

Le Galassie distanti si allontanano da noi?? L' unico modo di riconciliare le osservazioni col principio copernicano:

- Tutte le distanze aumentano (col tempo)

Un posto speciale?

Le Galassie distanti NON si allontanano da noi. Ma l'unico modo di riconciliare le osservazioni col principio copernicano:

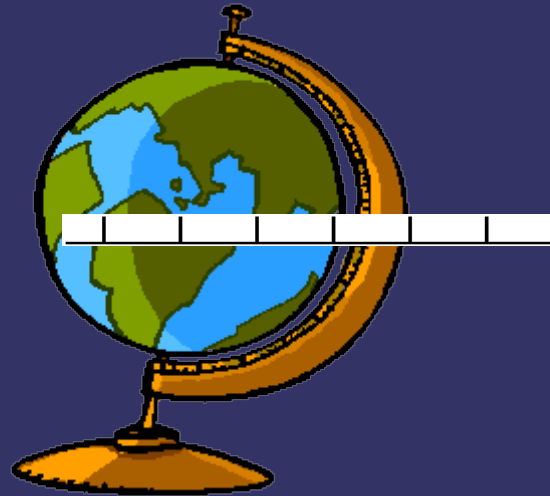
- Tutte le distanze aumentano (col tempo)



Un posto speciale?

Le Galassie distanti NON si allontanano da noi. Ma l'unico modo di riconciliare le osservazioni col principio copernicano:

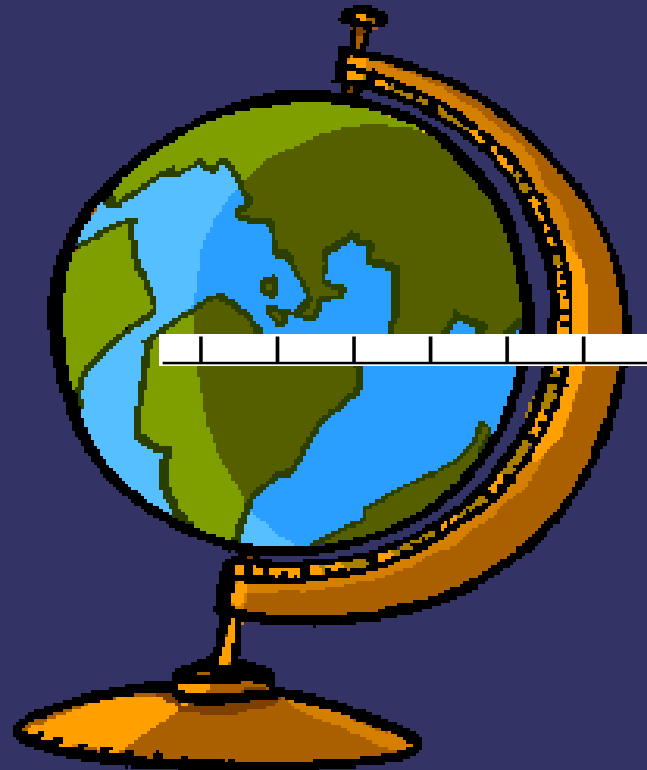
- Tutte le distanze aumentano (col tempo)



Un posto speciale?

Le Galassie distanti NON si allontanano da noi. Ma l'unico modo di riconciliare le osservazioni col principio copernicano:

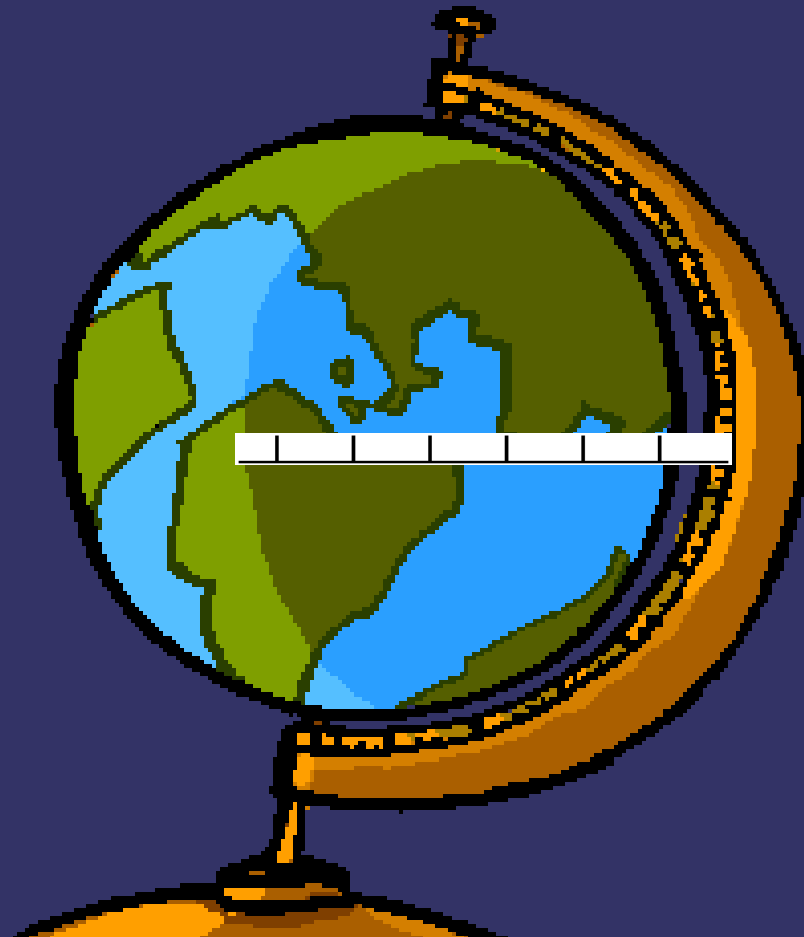
- Tutte le distanze aumentano (col tempo)



Un posto speciale?

Le Galassie distanti NON si allontanano da noi. Ma l'unico modo di riconciliare le osservazioni col principio copernicano:

- Tutte le distanze aumentano (col tempo)



Un posto speciale?

In realta' e' fuorviante pensare che l' Universo si espanda in

Un posto speciale?

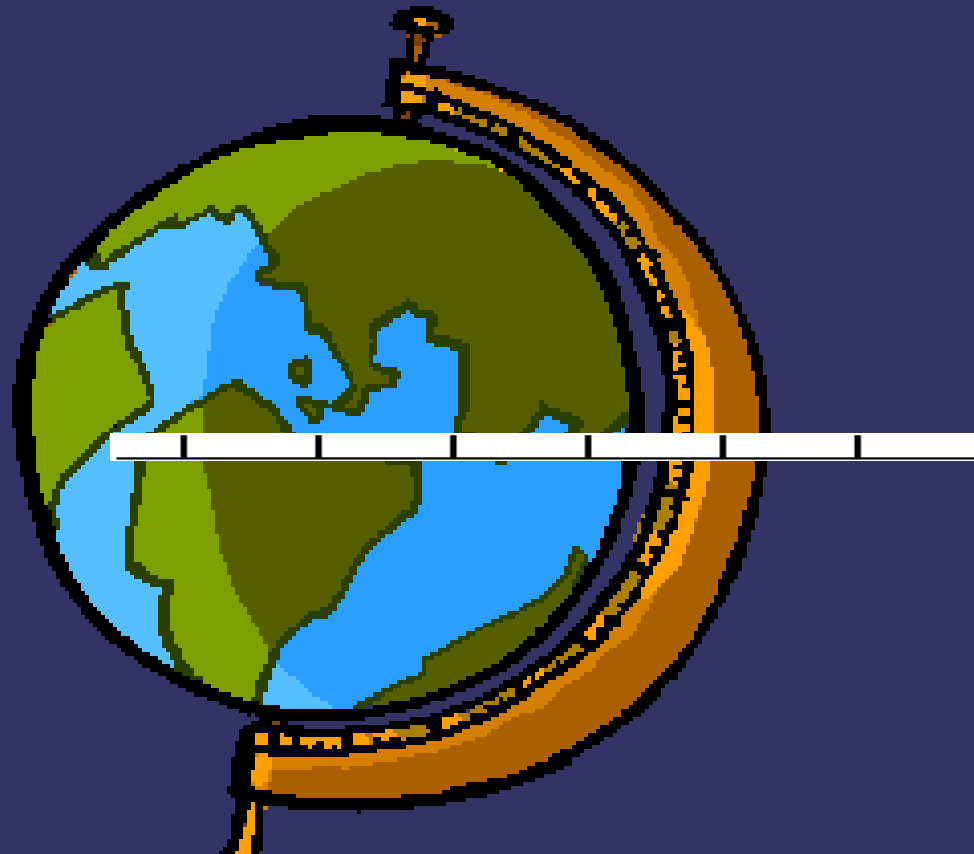
In realta' e' fuorviante pensare che l' Universo si espanda in
qualcos' altro

Un posto speciale?

In realta' e' fuorviante pensare che l' Universo si espanda in
qualcos' altro
e' meglio (forse) dire che quello che cambia e' la
misura dell' Universo

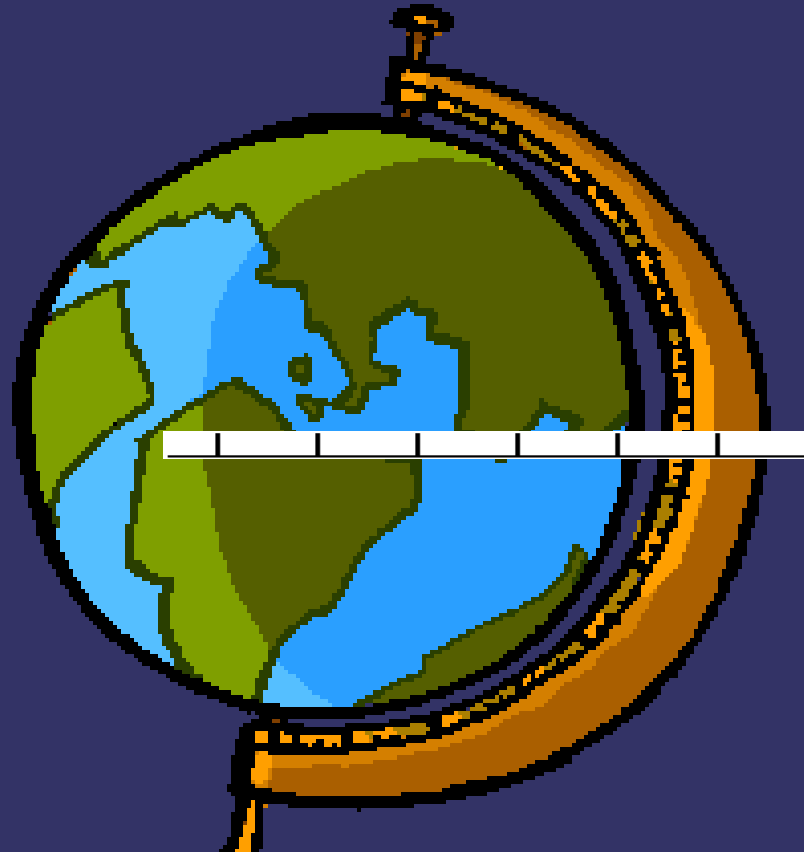
Un posto speciale?

In realta' e' fuorviante pensare che l' Universo si espanda in
qualcos' altro
e' meglio (forse) dire che quello che cambia e' la
misura dell' Universo



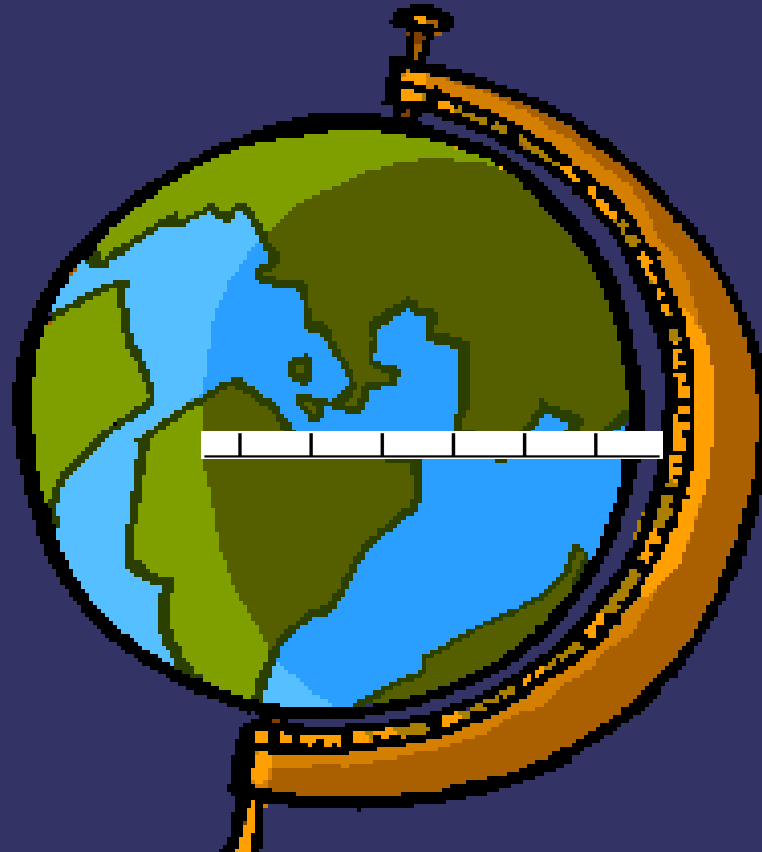
Un posto speciale?

In realta' e' fuorviante pensare che l' Universo si espanda in
qualcos' altro
e' meglio (forse) dire che quello che cambia e' la
misura dell' Universo

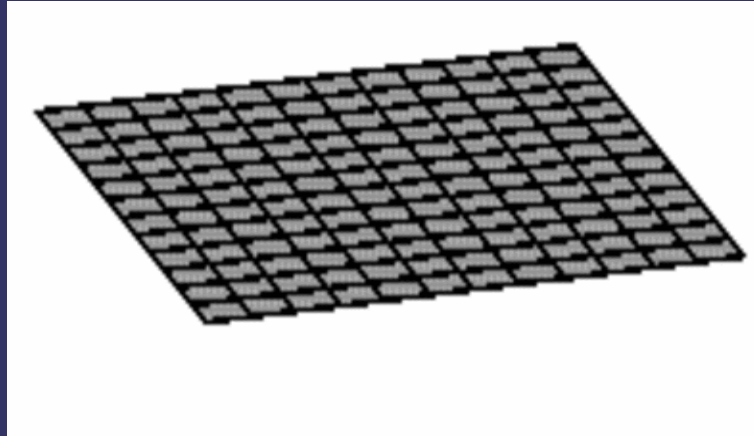


Un posto speciale?

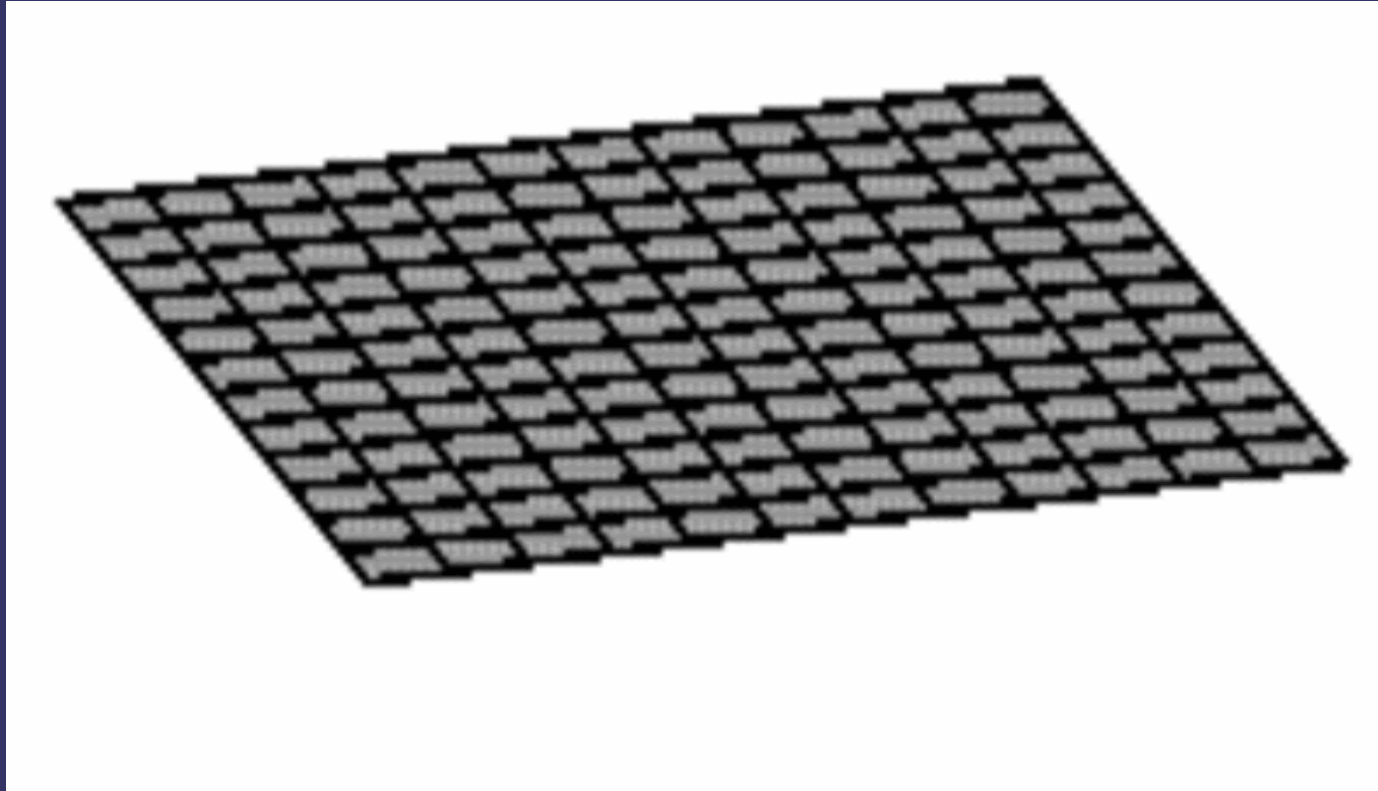
In realta' e' fuorviante pensare che l' Universo si espanda in
qualcos' altro
e' meglio (forse) dire che quello che cambia e' la
misura dell' Universo



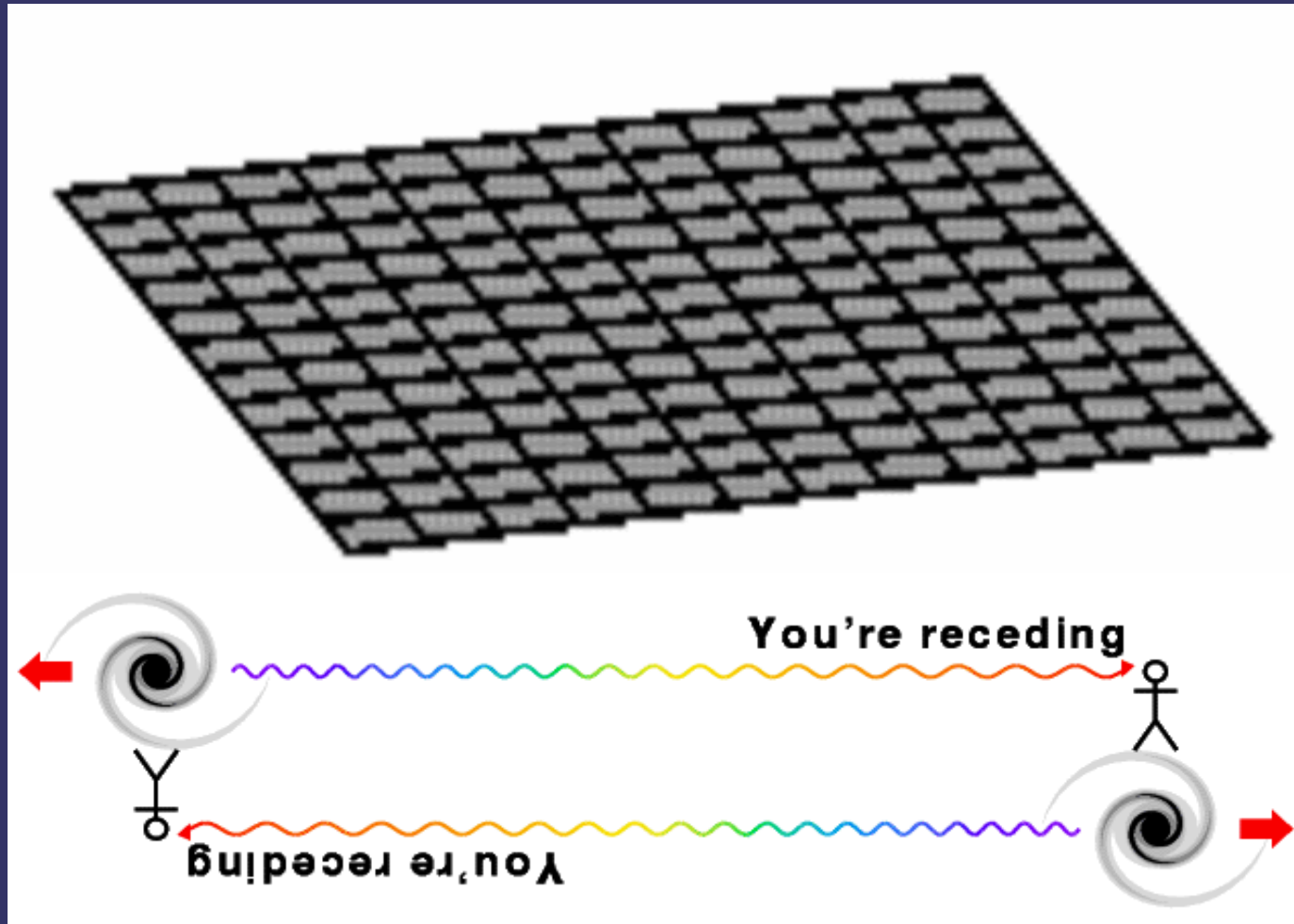
Un posto speciale?



