

Il mistero della Materia Oscura



Luca Doria
Johannes Gutenberg University
doria@uni-mainz.de

Introduzione

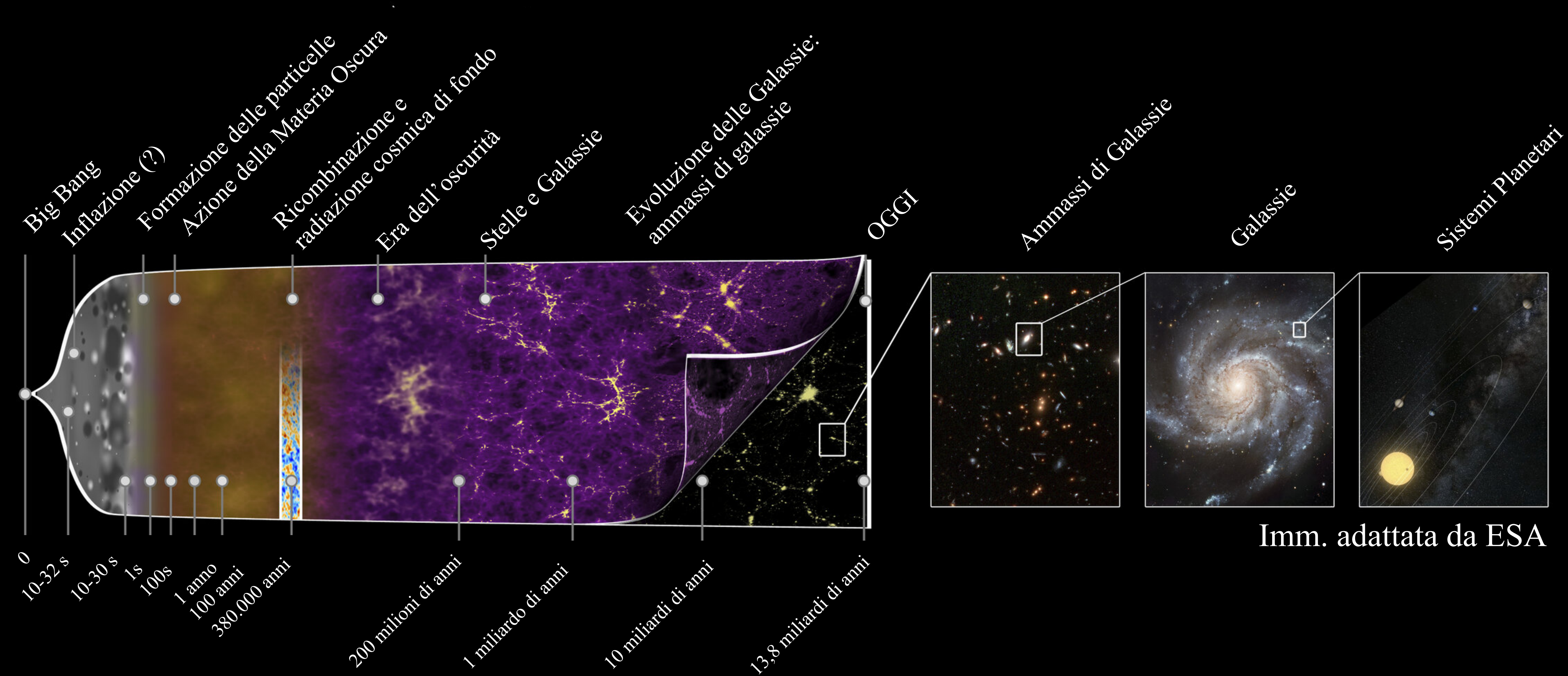
- Cosa e' la materia oscura?
- Un po' di storia..
- Prove della sua esistenza
- Cosa potrebbe essere?
- Come fare per osservarla?
- A che punto siamo?



Cosa é la materia oscura?

- É una ipotetica componente del nostro Universo.
- Non emette radiazioni: é oscura.
- Ne osserviamo solo gli effetti gravitazionali.
- La sua natura é tutt'ora sconosciuta.
- Uno dei più grandi problemi irrisolti della fisica.

Un po' di storia



Imm. adattata da ESA

Esistenza della Materia Oscura

Ammassi di galassie: i conti non tornano



F. Zwicky (1898-1974)



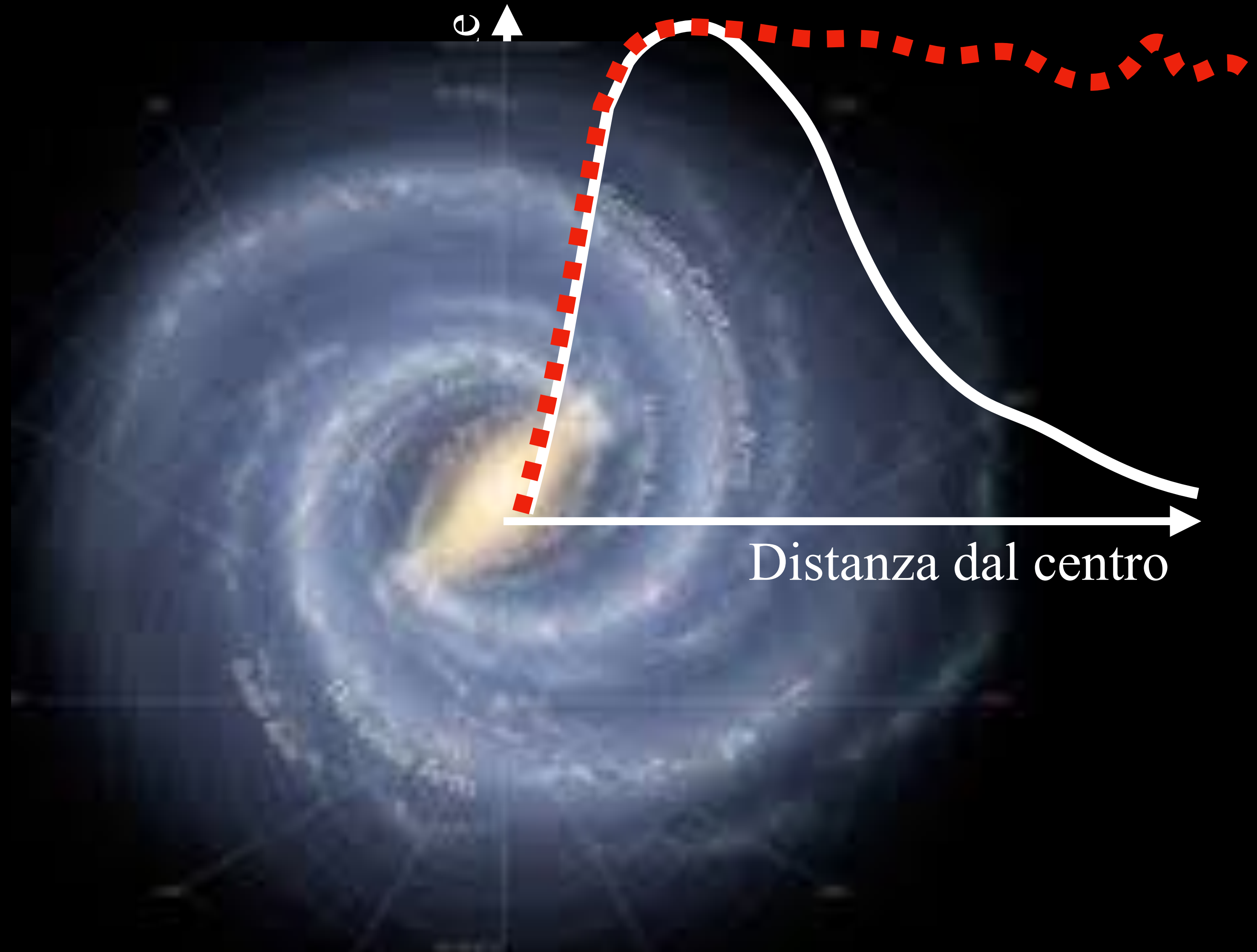
Coma cluster (Abel 1656)
Distanza dalla Terra ~ 300 M a.l.
Diametro ~ 2 M a.l.
> 1000 galassie

1933: Misura della velocità delle galassie dell'ammasso Coma.
Le velocità sono troppo alte: la materia visibile non basta.
Zwicky conclude che vede esserci “*dunkle Materie*”.

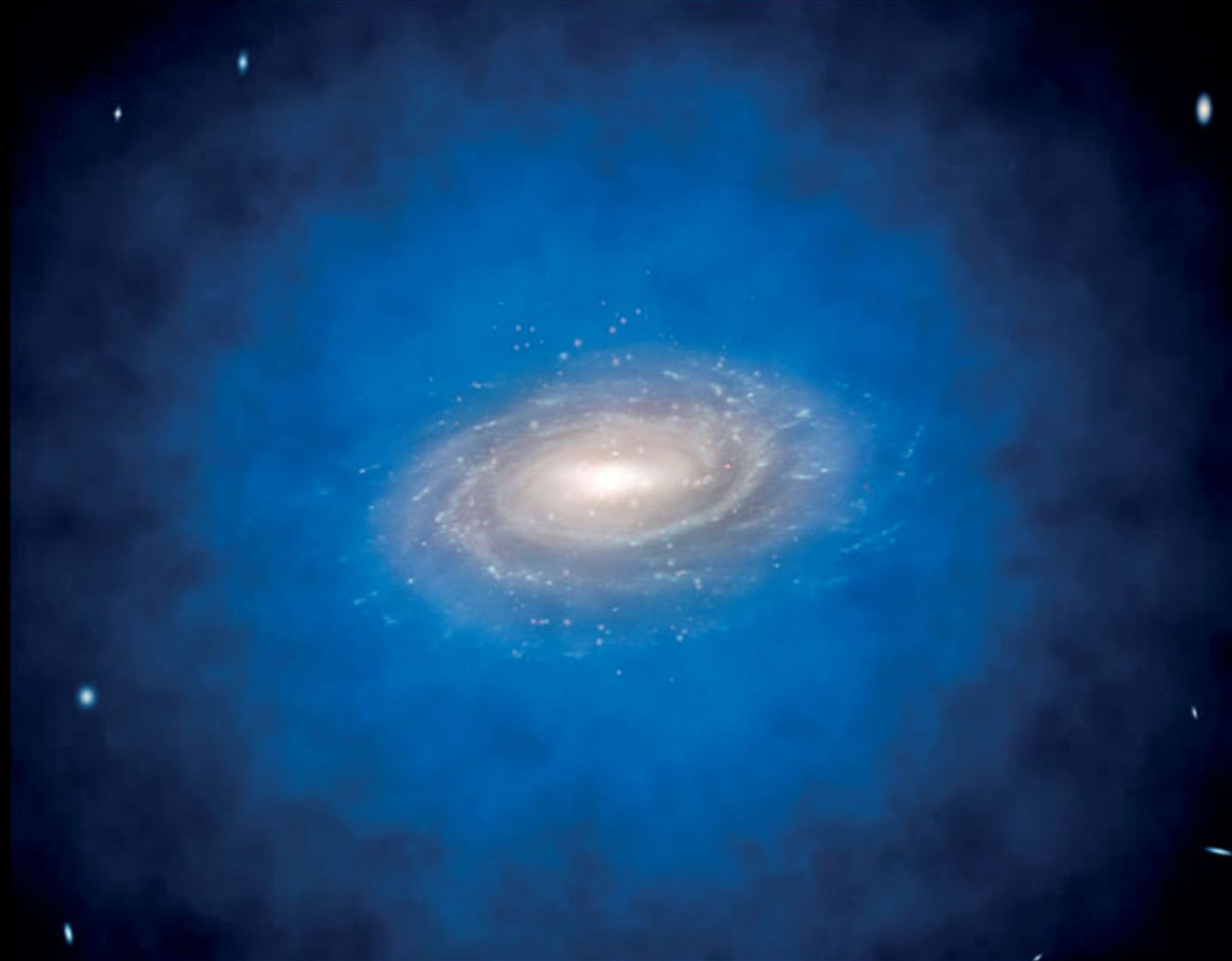
La rotazione delle galassie



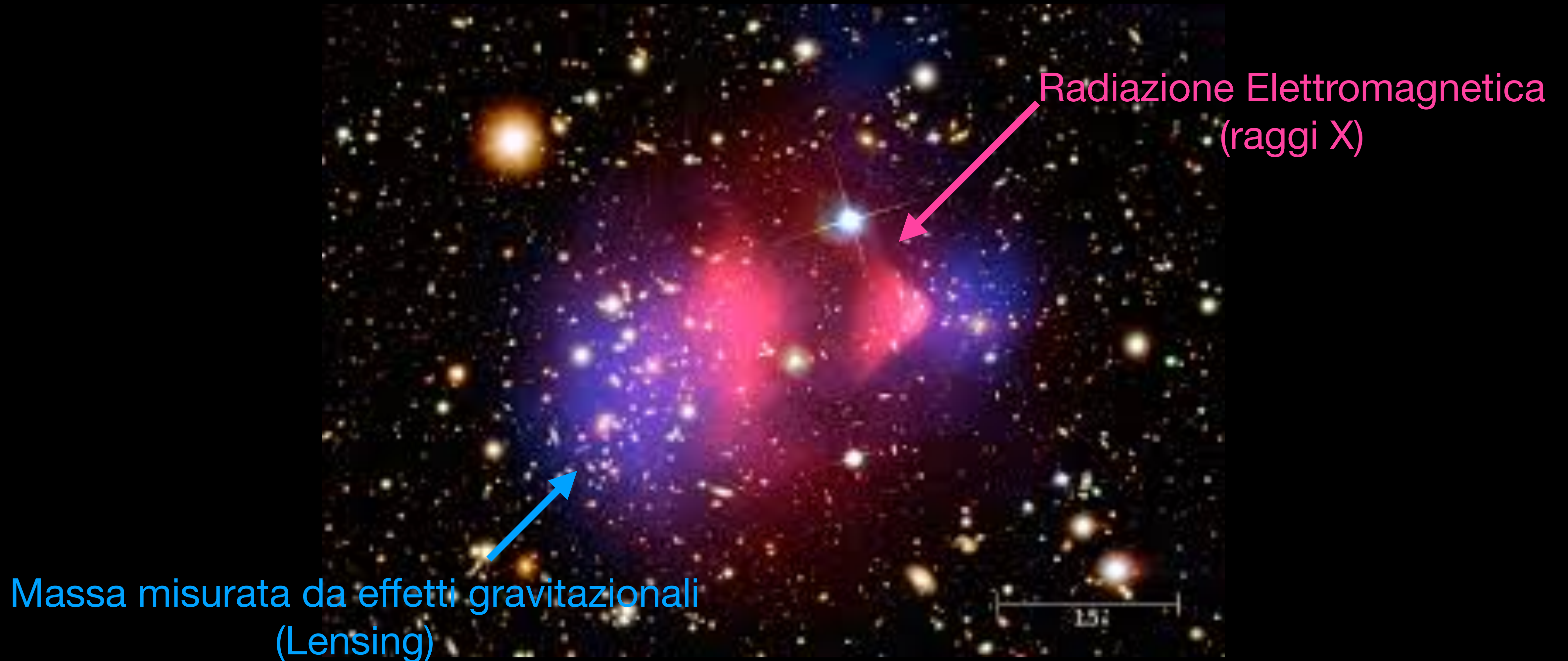
V. Rubin (1928-2016)



Un “alone” di materia oscura?



