

# Astro-particle physics and Cosmology



**7** 1951 2021  
infn

## Fisica Teorica all'INFN tra passato, presente e futuro

**4 NOVEMBRE 2022, ORE 11:00**  
Aula A1-A2, Dipartimento di Scienze Odontostomatologiche e Maxillo Facciali  
Sapienza Università di Roma  
Via Caserta 6 - Roma

Interverranno:  
A. Zoccoli, F. Piccinini, L. Maiani, S. De Curtis, F. Maltoni, F. De Fazio, M. Colonna, A. Urbano,  
M. Bianchi, A. Bassi, G. Parisi

programma completo su <https://agenda.infn.it/event/33054/>

Comitato organizzatore:  
C. M. Becchi, M. Ciuchini, S. De Curtis, A. Lerda, L. Maiani, G. Martinelli, F. Piccinini

Comitato organizzatore locale:  
A. Nisati, L. Silvestrini

$$\mathcal{L}_{\text{SMEFT}} = \mathcal{L}_{\text{SM}} + \sum \frac{C_i}{\Lambda^2} \mathcal{O}_i$$

artwork di: Nina J. Kars

INFN  
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

Alfredo Urbano

Sapienza University of Rome  
INFN, sez. di Roma





# L'esperimento Conversi-Pancini-Piccioni



Marcello Conversi



Ettore Pancini



Oreste Piccioni



Edoardo Amaldi



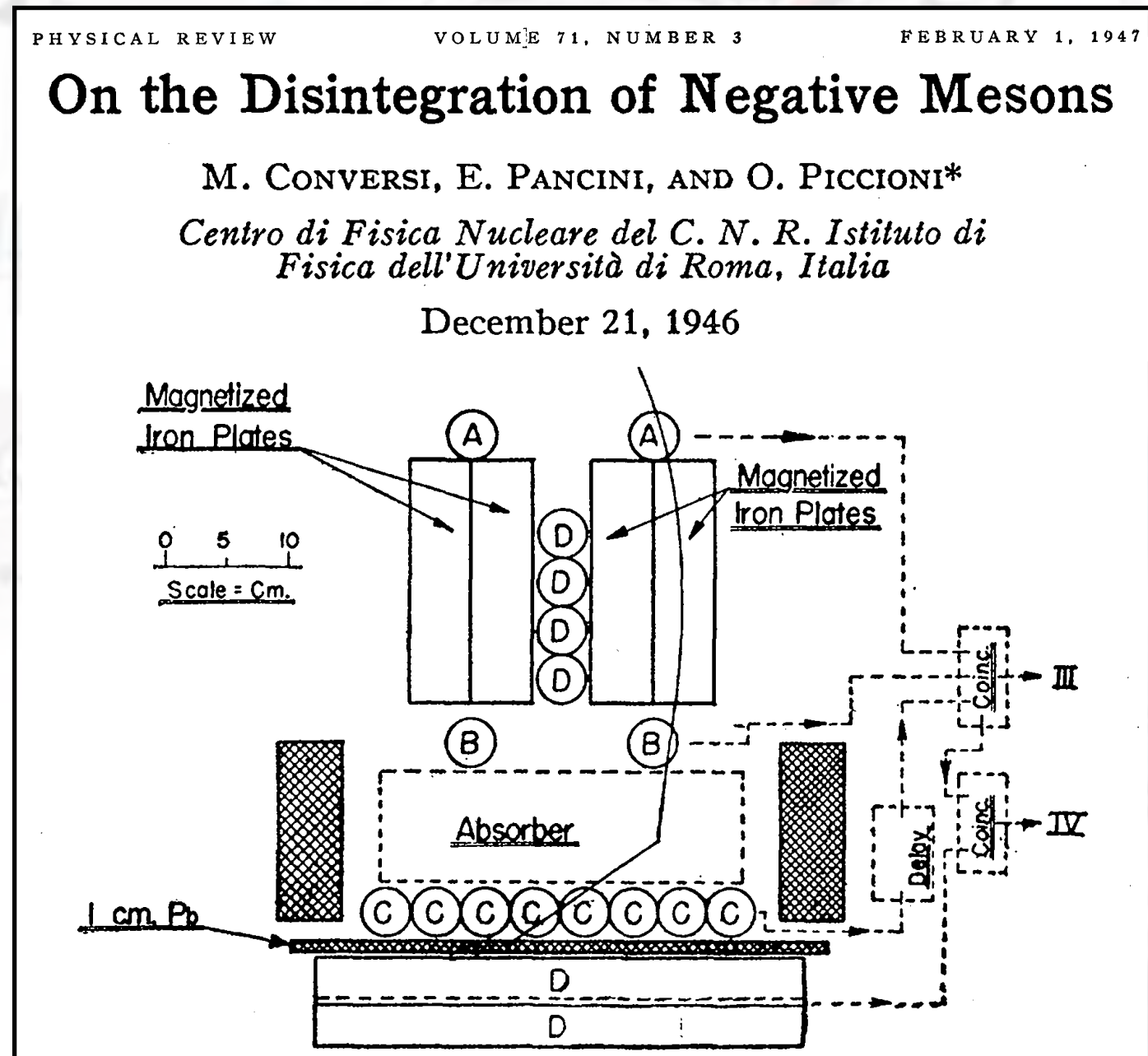
Da "I ragazzi di via Giulia,"  
RAI Cinema e DocArt



# L'esperimento Conversi-Pancini-Piccioni

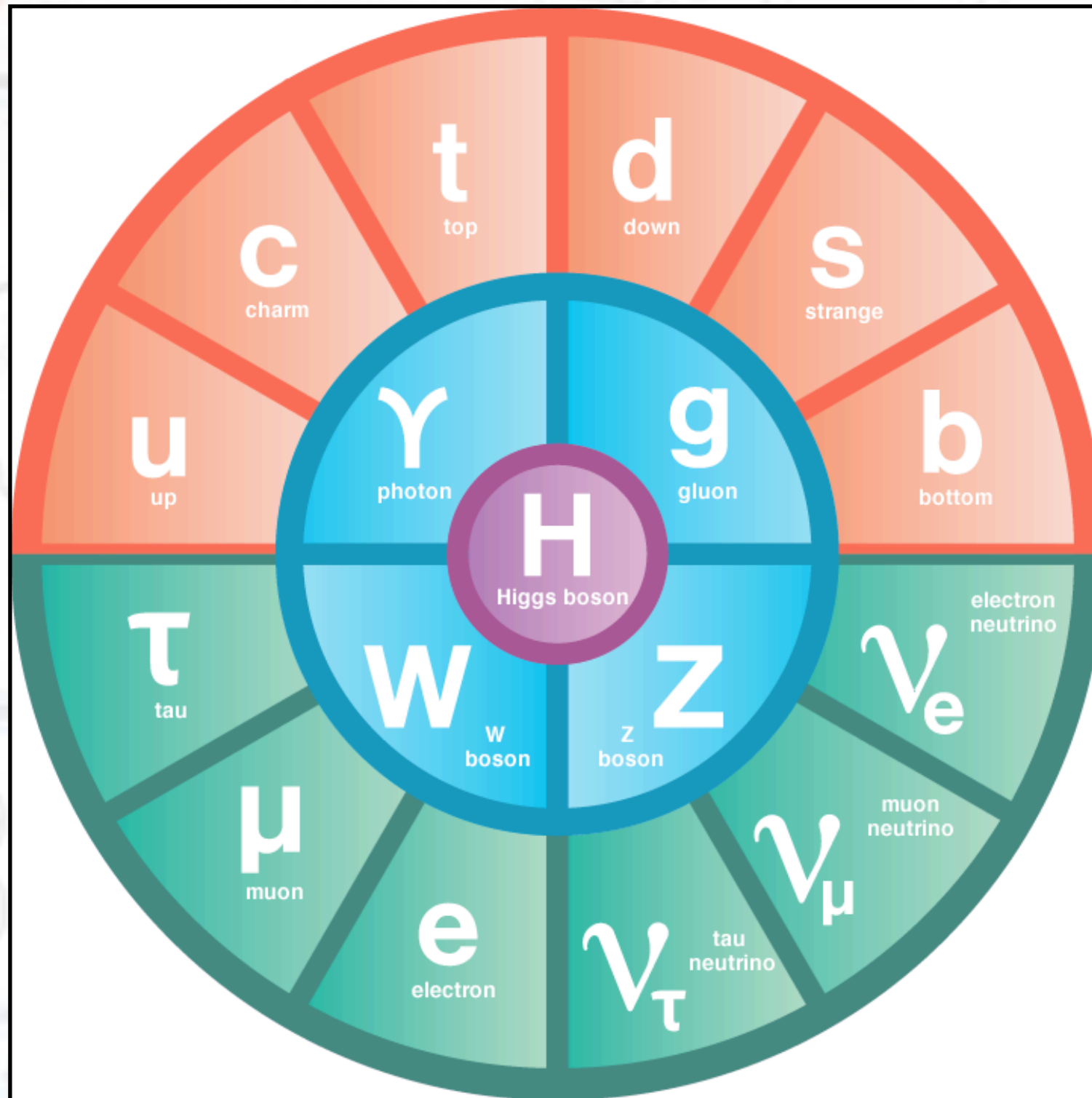
Il “Modello Standard”  
degli anni '30:

elettrone, protone,  
neutrone, positrone,  
neutrino e  
“mesotrone”



# L'esperimento Conversi-Pancini-Piccioni

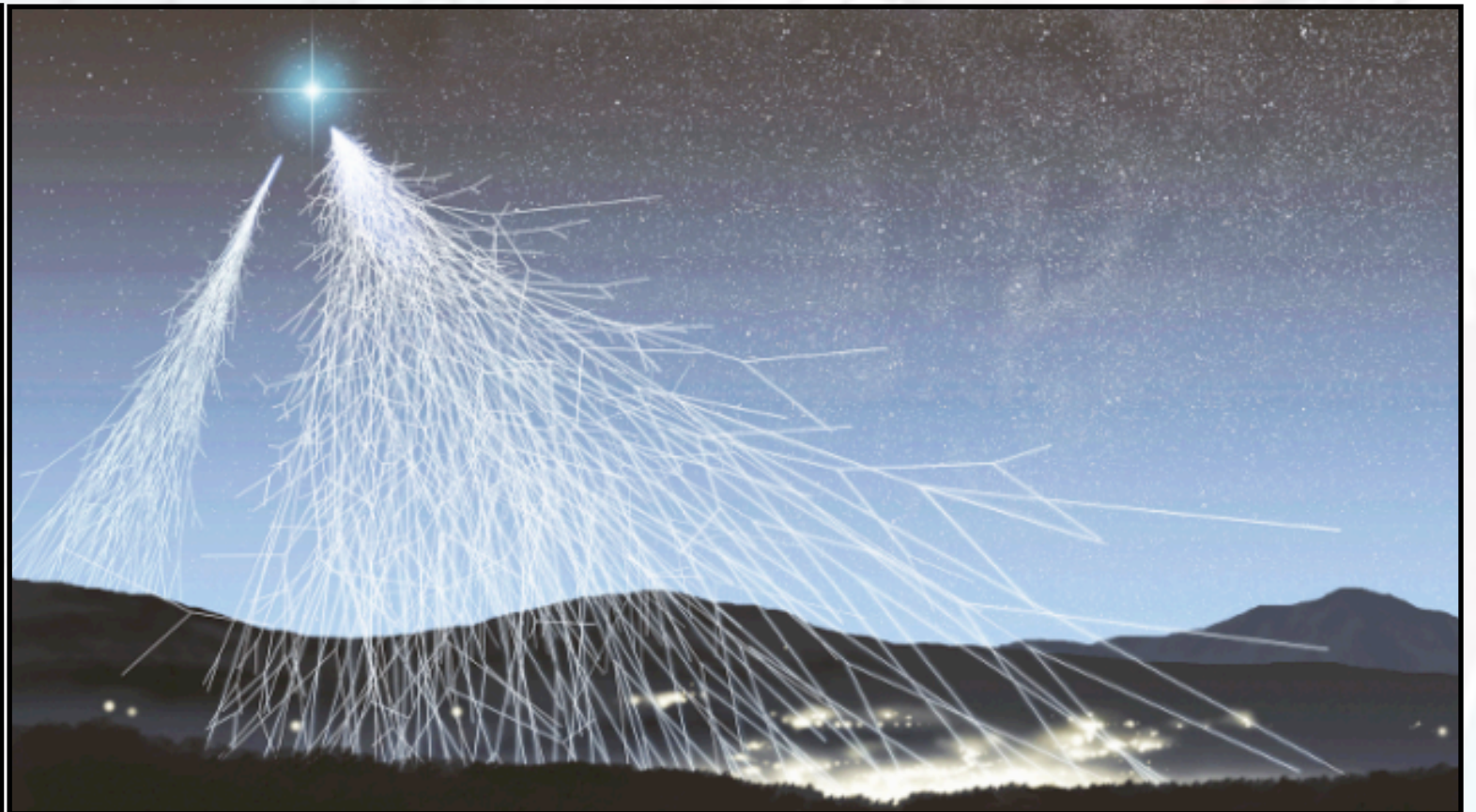
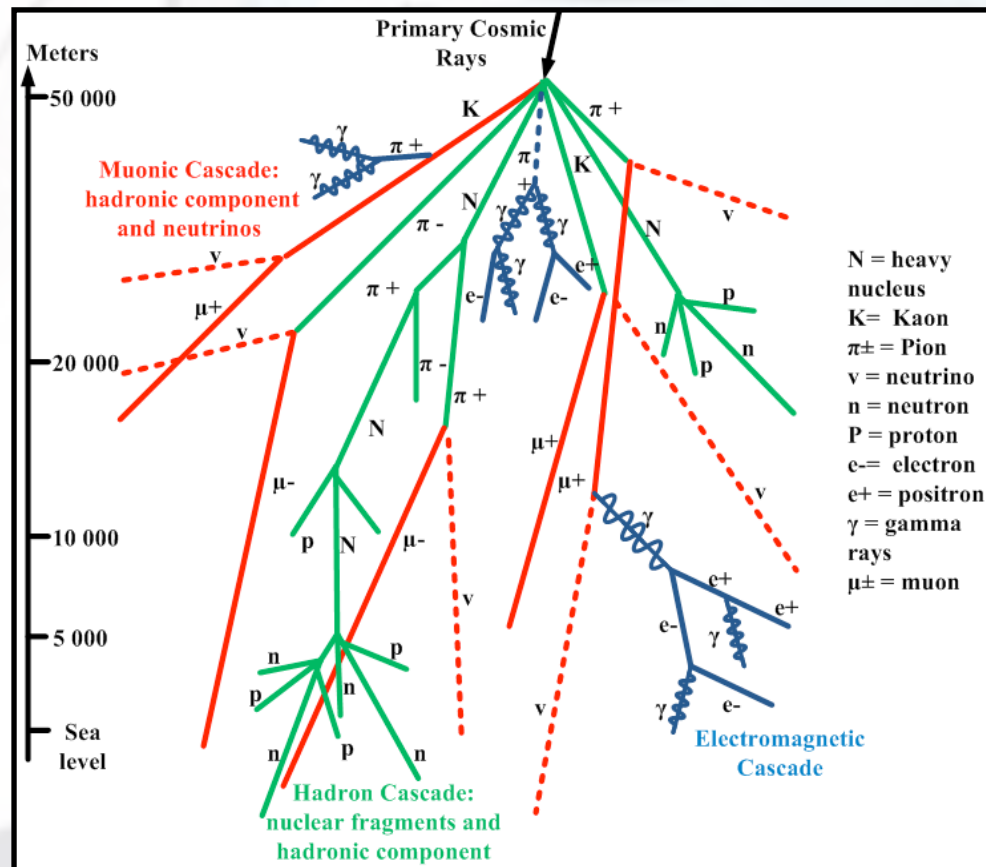
il Modello Standard delle particelle elementari





# L'esperimento Conversi-Pancini-Piccioni

## Un esempio di sinergia tra fisica astro-particellare e fisica delle particelle

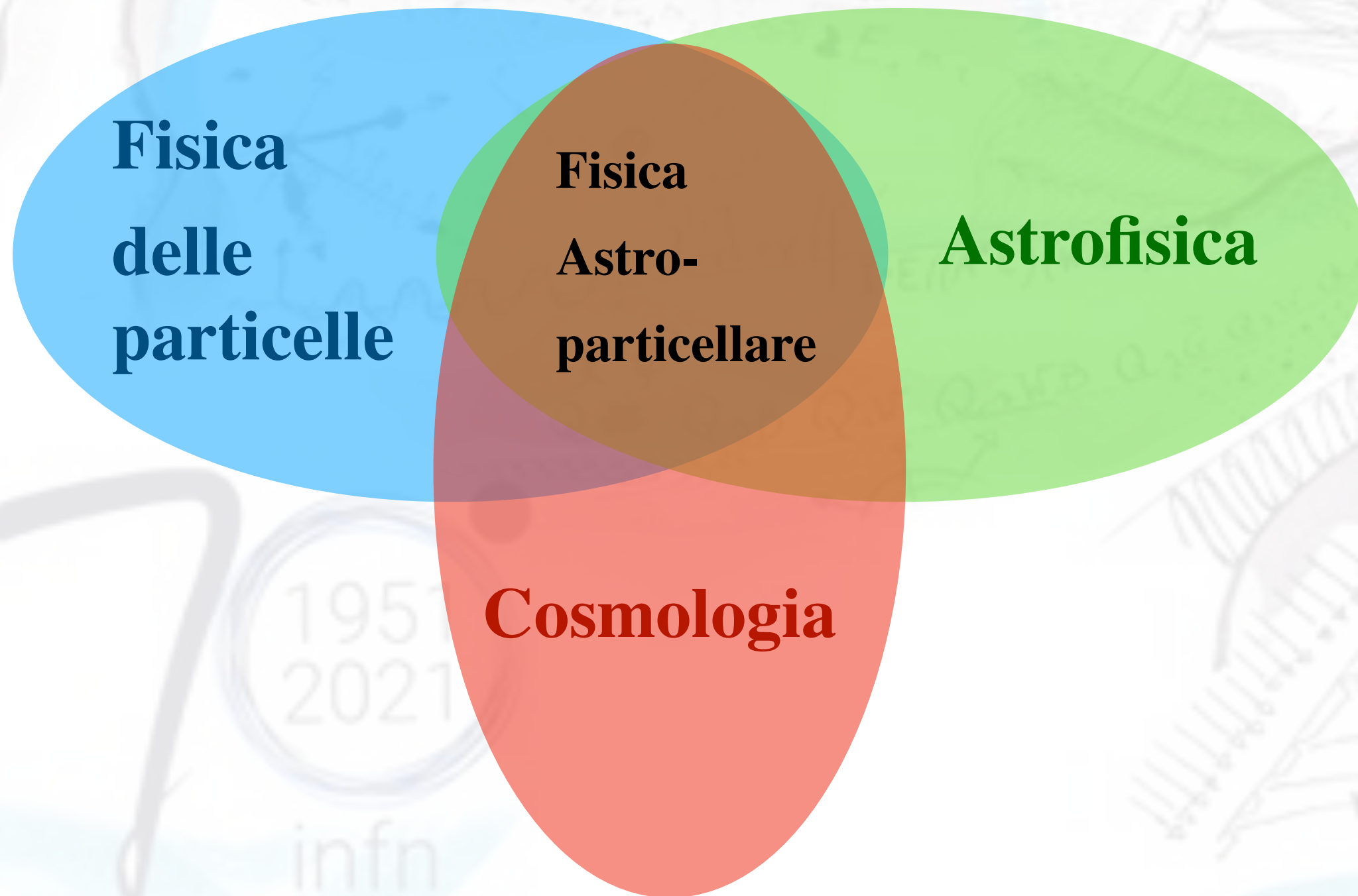


**INFN (exp.)**  
**ARGO-YBJ**  
**MACRO**  
**AGILE, PAMELA, Fermi, AMS-02**  
**Auger**  
**CTA**



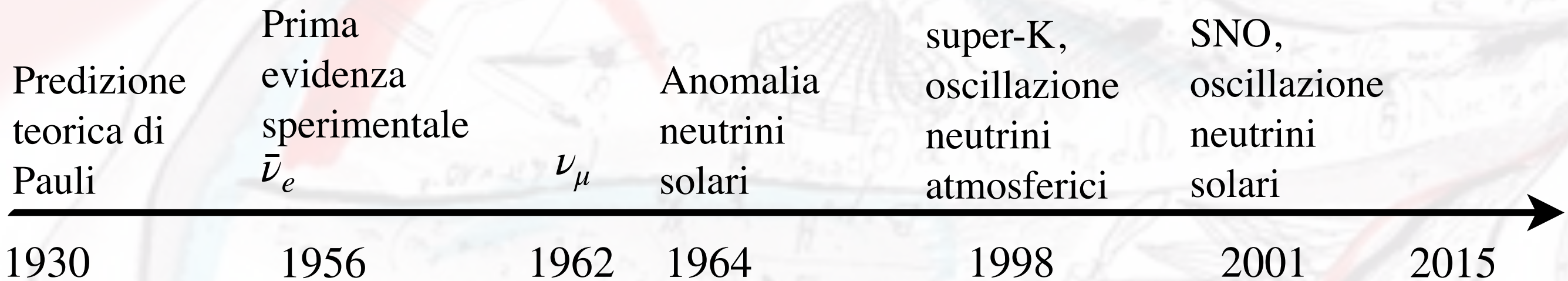
# Dal 1951 al 2021

Questa sinergia, nel corso dei decenni, si è evoluta ed ha iniziato a giocare un ruolo sempre più fondamentale e determinante nella nostra comprensione e descrizione dell'Universo.