Un posto speciale?

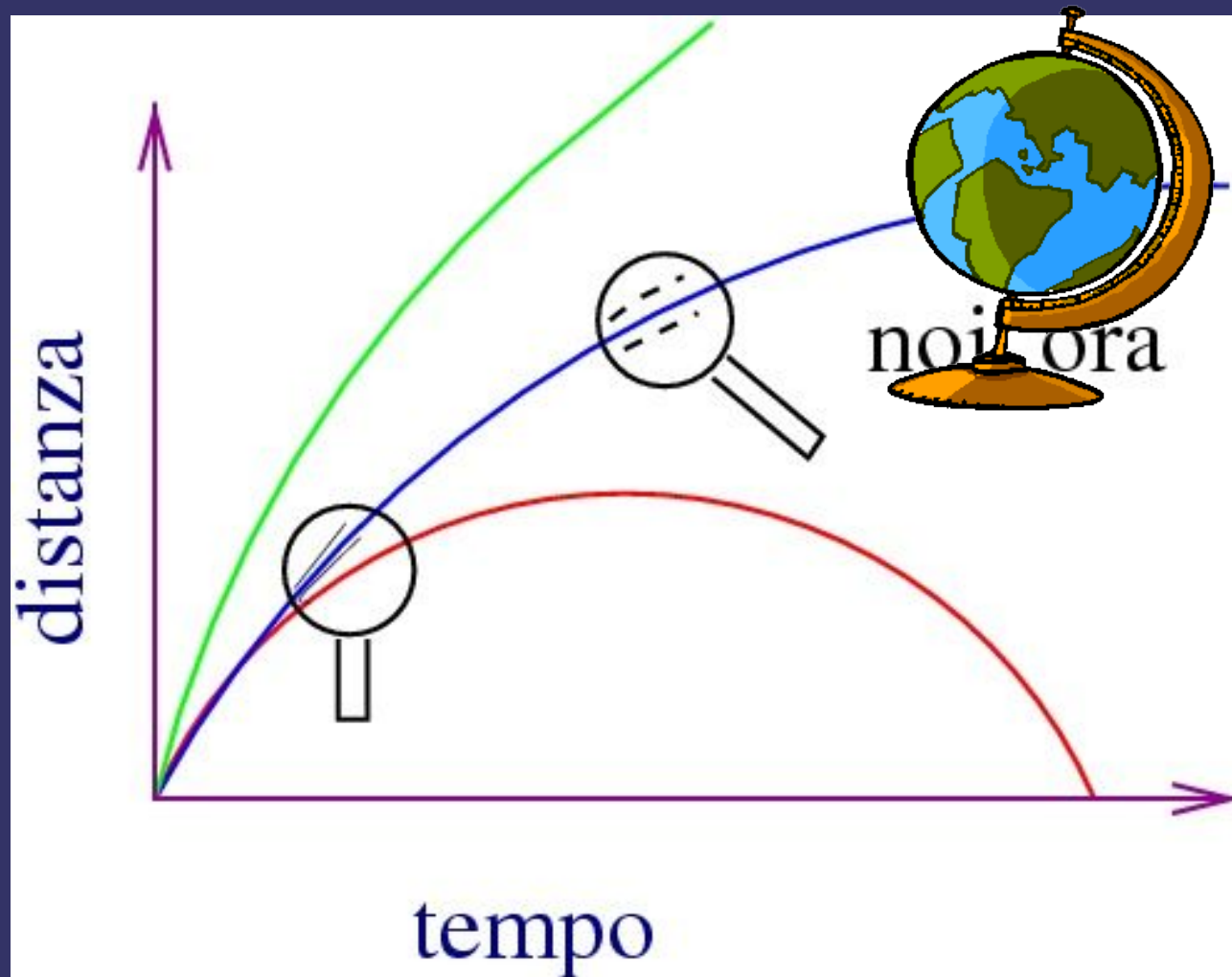


Un posto speciale?



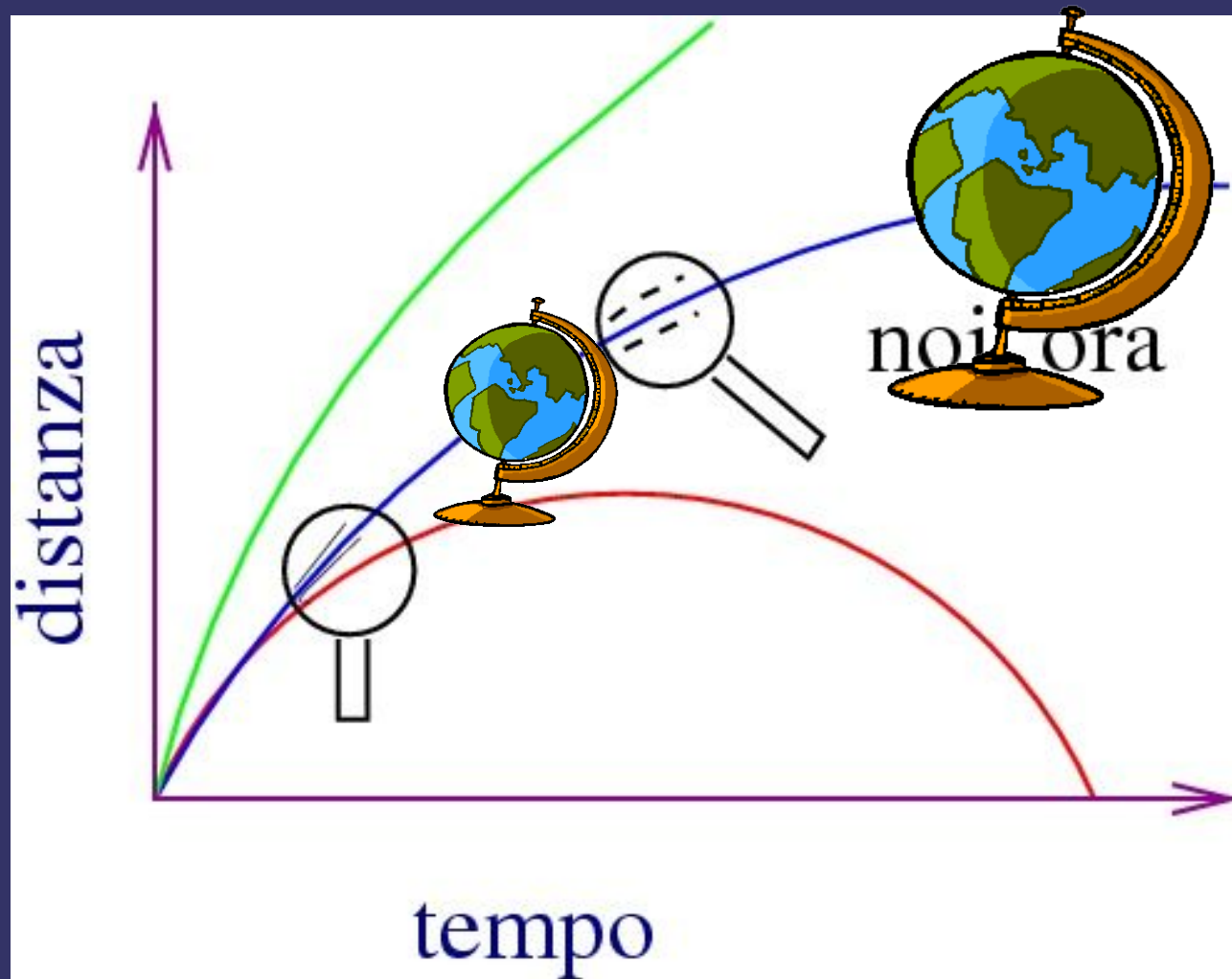
Un posto speciale?

La descrizione vale lo stesso andando indietro nel tempo



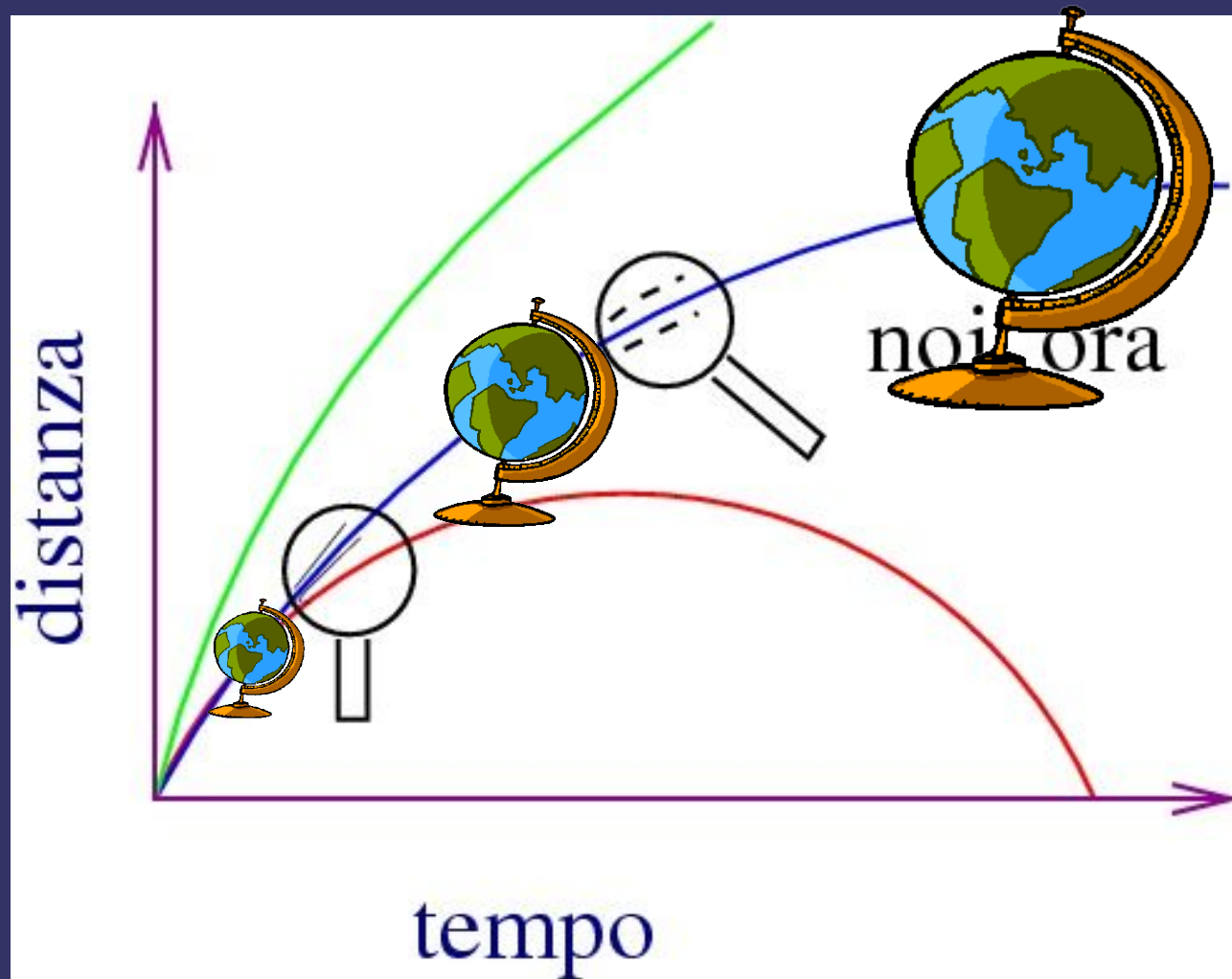
Un posto speciale?

La descrizione vale lo stesso andando indietro nel tempo



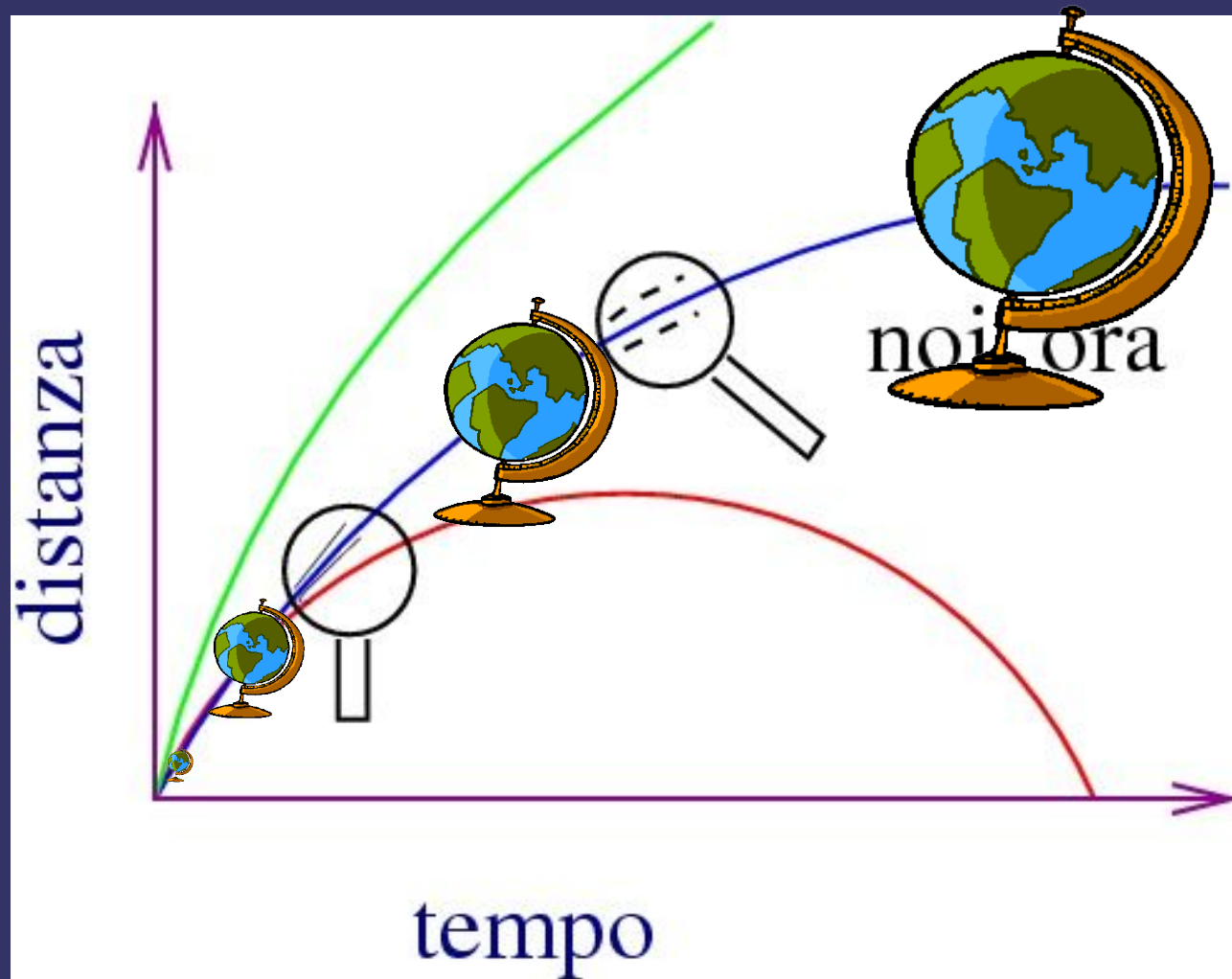
Un posto speciale?

