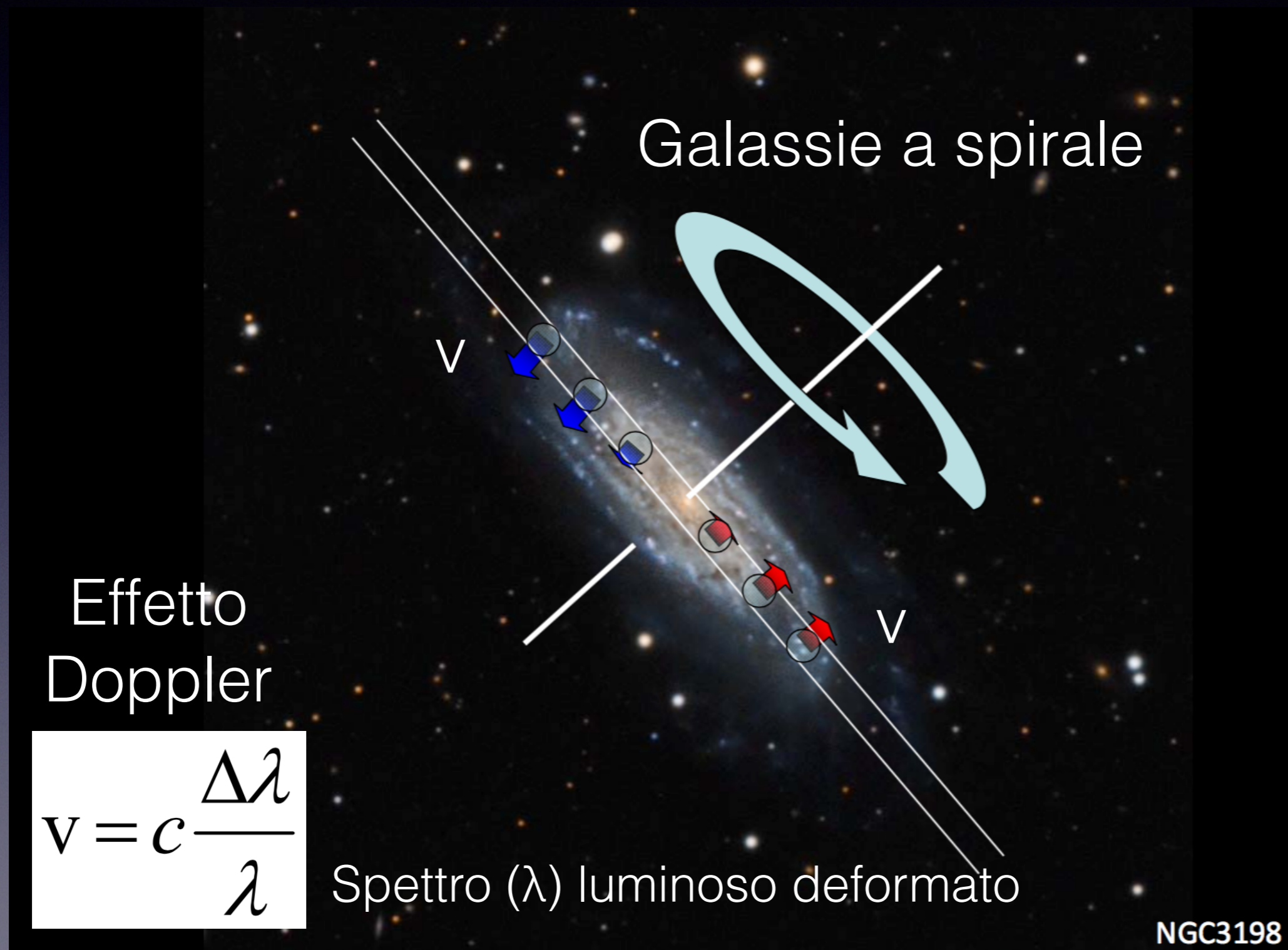


Vedere l'invisibile: la materia oscura

Gianluca Cavoto (INFN Roma)

Seminari di Orientamento alle attività dell'INFN
per studenti del Dipartimento di Fisica

Velocità delle stelle in una galassia



Cosa dice Newton?

- Luminosità (ed età) di una stella
-> massa della stella
- Massa totale “visibile” della galassia fino a raggio r :