# Un esempio: la fisica dei neutrini

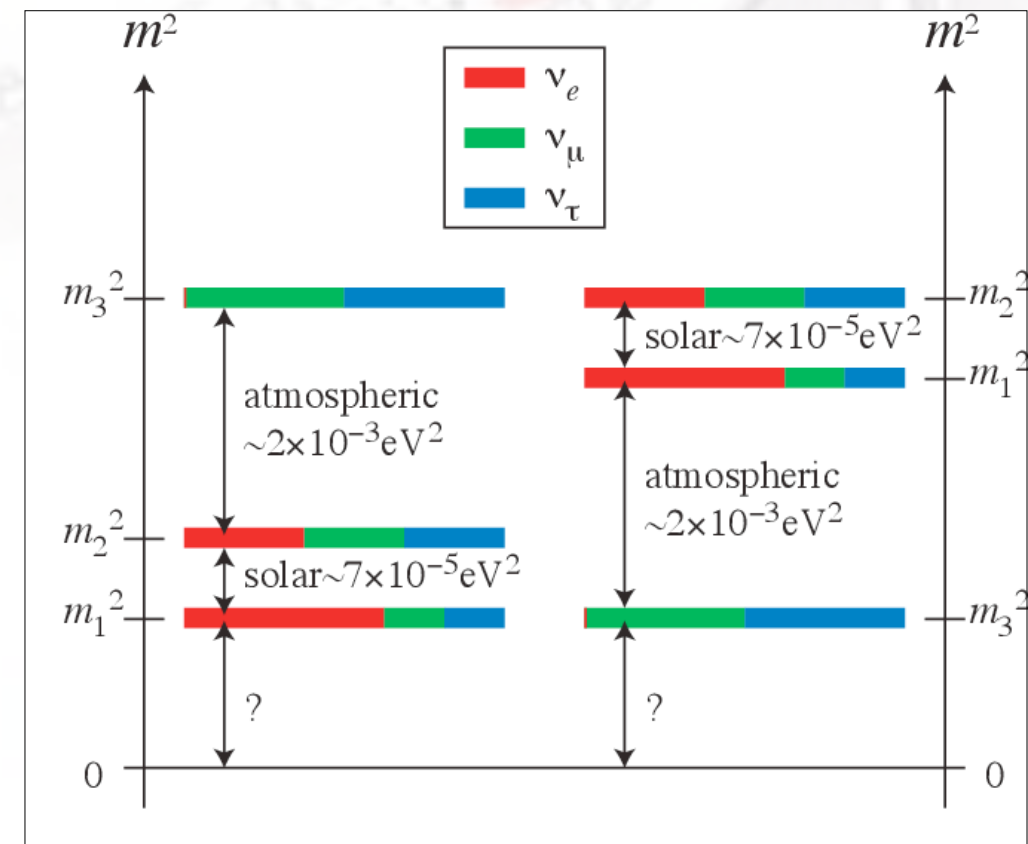


Discrepanza tra il numero osservato di neutrini elettronici che arrivano sulla Terra e il numero predetto da modelli teorici dell'interno del Sole

Discrepanza fra i valori predetti dalla teorie e i valori osservati, per i rapporti fra i numeri di neutrini elettronici e neutrini muonici



**INFN (exp.)**  
**BOREX**  
**CUORE\_CUPID**  
**NU@FNAL**





# Un esempio: la fisica dei neutrini

Nel **modello cosmologico standard** il nostro Universo si è evoluto, espandendosi, attraverso una serie di fasi in cui la densità di energia è stata, in successione, dominata prima da particelle relativistiche (radiazione), poi da particelle non-relativistiche (materia) ed infine dalla energia del vuoto (costante cosmologica).

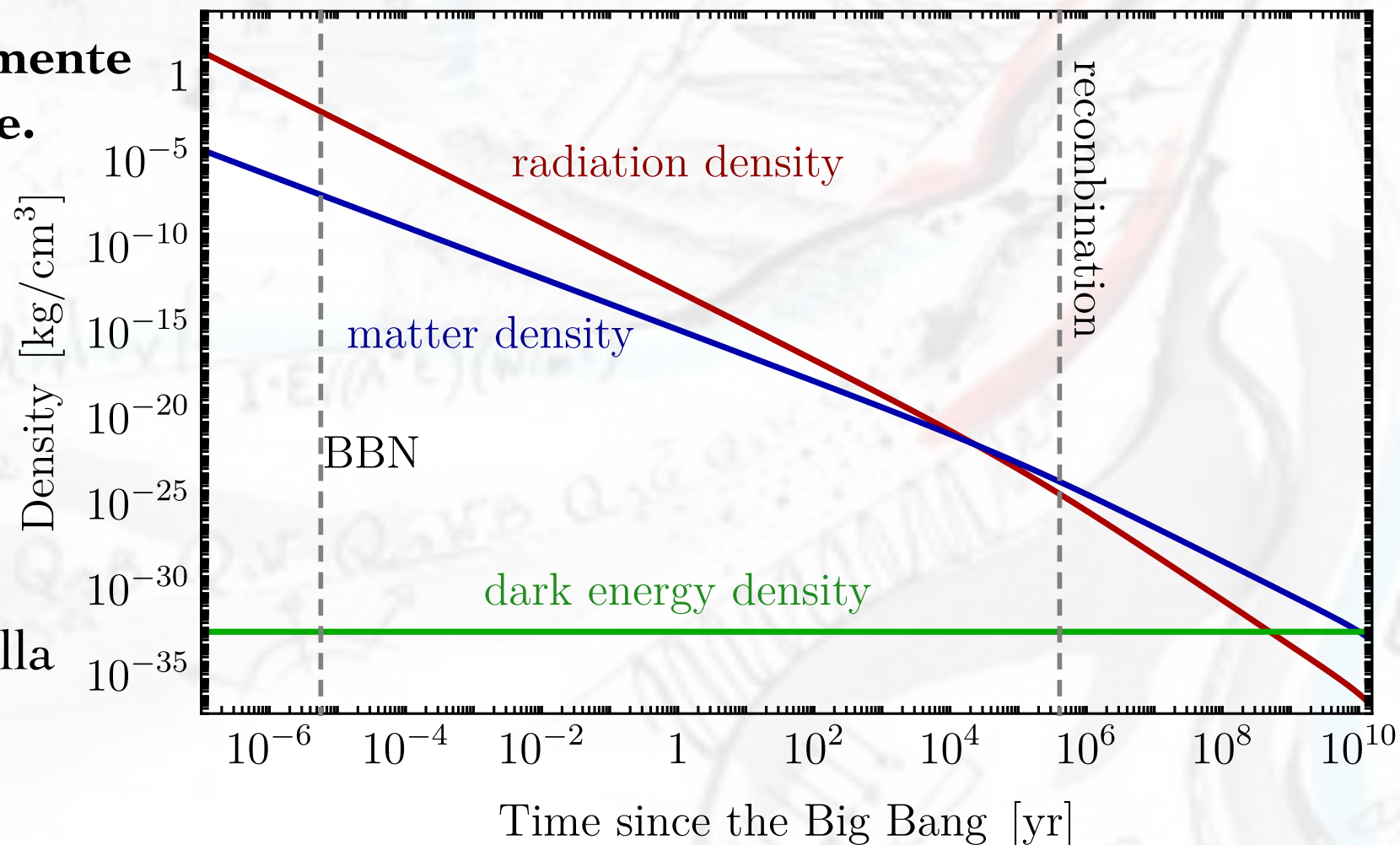
**Fotoni e neutrini popolano copiosamente l'Universo primordiale in radiazione.** Nonostante le loro deboli interazioni, i neutrini giocano un ruolo chiave in cosmologia.

## EARLY UNIVERSE:

Le interazioni dei neutrini possono convertire protoni in neutroni e viceversa: hanno un ruolo cruciale nella nucleosintesi primordiale.

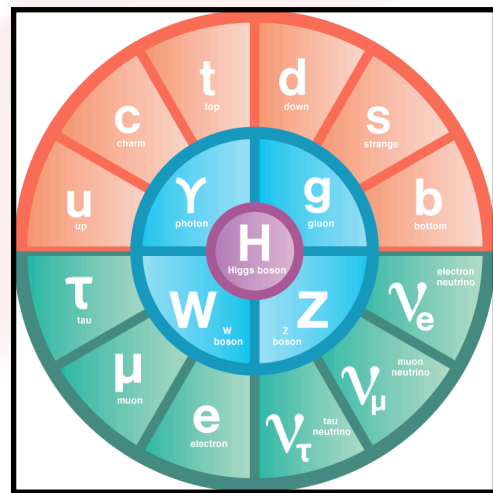
## LATE UNIVERSE:

A causa della loro massa, ad un certo punto diventano non-relativistici e contribuiscono alla densità di materia (alterano formazione delle strutture e la relazione distanza-redshift).

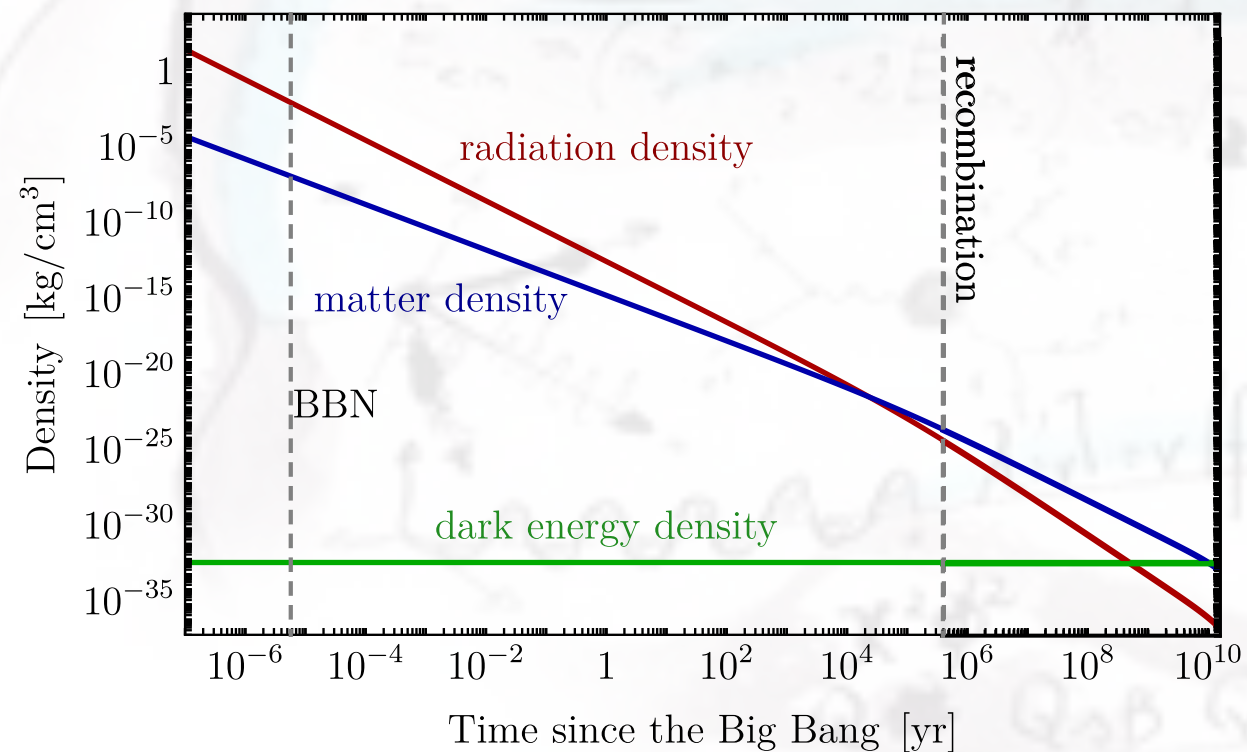


$$\sum m_\nu < 0.12 \text{ eV}$$

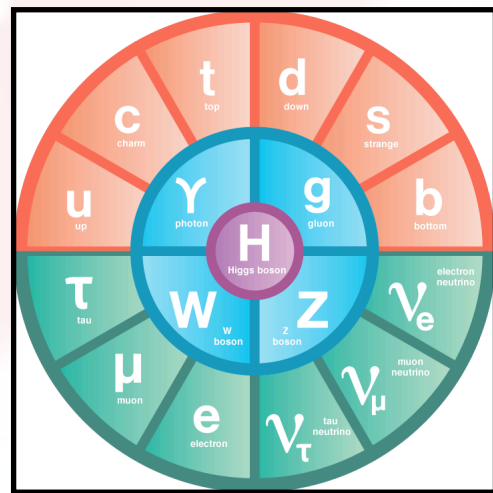




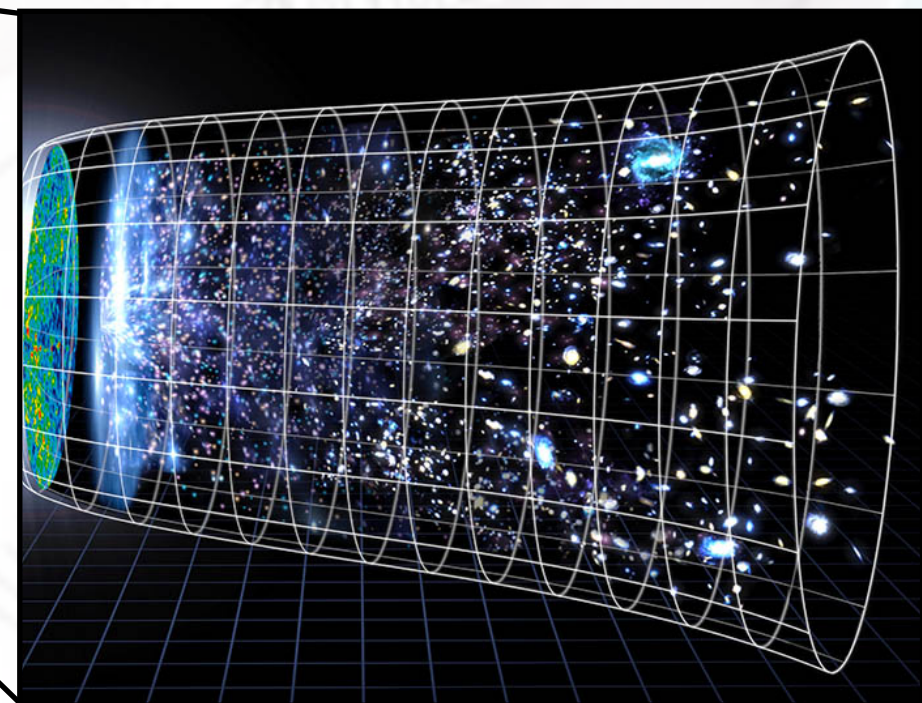
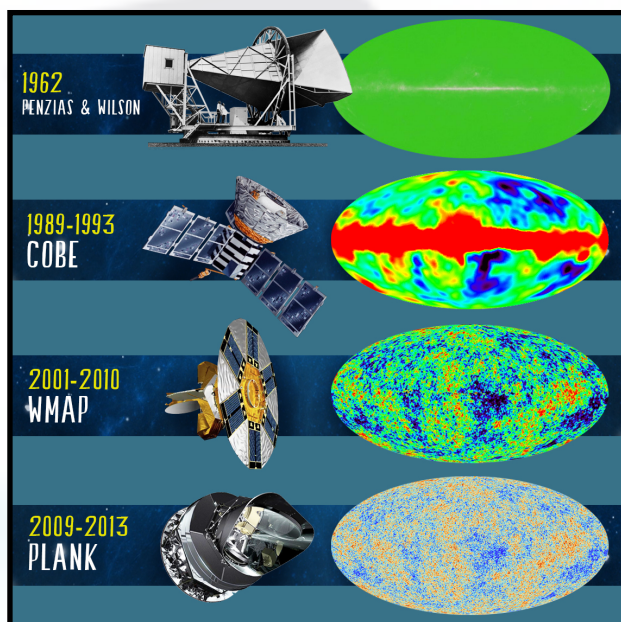
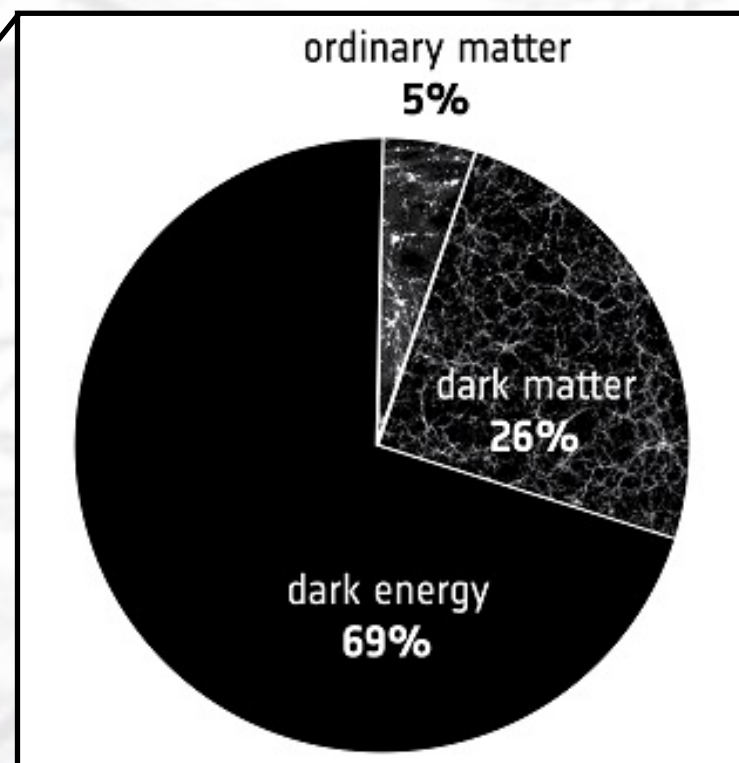
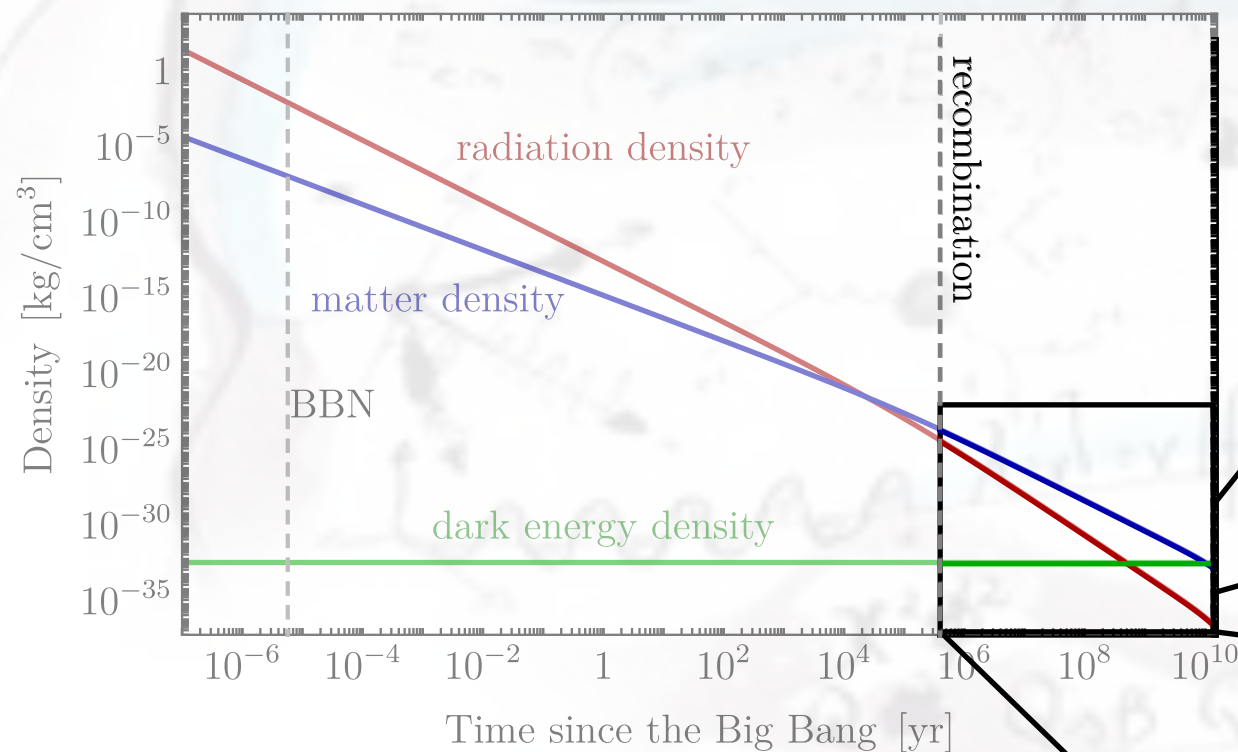
Tutte le evidenze sperimentali che richiedono fisica oltre il Modello Standard vengono da osservazioni di natura astrofisica e cosmologica.





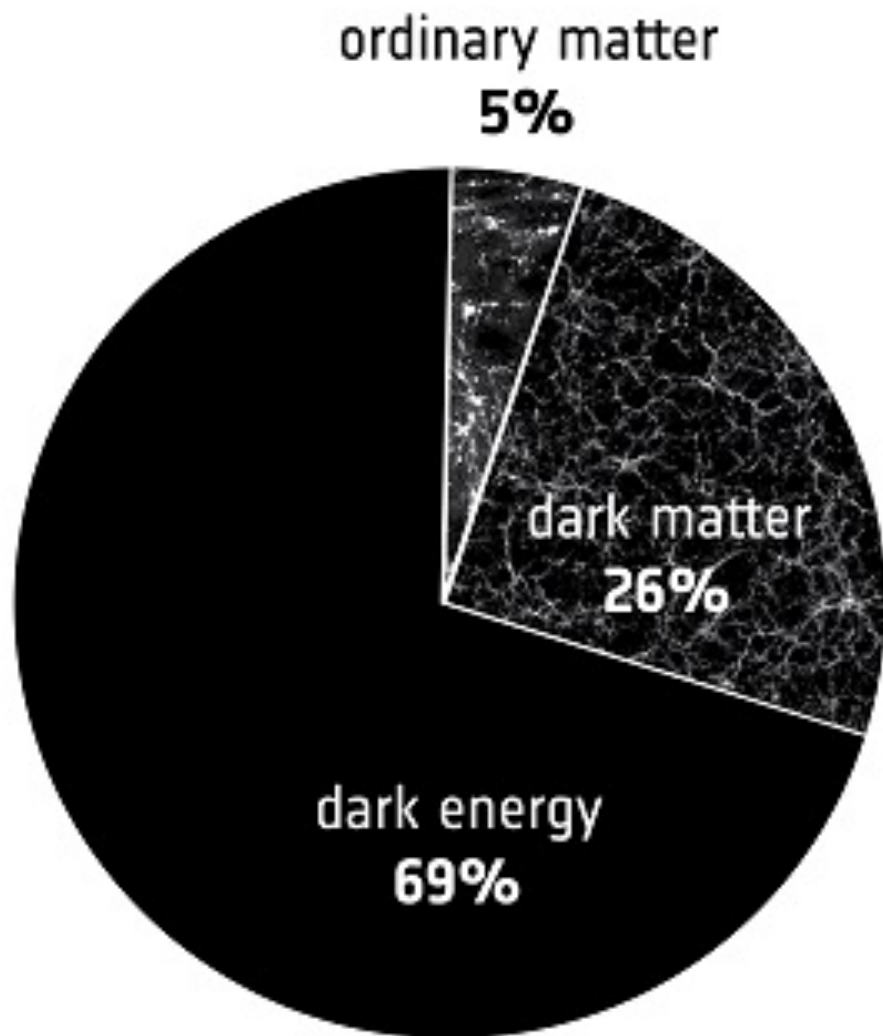


Tutte le evidenze sperimentali che richiedono fisica oltre il Modello Standard vengono da osservazioni di natura astrofisica e cosmologica.