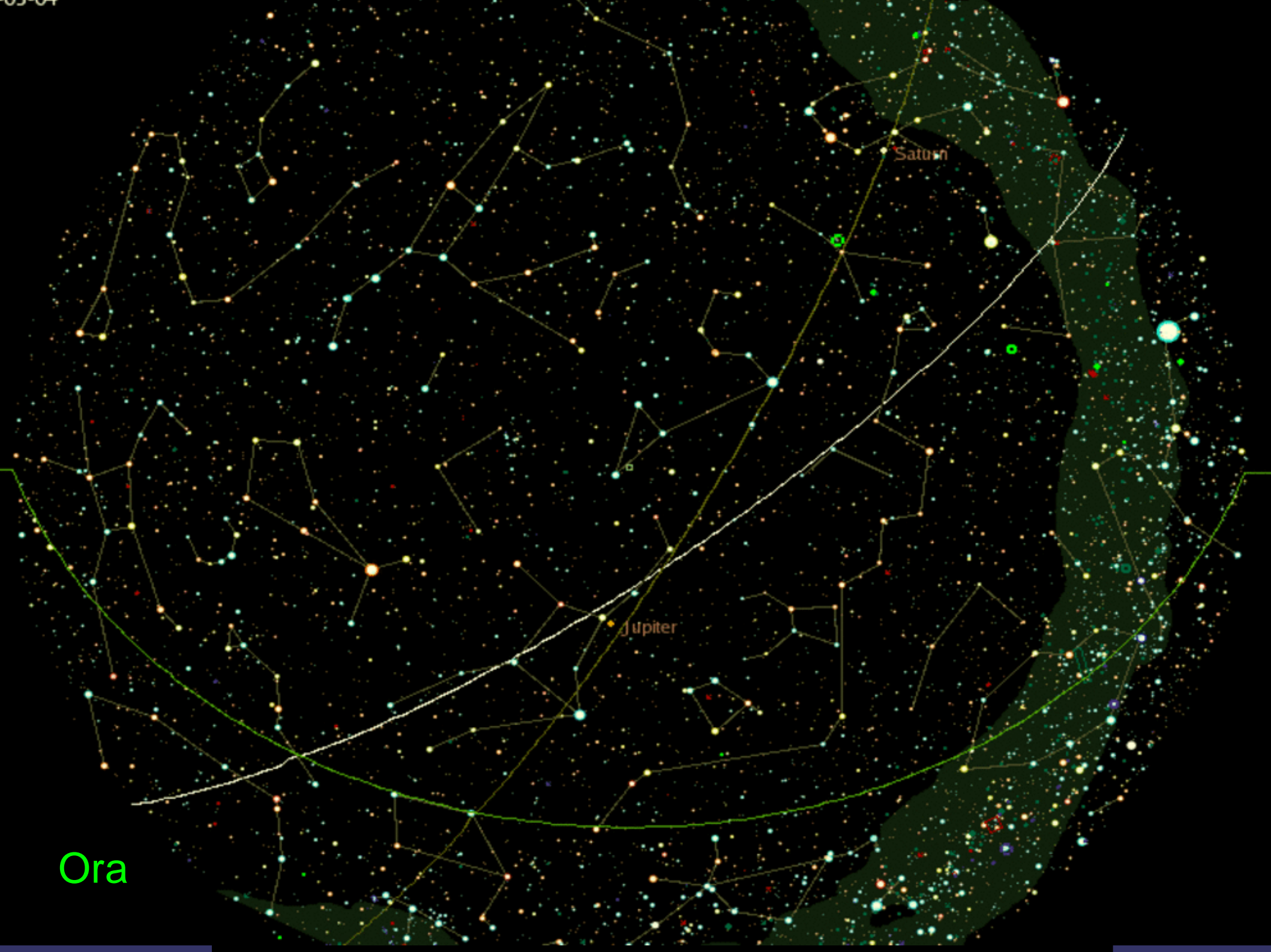
La descrizione vale lo stesso andando indietro nel tempo



Un posto speciale?

La descrizione vale lo stesso andando indietro nel tempo



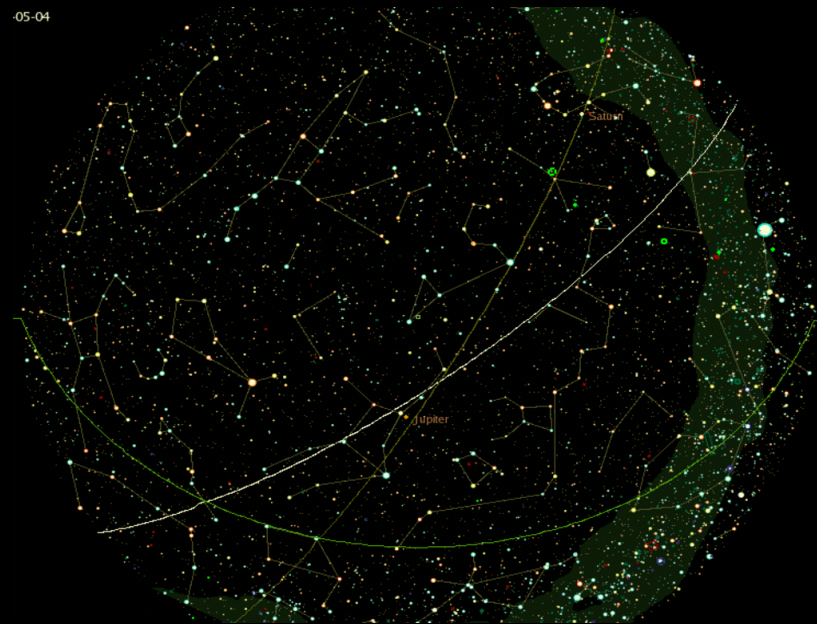


Ophiuchus

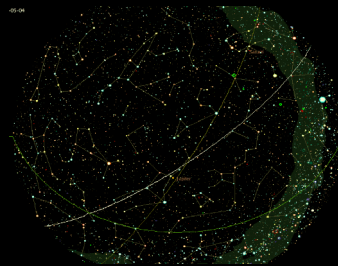
Jupiter

Saturn

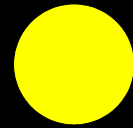
5 Miliardi di anni fa....



13 Miliardi di anni fa....



14 Miliardi di anni fa....



14,0003 Miliardi di anni fa...



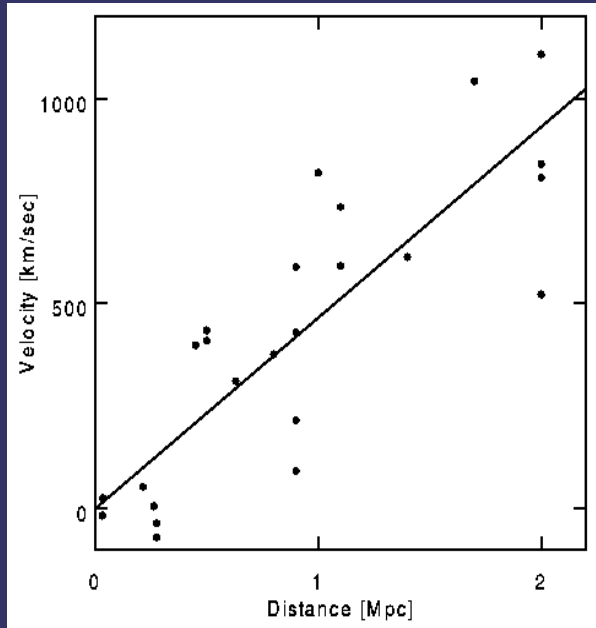
II BIG BANG!!

Un Universo in evoluzione

Dal grafico di Hubble si osserva:

● Spostamento verso il rosso:

●  allontanamento



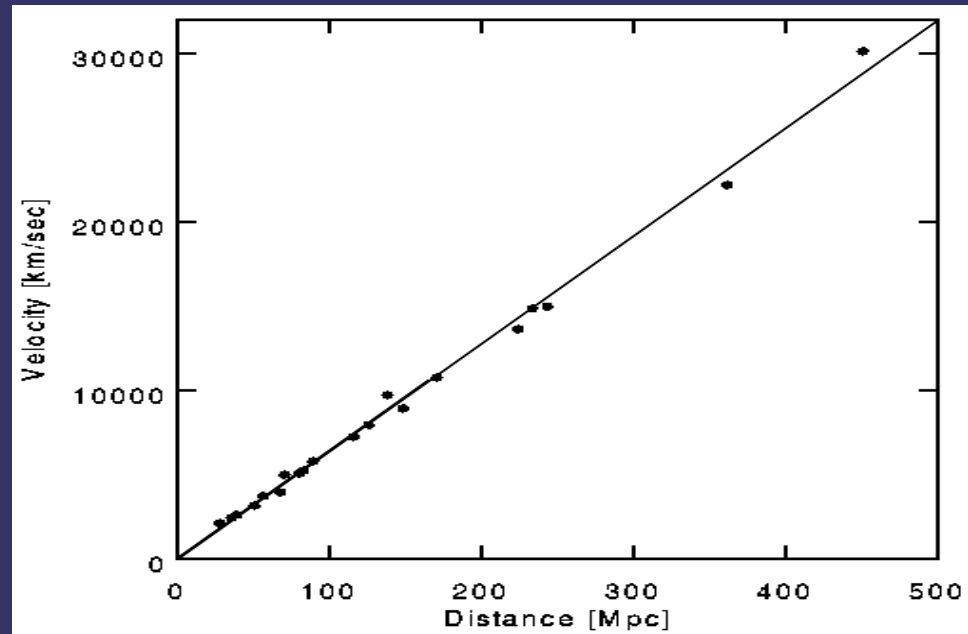
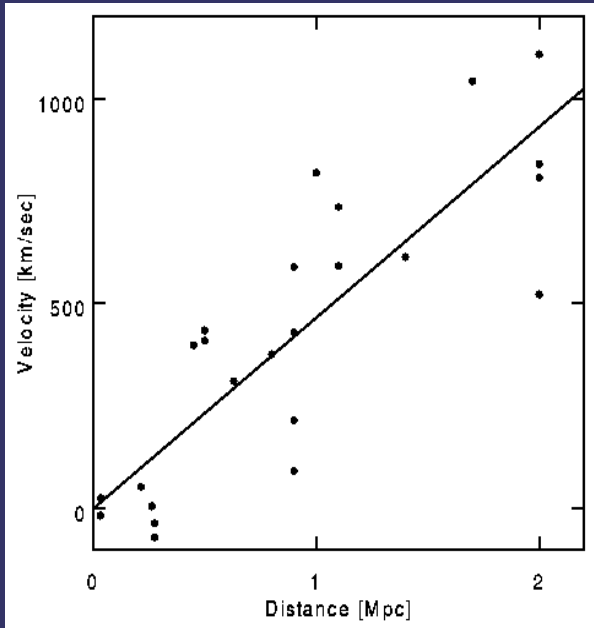
● Le misure di Hubble davano: Eta' Universo 2 Miliardi anni

Un Universo in evoluzione

Dal grafico di Hubble si osserva:

● Spostamento verso il rosso:

●  allontanamento



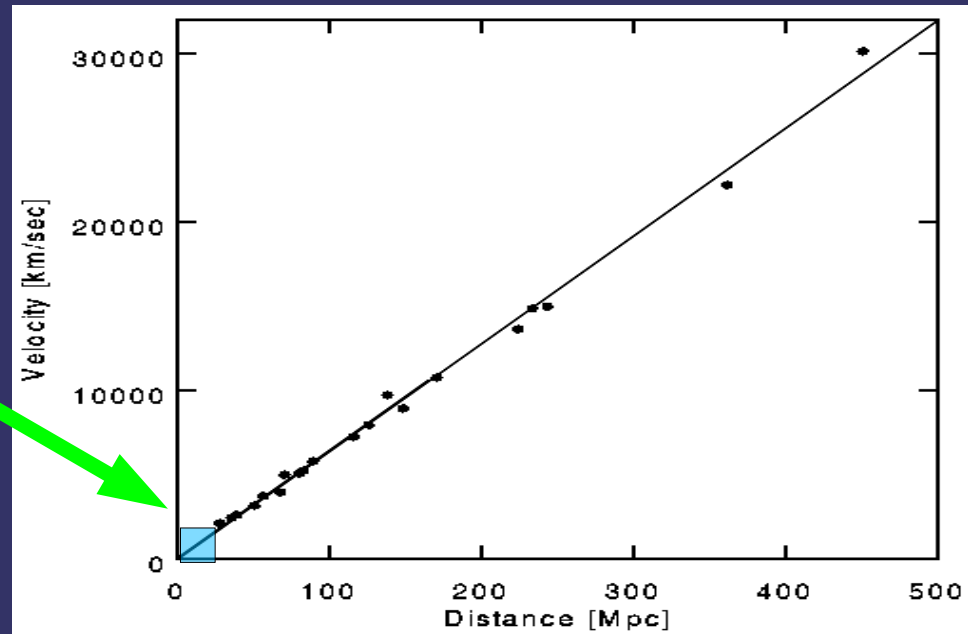
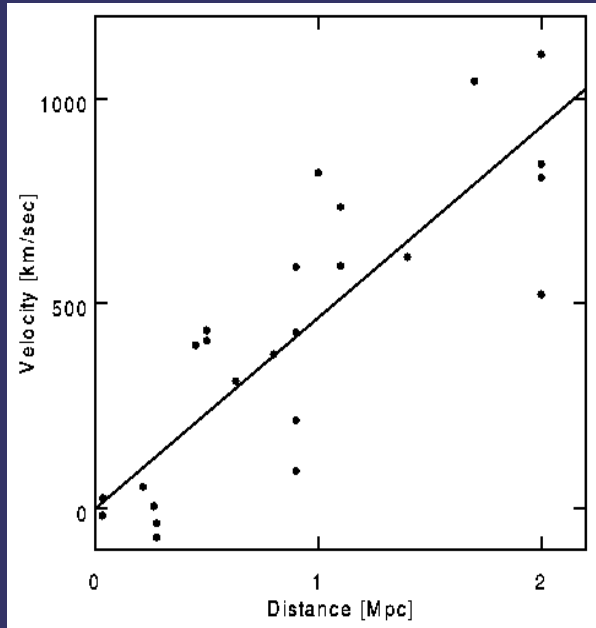
● Le misure di Hubble davano: Eta' Universo 2 Miliardi anni

● Le misure moderne danno: “ 14 “ “

Un Universo in evoluzione

Dal grafico di Hubble si osserva:

- Spostamento verso il rosso:
-  allontanamento



- Le misure di Hubble davano: Eta' Universo 2 Miliardi anni
- Le misure moderne danno: “ 14 “ “

Lezioni imparate

- Le osservazioni indicano evoluzione
- Principio copernicano \longrightarrow non movimento NELLO spazio (allontanamento) ma movimento DELLO spazio: *espansione dell' Universo*
- Evoluzione dell' Universo = evoluzione della geometria (distanze - tempi)

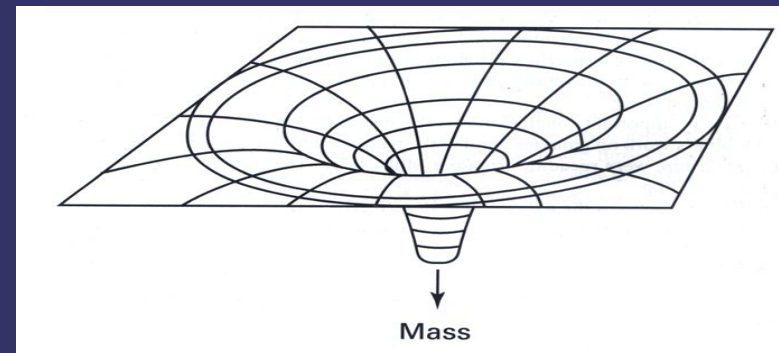
La fisica del Big-Bang: relativita' generale

- Contemporanea alla scoperta' di Hubble: relativita' generale, come teoria dello spazio-tempo
- Idea Generale: la gravita' = geometria, e la geometria e' determinata dalla materia/energia
- La geometria e' descritta dalla *metrica*: algoritmo con cui si costruiscono le distanze (spazio-tempo) a partire dalle coordinate

● EQUAZIONI DI EINSTEIN



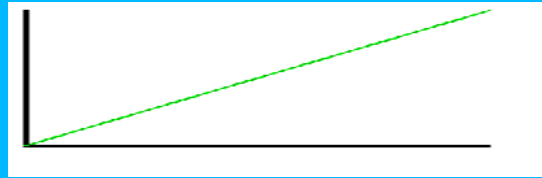
- (distanze - tempi) = Gravita' x (Materia - Energia)



