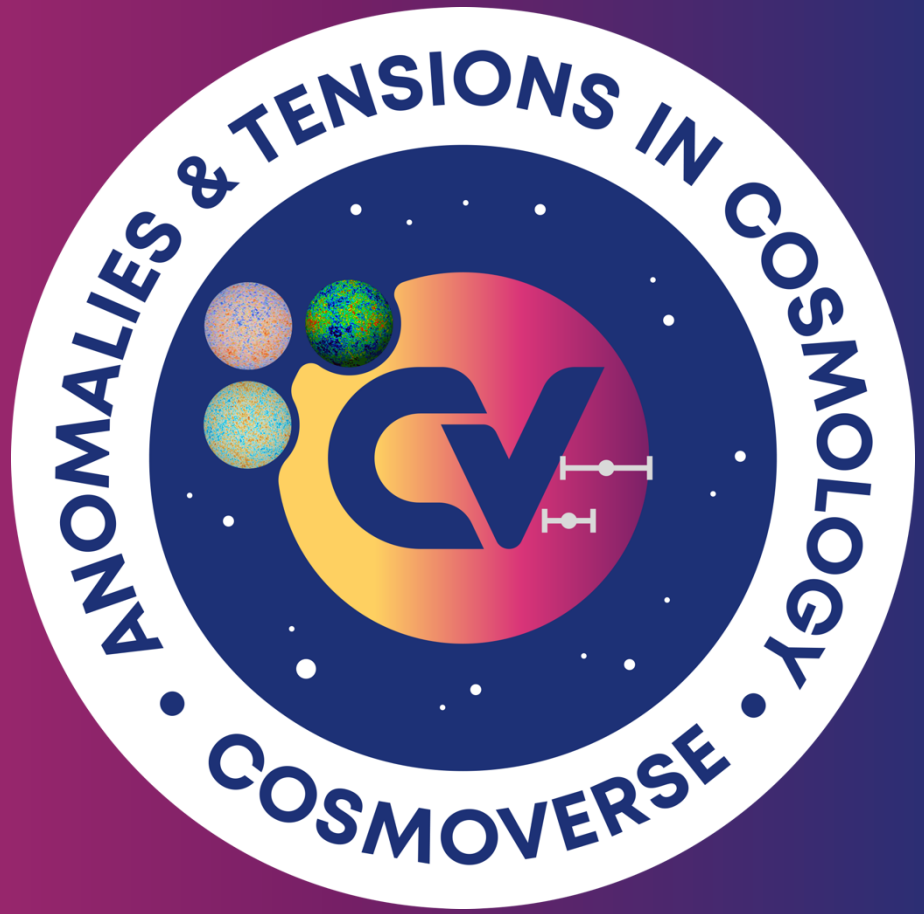
ΛCDM: successi del modello cosmologico standard e la sfida di H_0

Dr.ssa Matilde Signorini
ESA Research Fellow
matilde.signorini@esa.int



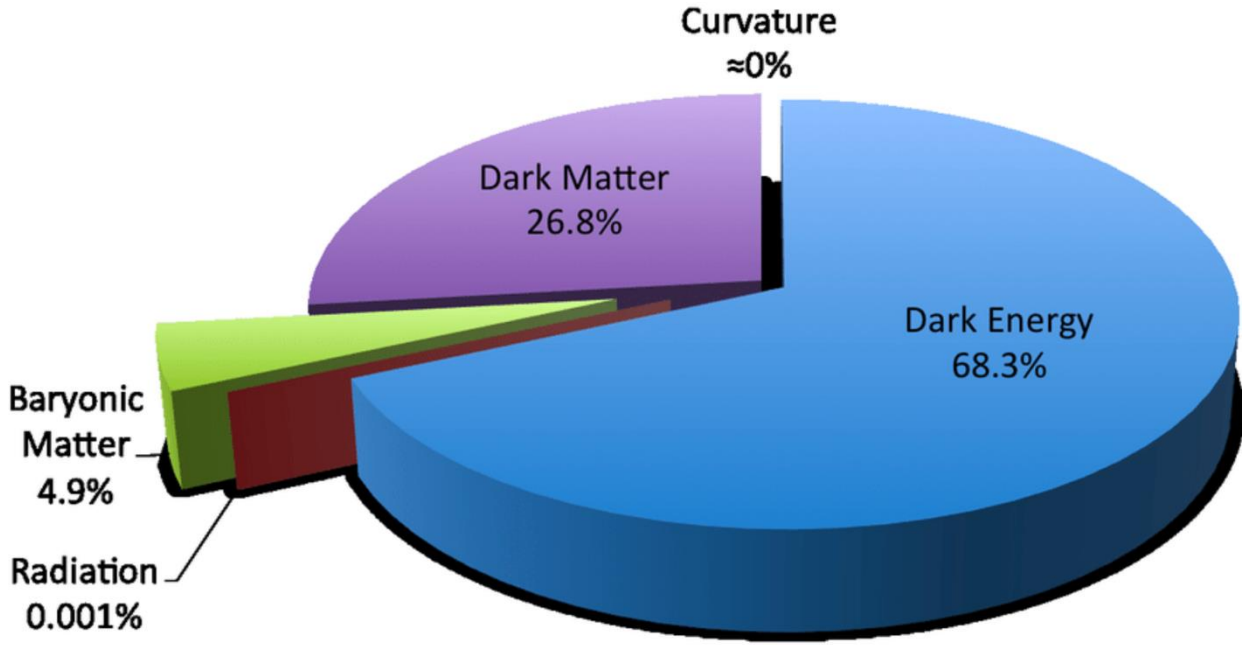
cost
EUROPEAN COOPERATION IN SCIENCE & TECHNOLOGY

Funded by the European Union

Modello cosmologico standard

ΛCDM

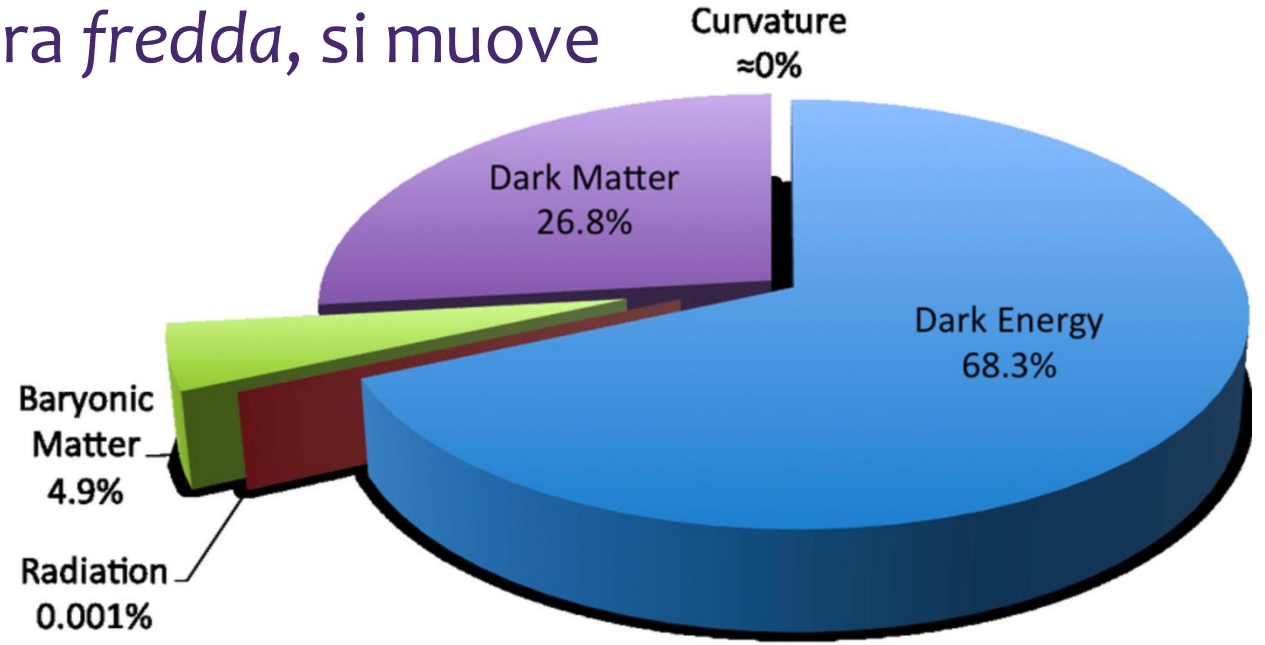
→ Energia Oscura, forza repulsiva che porta l'accelerazione dell'espansione dell'Universo



Modello cosmologico standard

Λ CDM

- Energia Oscura, forza repulsiva che porta l'accelerazione dell'espansione dell'Universo
- 'Cold Dark Matter' – materia oscura *fredda*, si muove lentamente

