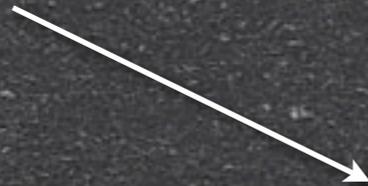
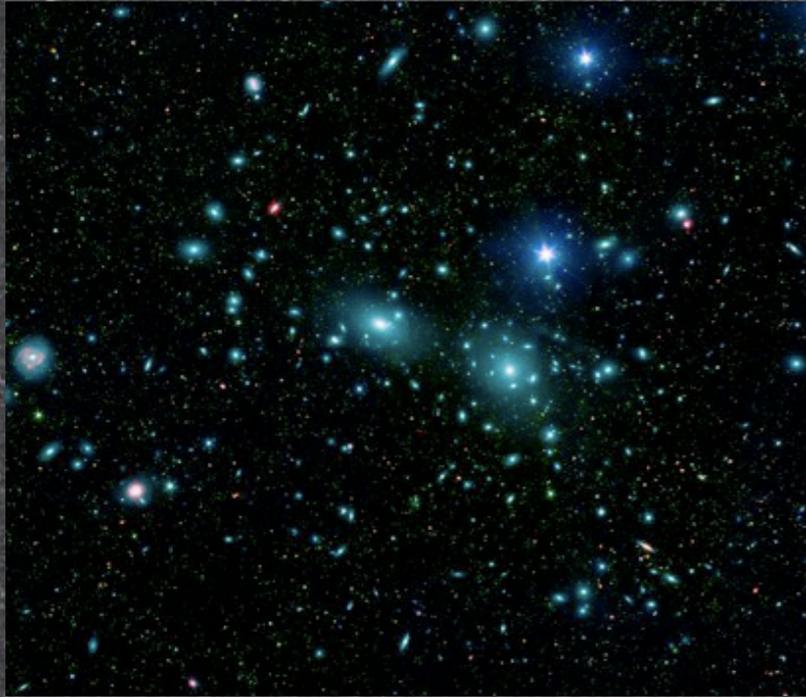


Rassegna sperimentale sulla  
ricerca diretta di  
Materia Oscura

# Materia Oscura

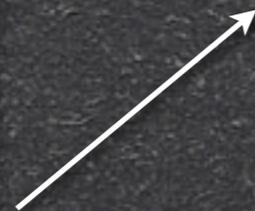
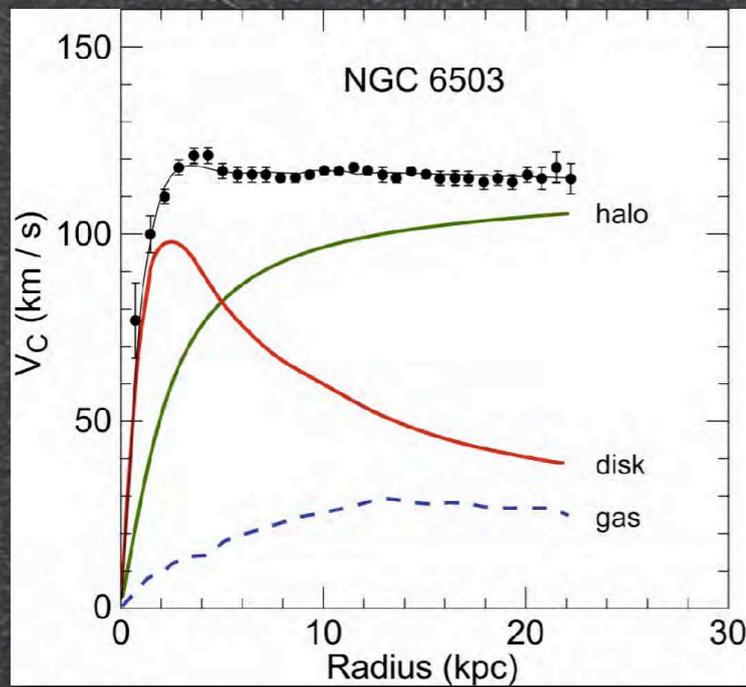
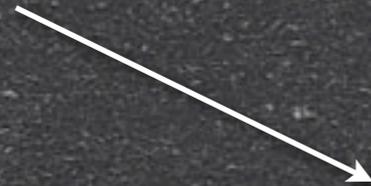
# Materia Oscura

Moto delle galassie nei cluster



# Materia Oscura

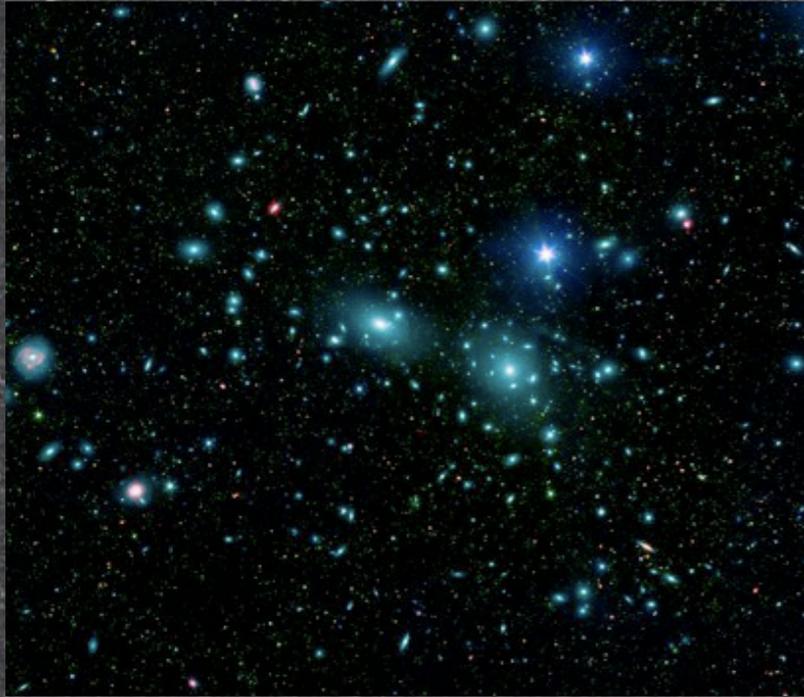
Moto delle galassie nei cluster



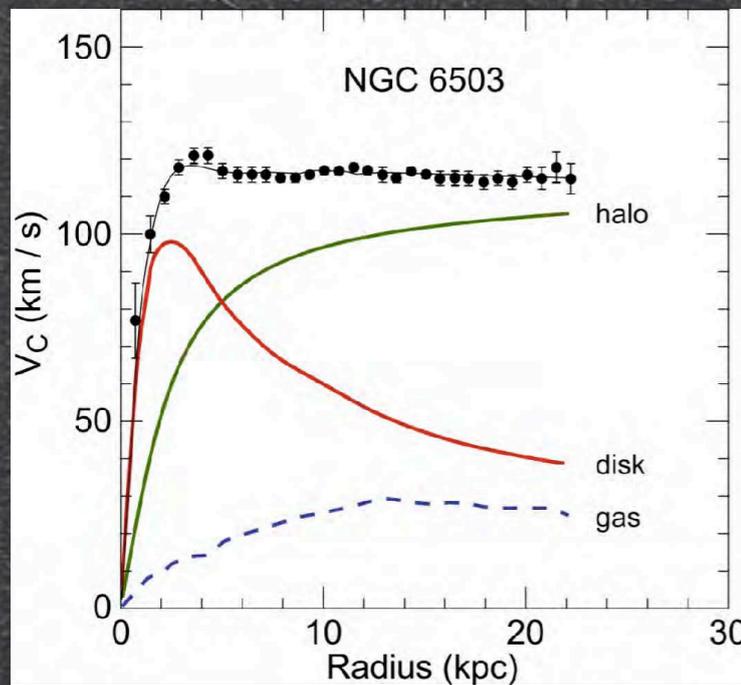
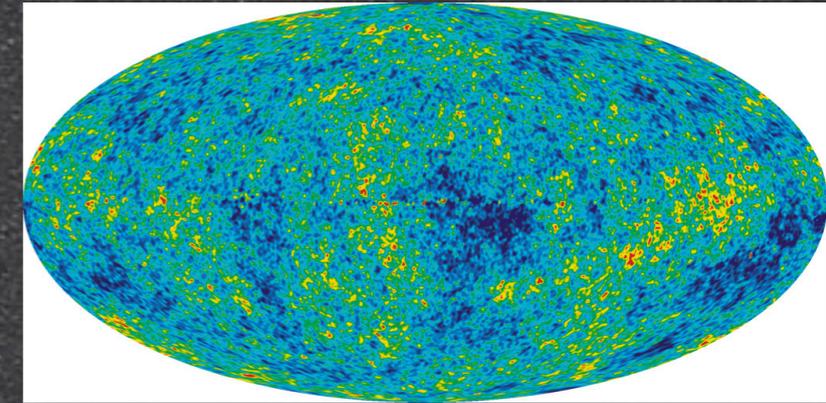
Velocità di rotazione  
delle galassie

# Materia Oscura

Moto delle galassie nei cluster



CMB



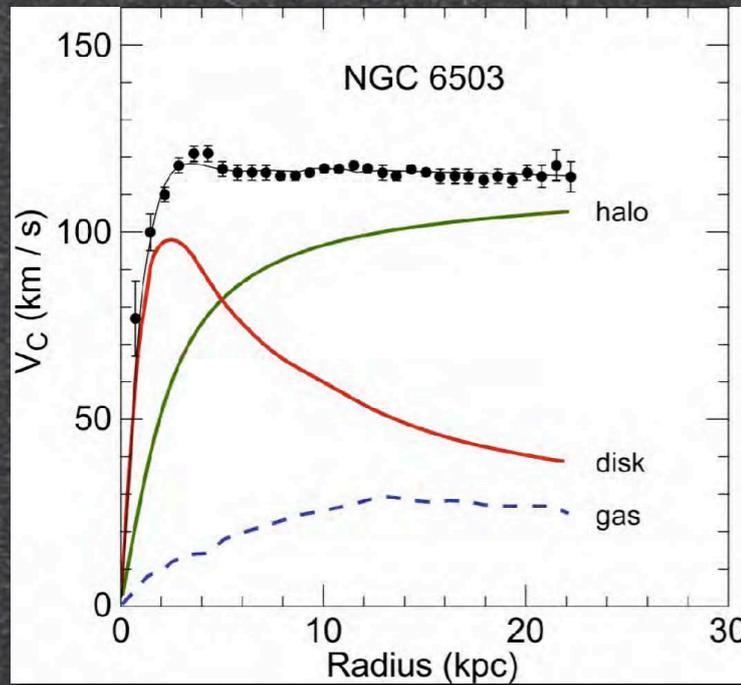
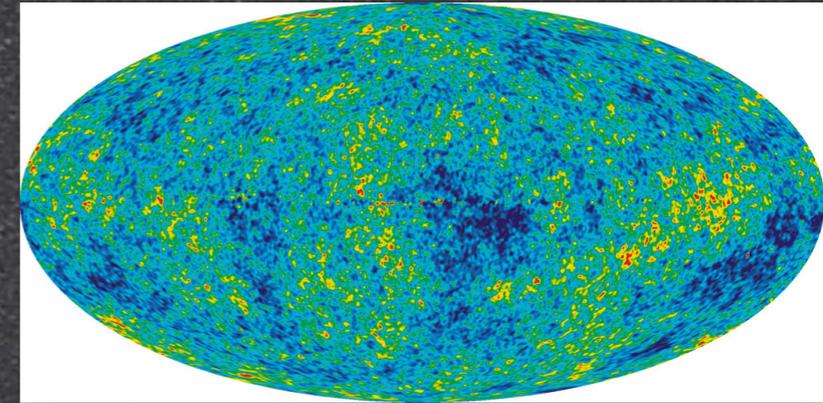
Velocità di rotazione  
delle galassie