EQUAZIONI DI EINSTEIN

“Quantita' di Materia-Energia”
(tempo/spazio) = G

=0



EQUAZIONI DI EINSTEIN

“Quantita' di Materia-Energia”
(tempo/spazio) = G

=0



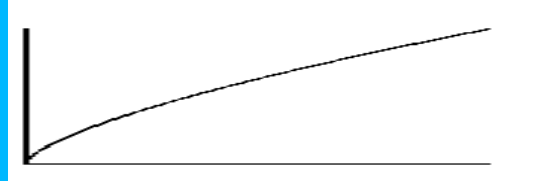
EQUAZIONI DI EINSTEIN

“Quantita' di Materia-Energia”
(tempo/spazio) = G

=0



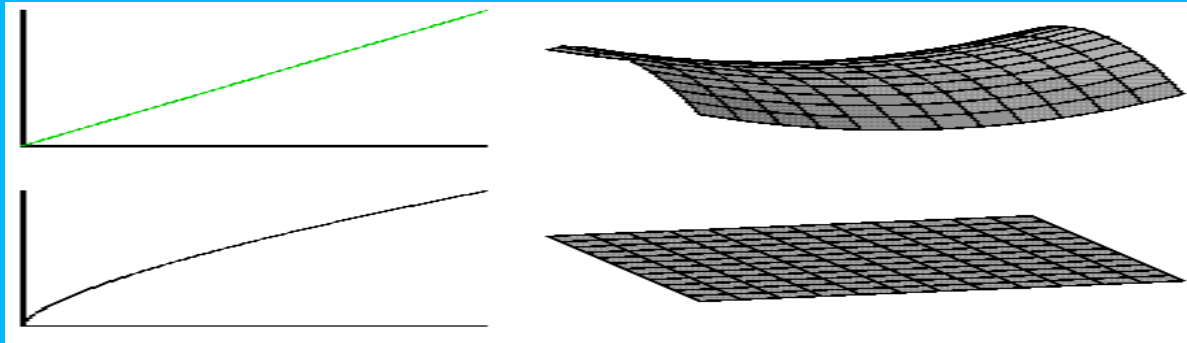
=1



EQUAZIONI DI EINSTEIN

“Quantita' di Materia-Energia”
(tempo/spazio) = G

=0

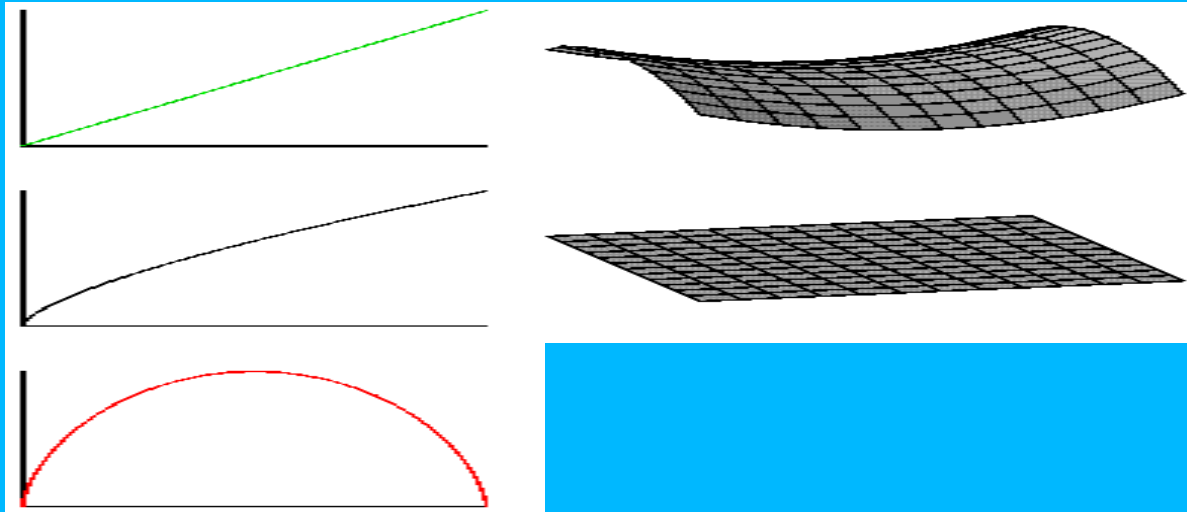


=1

EQUAZIONI DI EINSTEIN

“Quantita' di Materia-Energia”
(tempo/spazio) = G

=0



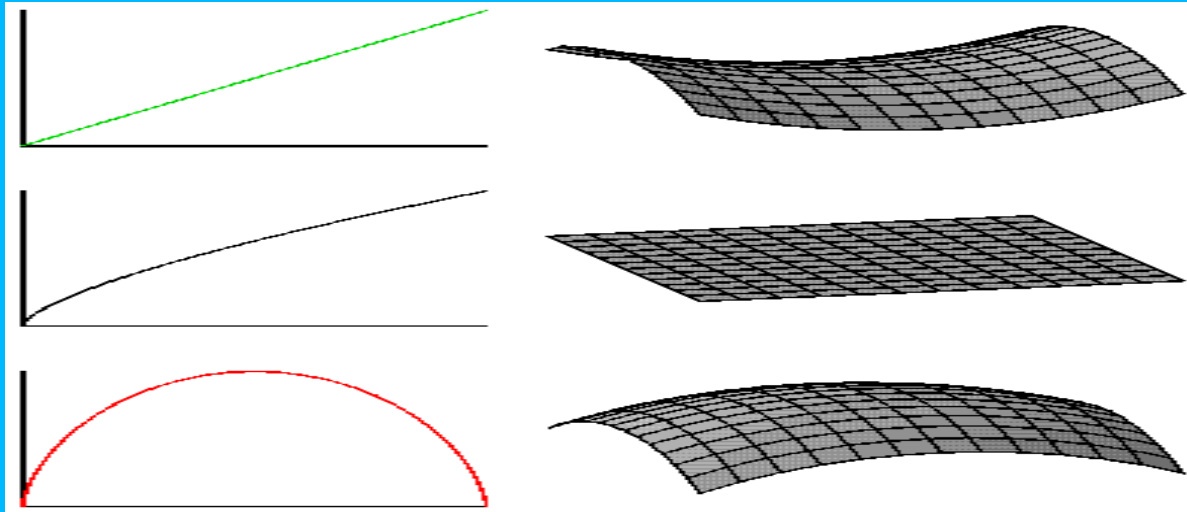
=1

>1

EQUAZIONI DI EINSTEIN

“Quantita' di Materia-Energia”
(tempo/spazio) = G

=0

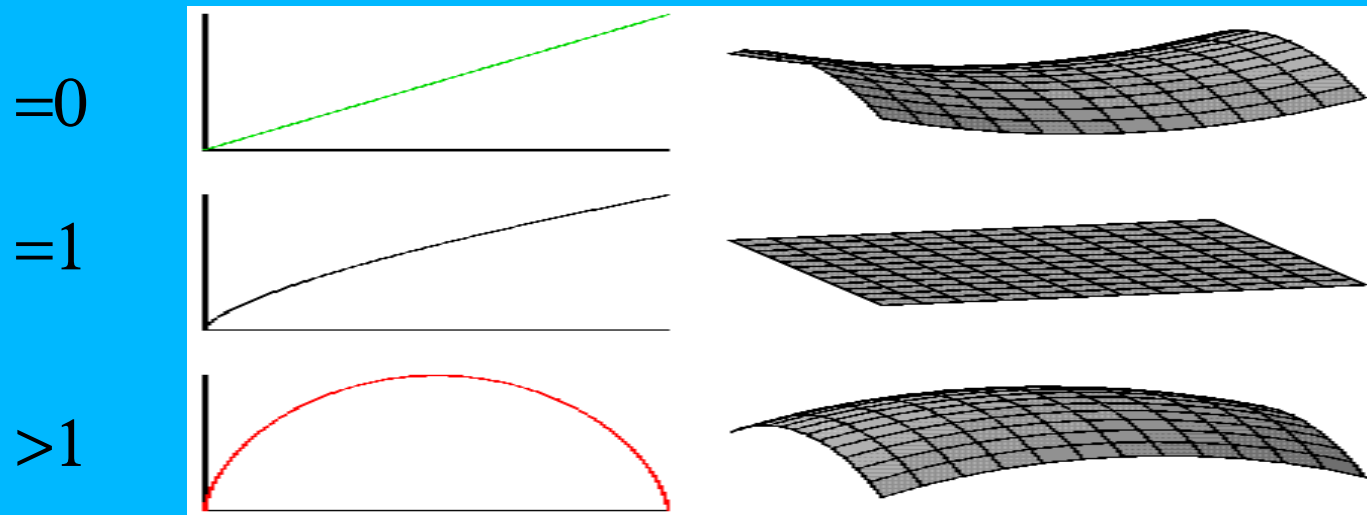


=1

>1

EQUAZIONI DI EINSTEIN

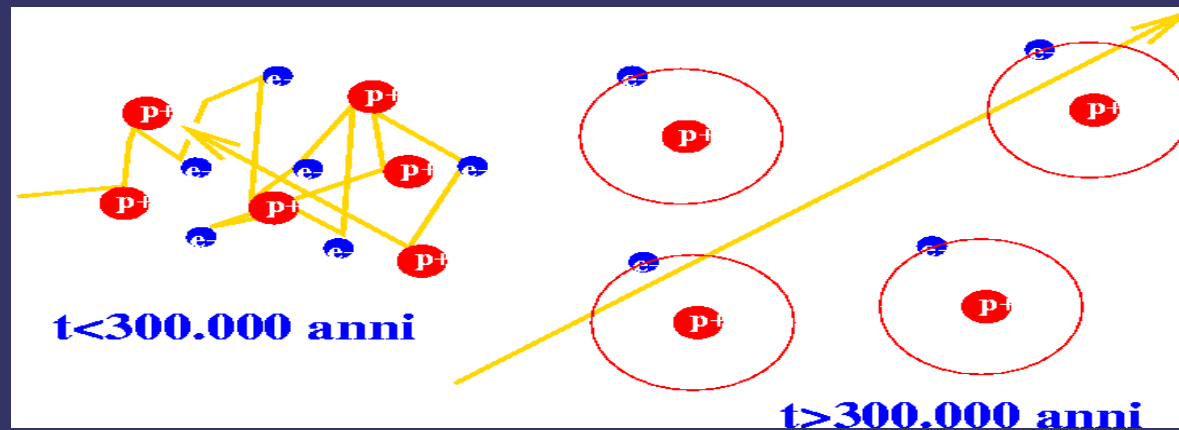
“Quantita' di Materia-Energia”
(tempo/spazio) = G



Sempre espansione ma la gravita' la rallenta....
..pero'.....

La Radiazione Fossile

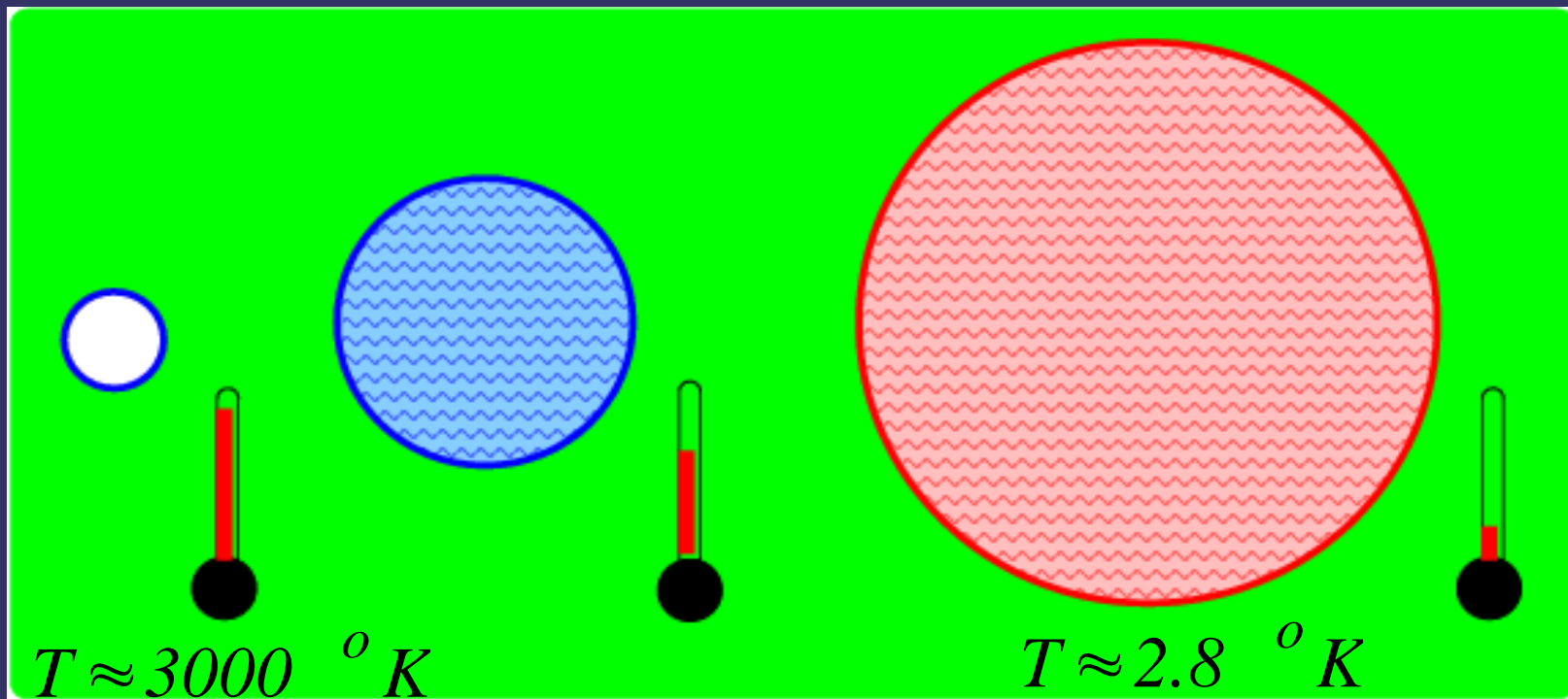
- Fino a quando l' Universo ha 300.000 anni di età tutta la materia contenuta è nello stato della materia in una stella
- Per lo stesso motivo la luce non può penetrare: è la cosa più vecchia (più distante) che possiamo vedere...



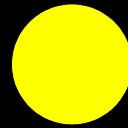
- La luce allora prodotta è ancora in giro e forma la cosiddetta “Radiazione Fossile”

La frontiera dell' Universo visibile

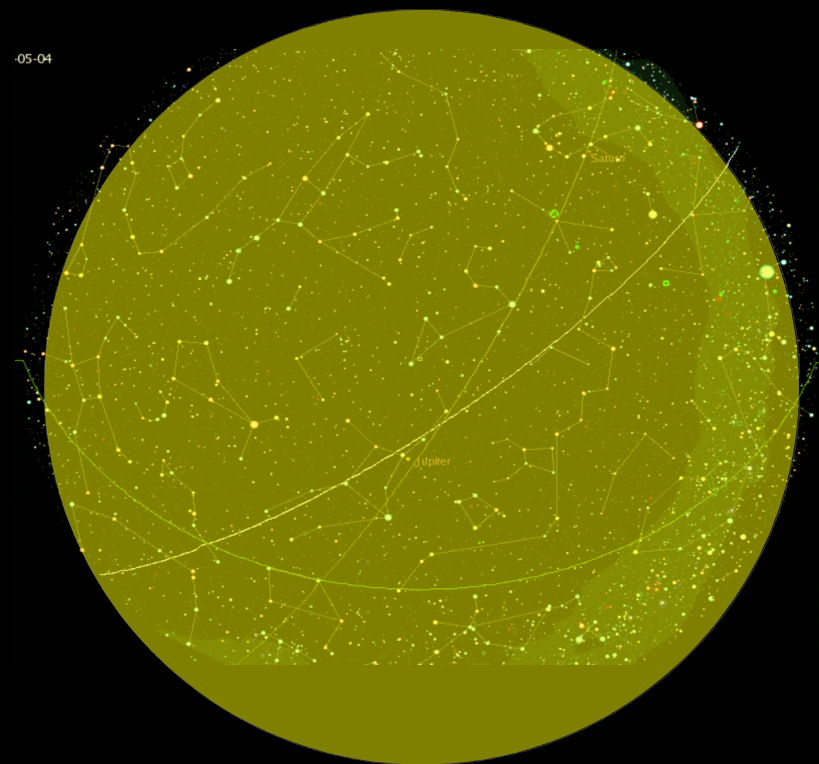
La Radiazione Fossile una volta prodotta partecipa all' espansione dell' Universo come “recipiente” e si raffredda come si raffredda qualunque gas quando si espande

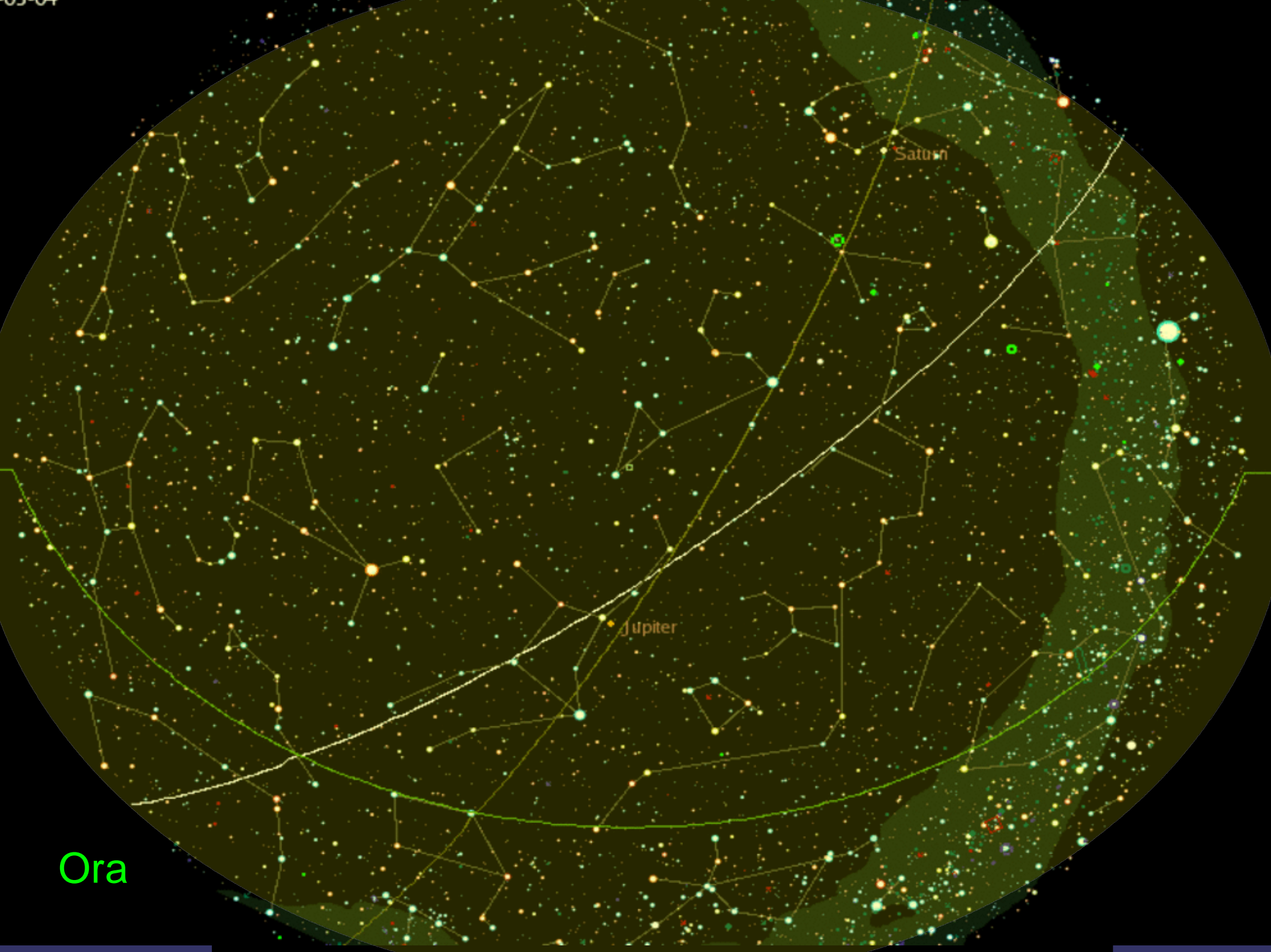


14 Miliardi di anni fa....



5 Miliardi di anni fa....





Saturn

Jupiter

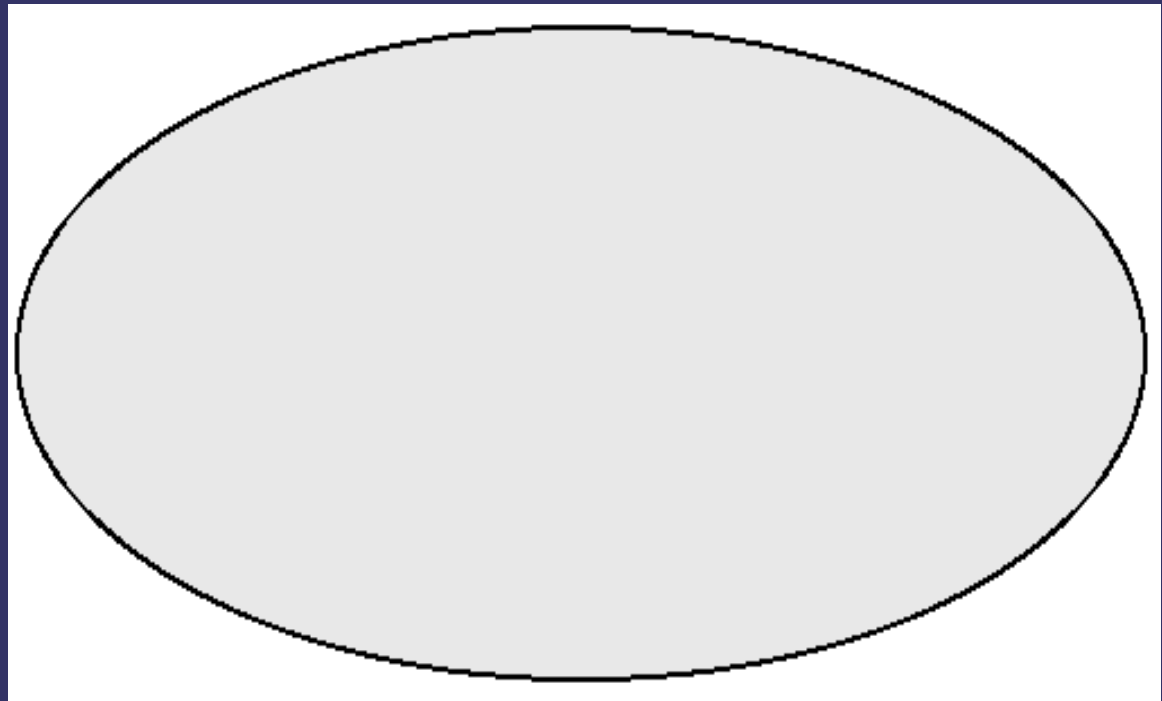
Ora

La frontiera dell' Universo visibile

La Radiazione Fossile. Prevista teoricamente negli anni 40, e' stata scoperta fortuitamente nel 65. Nessuna delle teorie concorrenti del Big-Bang la prevede.