$$M(<r) \sim r^3$$

velocità di una
stella a distanza
 r

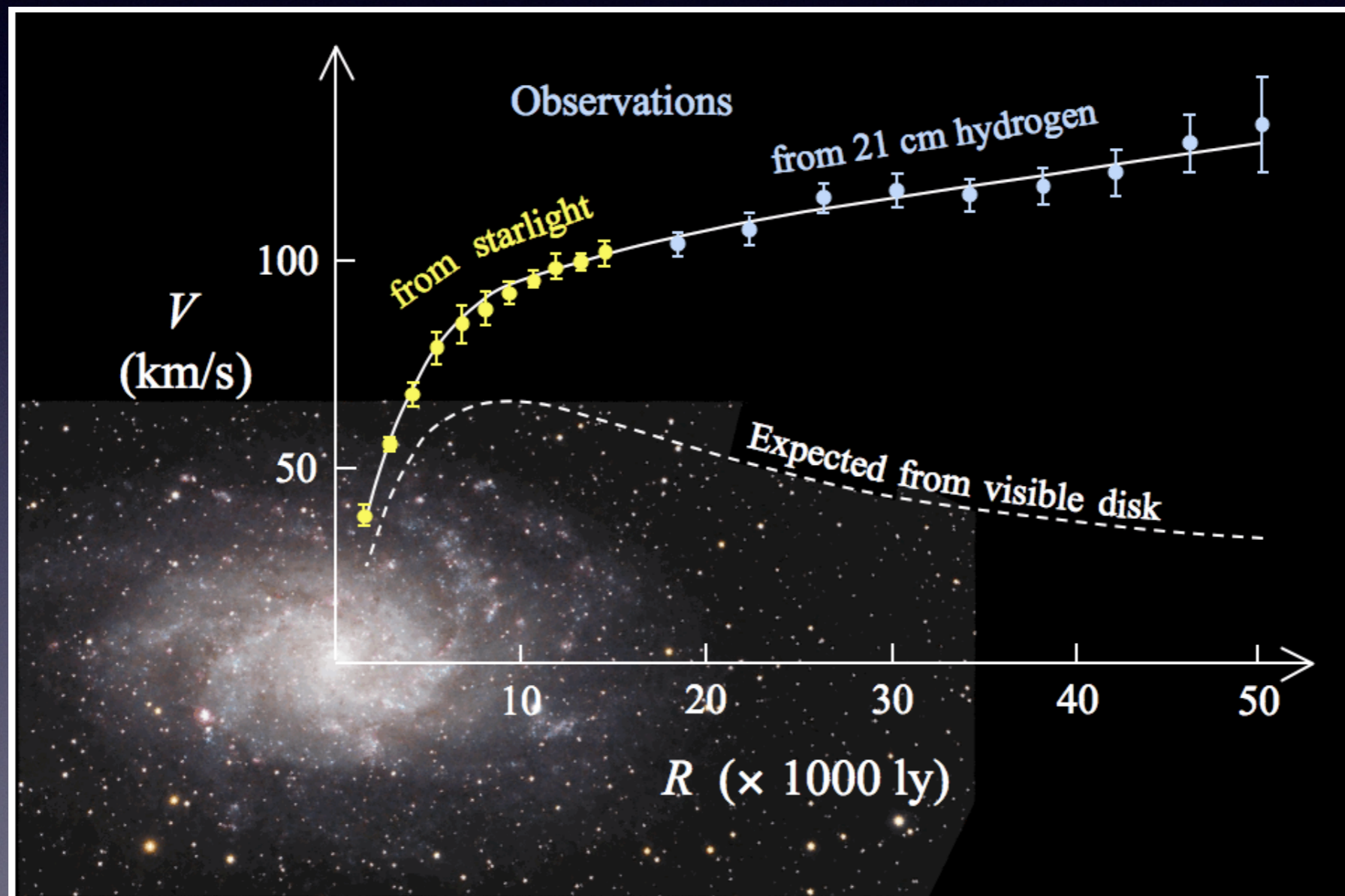
$$v = \sqrt{\frac{GM(<r)}{r}}$$

*densità con
simmetria sferica*

Le stelle sono fatte di materia ordinaria (“barioni”)

(occorre aggiungere il gas interstellare ma anche questo è “luminoso” -
si misura con assorbimento/emissione di radiazione elettromagnetica)

Stelle troppo veloci !?!



Due possibilità

- **(I)** La massa di una galassia è principalmente contenuta in un **alone sferico invisibile** con un raggio maggiore del raggio “visibile” e con **densità $\rho(r) \sim 1/r^2$** . **Dunque:**