L'analisi e l'interpretazione dei dati riguardanti le anisotropie della radiazione cosmica di fondo (CMB) ha mostrato come la densità di energia del nostro Universo sia per il **26%** nella forma di **Materia Oscura**, per il **5%** nella forma di **materia ordinaria** e per il restante **69%** nella forma di **Energia Oscura**.



Con **Materia Oscura** si definisce un'ipotetica componente di materia che, diversamente dalla materia conosciuta, non emetterebbe radiazione elettromagnetica ed è attualmente rilevabile solo in modo indiretto attraverso i suoi effetti gravitazionali.

*“It cannot be seen, cannot be felt,  
Cannot be heard, cannot be smelt,  
It lies behind stars and under hills,  
And empty holes it fills.”*

J.R.R. Tolkien, *The Hobbit*.



**Non è possibile spiegare la Materia Oscura nel contesto offerto dal Modello Standard delle particelle elementari.**

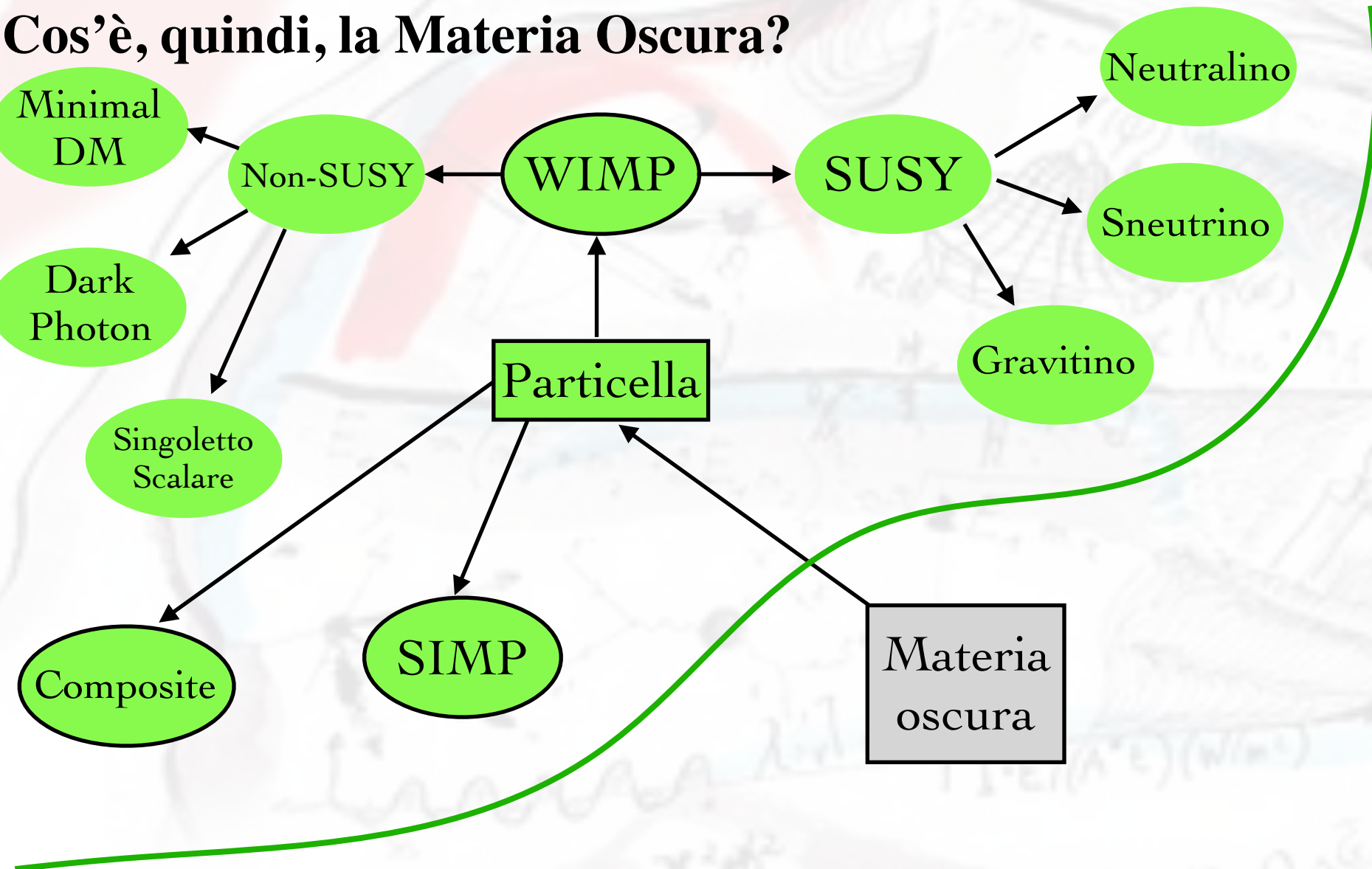
**Cos'è, quindi, la Materia Oscura?**

1951  
2021

infn

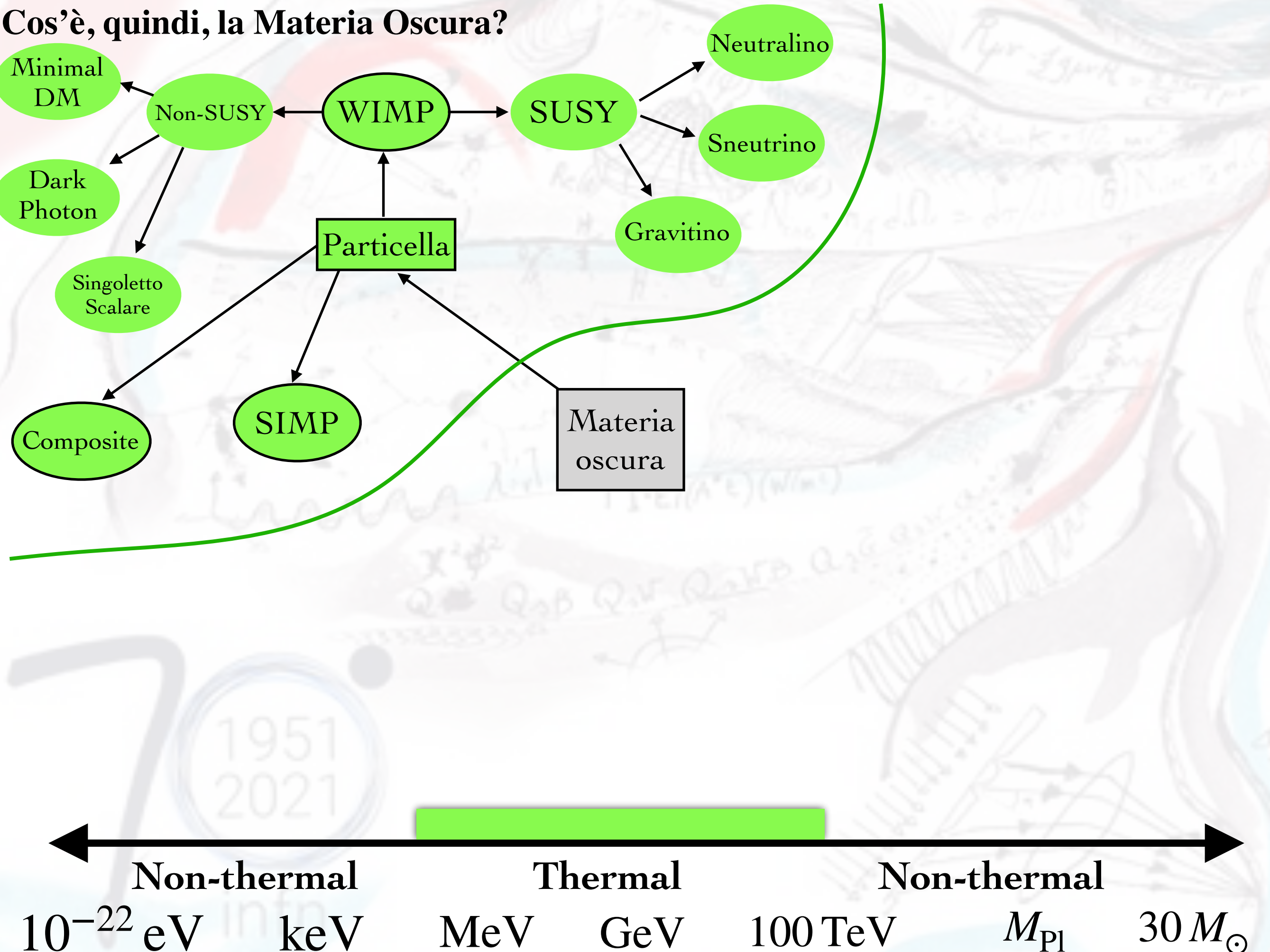


# Cos'è, quindi, la Materia Oscura?



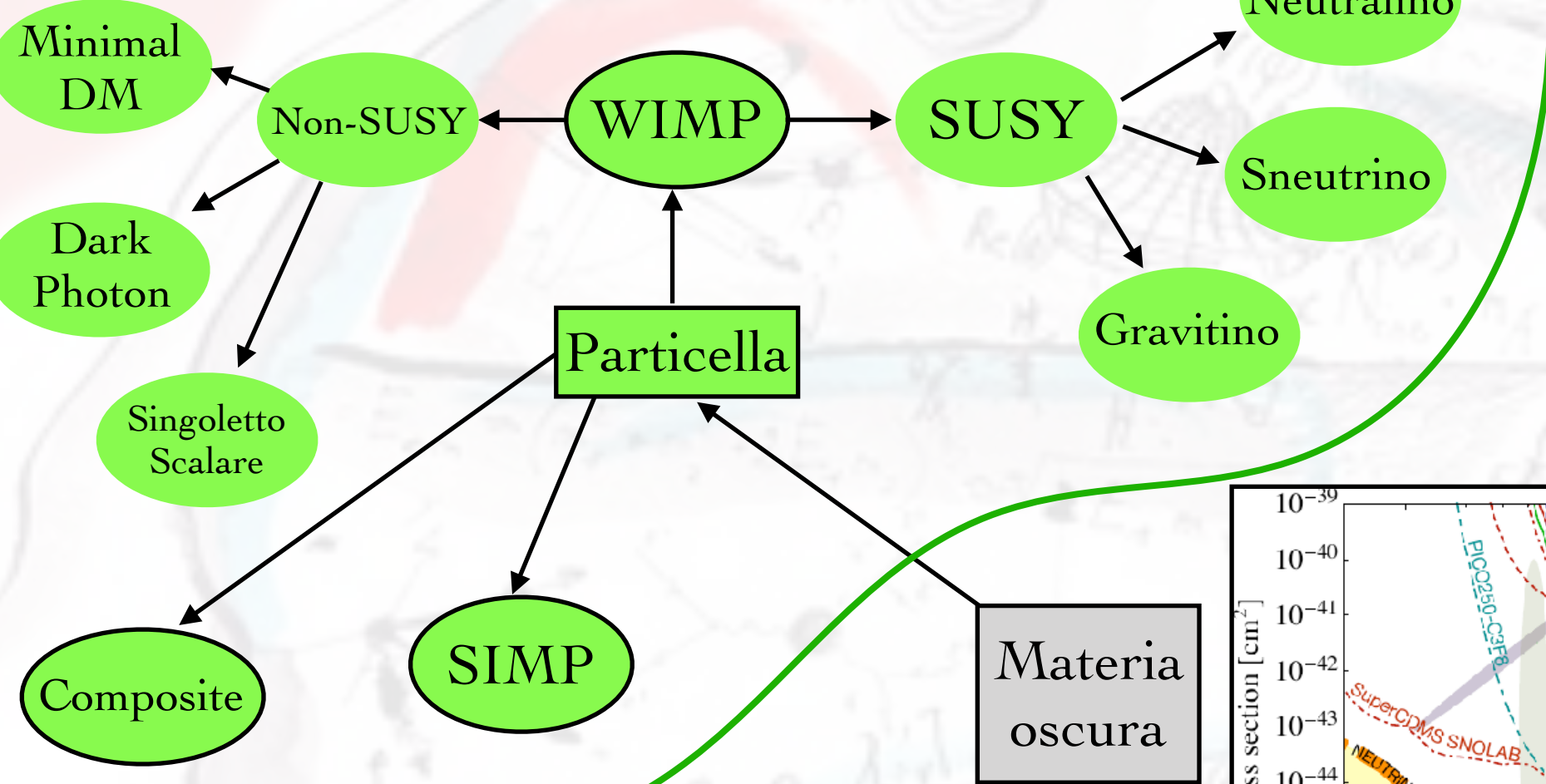


Cos'è, quindi, la Materia Oscura?

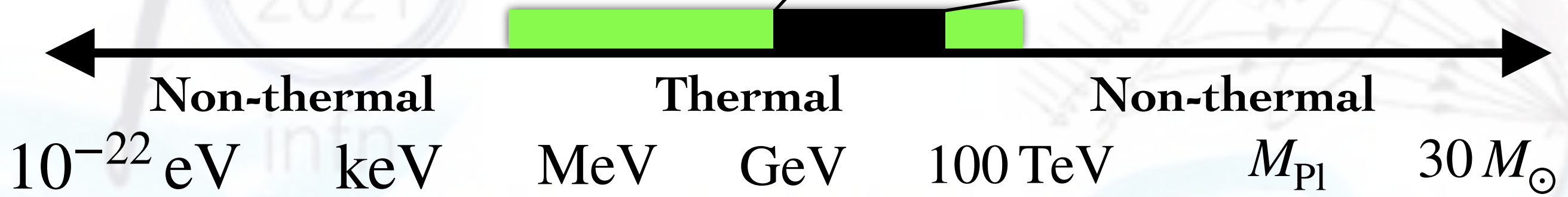
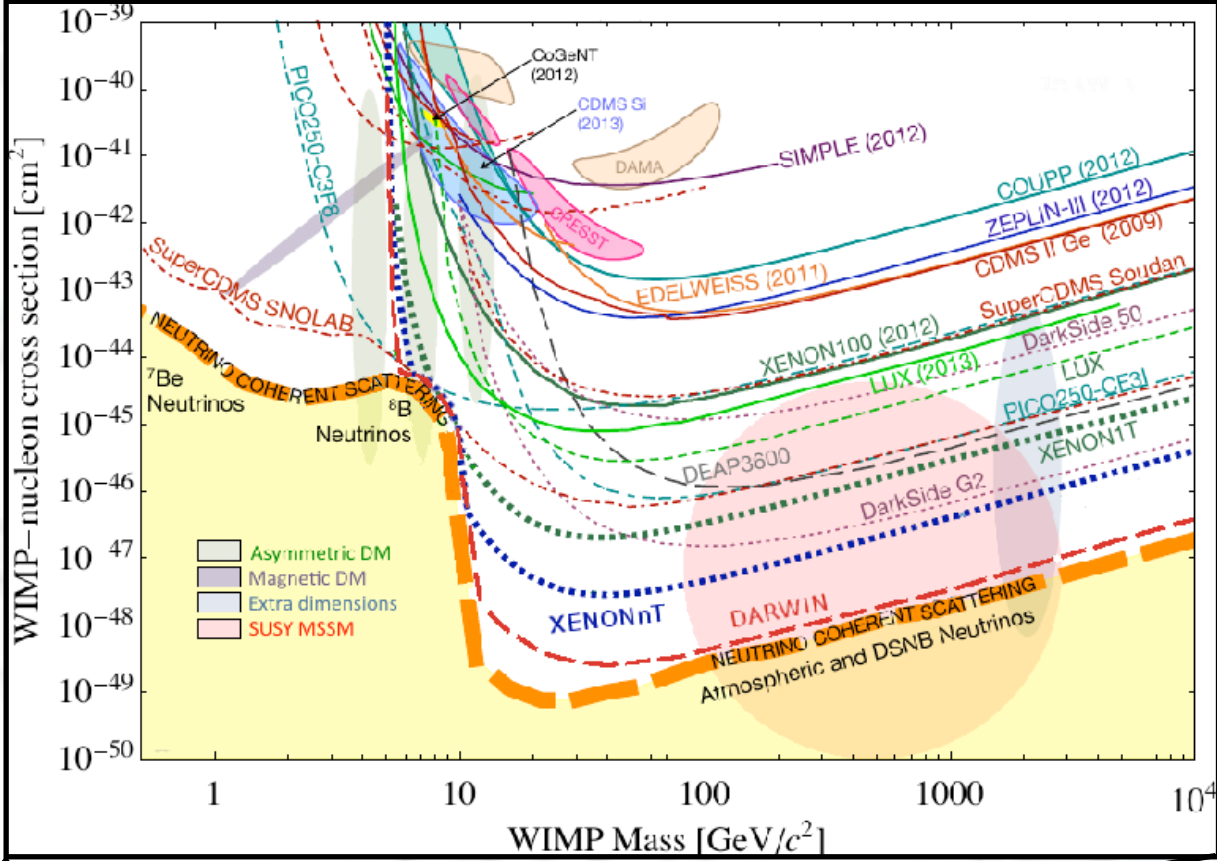
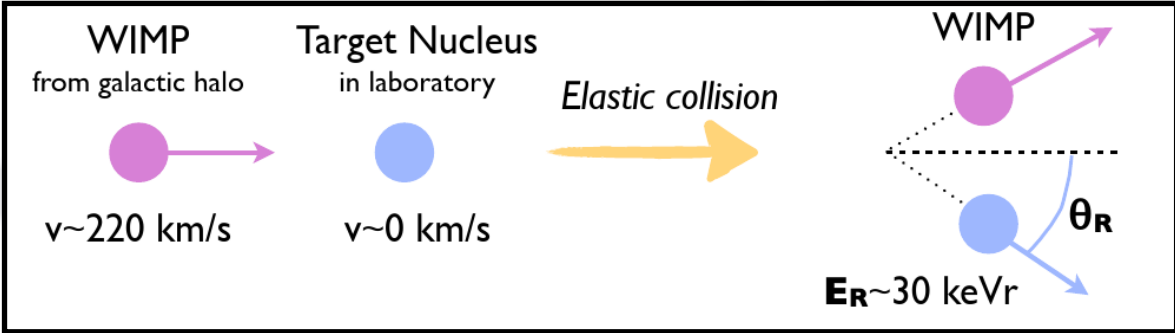




Cos'è, quindi, la Materia Oscura?

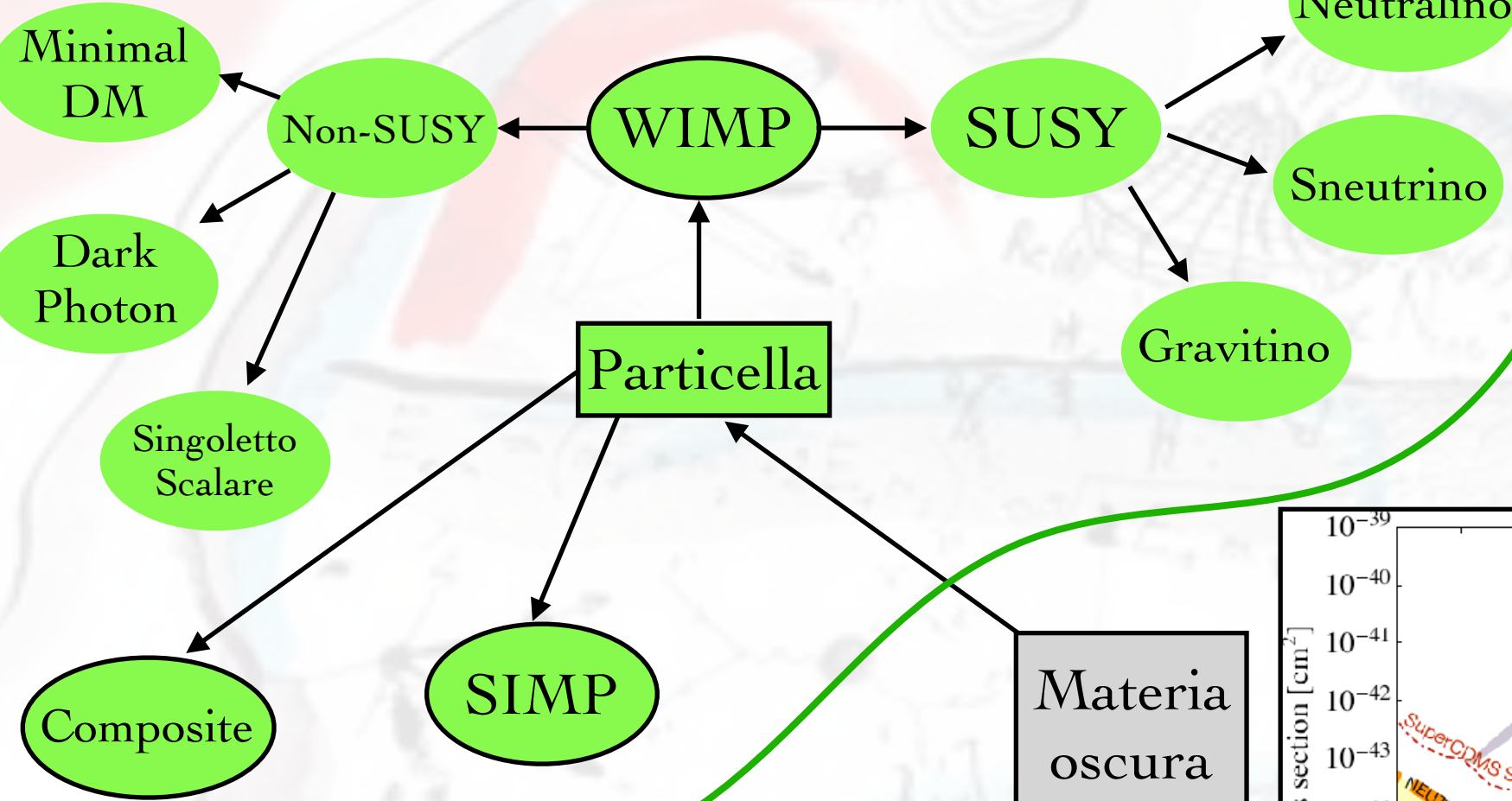


**INFN (exp.)**  
**DarkSide**  
**CYGNO**  
**XENON**  
**(DAMA,SABRE)**



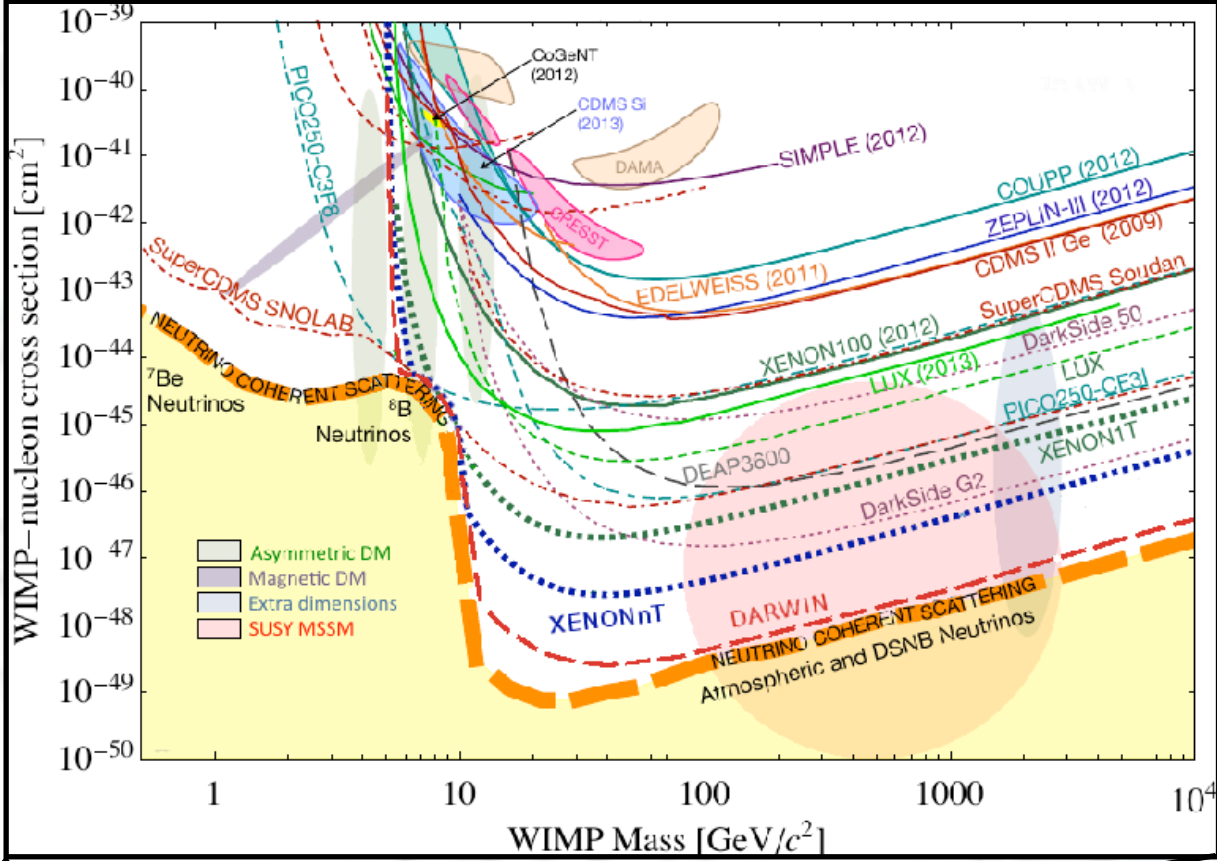


Cos'è, quindi, la Materia Oscura?