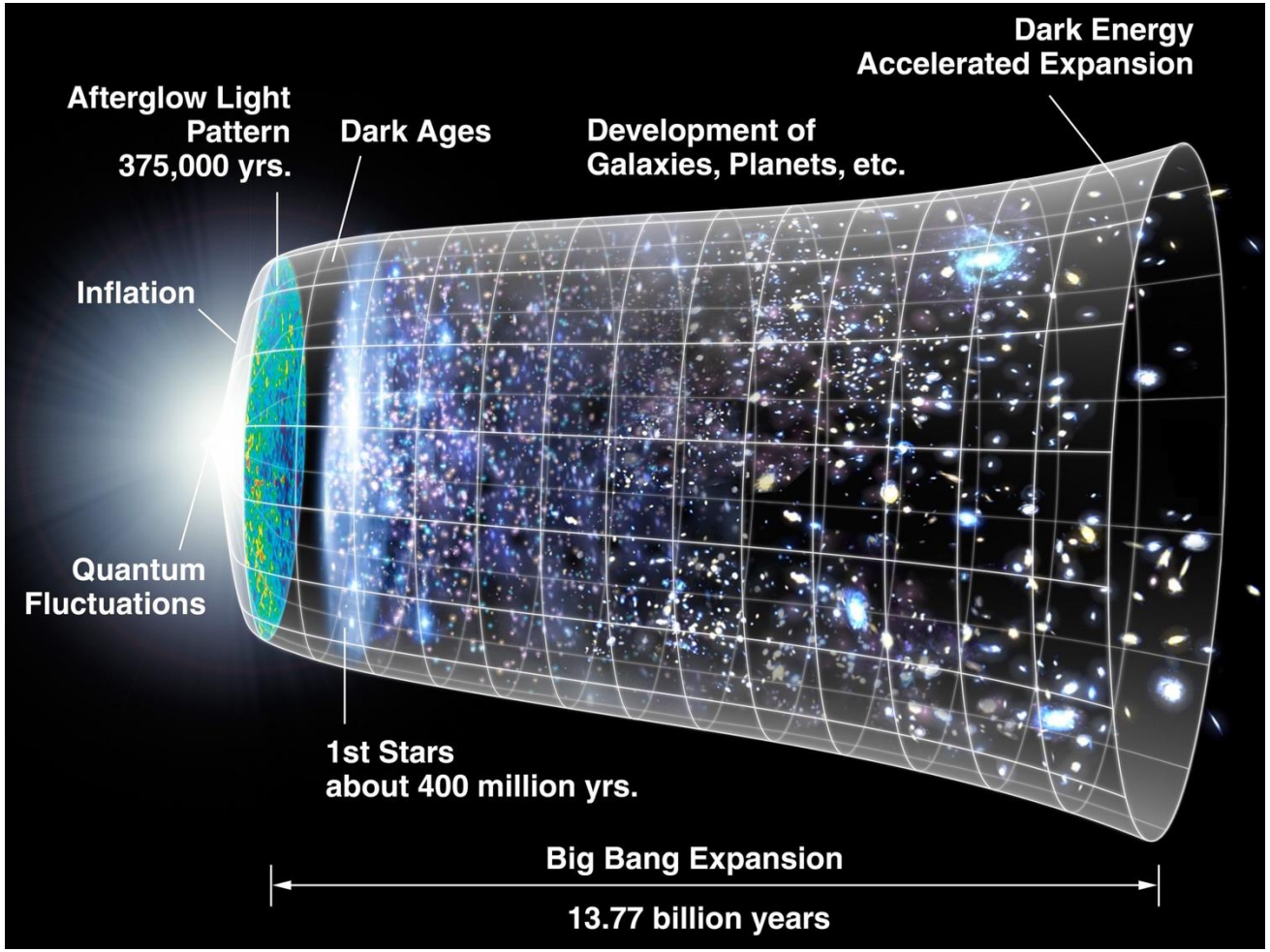


Modello cosmologico standard

Non sappiamo di cosa sia fatto il 95% dell'Universo

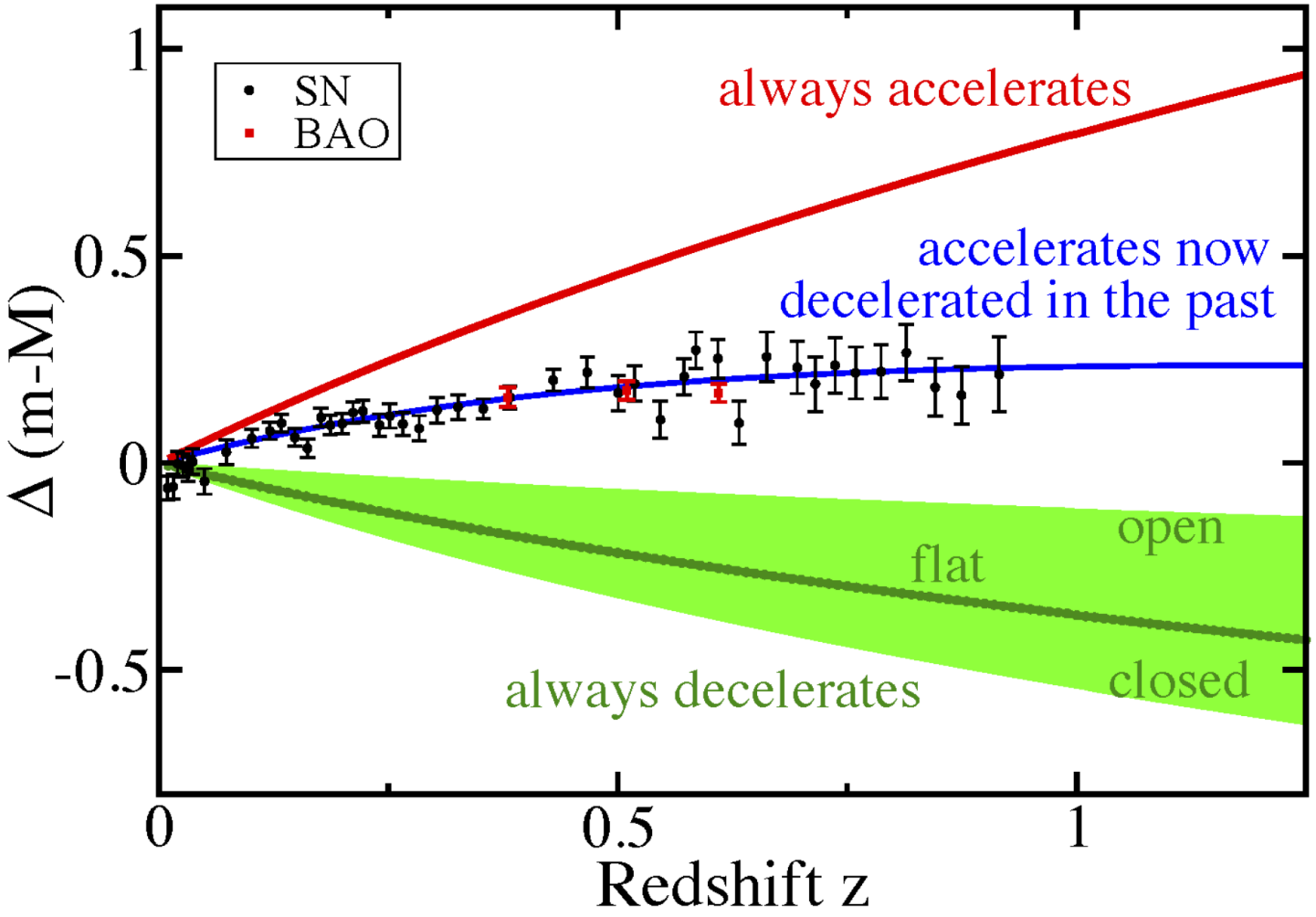
Come mai allora questo modello è considerato lo 'standard'?

Perchè, nonostante ciò, riesce a spiegare tantissime proprietà dell'Universo!



ΛCDM – successi

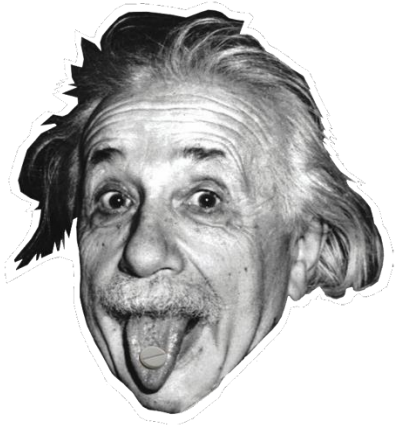
Espansione accelerata: per spiegare le Supernovae Ia serve una forza *repulsiva* nell'Universo



ΛCDM – successi

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

Espansione accelerata: per spiegare le Supernovae Ia serve una forza *repulsiva* nell'Universo

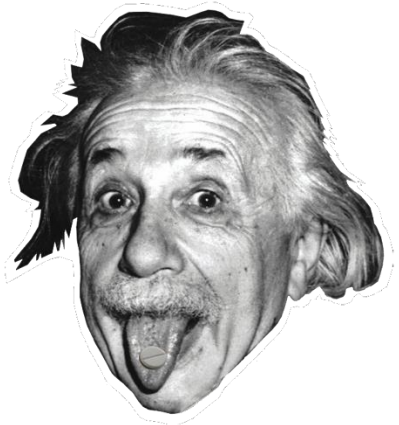


A. Einstein

ΛCDM – successi

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

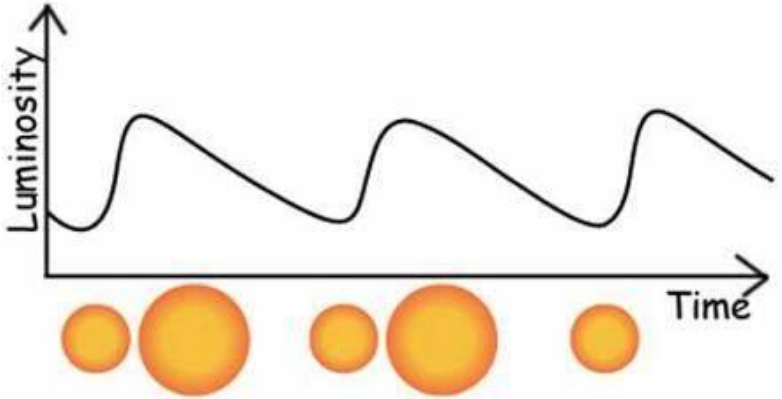
Espansione accelerata: per spiegare le Supernovae Ia serve una forza *repulsiva* nell'Universo



A. Einstein



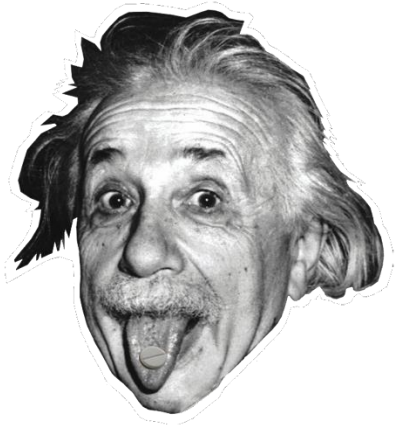
H. Swan Leavitt



ΛCDM – successi

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

Espansione accelerata: per spiegare le Supernovae Ia serve una forza *repulsiva* nell'Universo



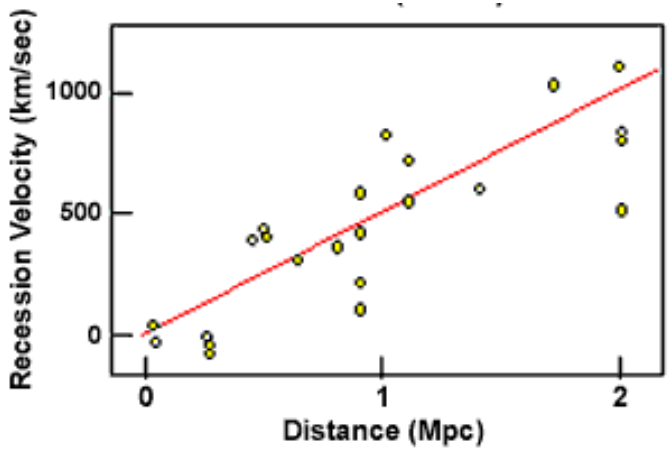
A. Einstein



H. Swan Leavitt



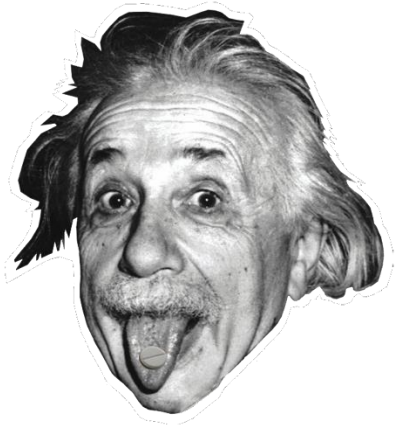
E. Hubble



ΛCDM – successi

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

Espansione accelerata: per spiegare le Supernovae Ia serve una forza *repulsiva* nell'Universo