$$M(< r) = \int_0^r 4\pi r^2 \rho(r) dr \propto r$$

→

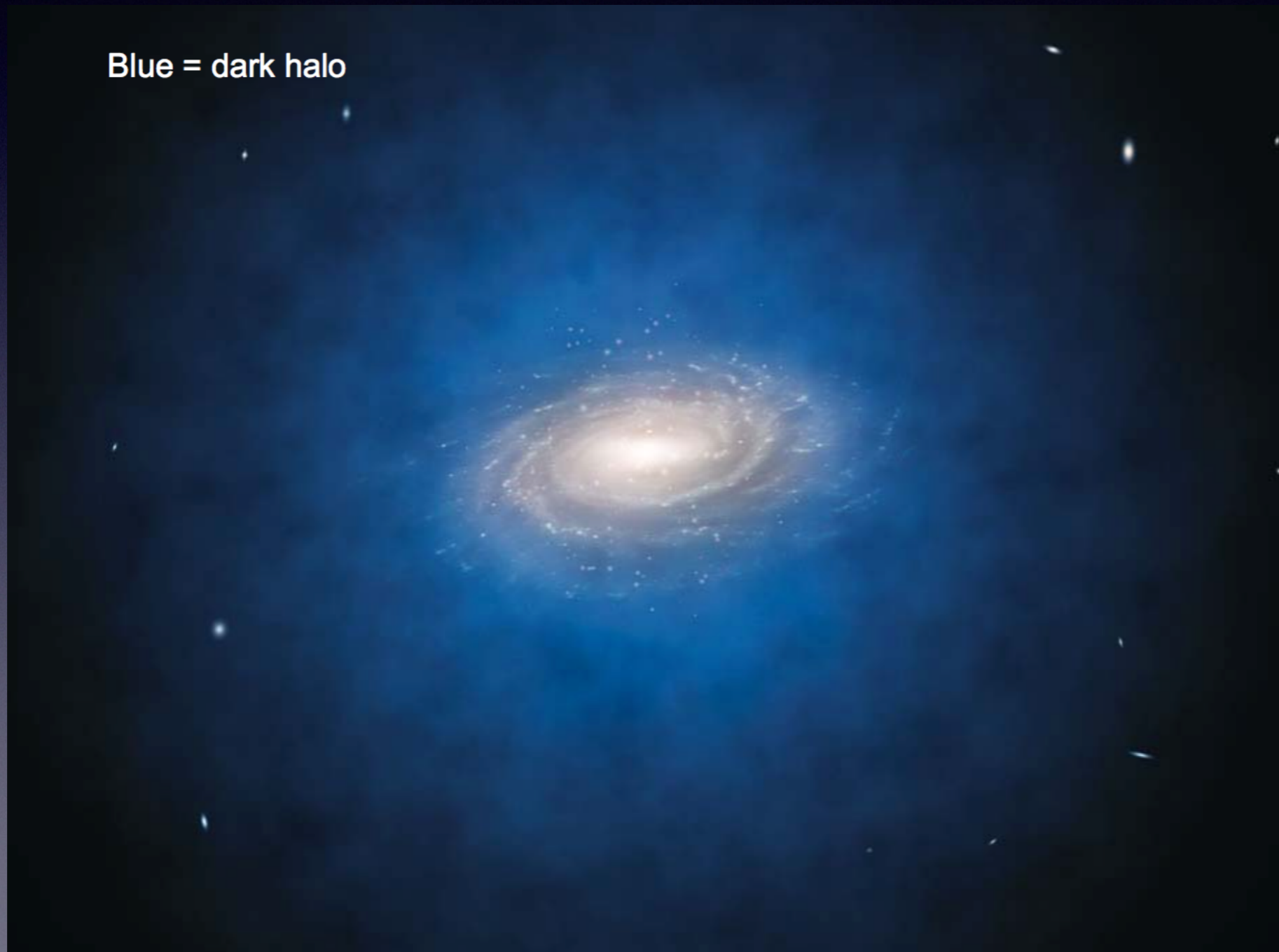
$$v(r) = \sqrt{\frac{GM(< r)}{r}}$$

Costante !

- **(II)** la gravità di Newton non funziona in certe condizioni estreme (teorie MOND e non solo)

L'alone galattico oscuro

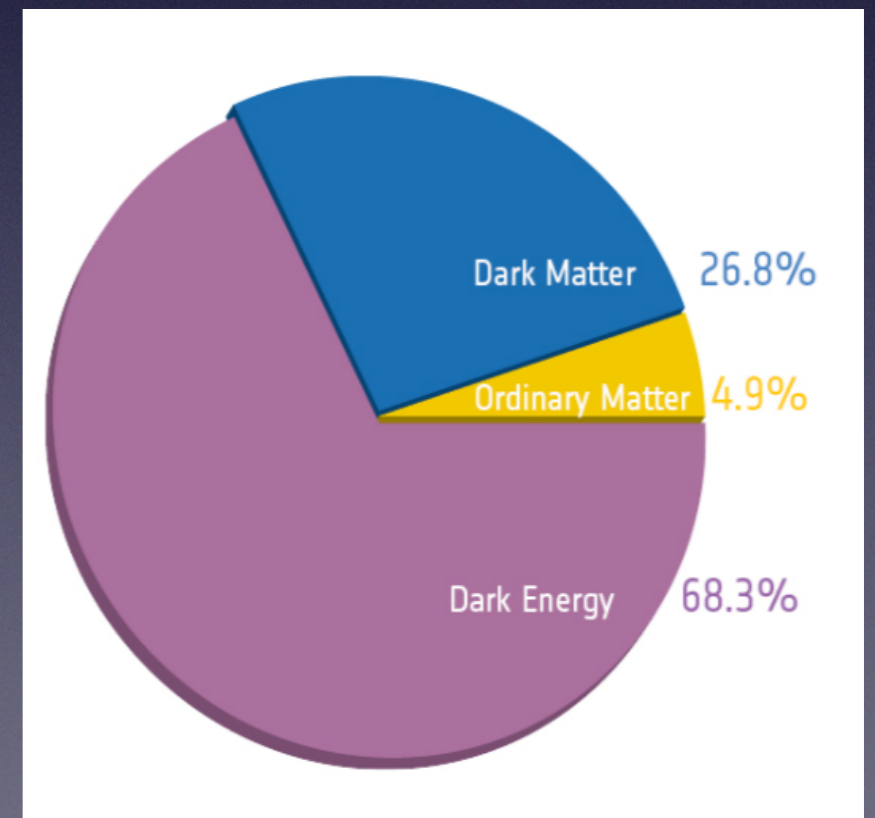
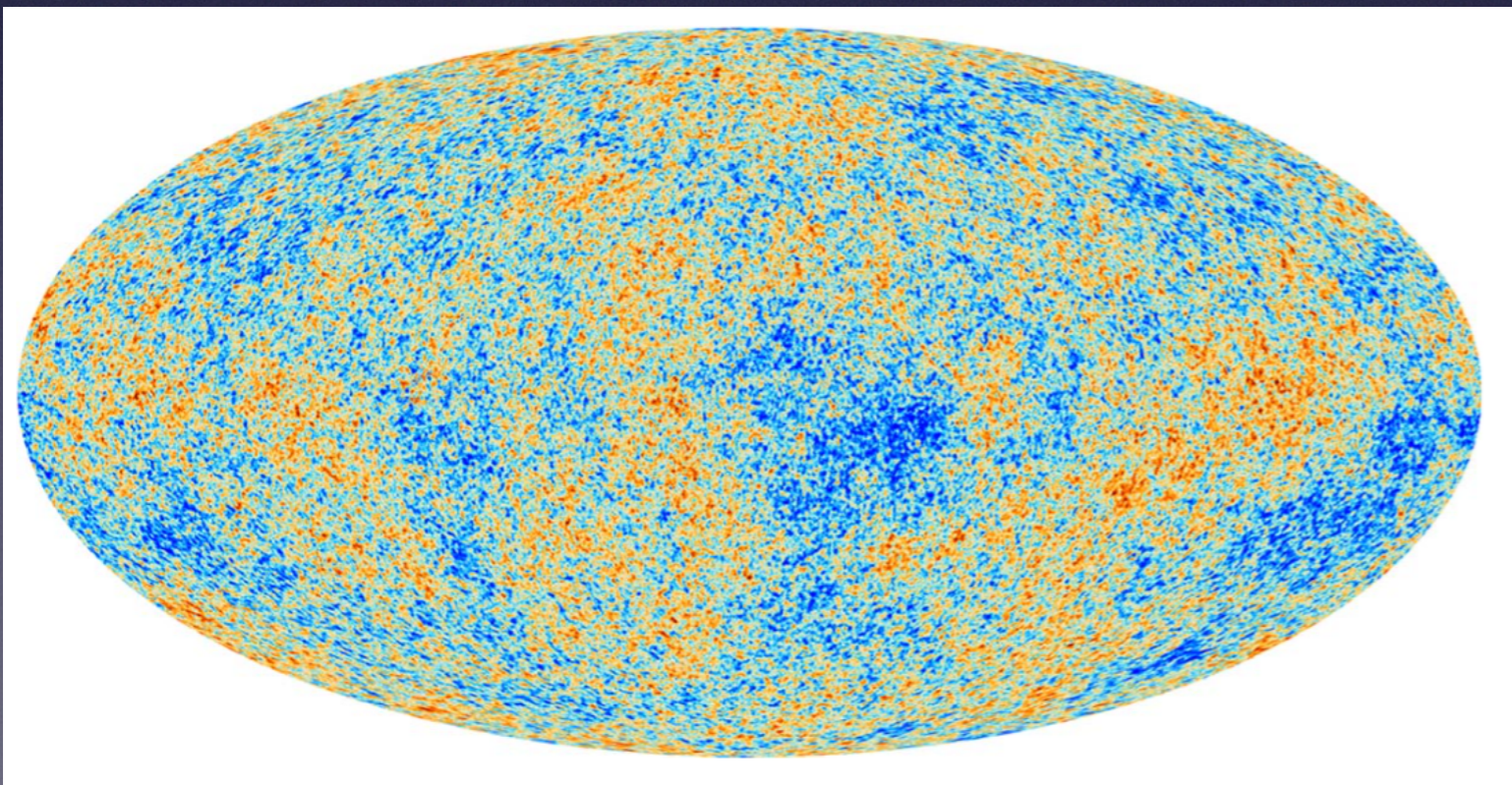
- Come ce lo immaginiamo