L'ammasso Bullet: collisione di ammassi



La radiazione cosmica di fondo

380.000 anni dopo il Big Bang...

...la temperatura scende abbastanza per consentire...

...ai protoni di “catturare” gli elettroni.

Nascono i primi atomi e la luce (i fotoni) e' libera ...
di viaggiare nell' Universo:

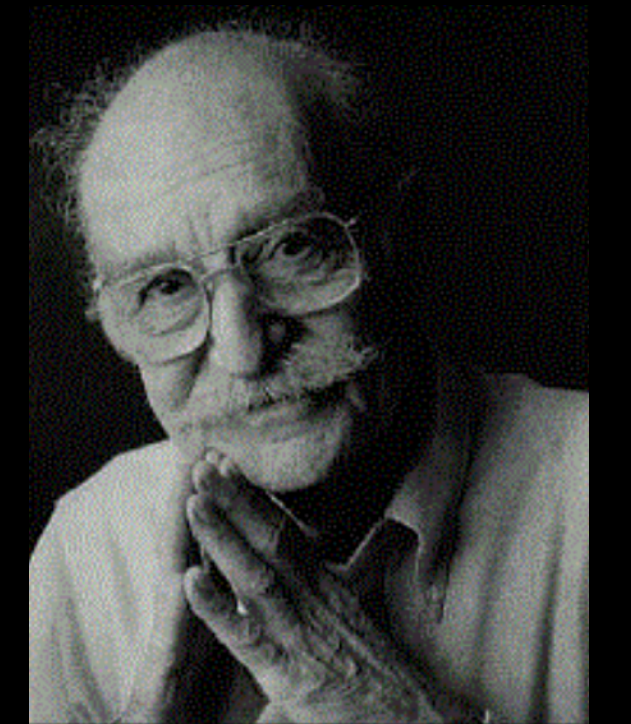
La Radiazione Cosmica di Fondo

Alpher e Herman predissero teoricamente la sua esistenza nel 1948.

Caratteristiche: 500 fotoni/cm^3 , $T = 2.7\text{K}$



R. Alpher (1921-2007)

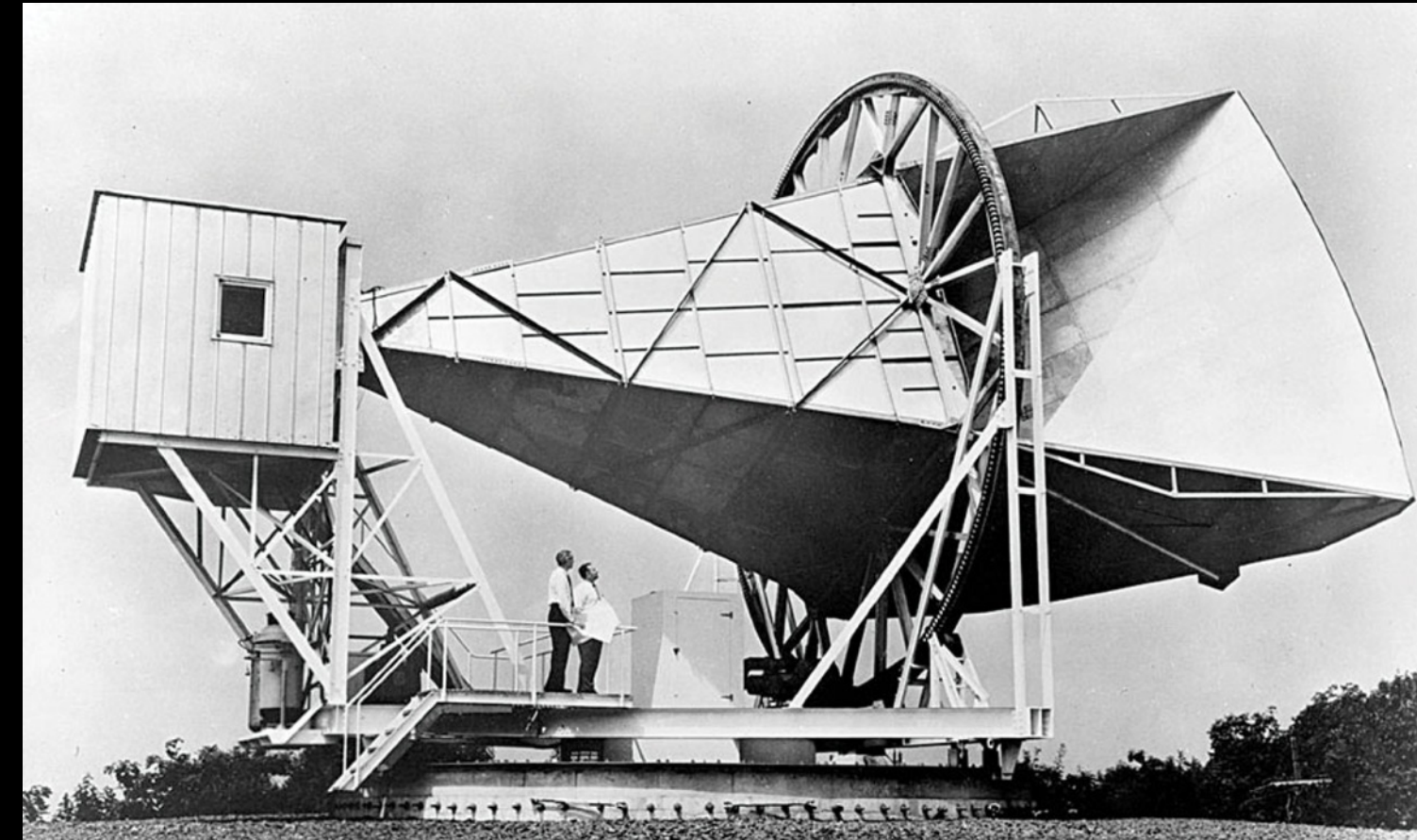


R. Herman (1914-1997)

La radiazione cosmica di fondo

La fortuita scoperta di Penzias e Wilson nel 1964

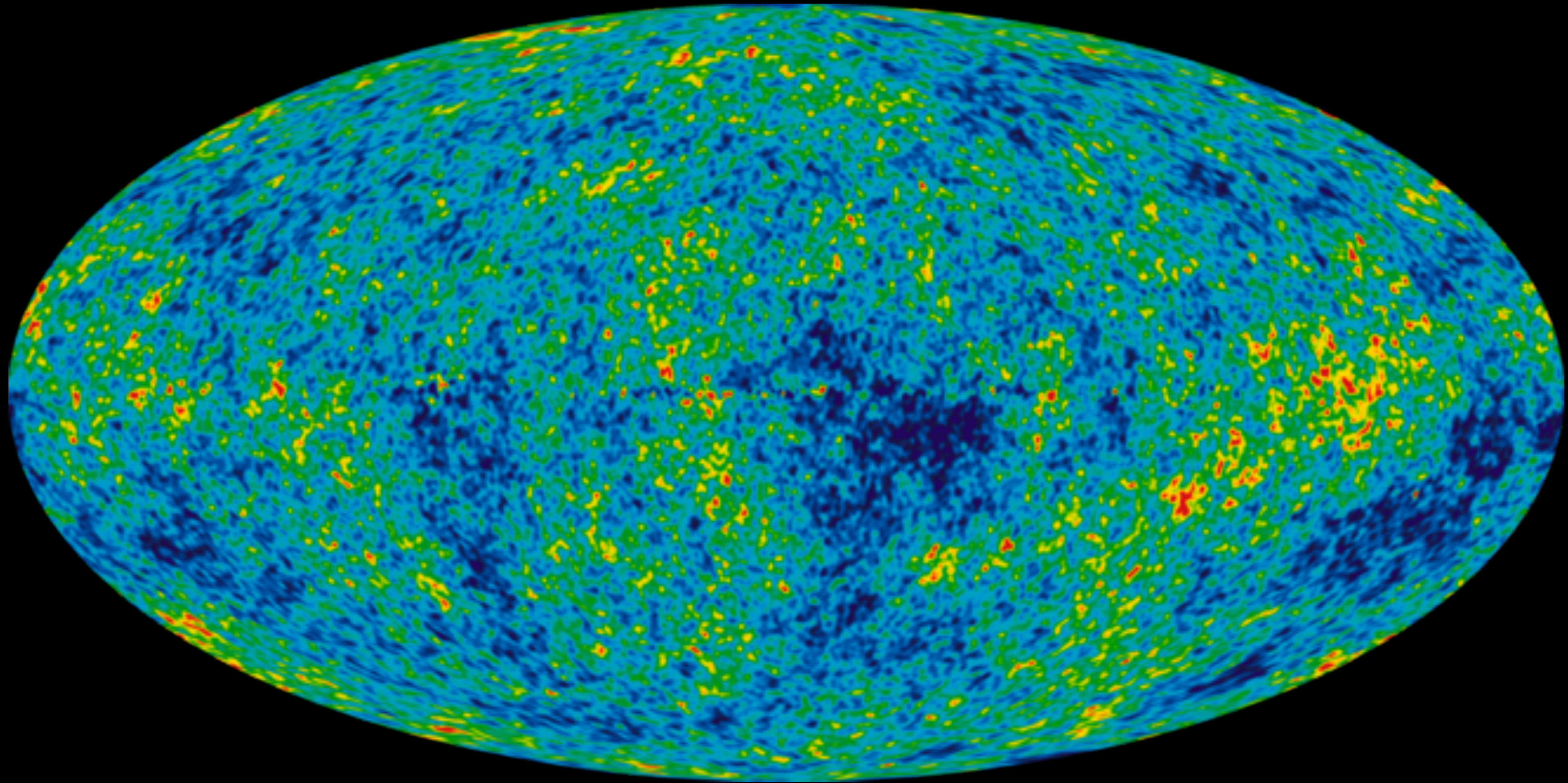
1978



Arno A. Penzias (1933-2024)
Robert W. Wilson (1936-)

Holmdel Horn Antenna,
New Jersey (USA)

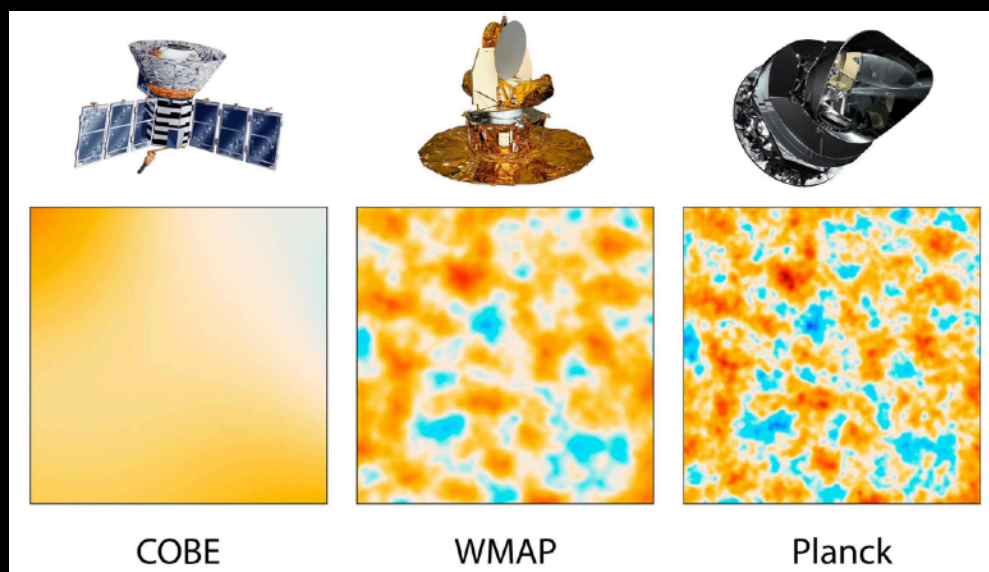
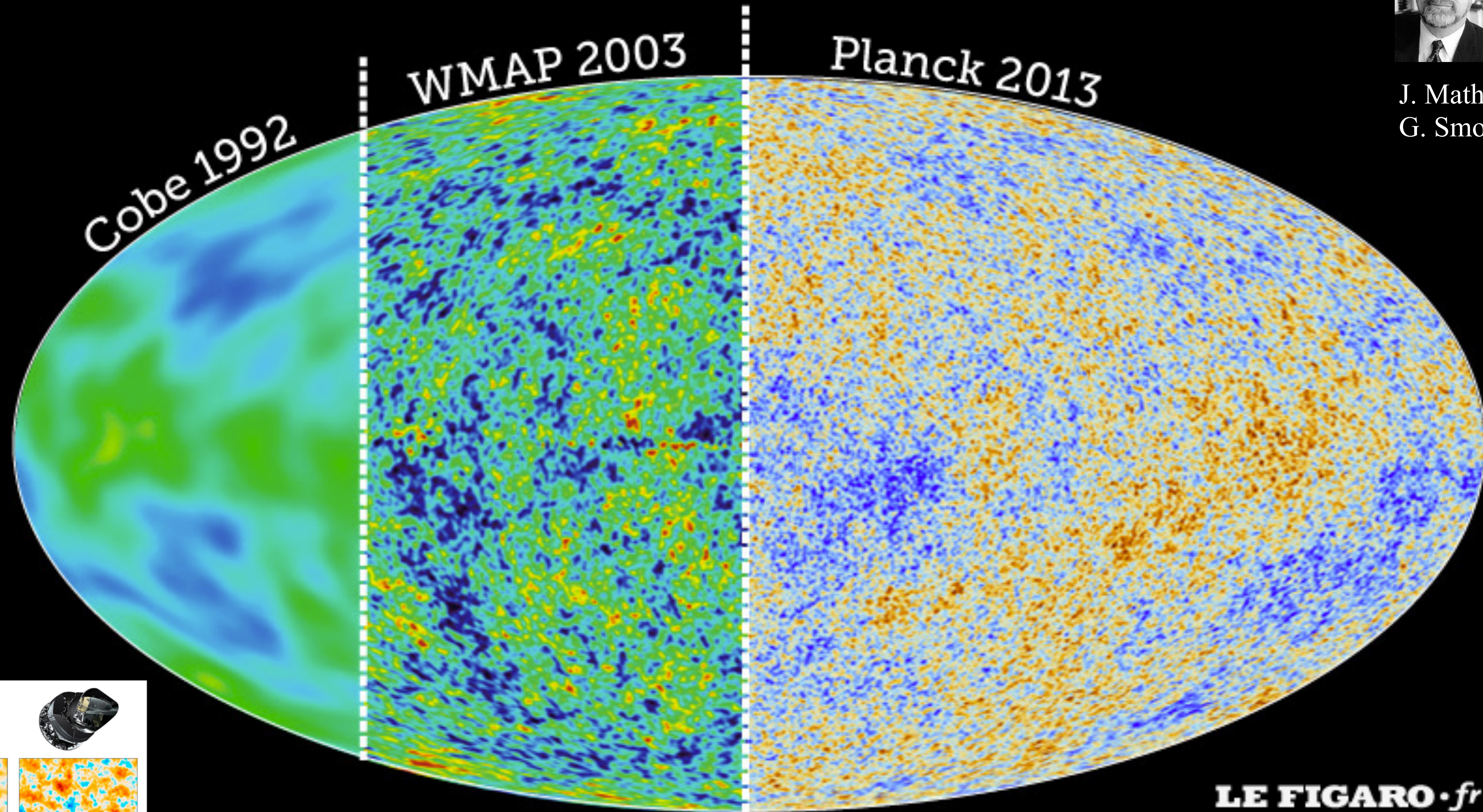
La radiazione cosmica di fondo