# Materia Oscura

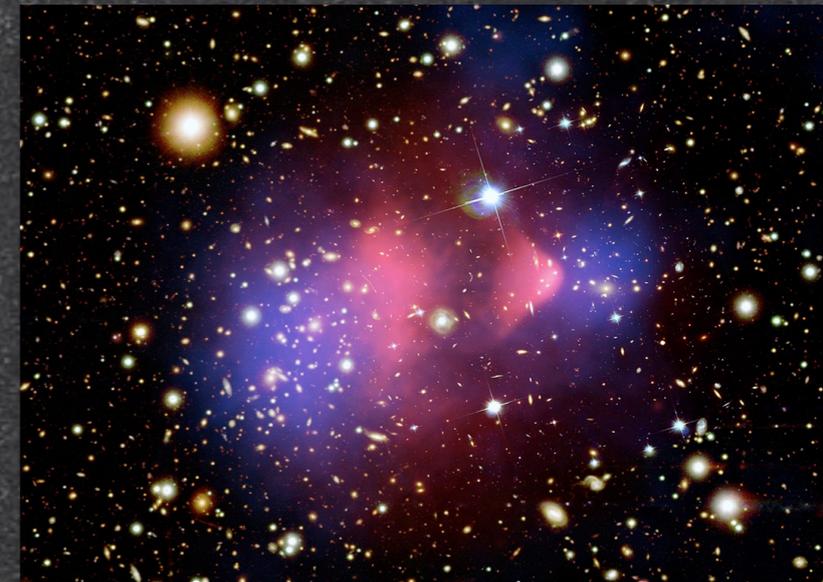
Moto delle galassie nei cluster



CMB



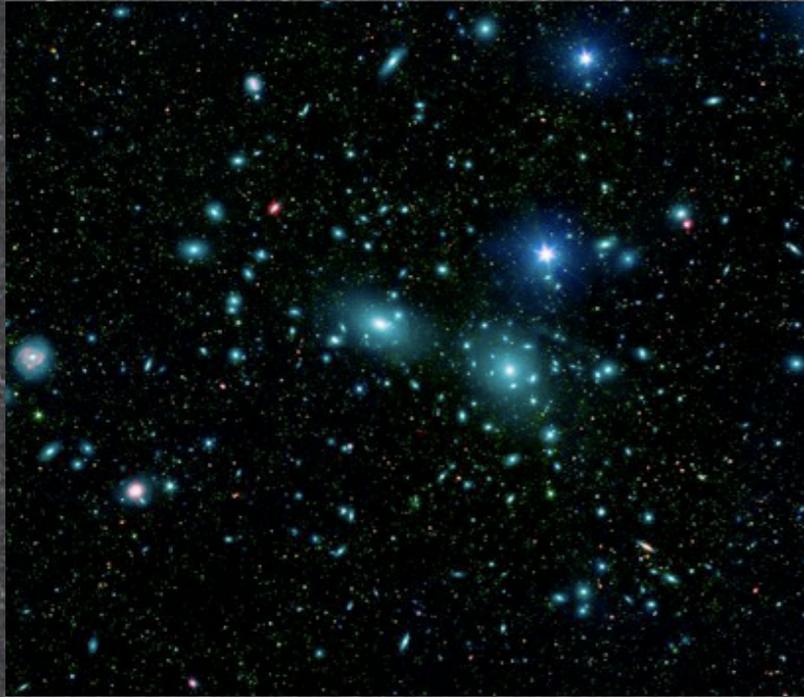
Velocità di rotazione delle galassie



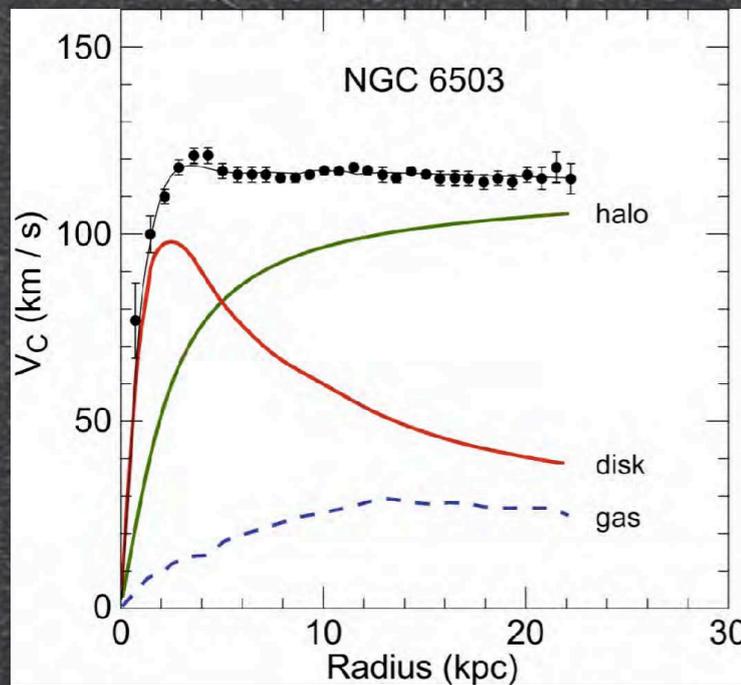
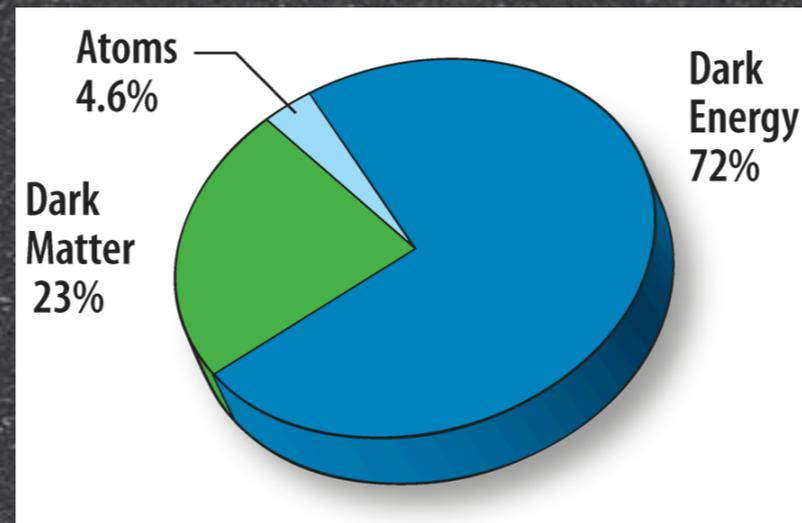
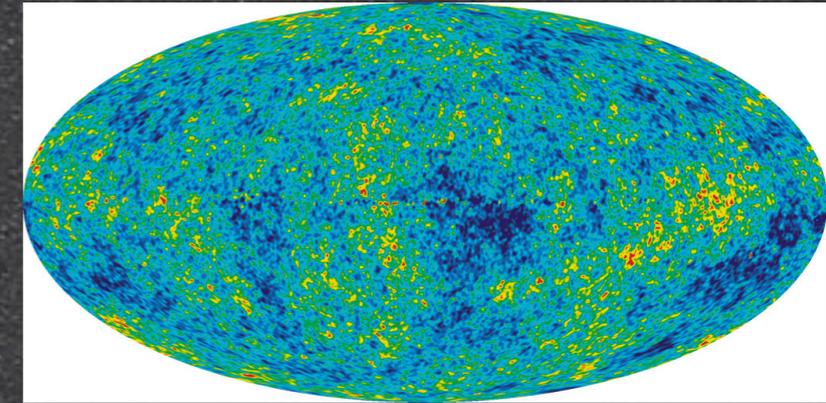
Lensing

# Materia Oscura

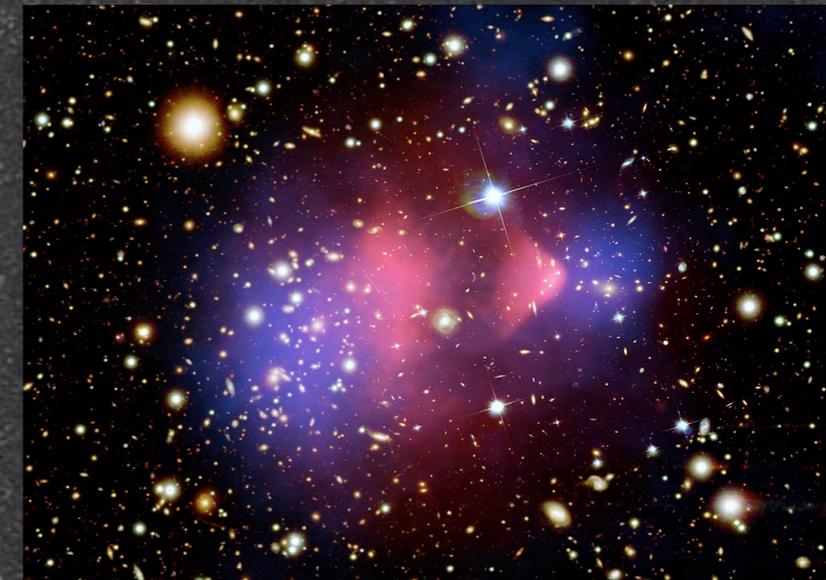
Moto delle galassie nei cluster



CMB



Velocità di rotazione delle galassie



Lensing

# Ma cos'è la Materia Oscura?

# Ma cos'è la Materia Oscura?

- Il candidato "preferito" è il Neutralino

# Ma cos'è la Materia Oscura?

- Il candidato "preferito" è il Neutralino
- Ci sono però numerosi altri candidati:
  - Neutrino sterile
  - Kaluza-Klein
  - Assione
  - Axino
  - Gravitino
  - Inelastic DM
  - Materia Mirror
  - Self-Interacting DM
  - Wimpzilla
  - Champs
  - Buchi Neri primordiali
  - .....

# Ma cos'è la Materia Oscura?

- Il candidato "preferito" è il Neutralino
- Ci sono però numerosi altri candidati:
  - Neutrino sterile
  - Kaluza-Klein
  - Assione
  - Axino
  - Gravitino
  - Inelastic DM
  - Materia Mirror
  - Self-Interacting DM
  - Wimpzilla
  - Champs
  - Buchi Neri primordiali
  - .....

La fantasia dei teorici è per definizione giustamente infinita...