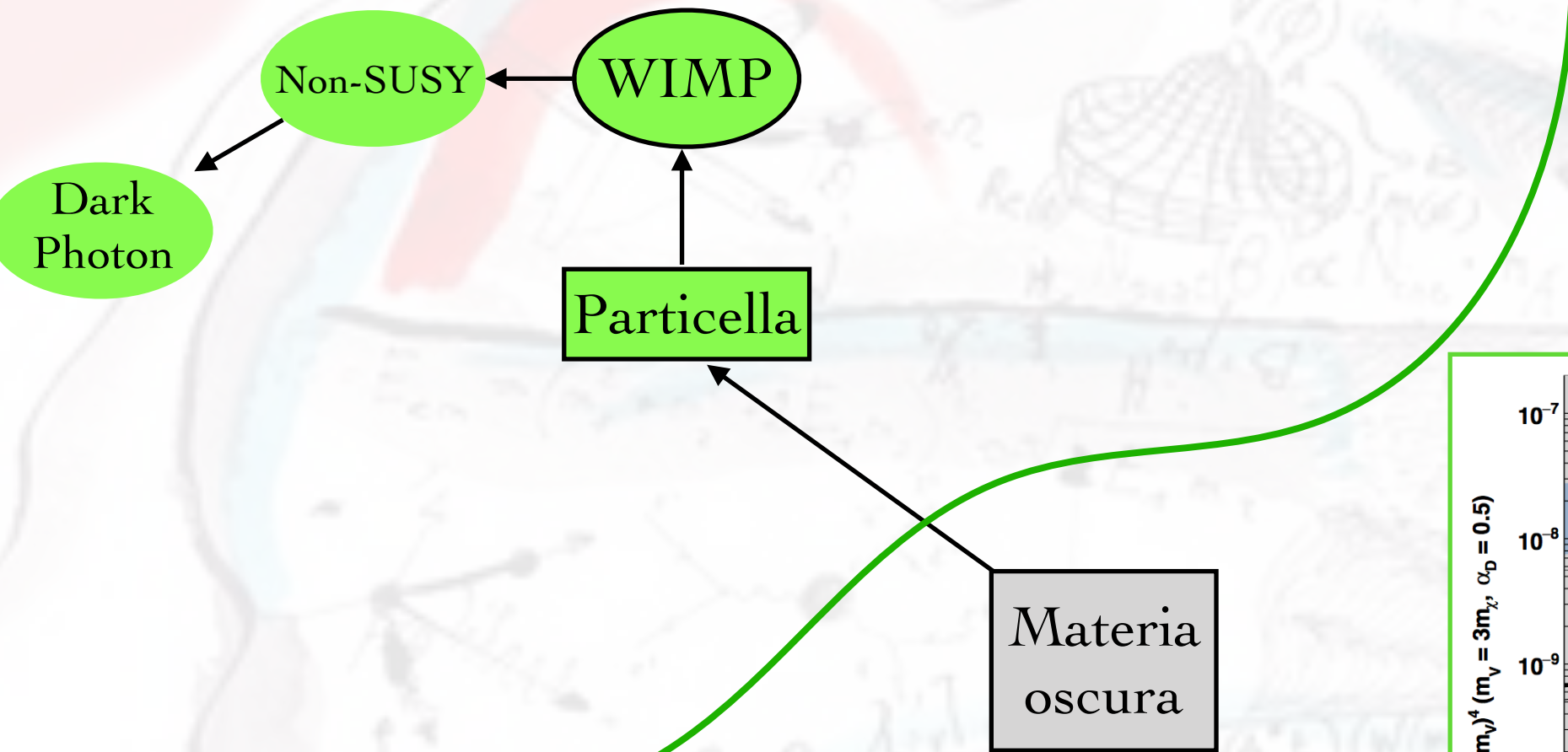
**INFN (exp.)**  
DarkSide  
CYGNO  
XENON  
(DAMA,SABRE)

L'assenza di evidenze  
NON è  
evidenza dell'assenza  
[M. Rees]

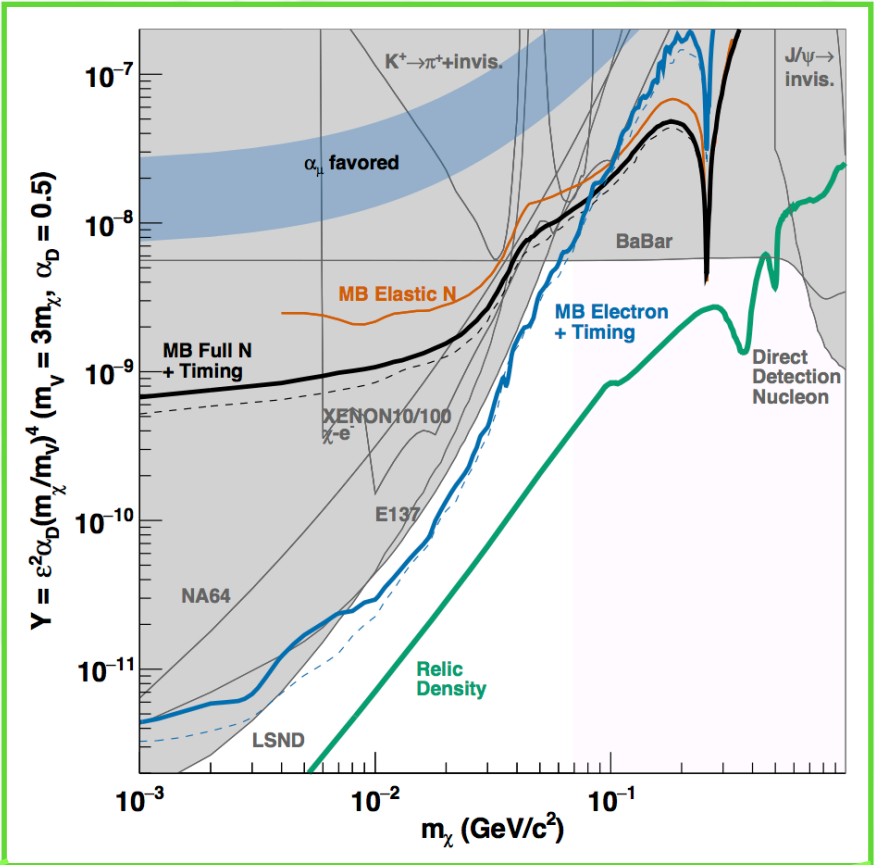
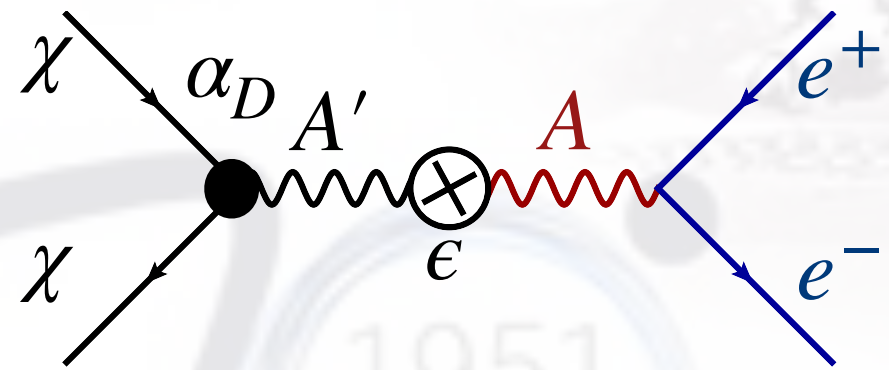




Cos'è, quindi, la Materia Oscura?

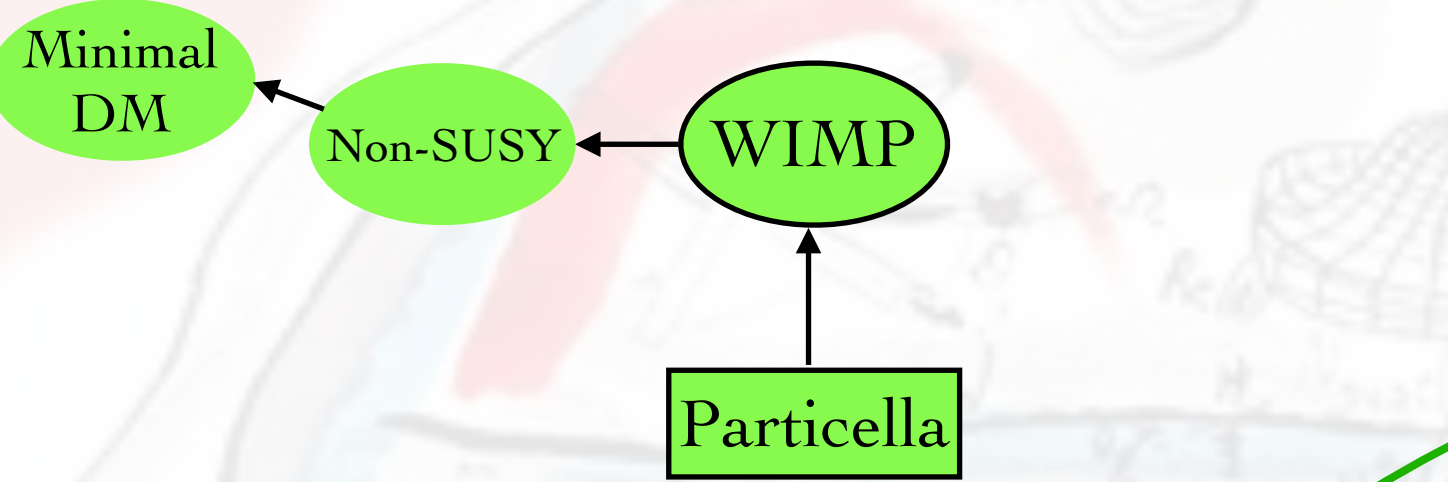


**INFN (exp.)**  
**DarkSide**  
**CYGNO**  
**XENON**  
**(DAMA,SABRE)**



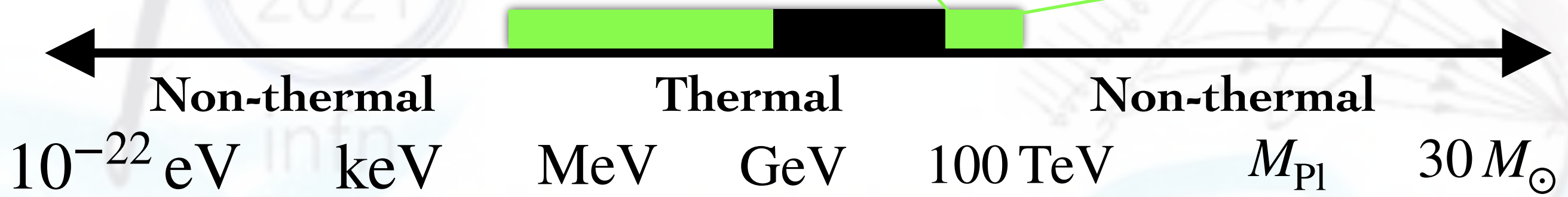
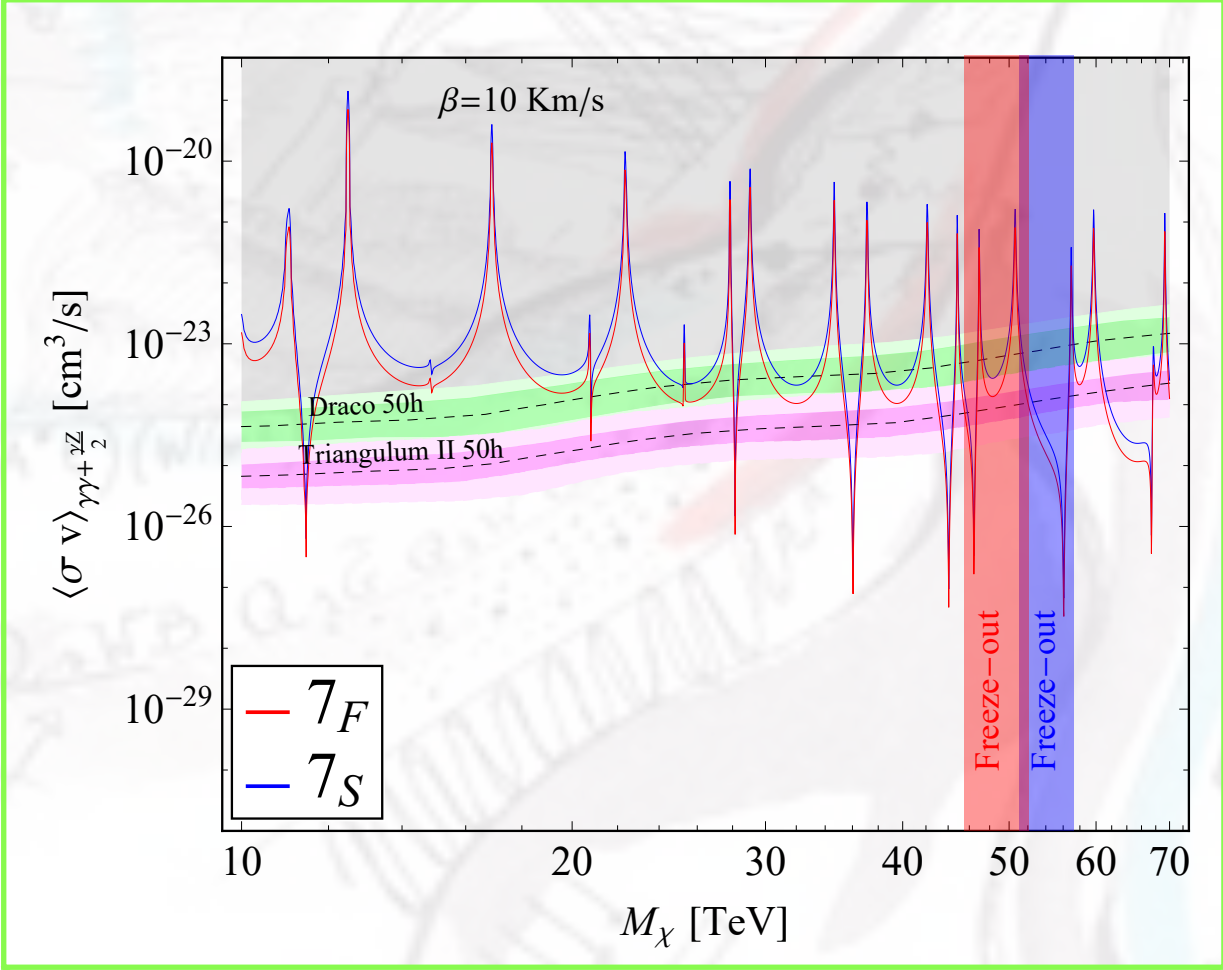
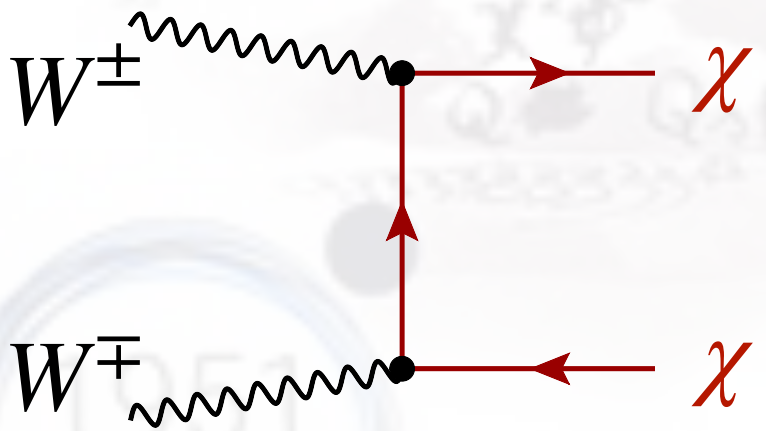


Cos'è, quindi, la Materia Oscura?



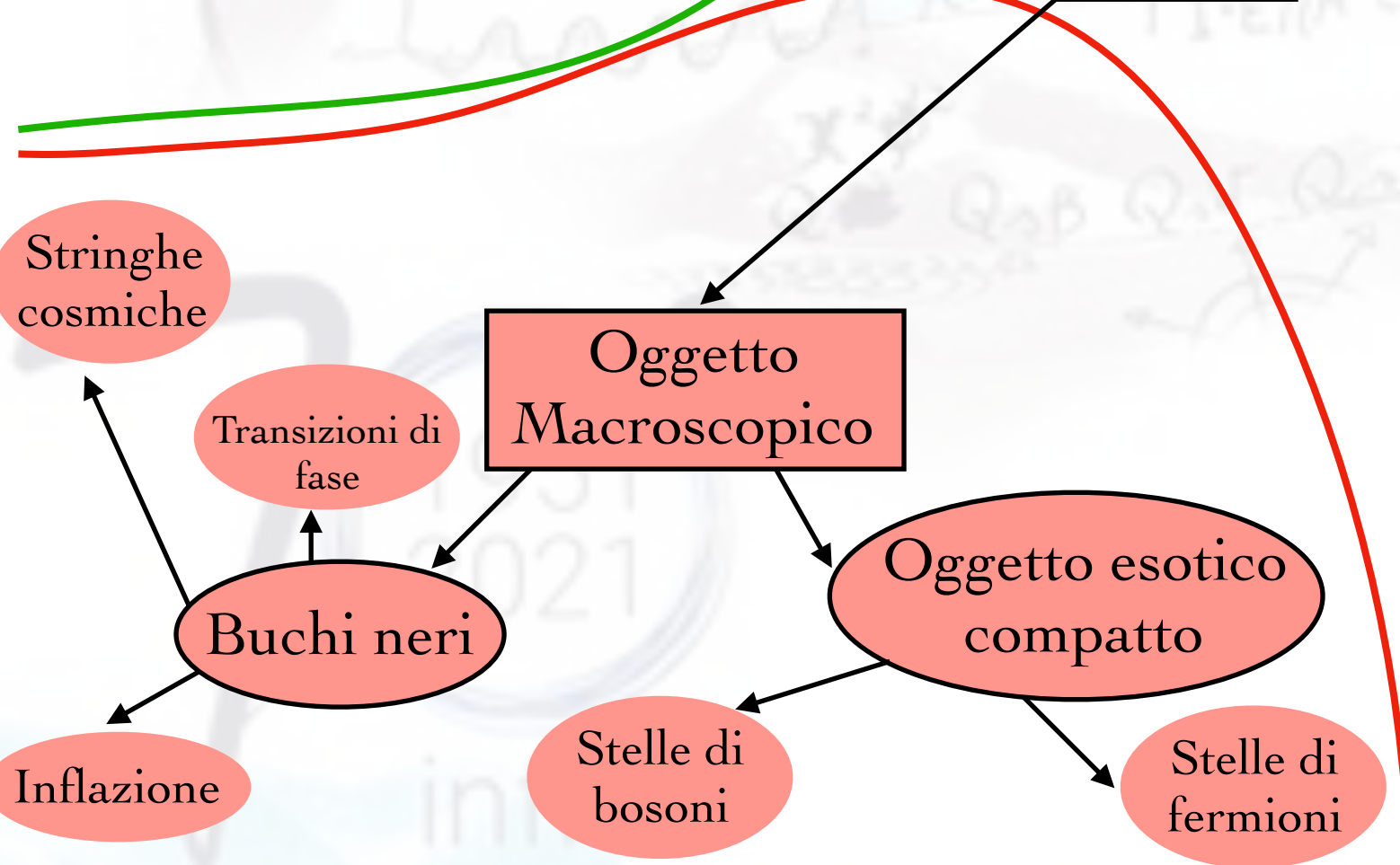
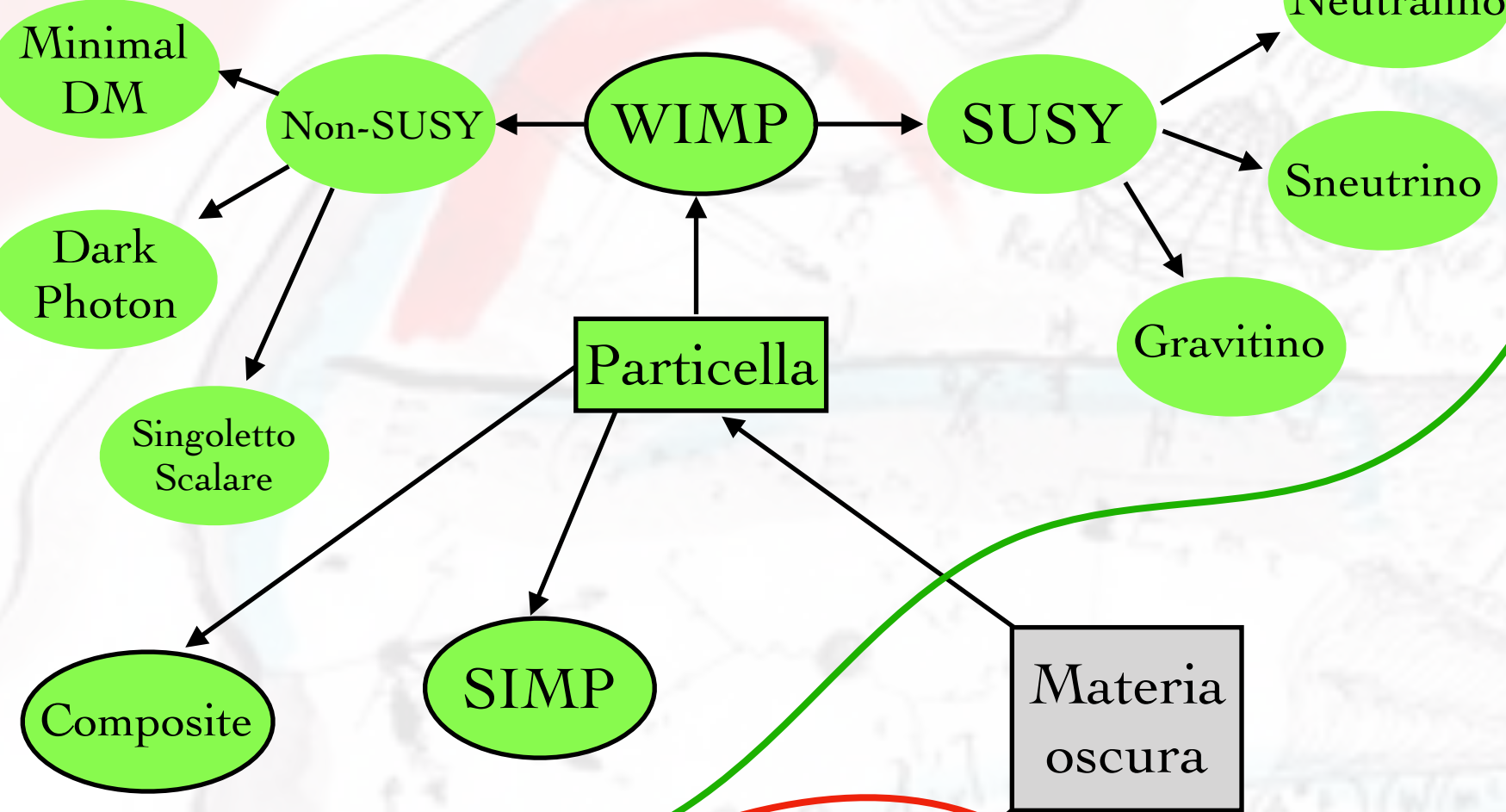
INFN (exp.)  
AMS  
Fermi  
CTA

