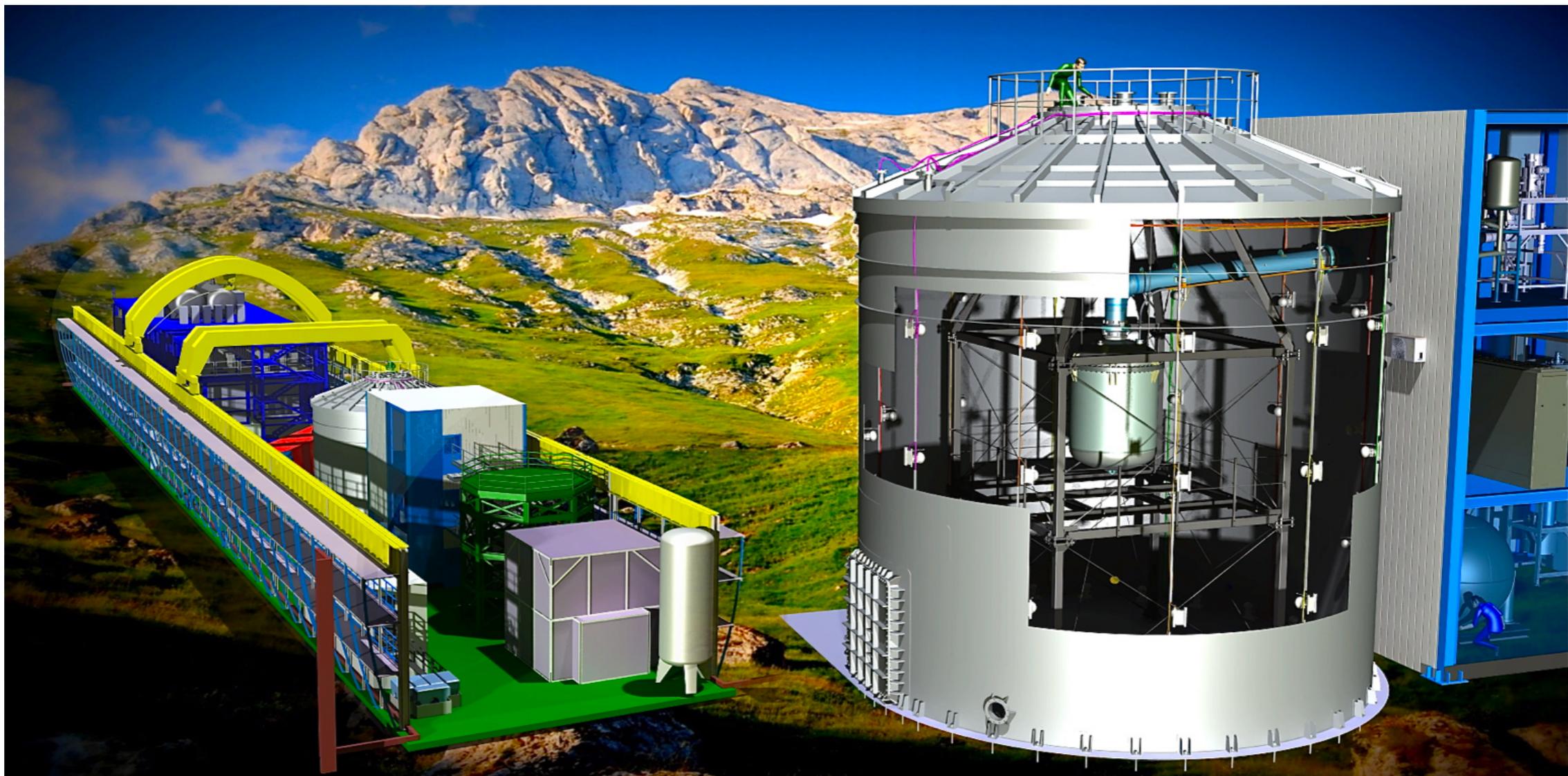


# Ricerca diretta di Dark Matter un modo singolare di studiare l'Universo

Marcello Messina LNGS and Università di Roma La Sapiena  
PID at LNGS

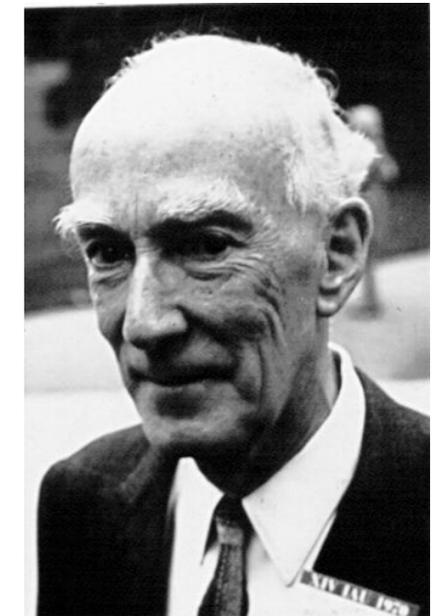


# Di tanti modi ne racconto uno

## Ricerca diretta di Dark Matter

### La storia

- **1922: Jacobus Kapteyn** ha coniato il nome *'dark matter'*. Nei suoi studi sul moto stellare realizzò che la Via Lattea ruotava, contrariamente alla credenza comune secondo cui le stelle si muovessero di moto casuale. (Lui pensò che ci fosse della materia oscura intorno al Sole, cosa che più tardi si rivelò non essere vera.)
- **1932: Jan Oort** determinò il centro di rotazione della Via Lattea e dimostrò che non era il sole. Lui asserì che ci fosse più materia oscura che visibile nella vicinanza del Sole. (Più tardi tale ipotesi risultò errata)
- **1933: F. Zwicky** trovò la *'Dunkle Materie'* nel cluster di galassie chiamato Coma-cluster. Lo "shift" Doppler verso il rosso dello spettro di emissione delle galassie era molto maggiore di quello previsto anche solo dalla velocità di fuga determinata dalla massa visibile.



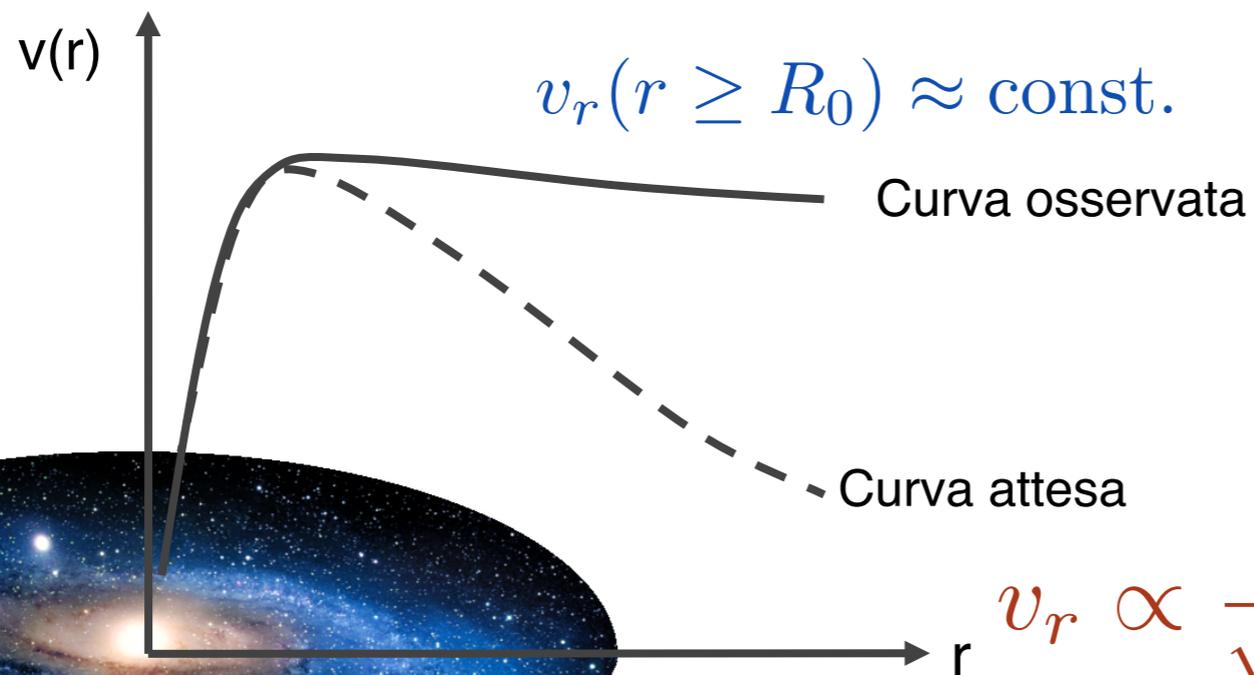
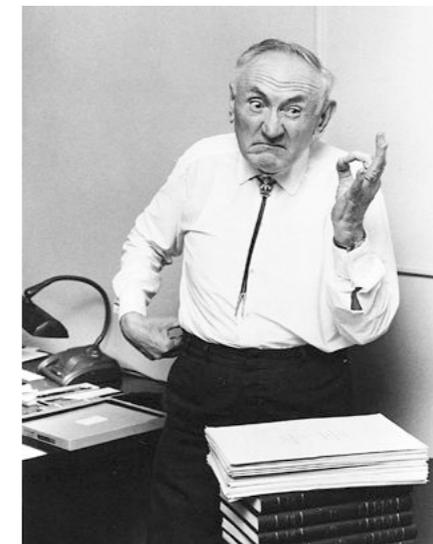
Rotverschiebung extragalaktischer Nebel.

125

Um, wie beobachtet, einen mittleren Dopplereffekt von 1000 km/sek oder mehr zu erhalten, müsste also die mittlere Dichte im Comasystem mindestens 400 mal grösser sein als die auf Grund von Beobachtungen an leuchtender Materie abgeleitete<sup>1)</sup>. Falls sich dies bewahrheiten sollte, würde sich also das überraschende Resultat ergeben, dass dunkle Materie in sehr viel grösserer Dichte vorhanden ist als leuchtende Materie.