# Ma cos'è la Materia Oscura?

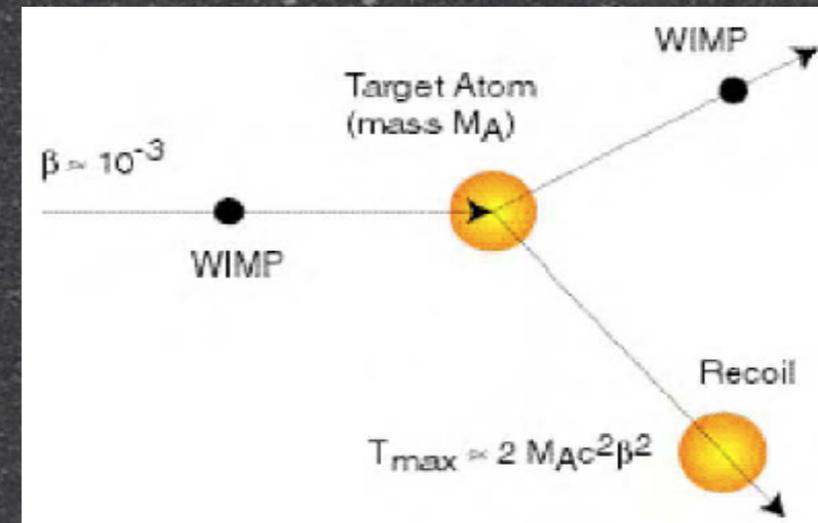
- Il candidato "preferito" è il Neutralino
- Ci sono però numerosi altri candidati:
  - Neutrino sterile
  - Kaluza-Klein
  - Assione
  - Axino
  - Gravitino
  - Inelastic DM
  - Materia Mirror
  - Self-Interacting DM
  - Wimpzilla
  - Champs
  - Buchi Neri primordiali
  - .....

La fantasia dei teorici è per definizione giustamente infinita...

- In realtà non lo sappiamo (e quindi bisogna essere aperti)

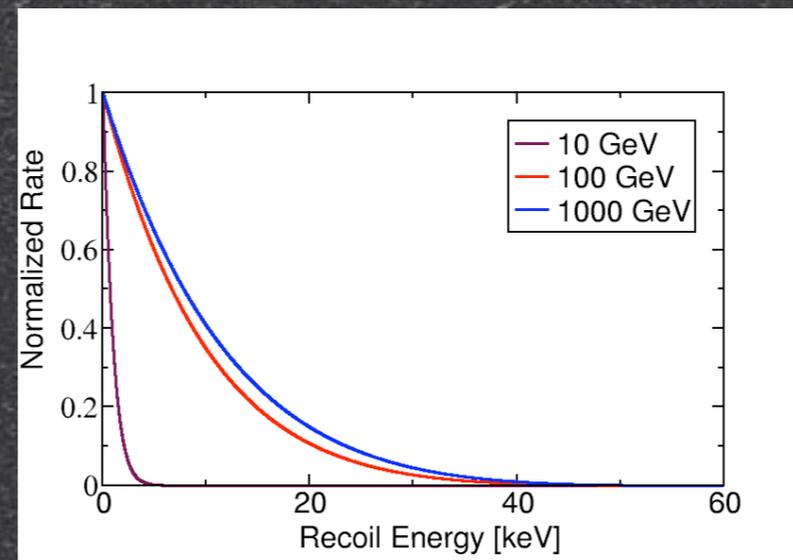
# Standard Halo Model

- densità locale  $0.3 \text{ GeV/cm}^3$
- distribuzione Maxwelliana delle velocità ( $\sim 230 \text{ km/s}$ )
- Massa delle WIMPs  $10\text{--}10000 \text{ GeV}$
- sezione d'urto  $10^{-6} - 10^{-12} \text{ pb}$



## Segnale

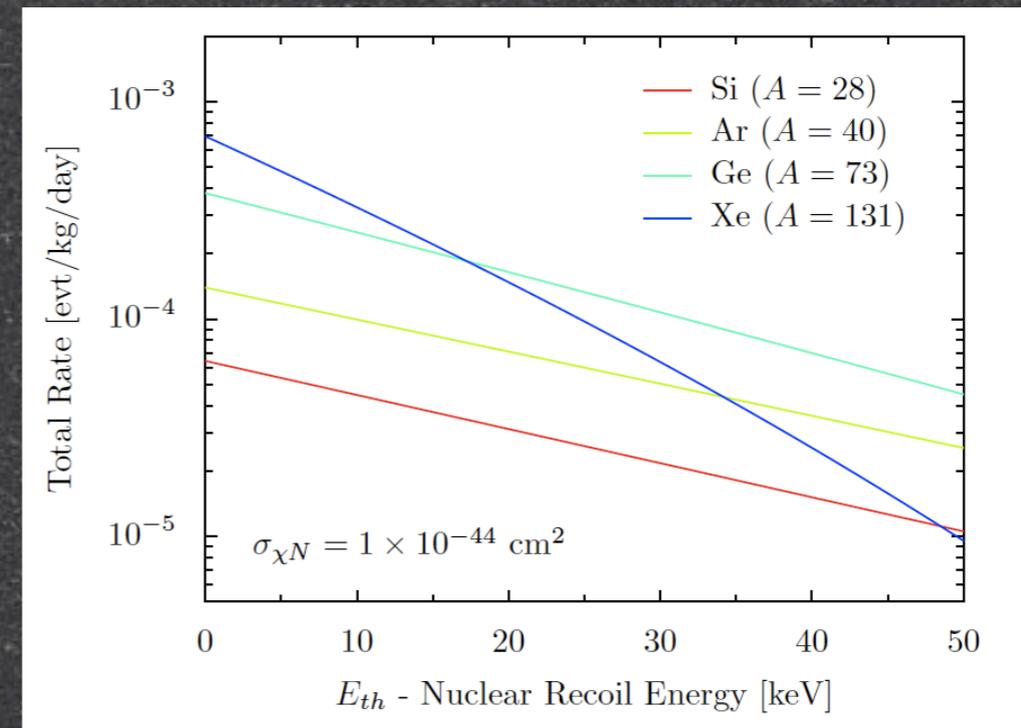
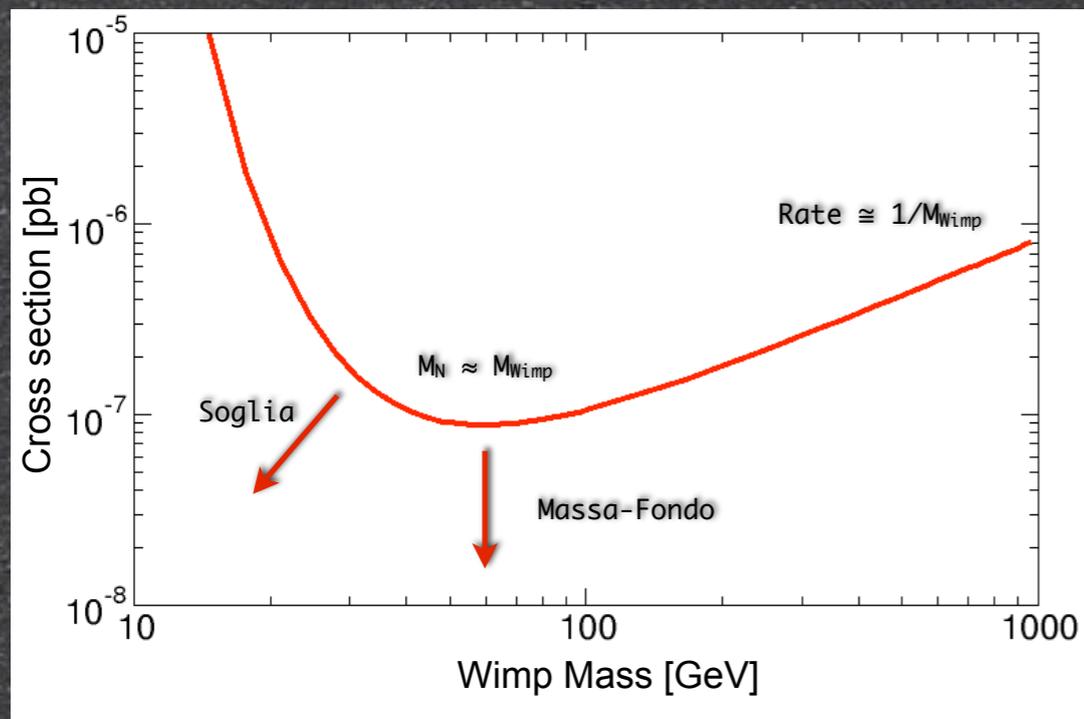
- Rinculi Nucleari
- Esponenziale "featurless"
- Bassa energia (pochi keV)



# Rilevazione diretta di WIMPs

## Interazione

- Spin independent:  $\propto A^2$  (nuclei pesanti)
- Spin dependent:  $\propto J(J+1)$  (nuclei con spin)



## Requisiti sperimentali

- Basso fondo
- Bassa soglia energetica
- Alta massa
- Stabilità

# Fondo

# Fondo

Numero di eventi attesi:  $10^{-5} - 10^{-1}$  eventi/kg/day

# Fondo

Numero di eventi attesi:  $10^{-5} - 10^{-1}$  eventi/kg/day

# Fondo

Numero di eventi attesi:  $10^{-5}$  -  $10^{-1}$  eventi/kg/day

- Radiazione  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  (radioattività ambientale)

# Fondo

Numero di eventi attesi:  $10^{-5} - 10^{-1}$  eventi/kg/day

- Radiazione  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  (radioattività ambientale)

- Schermature per  $\gamma$

# Fondo

Numero di eventi attesi:  $10^{-5}$  -  $10^{-1}$  eventi/kg/day

- Radiazione  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  (radioattività ambientale)
  - Schermature per  $\gamma$
  - Selezione materiali

# Fondo

Numero di eventi attesi:  $10^{-5}$  -  $10^{-1}$  eventi/kg/day

- Radiazione  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  (radioattività ambientale)

- Schermature per  $\gamma$
- Selezione materiali
- Clean Room

# Fondo

Numero di eventi attesi:  $10^{-5}$  -  $10^{-1}$  eventi/kg/day

- Radiazione  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  (radioattività ambientale)
  - Schermature per  $\gamma$
  - Selezione materiali
  - Clean Room
  - Discriminazione tramite doppia lettura (Quenching Factor)

# Fondo

Numero di eventi attesi:  $10^{-5} - 10^{-1}$  eventi/kg/day

- Radiazione  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  (radioattività ambientale)
  - Schermature per  $\gamma$
  - Selezione materiali
  - Clean Room
  - Discriminazione tramite doppia lettura (Quenching Factor)
- Neutroni (effetto simile alle WIMPs)

# Fondo

Numero di eventi attesi:  $10^{-5} - 10^{-1}$  eventi/kg/day

- Radiazione  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  (radioattività ambientale)
  - Schermature per  $\gamma$
  - Selezione materiali
  - Clean Room
  - Discriminazione tramite doppia lettura (Quenching Factor)
- Neutroni (effetto simile alle WIMPs)
  - Schermature per moderare i neutroni

# Fondo

Numero di eventi attesi:  $10^{-5} - 10^{-1}$  eventi/kg/day

- Radiazione  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  (radioattività ambientale)
  - Schermature per  $\gamma$
  - Selezione materiali
  - Clean Room
  - Discriminazione tramite doppia lettura (Quenching Factor)
- Neutroni (effetto simile alle WIMPs)
  - Schermature per moderare i neutroni
  - Muon Veto

# Fondo

Numero di eventi attesi:  $10^{-5} - 10^{-1}$  eventi/kg/day

- Radiazione  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  (radioattività ambientale)
  - Schermature per  $\gamma$
  - Selezione materiali
  - Clean Room
  - Discriminazione tramite doppia lettura (Quenching Factor)
- Neutroni (effetto simile alle WIMPs)
  - Schermature per moderare i neutroni
  - Muon Veto
  - Underground

# Fondo

Numero di eventi attesi:  $10^{-5}$  -  $10^{-1}$  eventi/kg/day

- Radiazione  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  (radioattività ambientale)

- Schermature per  $\gamma$
- Selezione materiali
- Clean Room
- Discriminazione tramite doppia lettura (Quenching Factor)

- Neutroni (effetto simile alle WIMPs)