La frontiera dell' Universo visibile

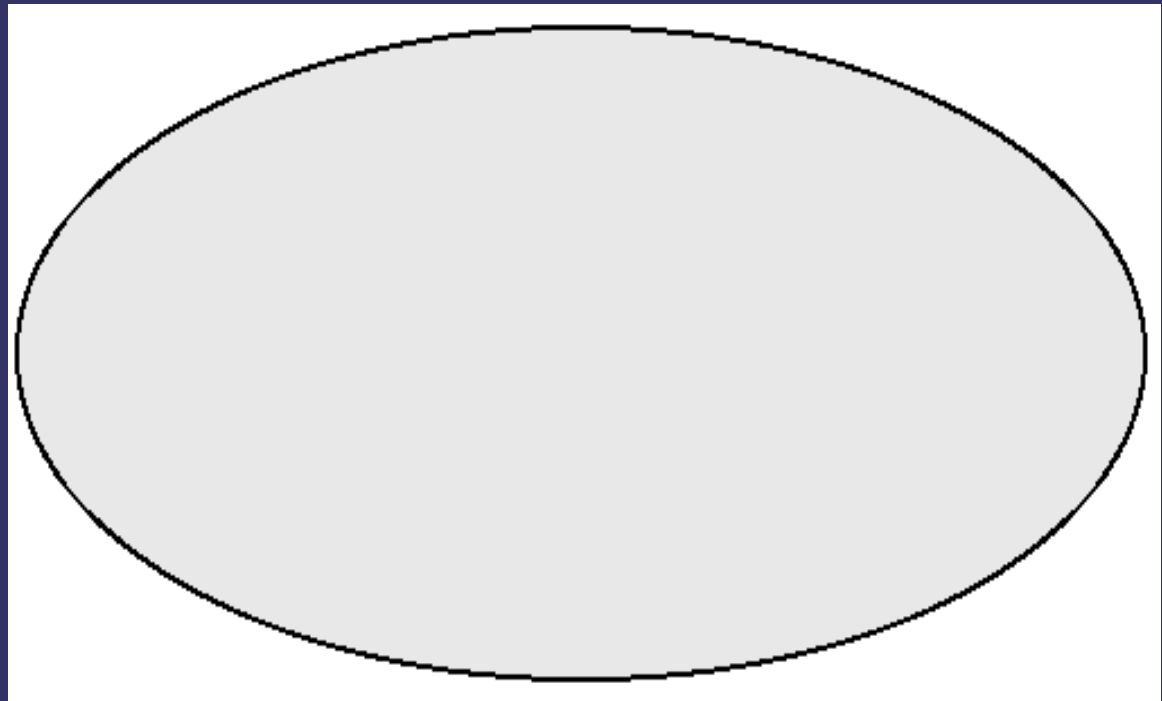
La Radiazione Fossile. Prevista teoricamente negli anni 50, e' stata scoperta fortuitamente nel 65. Questa e' una fotografia dell' Universo quando era vecchio 350 000 anni: un posto decisamente noioso!



La frontiera dell' Universo visibile

La Radiazione Fossile. Prevista teoricamente negli anni 50, e' stata scoperta fortuitamente nel 65. Questa e' una fotografia dell' Universo quando era vecchio 350 000 anni: un posto decisamente noioso!

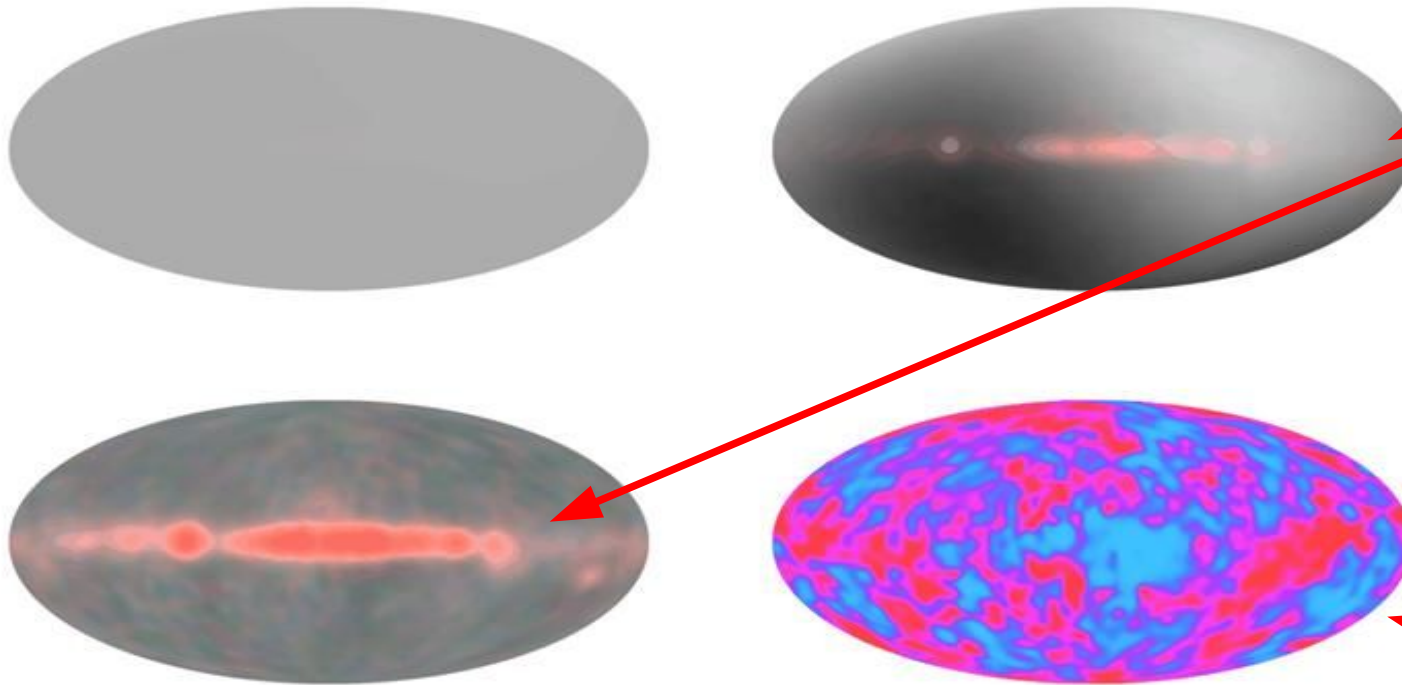
Circa 400
particelle di "luce"
per cm cubo



La frontiera dell' Universo visibile

- In realta' sono visibili diversi tipi di irregolarita', alcune dovute al moto della terra rispetto alla RF, altre primordiali

COBE DMR 4 Year Results



Moto della Terra

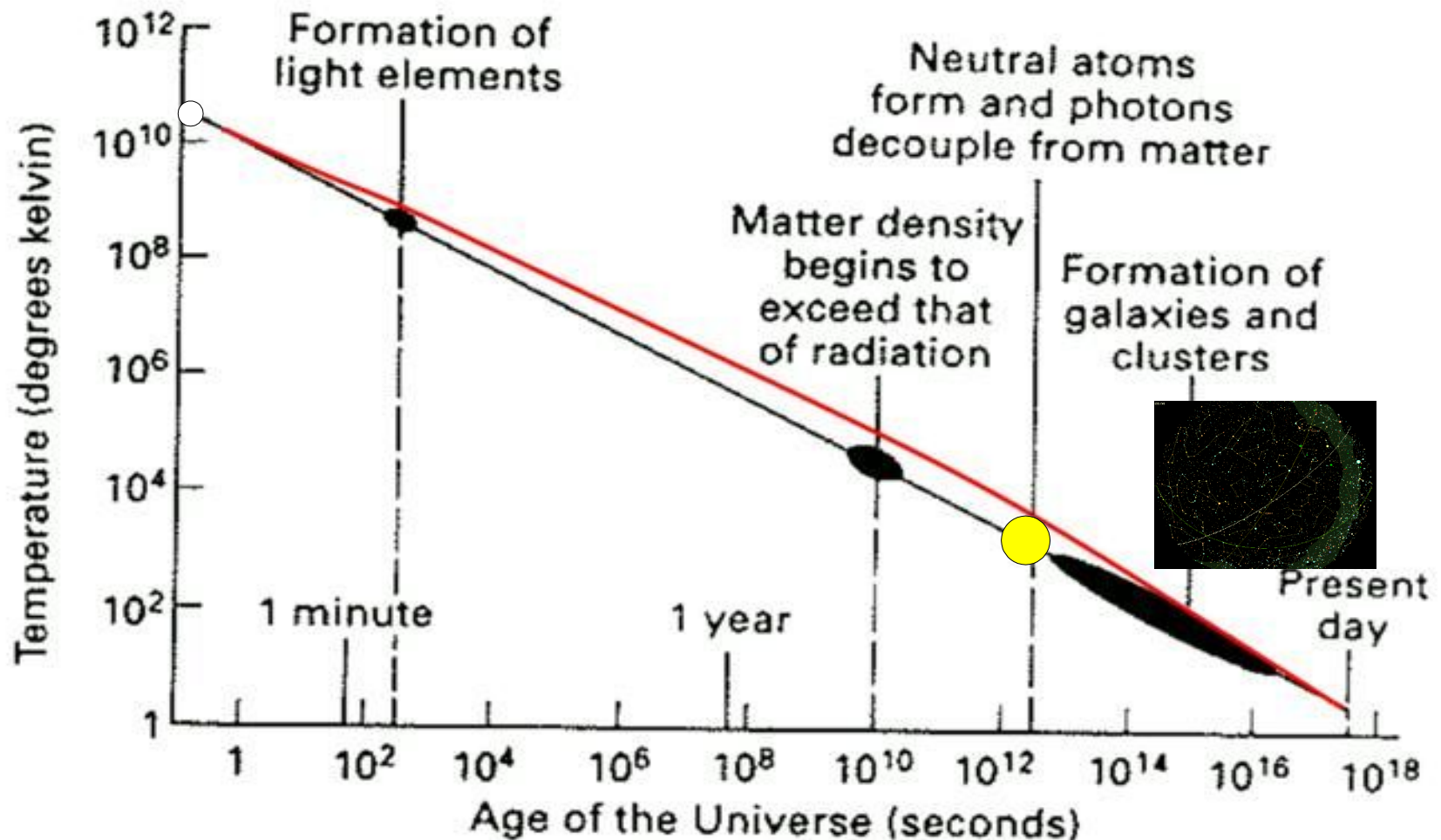
Primordiali

$$\Delta \frac{T}{T} \approx 10^{-5}$$

Contrast enhancements: 1x, 400x, 2000x, 30000x.

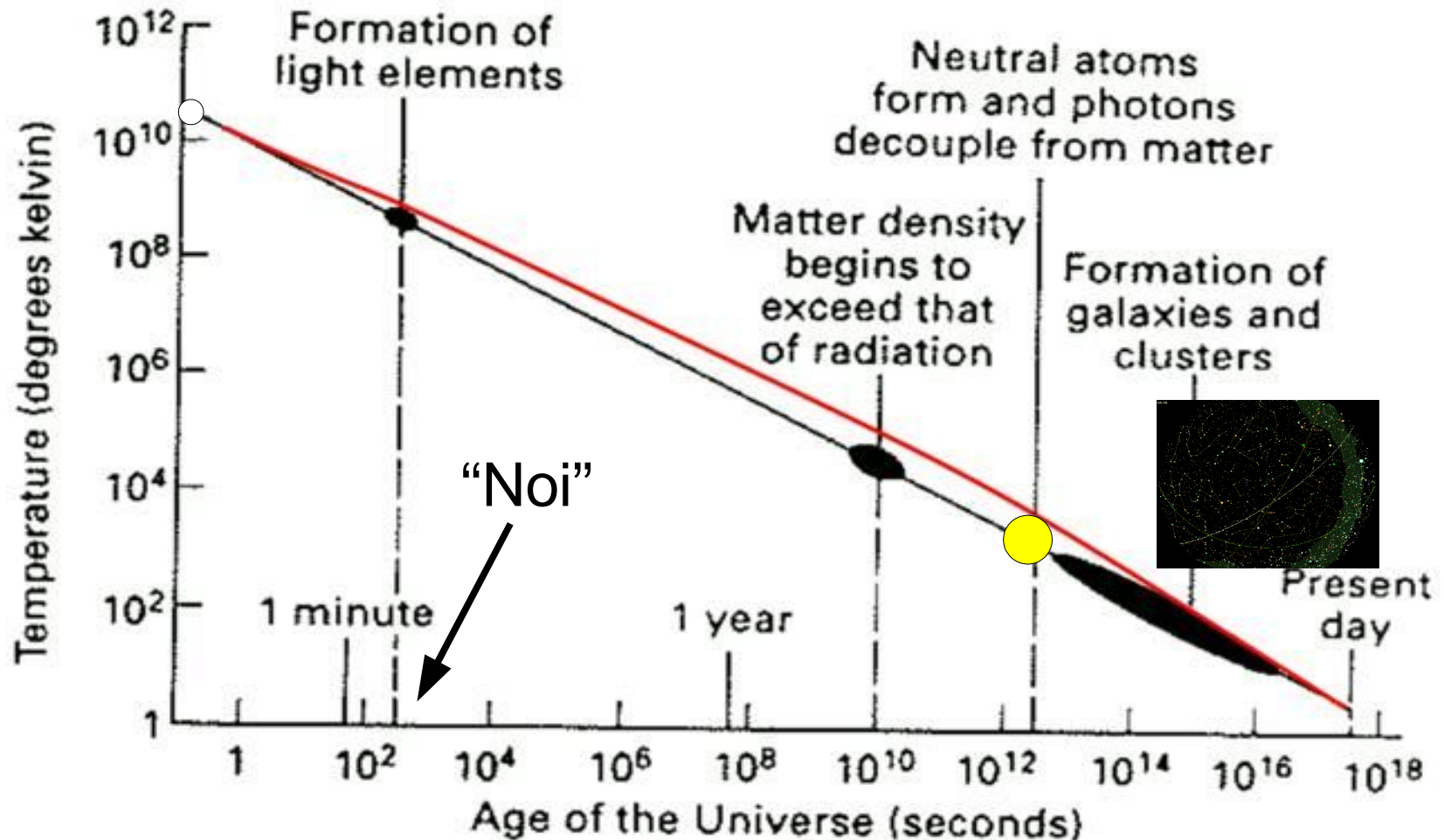
La frontiera dell' Universo visibile

Temperature vs time



La frontiera dell' Universo visibile

Temperature vs time

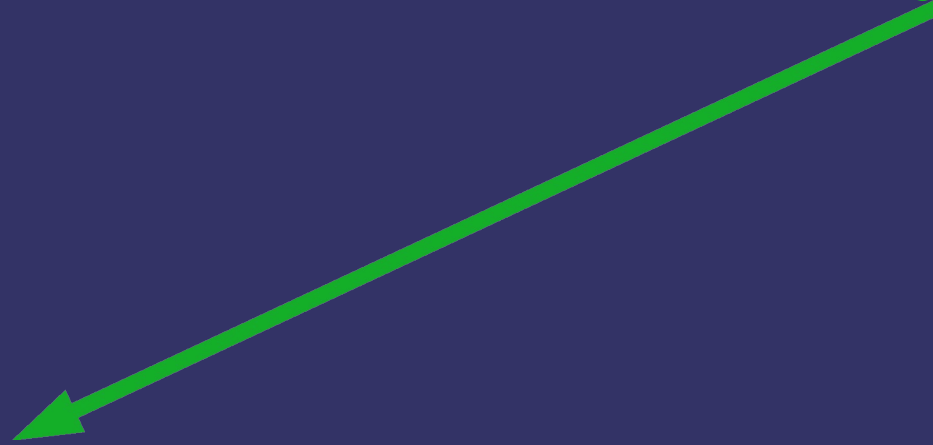


Il lato oscuro dell' Universo

- Non tutto è luce: anzi da alcuni decenni è emersa la necessità sulla base di alcune anomalie nella dinamica delle galassie

Il lato oscuro dell' Universo

● Non tutto è luce: anzi da alcuni decenni è emersa la necessità sulla base di alcune anomalie nella dinamica delle galassie



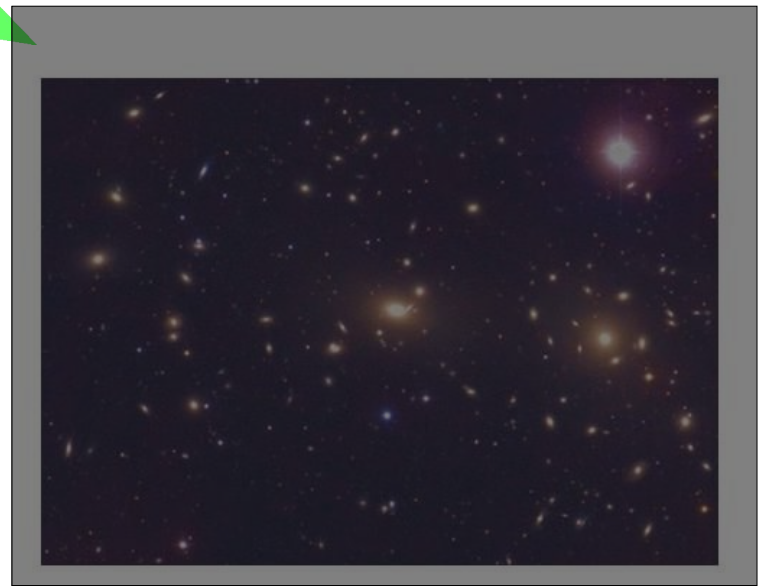
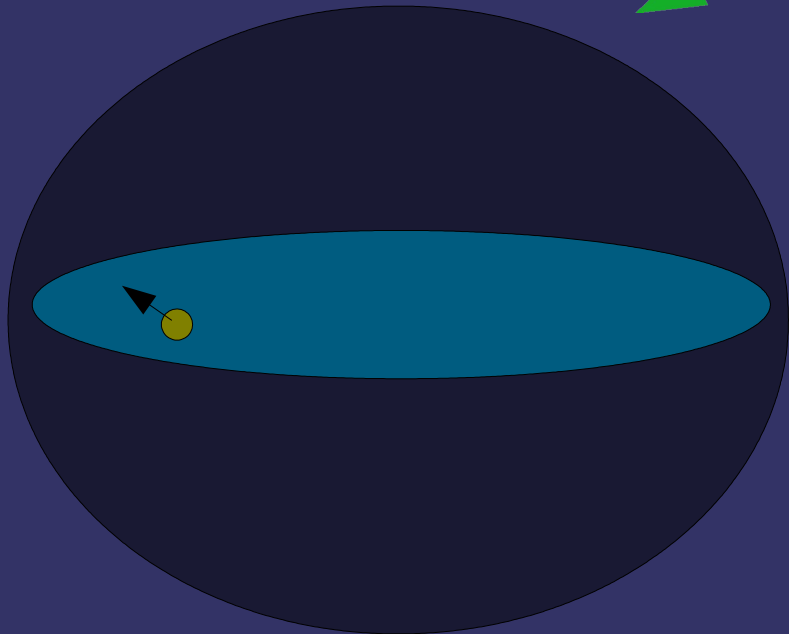
Il lato oscuro dell' Universo

● Non tutto è luce: anzi da alcuni decenni è emersa la necessità sulla base di alcune anomalie nella dinamica delle galassie e degli ammassi di galassie



Il lato oscuro dell' Universo

● Non tutto è luce: anzi da alcuni decenni è emersa la necessità sulla base di alcune anomalie nella dinamica delle galassie e degli ammassi di galassie, di postulare l'esistenza di *materia oscura*



Il lato oscuro dell' Universo

- In sostanza le stelle nelle galassie appaiono ruotare più veloci di quanto atteso dalla quantità di materia *luminosa* presente. Negli ammassi di galassie le particelle del gas intergalattico si muovono ed emettono radiazione X: la quantità di radiazione emessa è maggiore di quanto atteso se il moto avvenisse a causa del materiale luminoso. Da questi dati astronomici si ricava $\Omega_M > 0.3$ mentre $\Omega_{vis} \approx 0.004$.
- Da qui il nome di materia oscura.