Materia  
oscura



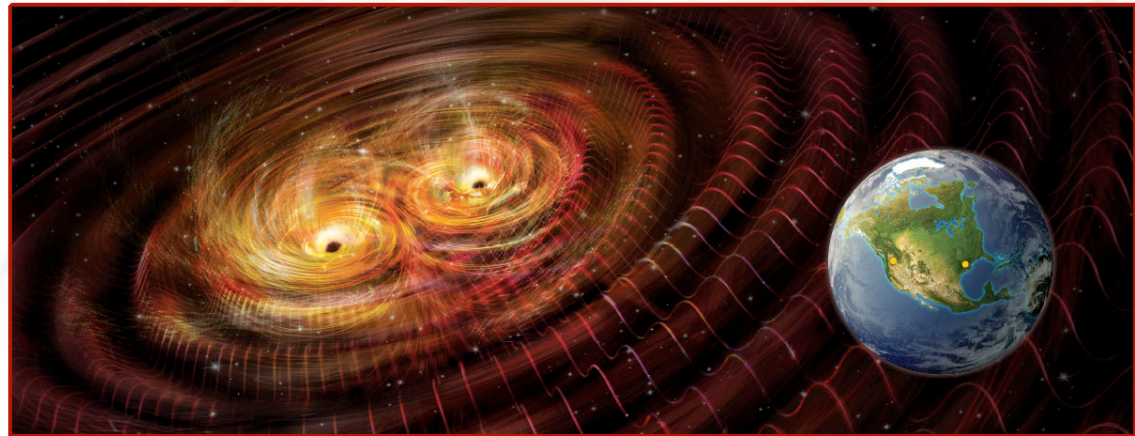
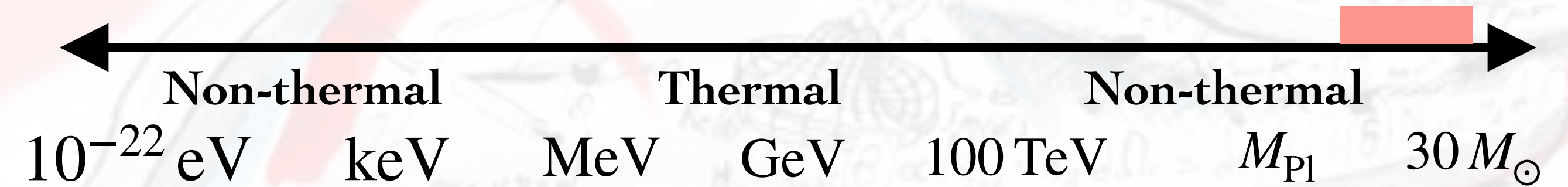


# Cos'è, quindi, la Materia Oscura?

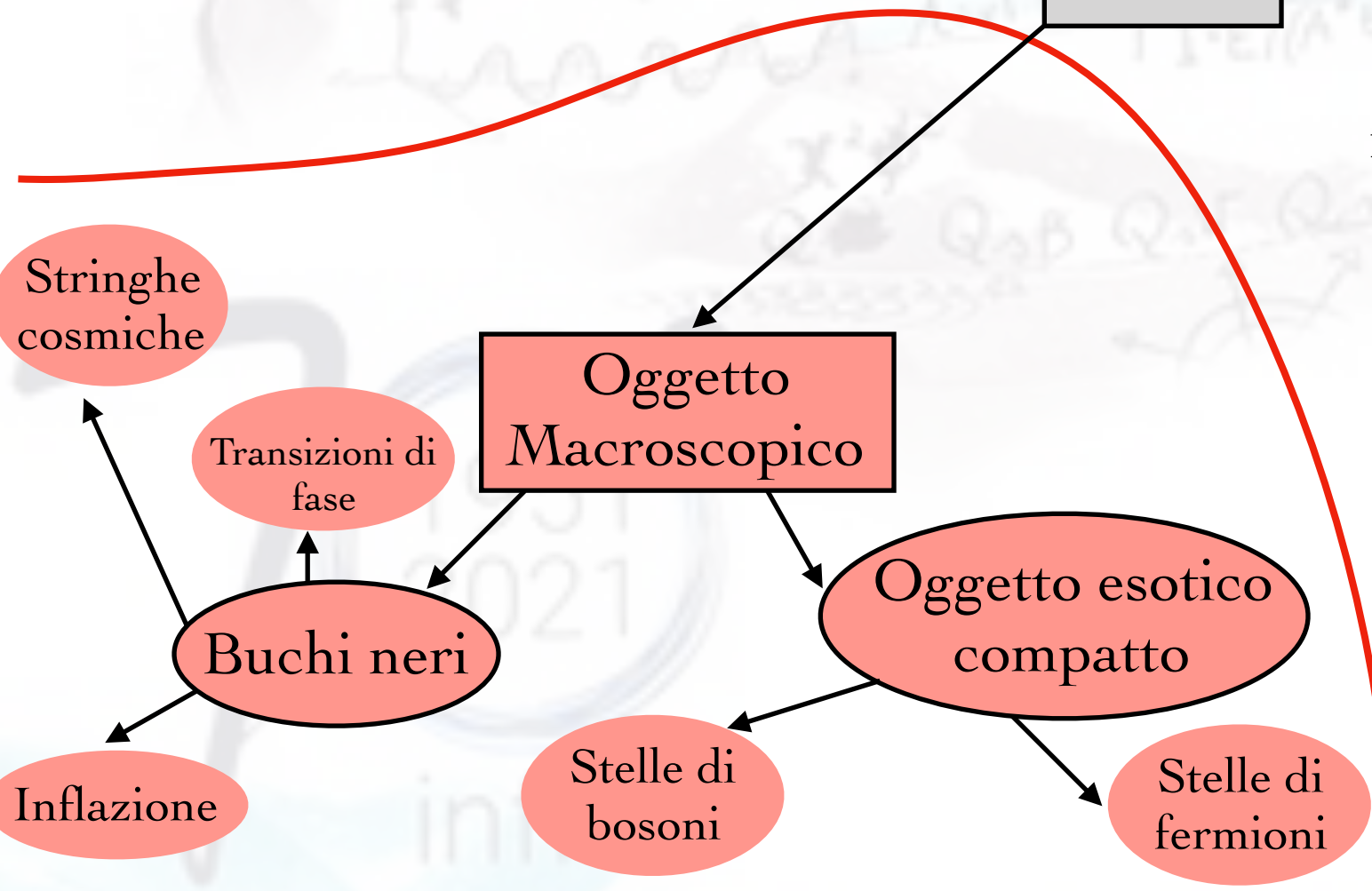
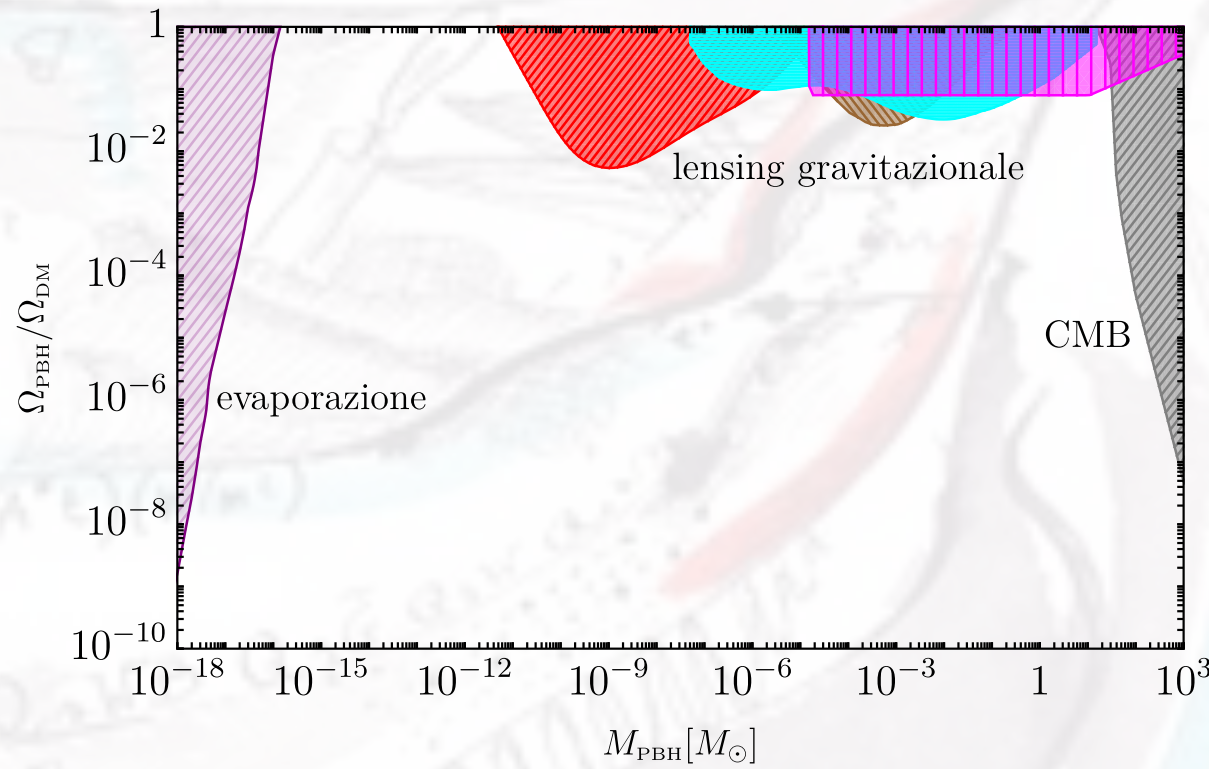




# Cos'è, quindi, la Materia Oscura?



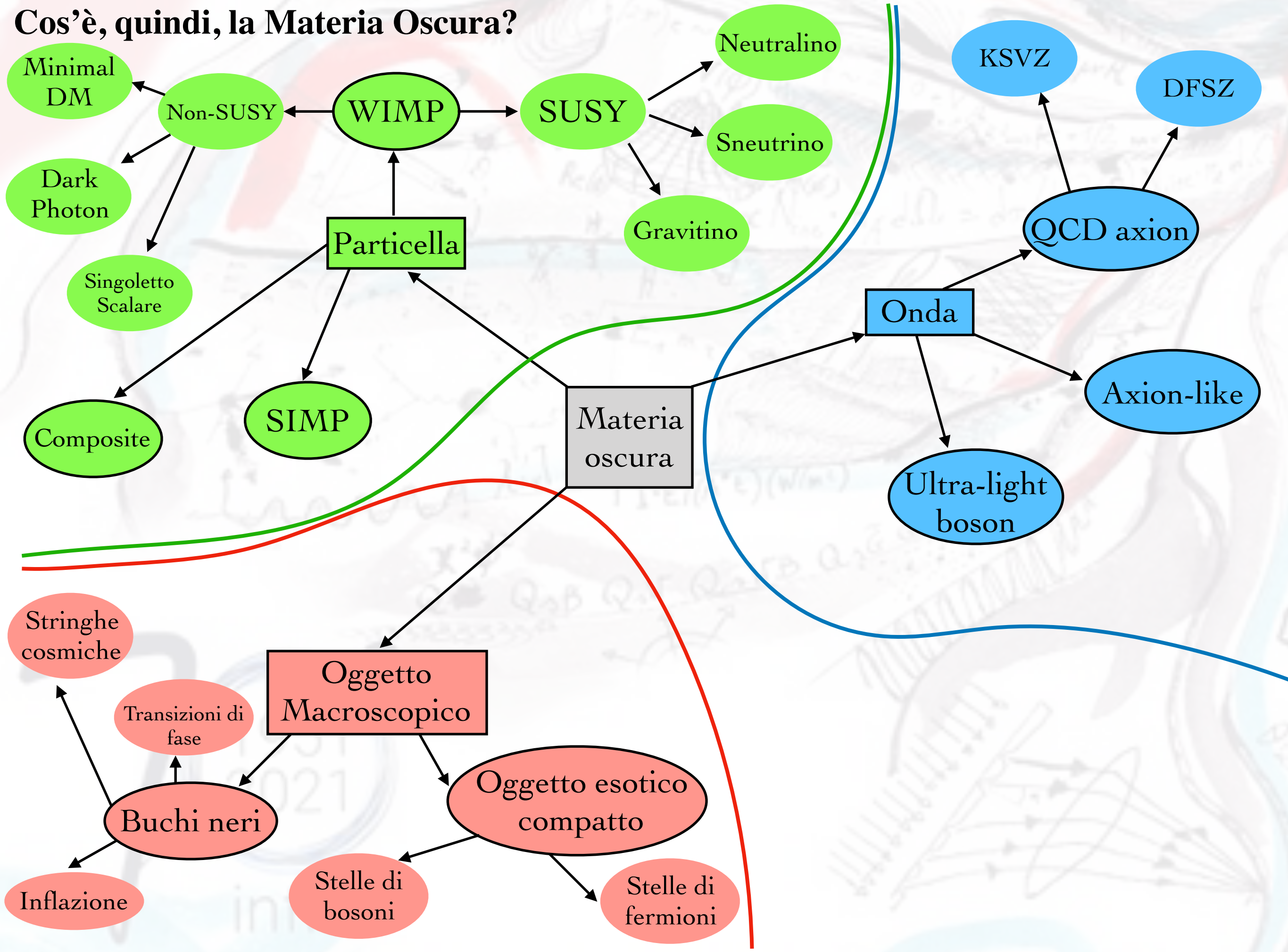
Materia  
oscura



**INFN (exp.)**  
**Virgo**  
**ET**  
**LISA**

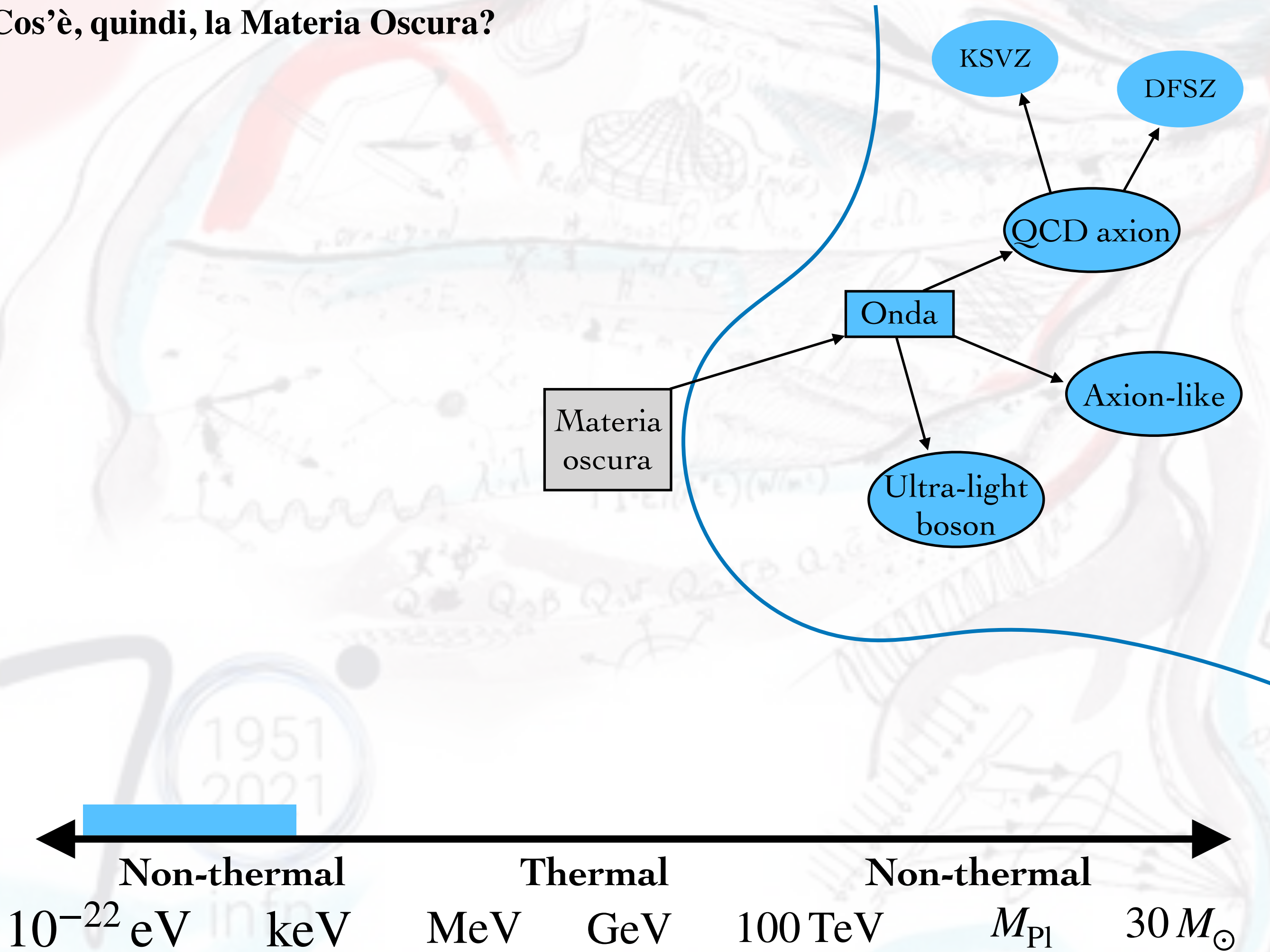


# Cos'è, quindi, la Materia Oscura?





Cos'è, quindi, la Materia Oscura?