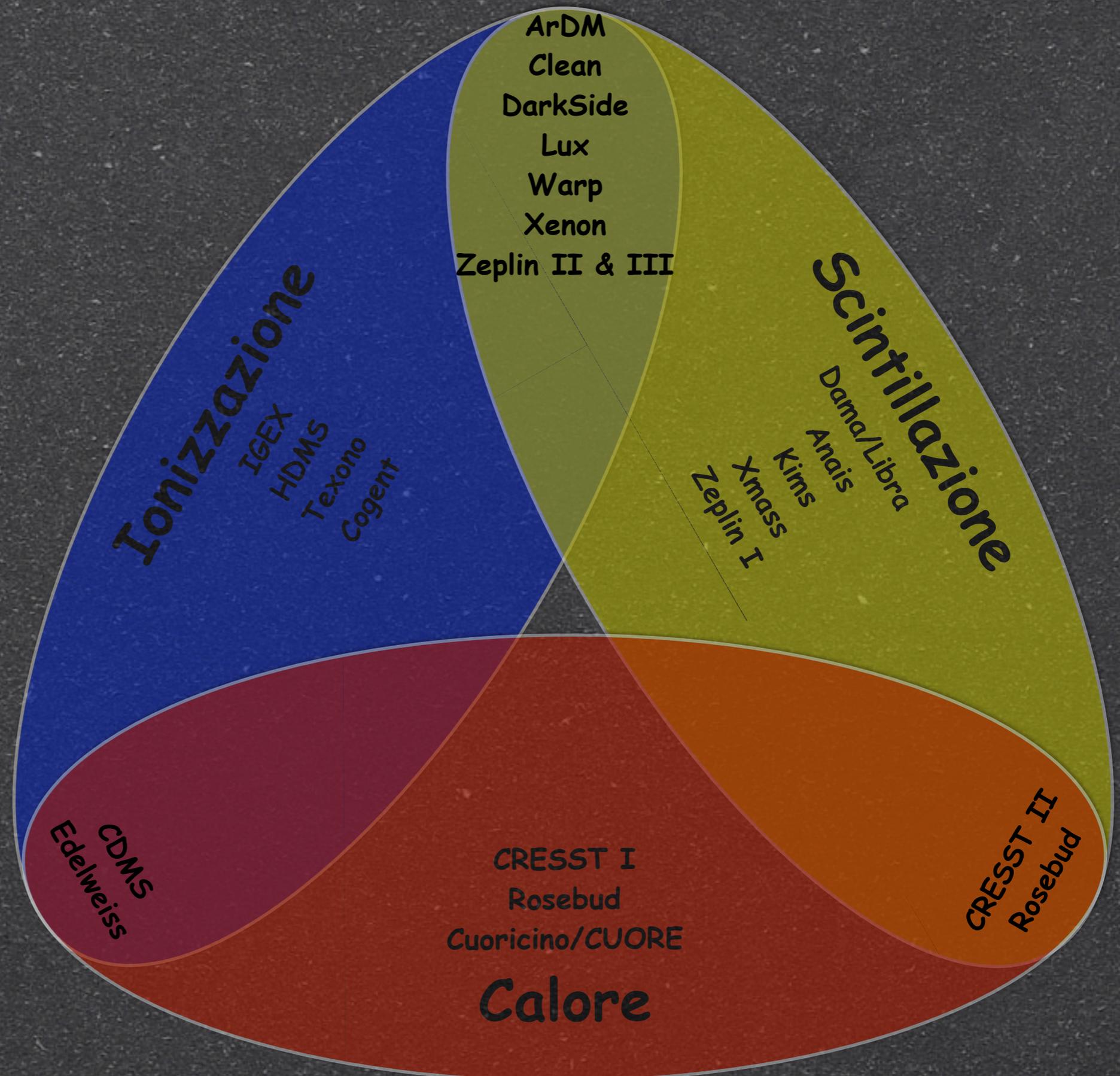
- Schermature per moderare i neutroni
- Muon Veto
- Underground
- Modularità o riconoscimento della posizione dell'evento (singolo vs multiplo)

# Rilevazione Diretta



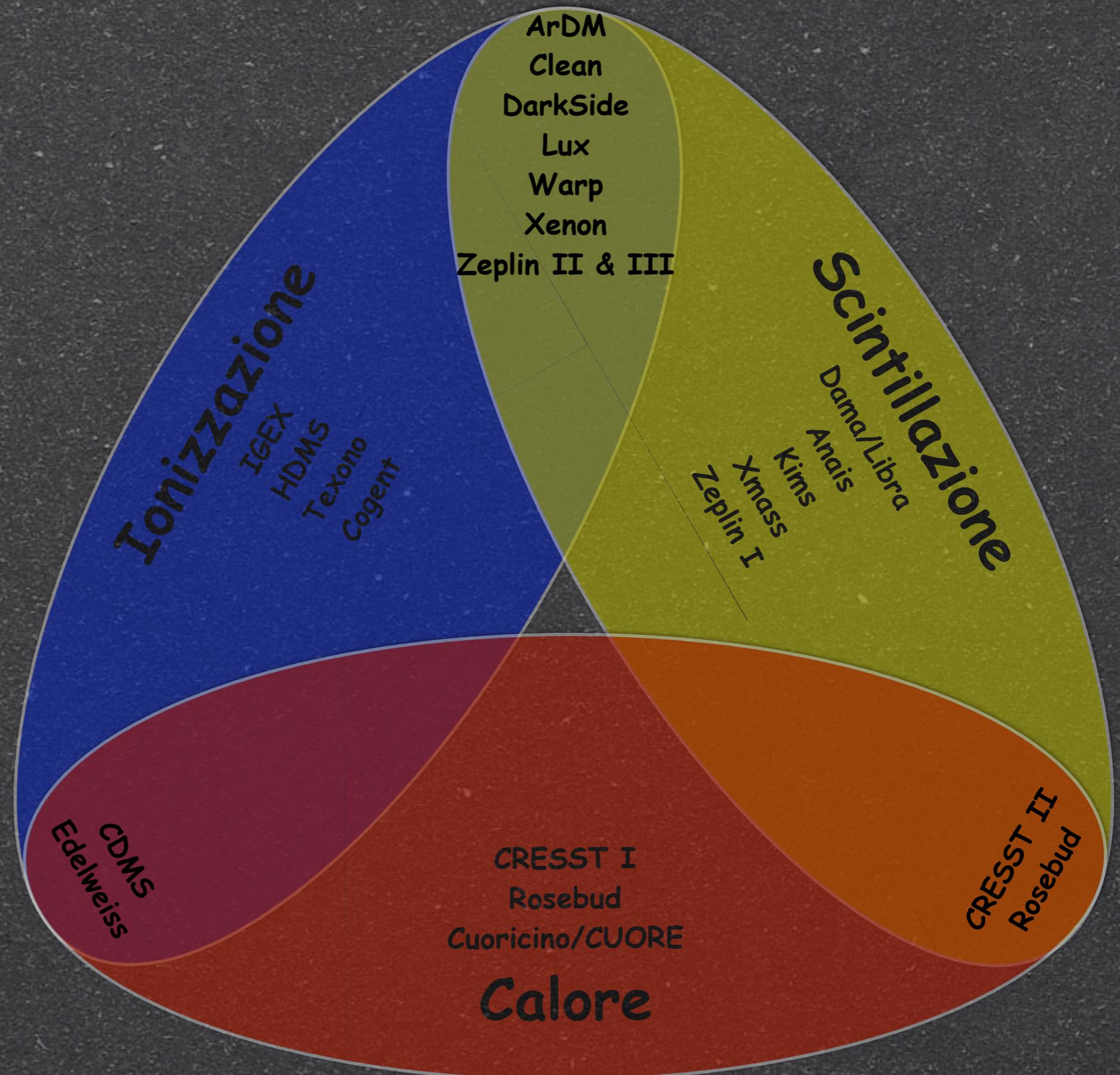
# Rilevazione Diretta

- Molteplici tecniche



# Rilevazione Diretta

- Molteplici tecniche
- Discriminazione tra fondo  $\beta/\gamma$  e rinculi nucleari con doppia lettura



# Rilevazione Diretta

- Molteplici tecniche
- Discriminazione tra fondo  $\beta/\gamma$  e rinculi nucleari con doppia lettura



Elenco largamente incompleto

# Rilevazione Diretta

- Molteplici tecniche
- Discriminazione tra fondo  $\beta/\gamma$  e rinculi nucleari con doppia lettura

- Bubble Chambers:  
Picasso, Coupp



Elenco largamente incompleto

# Rilevazione Diretta

- Molteplici tecniche
- Discriminazione tra fondo  $\beta/\gamma$  e rinculi nucleari con doppia lettura

- Bubble Chambers:  
Picasso, Coupp

- TPC a gas: Drift

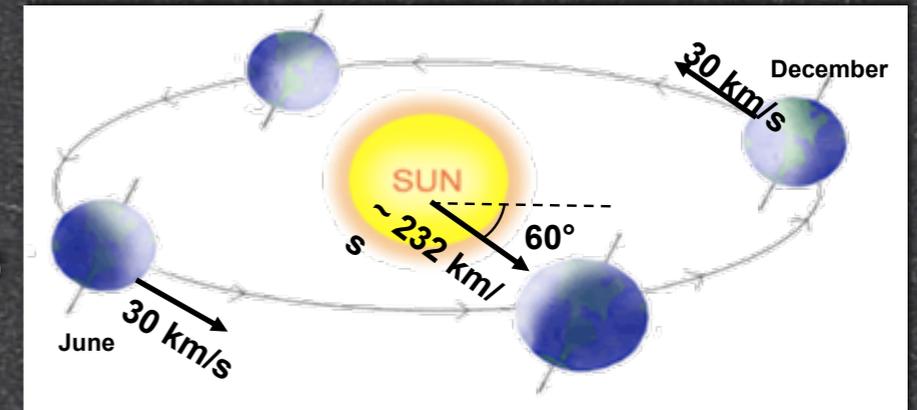


Elenco largamente incompleto

# Identificazione della DM

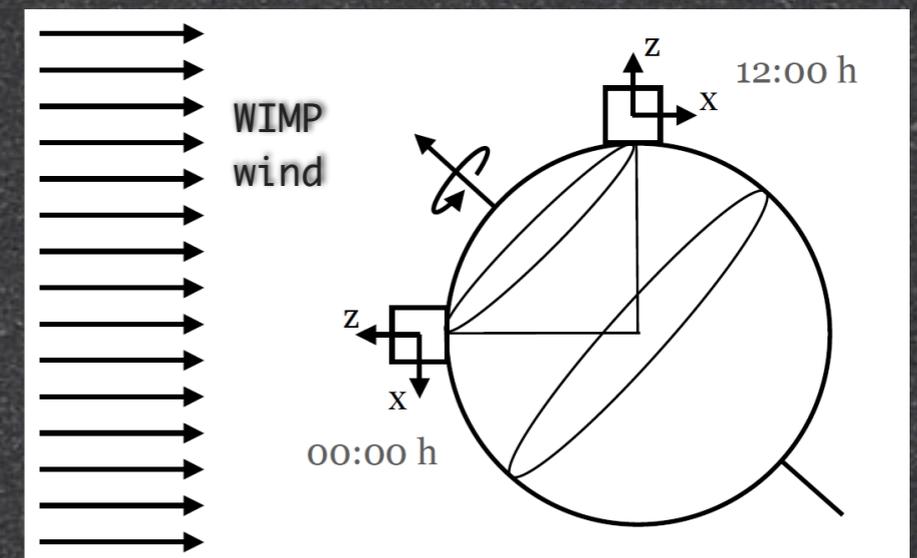
## ● Modulazione Stagionale

- $v_{\text{sun}} \sim 232 \text{ km/s}$  (velocità del Sole nell'alone)
- $v_{\text{orb}} = 30 \text{ km/s}$  (velocità della Terra intorno al Sole)
- $T = 1 \text{ anno}$
- $t_0 = 2 \text{ Giugno}$
- qualche % del rate totale