A. Einstein



H. Swan Leavitt

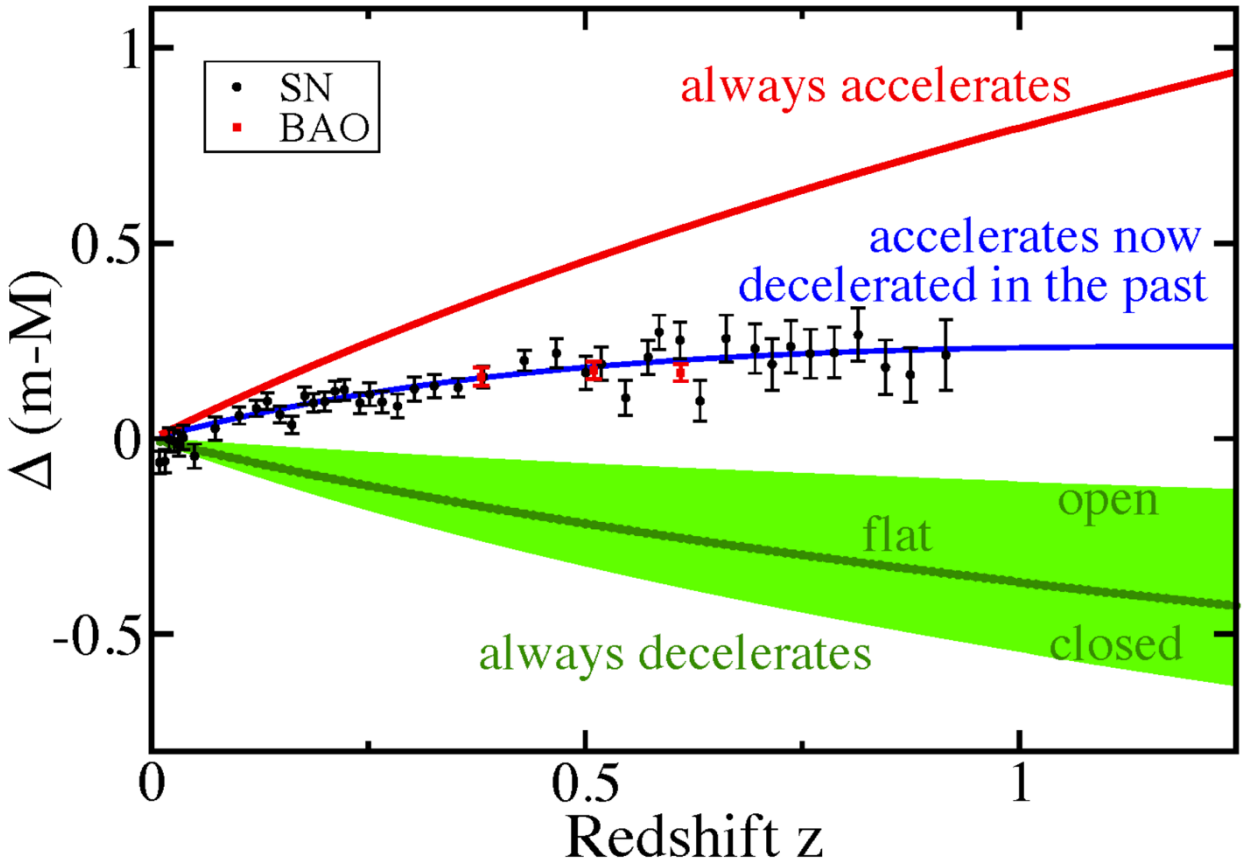


E. Hubble

ΛCDM – successi

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

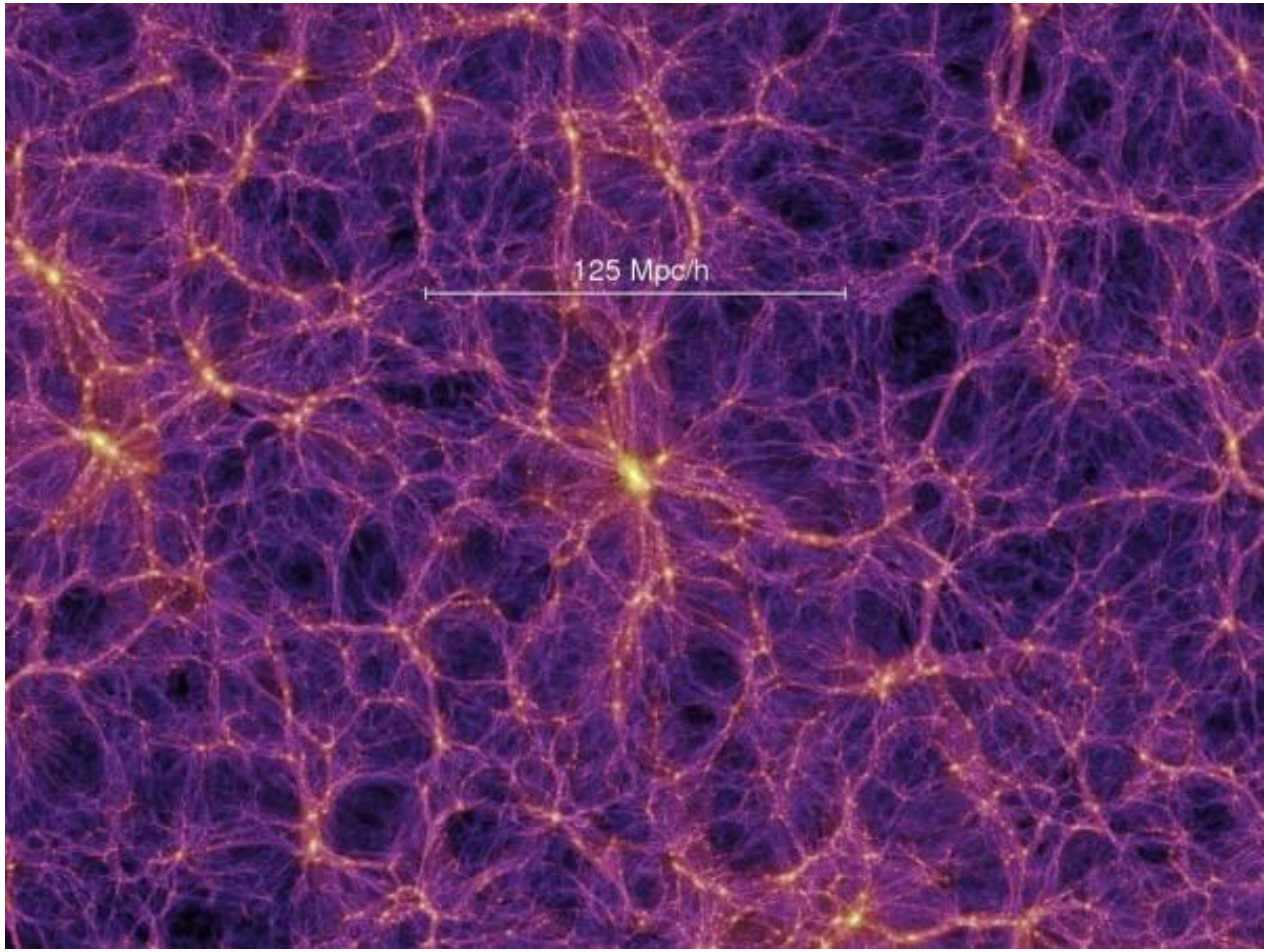
Espansione accelerata: per spiegare le Supernovae Ia serve una forza *repulsiva* nell'Universo



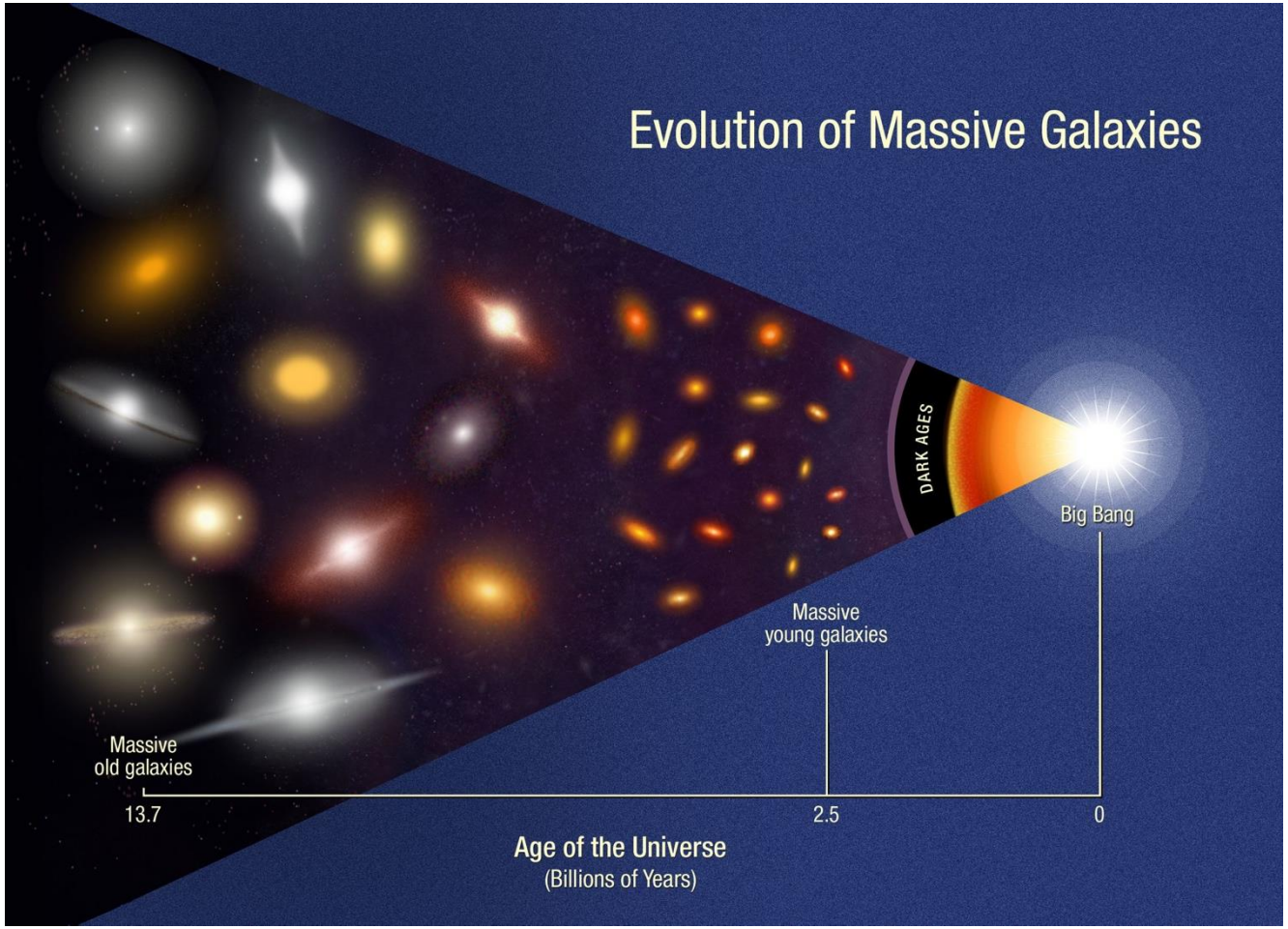
ΛCDM – successi

Struttura su larga scala

Le galassie non sono distribuite uniformemente nello spazio, ma formano una *rete*. Il modello ΛCDM spiega questa rete e la ‘distanza tipica’ tra le galassie