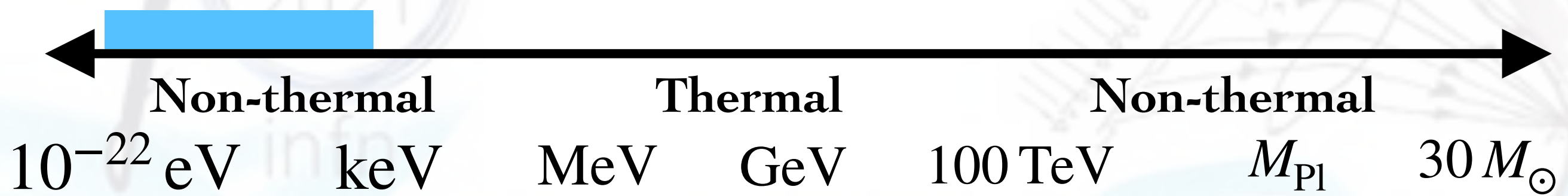
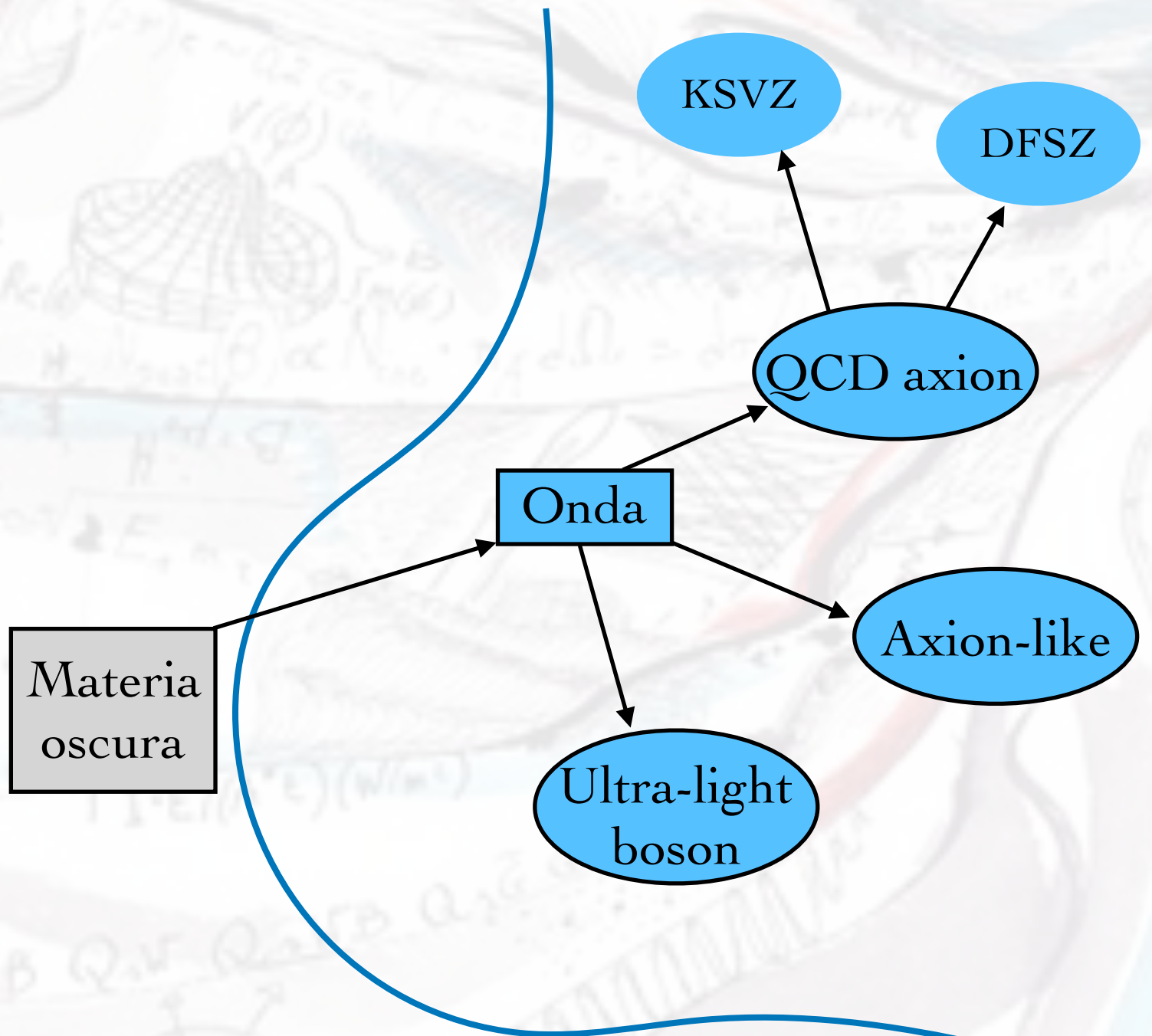




# Cos'è, quindi, la Materia Oscura?

Bosoni estremamente leggeri con  
elevato numero di occupazione  
(assumendo siano la materia oscura)

Descrizione in teoria classica dei  
campi adeguata

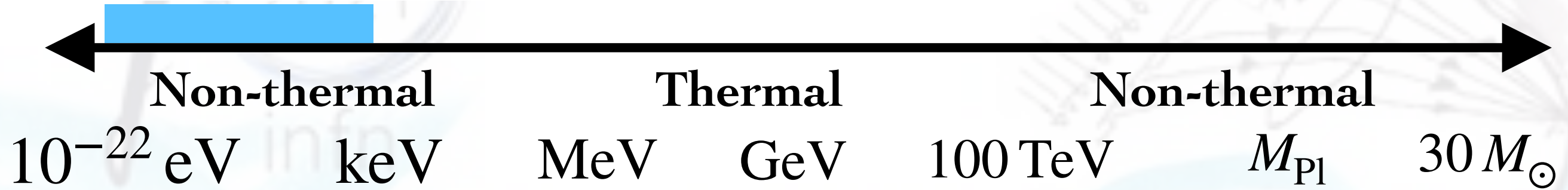
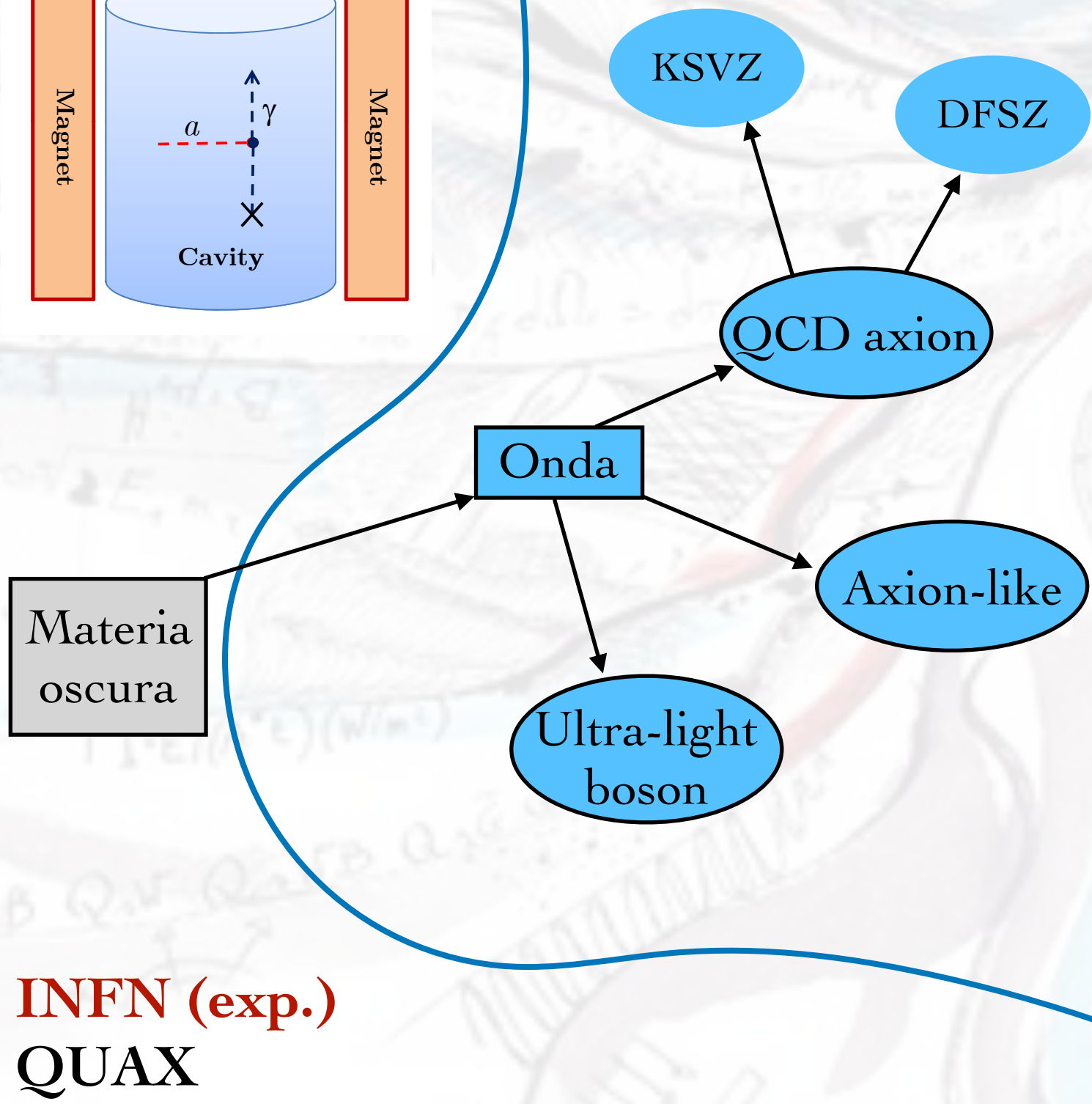
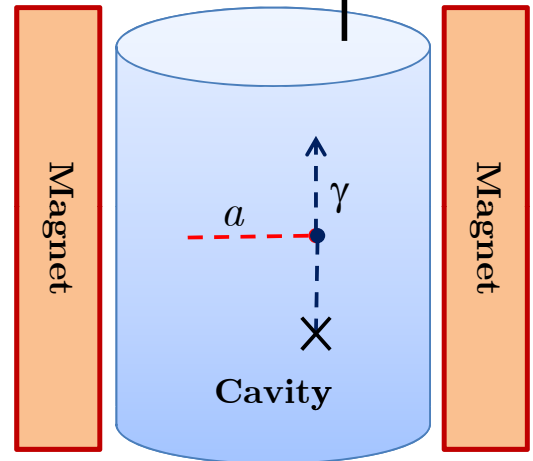
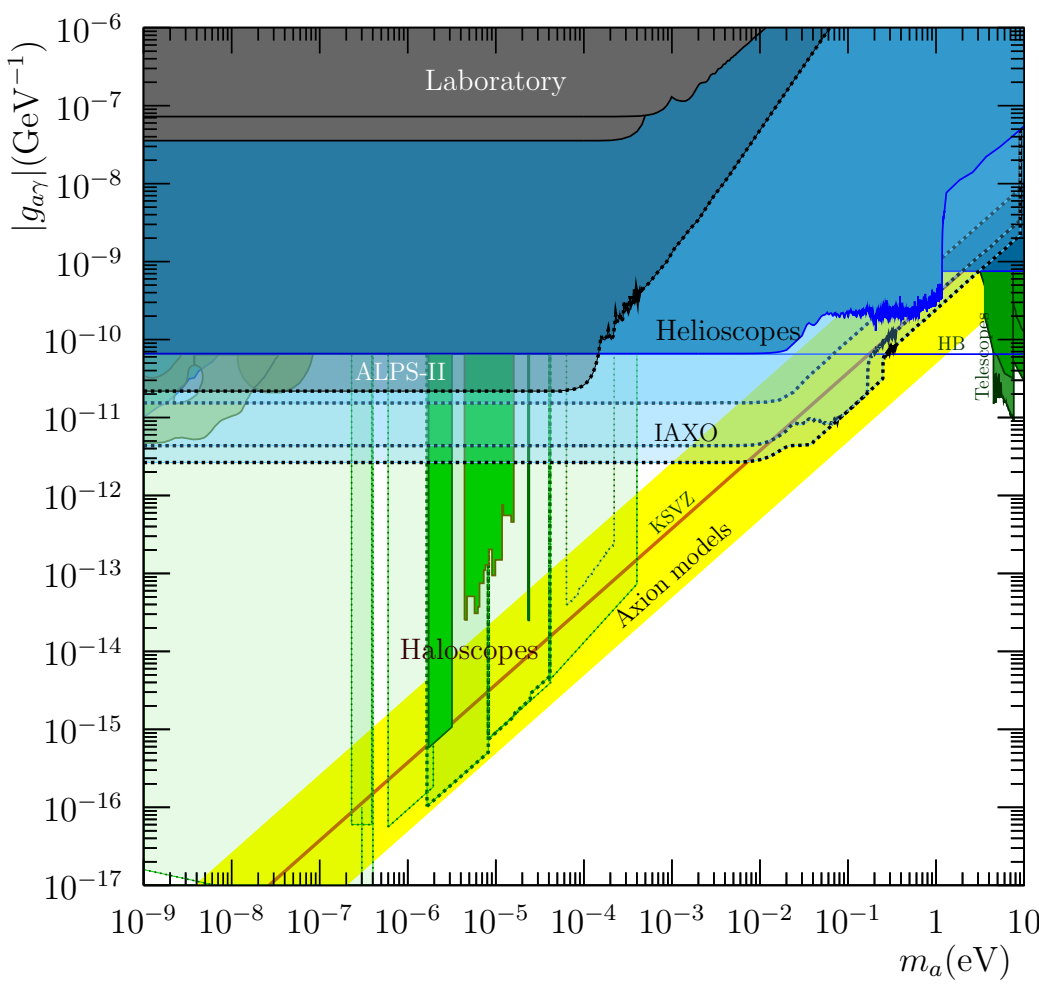




# Cos'è, quindi, la Materia Oscura?

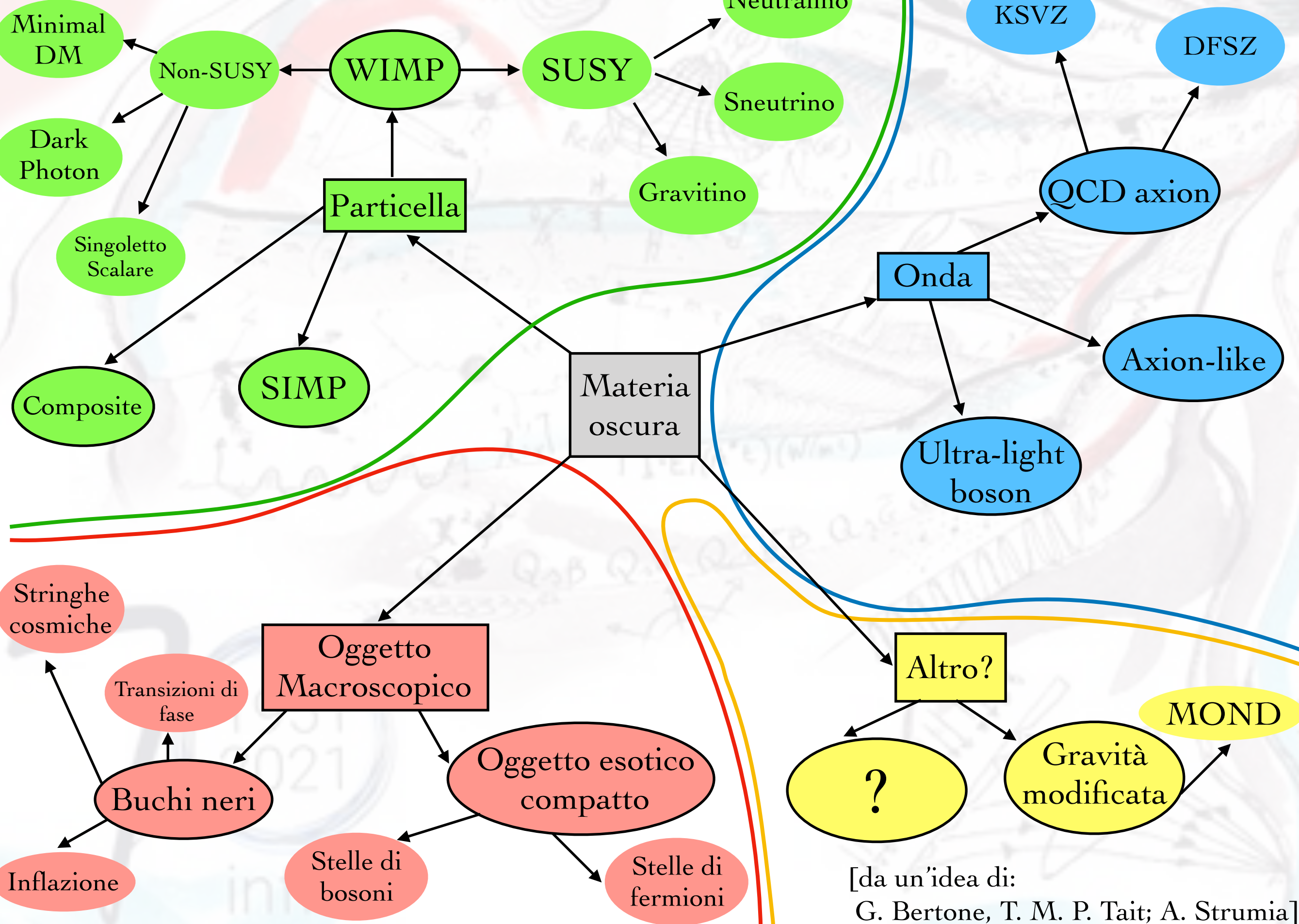
Bosoni estremamente leggeri con elevato numero di occupazione (assumendo siano la materia oscura)

Descrizione in teoria classica dei campi adeguata





# Cos'è, quindi, la Materia Oscura?



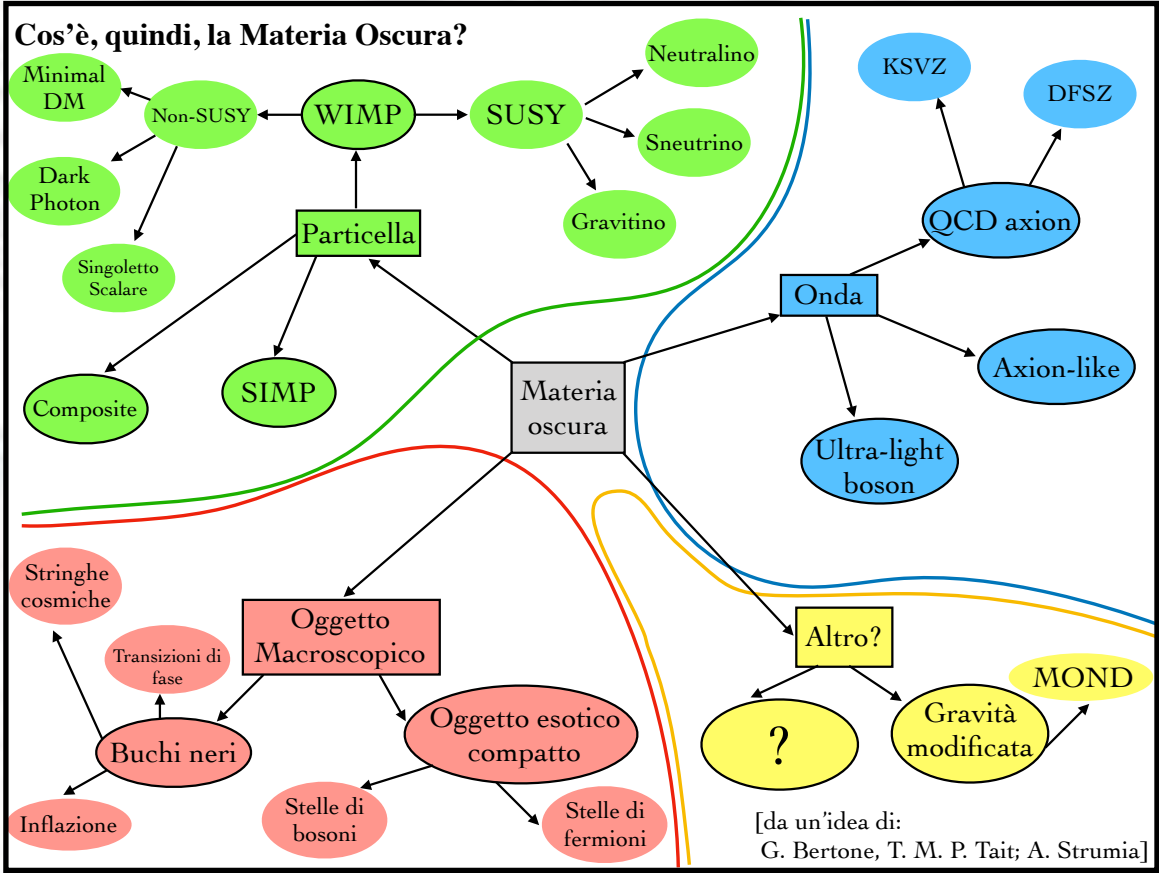
[da un'idea di:  
G. Bertone, T. M. P. Tait; A. Strumia]



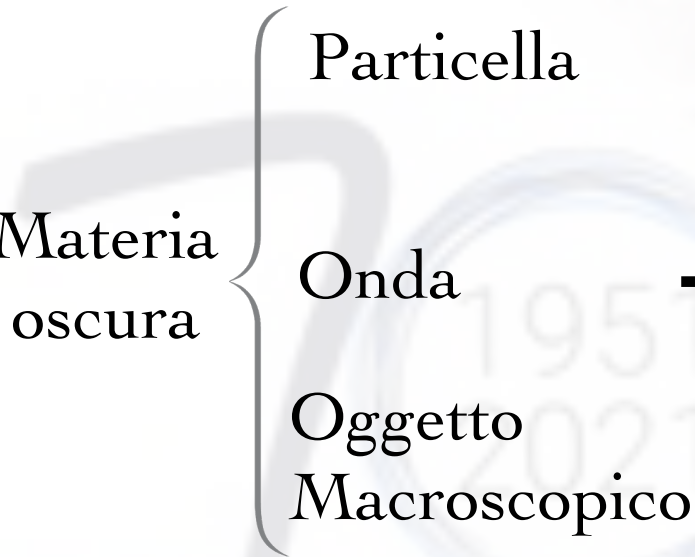
# Cos'è, quindi, la Materia Oscura?

Non lo sappiamo.

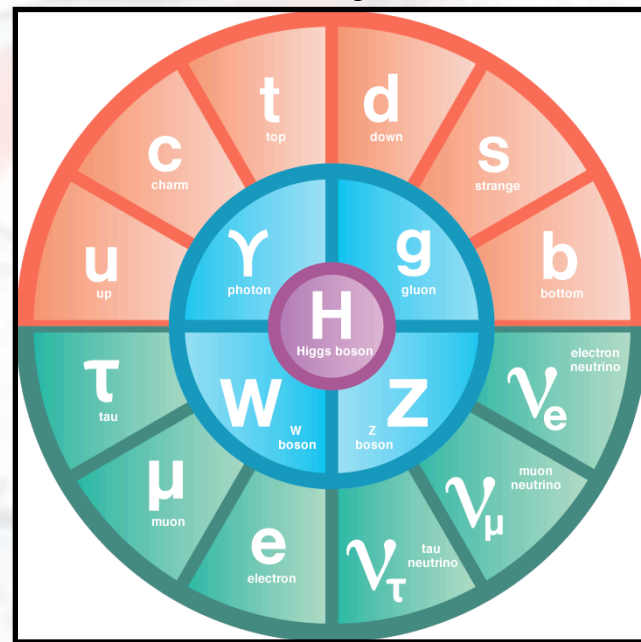
Cercare di rispondere a questa domanda, paradossalmente, anziché selezionare una ben determinata risposta ha portato a capire come in realtà ci sia una pletora di possibilità teoriche, tutte (più o meno) motivabili da un punto di vista della fisica oltre il Modello Standard.



