



L'EQUAZIONE DELL'UNIVERSO

VIAGGIO NEL TEMPO TRA LE GEOMETRIE DEL COSMO

Giorgio Manzoni - 01/12/2016

L'equazione dell'universo

$$\frac{H^2(t)}{H_0^2} = \frac{\Omega_{mat,0}}{a^3(t)} + \frac{\Omega_{rad,0}}{a^4(t)} + \Omega_\Lambda + \frac{1 - \Omega_{tot,0}}{a^2(t)}$$

Le grandezze in gioco

<https://www.youtube.com/watch?v=GoW8Tf7hTGA>

**Se mettessimo uno specchio
su una stella a 20 anni luce da noi
e lo guardassimo con un telescopio
vedremmo noi stessi come eravamo 40
anni fa!**



Viaggiare nel tempo e nello spazio

- posso vedere indietro nel tempo
- alcune galassie non le vedrò mai!

Hubble Deep Field

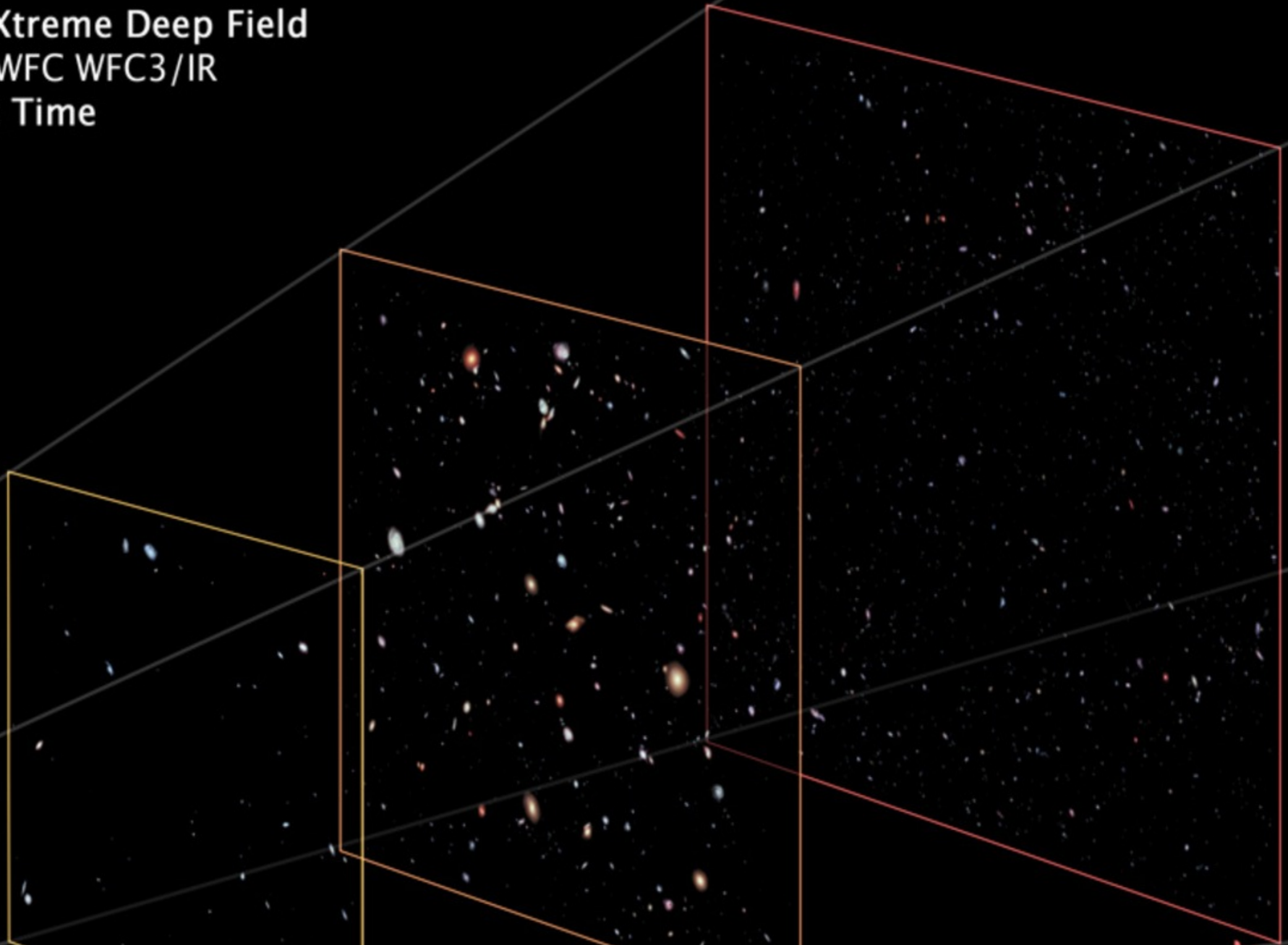
è
un'istantanea
, non un
filmato

Gyr = 10^9

Myr $\underline{=} 10^6$
yr



Hubble eXtreme Deep Field