La radiazione cosmica di fondo



J. Mather (1946-)
G. Smoot (1945-)

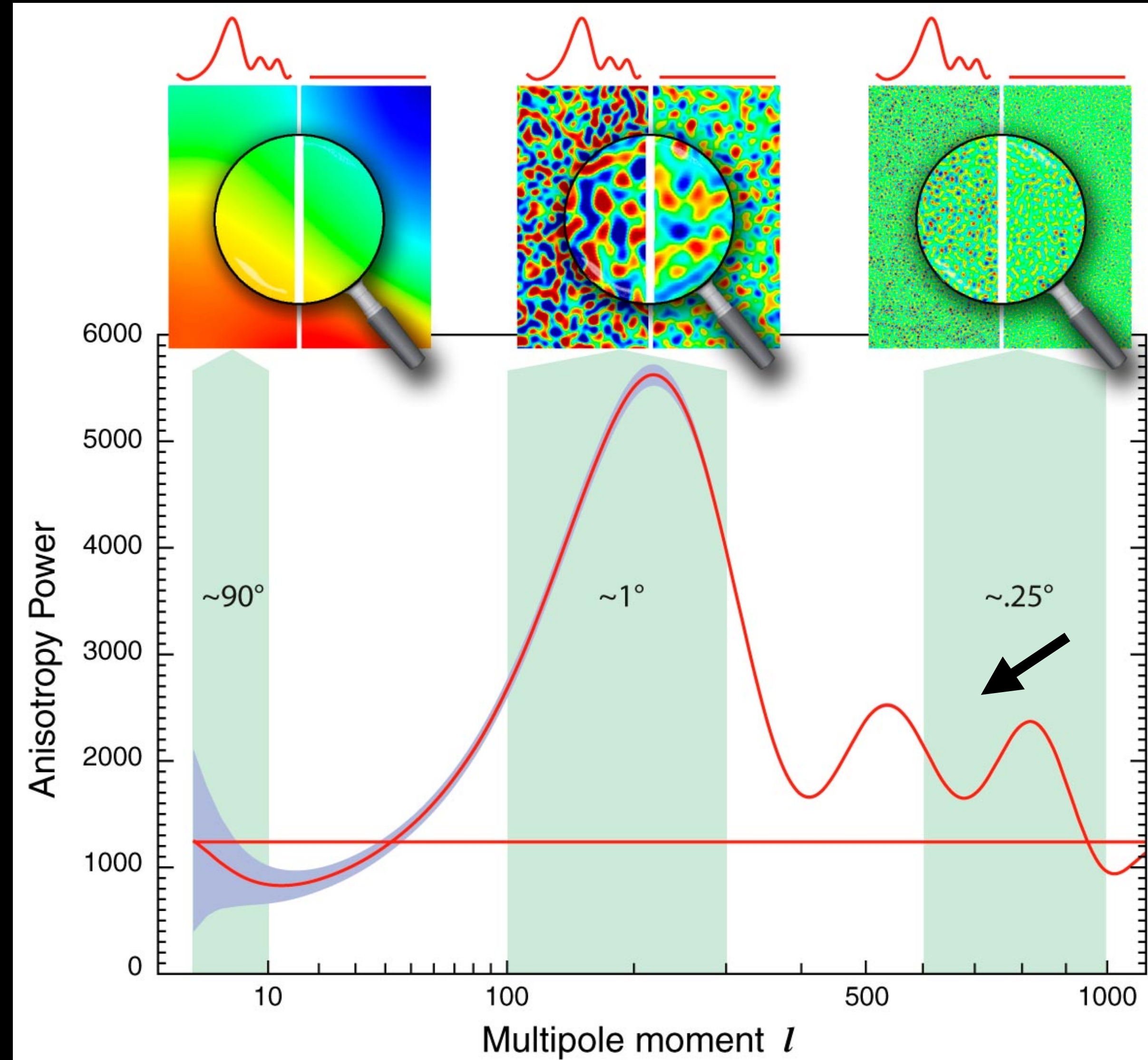


COBE

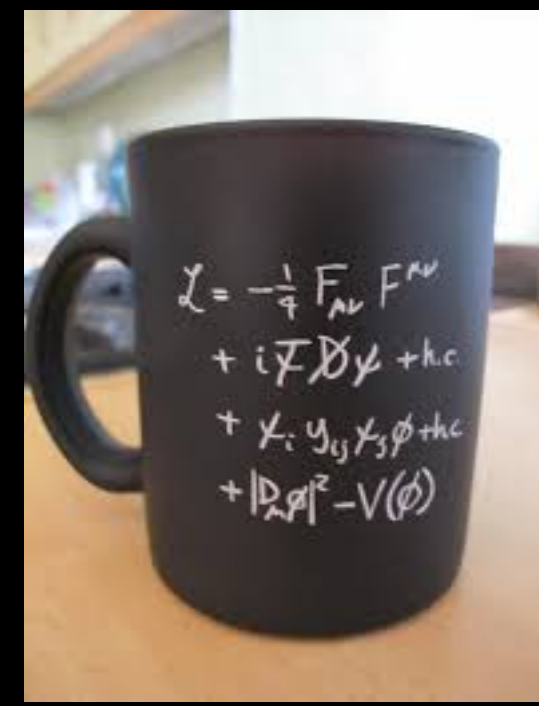
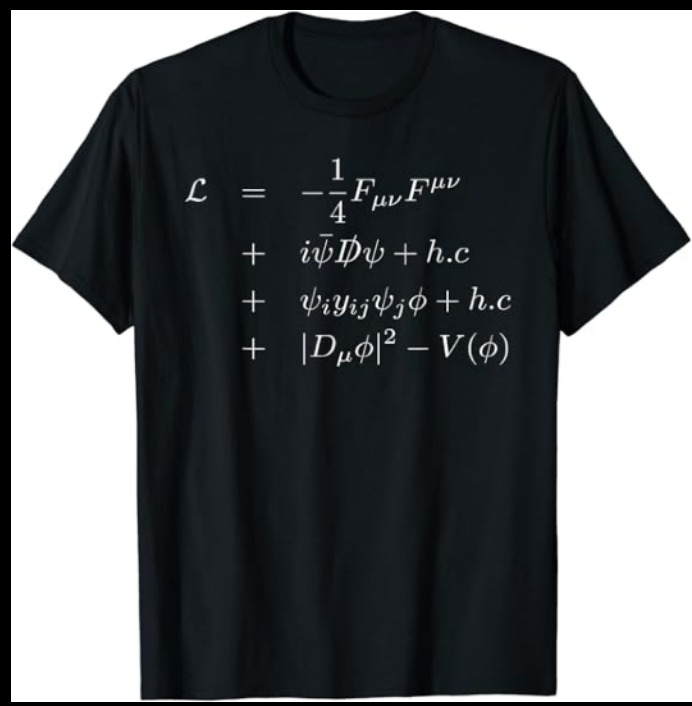
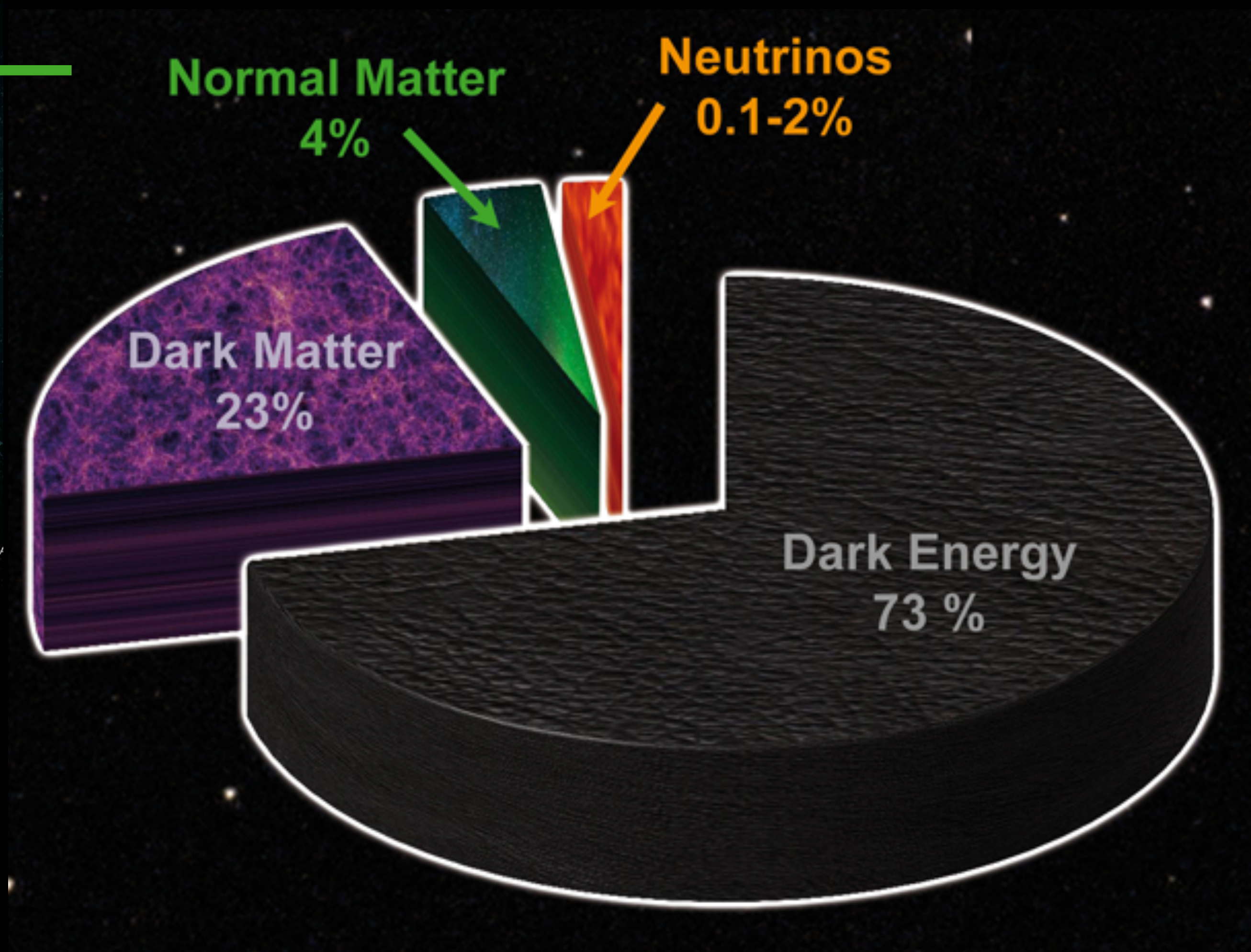
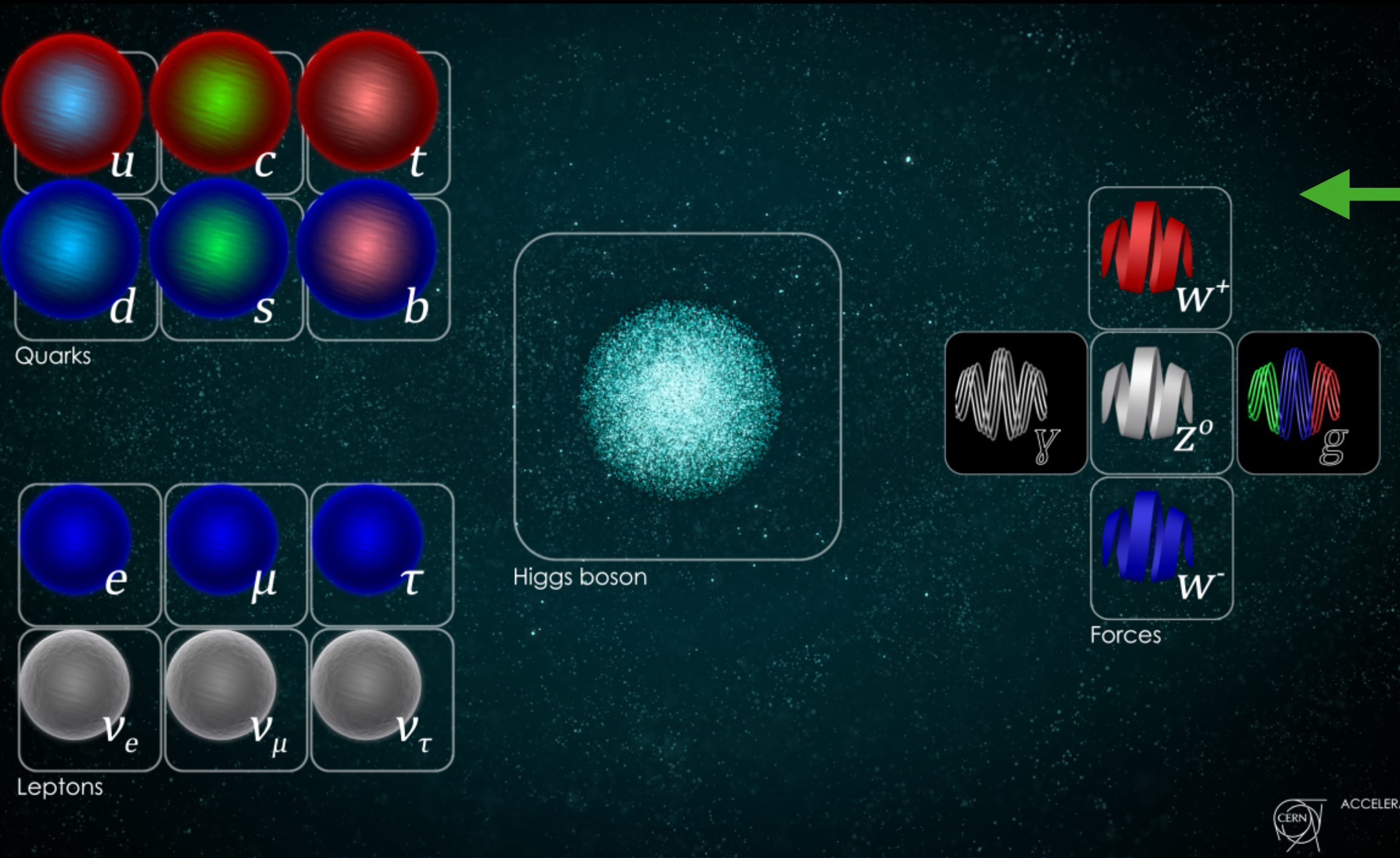
WMAP

Planck

La radiazione cosmica di fondo e la materia oscura



Il contenuto dell' Universo



Osserviamo l'effetto della materia oscura:

- a livello galattico
- a livello di ammassi di galassie
- a livello cosmologico

Cosa potrebbe essere la materia oscura?