Altre Evidenze

- Gravitational lensing, clusters di galassie, distribuzione angolare delle microonde della radiazione di fondo cosmica

massa dell'Universo



La materia oscura

una delle ipotesi, la più popolare

- E' un relitto dell'universo primordiale.
- Sono particelle stabili
(non decadono in altre particelle)
- E' costituita da particelle pesanti
(100 GeV : ~100 x un protone)
- Interagisce con la materia ordinaria
ma molto poco (non molto di più dei neutrini)

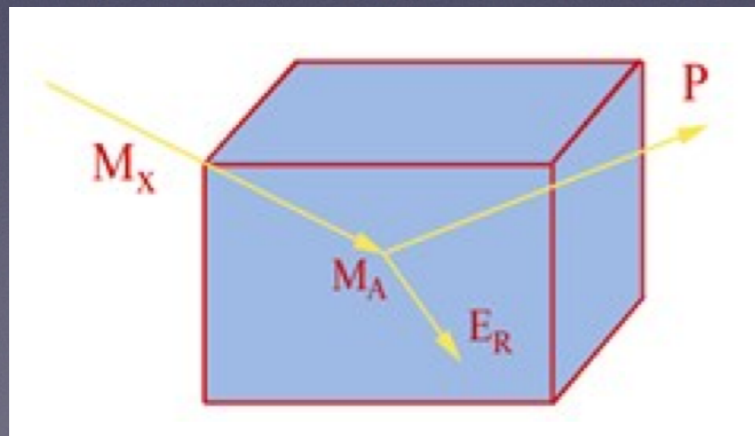
Weakly **I**nteracting **M**assive **P**articles

Come la vediamo?

- Sappiamo davvero poco del meccanismo di interazione
- Tuttavia: $v_{WIMP} \sim 200$ km/s (come le stelle)
- La materia del rivelatore è fatta di nuclei con $M \sim 10-100$ GeV

Urto non-relativistico

di due biglie di massa simile: il nucleo rincula!



Si cercano
rinculi *lenti* di nuclei
(e nient'altro...)