# Dark Matter: una breve storia

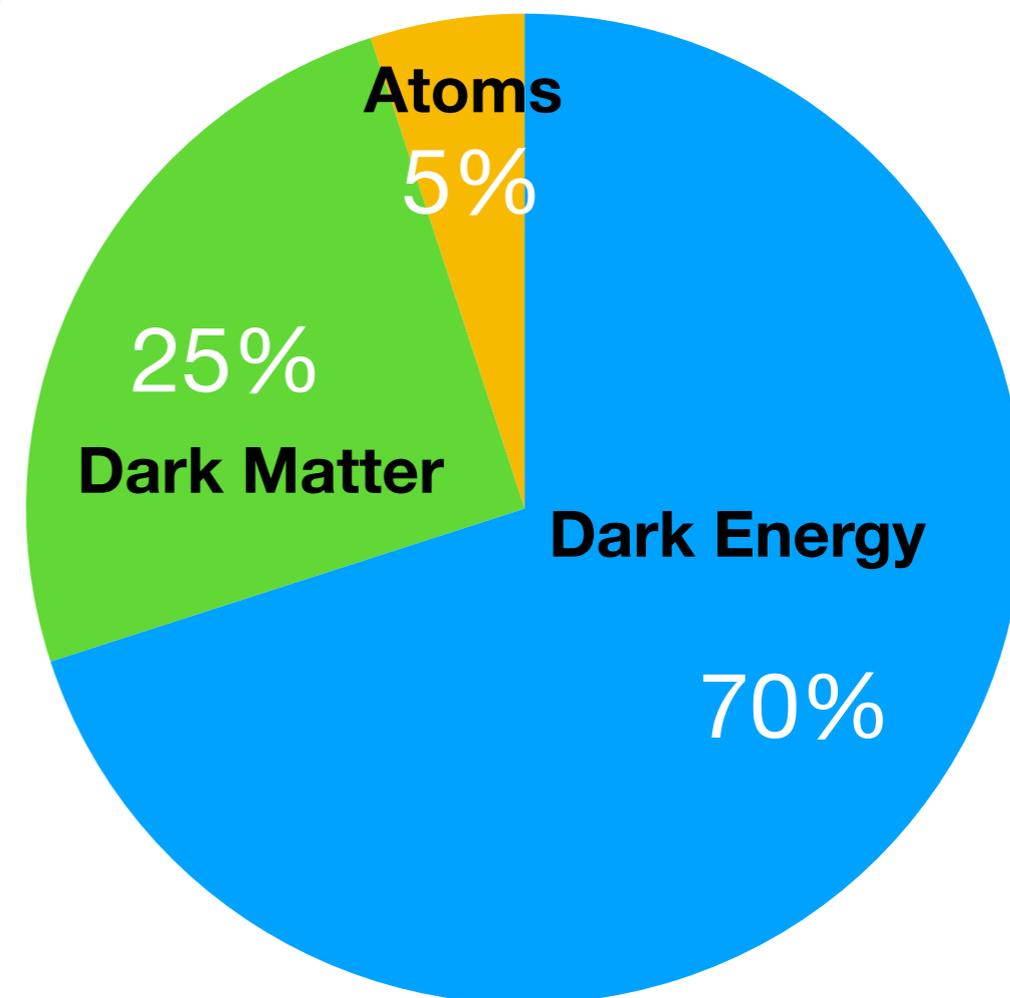
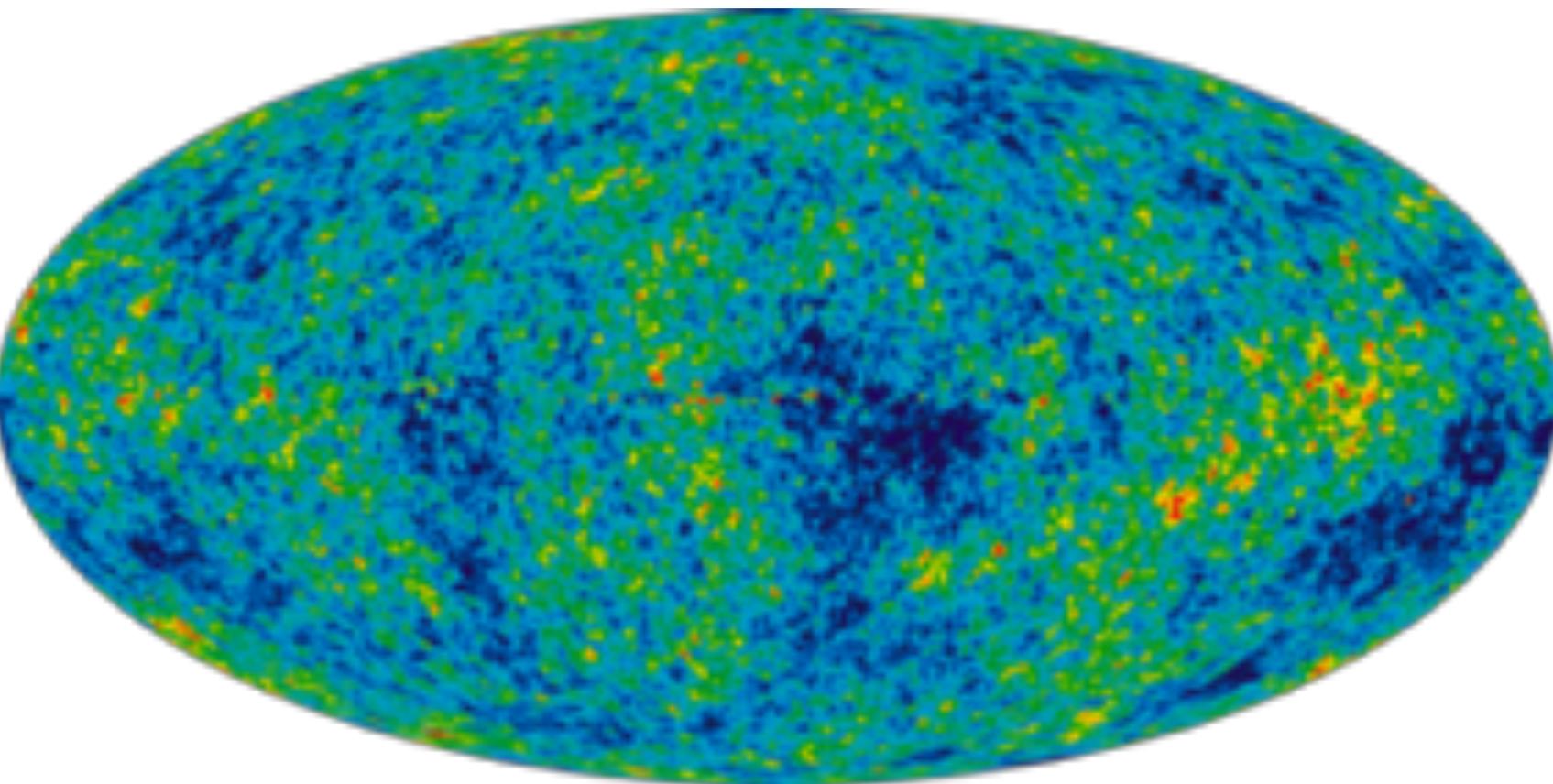
- **1970s:** V.C. Rubin & W. Ford: Misura ottica della curva di rotazione delle galassie a spirale.



$$\implies M_r \propto r$$

# Evidenze della Dark Matter

Istantanea dell'Universo scattata 350.000 y dopo il Big Bang

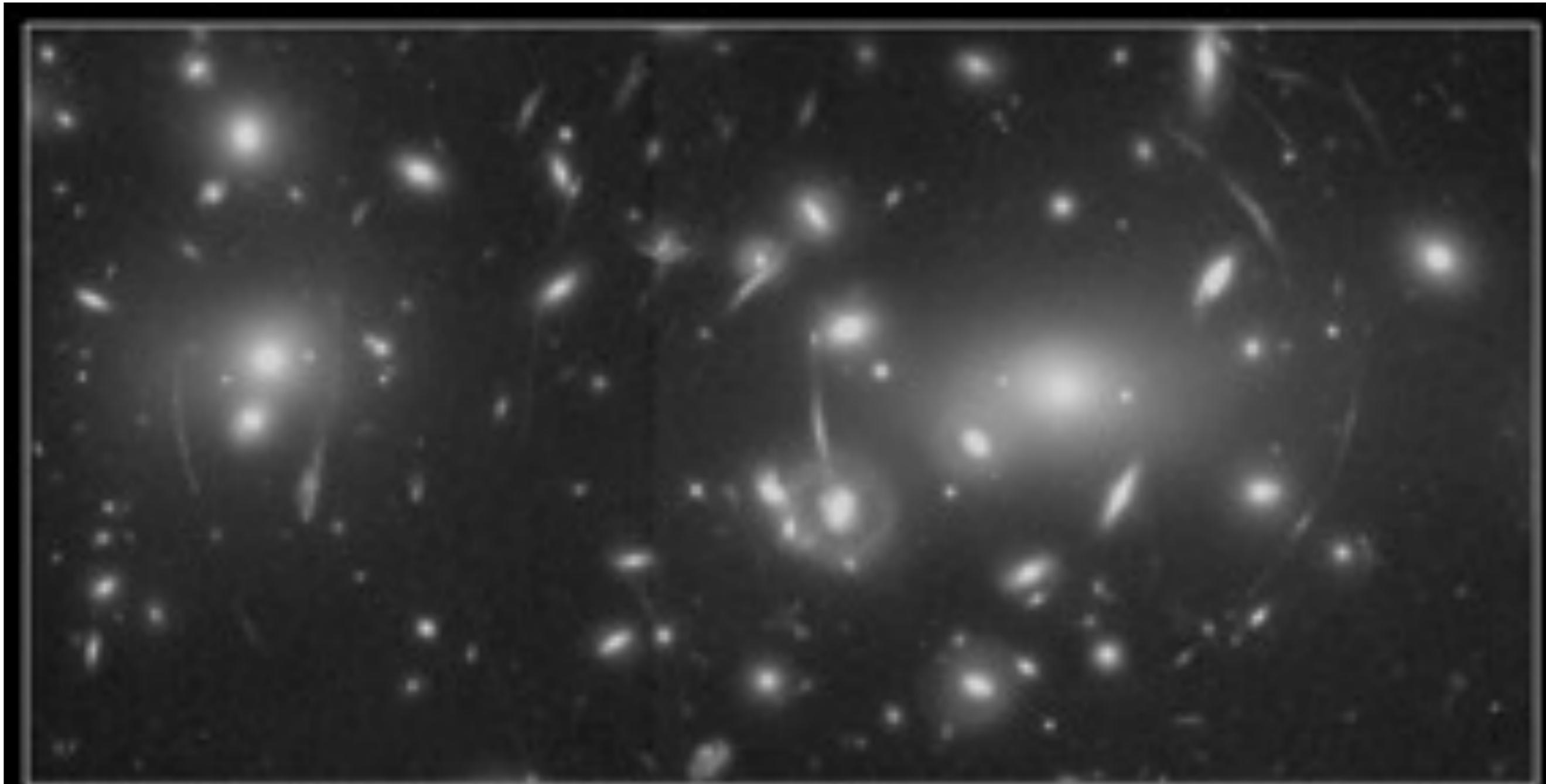


## Ammassi di Galassie che si scontrano.

I profili di potenziale gravitazionale ci dicono che c'è molto di più della materia visibile

# Ammassi di Galassie che si scontrano.

I profili di potenziale gravitazionale ci dicono che c'è molto di più della materia visibile