## ● Modulazione Diurna

- effetto più rilevante
- rivelatore direzionale (gas TPC)

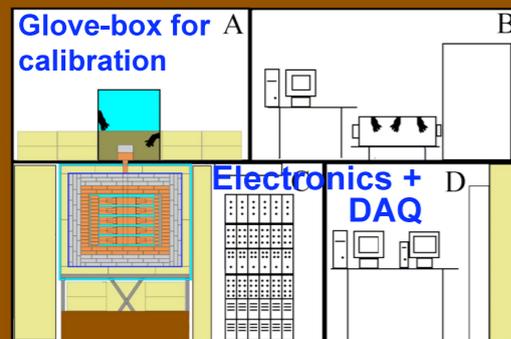


## ● Spettro e rate diverso su nuclei diversi

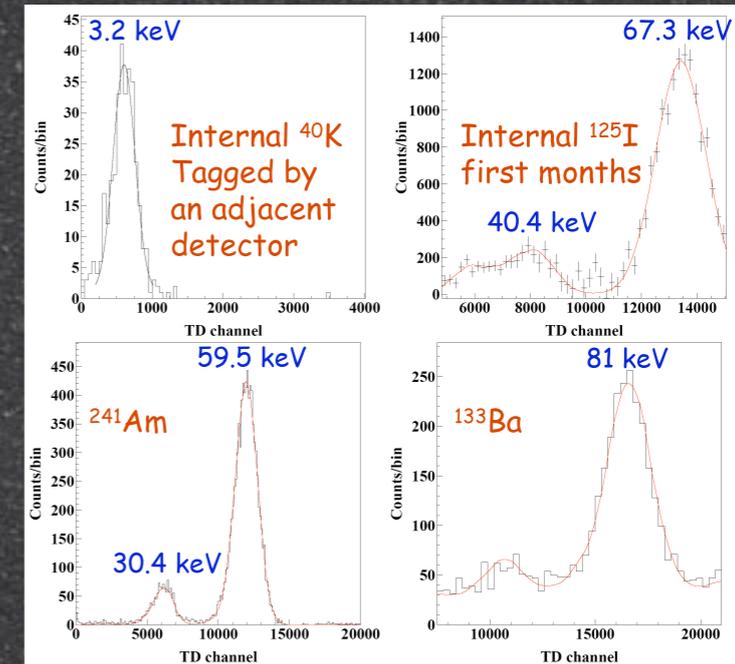
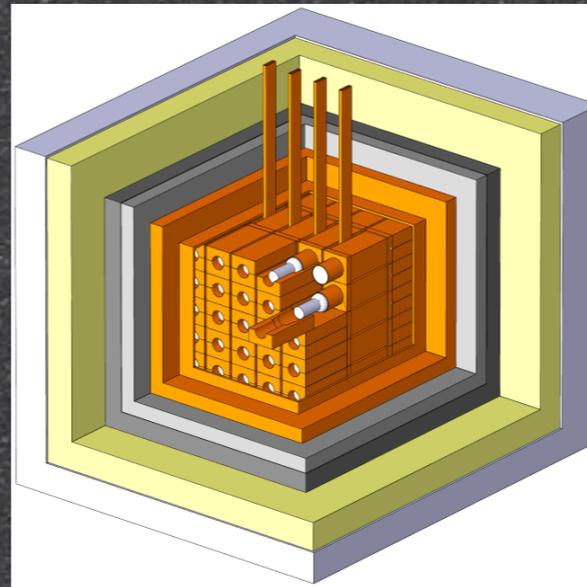
# Dama/Libra

- ~ 250 kg di NaI (radiopuro)
- soglia ~ 2 keV di scintillazione (equivalente a circa ~ 8-10 keV sui rinculi nucleari)

## Installation



- OFHC low radioactive copper
- Low radioactive lead
- Cadmium foils
- Polyethylene/Paraffin
- Concrete from GS rock

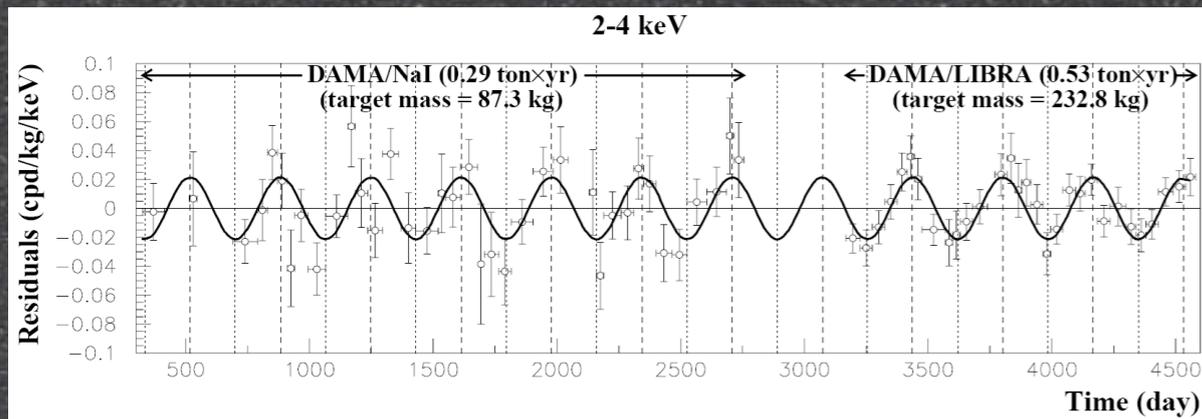


- elevata attenzione alla radiopurezza dei materiali



# Risultati di Dama/Libra

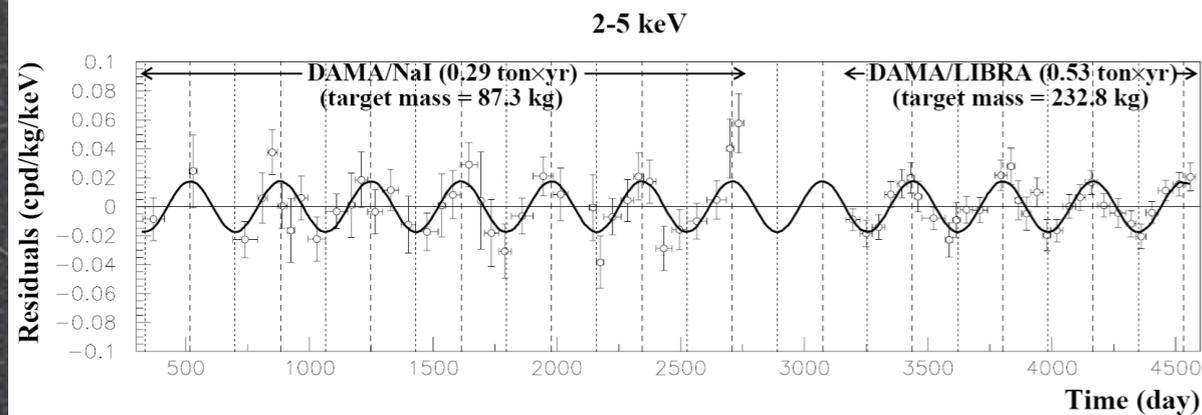
DAMA/NaI (7 anni) + DAMA/LIBRA (4 anni); Total exposure: 300555 kg day = 0.82 ton y



2-4 keV

$$A = 0.0215 \pm 0.0026 \text{ conteggi } \text{keV}^{-1} \text{ Kg}^{-1} \text{ day}^{-1}$$

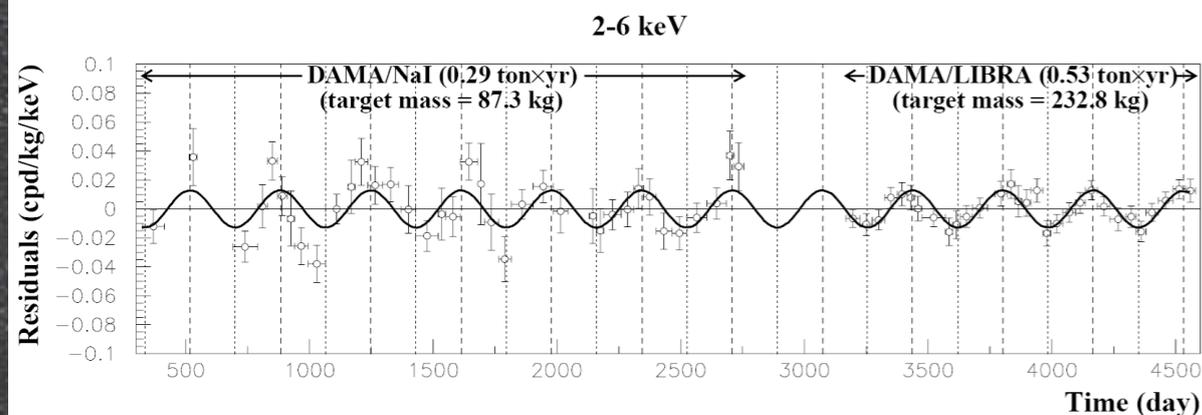
$$\chi^2/\text{dof} = 51.9/66 \quad 8.3\sigma \text{ C.L.}$$



2-5 keV

$$A = 0.0176 \pm 0.0020 \text{ conteggi } \text{keV}^{-1} \text{ Kg}^{-1} \text{ day}^{-1}$$

$$\chi^2/\text{dof} = 39.6/66 \quad 8.8\sigma \text{ C.L.}$$



2-6 keV

$$A = 0.0129 \pm 0.0016 \text{ conteggi } \text{keV}^{-1} \text{ Kg}^{-1} \text{ day}^{-1}$$

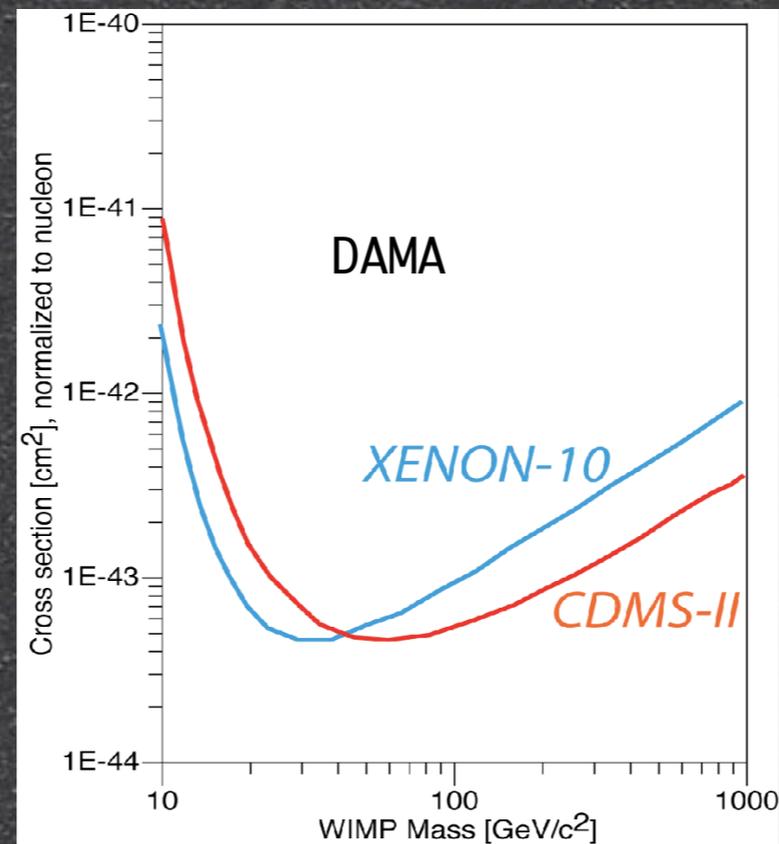
$$\chi^2/\text{dof} = 54.3/66 \quad 8.2\sigma \text{ C.L.}$$