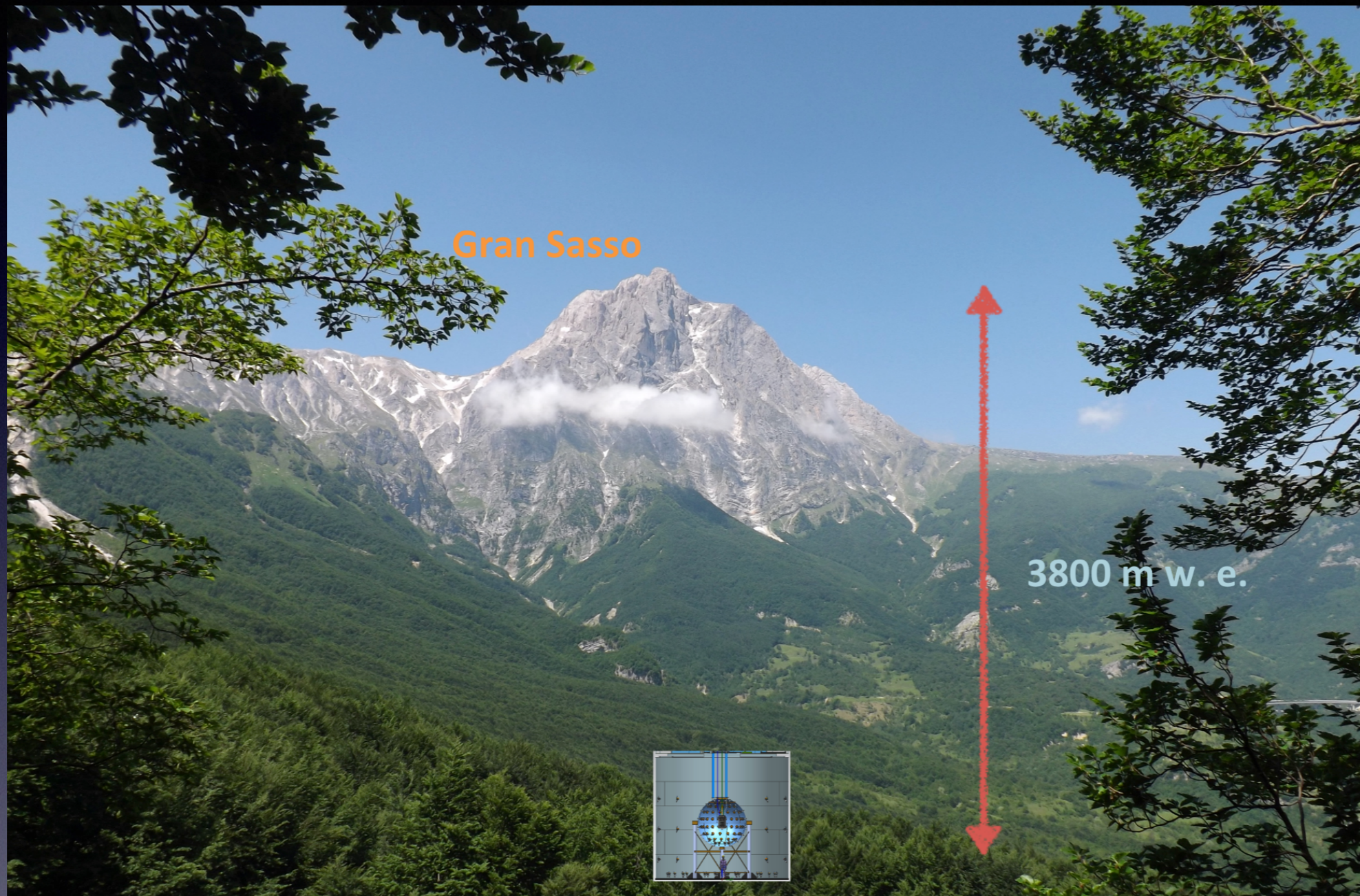
Bersagli massivi

- La materia oscura interagisce poco e dunque gli eventi di rinculo sono rari.



- Bisogna accumulare molti nuclei-bersaglio: rivelatori pesanti tonnellate!

I laboratori del Gran Sasso dell'INFN



- La roccia fa da schermo ai raggi cosmici: indurrebbero eventi simili a quelli di interazione di WIMP!

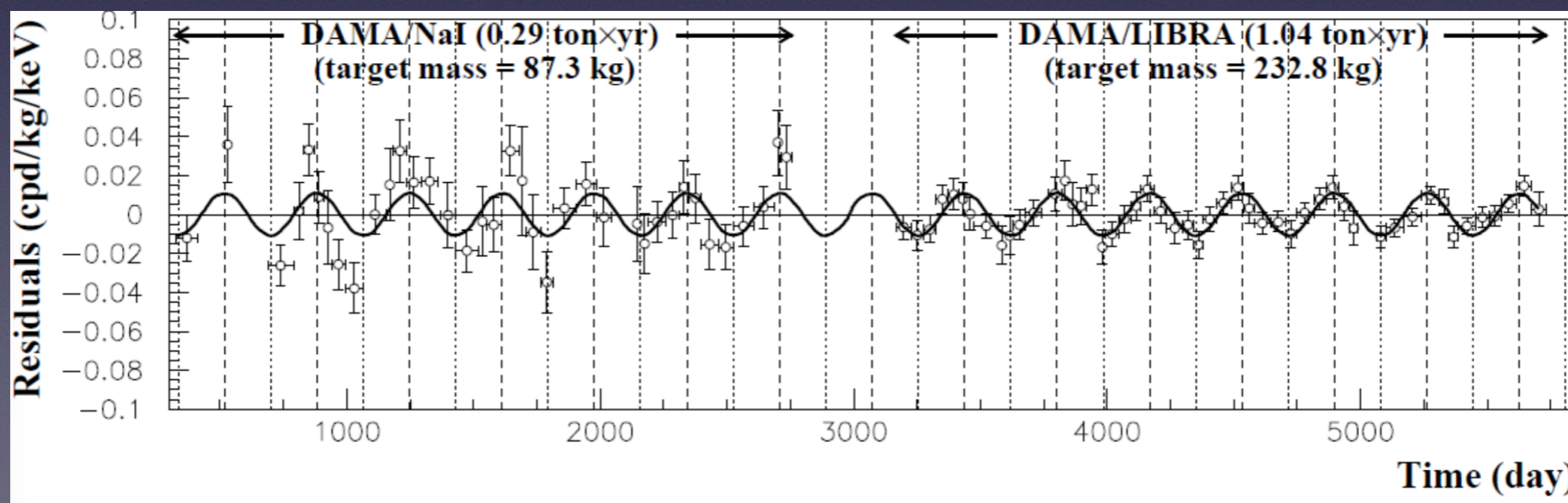
Radiopurezza



- Vanno usati materiali il più possibili privi di elementi radioattivi (che possono mimare l'interazione della materia oscura nel rivelatore)