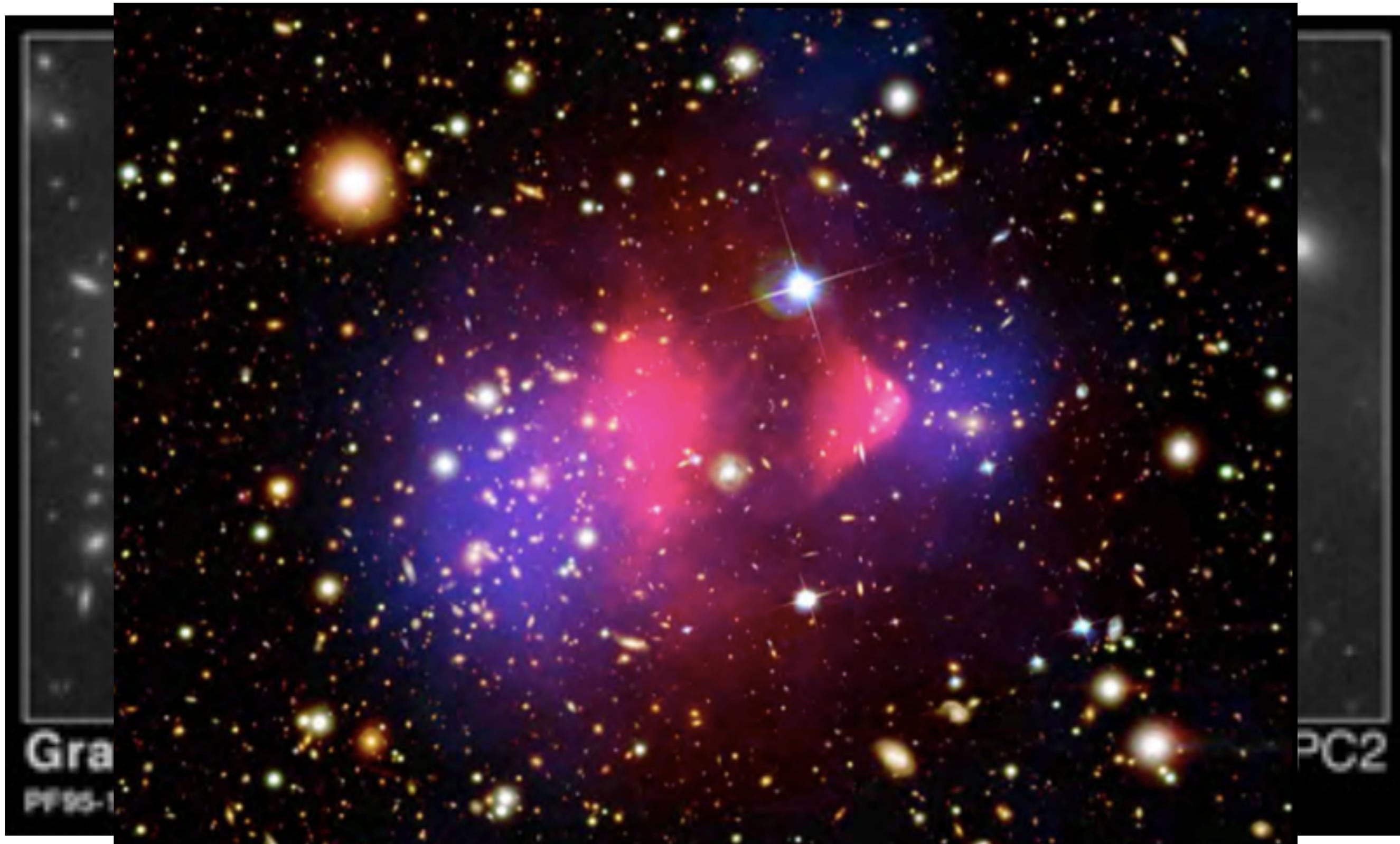
**Gravitational Lens in Abell 2218**

**HST · WFPC2**

PF95-14 · ST ScI OPO · April 5, 1995 · W. Couch (UNSW), NASA

# Ammassi di Galassie che si scontrano.

I profili di potenziale gravitazionale ci dicono che c'è molto di più della materia visibile

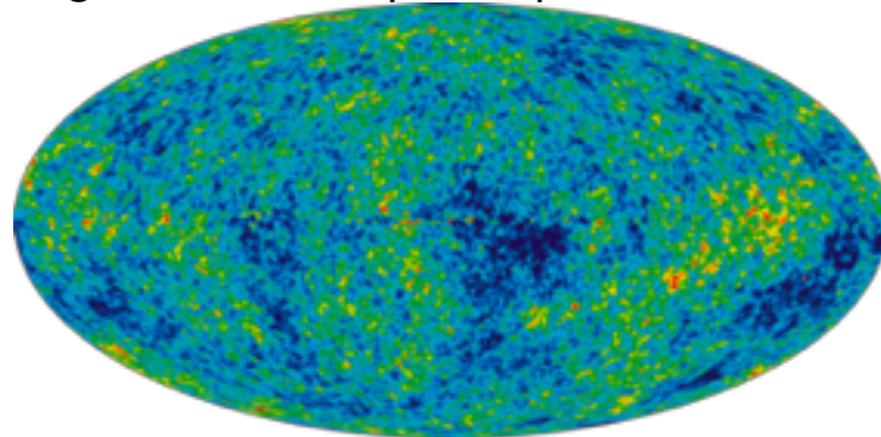


# Formazione di galassie e di ammassi

Senza la Dark Matter l'Universo che conosciamo non si sarebbe potuto formare.

Misure recenti testimoniano che le galassie si sono formate 600.000.000 di anni dopo il Big Bang. Troppo pochi perché le piccole instabilità gravitazionali primordiali possano dar luogo alle galassie.

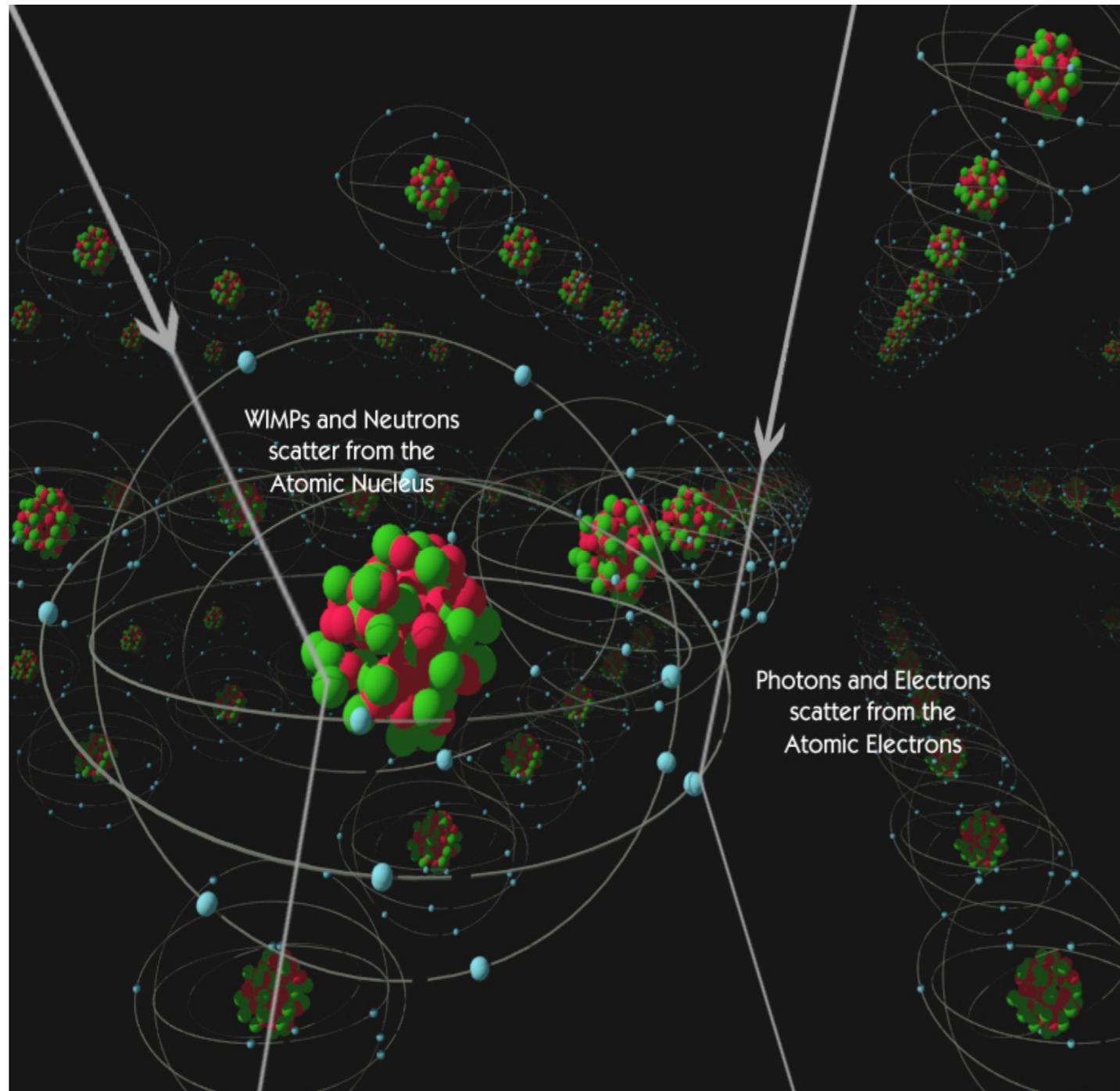
Istantanea dell'Universo presa 350.000 y dopo il Big Bang  
immagine troppo uniforme per spiegare la formazione delle  
galassie in tempi compatibili con le misure



C'è bisogno di qualcosa di più pesante che faccia cadere la materia ordinaria in una forte buca di potenziale. Il numero di protoni e di elementi primordiali ( $^2\text{H}$ ,  $^4\text{He}$ ,  $^3\text{He}$ ,  $^7\text{Li}$ ) pongono dei limiti molto forti a quanta materia adronica ordinaria ci sia nell'Universo. E i neutrini? Potrebbero risolvere il problema della buca di potenziale? No, sono troppo leggeri. L'unica soluzione è la presenza di materia non della famiglia dei protoni e che sia sufficientemente pesante per giustificare la formazione delle galassie in tempi tanto brevi.

**Siamo convinti?? Andiamo a cercarla!!**

# Direct detection principle



## Collisioni di particelle invisibili con i nuclei atomici

REVIEW D

VOLUME 31, NUMBER 12

### Detectability of certain dark-matter candidates

Mark W. Goodman and Edward Witten

*Joseph Henry Laboratories, Princeton University, Princeton, New Jersey 08544*

(Received 7 January 1985)

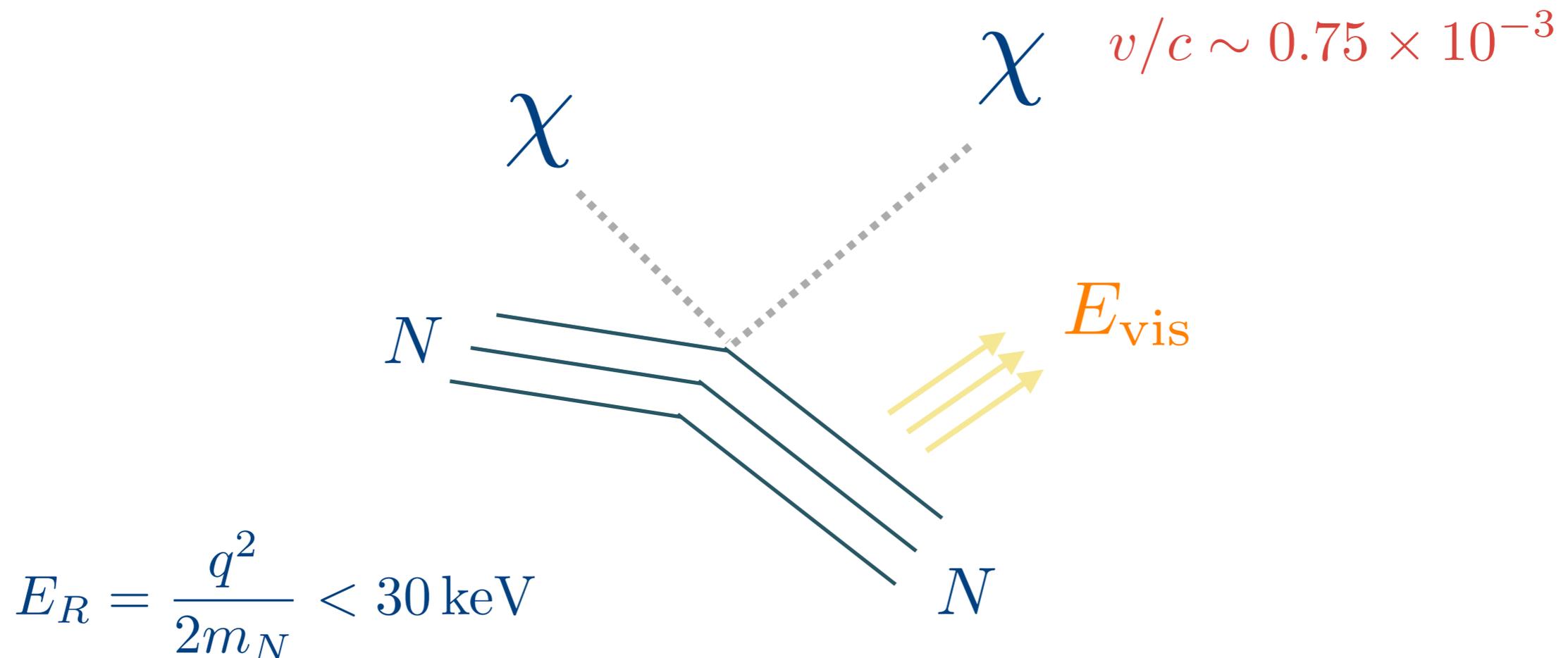
We consider the possibility that the neutral-current neutrino detector recently proposed by Drukier and Stodolsky could be used to detect some possible candidates for the dark matter in galactic halos. This may be feasible if the galactic halos are made of particles with coherent weak interactions and masses  $1-10^6$  GeV; particles with spin-dependent interactions of typical weak strength and masses  $1-10^2$  GeV; or strongly interacting particles of masses  $1-10^{13}$  GeV.