HST ACS/WFC WFC3/IR
Lookback Time



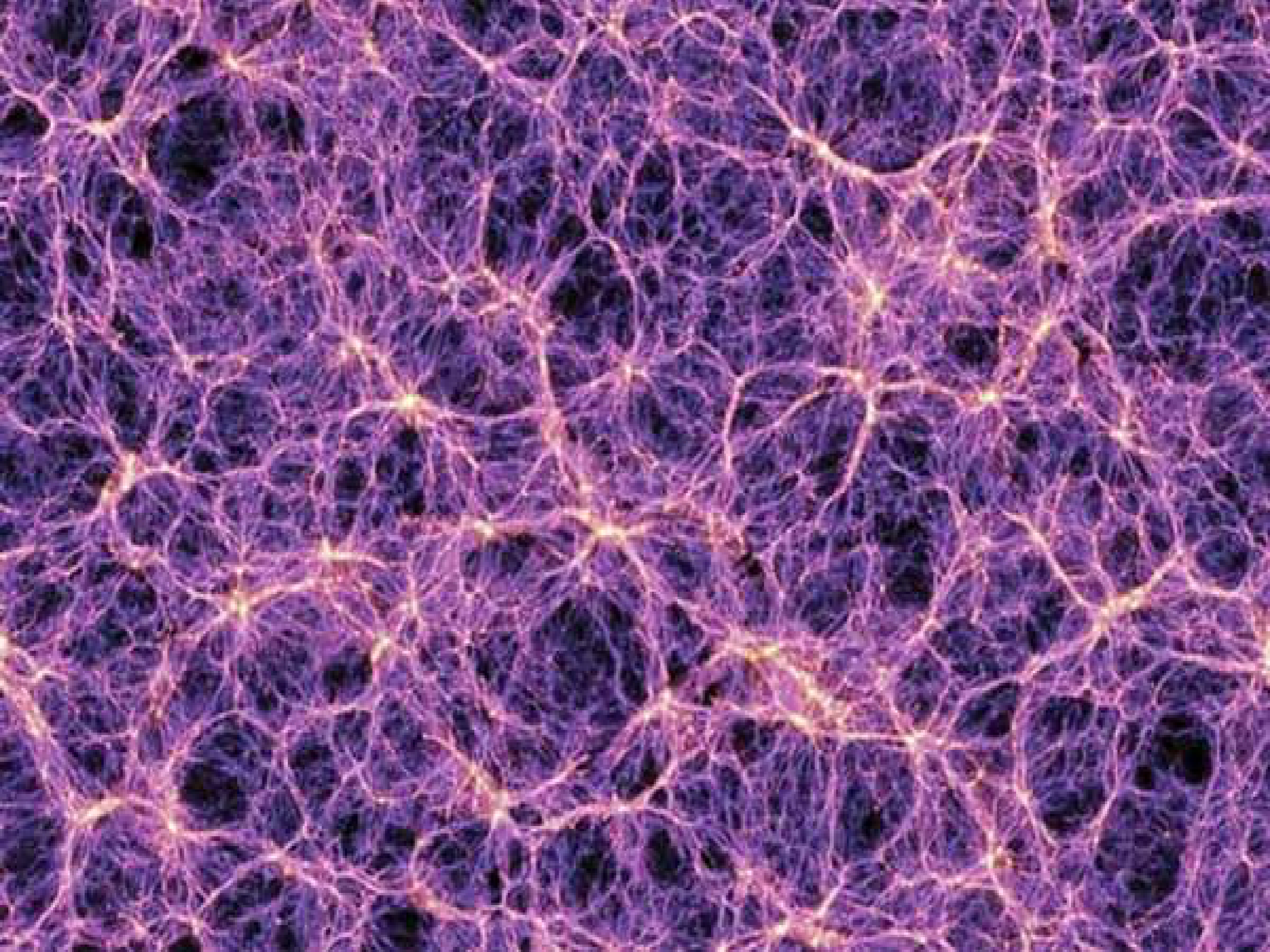
Less than
5 billion years

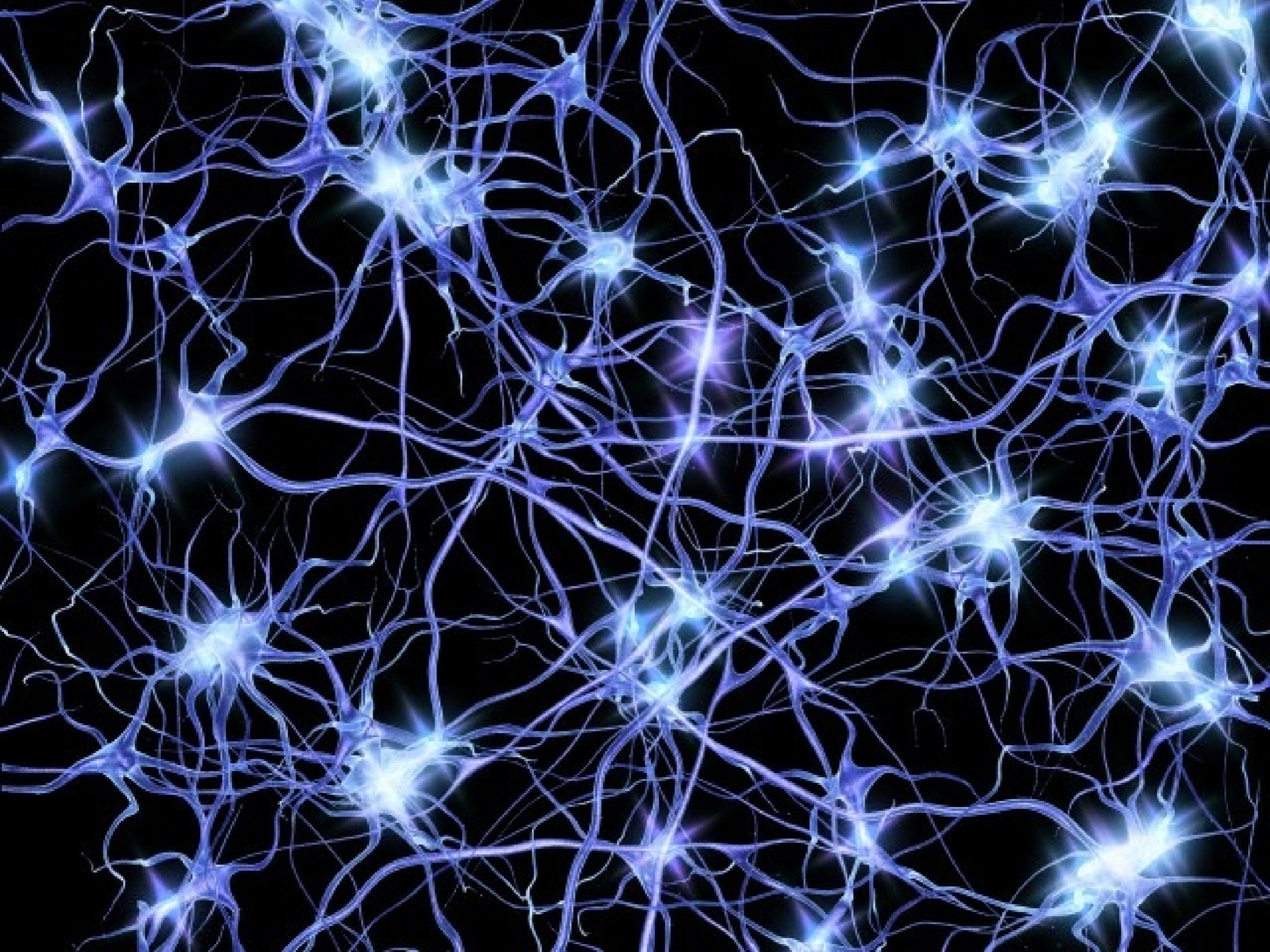
5 billion to
9 billion years

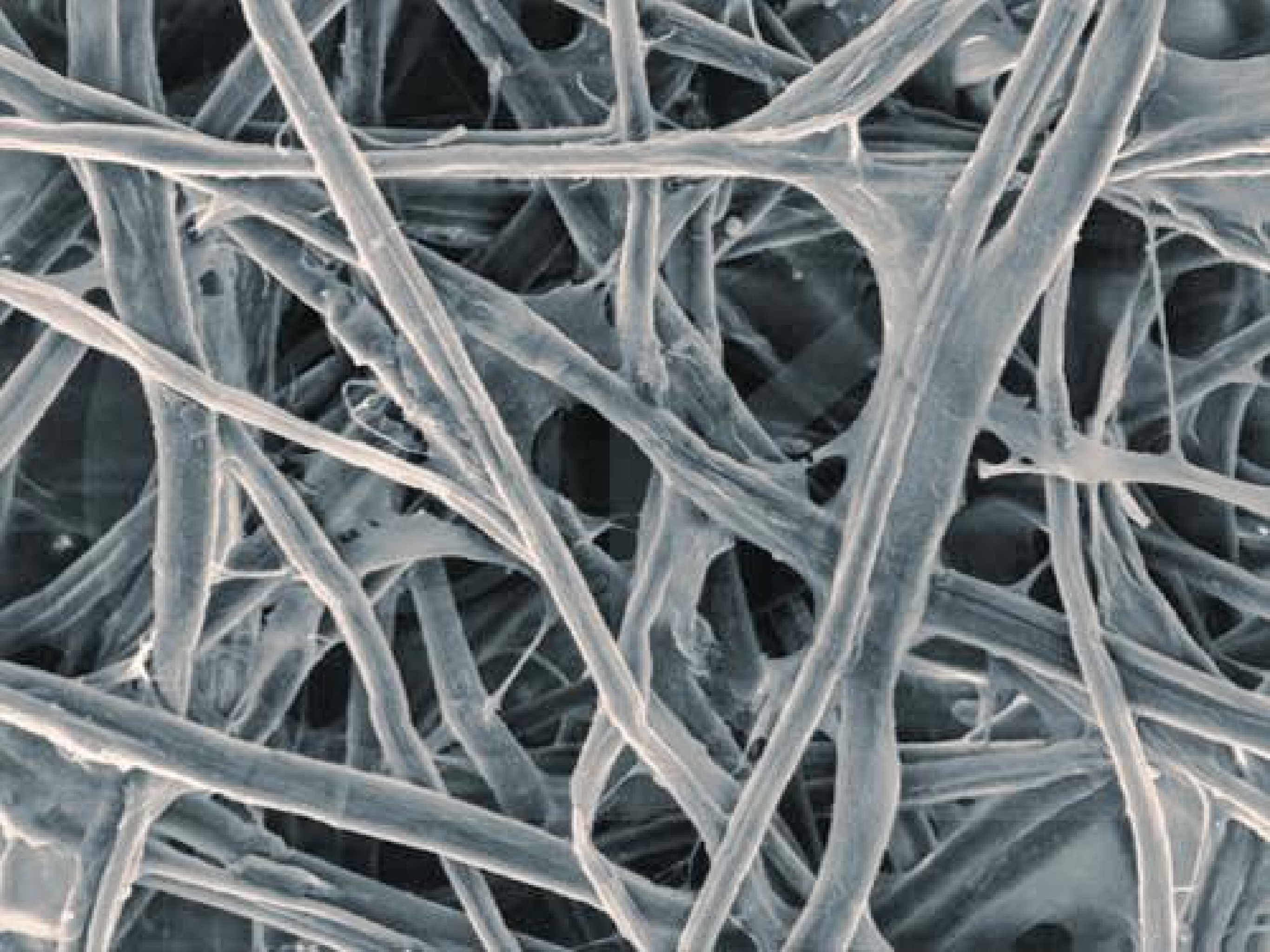
More than
9 billion years

Distanze ed espansione









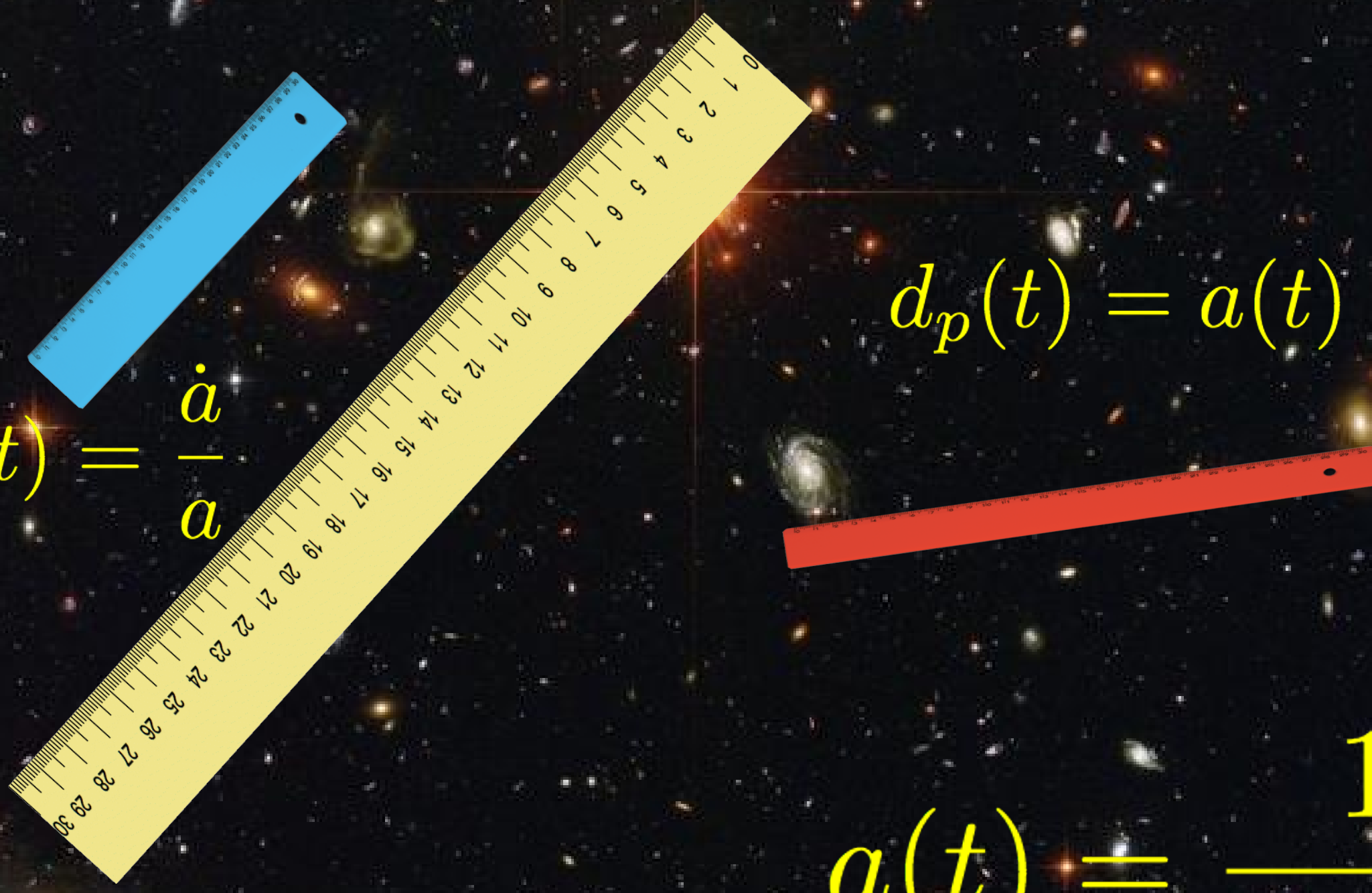
Distribuzione reale delle galassie

Field W1



Field W4

il problema delle distanze