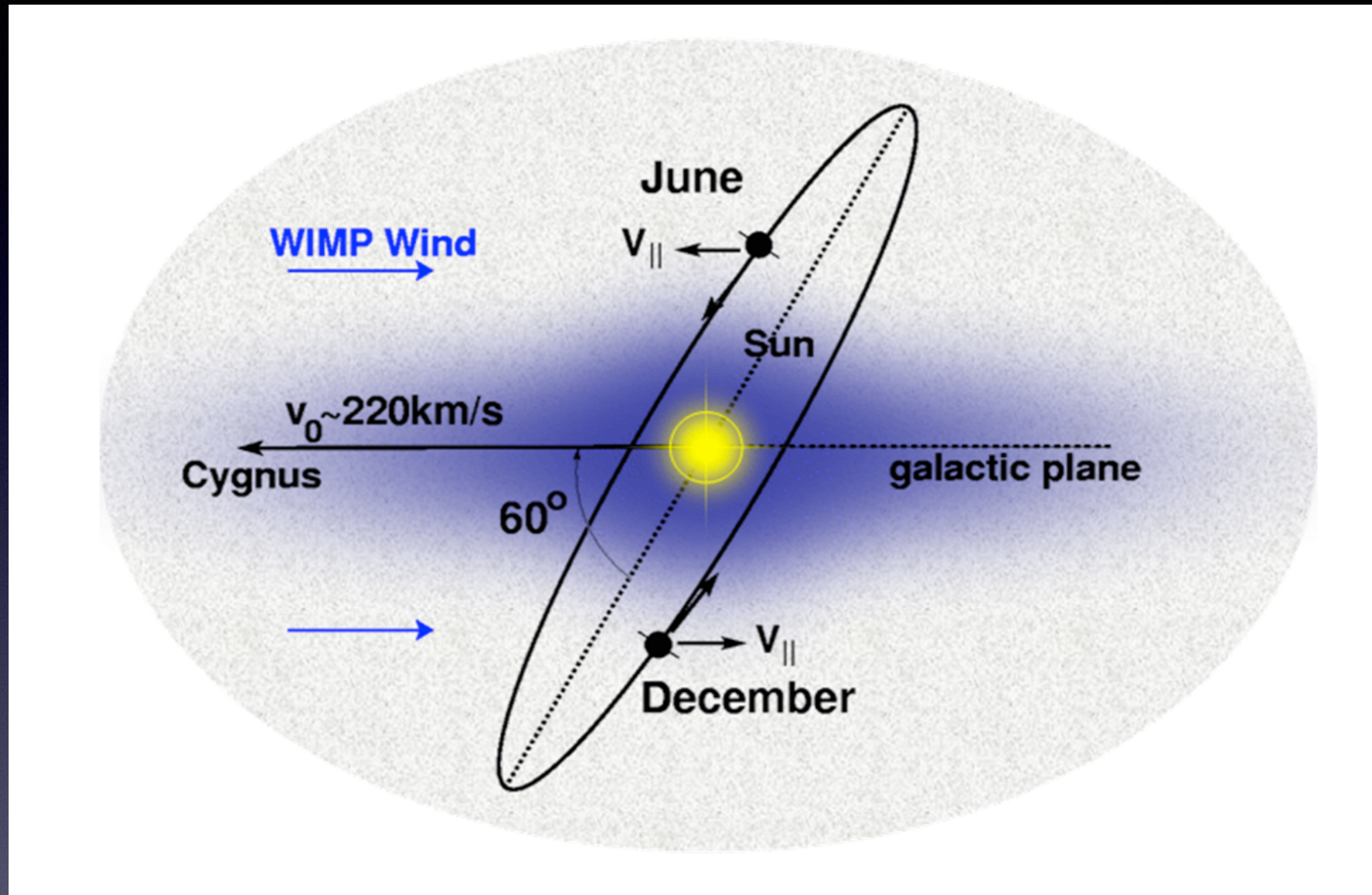
Il Risultato di DAMA

- Cristalli ***scintillanti*** (ioduro di sodio con tallio) nella caverna del Laboratorio Naz. del Gran Sasso
- il rinculo nucleare ionizza gli atomi e l'eccitazione atomica si manifesta in luce visibile con fotomoltiplicatori: misura dell'energia cinetica dei rinculi
- Si contano questi eventi di rinculo in funzione del tempo (giorno)



Ciclo con periodo annuale !

Vento di WIMP



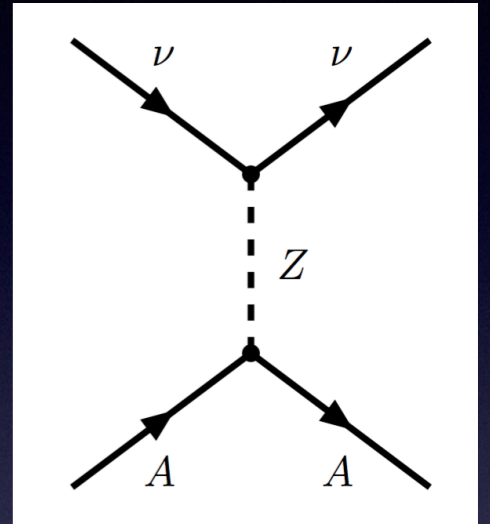
- La Terra si muove intorno al Sole e insieme al Sole si muove verso la costellazione del Cigno: “vento” apparente di WIMP