# Principio di rivelazione diretta della Dark Matter

Interazione delle WIMP con i Nuclei atomici

Quantità di moto trasferita ~ decine di MeV

Energia depositata nel rivelatore ~ alcune decine di keV



# Osservabili: Eventi/secondo

Numero di eventi al secondo attesi in un rivelatore sulla Terra

Fisica del rivelatore

$$N_N, E_{th}$$

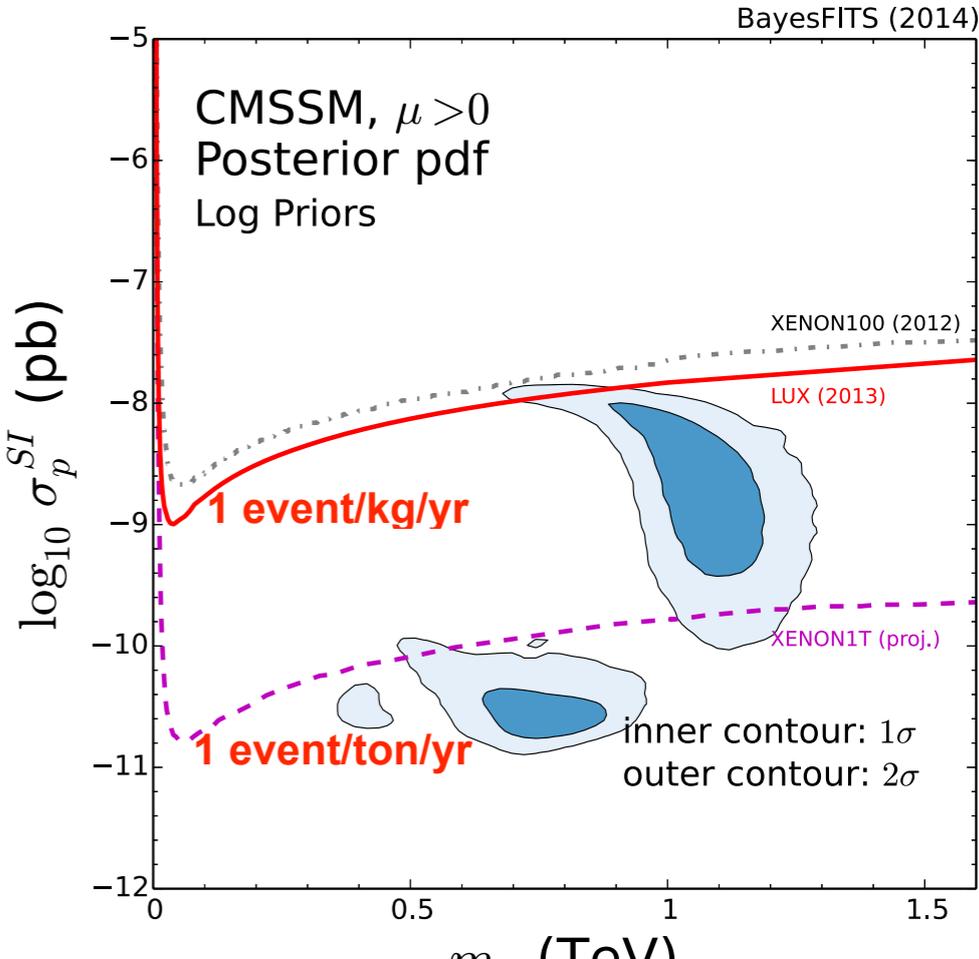
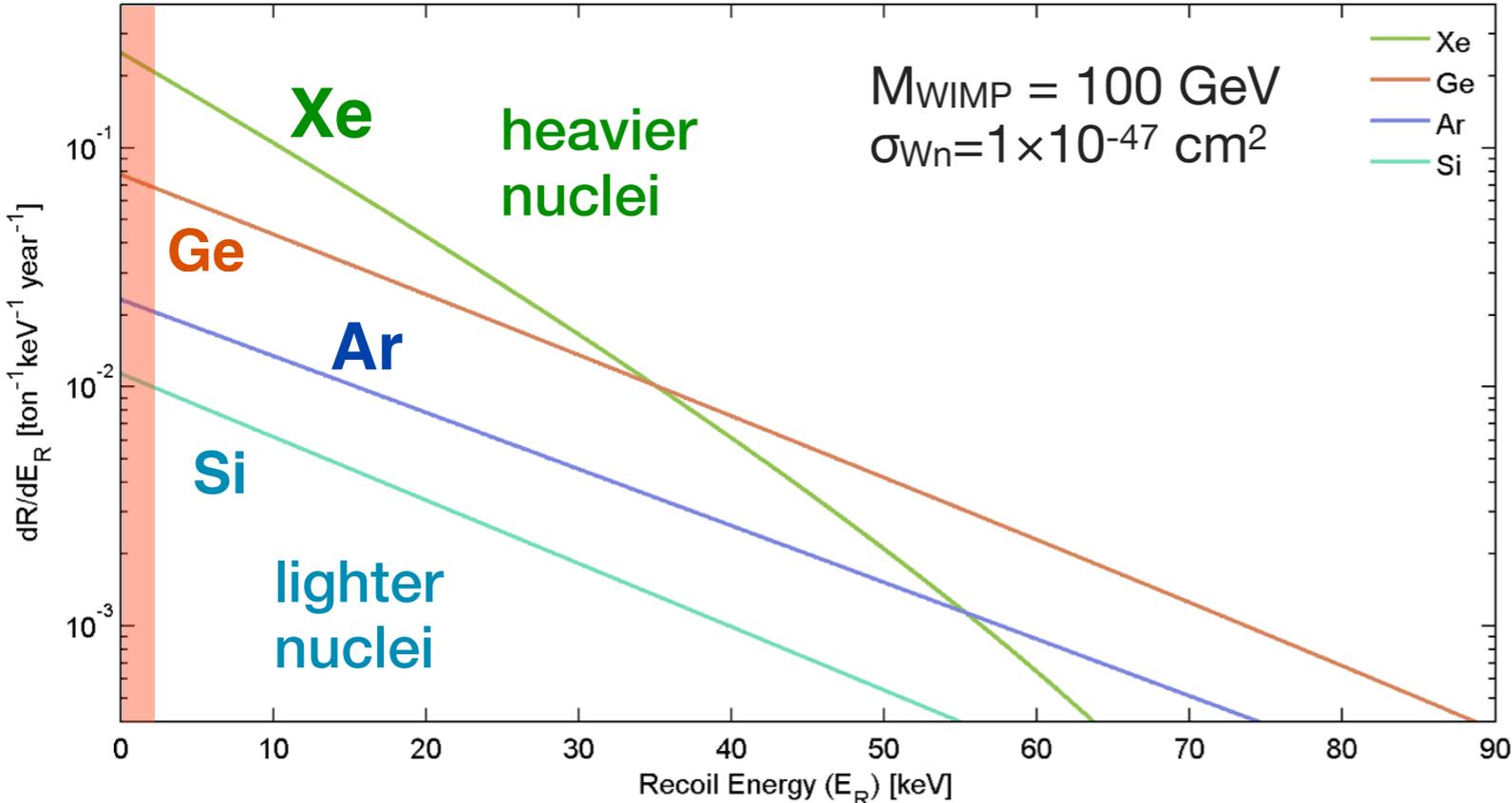
Fisica delle Particelle/Nucleare

$$m_W, d\sigma/dE_R$$

Astrofisica

$$\rho_0, f(v)$$

$$R \sim N_N \times \frac{\rho_0}{m_W} \times \langle v \rangle \times \sigma$$

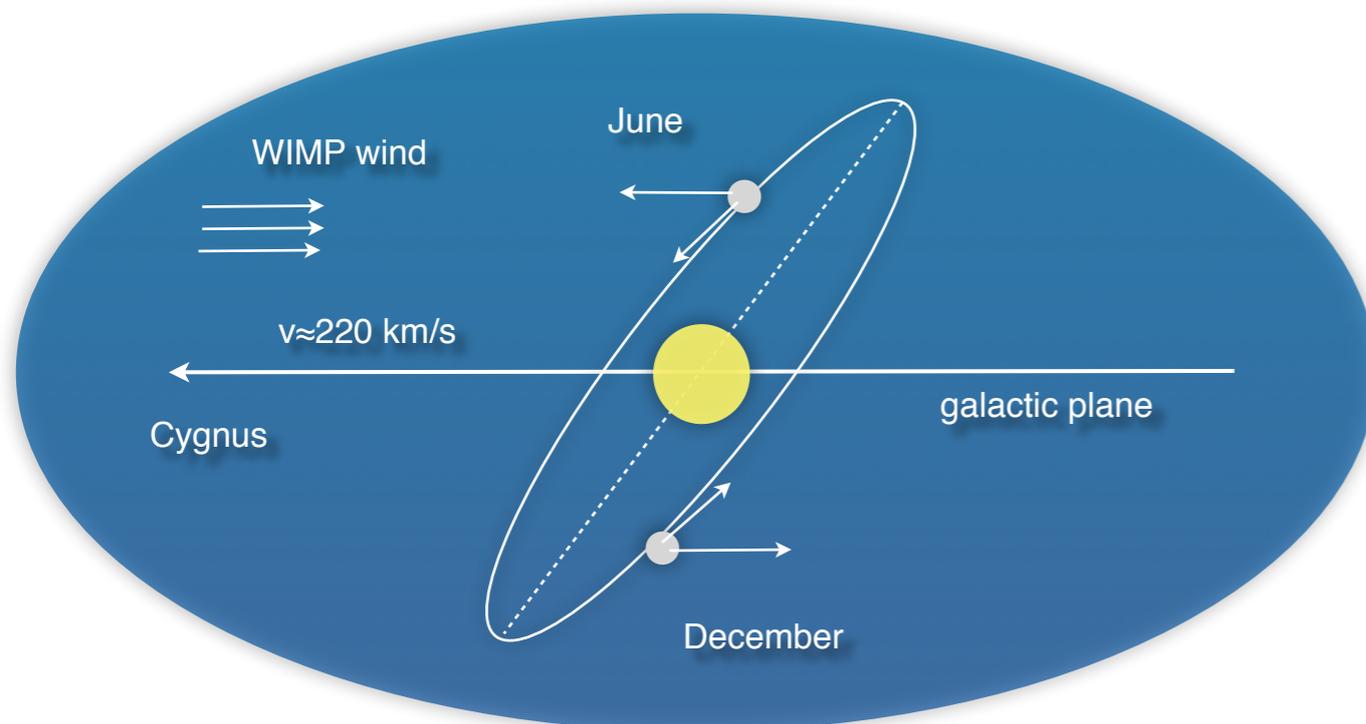


# Osservabili: variazione del rate (eventi/s)

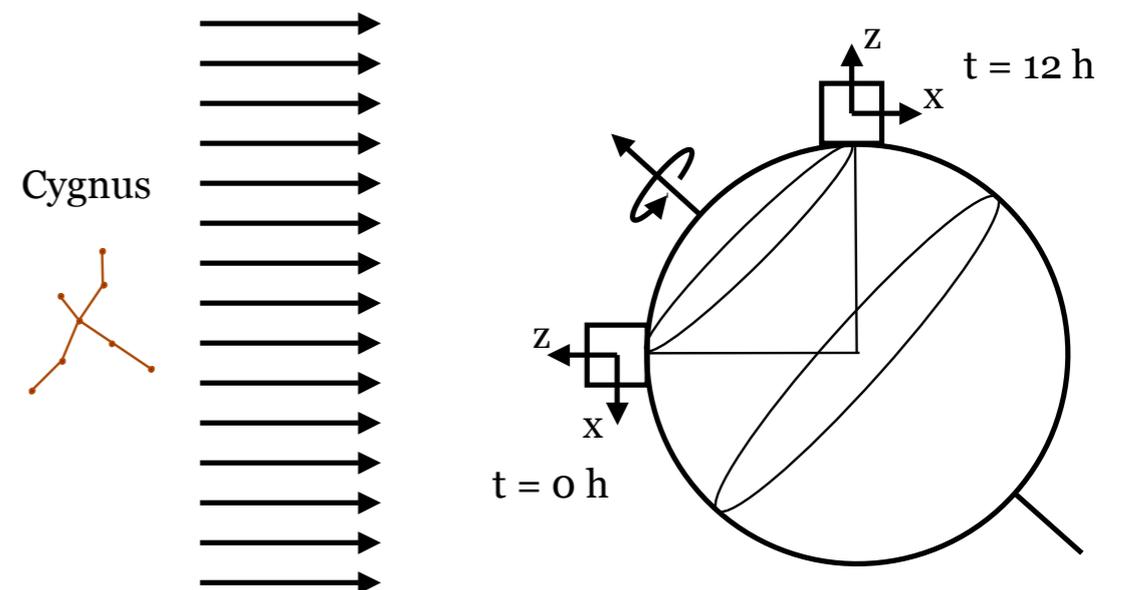
## Il leggero vento delle WIMP

- Il moto della terra causa:

- Modulazione del rate annuale: Asimmetria Giugno-Dicembre  $\sim 2-10\%$
- Modulazione delle direzione siderale: asimmetria  $\sim 20-100\%$  nel numero di eventi in diverse direzioni



Drukier, Freese, Spergel, PRD 33, 1986

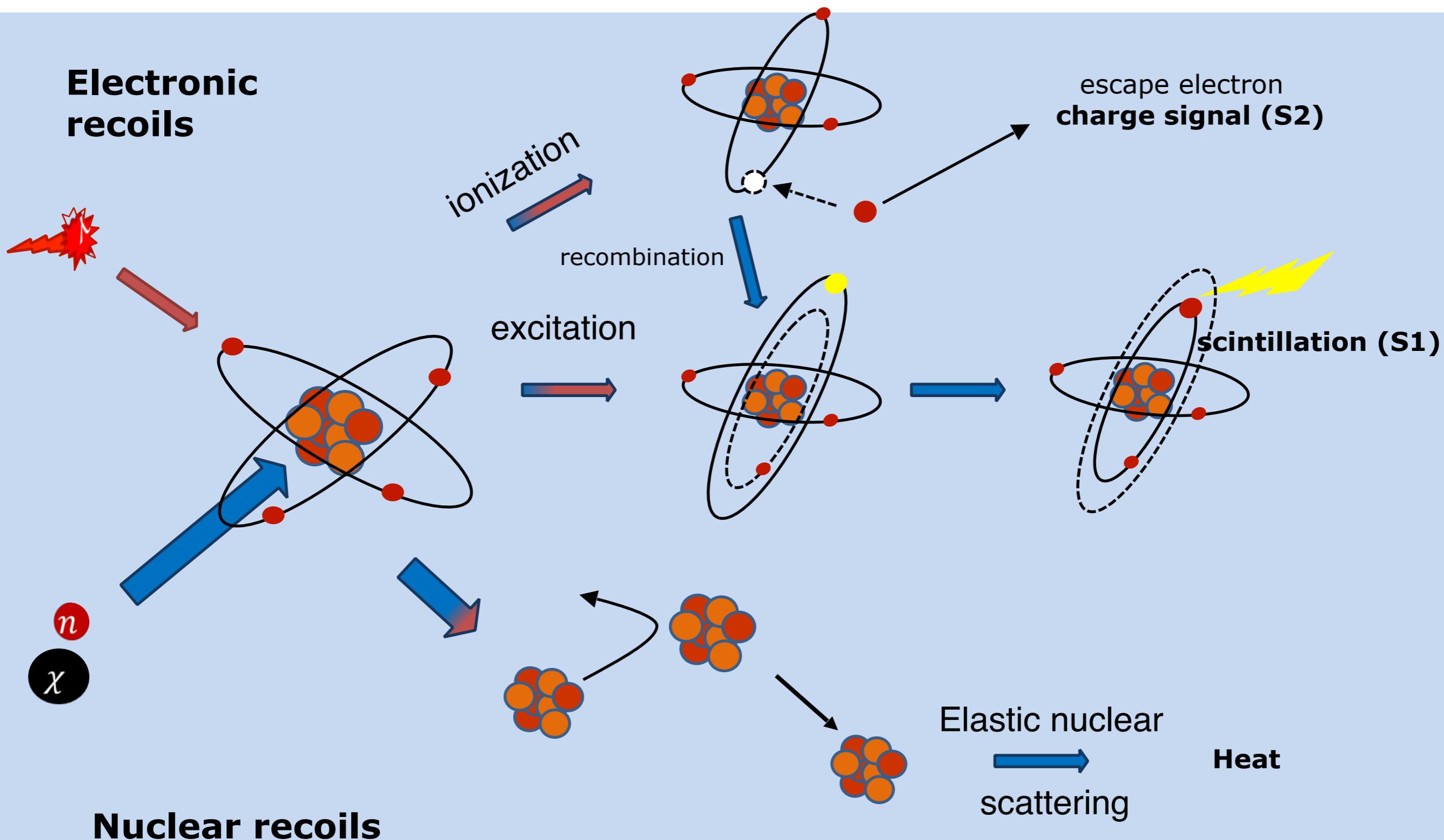


D. Spergel, PRD 36, 1988

**UN esempio di  
rivelazione diretta**

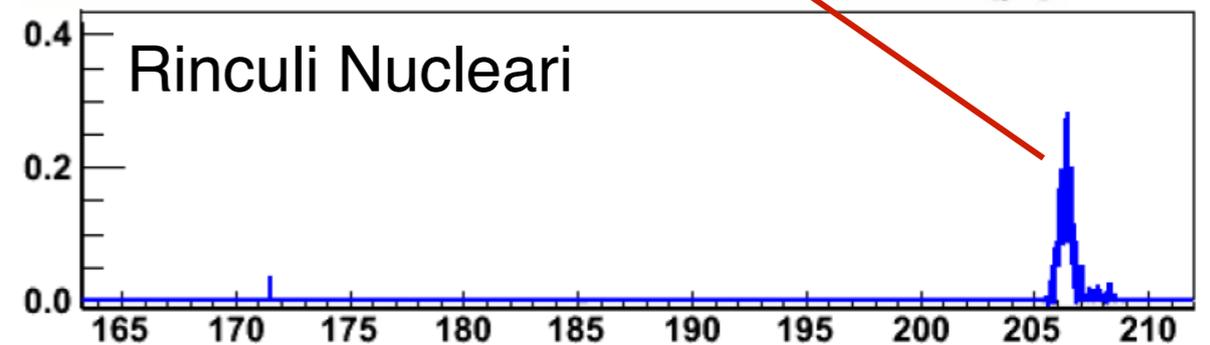
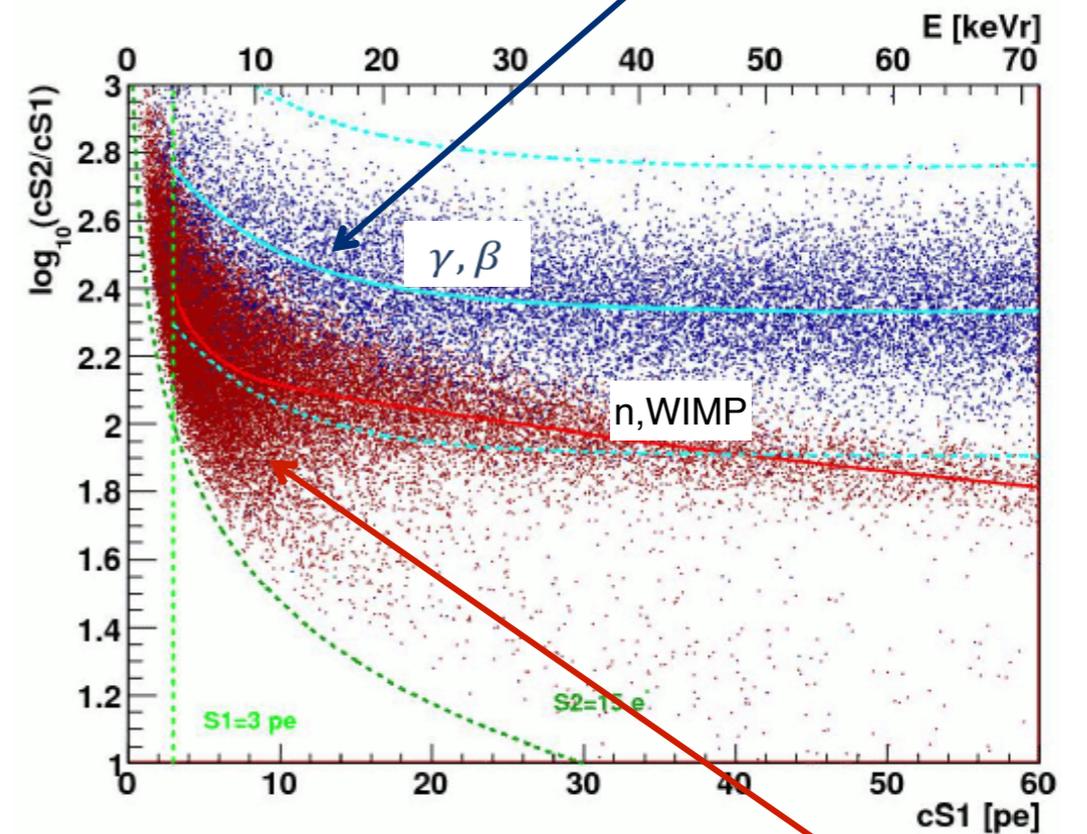
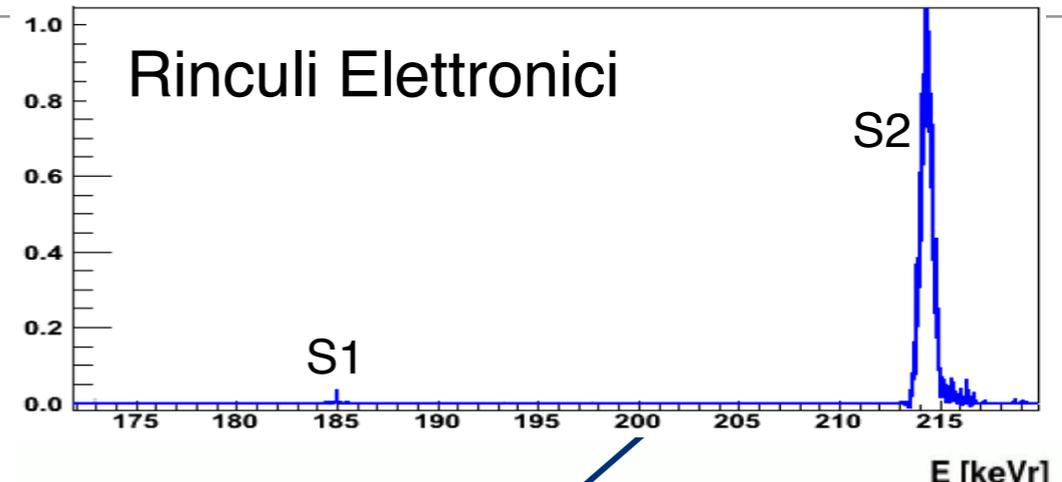
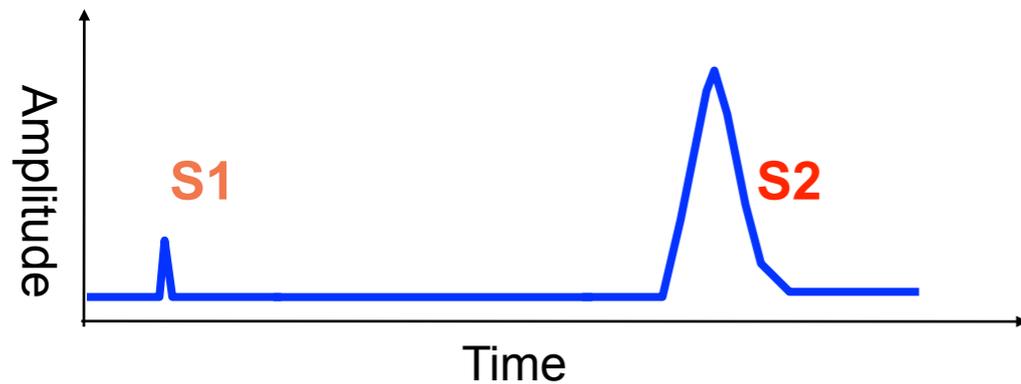
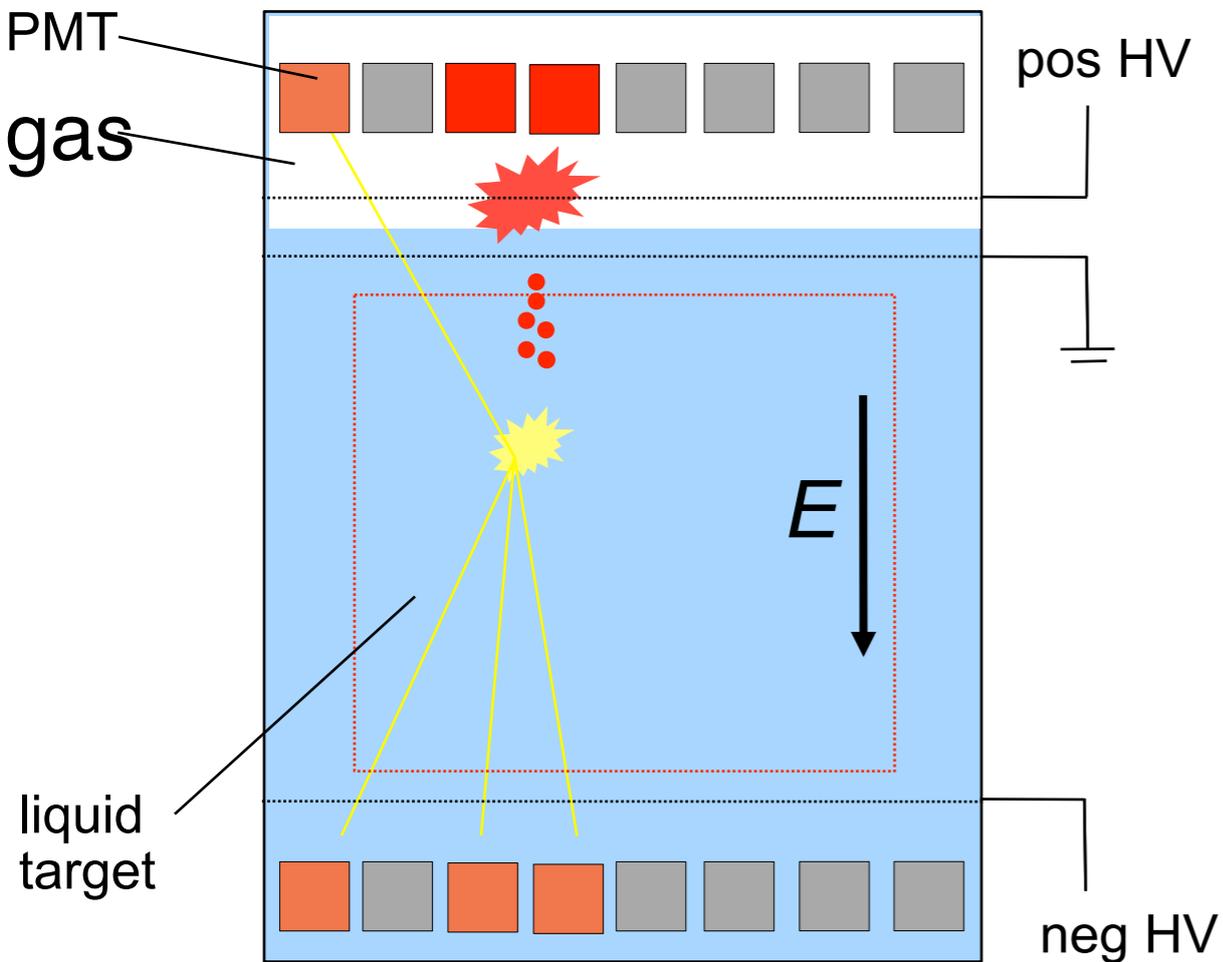
# Noble Liquid Detectors