Il lato oscuro dell' Universo

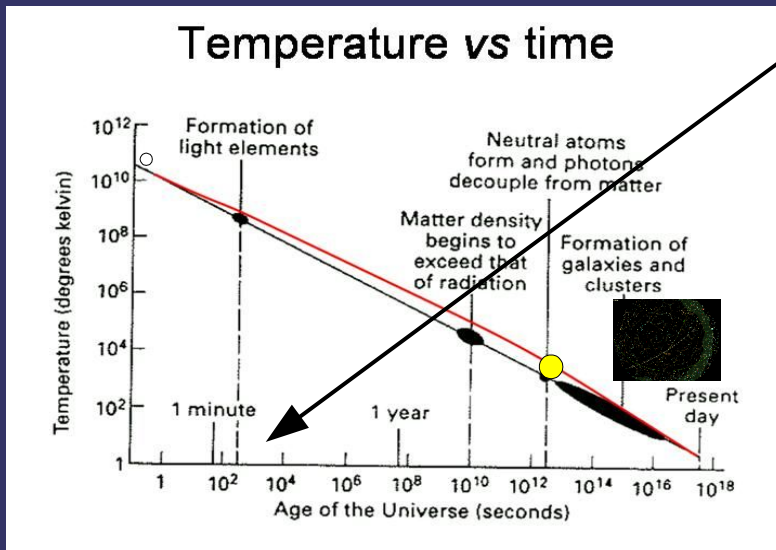
- Inoltre la materia oscura viene chiamata *non barionica (sinonimo di "esotica")*.

Il lato oscuro dell' Universo

● Inoltre la materia oscura viene chiamata

non barionica (sinonimo di "esotica").

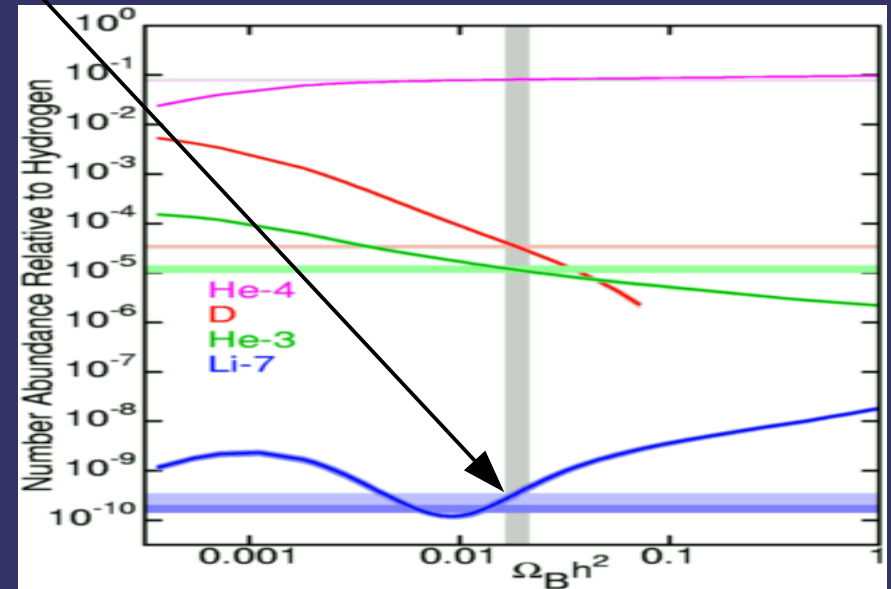
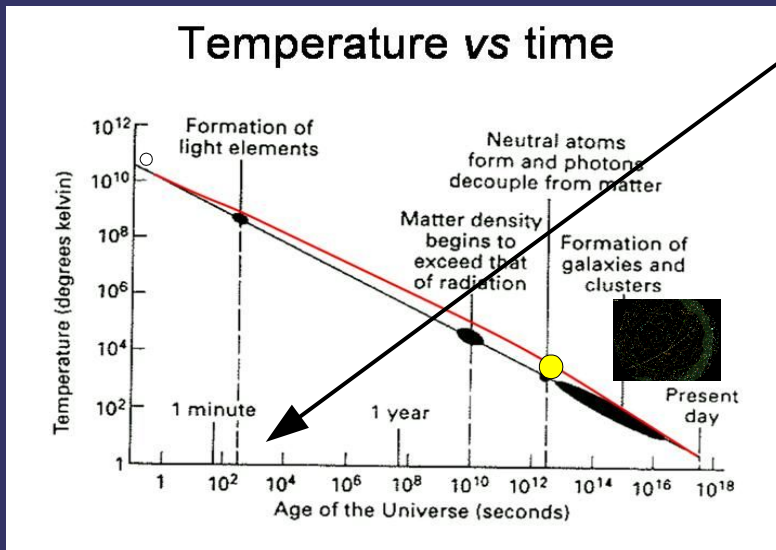
I barioni sono fra i costituenti della materia normale, che partecipano alla formazione dei nuclei.



Il lato oscuro dell' Universo

● Inoltre la materia oscura viene chiamata *non barionica* (sinonimo di "esotica").

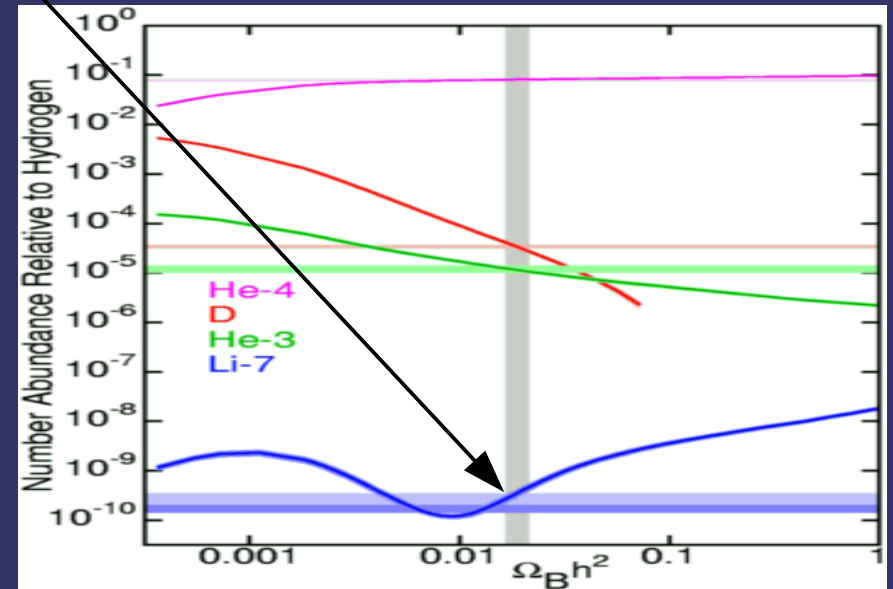
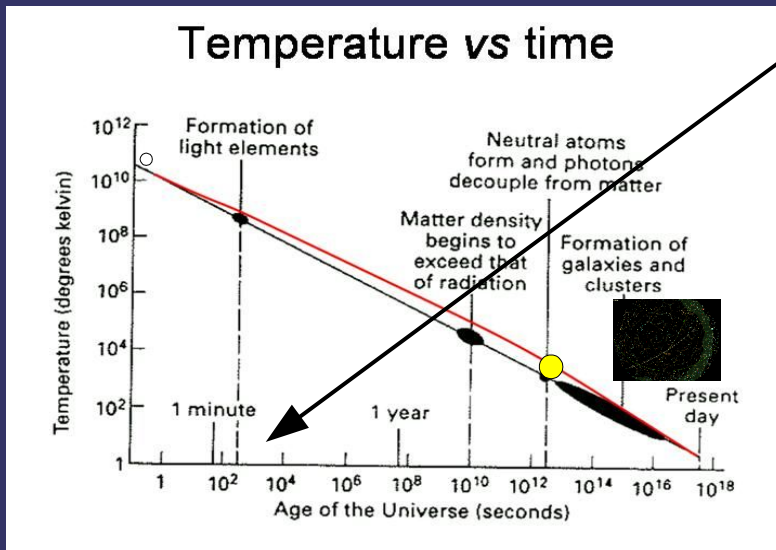
I barioni sono fra i costituenti della materia normale, che partecipano alla formazione dei nuclei.



Il lato oscuro dell' Universo

Inoltre la materia oscura viene chiamata *non barionica* (sinonimo di "esotica").

I barioni sono fra i costituenti della materia normale, che partecipano alla formazione dei nuclei.

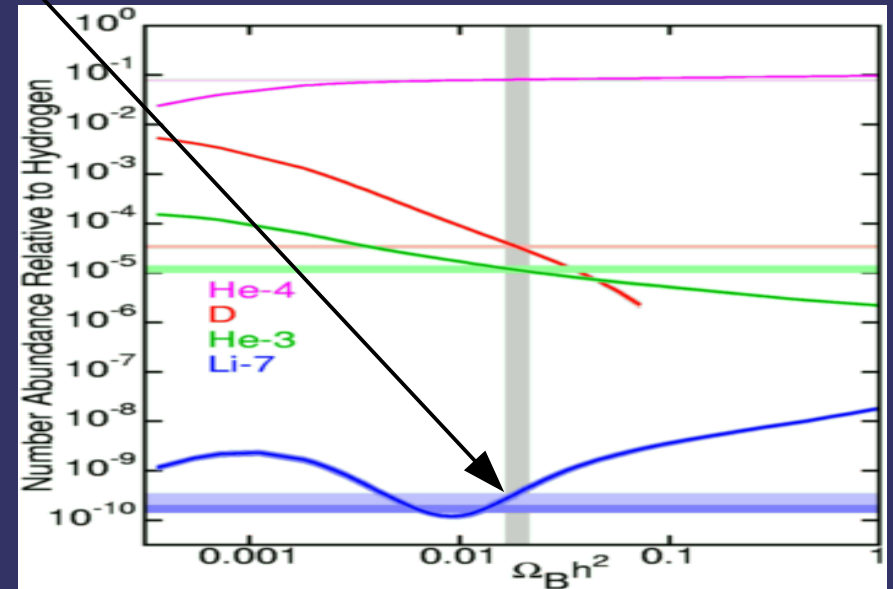
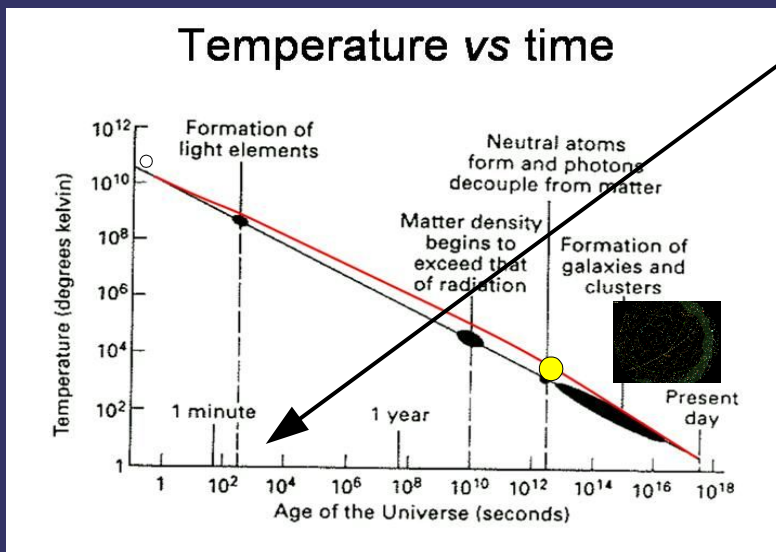


I dati osservativi (abbondanze degli elementi primordiali) indicano che la materia "normale" e' solo circa 1 settimo di quella "esotica"

Il lato oscuro dell' Universo

Inoltre la materia oscura viene chiamata *non barionica* (sinonimo di "esotica").

I barioni sono fra i costituenti della materia normale, che partecipano alla formazione dei nuclei.



I dati osservativi (abbondanze degli elementi primordiali) indicano che la materia "normale" e' solo circa 1 settimo di quella "esotica"

$$(\text{tempo/spazio}) = G \left(\rho_{MN} + \rho_{MO} \right)$$

Il lato oscuro dell' Universo

- **Cos' e' la materia oscura? Non lo sappiamo di preciso. Alcune componenti sono note:**

Il lato oscuro dell' Universo

- Cos' e' la materia oscura? Non lo sappiamo di preciso. Alcune componenti sono note:
- pianeti, stelle morte, polvere... (materia normale)

Il lato oscuro dell' Universo

- Cos' e' la materia oscura? Non lo sappiamo di preciso. Alcune componenti sono note:
- pianeti, stelle morte, polvere... (materia normale)
- neutrini (se hanno massa come ormai molti esperimenti anche al Gran Sasso indicano - materia oscura non barionica)

Il lato oscuro dell' Universo

- Cos' e' la materia oscura? Non lo sappiamo di preciso. Alcune componenti sono note:
- pianeti, stelle morte, polvere... (materia normale)
- neutrini (se hanno massa come ormai molti esperimenti anche al Gran Sasso indicano - materia oscura non barionica)
- Ma tutto cio' non e' sufficiente. Se l' interpretazione delle misure e' corretta non sappiamo qual' e' la componente primaria

Il lato oscuro dell' Universo

- Cos' e' la materia oscura? Non lo sappiamo di preciso. Alcune componenti sono note:
- pianeti, stelle morte, polvere... (materia normale)
- neutrini (se hanno massa come ormai molti esperimenti anche al Gran Sasso indicano - materia oscura non barionica)
- Ma tutto cio' non e' sufficiente. Se l' interpretazione delle misure e' corretta non sappiamo qual' e' la componente primaria
- Esistono alcune indicazioni forti da un esperimento al Gran Sasso che aspettano conferme da altri esperimenti

Il lato oscuro dell' Universo

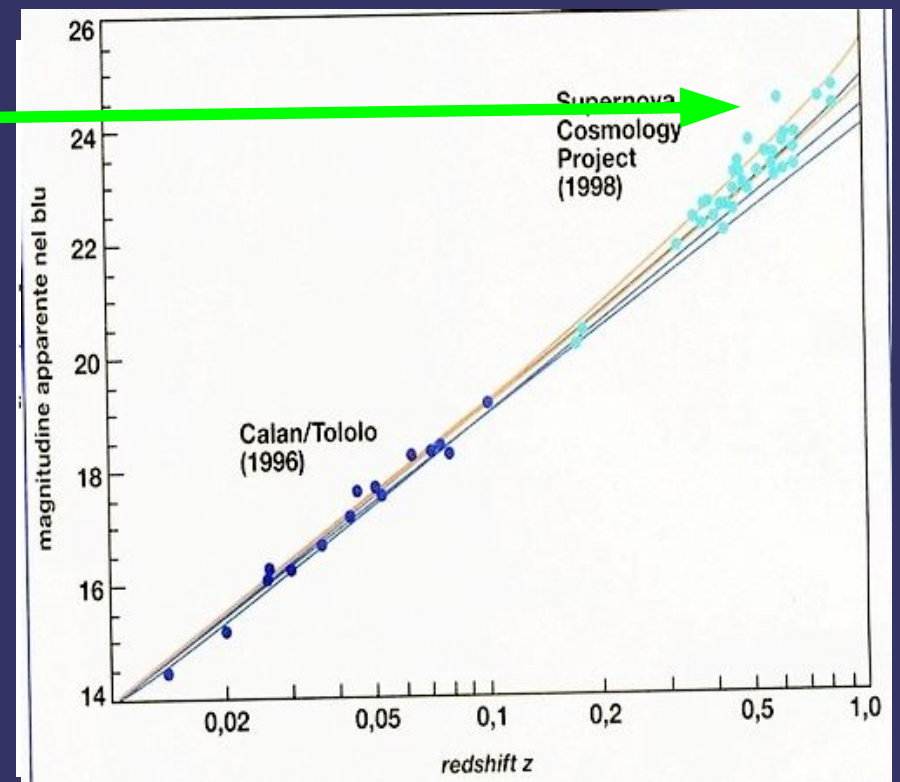
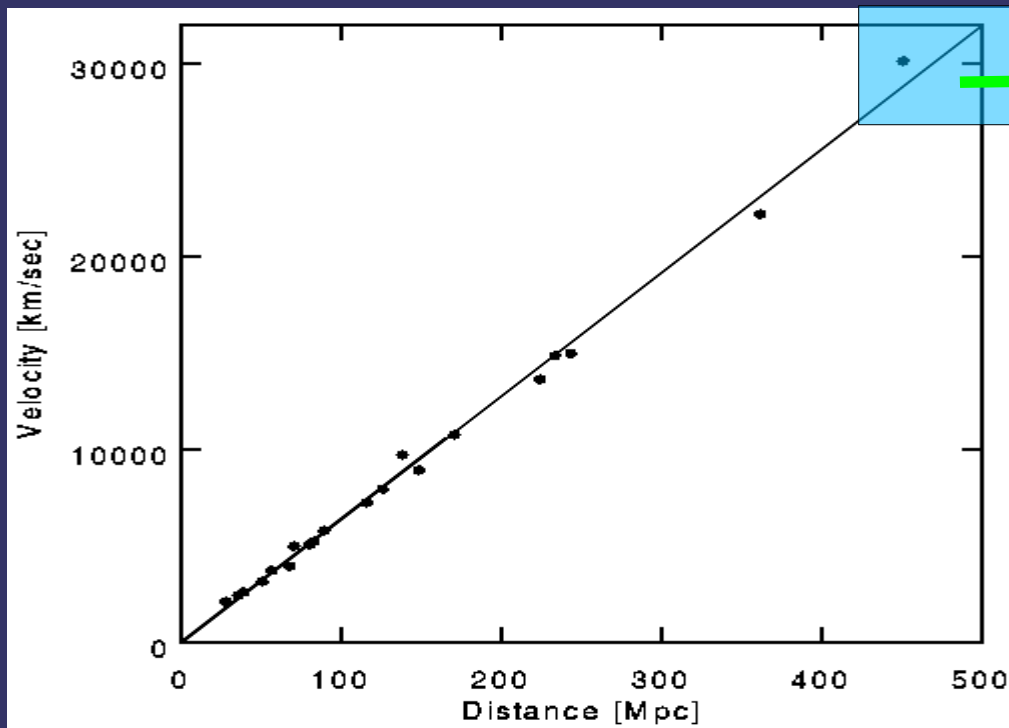
- Cos' e' la materia oscura? Non lo sappiamo di preciso. Alcune componenti sono note:
- pianeti, stelle morte, polvere... (materia normale)
- neutrini (se hanno massa come ormai molti esperimenti anche al Gran Sasso indicano - materia oscura non barionica)
- Ma tutto cio' non e' sufficiente. Se l' interpretazione delle misure e' corretta non sappiamo qual' e' la componente primaria
- Esistono alcune indicazioni forti da un esperimento al Gran Sasso che aspettano conferme da altri esperimenti
- Esistono moltissime teorie....