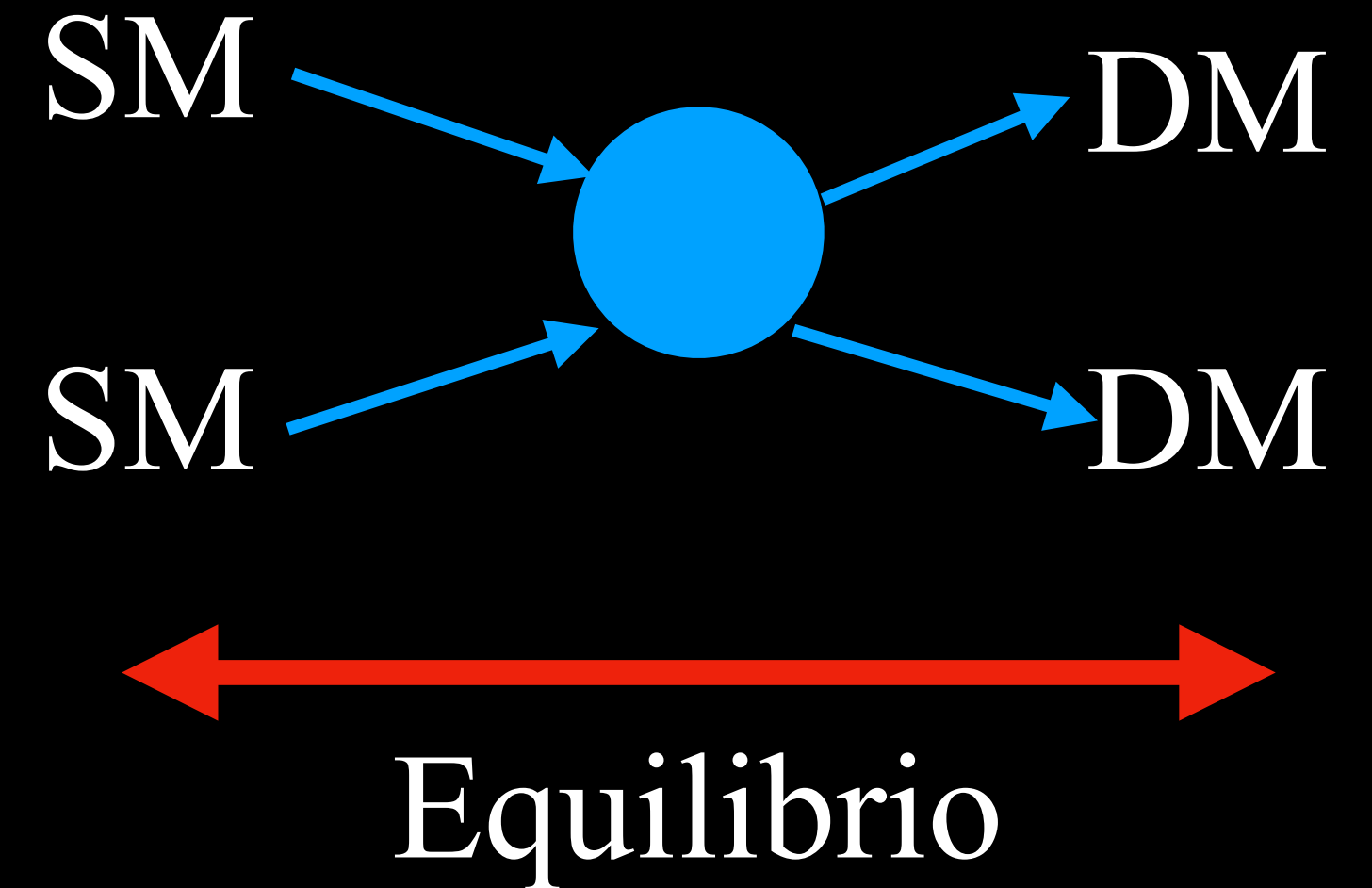
Una nuova particella?

Nell' Universo primordiale, particelle di materia oscura erano in equilibrio con il resto della materia

L'Universo, espandendosi e raffreddandosi favorì l'annichilazione delle particelle di materia oscura.

Dopo una certa temperatura, la densità di materia oscura rimase costante fino ai nostri giorni:

Freeze-out.



Il “miracolo” delle WIMPs.

WIMP: “Weakly-Interacting Massive Particle”

Particella massiva debolmente interagente

Il “miracolo”:

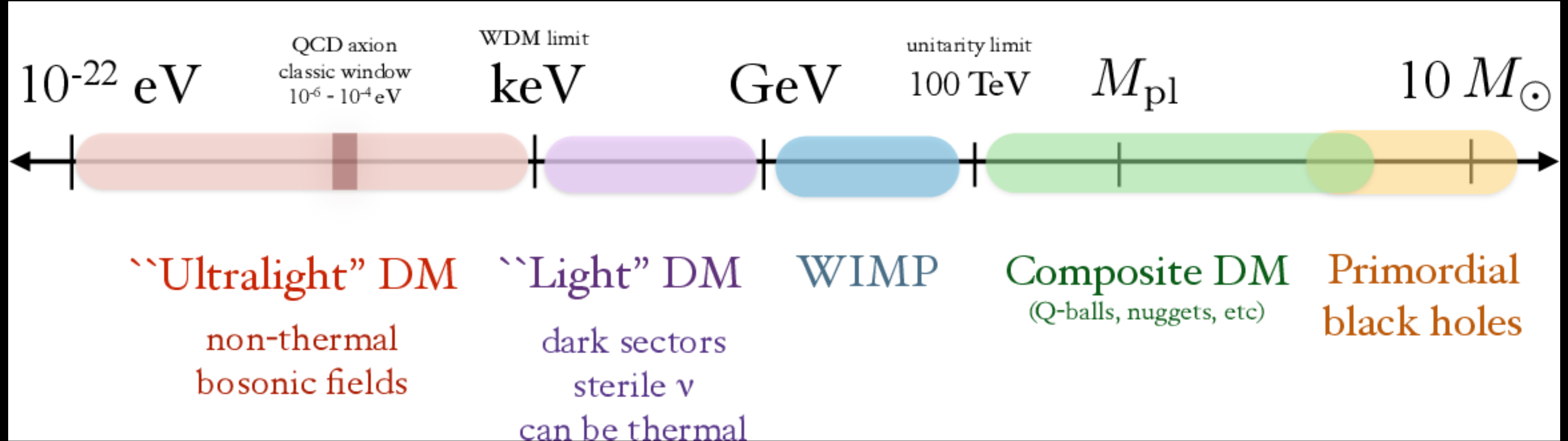
- 1) Supponendo una massa dell'ordine delle interazioni deboli (~ 100 GeV)
- 2) Supponendo un'interazione dell'ordine delle interazioni deboli:

prediciamo una densita' di materia oscura simile a quella osservata!

Corrispondenza con le teorie “supersimmetriche” in attesa di essere misurate direttamente agli acceleratori (LHC).

Inizia la corsa alla loro ricerca!

A quale scala di massa potrebbe trovarsi?



Il “miracolo” delle WIMPs, benché considerato promettente non restringe il campo di ricerca che rimane estremamente ampio.

Se la materia oscura é una nuova particella, abbiamo bisogno di un approccio sperimentale comparabilmente ampio.

Rivelare sperimentalmente la materia oscura

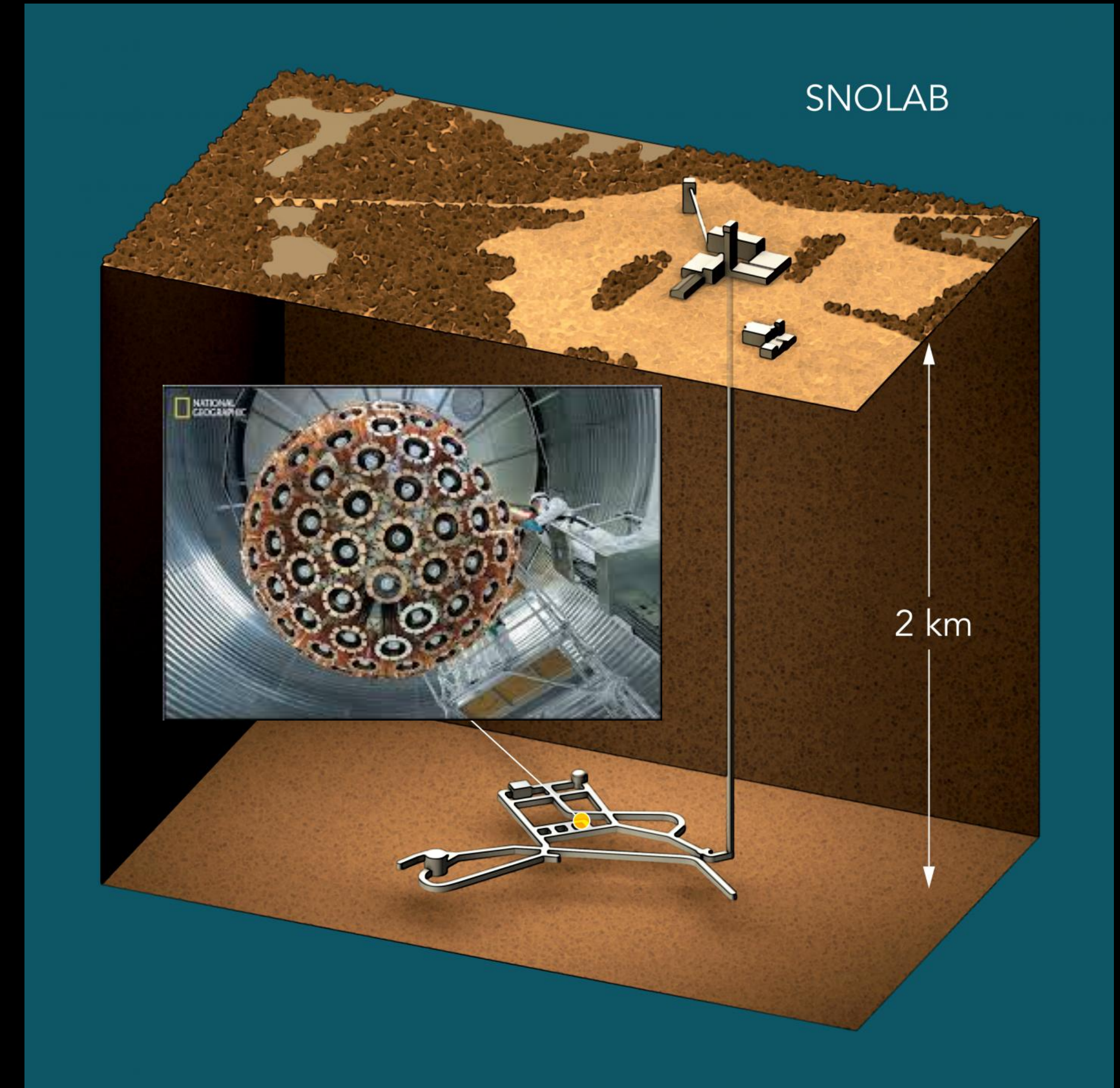
Vogliamo rilevare una particella con le caratteristiche di una WIMP:

Non tentiamo di “crearla” con un acceleratore, ma di misurare il “vento” di WIMPs che investe la Terra nel suo viaggio attorno al Sole.

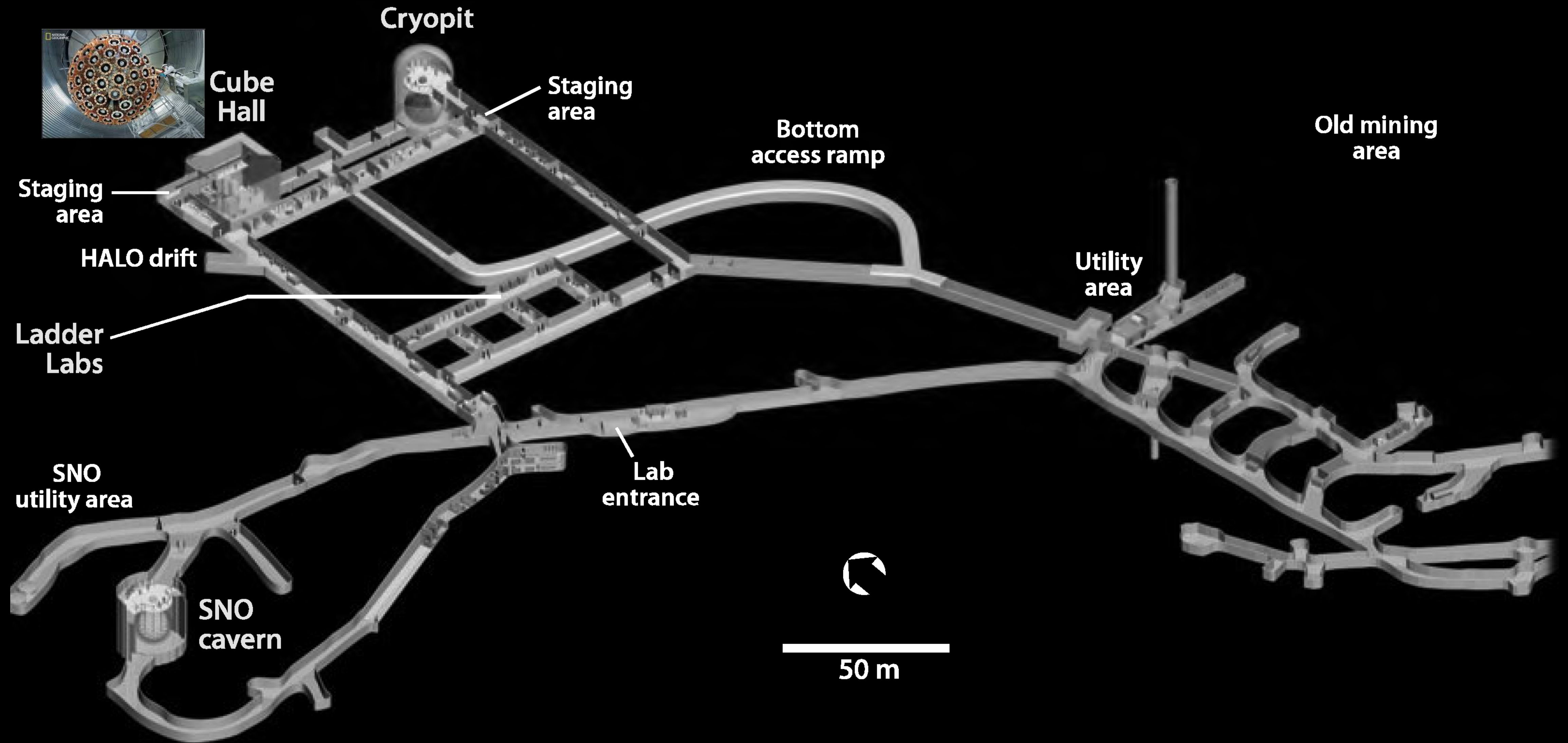
Le WIMPs sono “poche” e interagiscono molto debolmente.