- Detect either light only or simultaneously light and charge signals produced by a particle interaction in the sensitive liquid target



# Funzionamento dei rivelatori a gas nobili liquefatti

Time Projection Chamber (TPC) a doppia fase



# XENON @ LNGS- presente e futuro

**2005-2007**



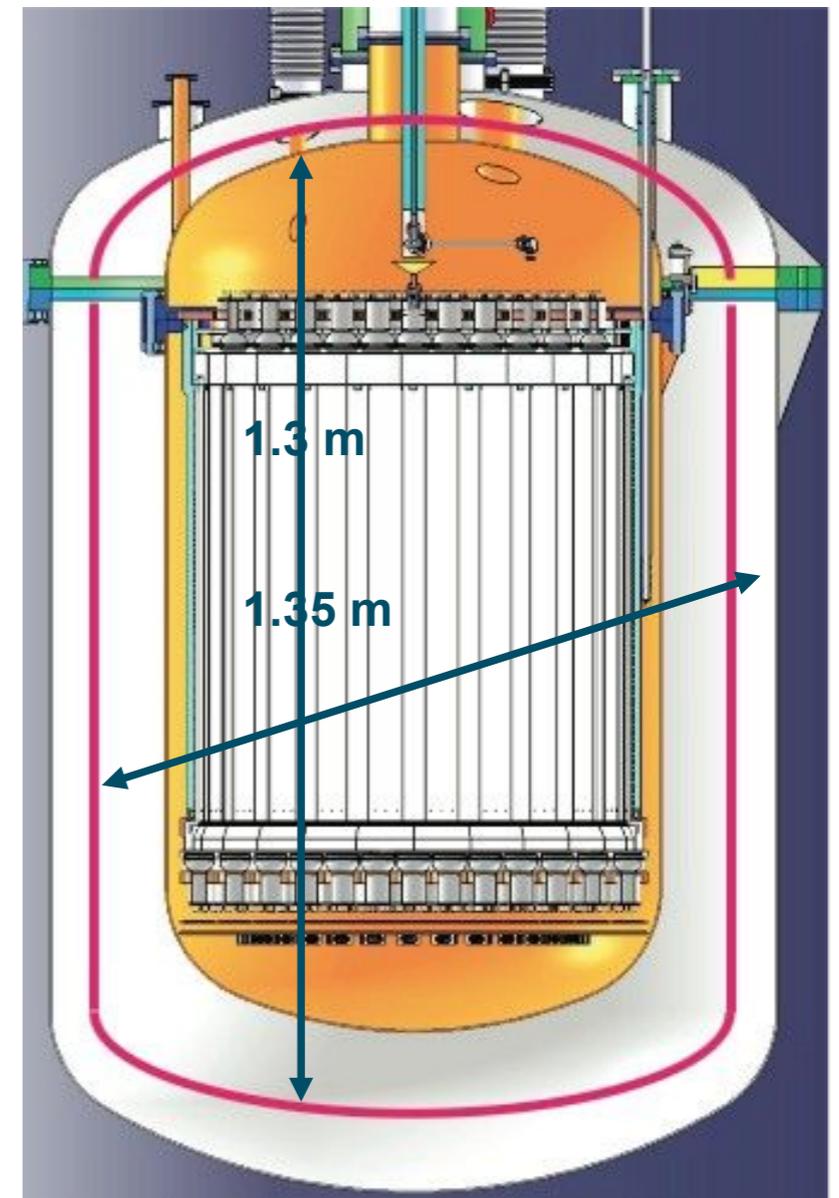
XENON10  
15 cm drift TPC -25 kg  
 $\sim 10^{-43}$  cm<sup>2</sup>

**2007-2015**



XENON100  
30 cm drift TPC -161 kg  
 $\sim 10^{-45}$  cm<sup>2</sup>

**2012-2022**



XENON1T/XENONnT  
100 cm drift TPC -3500/8400 kg  
 $\sim 10^{-47}$  cm<sup>2</sup> /  $10^{-48}$  cm<sup>2</sup>

# L'Esperimento XENON1T

- Risultato atteso: 100 x piu' sensibile di XENON100
- Bersaglio/rivelatore: 3.5 ton di Xe/ dual-phase TPC con 250 PMTs ad alta efficienza e basse contaminazioni radioattive.
- Schermaggio: veto di moon con rivelatore water-Cherenkov.
- Sistemi criogenici: Xe raffreddamento/ purificazione/distillazione/contenimento progettati per gestire fino a 10 ton di Xe. Nuova fase prevista per fine 2019 (XENONnT)
- Stato: Funzionato come da progetto Risultato:  $4.1 \times 10^{-47} \text{ cm}^2 @ 20 \text{ GeV}$  in 2 ty



# Esperimento XENON1T: il cuore del rivelatore



TPC



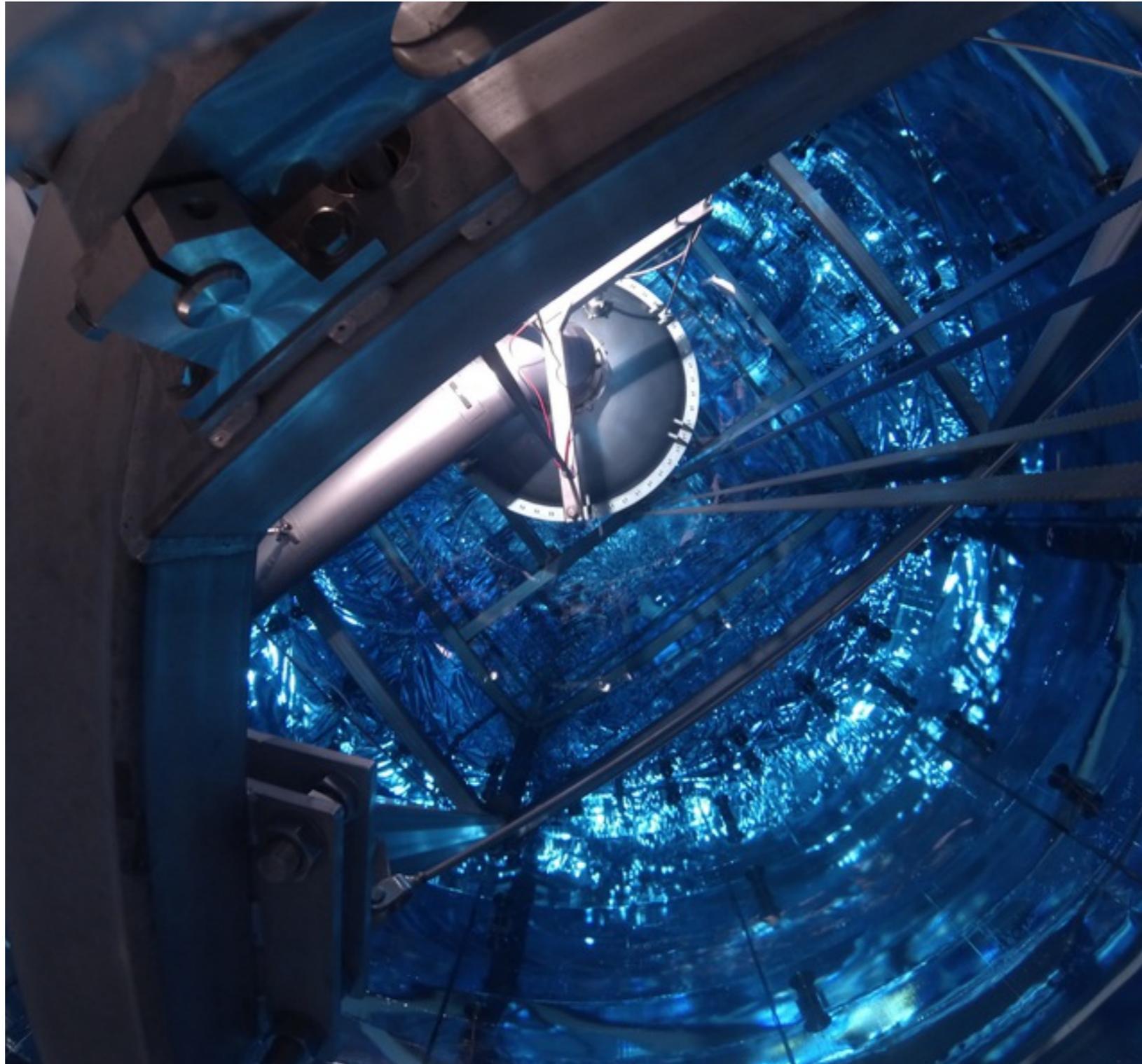
Installation della TPC in camera pulita in galleria.