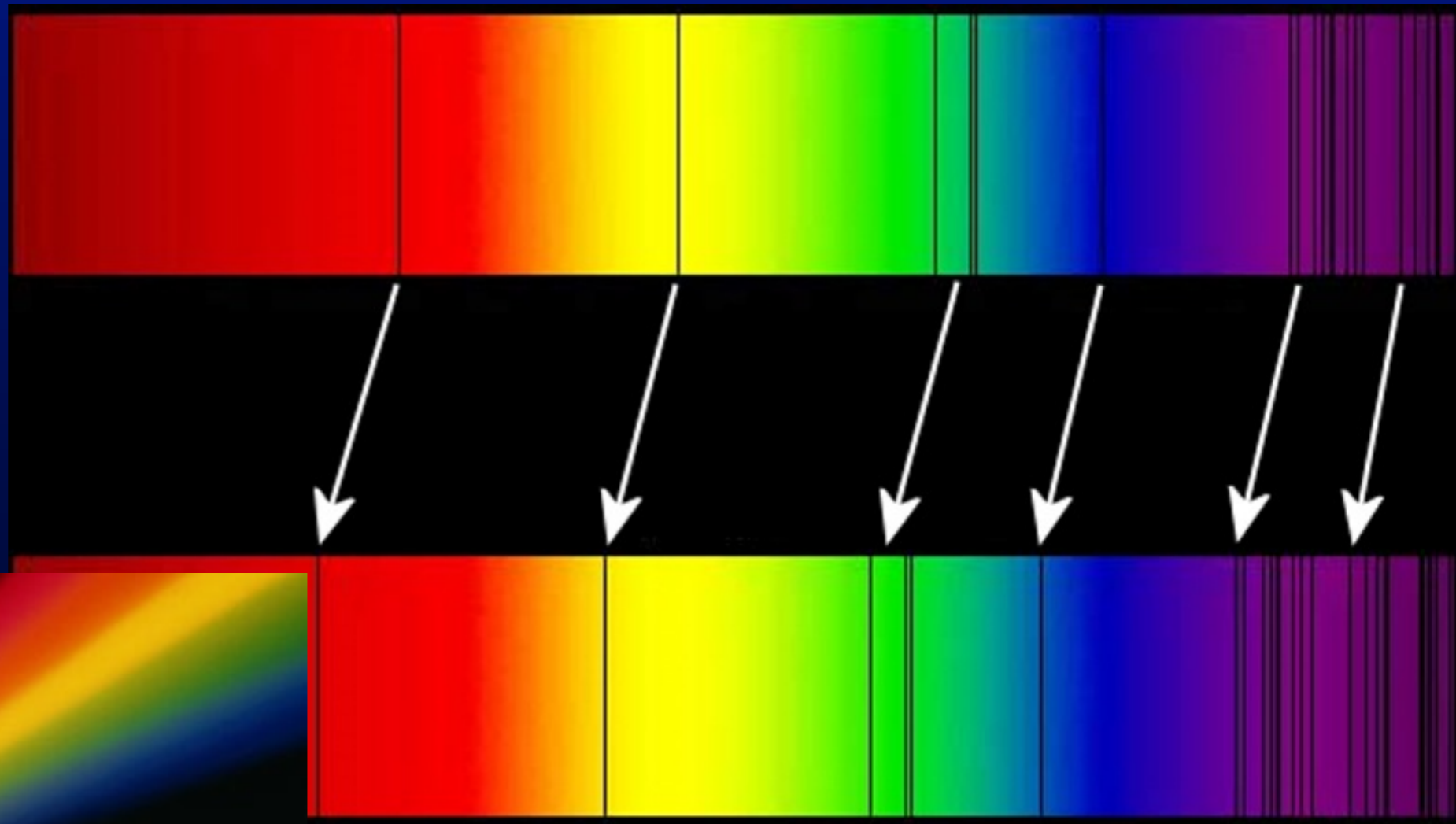

$$H(t) = \frac{\dot{a}}{a}$$

$$d_p(t) = a(t) \cdot r$$

$$a(t) = \frac{1}{1+z}$$

redshift \leftrightarrow $a(t)$

$$a(t) = \frac{1}{1+z}$$

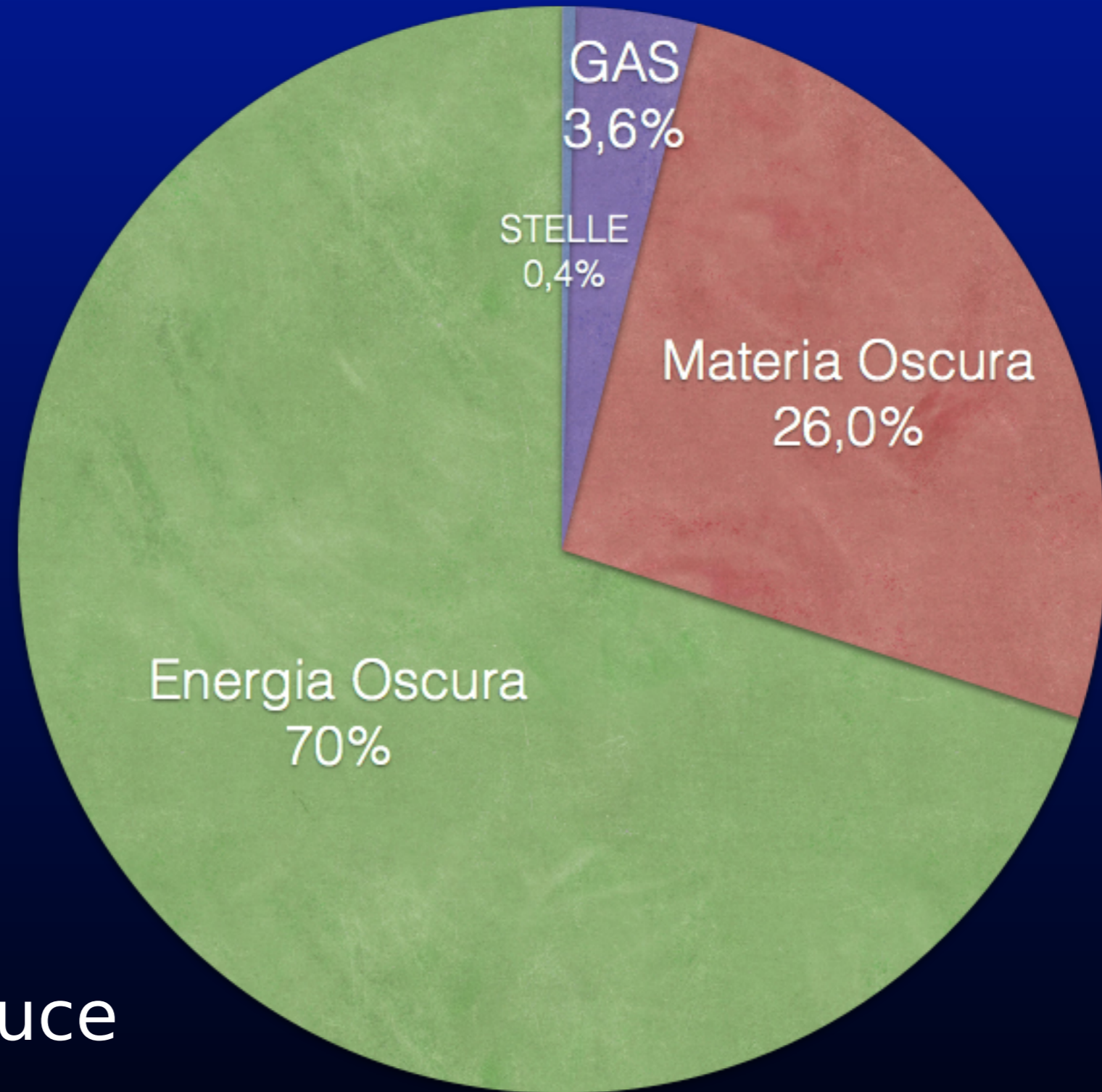


Densità e volumi

- Per arrivare a capire l'equazione ci serve il concetto di densità = massa / volume



Le componenti dell'Universo (oggi)