- bassa energia
- periodo corretto (1 anno)
- fase corretta (circa 2 Giugno)
- eventi di singola

$$A \cos[2\pi/T(t-t_0)]; \quad t_0=152.5 \text{ giorni}; \quad T=1.00 \text{ anni}$$

# Dama/Libra escluso?

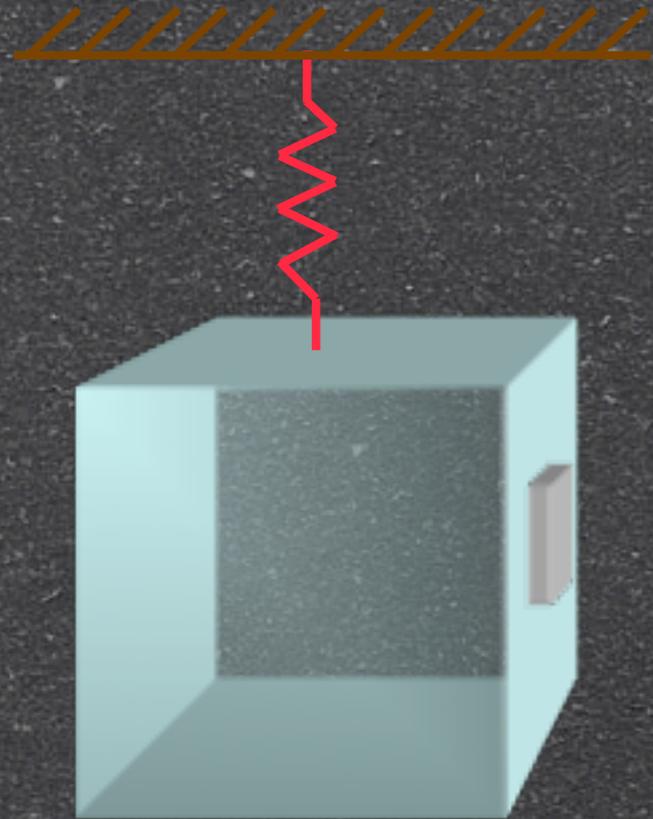
- Il risultato di Dama/Libra è incompatibile con numerosi esperimenti: CDMS, CRESST, Edelweiss, Warp, Xenon, etc.



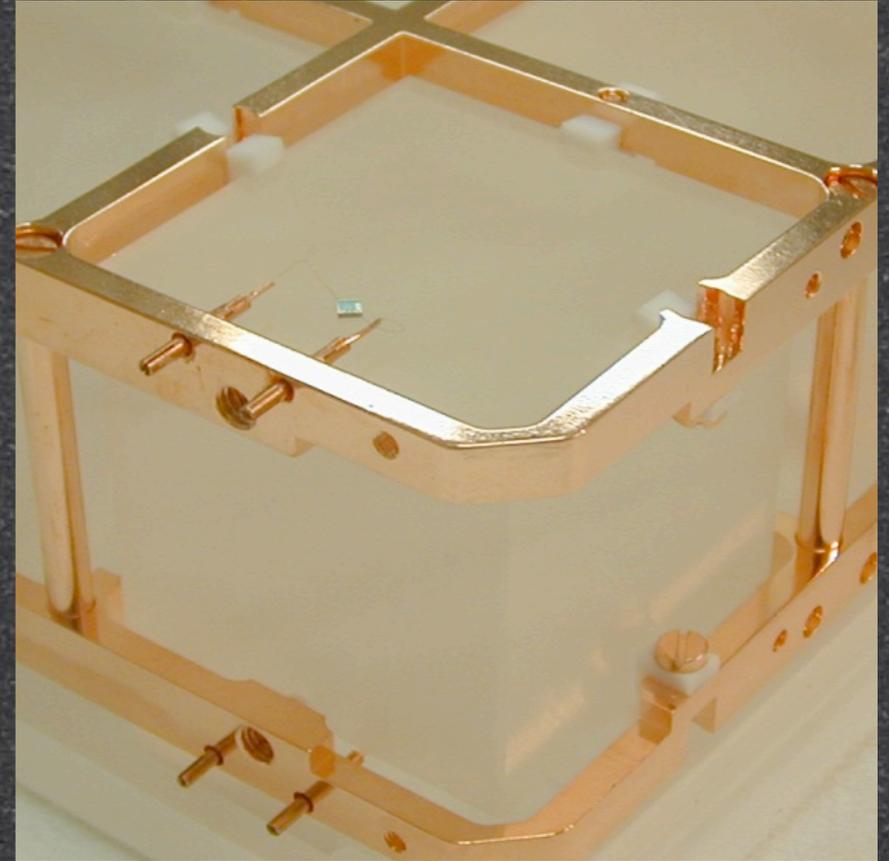
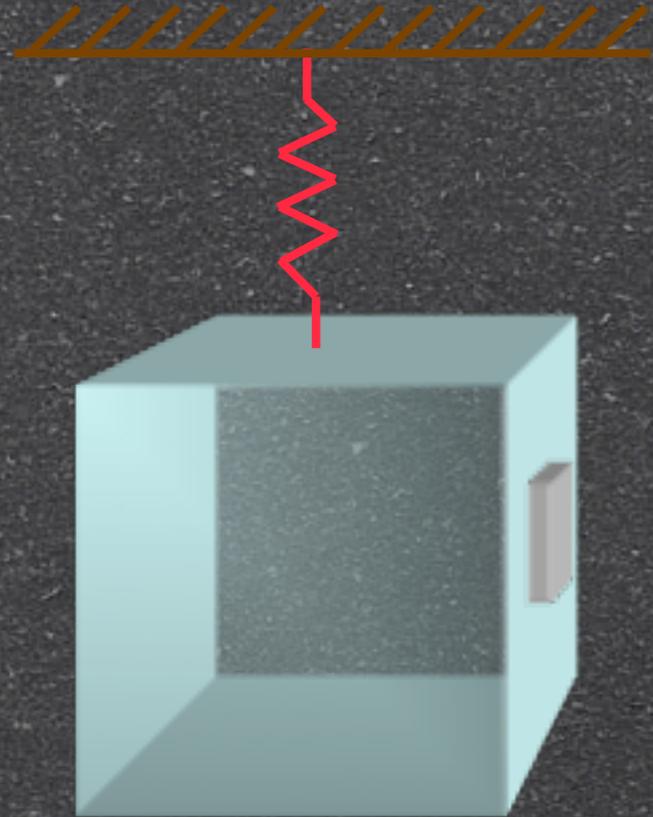
- ma questo è vero solo assumendo lo "Standard Halo Model"!
- non conoscendo di cosa è costituita la DM il risultato di Dama/Libra non va trascurato e va confrontato modello per modello