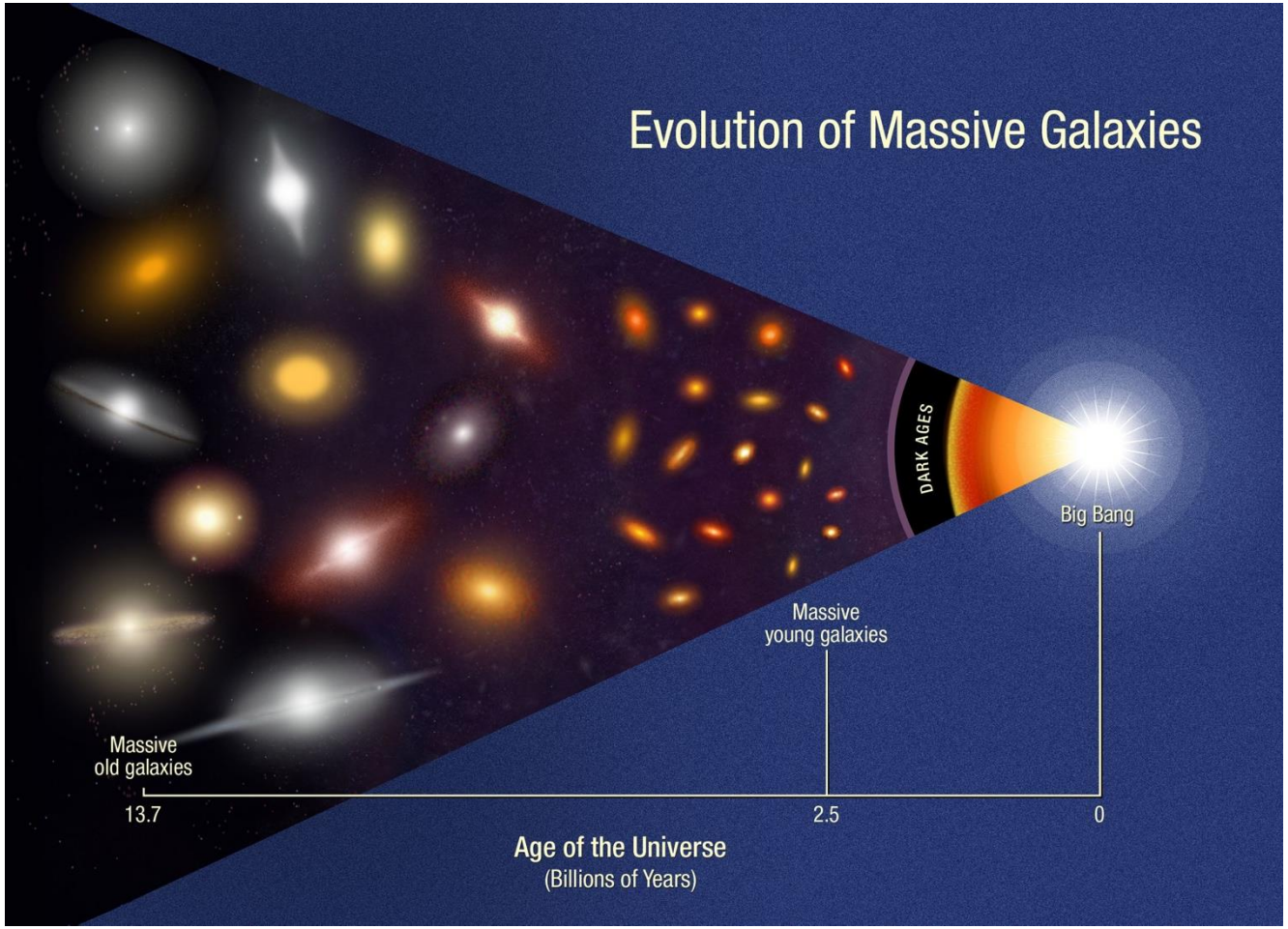
ΛCDM – successi



Formazione delle galassie: grazie alla materia oscura, spieghiamo come hanno fatto le galassie a formarsi così velocemente

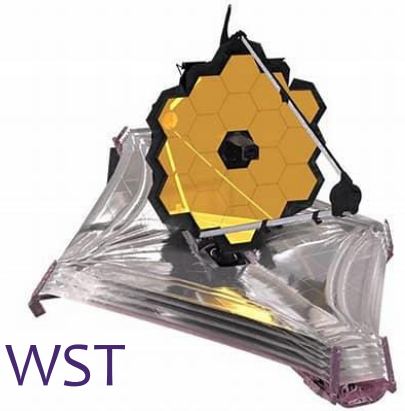
(solo una manciata di miliardi di anni!)

ΛCDM – successi



Formazione delle galassie: grazie alla materia oscura, spieghiamo come hanno fatto le galassie a formarsi così velocemente

(solo una manciata di miliardi di anni!)

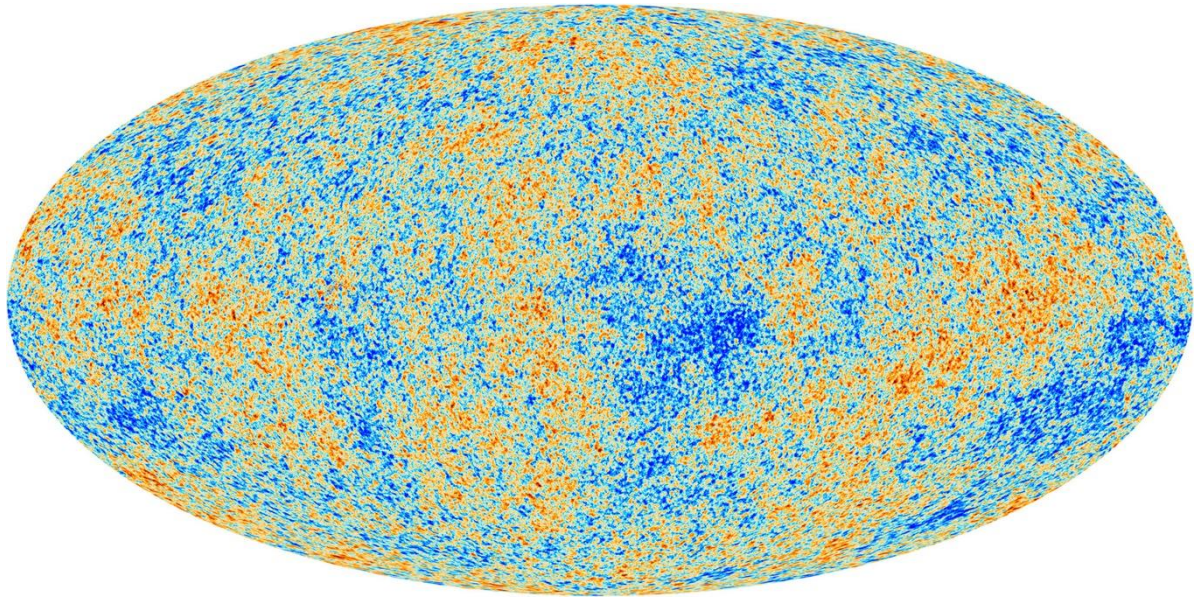


JWST

ΛCDM – successi

Radiazione cosmica di fondo (CMB)

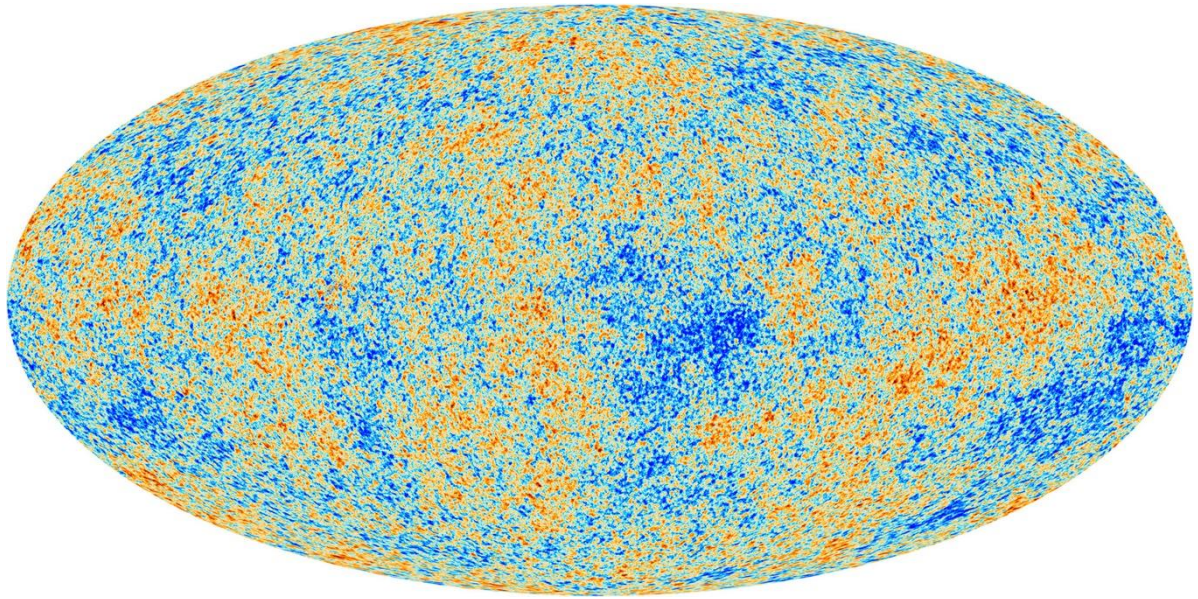
Luce ‘fossile’, emessa appena 380.000 anni dopo il Big Bang. Le (piccolissime!) fluttuazioni di temperatura ci raccontano le componenti dell’Universo e come si sono formati i primi elementi dopo il Big Bang