- $\Omega_{\text{rad},0} = 0.008\%$ luce
- $\Omega_{\text{mat},0} = 30\%$ materia totale (ordinaria + oscura)
- $\Omega_{\Lambda,0} = 70\%$ energia oscura

L'evoluzione predetta dall'equazione

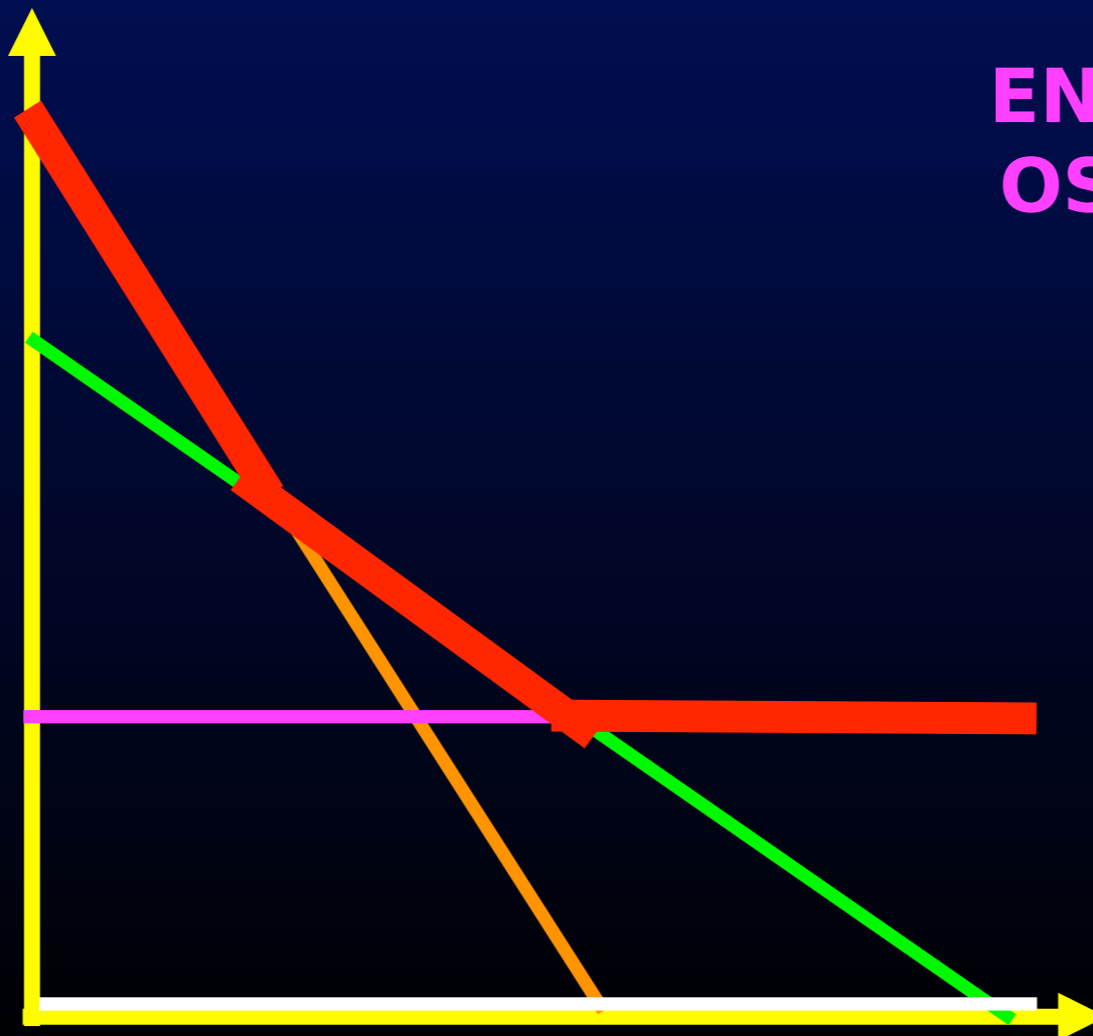
$$\frac{H^2(t)}{H_0^2} = \frac{\Omega_{\text{rad},0}}{a^4(t)} + \frac{\Omega_{\text{mat},0}}{a^3(t)} + \Omega_{\Lambda} + \frac{1 - \Omega_{\text{tot},0}}{a^2(t)}$$