Soluzione: costruiamo un rivelatore massiccio posto a grande profondità per schermarlo da ogni rumore (raggi cosmici, radioattività)

Un esempio: il rivelatore DEAP-3600



Un esempio: il rivelatore DEAP-3600

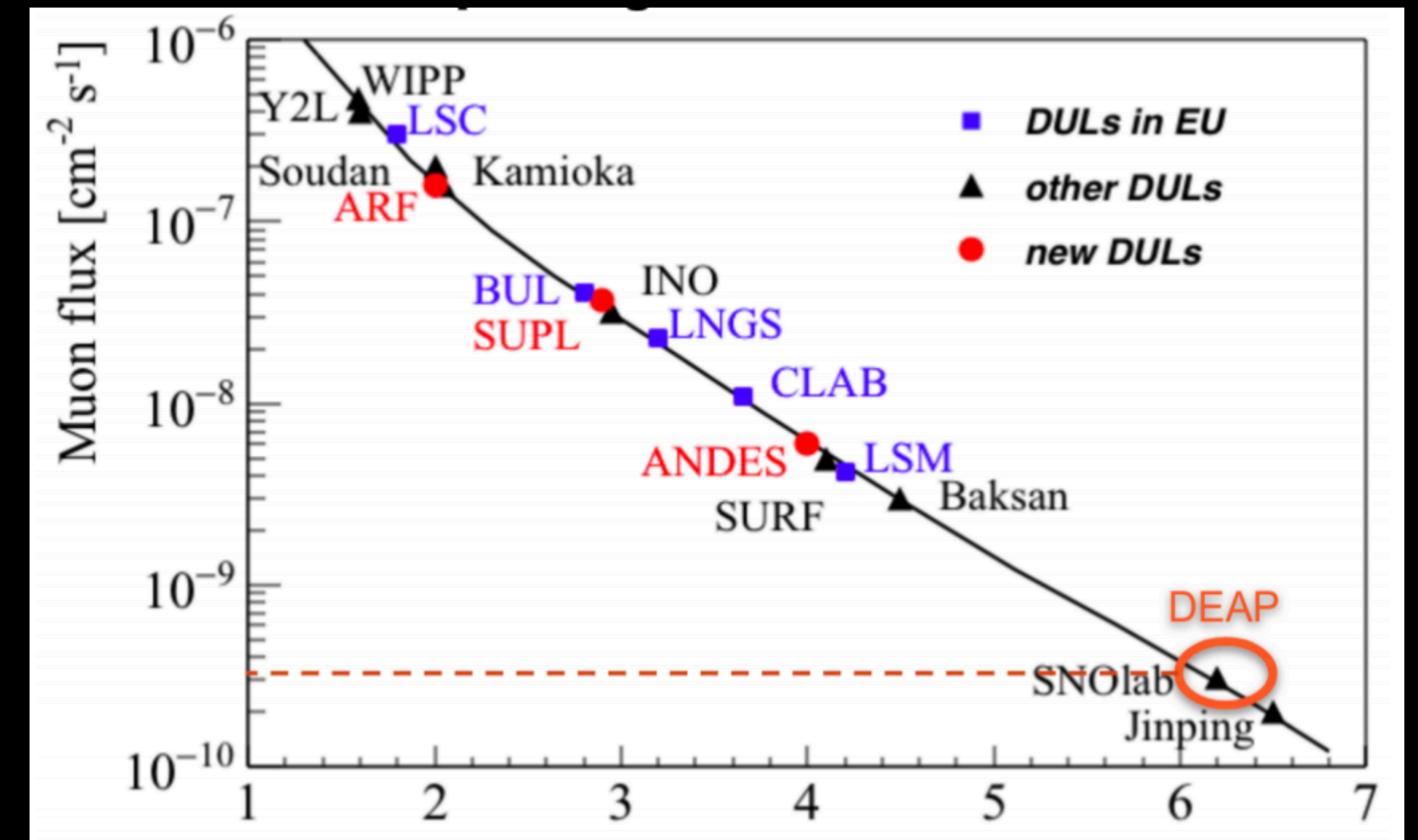


Un esempio: il rivelatore DEAP-3600

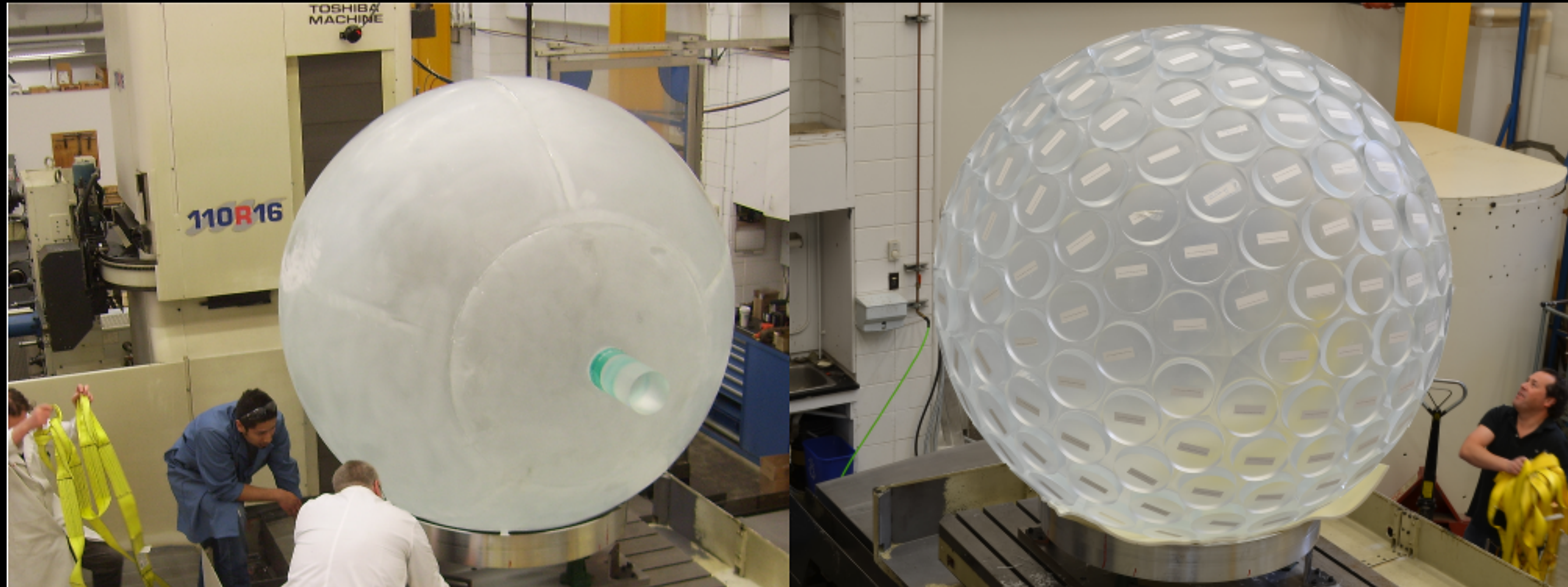
DEAP é essenzialmente una sfera di argon allo stato liquido pesante $\sim 3\text{t}$, alla profonditá di 2km.

Perché argon liquido?

- L'argon é un eccellente scintillatore
- Lo stato liquido garantisce una elevata densitá
- Le sue caratteristiche di scintillazione permettono di distinguere la materia oscura da altre particelle.