Dove siamo

- Molti altri esperimenti sono stati condotti o sono in corso per vedere rinculi su nuclei diversi (cristalli di Si o Ge, liquidi nobili come Xe e Ar, ...)
- Si usano tecniche sofisticate per rivelare i rinculi (fononi, ionizzazione, scintillazione,...) in ambienti criogenici, con uso di superconduttori...
- Si aumenta **l'esposizione** (tempo acquisizione x massa bersaglio) per essere sensibili a interazioni sempre più flebili.
- Tranne DAMA, nessun altro esperimento ha segnali positivi
- Alcuni ritengono che DAMA non stia osservando rinculi dovuti alla materia oscura: nuovo esperimento con tecnica simile anche nell'altro emisfero della Terra

Dove andiamo

- Crescere l'esposizione ci porterà a osservare il fondo dei neutrini solari
- diffusione coerente di neutrini su nucleo produce rinculo nucleare
- Flusso dei neutrini e loro direzione ben nota!
- Per potere escludere questo fondo occorre misurare anche la *direzione dei rinculi*



Nuove idee

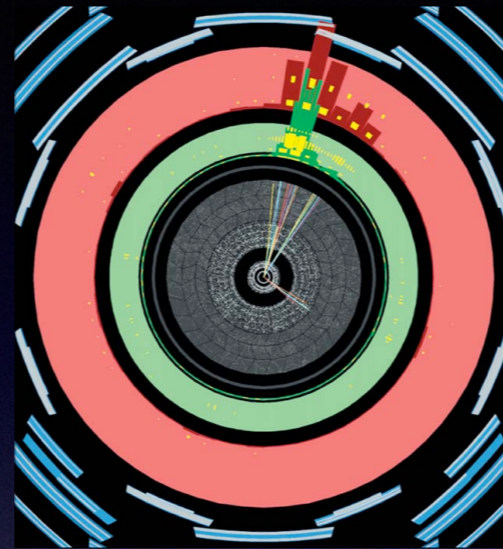
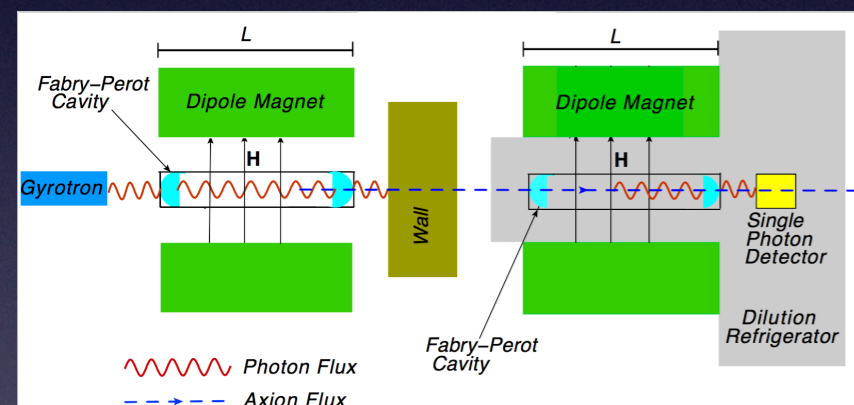
- I rivelatori tradizionali potrebbero non bastare per vedere e studiare la materia oscura
- Occorre però lavorare di fantasia per trovare nuovi modi di vederla.
- La fisica della materia condensata può fornire nuovi bersagli o nuovi metodi per la rivelazione (nanostrutture, superconduttori, superfluidi,...):

Spazzole di nanotubi di carbonio per “filtrare” i rinculi in base alla direzione

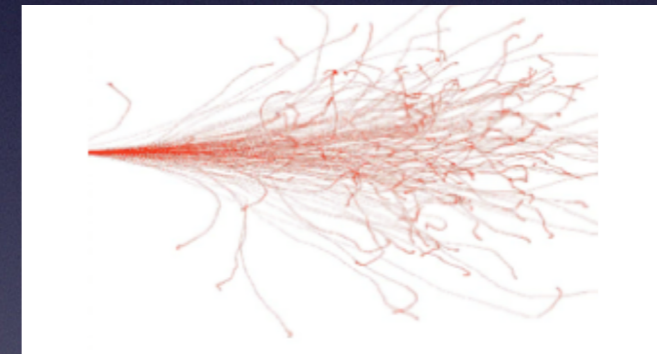
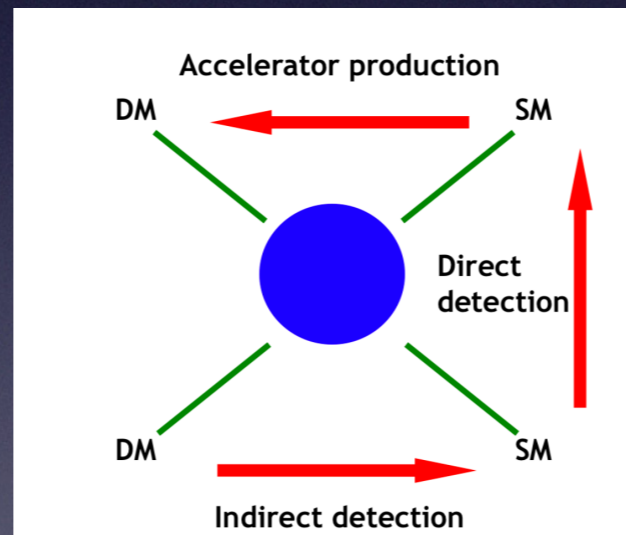