VELOCITA' DI ESPANSIONE **RADIAZIONE** **MATERIA** **COSTANTE COSMOLOGICA** **CURVATURA SPAZIALE**

ENERGIA OSCURA

densità di energia

Tempo cosmico



Cosa fa un astronomo

Cosa pensa mia
mamma



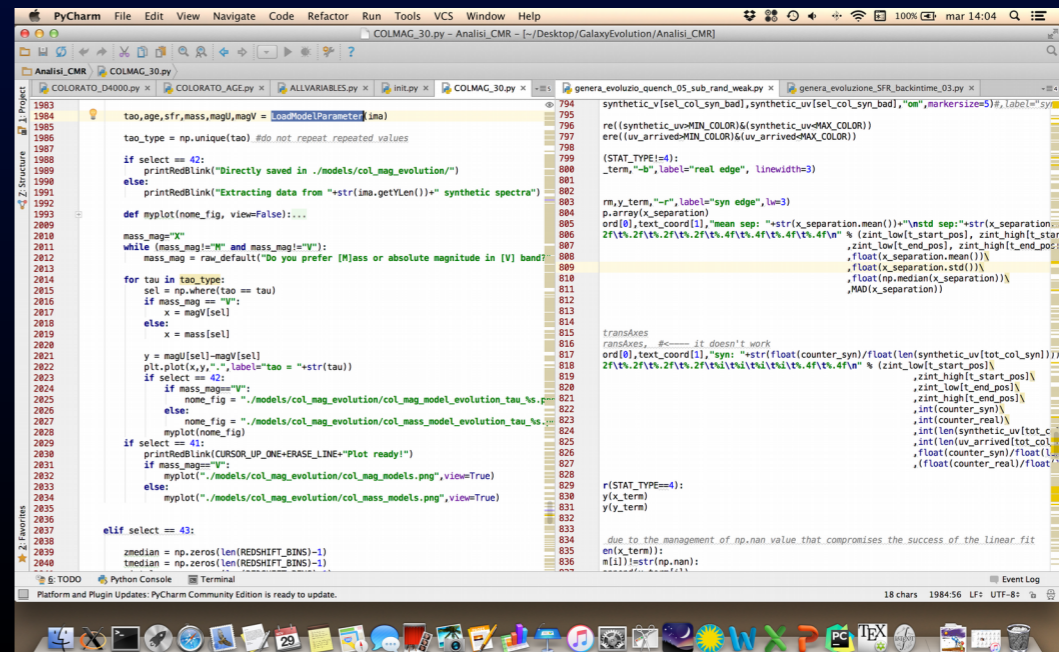
Cosa pensano i vicini di
casa



Cosa pensano i miei
amici



Cosa faccio
realmente



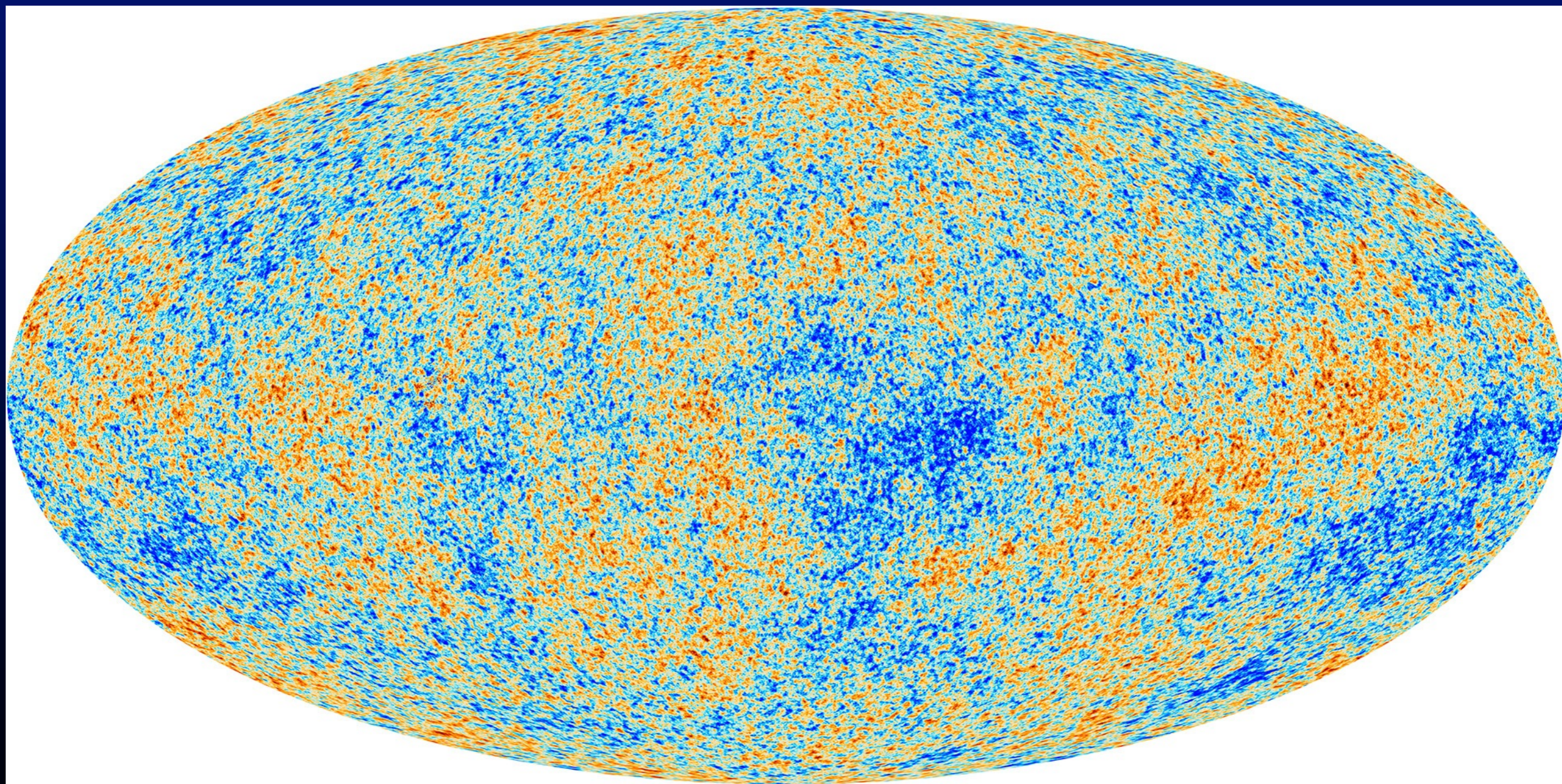
**Grazie per
l'attenzione**

Domande???