Misure di precisione: la nuova Cosmologia

- Fino a pochi anni fa le misure piu' precise avevano un errore del 100 %
- Le misure di precisione si devono riferire a oggetti a grandissima distanza
- Da circa 20 anni riguardano l' oggetto piu' distante visibile (La radiazione Fossile)
- Misure indirette si possono fare anche sulla reazione di nucleosintesi che inizia a $t=1$ sec. misurando la quantita' di nuclei non altrimenti prodotti nell' evoluzione stellare
- Altre misure dirette riguardano la propagazione della luce prodotta nell' esplosione di stelle lontane (SuperNovae)
- Infine (per ora ..) le misure piu' precise delle masse dei neutrini forse vengono dal conteggio del numero di galassie in funzione delle loro dimensioni

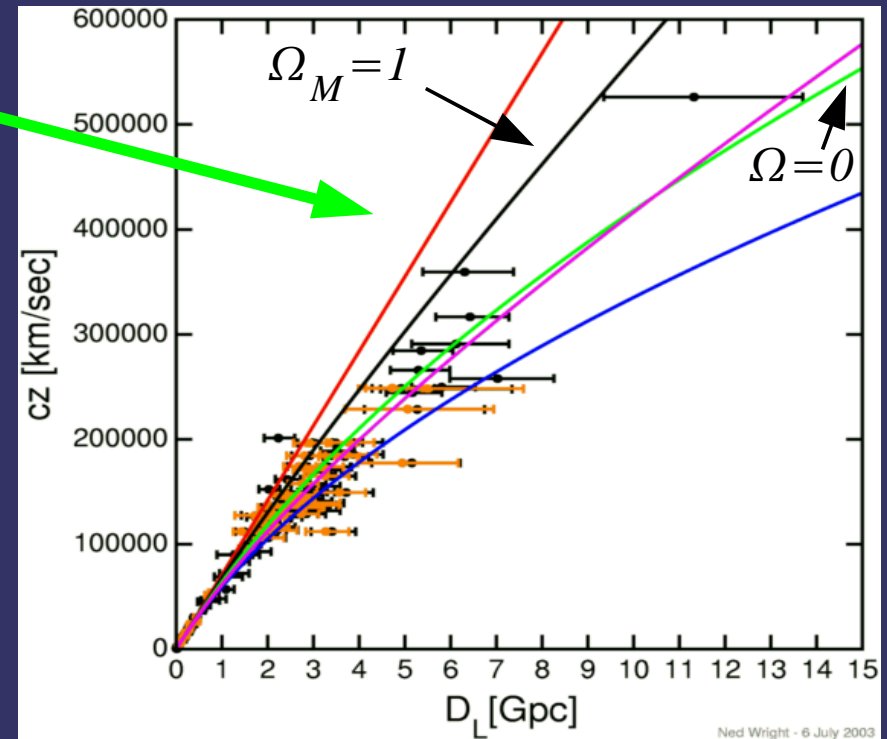
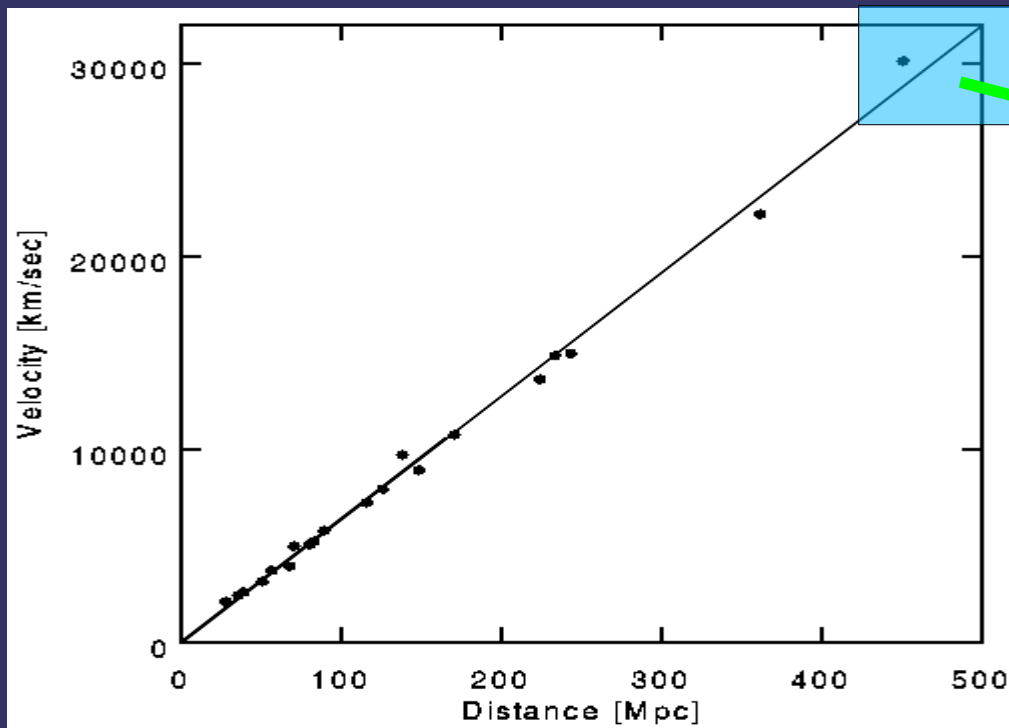
Misure di precisione in Cosmologia

- Le supernovae (SN) sono fra gli oggetti piu' luminosi del nostro Universo, visibili a grandi distanze.
- Diversi tipi, quelle di tipo SNIa importanti perche' la loro luminosita' *intrinseca* non sembra variare fra gli esemplari
- Luminosita' → Distanza



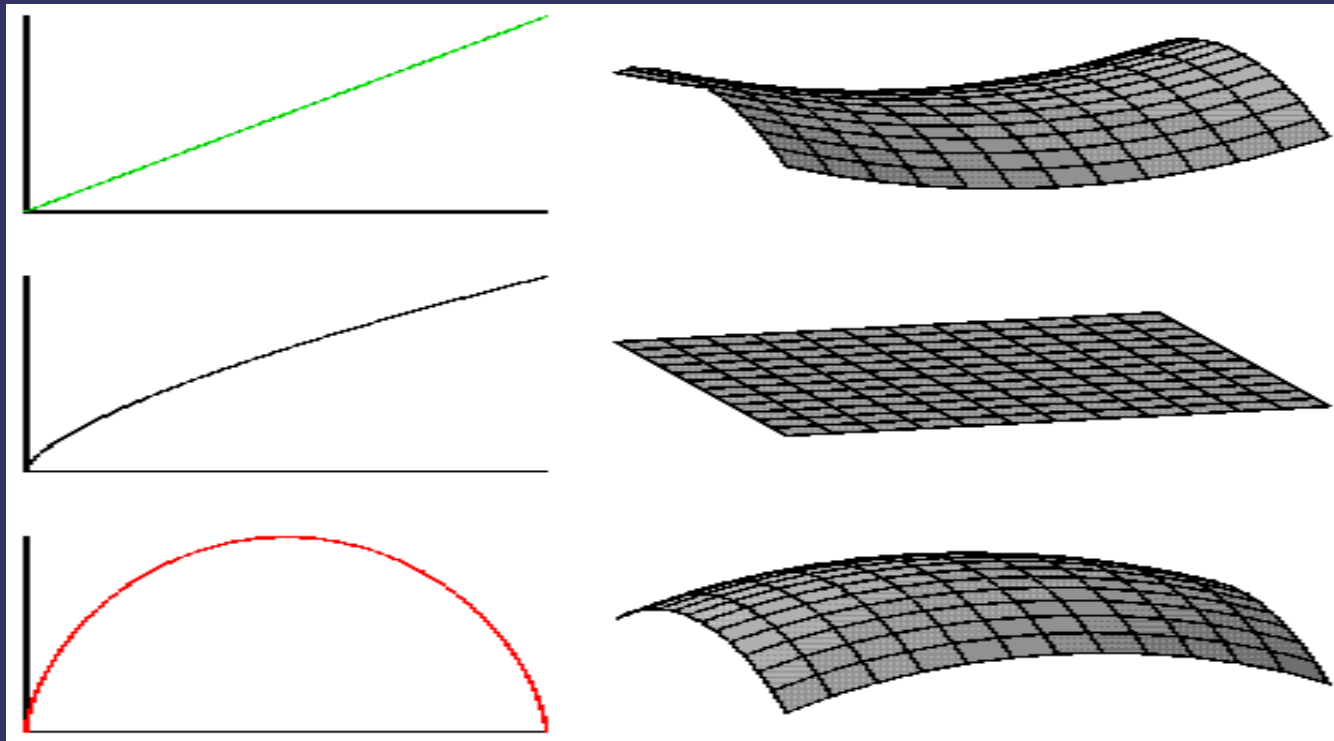
Misure di precisione in Cosmologia

- Le supernovae (SN) sono fra gli oggetti piu' luminosi del nostro Universo, visibili a grandi distanze.
- Diversi tipi, quelle di tipo SNIa importanti perche' la loro luminosita' *intrinseca* non sembra variare fra gli esemplari
- Luminosita' → Distanza



Misure di precisione in Cosmologia

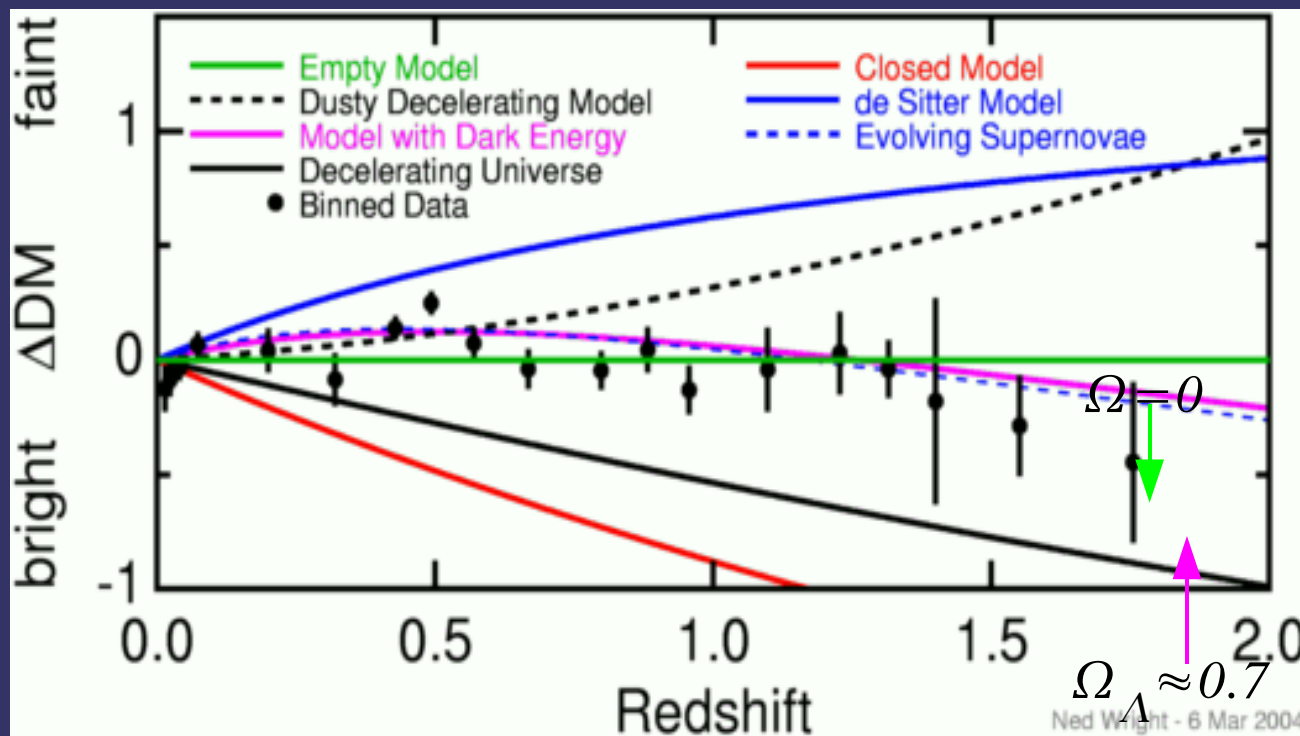
- Il caso $\Omega = 0$ corrisponde alla minima decelerazione possibile
- I dati sembrano indicare accelerazione dell' espansione



- Le equazioni di Einstein non consentono accelerazione a meno di introdurre una nuova forma di energia: l' energia del “vuoto” o energia oscura

Misure di precisione in Cosmologia

- Il caso $\Omega = 0$ corrisponde alla minima decelerazione possibile
- I dati sembrano indicare accelerazione dell' espansione



- Le equazioni di Einstein non consentono accelerazione a meno di introdurre una nuova forma di energia: l' energia del "vuoto" o energia oscura

Cos' e' l'energia oscura?

● **Brancoliamo nel *buio***

Cos' e' l'energia oscura?

- Brancoliamo nel *buio*
- Einstein stesso aveva introdotto un termine simile
(spazio/tempo) = $G (\text{}_{MN} + \text{}_{MO}) +$
(il piu' grande errore della mia vita...)

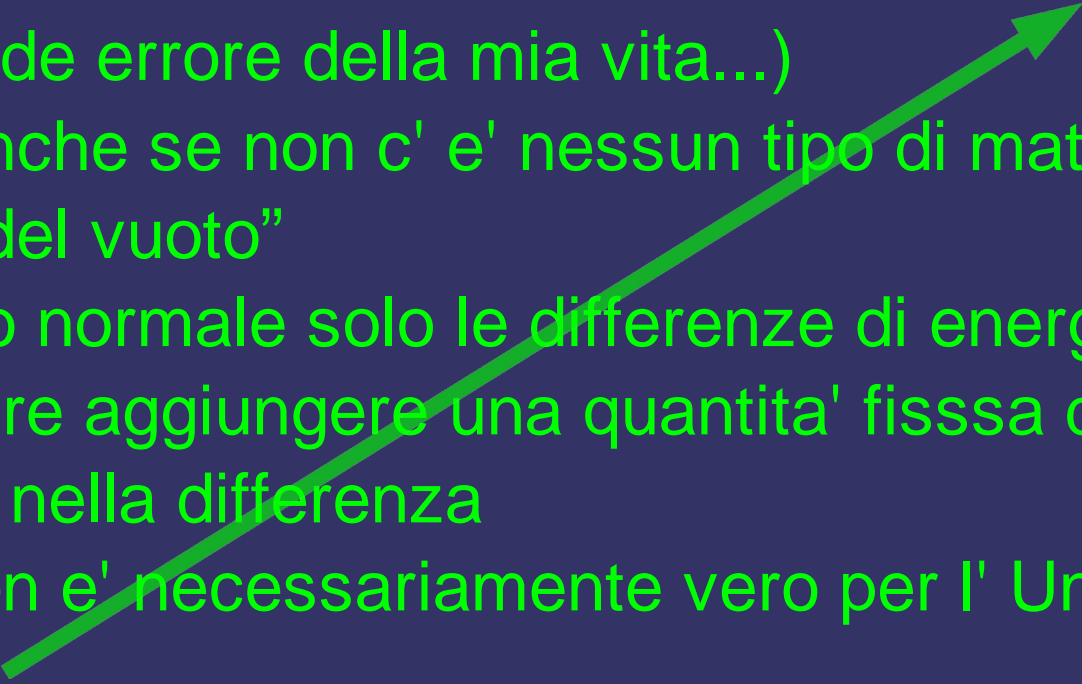
Cos' e' l'energia oscura?

- Brancoliamo nel *buio*
- Einstein stesso aveva introdotto un termine simile
(spazio/tempo) = $G (\rho_{MN} + \rho_{MO}) +$
(il piu' grande errore della mia vita...)
- Rimane anche se non c' e' nessun tipo di materia:
“energia del vuoto”
-

Cos' e' l'energia oscura?

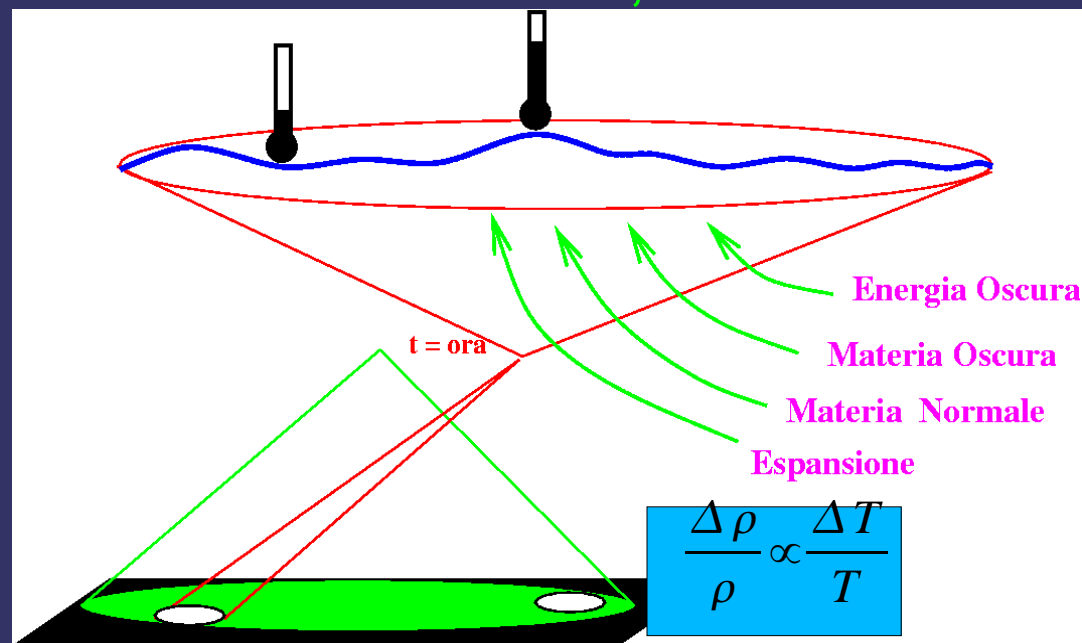
- Brancoliamo nel *buio*
- Einstein stesso aveva introdotto un termine simile
(spazio/tempo) = $G (\rho_{MN} + \rho_{MO}) +$
(il piu' grande errore della mia vita...)
- Rimane anche se non c' e' nessun tipo di materia:
“energia del vuoto”
- Nel mondo normale solo le differenze di energia contano. Si puo' sempre aggiungere una quantita' fissa di energia che scompare nella differenza
-

Cos' e' l'energia oscura?