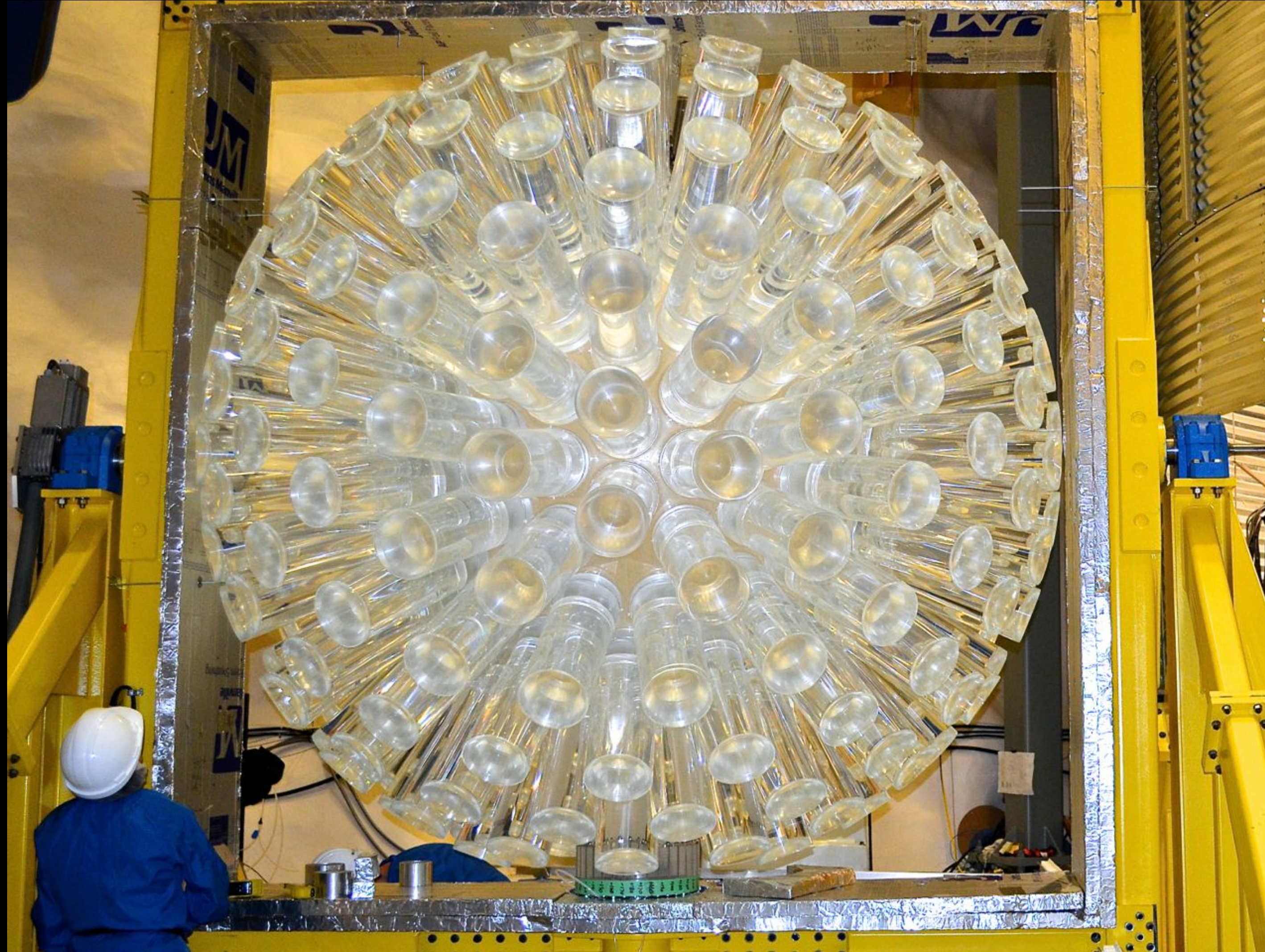
La costruzione di DEAP



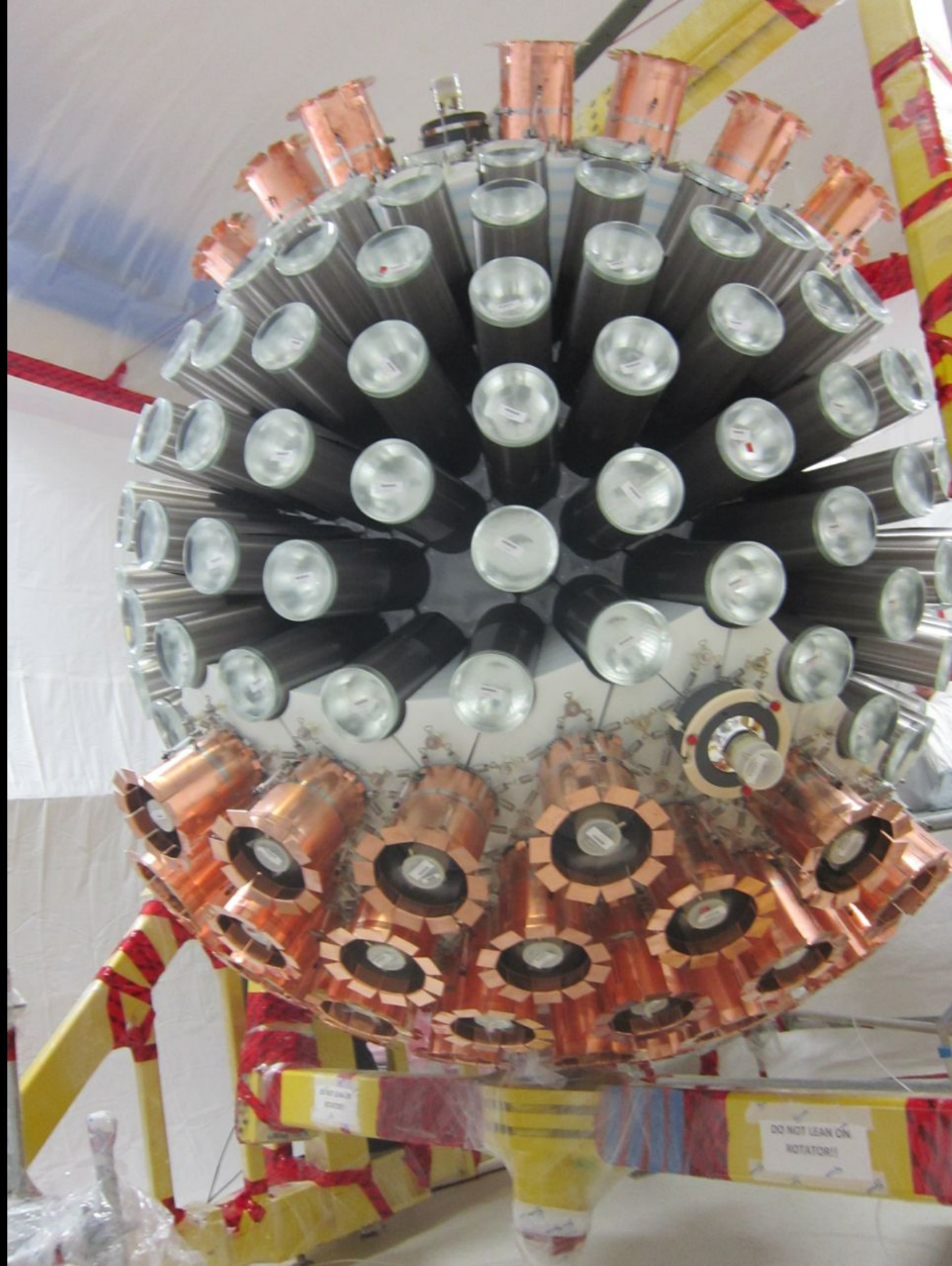
La costruzione di DEAP



La costruzione di DEAP



La costruzione di DEAP



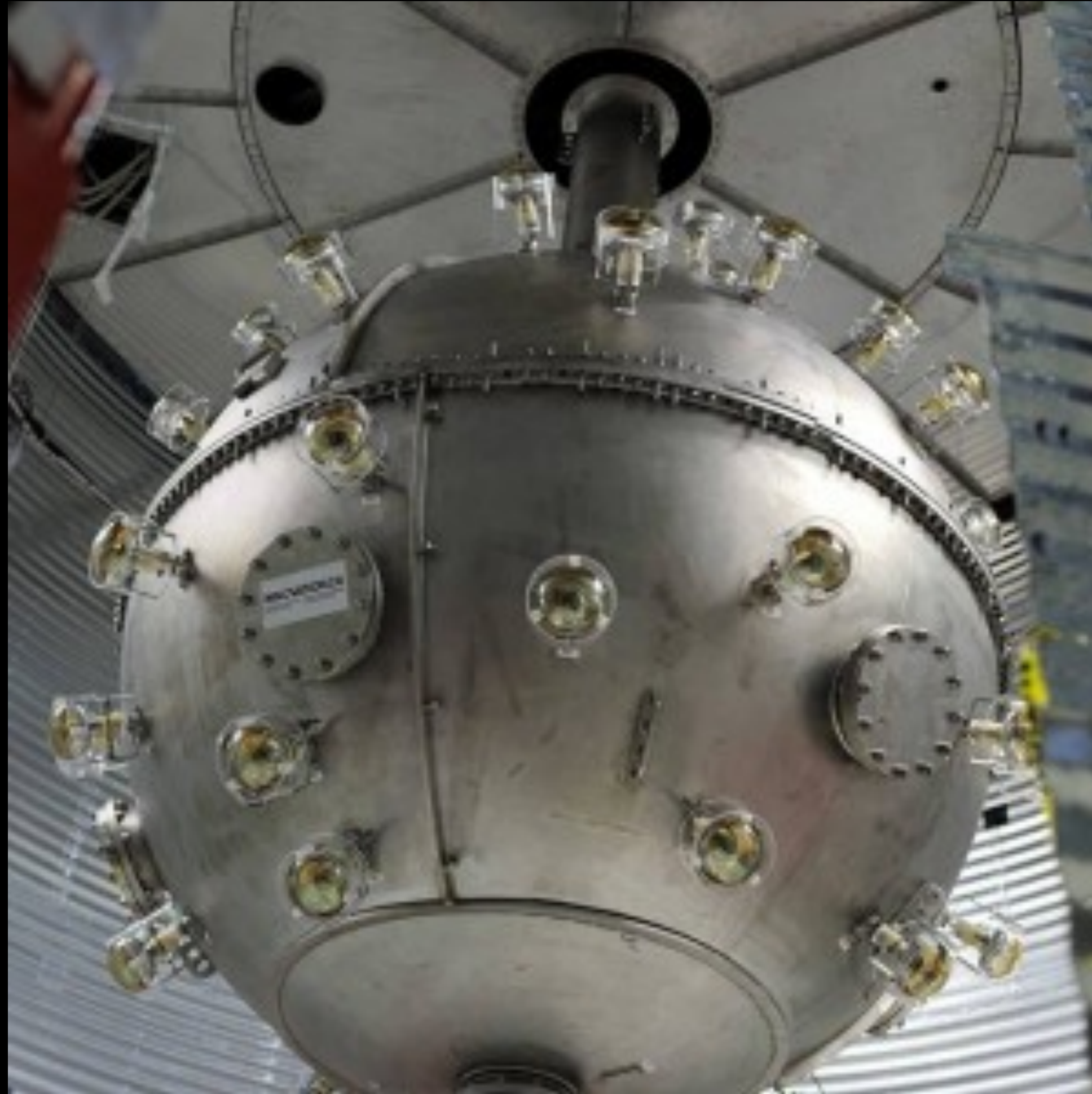
La costruzione di DEAP



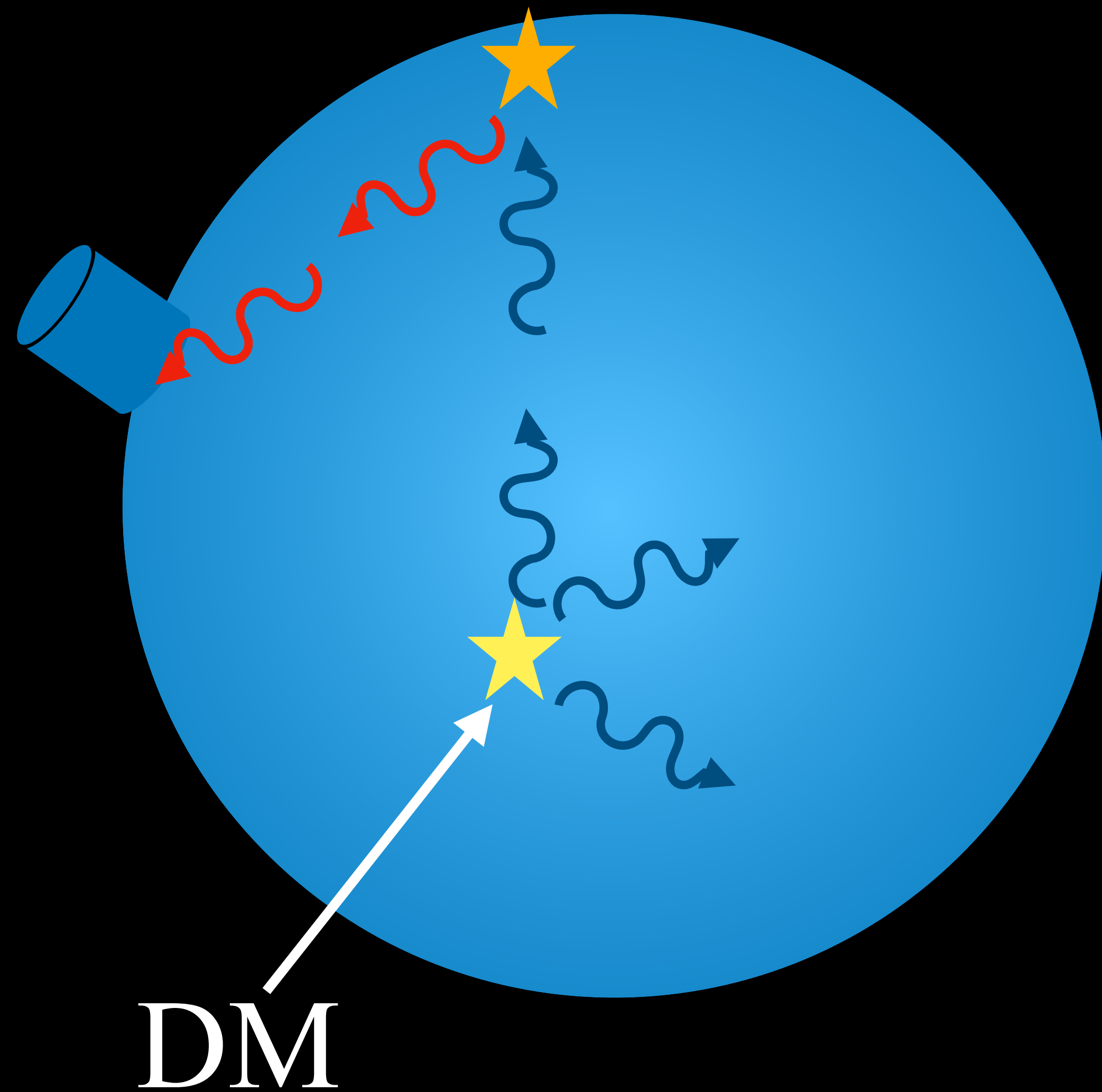
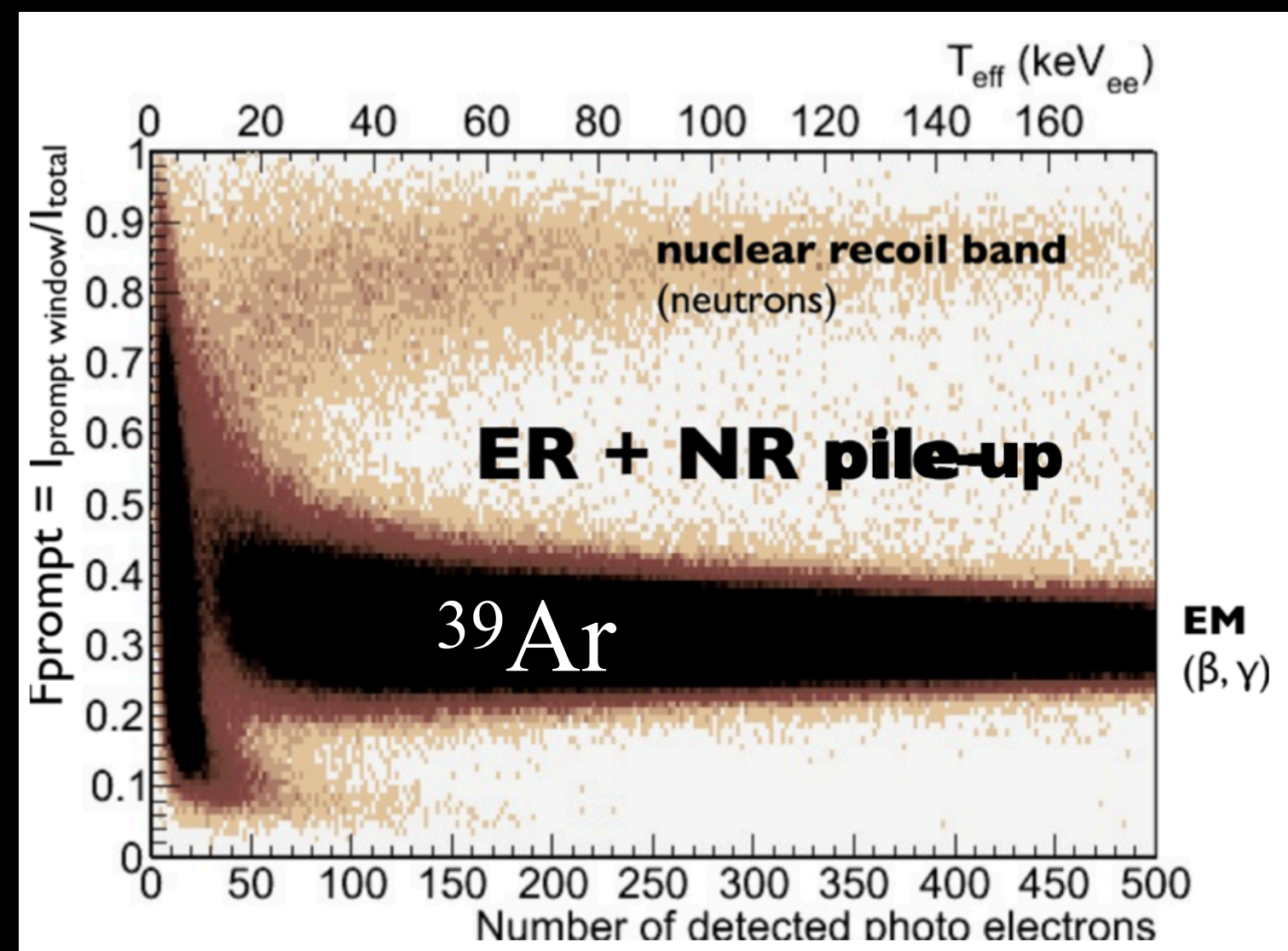
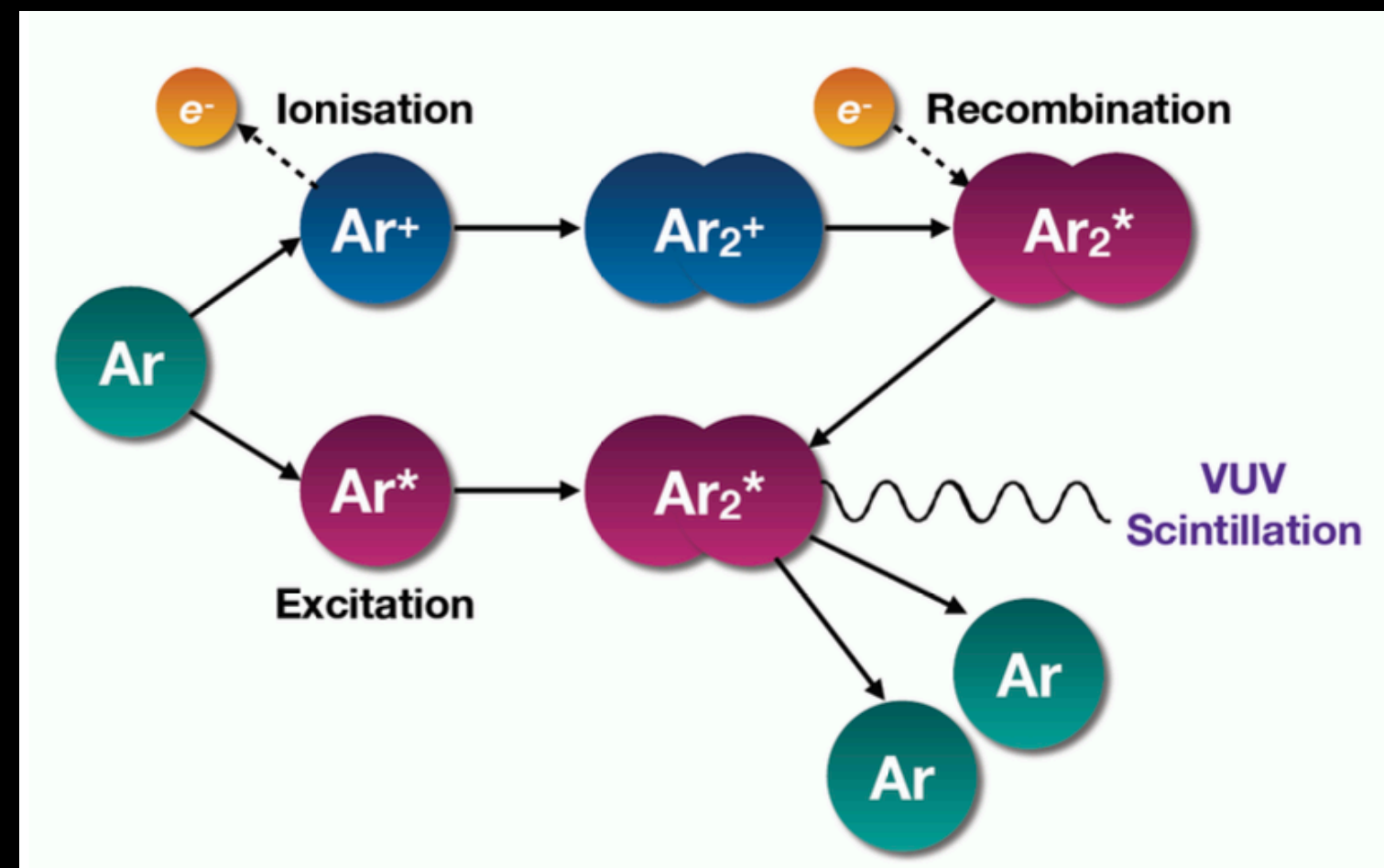
La costruzione di DEAP