Bullet Cluster



Inflazione e CMB (Cosmic Microwave Background)



La nostra gemella Andromeda



Le metriche

$$ds^2 = -c^2 dt^2 + dx^2 + dy^2 + dz^2$$

$$ds^2 = -c^2 dt^2 + dr^2 + r^2 d\Omega$$

$$ds^2 = -c^2 dt^2 + a^2(t) [dr^2 + S_k^2(r) d\Omega^2]$$

**ESPANSION
E**

**CURVATUR
A**

$$R^{ik} - \frac{1}{2} R g^{ik} + \Lambda g^{ik} = -\frac{8\pi G}{c^4} T^{ik}$$

E' la stessa costante
cosmologica

$$\frac{H^2(t)}{H_0^2} = \frac{\Omega_{\text{rad},0}}{a^4(t)} + \frac{\Omega_{\text{mat},0}}{a^3(t)} + \Omega_{\Lambda} + \frac{1 - \Omega_{\text{tot},0}}{a^2(t)}$$

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

La prima equazione di Friedman

$$\frac{H^2(t)}{H_0^2} = \frac{\Omega_{\text{rad},0}}{a^4(t)} + \frac{\Omega_{\text{mat},0}}{a^3(t)} + \Omega_{\Lambda} + \frac{1 - \Omega_{\text{tot},0}}{a^2(t)}$$

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3c^2} \varepsilon(t) - \frac{kc^2}{R_0^2} \cdot \frac{1}{a^2}$$
$$H(t) = \frac{\dot{a}}{a}$$

$$1 - \Omega_{\text{tot}}(t) = -\frac{kc^2}{R_0^2 a^2(t) H^2(t)}$$

$$\varepsilon_c(t) \equiv \frac{3c^2}{8\pi G} \cdot H^2(t)$$

Densità
critica

$$\Omega(t) \equiv \frac{\varepsilon(t)}{\varepsilon_c(t)}$$

Parametro di
densità

Dalla conservazione dell'energia
otteniamo:

$$\dot{\varepsilon} + 3\frac{\dot{a}}{a}(\varepsilon + P) = 0$$

Equazione dei
fluidi

equazione dei fluidi + prima equazione di
Friedmann

=

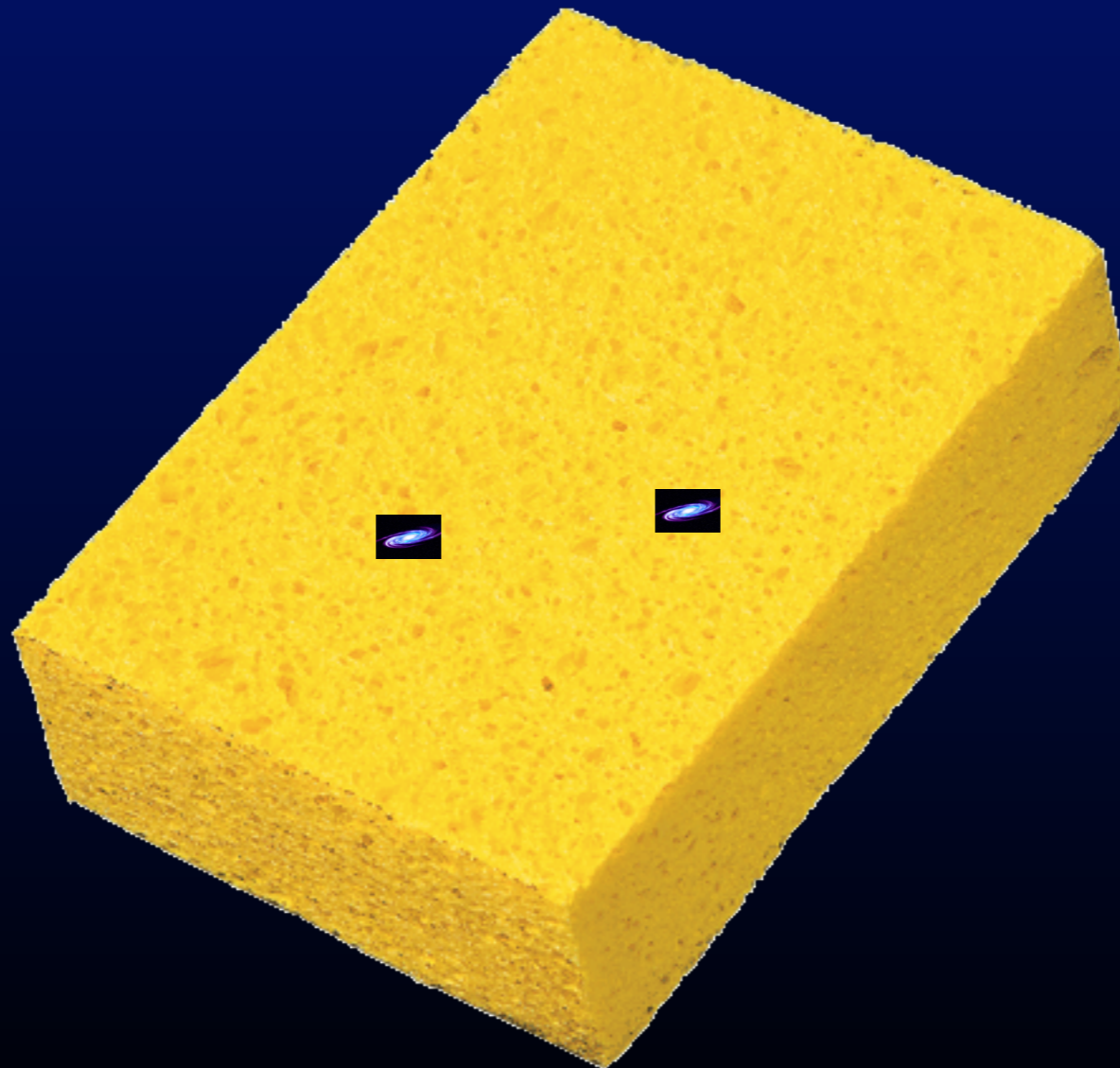
Seconda equazione di Friedmann
(accelerazione)

$$\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4\pi G}{3c^2}(\varepsilon + 3P)$$