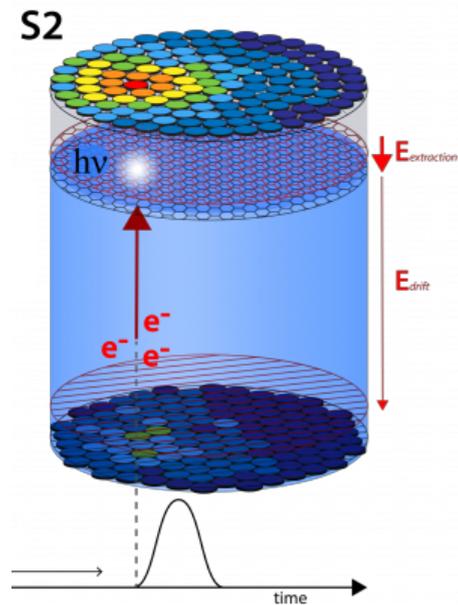
Batterie PMTs

Funzionamento di XENON1T: TPC riempita con LXe ed il criostato circondato dall'acqua

---



# Ricostruzione della posizione



X-Y ricostruzione con la tecnica delle **neural network**:

- **Input:** carica/canali dai PMTs superiori
- **Training:** Monte Carlo simulation

**Position resolution** using  $^{83m}\text{Kr}$

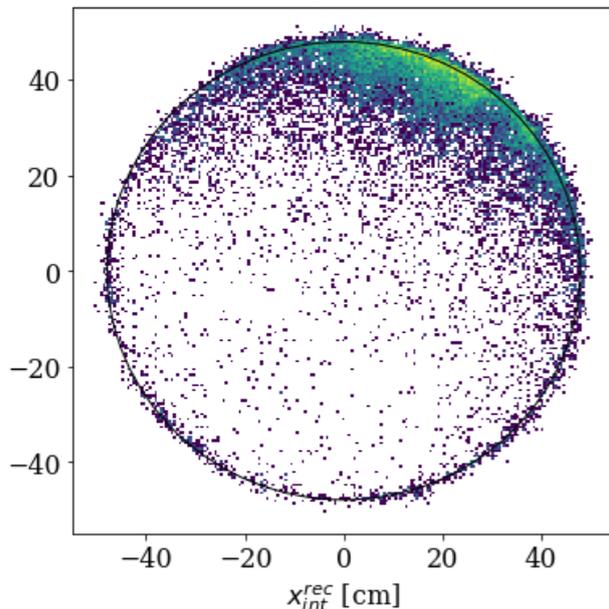
- decadimenti (9, 31 keV), stesso x-y
- Risoluzione in posizione (1-2 cm)

**Correzione della posizione** usando  $^{83m}\text{Kr}$

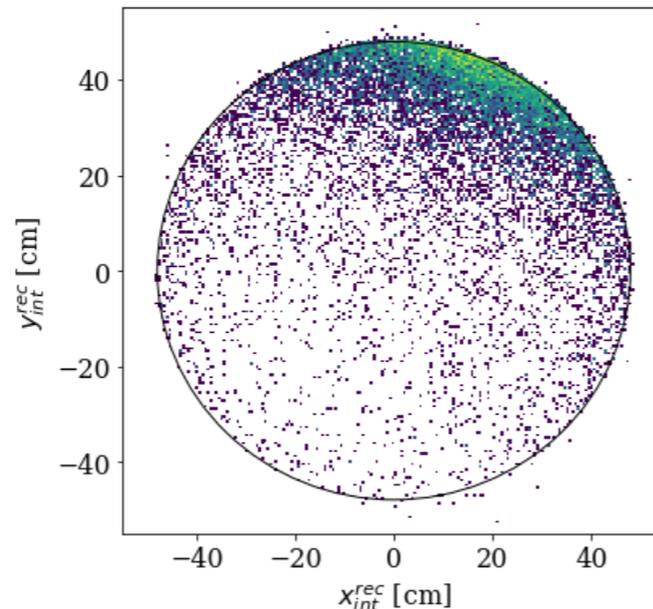
- Distorsione del campo di drift
- Disomogeneità localizzate per PMTs non attivi

Neutron Generator data

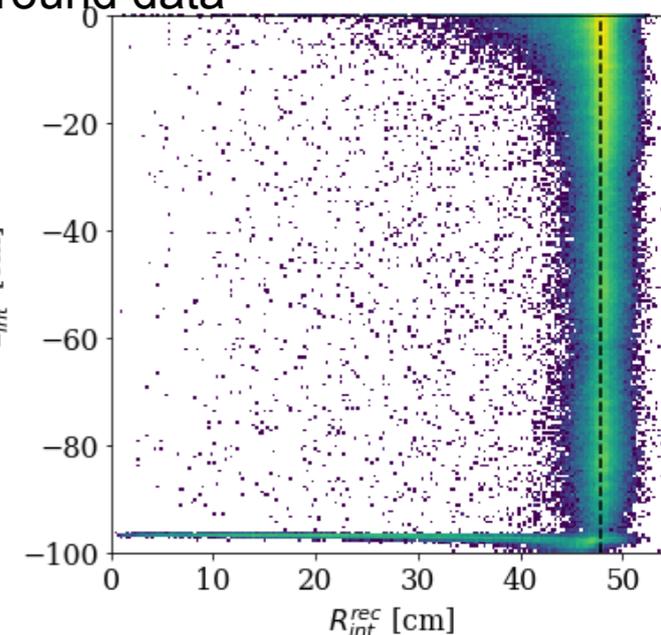
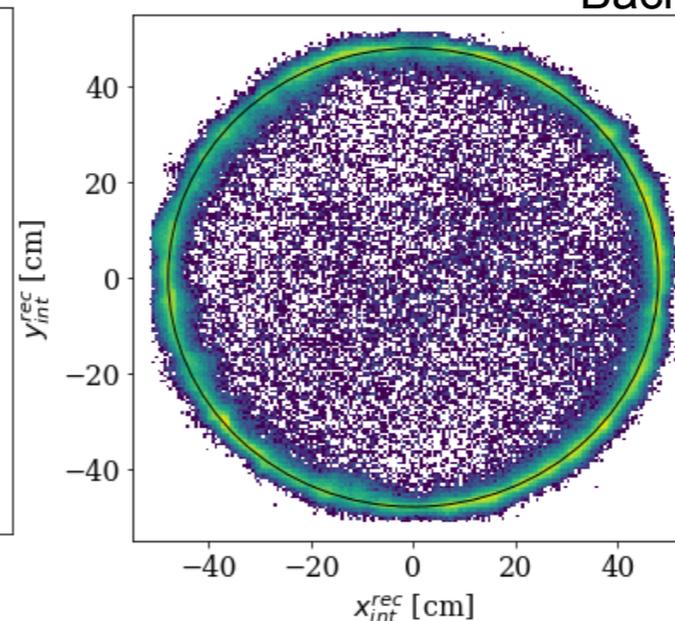
Data



MC



Background data



# Fondo di eventi di Rinculo Nucleare

Cosmogenic  $\mu$ -induced neutrons significantly reduced by rock overburden and muon veto

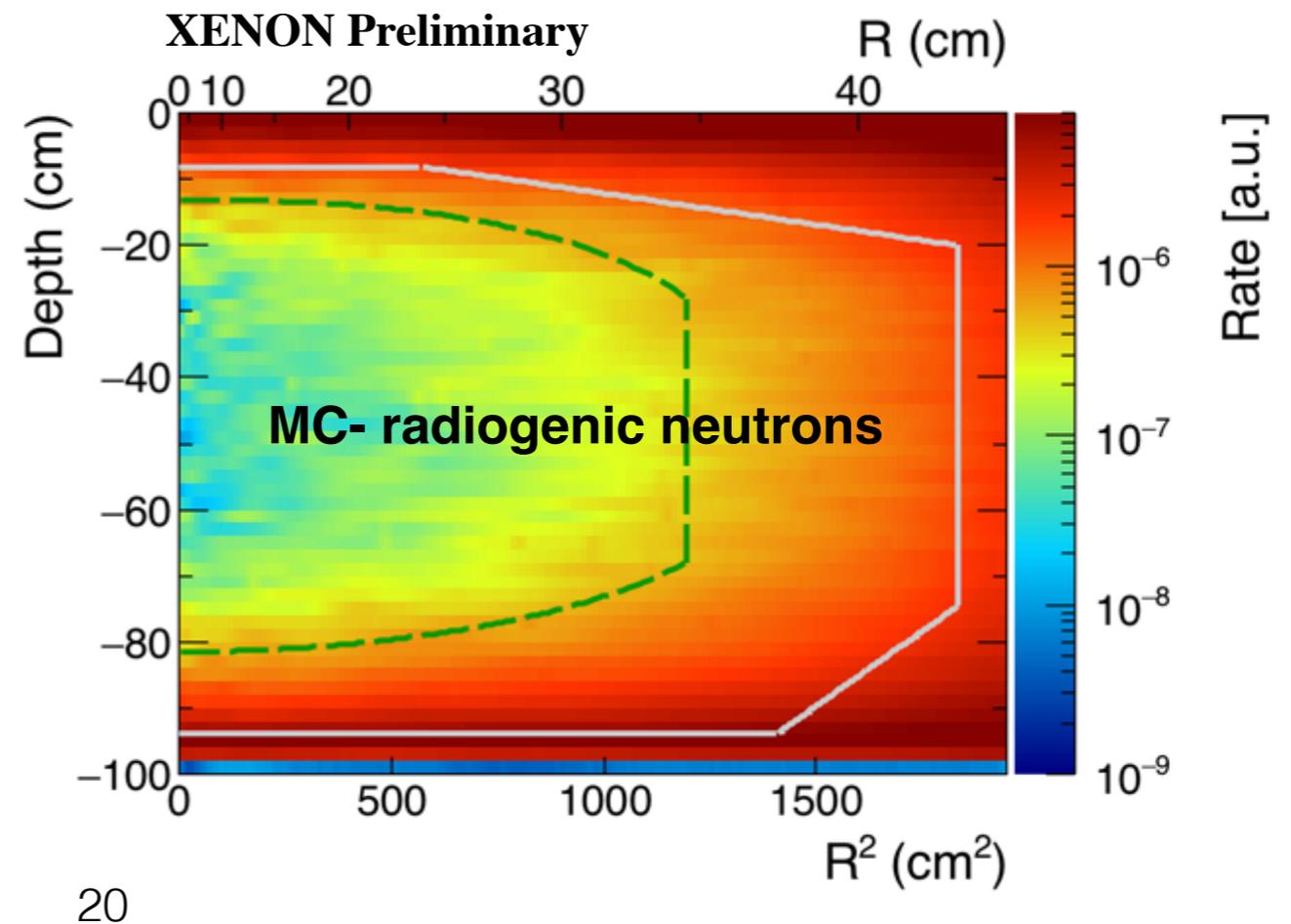
Source	Rate [ $t^{-1} y^{-1}$ ]	Fraction [%]
<b>Radiogenic n</b>	$0.6 \pm 0.1$	96,5
<b>CEvNS</b>	0,012	2,0
<b>Cosmogenic n</b>	$< 0.01$	$< 2.0$