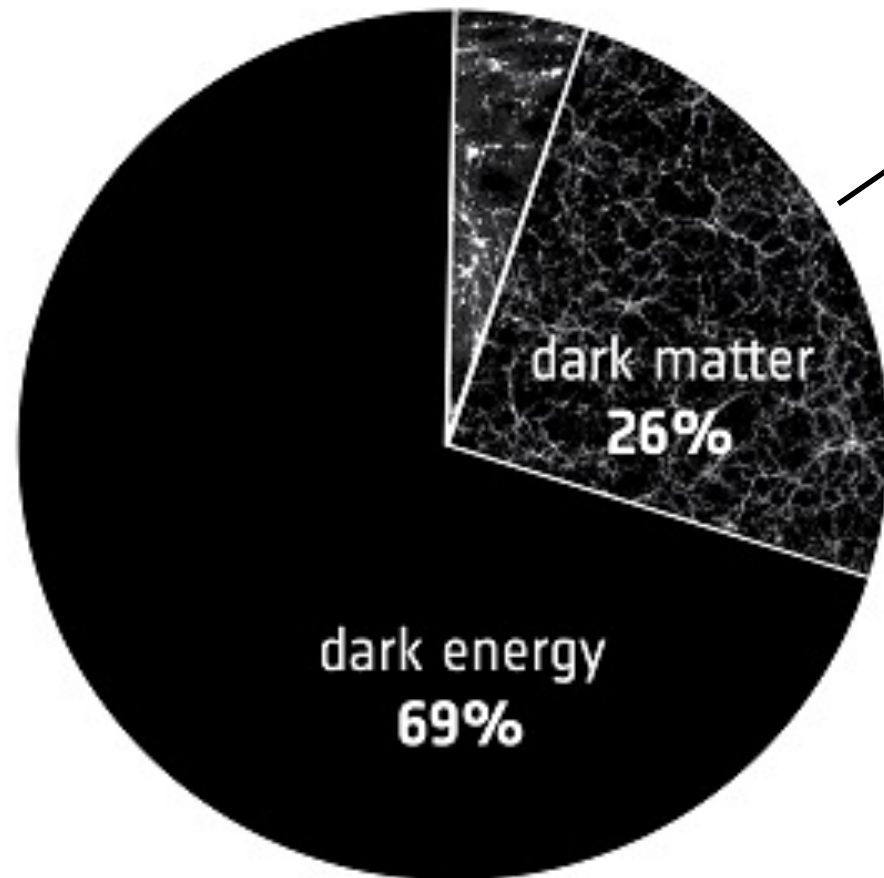
Occorre muoversi in questo “spazio di teorie” seguendo un principio guida.



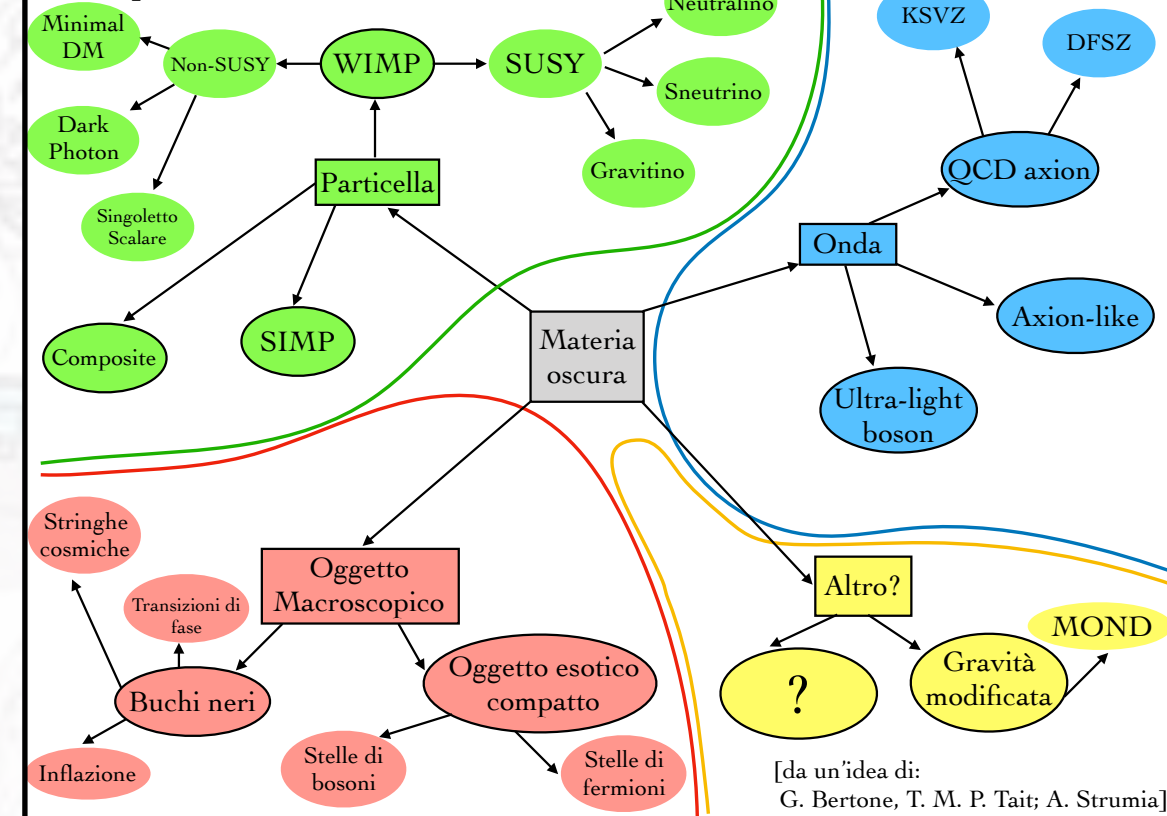




ordinary matter  
5%

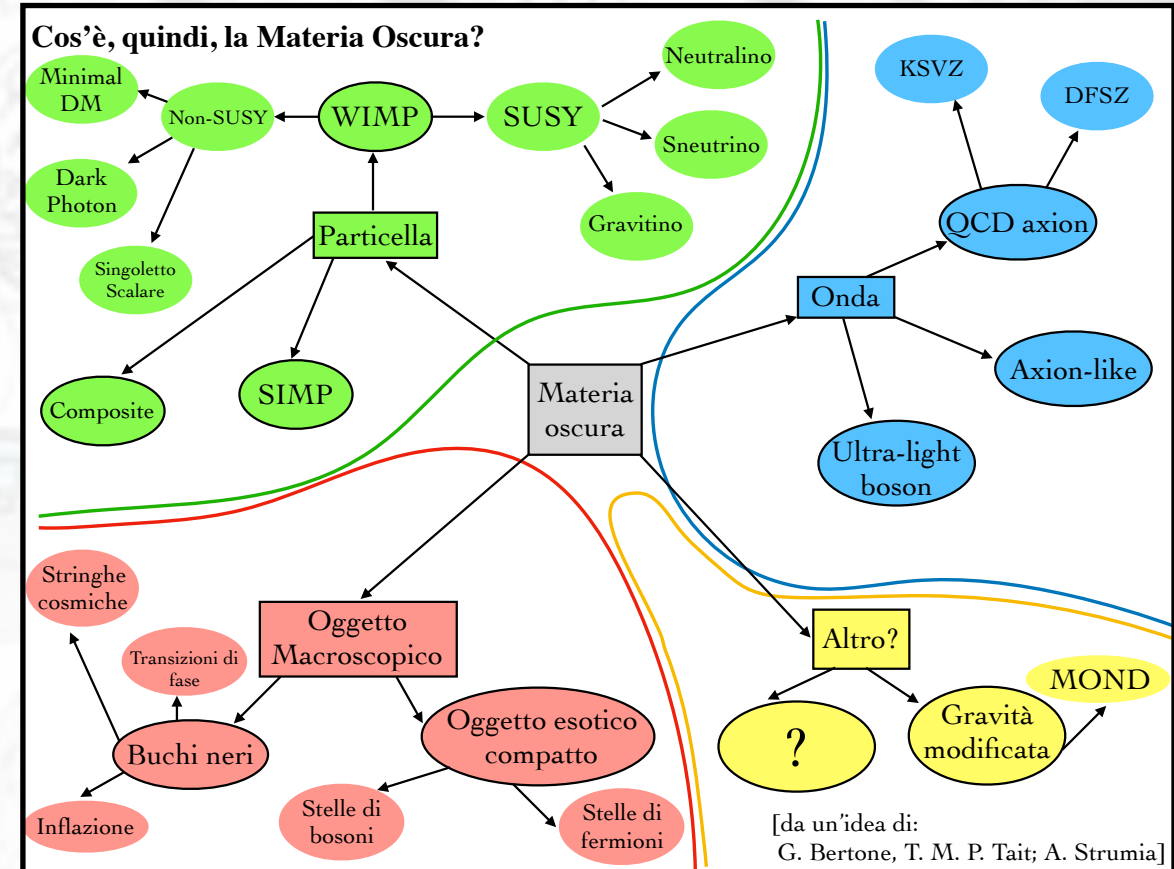
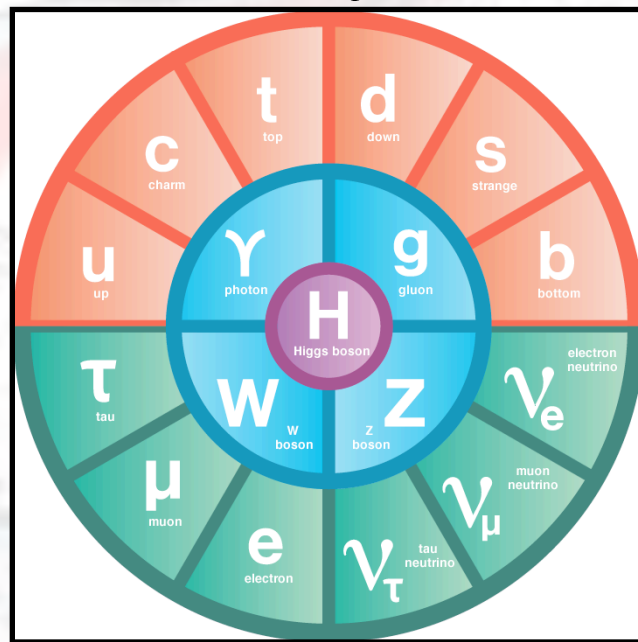


### Cos'è, quindi, la Materia Oscura?

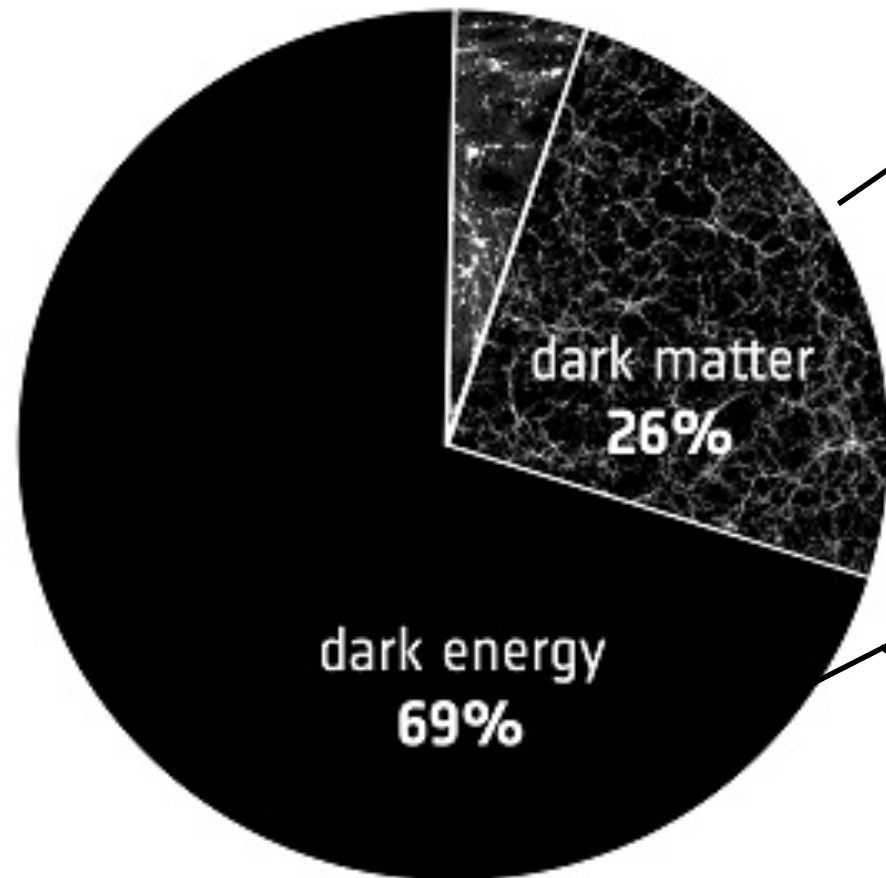


**L'Energia Oscura** è una forma di energia che domina la dinamica dell'Universo su scale cosmologiche. E' stata introdotta per spiegare l'espansione accelerata dell'Universo misurata sulla base di osservazioni di supernove di tipo Ia in galassie lontane. Queste osservazioni inoltre sono state confermate da molte altre fonti indipendenti come ad esempio studiando l'anisotropia della radiazione cosmica di fondo.





ordinary matter  
5%



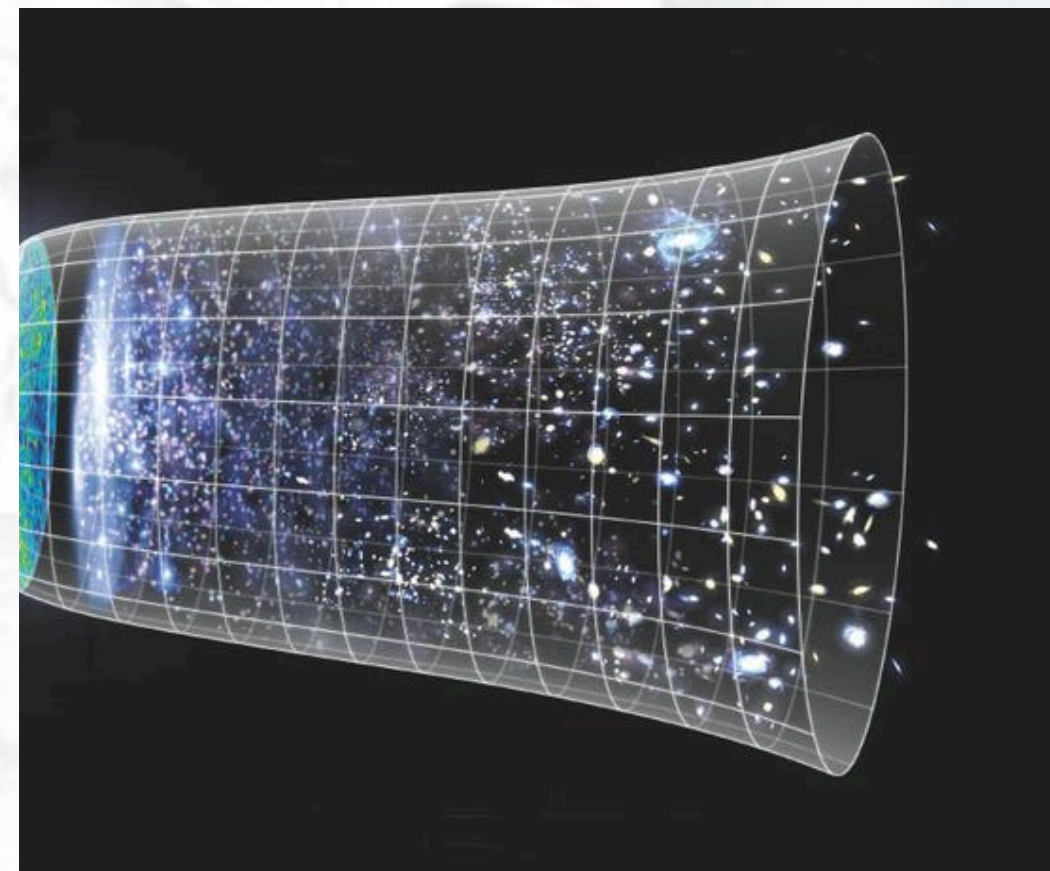
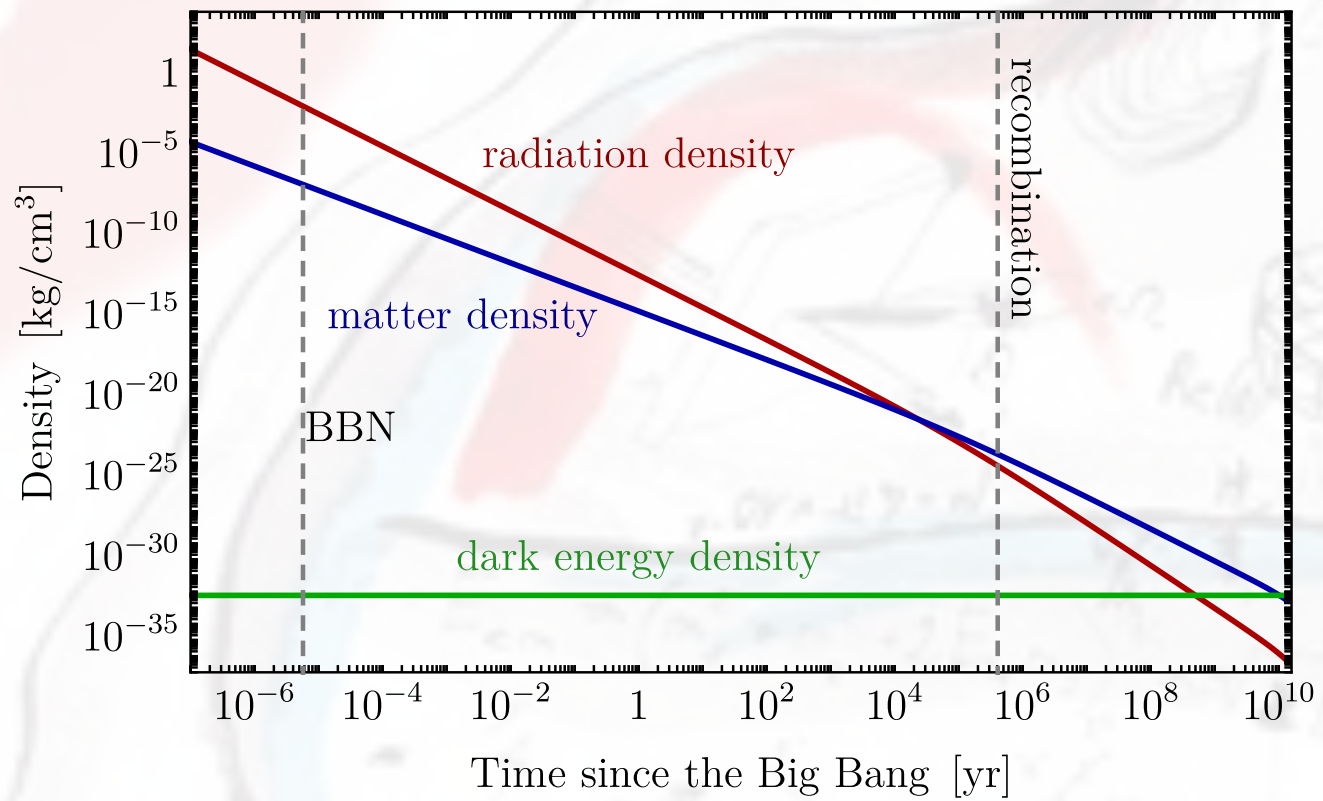
Costante  
Cosmologica