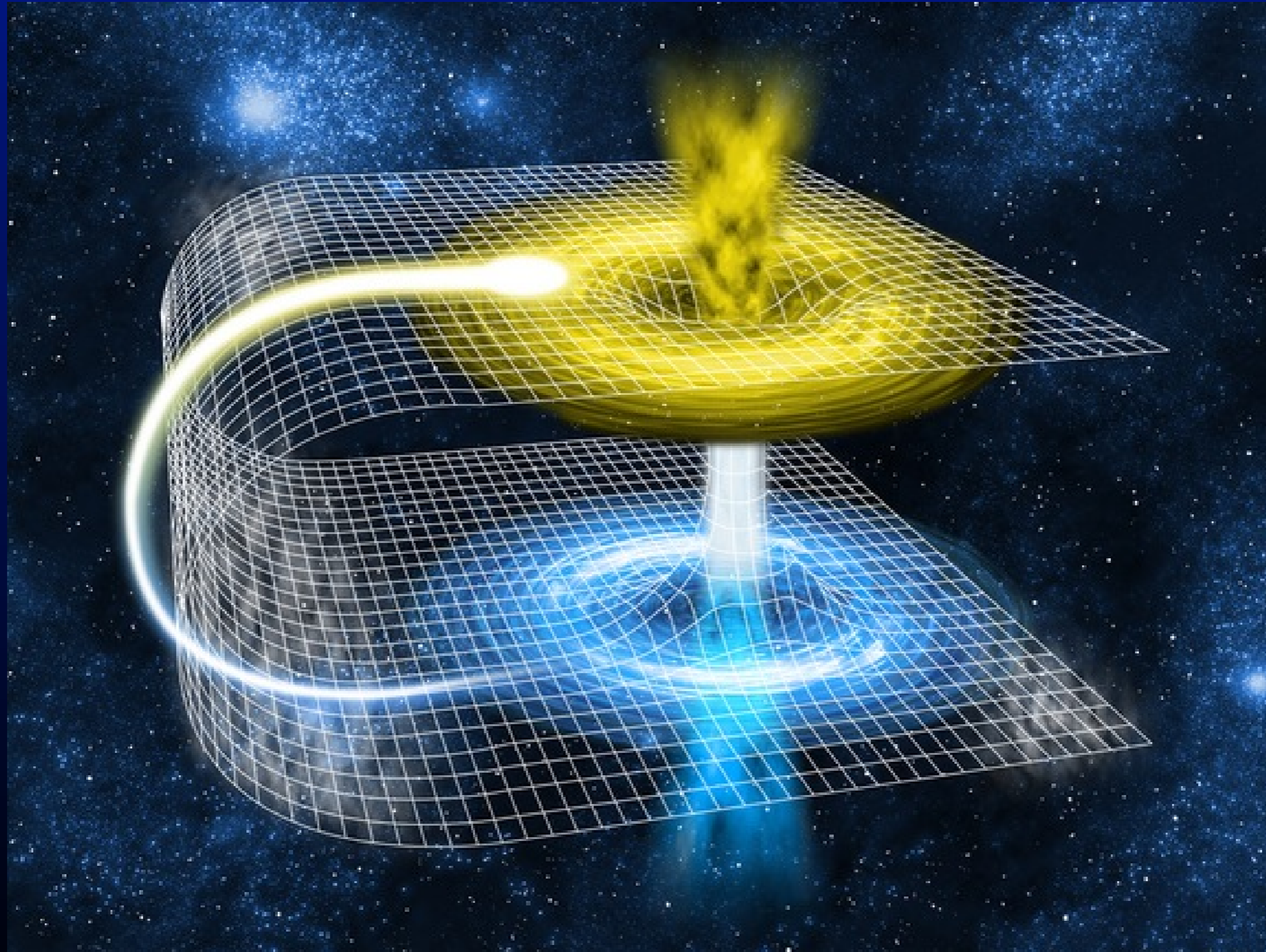
Serve la costante
cosmologica con
pressione
negativa!!!
 $P_\Lambda = -\varepsilon_\Lambda$

Distanze ed espansione

- La spugna è un esempio per far capire cos'è un universo infinito che si espande



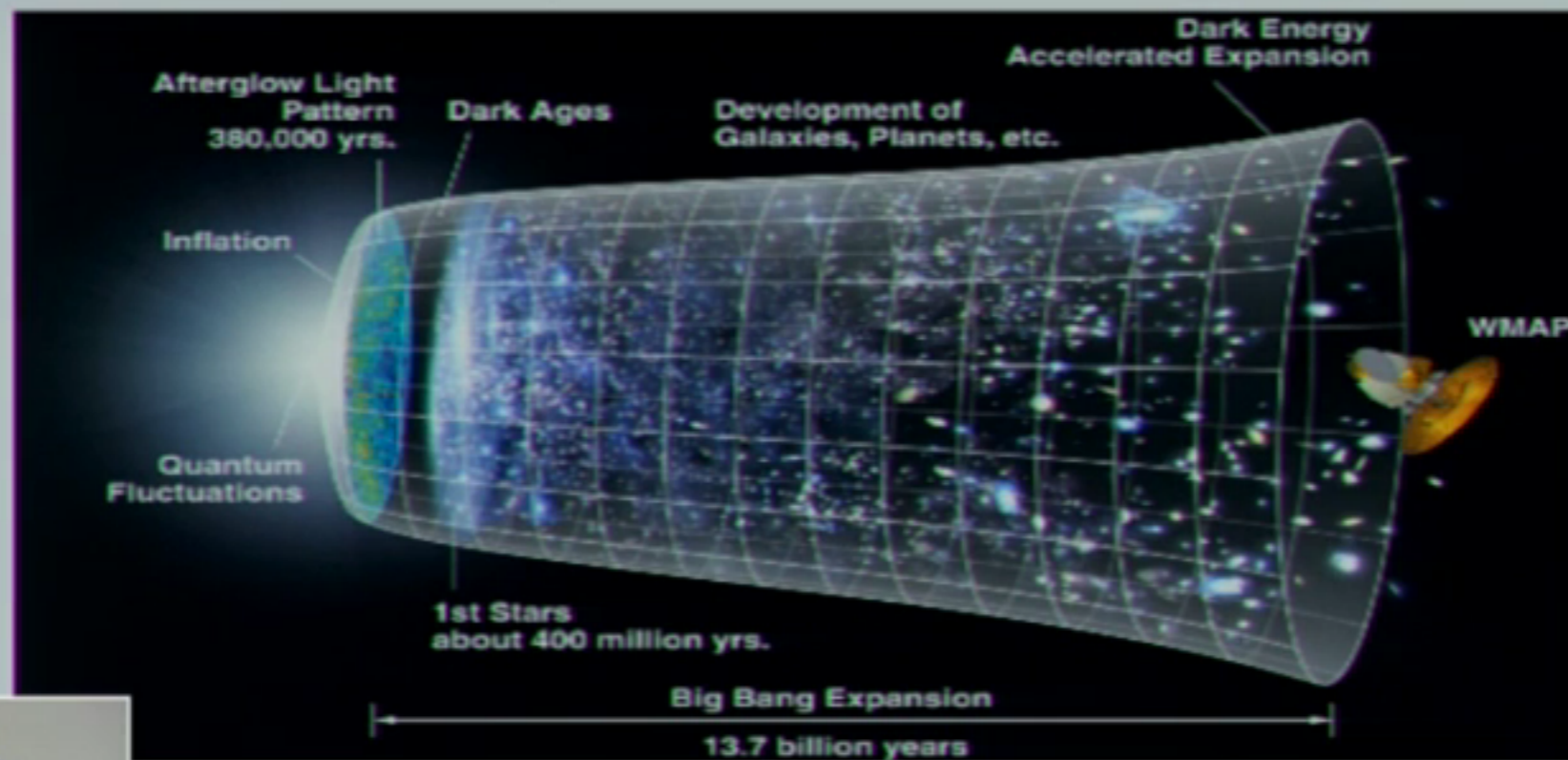
Wormhole



La costante cosmologica...spazio o spazio tempo??

Il modello standard della cosmologia (Λ CDM)

$A, n_s, (r), \Omega_B, \Omega_c, \tau, H_0$



Lenti gravitazionali