# Rivelatori Criogenici

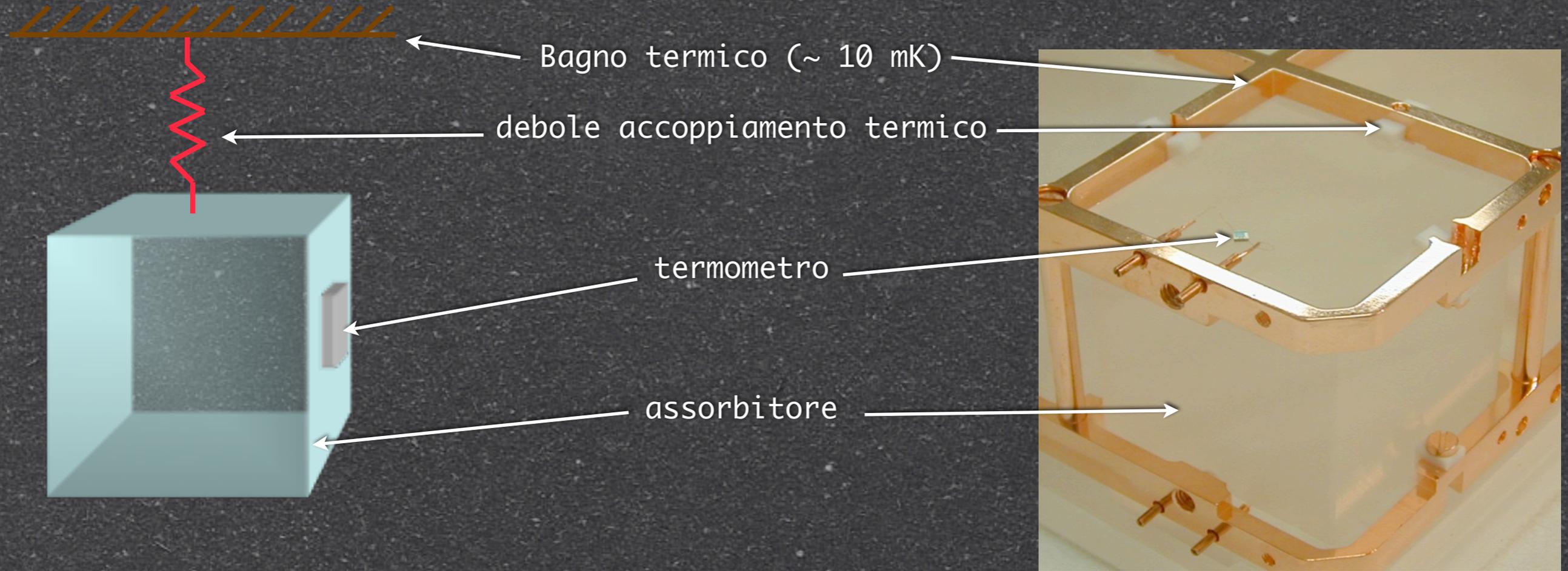
# Rivelatori Criogenici



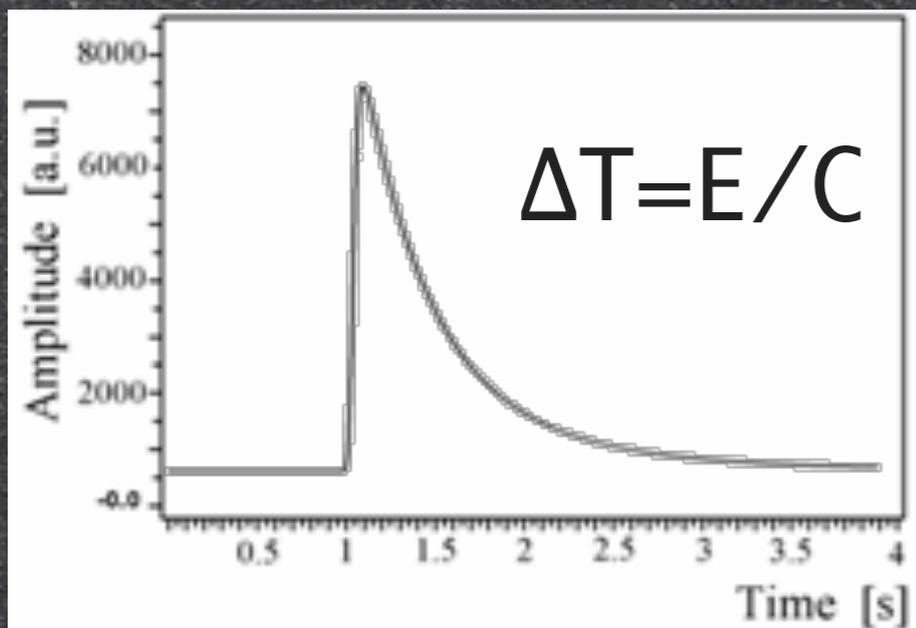
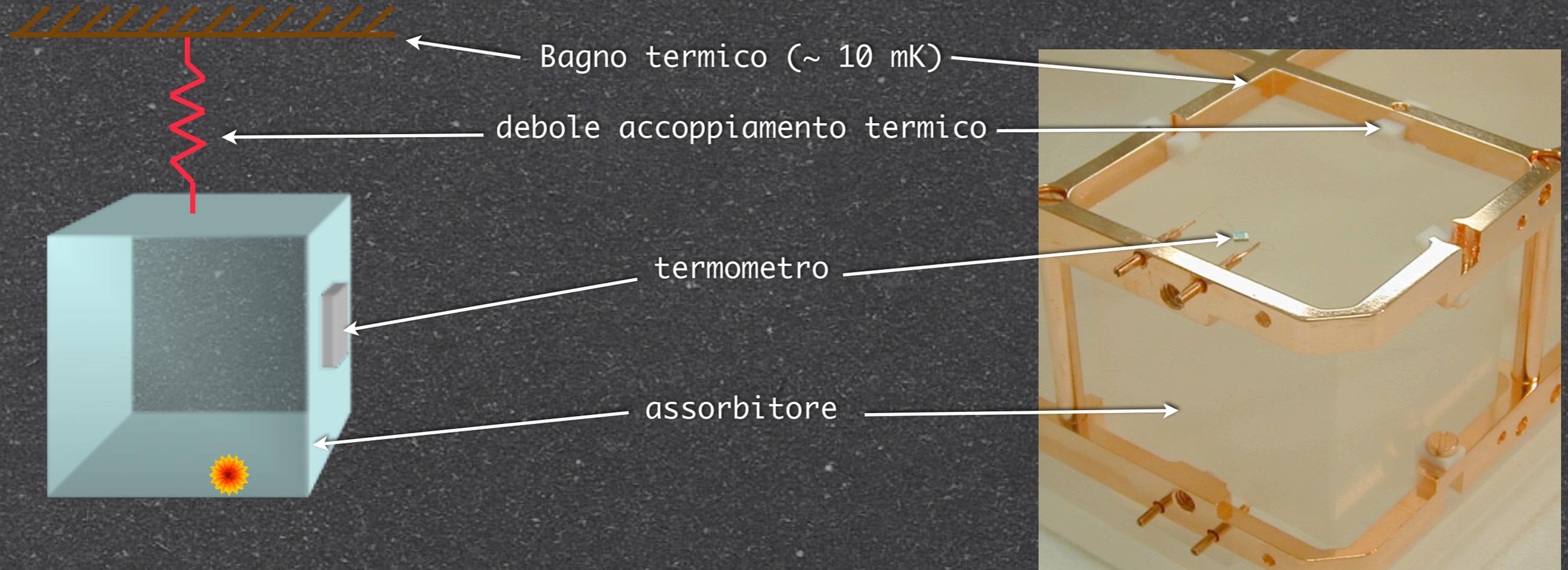
# Rivelatori Criogenici



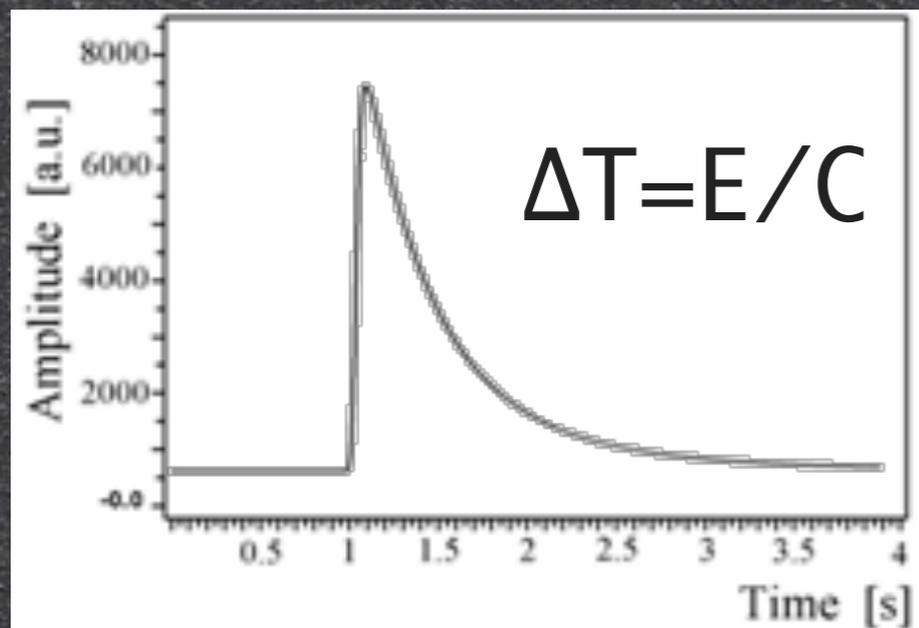
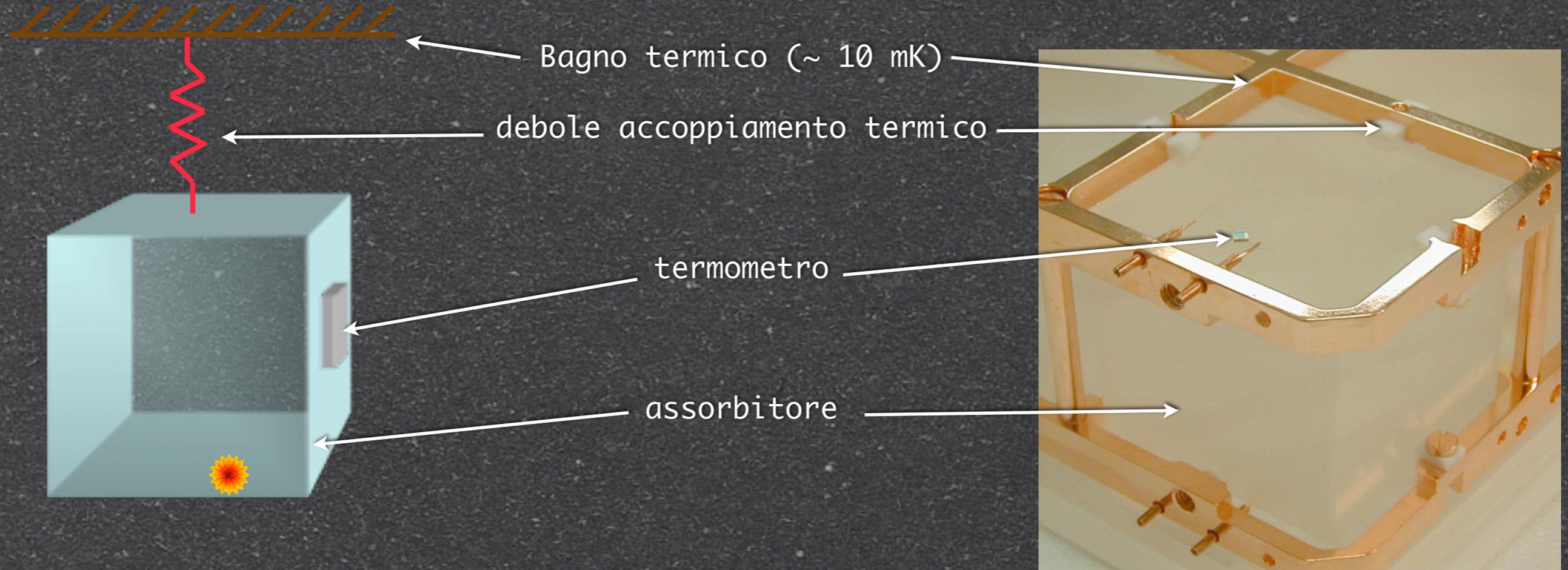
# Rivelatori Criogenici



# Rivelatori Criogenici

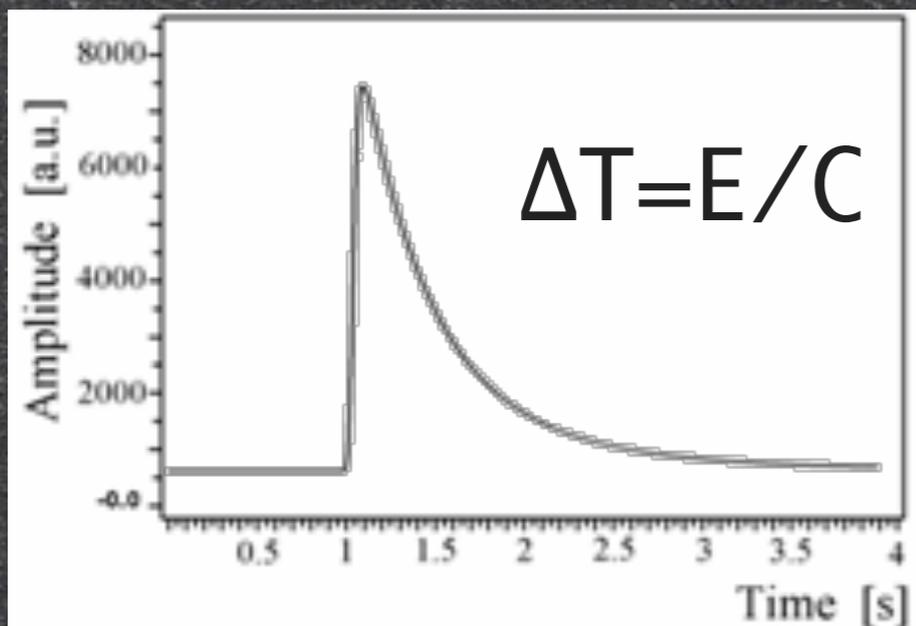
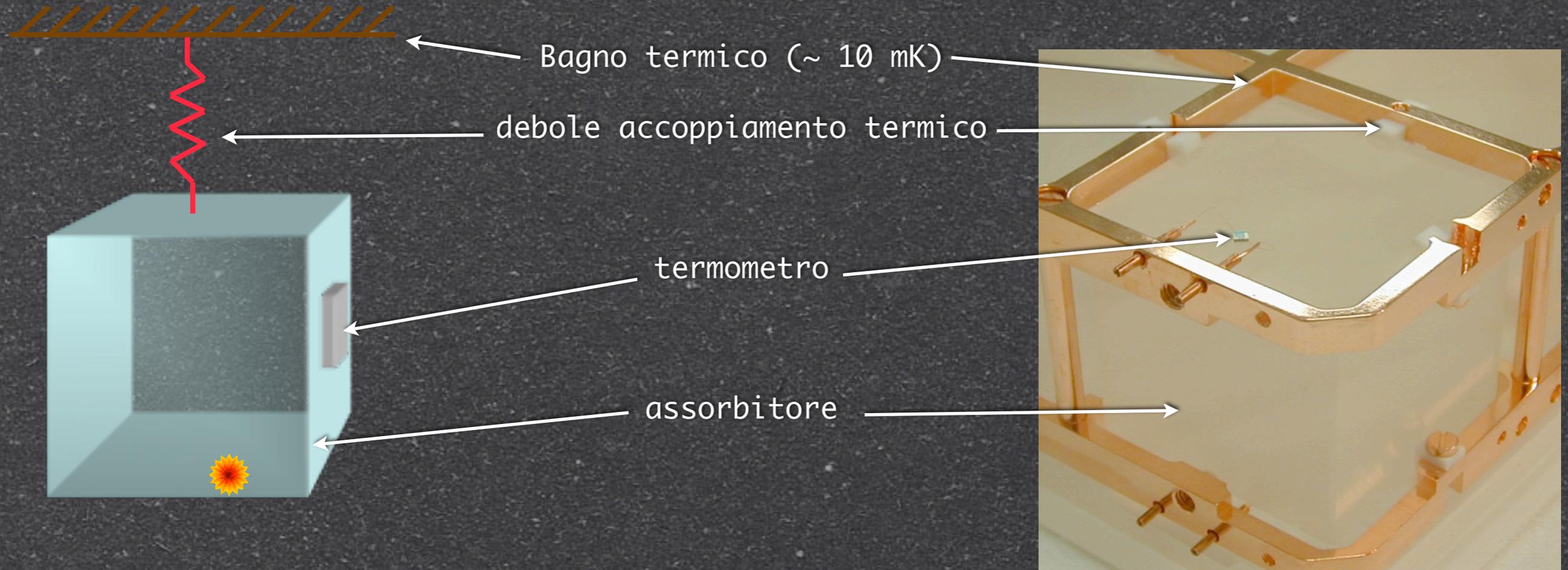