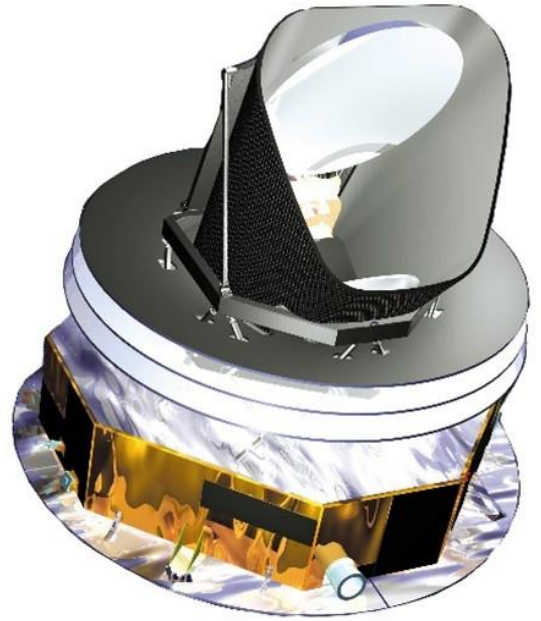


ΛCDM – successi

Radiazione cosmica di fondo (CMB)

Luce ‘fossile’, emessa appena 380.000 anni dopo il Big Bang. Le (piccolissime!) fluttuazioni di temperatura ci raccontano le componenti dell’Universo e come si sono formati i primi elementi dopo il Big Bang

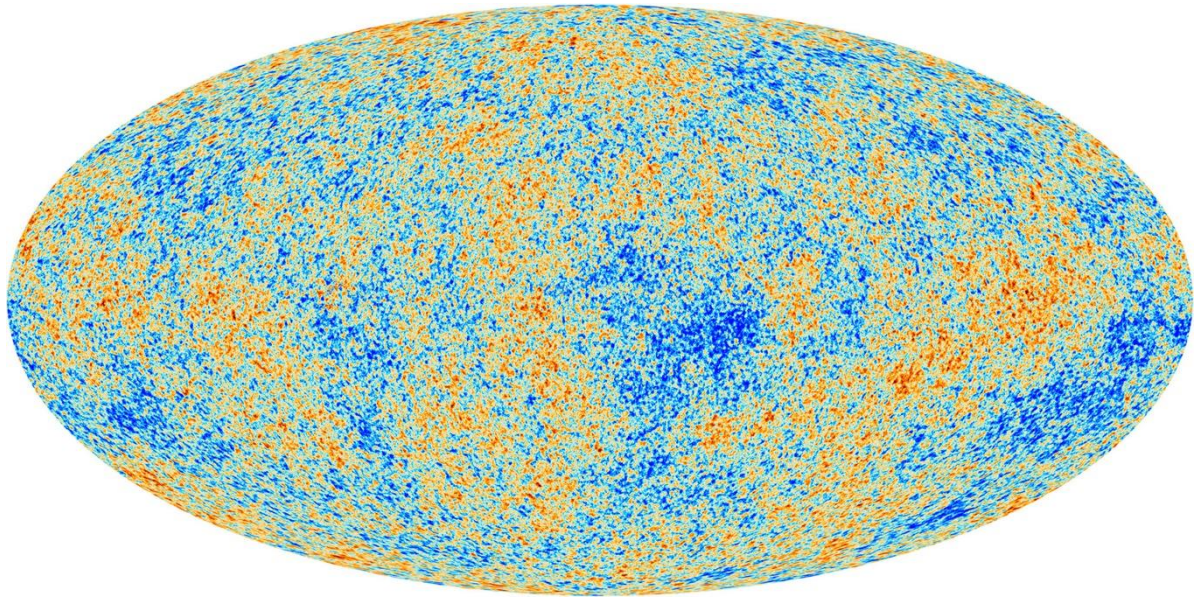




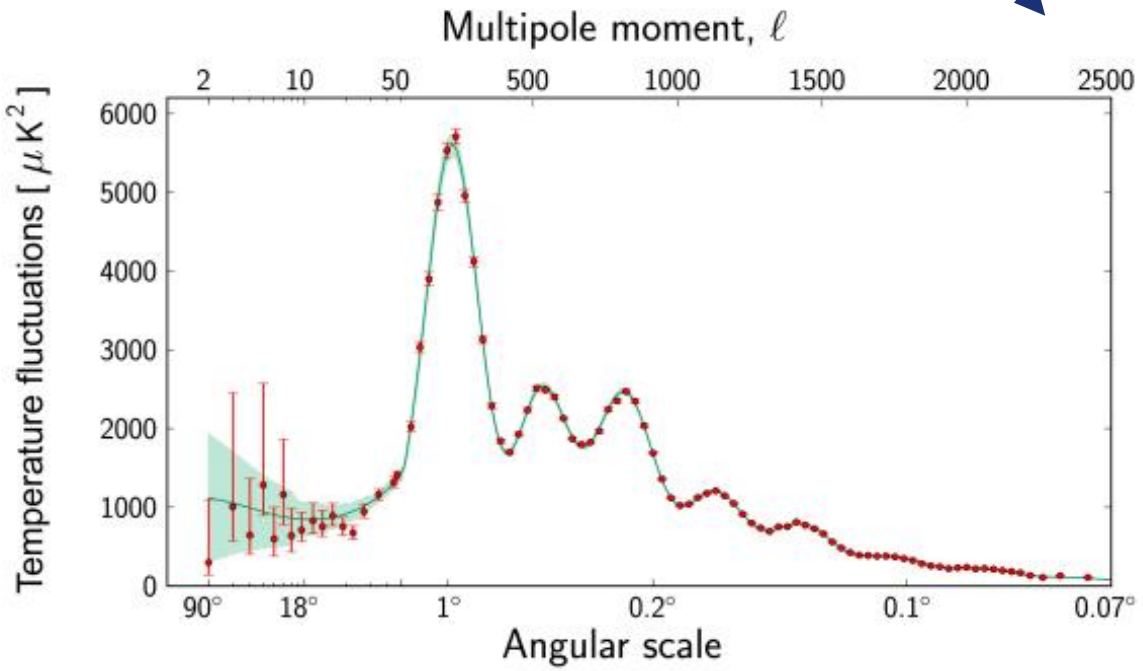
ΛCDM – successi

Radiazione cosmica di fondo (CMB)

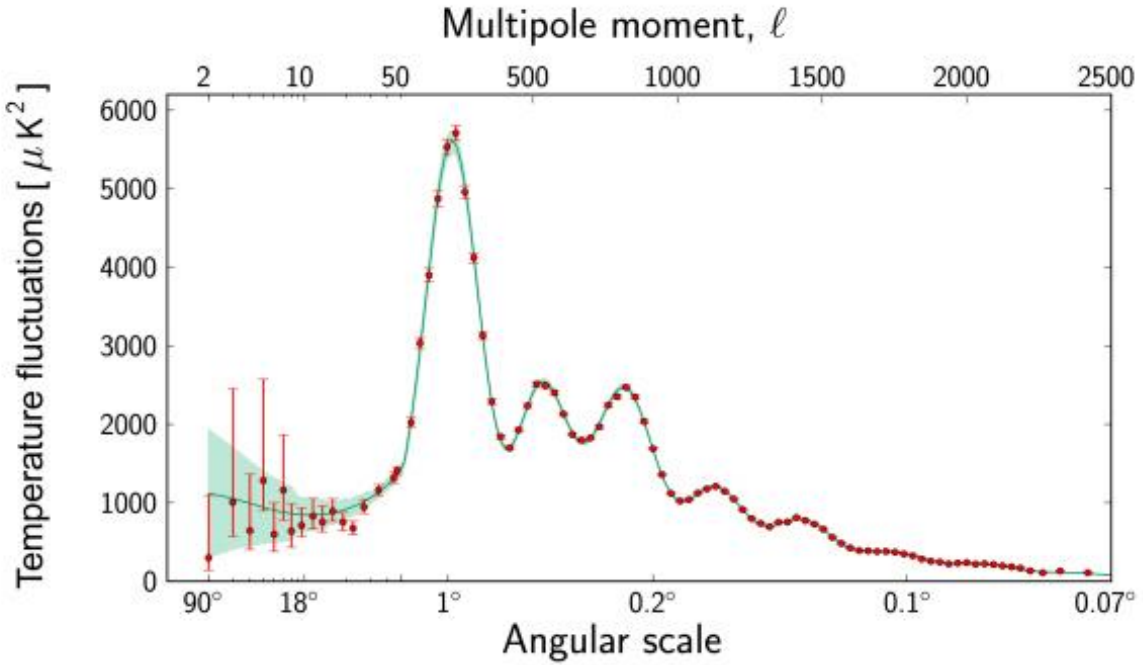
Luce ‘fossile’, emessa appena 380.000 anni dopo il Big Bang. Le (piccolissime!) fluttuazioni di temperatura ci raccontano le componenti dell’Universo e come si sono formati i primi elementi dopo il Big Bang



Il modello Λ CDM spiega nel dettaglio le fluttuazioni



ΛCDM – successi



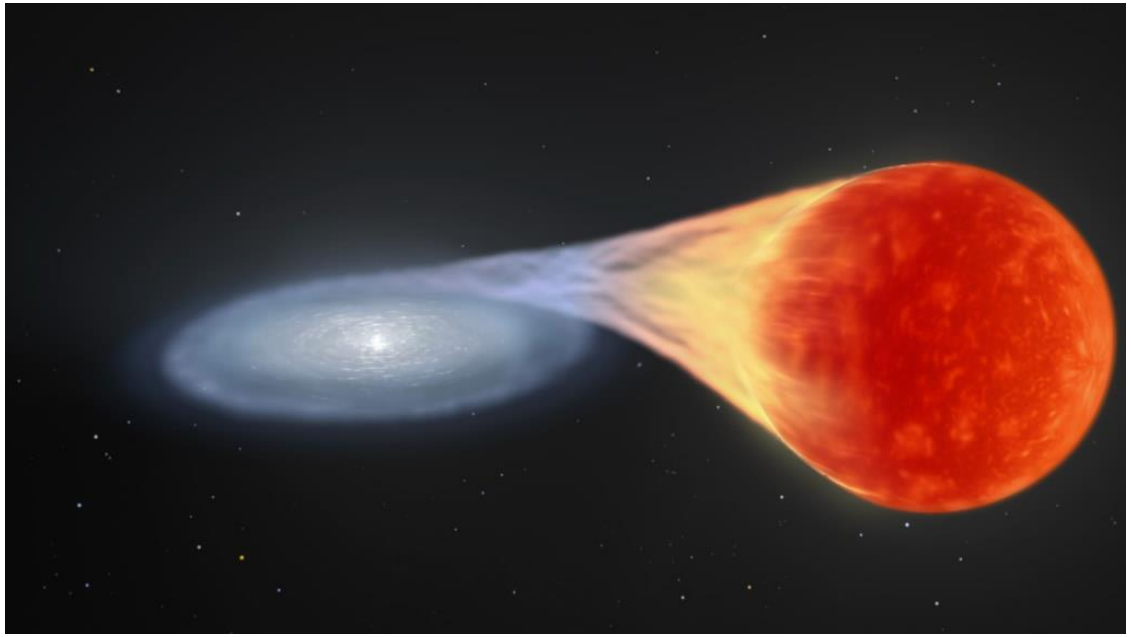
Dalla CMB possiamo calcolare il tasso di espansione dell'Universo in quel momento