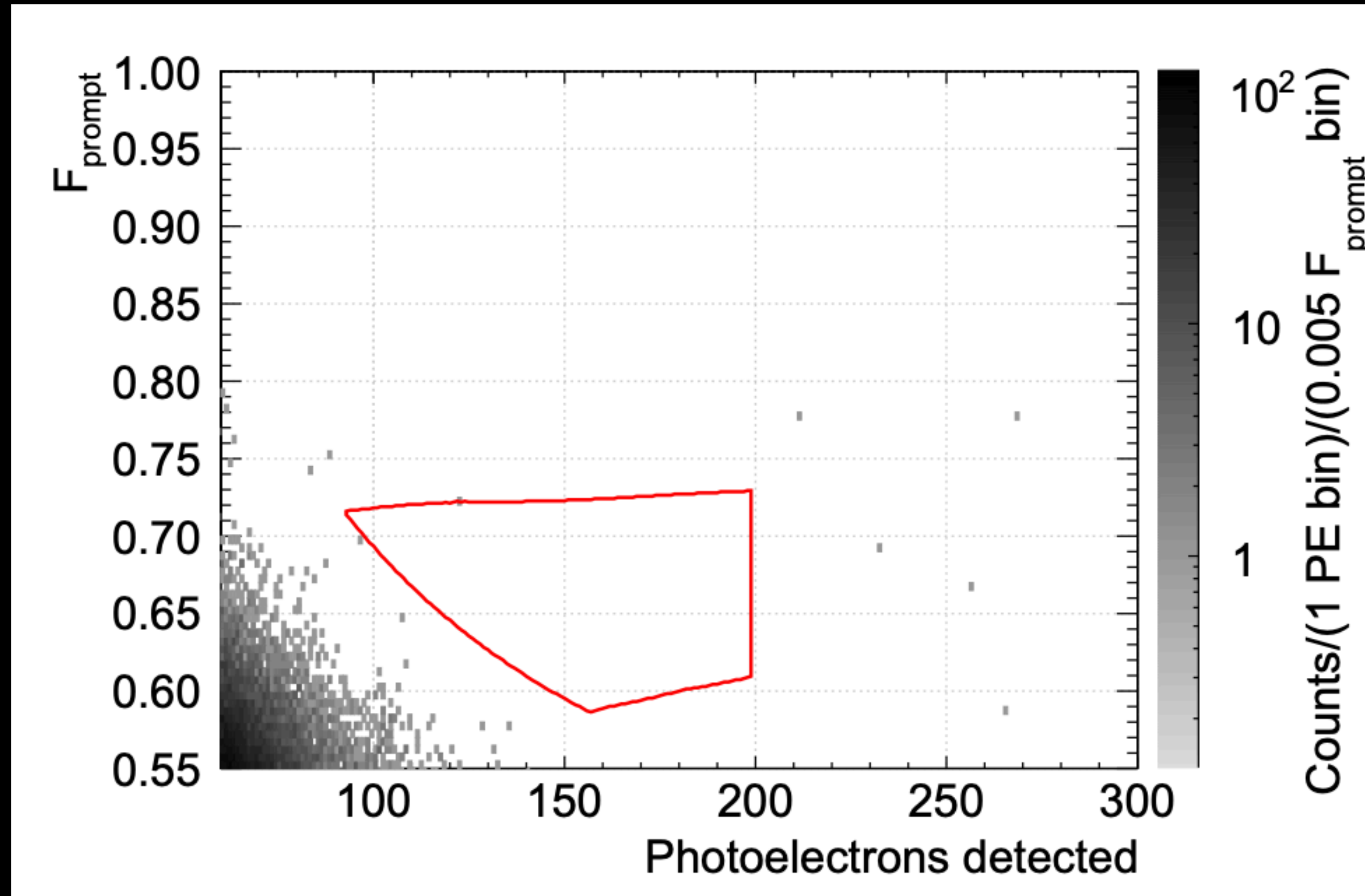
La costruzione di DEAP



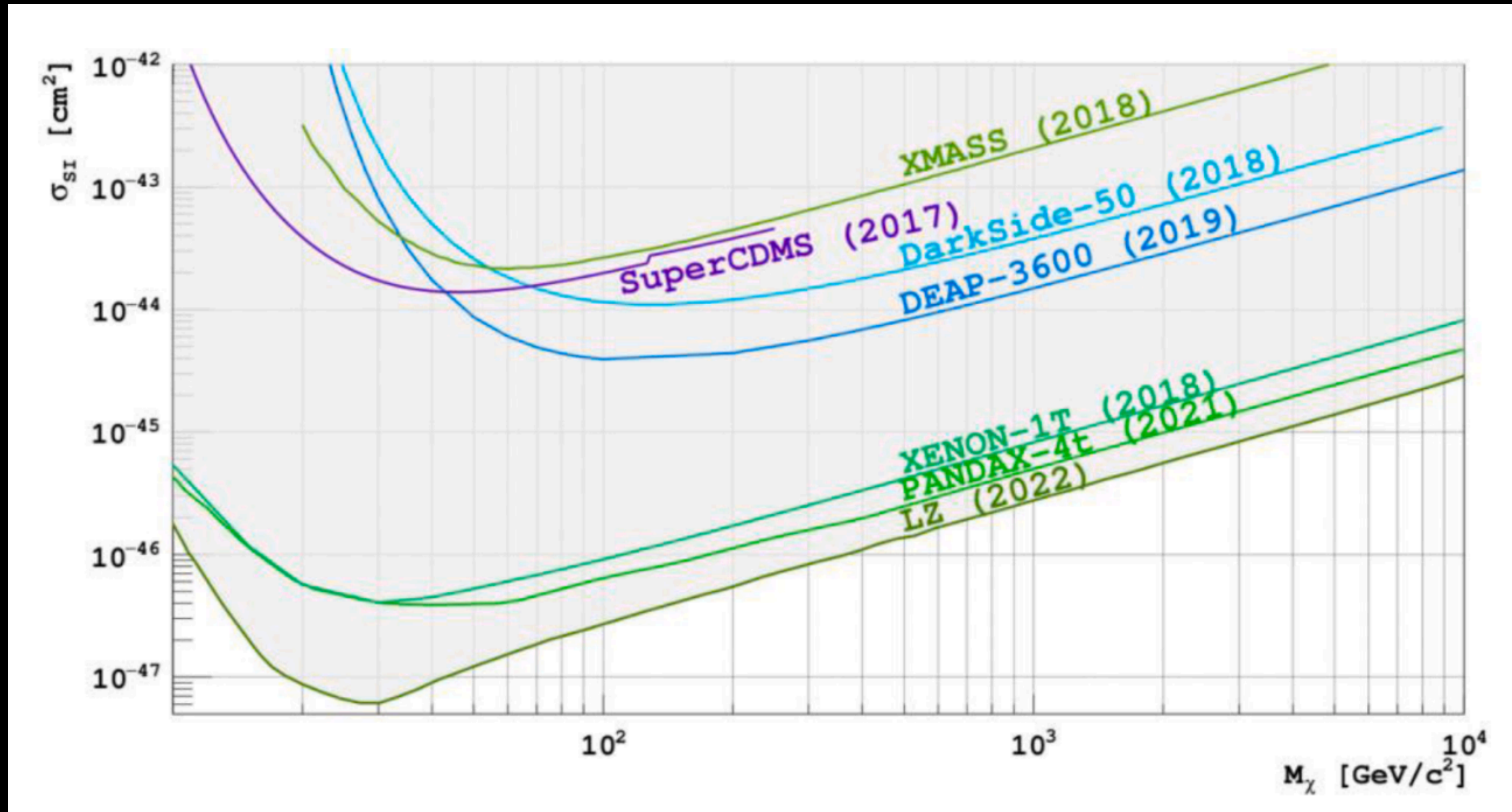
Principio di Funzionamento



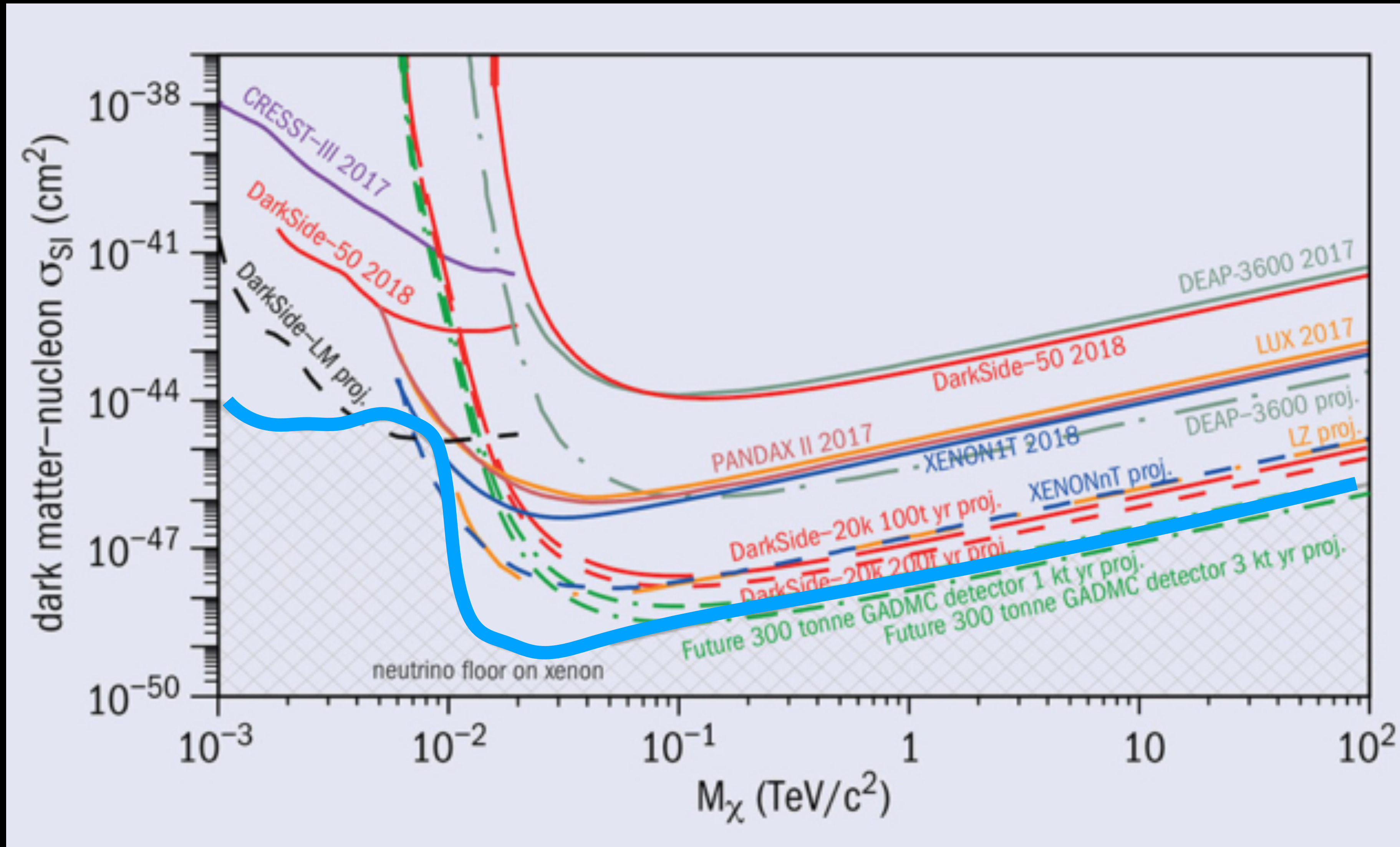
Cosa si osserva?