Coherent elastic n-nucleus scattering, is an an irreducible background at very low energy (1 keV)

Radiogenic neutrons from ( $\alpha$ , n) reactions and fission from  $^{238}\text{U}$  and  $^{232}\text{Th}$ : reduced via careful materials selection, event multiplicity and fiducialization

(Expectations in 4-50 keV search window, 1t FV, single scatters)

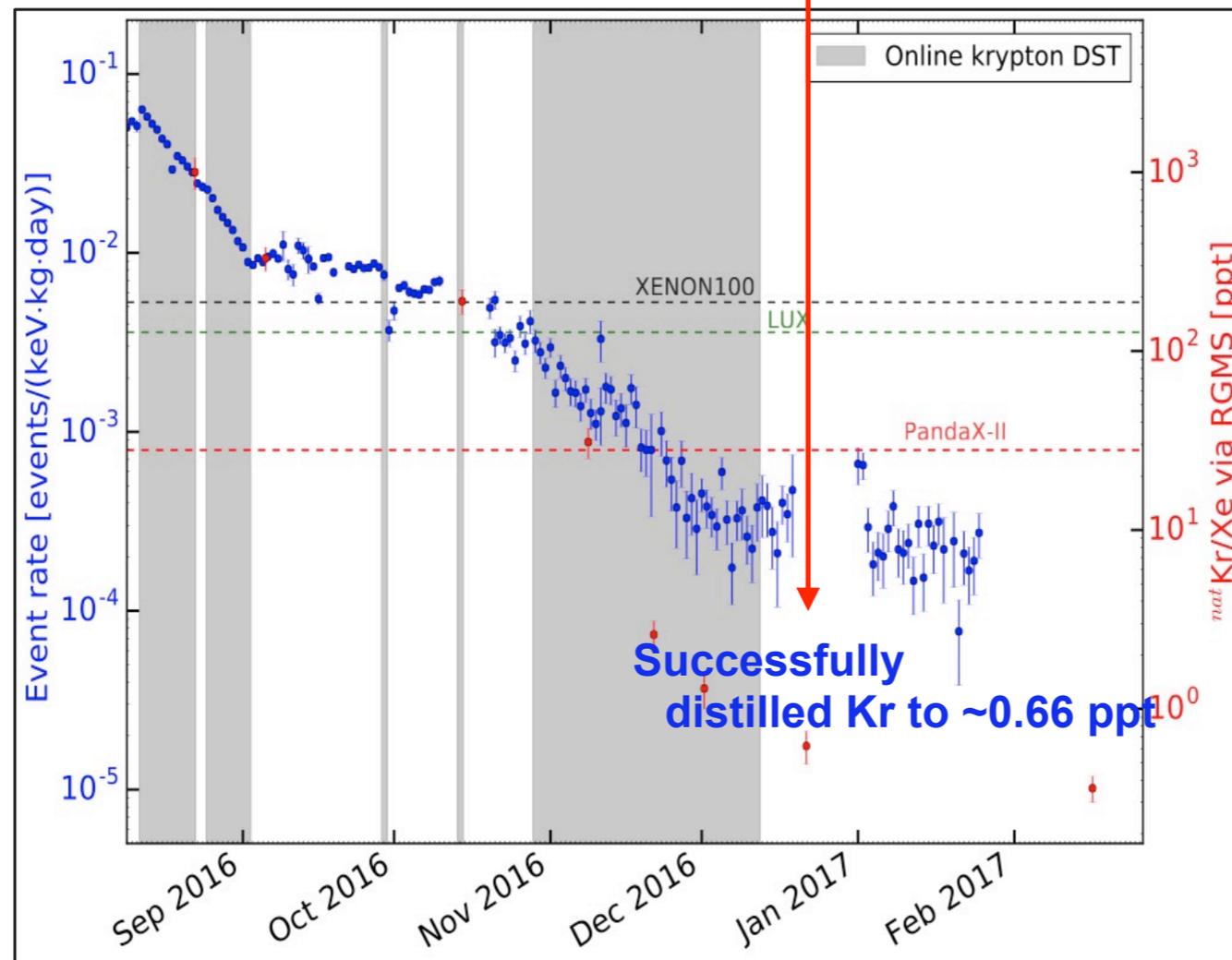
JCAP04 (2016) 027



# Fondo di eventi di Rinculo di elettroni

- Kr85 : sub-ppt Kr/Xe
  - Ottenuta con la distillazione criogenica
- Rn222 : 10 uBq/kg
  - Ottenuto con un accurato controllo delle emanazioni superficiali
  - Ulteriore riduzione con la distillazione in tempo reale
- Misura preventiva delle contaminazioni da isotopi instabili

$^{222}\text{Rn}$	3.8 d
$\alpha$ ↓ 5.5 MeV	
$^{218}\text{Po}$	3.05 min
$\alpha$ ↓ 6.0 MeV	
$^{214}\text{Pb}$	26.8 min
$\beta$ ↓	
$^{214}\text{Bi}$	19.9 min
$\beta$ ↓	
$^{214}\text{Po}$	164 $\mu\text{s}$
$\alpha$ ↓ 7.7 MeV	
$^{210}\text{Pb}$	22.3 a
$\beta$ ↓	
$^{210}\text{Bi}$	5.0 d
$\beta$ ↓	
$^{210}\text{Po}$	138 d
$\alpha$ ↓ 5.3 MeV	
$^{206}\text{Pb}$	stable



# Computo dei eventi di rinculo elettronico

JCAP04 (2016) 027

(Expectations in 1-12 keV search window, 1.3 t FV,  
single scatters in the ROI)

---

Source	Events/(keV t y)	Fraction [%]
$^{214}\text{Pb}$	$56 \pm 6$	85,4
$^{85}\text{Kr}$	$7.7 \pm 1.3$	4,3
Solar $\nu$	$2.5 \pm 0.1$	4,9
Materials	$8 \pm 1$	4,1
$^{136}\text{Xe}2\text{nbb}$	$0.8 \pm 0.1$	1,4

**Predizioni:** (considering considering 10 uBq/kg of  $^{214}\text{Pb}$  and 0.66 ppt of Kr):

**$(75 \pm 6)$  events / (t·year·keV)**

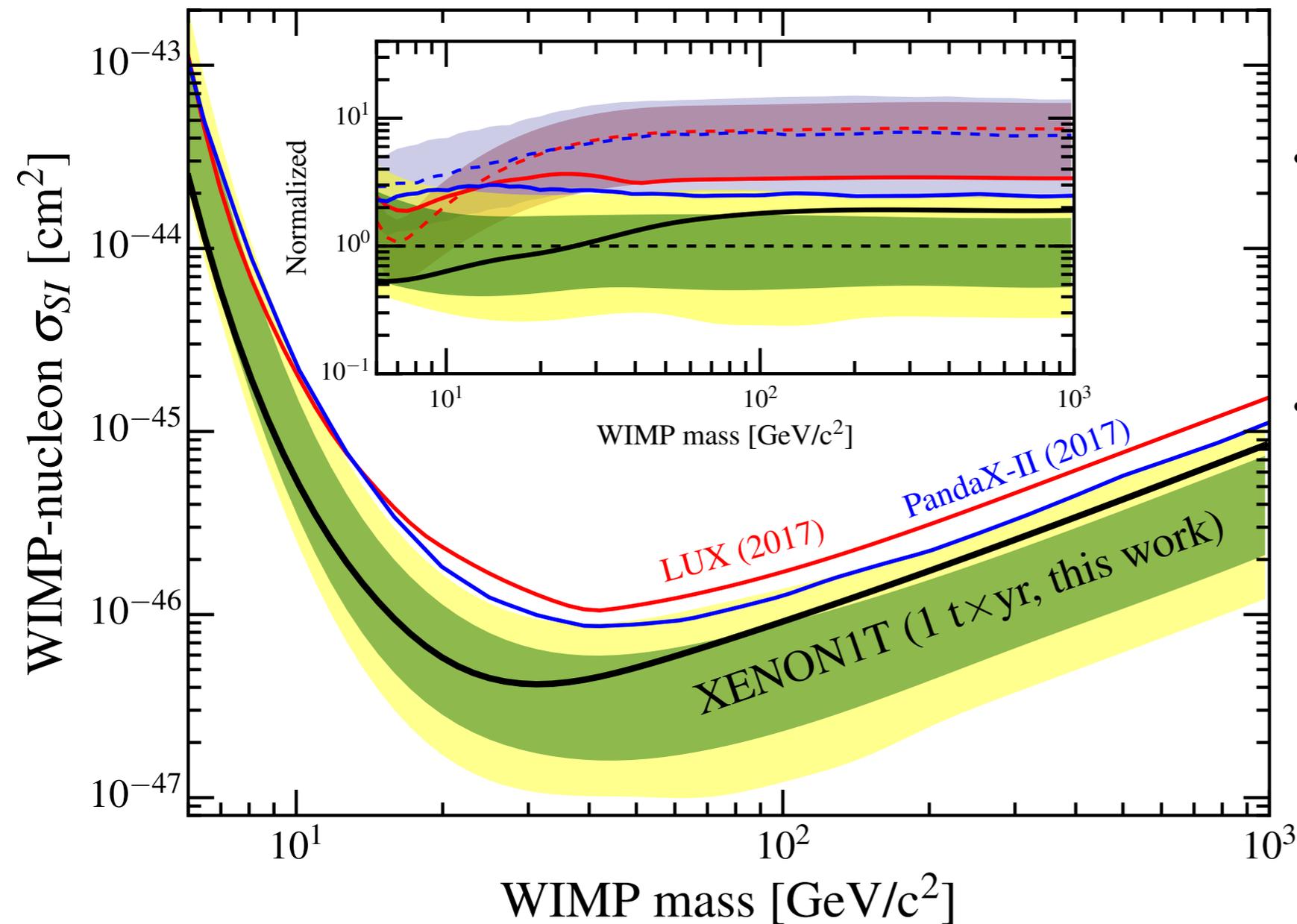
**Misure:** in 1300 kg di volume fiduciale e per energie inferiori a 25 keVee

**$(82^{+5}_{-3}$  (syst)  $\pm 2$  (stat)) events / (t·year·keV)**

**Il piu basso fondo ma ottenuto per un esperimento di DM!**

# Il risultato di XENON1T

Non aver trovato la DM non significa che il rivelatore non abbia funzionato



- Migliore limite al 90 % CL sopra masse delle WIMP di 6 GeV
- Sensitività migliore di un fattore 7 rispetto ai competitors

**Minimo  $4.1 \times 10^{-47} \text{ cm}^2$  per una WIMP di 30  $\text{GeV}/c^2$**

# Uno sguardo al futuro