- Brancoliamo nel *buio*
 - Einstein stesso aveva introdotto un termine simile
(spazio/tempo) = $G (\rho_{MN} + \rho_{MO}) +$
(il piu' grande errore della mia vita...)
 - Rimane anche se non c' e' nessun tipo di materia:
“energia del vuoto”
 - Nel mondo normale solo le differenze di energia contano. Si puo' sempre aggiungere una quantita' fissa di energia che scompare nella differenza
 - Questo non e' necessariamente vero per l' Universo nel suo insieme
- 

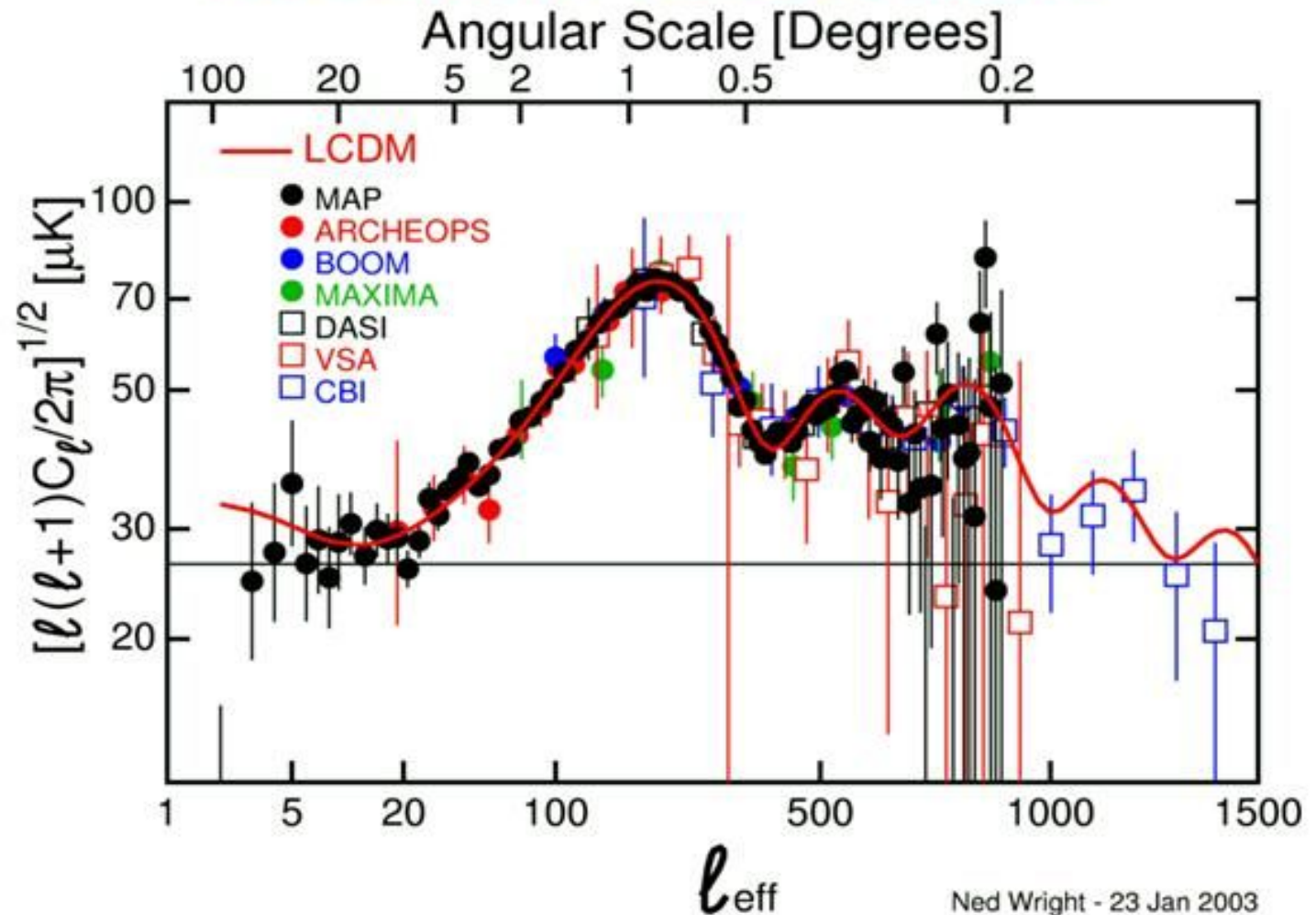
Misure di precisione: la nuova Cosmologia

- Sviluppi molto importanti sono venuti dallo studio della Radiazione Fossile. Quando viene prodotta reca il ricordo di piccolissime irregolarità, che molto più tardi hanno dato origine alle galassie e alle stelle
- Guardando la Radiazione Fossile in regioni del cielo più piccole della Luna Piena possiamo vedere l'influenza dei vari tipi di materia che costituiscono l'Universo, e della loro successiva evoluzione



Misure di precisione in Cosmologia

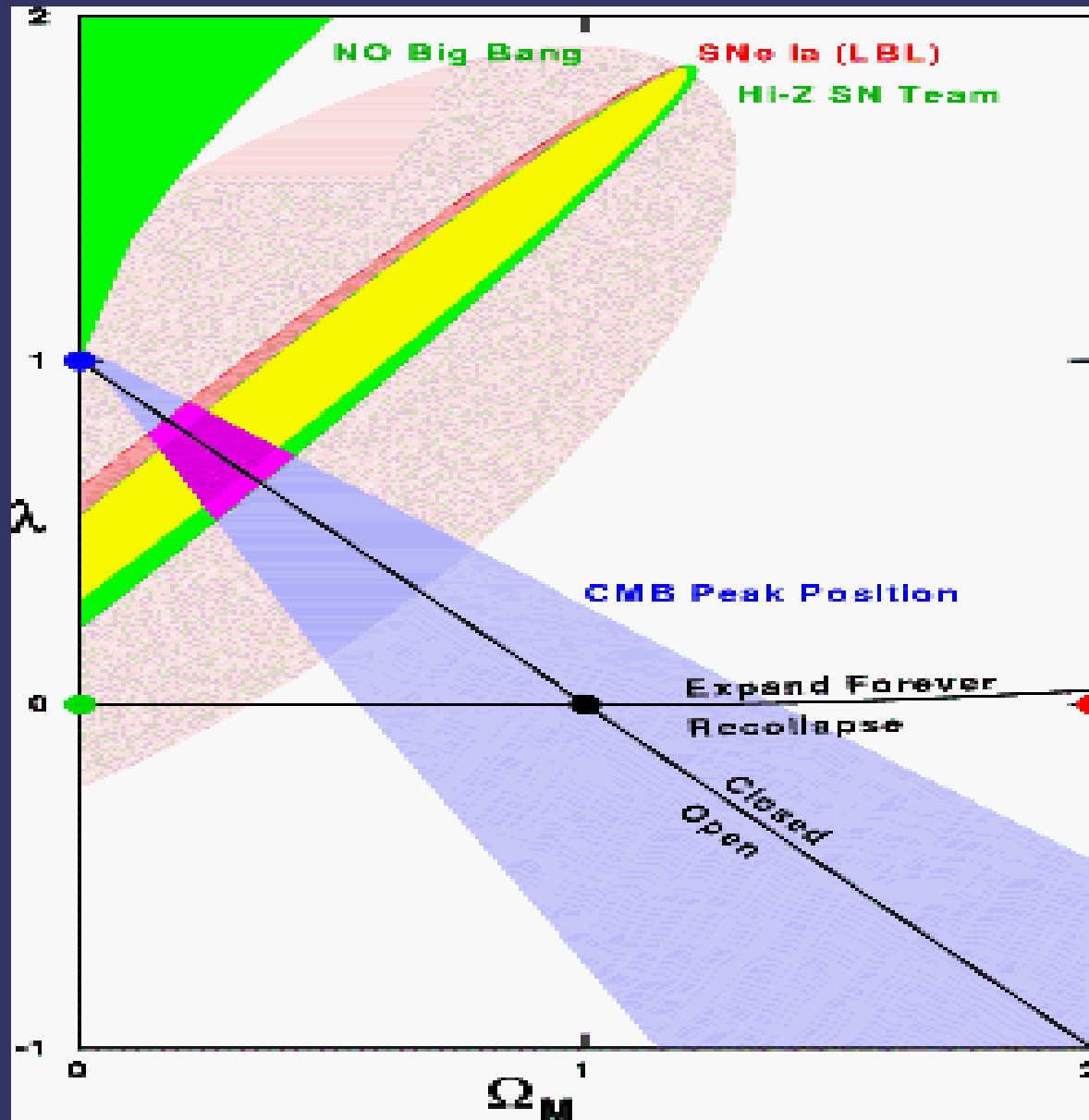
Modello di concordanza: Dati + SNIa, Materia oscura.....



Ned Wright - 23 Jan 2003

$$H_0 = 71, \Omega_\Lambda = 0.73, \Omega_b h^2 = 0.0224, \Omega_m h^2 = 0.135, \Omega_{\text{tot}} = 1$$

Misure di precisione in Cosmologia



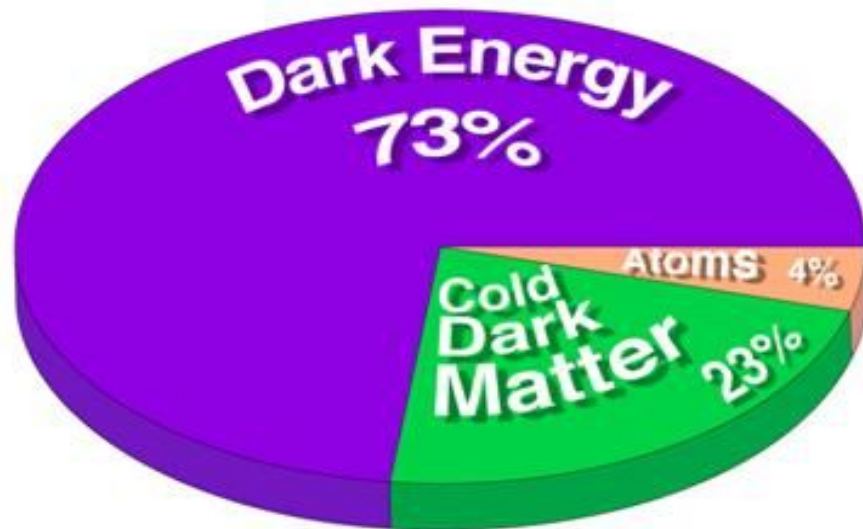
Tutto chiaro?

Tutto chiaro?

No. in realta' non conosciamo il 95% dei costituenti del nostro Universo.

Tutto chiaro?

No. in realta' non conosciamo il 95% dei costituenti del nostro Universo.



Tutto chiaro?

No. in realta' non conosciamo il 95% dei costituenti del nostro Universo.



A periodic table of elements with color-coded blocks and labels. The blocks are labeled: s-Block (1A, 2A), p-Block (13A-18A), d-Block (Transition Metals), f-Block (Rare Earth Elements, Lanthanide Series, Actinide Series), and g-Block (New/Original Disposition). The table includes columns for Atomic #, Symbol, and Atomic Mass. A note at the bottom right states: '(Mass Numbers in Parentheses are from the most stable of isotopes)'. A legend at the bottom right indicates phases: Solid, Liquid, Gas.

Block	Group	Element	Atomic #	Symbol	Atomic Mass
s-Block	1A	H	1	H	1.008
s-Block	2A	He	2	He	4.003
s-Block	1A	Li	3	Li	6.941
s-Block	2A	Be	4	Be	9.012
s-Block	1A	Na	11	Na	22.990
s-Block	2A	Mg	12	Mg	24.305
s-Block	1A	K	19	K	39.098
s-Block	2A	Ca	20	Ca	40.078
s-Block	1A	Rb	37	Rb	85.468
s-Block	2A	Sr	38	Sr	87.62
s-Block	1A	Cs	55	Cs	132.905
s-Block	2A	Ba	56	Ba	137.327
s-Block	1A	Fr	87	Fr	(223)
s-Block	2A	Ra	88	Ra	(226)
p-Block	13A	B	5	B	10.811
p-Block	14A	C	6	C	12.011
p-Block	15A	N	7	N	14.007
p-Block	16A	O	8	O	15.999
p-Block	17A	F	9	F	18.998
p-Block	18A	Ne	10	Ne	20.179
p-Block	13A	Al	13	Al	26.982
p-Block	14A	Si	14	Si	28.086
p-Block	15A	P	15	P	30.974
p-Block	16A	S	16	S	32.06
p-Block	17A	Cl	17	Cl	35.453
p-Block	18A	Ar	18	Ar	39.948
p-Block	13A	Ga	31	Ga	69.723
p-Block	14A	Ge	32	Ge	72.630
p-Block	15A	As	33	As	74.922
p-Block	16A	Se	34	Se	78.96
p-Block	17A	Br	35	Br	79.904
p-Block	18A	Kr	36	Kr	83.80
p-Block	13A	In	49	In	114.818
p-Block	14A	Sn	50	Sn	118.710
p-Block	15A	Sb	51	Sb	121.757
p-Block	16A	Te	52	Te	127.60
p-Block	17A	I	53	I	126.905
p-Block	18A	Xe	54	Xe	131.29
p-Block	13A	Tl	81	Tl	204.38
p-Block	14A	Pb	82	Pb	207.2
p-Block	15A	Bi	83	Bi	208.98
p-Block	16A	Po	84	Po	(209)
p-Block	17A	At	85	At	(210)
p-Block	18A	Rn	86	Rn	(222)
d-Block	3B	Sc	21	Sc	44.956
d-Block	4B	Ti	22	Ti	47.88
d-Block	5B	V	23	V	50.942
d-Block	6B	Cr	24	Cr	51.996
d-Block	7B	Mn	25	Mn	54.938
d-Block	8B	Fe	26	Fe	55.845
d-Block	9B	Co	27	Co	58.933
d-Block	10B	Ni	28	Ni	58.693
d-Block	11B	Cu	29	Cu	63.546
d-Block	12B	Zn	30	Zn	65.38
d-Block	13B	Ga	31	Ga	69.723
d-Block	14B	Ge	32	Ge	72.630
d-Block	15B	As	33	As	74.922
d-Block	16B	Se	34	Se	78.96
d-Block	17B	Br	35	Br	79.904
d-Block	18B	Kr	36	Kr	83.80
d-Block	19B	Ru	44	Ru	101.07
d-Block	20B	Rh	45	Rh	102.906
d-Block	21B	Pd	46	Pd	106.42
d-Block	22B	Ag	47	Ag	107.868
d-Block	23B	Cd	48	Cd	112.411
d-Block	24B	In	49	In	114.818
d-Block	25B	Sn	50	Sn	118.710
d-Block	26B	Sb	51	Sb	121.757
d-Block	27B	Te	52	Te	127.60
d-Block	28B	I	53	I	126.905
d-Block	29B	Xe	54	Xe	131.29
d-Block	29B	Au	79	Au	196.967
d-Block	30B	Hg	80	Hg	200.59
d-Block	31B	Tl	81	Tl	204.38
d-Block	32B	Pb	82	Pb	207.2
d-Block	33B	Bi	83	Bi	208.98
d-Block	34B	Po	84	Po	(209)
d-Block	35B	At	85	At	(210)
d-Block	36B	Rn	86	Rn	(222)
f-Block	3B	La	57	La	138.905
f-Block	4B	Ce	58	Ce	140.12
f-Block	5B	Pr	59	Pr	140.908
f-Block	6B	Nd	60	Nd	144.24
f-Block	7B	Pm	61	Pm	(145)
f-Block	8B	Sm	62	Sm	150.36
f-Block	9B	Eu	63	Eu	151.964
f-Block	10B	Gd	64	Gd	157.25
f-Block	11B	Tb	65	Tb	158.925
f-Block	12B	Dy	66	Dy	162.50
f-Block	13B	Ho	67	Ho	164.930
f-Block	14B	Er	68	Er	167.259
f-Block	15B	Tm	69	Tm	168.930
f-Block	16B	Yb	70	Yb	173.054
f-Block	17B	Lu	71	Lu	174.967
f-Block	18B	Ac	89	Ac	(227)
f-Block	19B	Th	90	Th	232.038
f-Block	20B	Pa	91	Pa	231.036
f-Block	21B	U	92	U	238.029
f-Block	22B	Np	93	Np	(237)
f-Block	23B	Pu	94	Pu	(244)
f-Block	24B	Am	95	Am	(243)
f-Block	25B	Cm	96	Cm	(247)
f-Block	26B	Bk	97	Bk	(247)
f-Block	27B	Cf	98	Cf	(251)
f-Block	28B	Es	99	Es	(252)
f-Block	29B	Fm	100	Fm	(257)
f-Block	30B	Md	101	Md	(258)
f-Block	31B	No	102	No	(259)
f-Block	32B	Lr	103	Lr	(260)

Tutto chiaro?

No. in realta' non conosciamo il 95% dei costituenti del nostro Universo.



A standard periodic table of elements. It is color-coded by groups and includes labels for different blocks: s-block, p-block, d-block, and f-block. It also identifies 'Transition Metals', 'Non-Metals', and 'Metals'. The table includes atomic numbers, symbols, and names for elements from Hydrogen (H) to Oganesson (Og). Below the main table are the 'Rare Earth Elements', 'Lanthanide Series', and 'Actinide Series'.

Come lo vediamo adesso, la grande maggioranza della materia nell' Universo non partecipa ai processi di produzione di energia. Un Universo di questo tipo, anche se le misure sono sempre di maggior precisione, e' sempre piu' difficile da capire

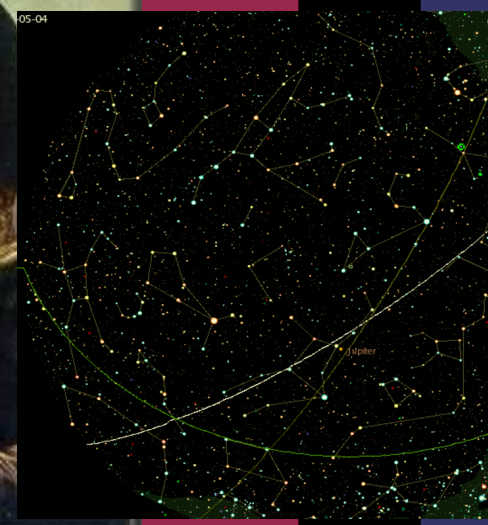




L' Universo



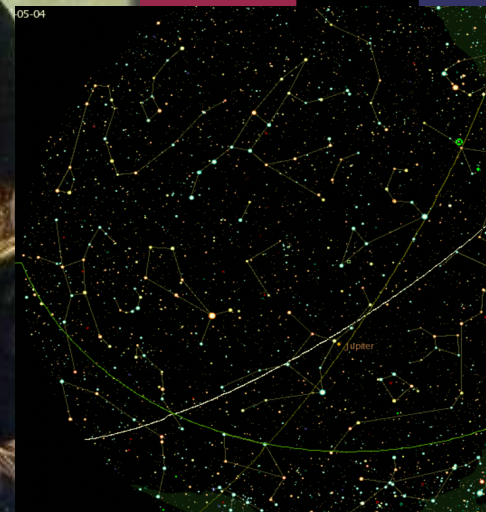
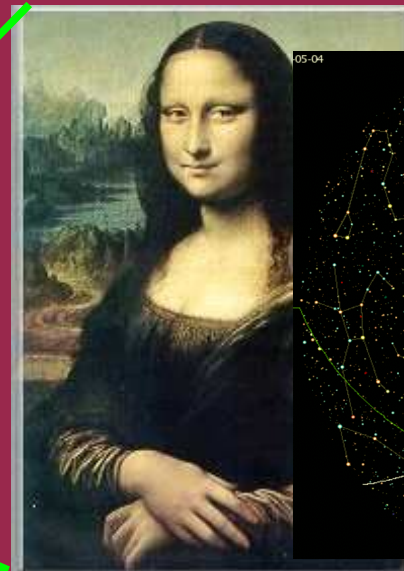
L' Universo



L' Universo visibile

L' Universo

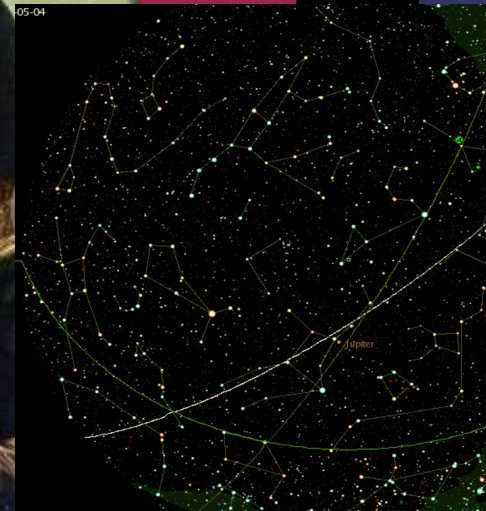
Materia oscura



L' Universo visibile

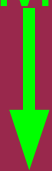
L' Universo

Energia oscura



L' Universo visibile

Materia oscura



L' Universo

Tutto chiaro?

Non e' impossibile che una maggiore comprensione passi attraverso un processo di rottura di qualche ipotesi di partenza (la gravita'?) analogo al passaggio dagli epicicli tolemaici al sistema copernicano, o al passaggio dalla meccanica classica a quella quantistica.

- Comunque si preannunciano tempi interessanti.....