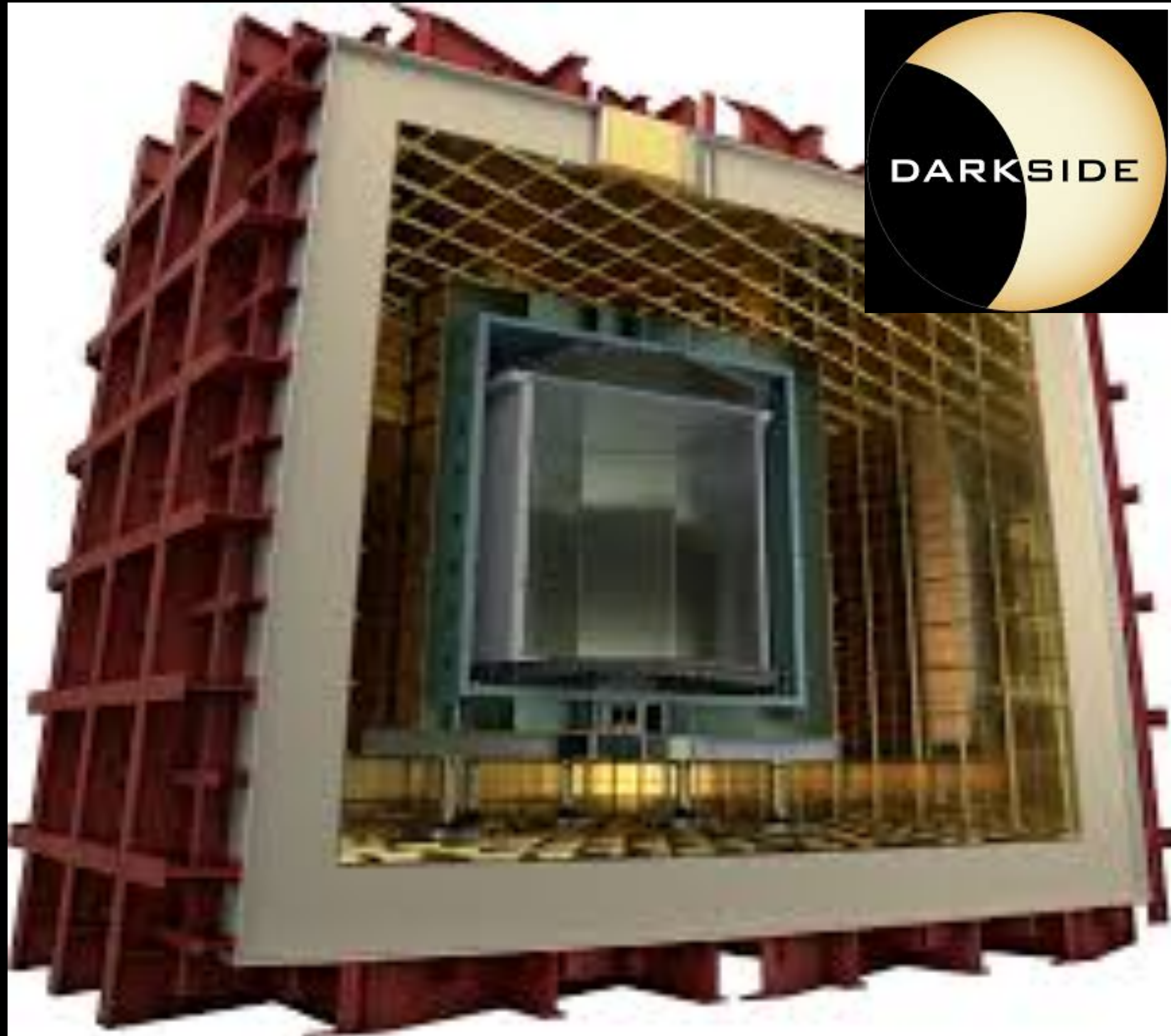
Cosa si può concludere?



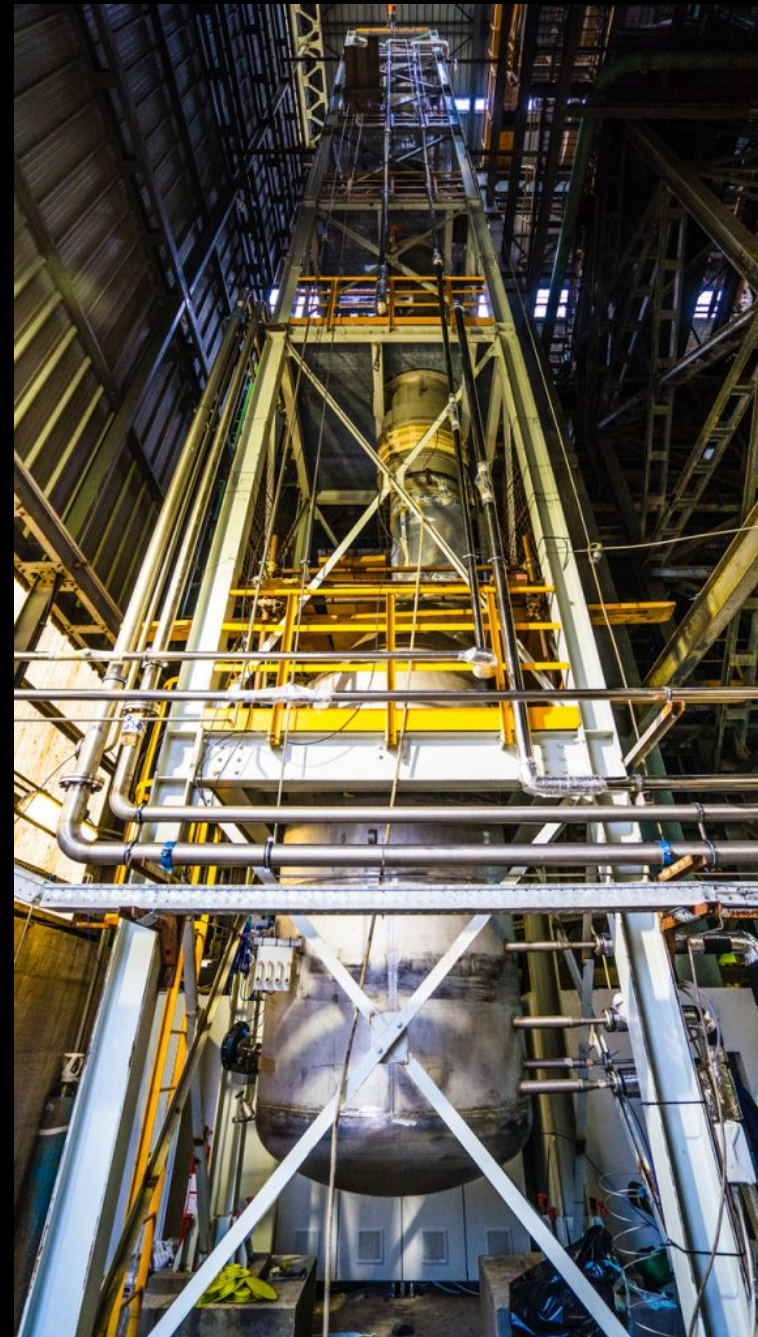
Il prossimo futuro



L'esperimento DarkSide-20k



L'esperimento DarkSide-20k

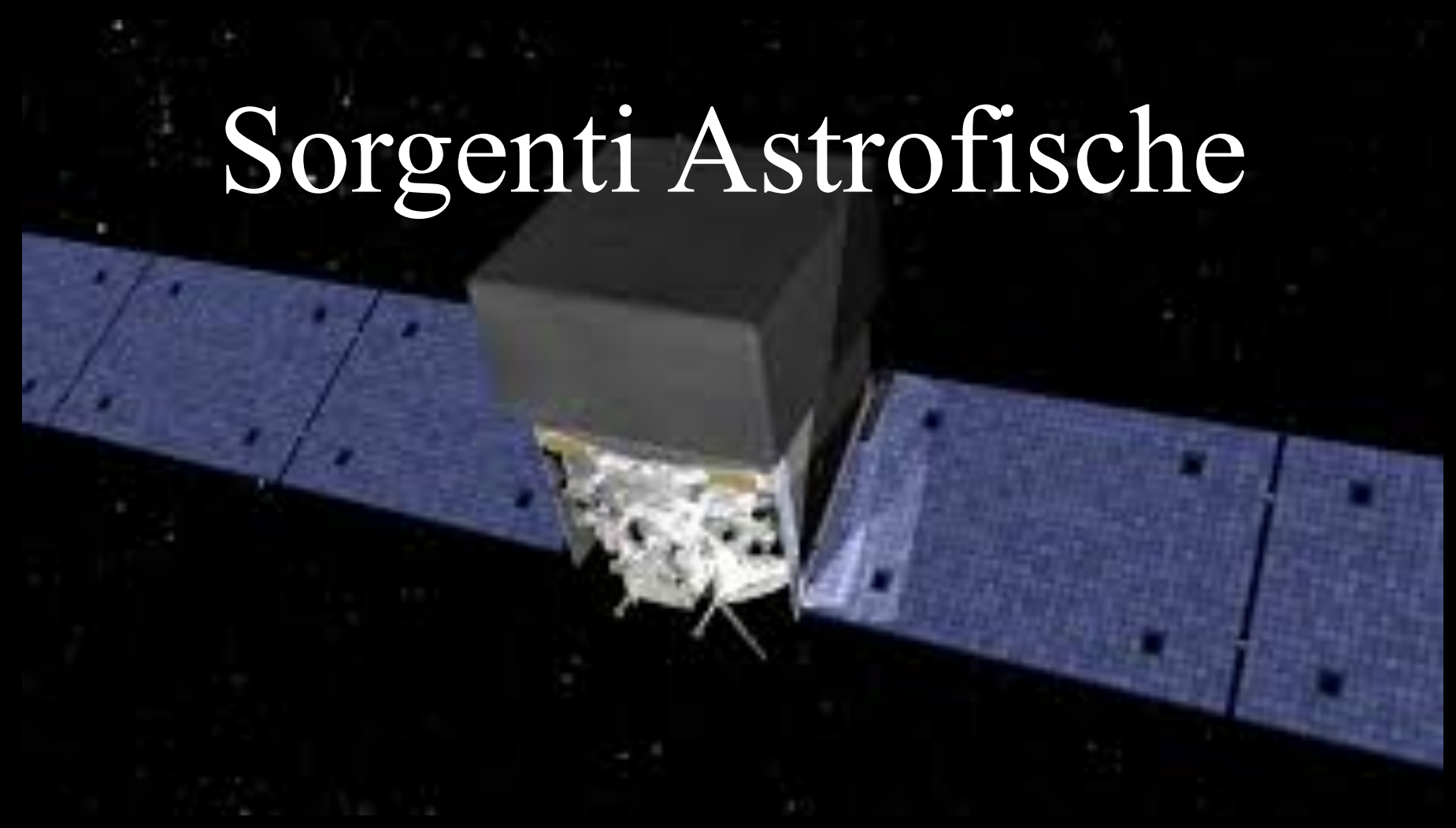


Altre tecniche di ricerca

Acceleratori



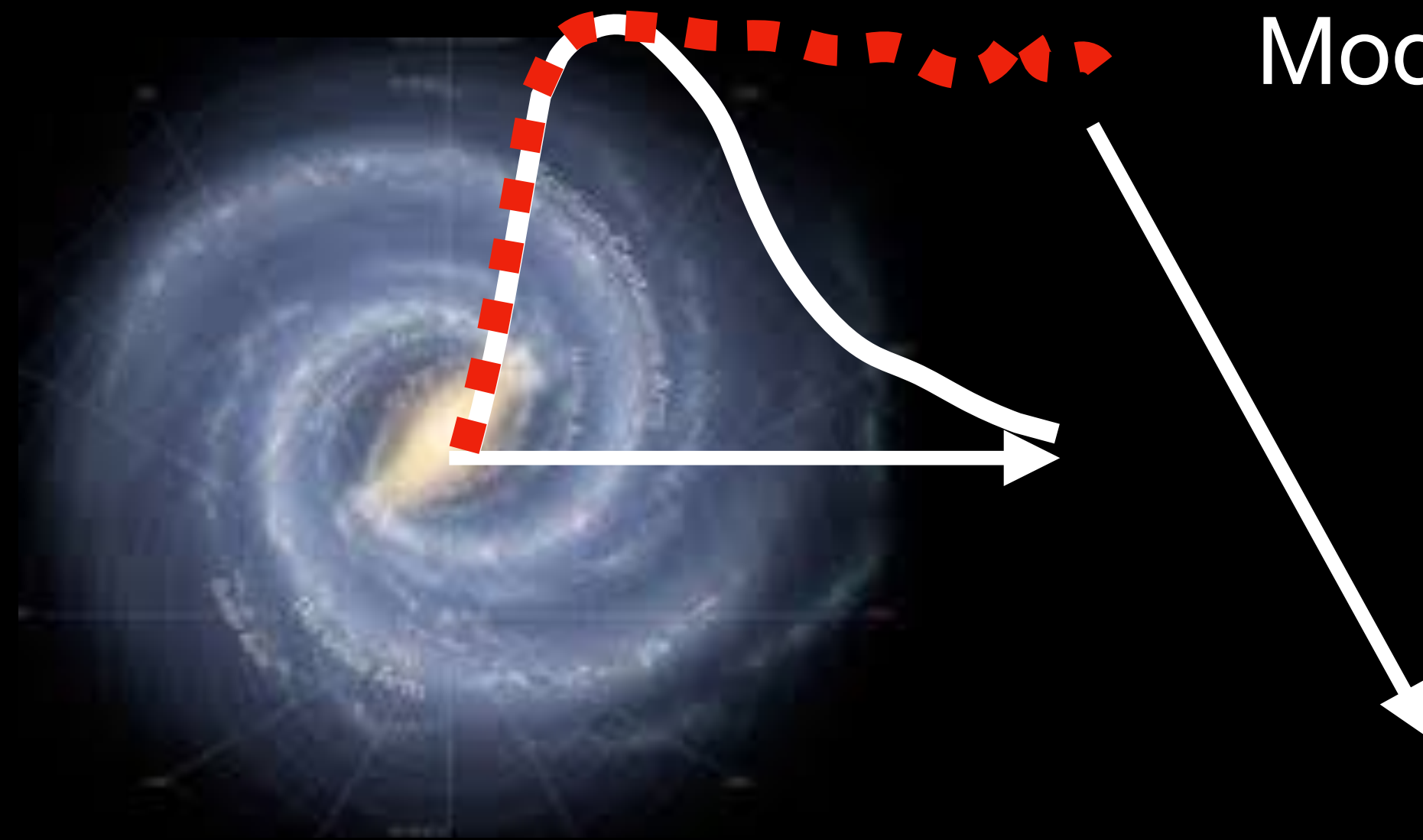
Sorgenti Astrofisiche



Stiamo sbagliando qualcosa?



Dobbiamo modificare la gravità?



Modifichiamo la legge di Newton per “piccole” accelerazioni:

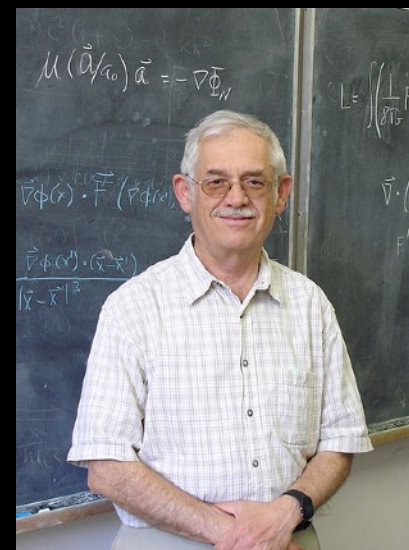
$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$$

con:

$$F = \frac{Gm_1m_2}{\mu \left(\frac{a}{a_0} \right) r^2} \text{ e ad es. } \mu \sim \frac{1}{1 + \frac{a_0}{a}} a_0 \sim 10^{-10} m/s^2$$



M. Milgrom
(1946-)



J. Beckenstein
(1947-2015)

Conclusioni

- Capiamo ancora poco del nostro universo (il 5% ?)
- Quale e' la natura della materia (e dell'energia) oscura?
- Differenti approcci sperimentali (e tante teorie).
- E' una nuova particella? (O piu' di una? C'e'una nuova forza?)
- Dobbiamo “correggere” Einstein dopo Newton?
- Un affascinante mistero che scienziati in tutto il mondo tentano di svelare...

Grazie per
l'attenzione!



Incisione Flammarion, artista sconosciuto