Conoscendo l'espansione predetta da Λ CDM, possiamo poi calcolare la costante di Hubble, ovvero il tasso di espansione dell'Universo oggi

$H_0 = 67.4 \pm 0.5$ km/s/Mpc

ΛCDM – Una importante sfida

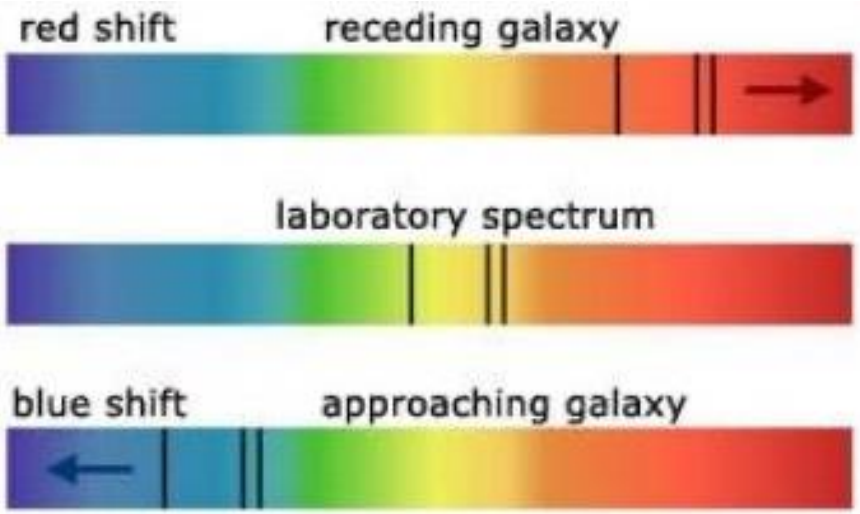
Possiamo anche guardare a oggetti che sono candele standard, come le Supenove Ia, e misurare la costante di Hubble localmente



Conoscendo la loro luminosità, ne misuriamo la distanza

Osservando il *redshift*, misuriamo la lc velocità di recessione





$H_0 = 73.04 \pm 1.04$ km/s/Mpc

ΛCDM – Una importante sfida

Misura 'locale'
H_0 = 73.04 ± 1.04 km/s/Mpc

Misura 'indiretta' (ΛCDM)
H_0 = 67.4 ± 0.5 km/s/Mpc

I due valori sono in tensione!

ΛCDM – Una importante sfida

Misura 'locale'
H_0 = 73.04 ± 1.04 km/s/Mpc

Misura 'indiretta' (ΛCDM)
H_0 = 67.4 ± 0.5 km/s/Mpc

Strade possibili

Misurare H_0 localmente con misure indipendenti

Andare a caccia di errori *sistematici* nelle misure

Testare modelli cosmologici alternativi

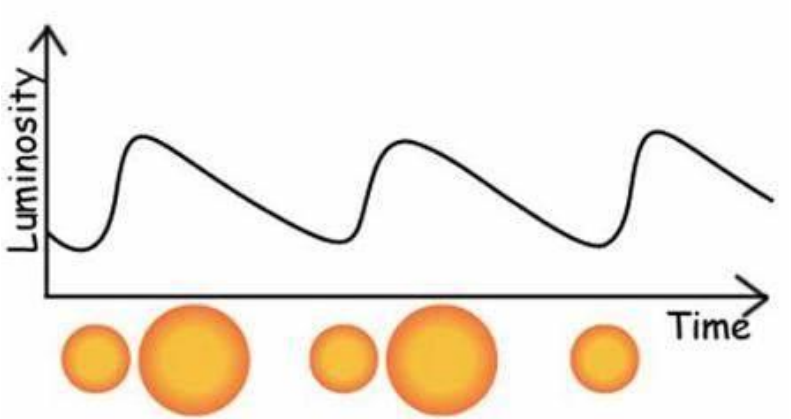
Testare Teorie della Gravità alternative alla Relatività Generale

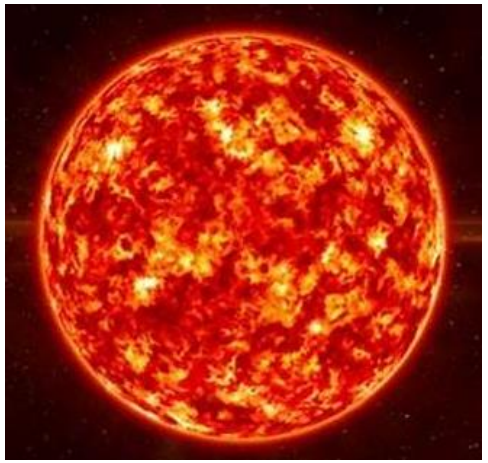
ΛCDM – Una importante sfida

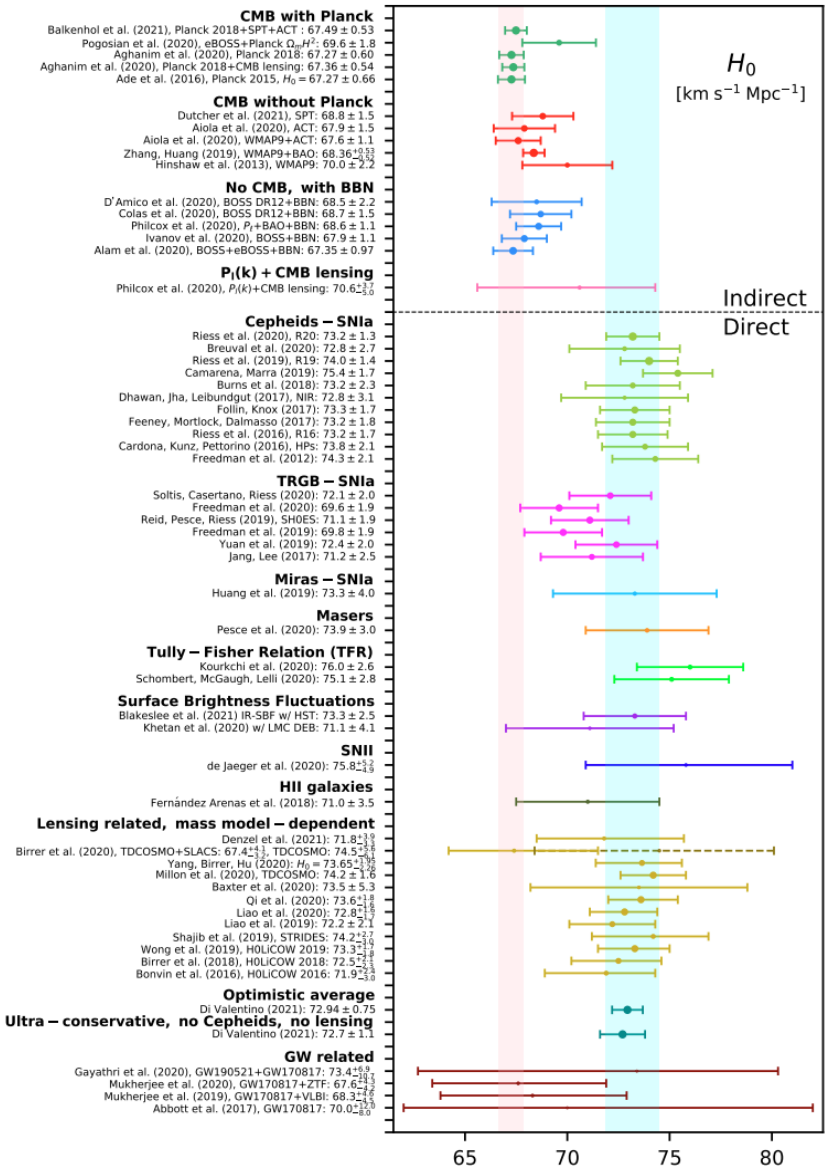
Molti studi negli ultimi anni hanno cercato metodi alternativi per misurare H_0, per esempio:

Calibratori delle supernovae:

Cefeidi vs Giganti rosse



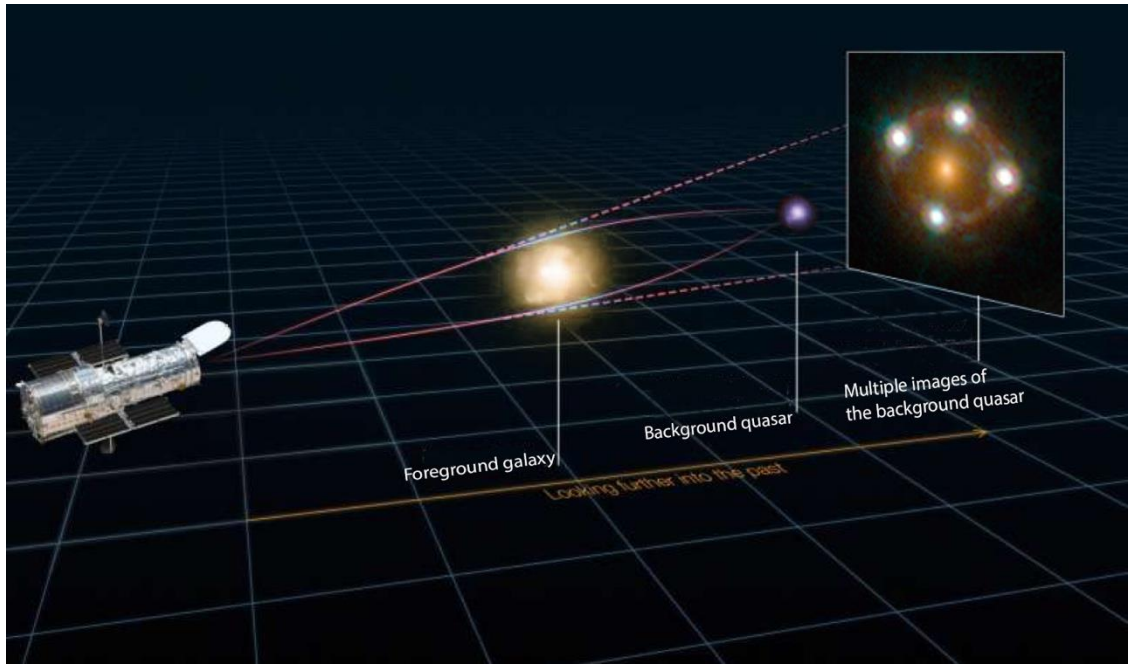


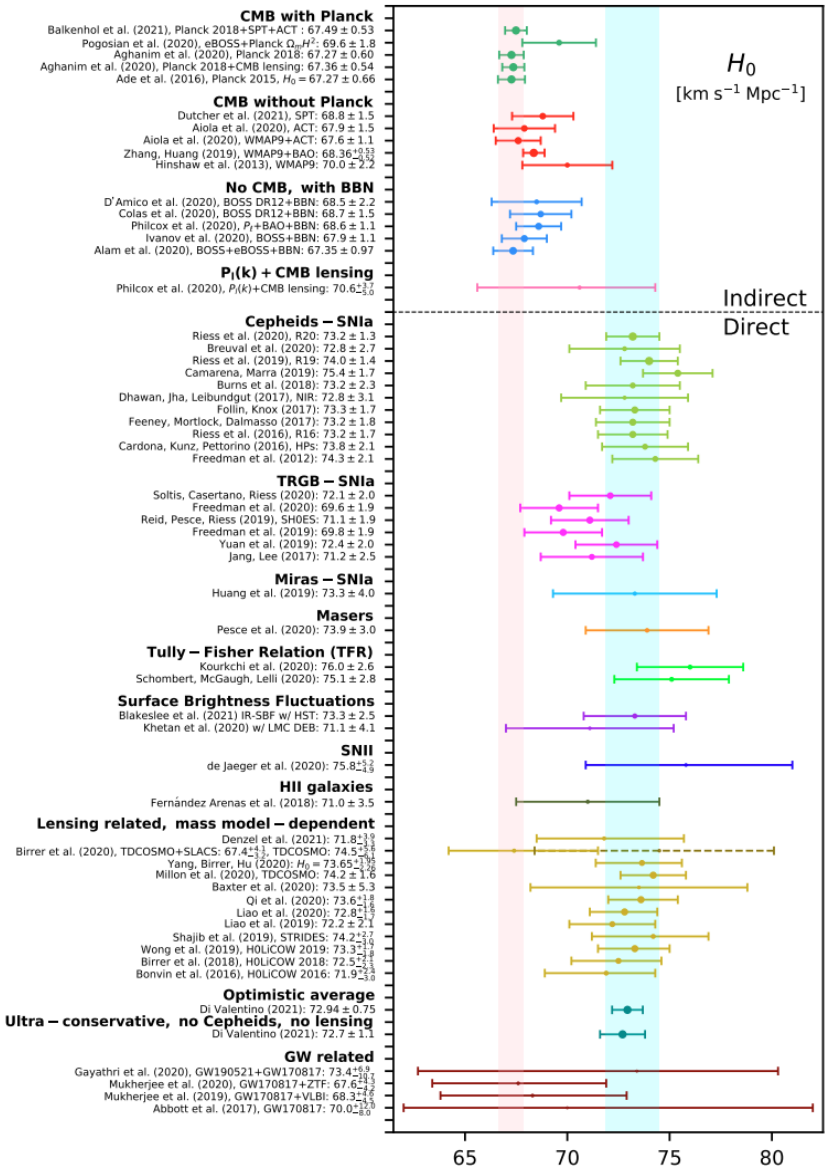


ΛCDM – Una importante sfida

Molti studi negli ultimi anni hanno cercato metodi alternativi per misurare H_0, per esempio:

Lensing gravitazionale

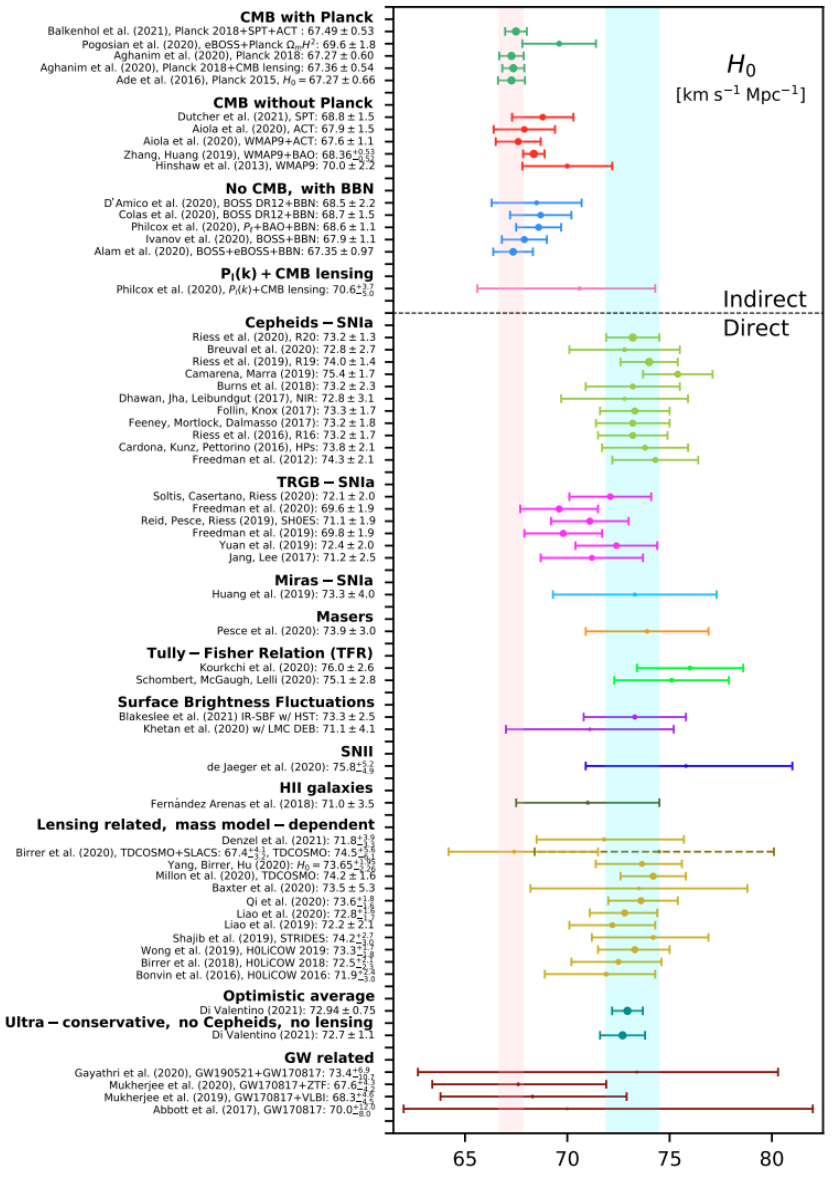




ΛCDM – Una importante sfida

Molti studi negli ultimi anni hanno cercato metodi alternativi per misurare H_0

la tensione non scompare!

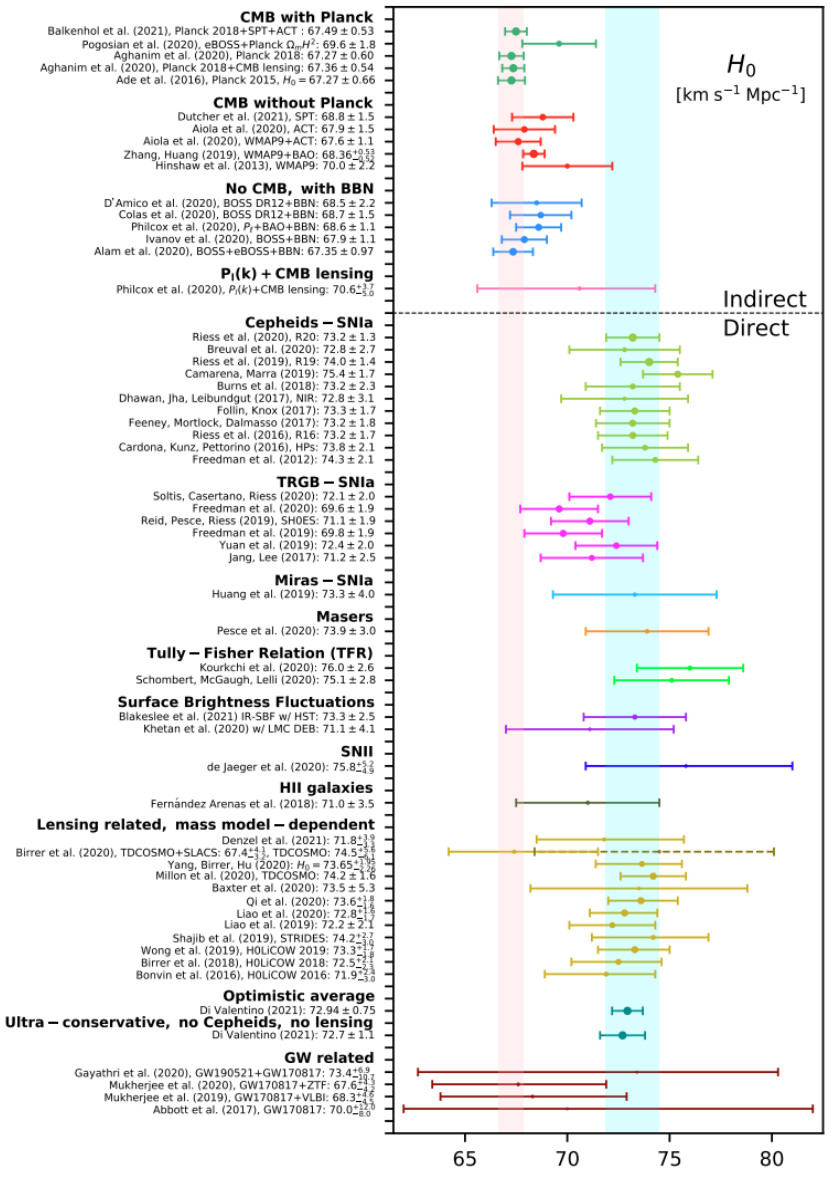


ΛCDM – Una importante sfida

Molti studi negli ultimi anni hanno cercato metodi alternativi per misurare H_0

la tensione non scompare!

È possibile che ΛCDM non sia il modello giusto?