Altre ipotesi, altri esperimenti

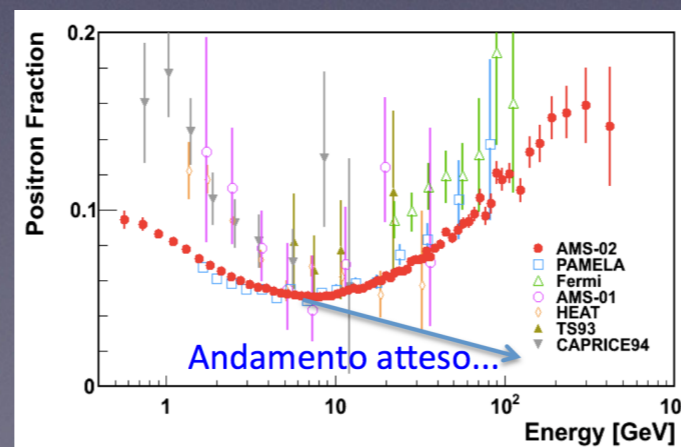
Assioni
(light-shining-thru-wall)



LHC monojet



Rincoli
in gas



Antimateria
nei raggi cosmici

Vedere l'invisibile

- L'astrofisica e la cosmologia ci insegnano che l'universo è pervaso di materia che non emette luce.
 - **Sappiamo che la materia oscura c'è.**
- Sappiamo meno bene come trovarla.
 - **Potrebbe essere uno di voi ad avere l'idea giusta.**
- Senz'altro uno dei grandi interrogativi (forse il più grande) della fisica odierna.

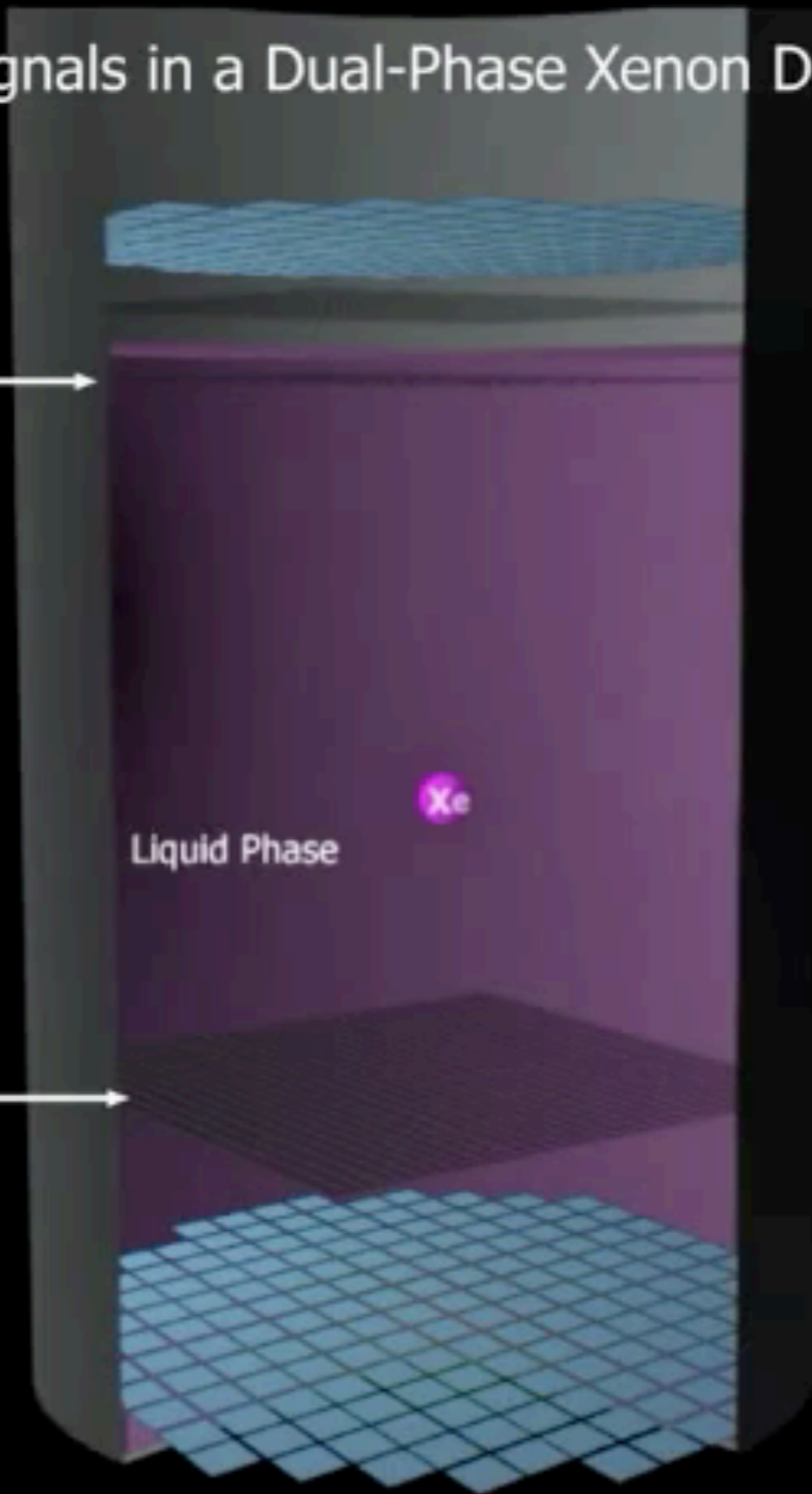
WIMP Signals in a Dual-Phase Xenon Detector

Anode
Grid

Liquid Phase

Xe

Cathode
Grid



Approfondimenti

- Cicli di seminari INFN su rivelazione materia oscura:
 - <https://agenda.infn.it/conferenceDisplay.py?confId=7236>
 - <https://agenda.infn.it/conferenceDisplay.py?confId=7510>
 - <https://agenda.infn.it/conferenceDisplay.py?confId=7807>
 - <https://agenda.infn.it/conferenceDisplay.py?confId=9366>