Quintessenza

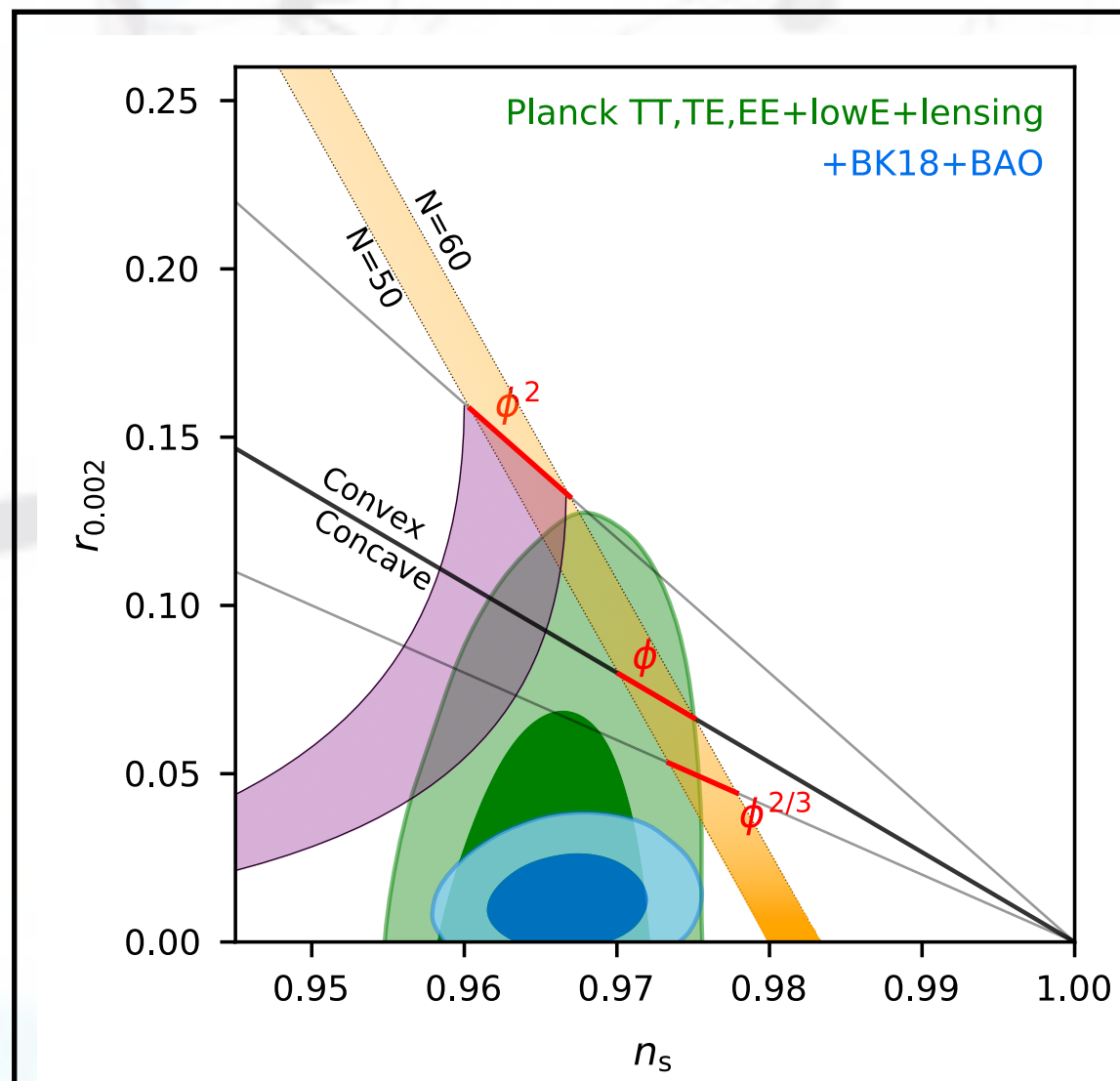
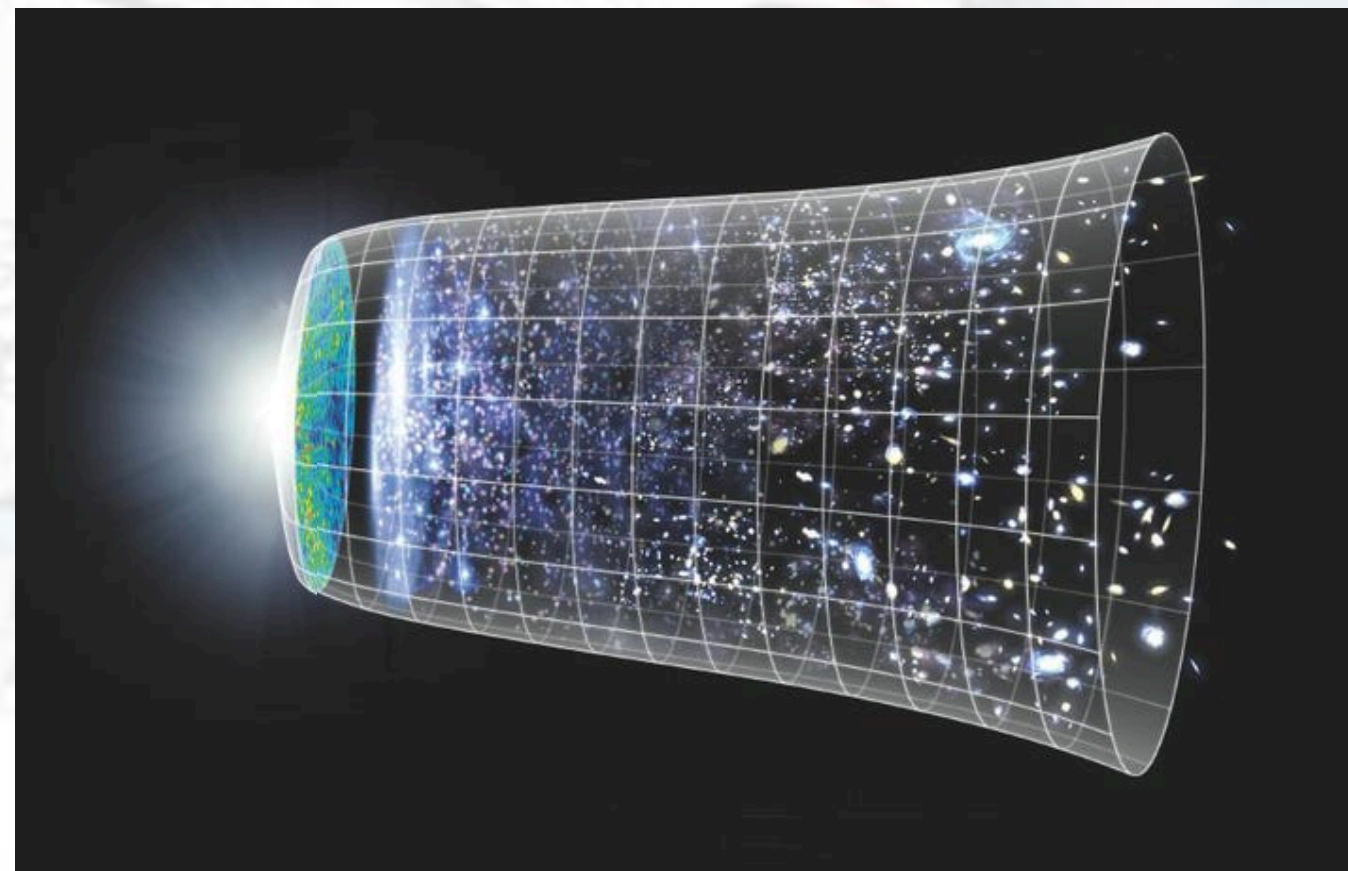
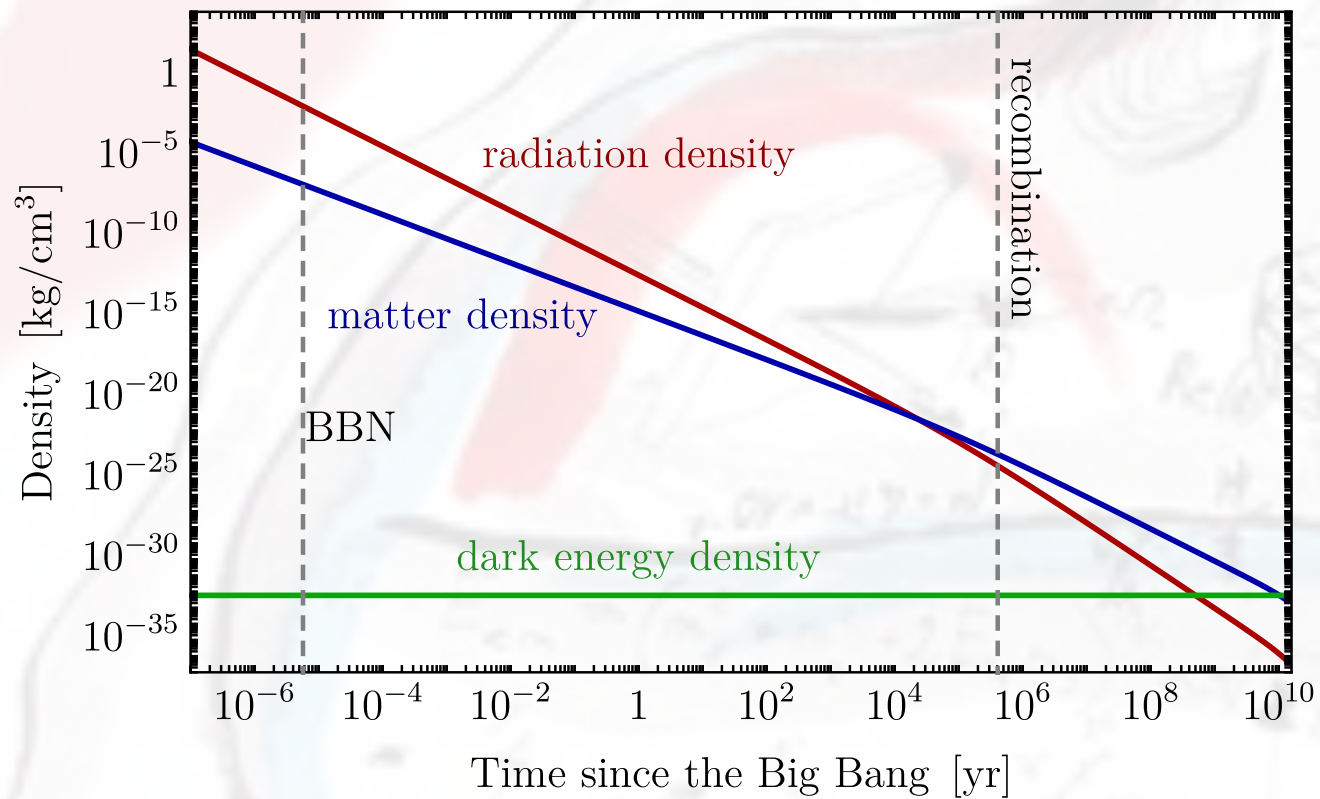
Altro?

**INFN (exp.)**  
**Euclid**  
**Archimedes**



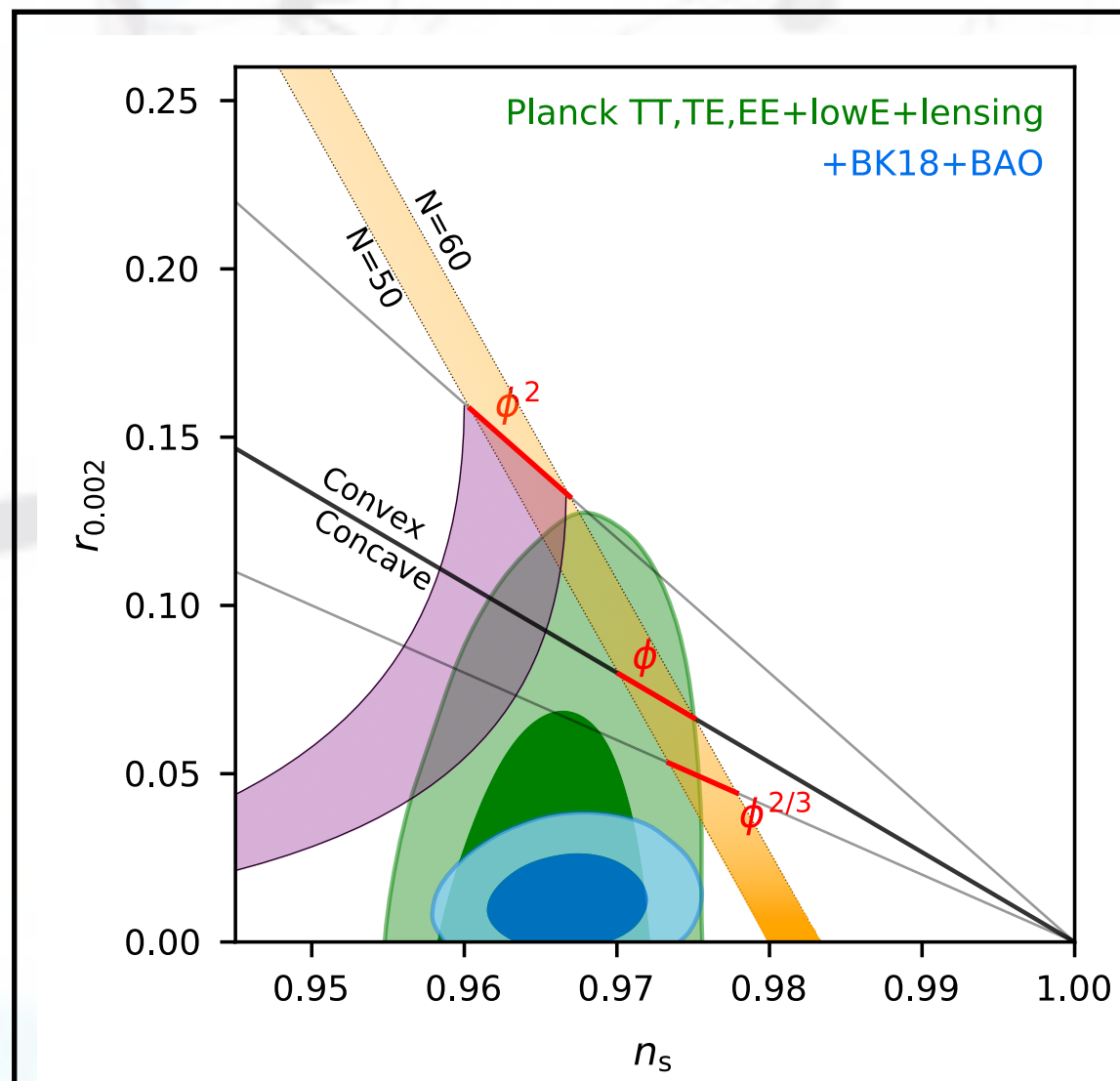
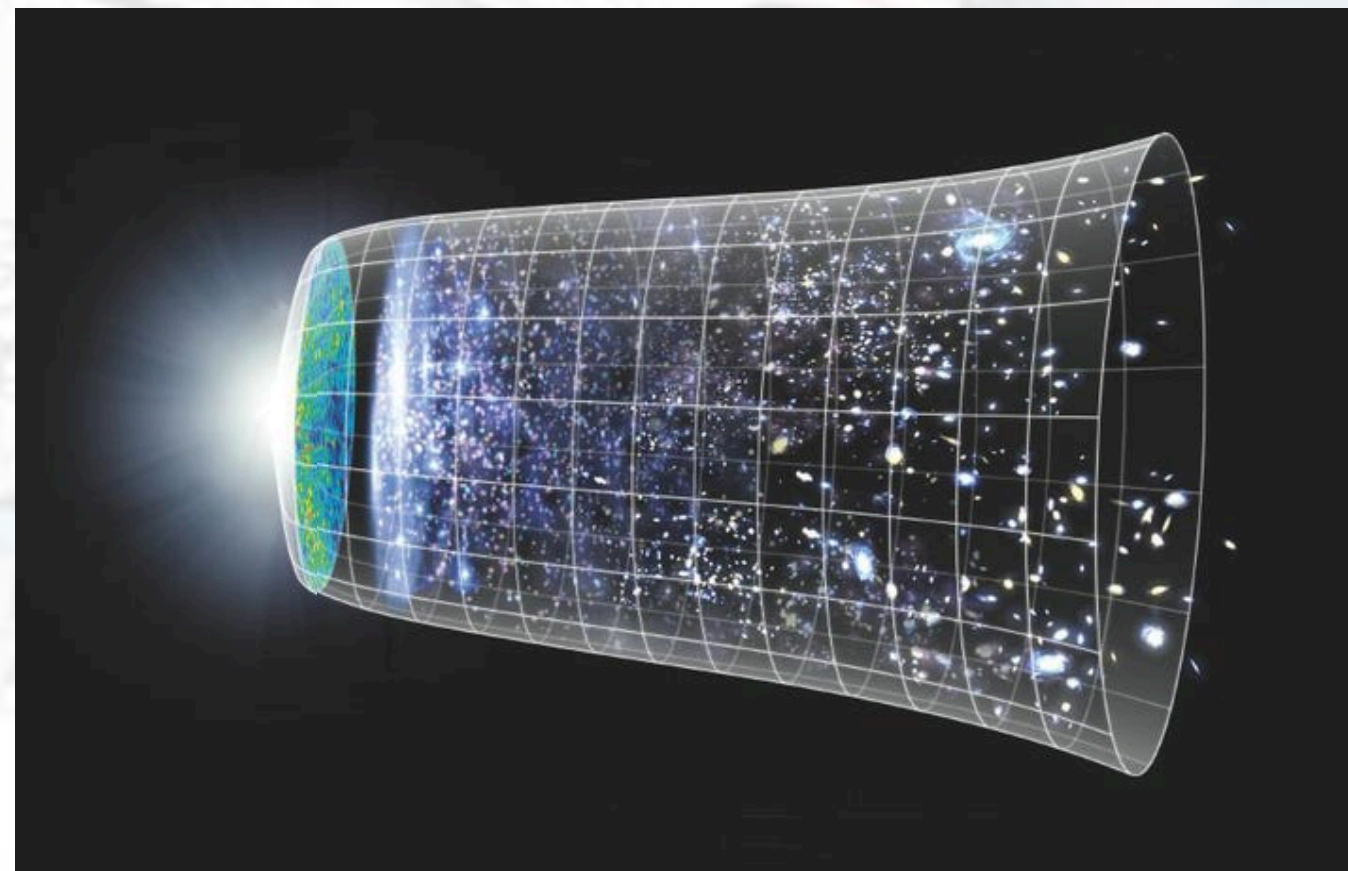
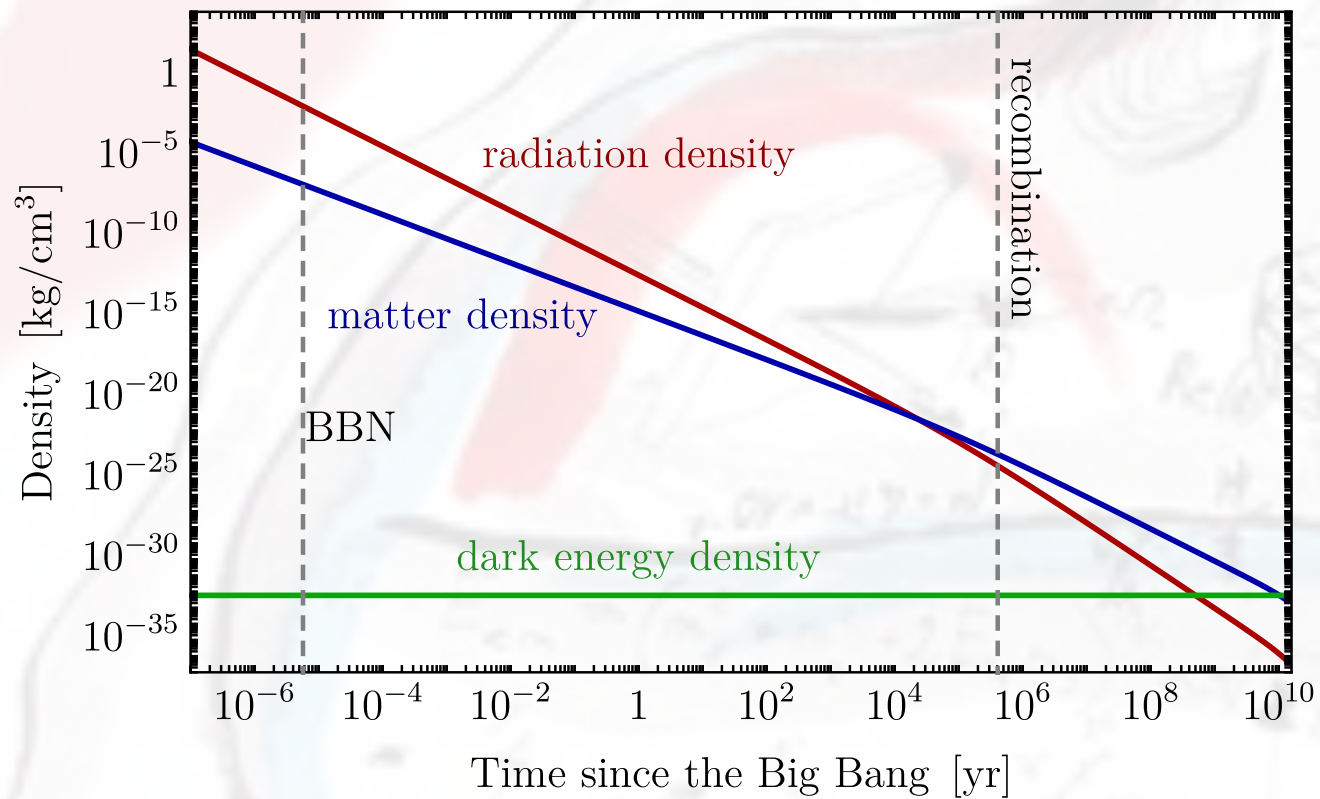




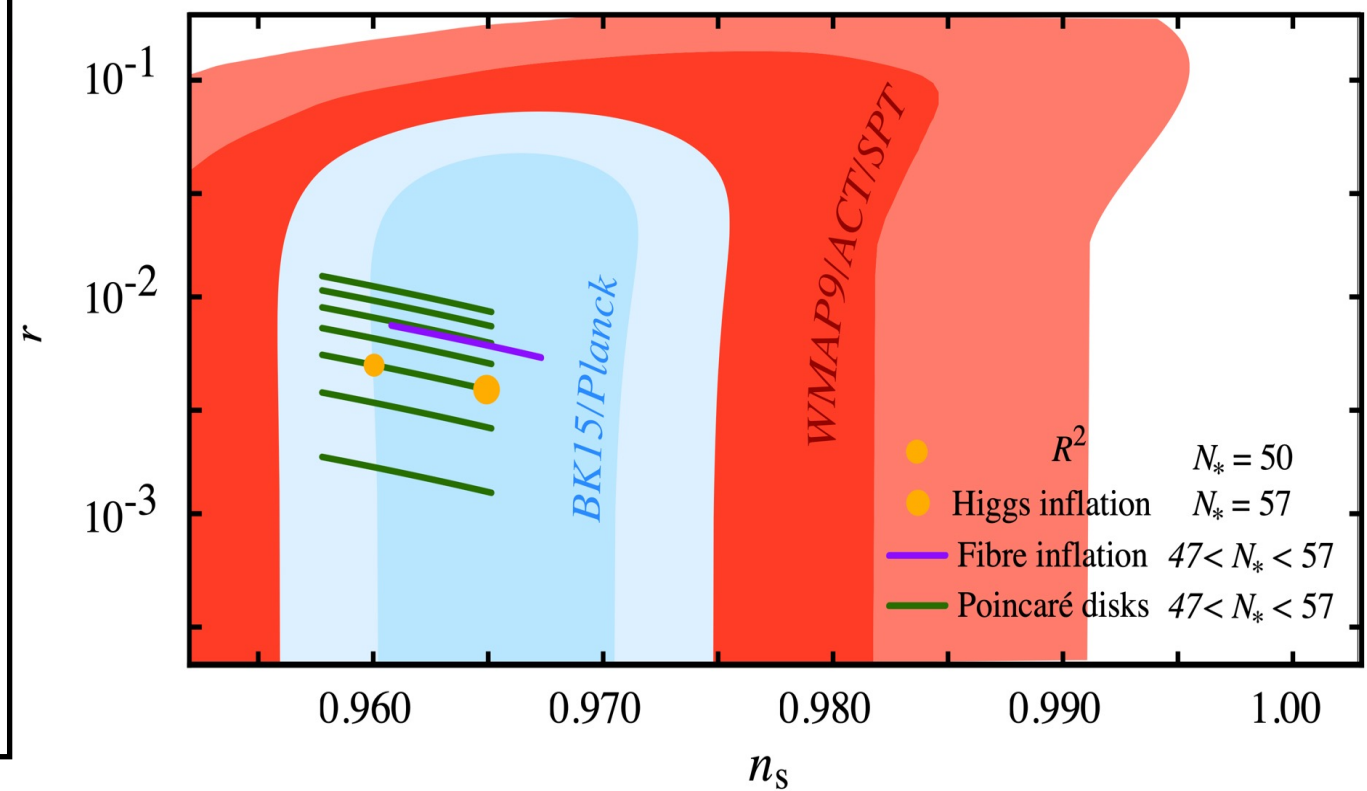


**INFN**  
**(theory & pheno)**  
**N. Bartolo**  
**S. Matarrese**  
**A. Riotto**  
**+ many others**





**INFN (exp.)**  
**LiteBIRD**





# Dal 2022 al...?

**Molte delle domande più fondamentali della fisica sono legate alla nostra comprensione e descrizione dell'Universo su scale galattiche, extra-galattiche e cosmologiche.**

**La strategia dell'INFN ha le potenzialità per aiutare a dipanare la matassa dei modelli teorici costruibili sulla base delle odierne osservazioni sperimentali.**

*Non est ad astra mollis e terra via.*

[Non esiste una via facile che dalla terra porti alle stelle.]

Seneca, “Hercules furens.”

1951  
2021

inf



# Supplementary material