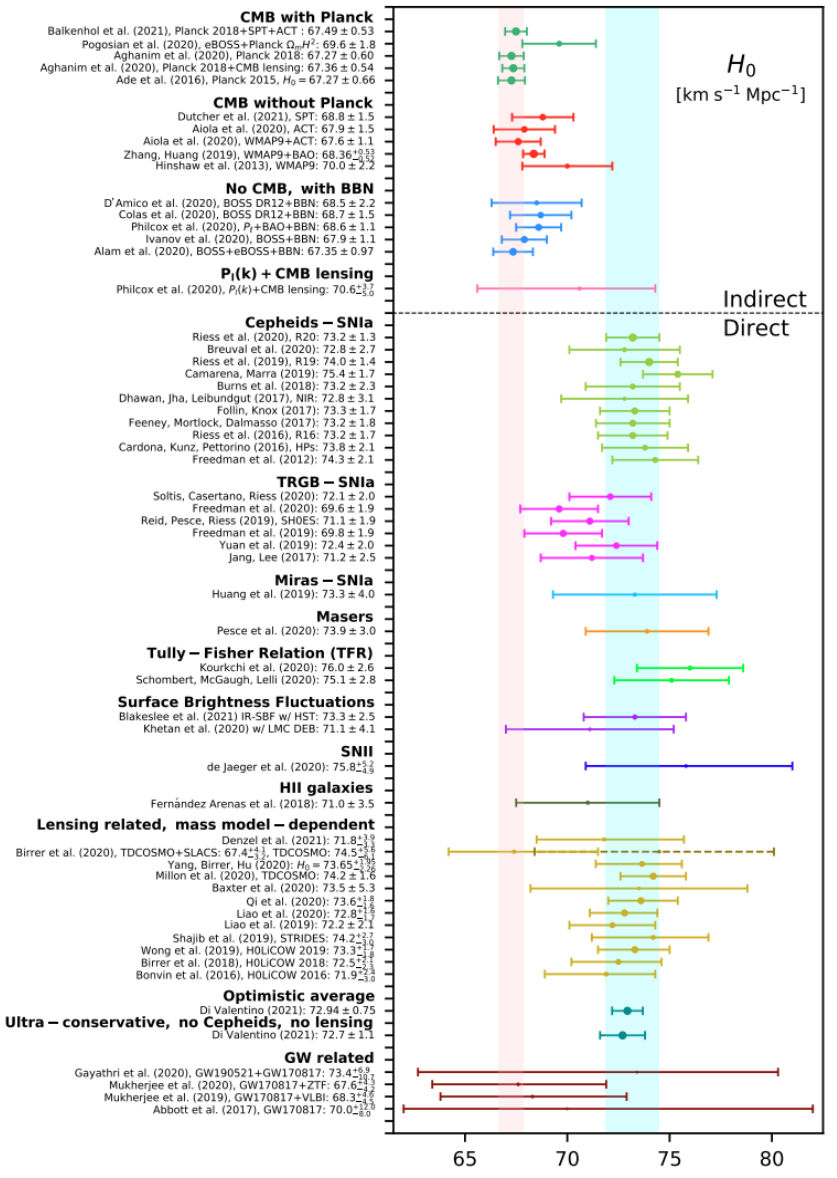
ΛCDM – Una importante sfida

È possibile che ΛCDM non sia il modello giusto?

Modelli alternativi:

- energia oscura che cambia nel tempo
- materia oscura e energia oscura interagiscono nel tempo
- gravità modificata

… ma ad oggi non abbiamo modelli che risolvano la tensione su H_0 spiegando allo stesso tempo tutte le altre osservazioni!



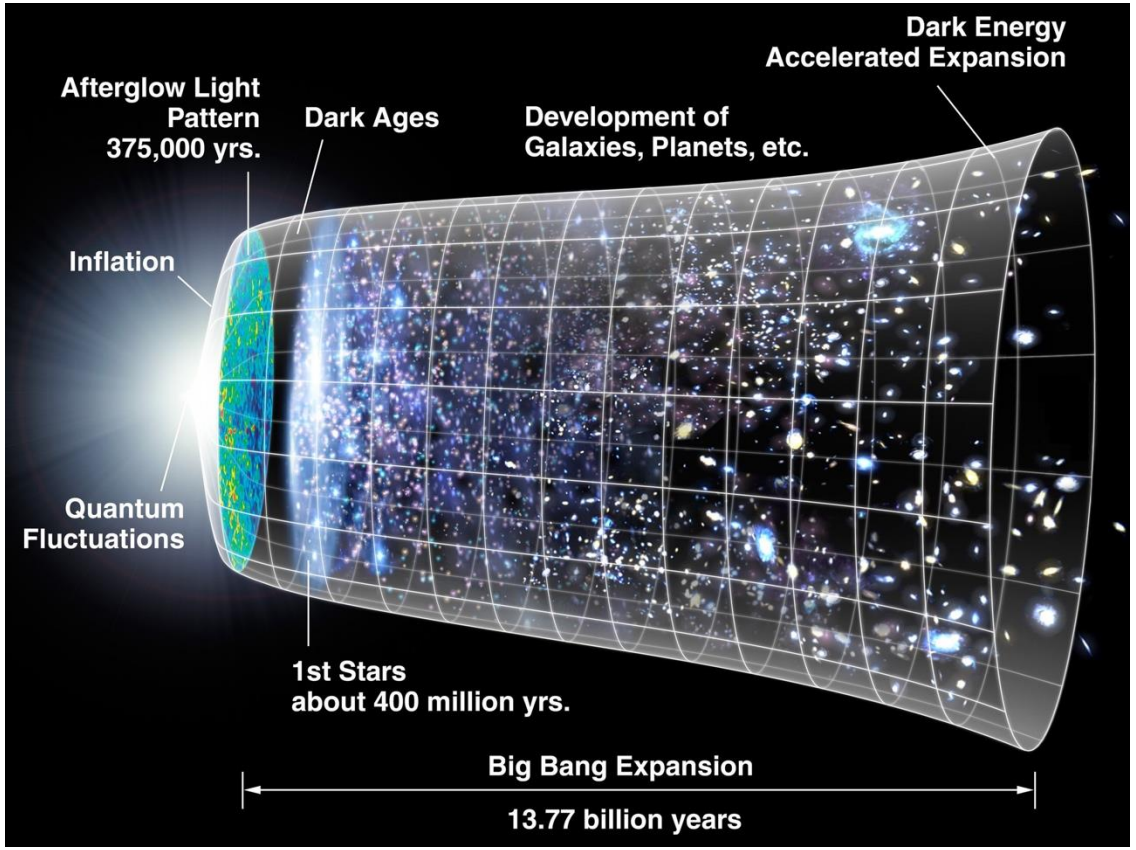
ΛCDM – Conclusioni

Λ CDM descrive l'Universo come formato principalmente da un 'Dark Sector', con energia oscura e materia oscura

ΛCDM spiega la formazione delle galassie, la loro distribuzione, l'espansione accelerata dell'Universo e molto altro

«Elefanti nella stanza» : cos'è la materia oscura? Cos'è l'energia oscura? Cosa causa la tensione sulla costante H_0?

C'è ancora lavoro da fare per ricostruire la storia del nostro Universo!



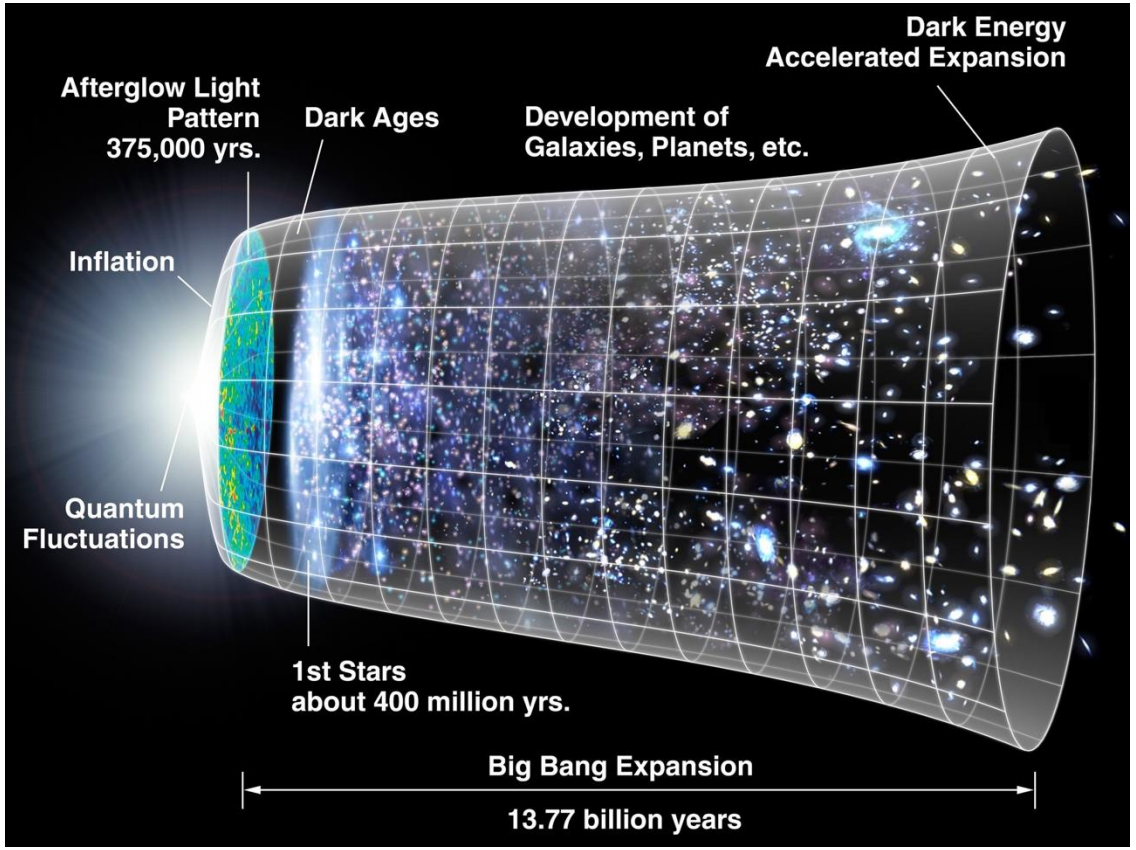
ΛCDM – Conclusioni

Λ CDM descrive l'Universo come formato principalmente da un 'Dark Sector', con energia oscura e materia oscura

ΛCDM spiega la formazione delle galassie, la loro distribuzione, l'espansione accelerata dell'Universo e molto altro

«Elefanti nella stanza» : cos'è la materia oscura? Cos'è l'energia oscura? Cosa causa la tensione sulla costante H_0?

C'è ancora lavoro da fare per ricostruire la storia del nostro Universo!



Grazie! Domande?