# Rivelatori Criogenici



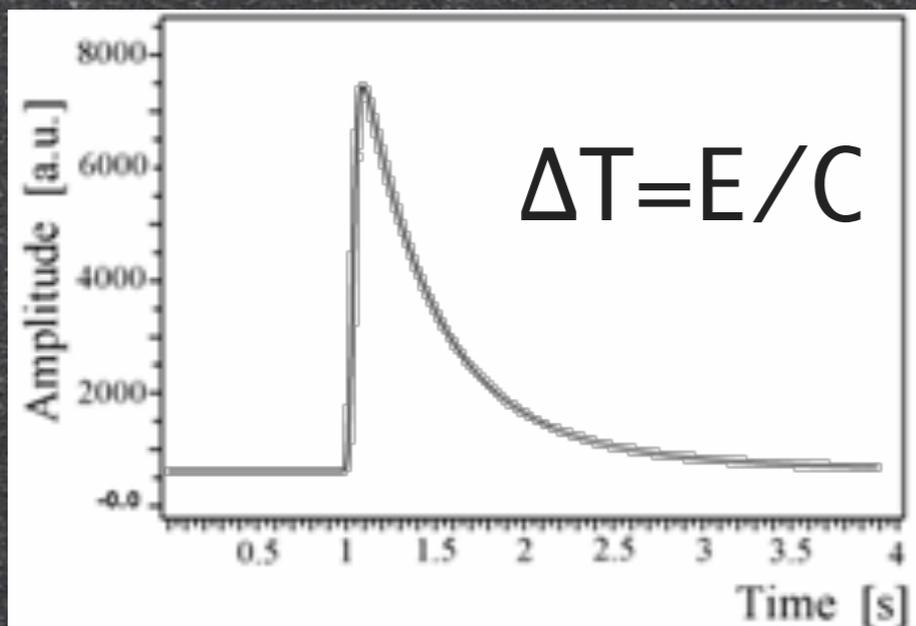
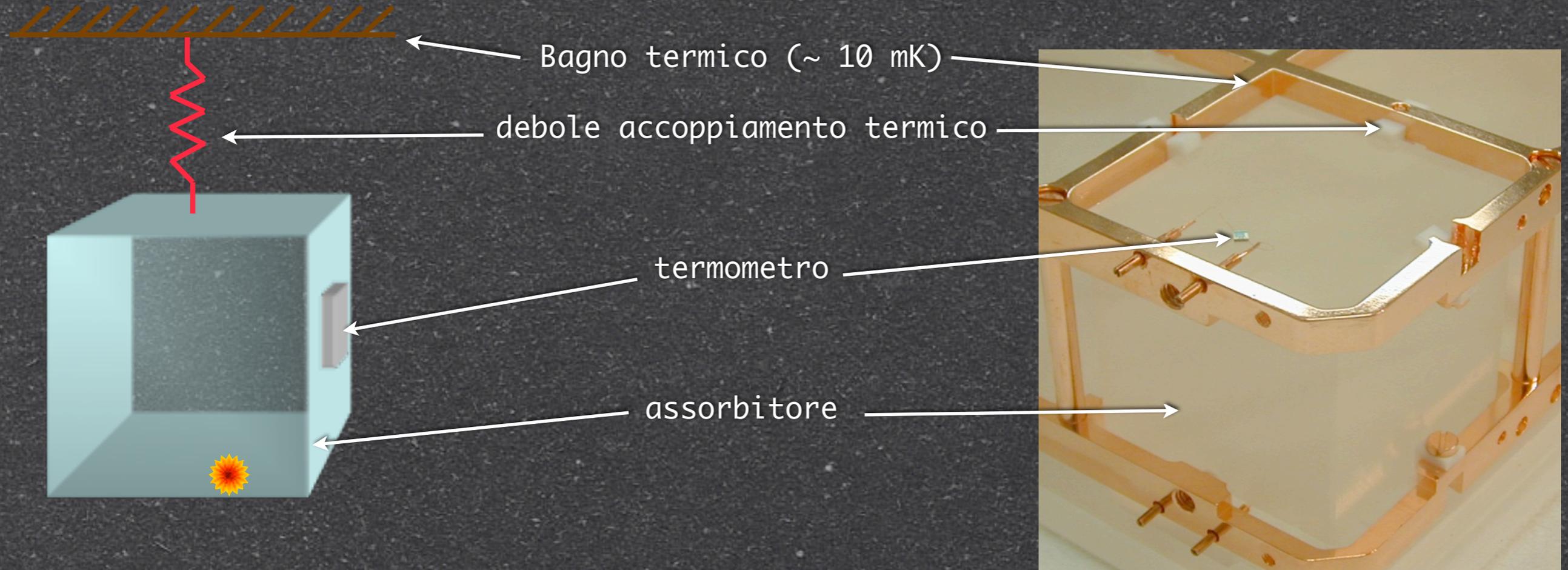
- Ampia scelta di materiali

# Rivelatori Criogenici



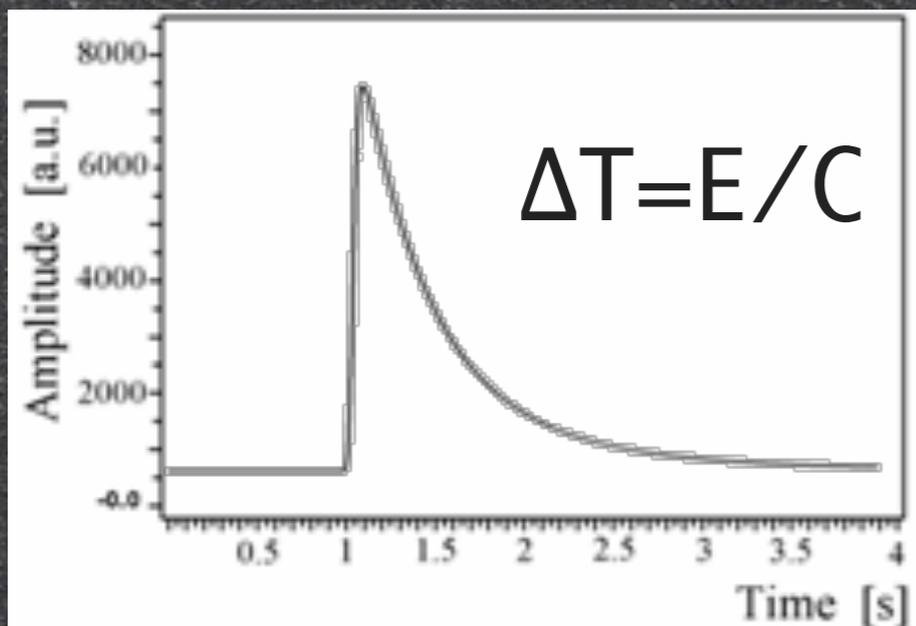
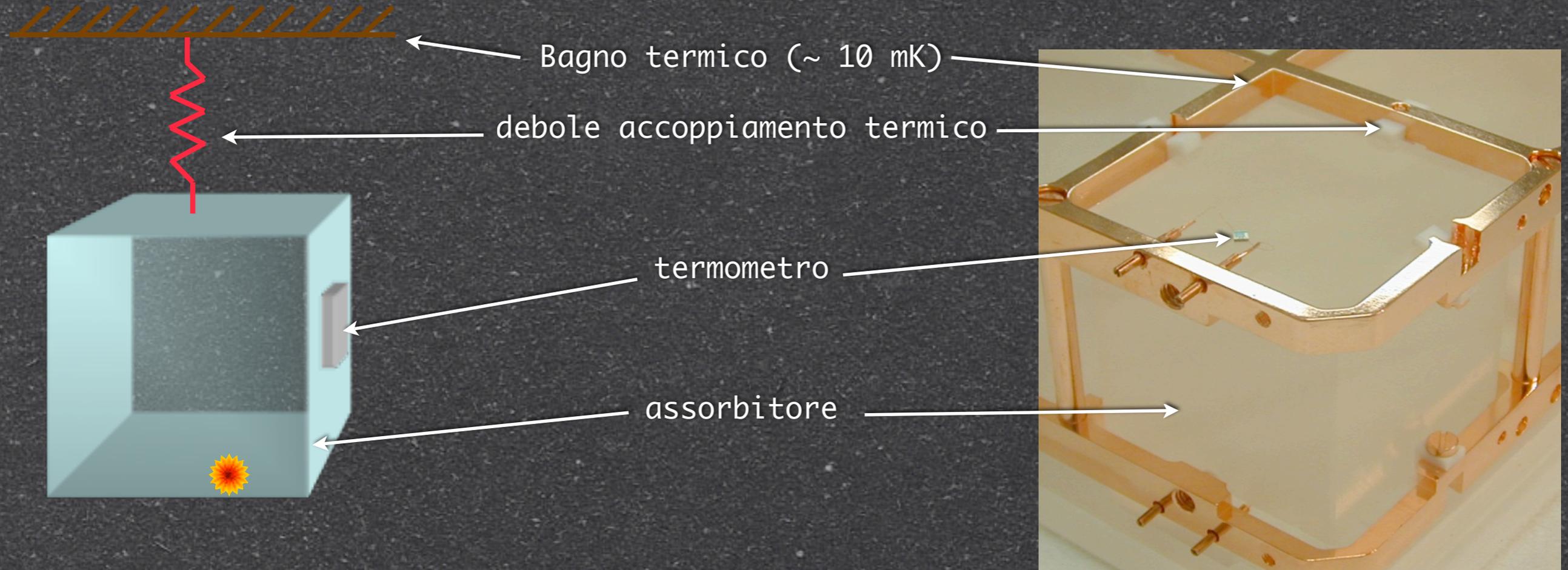
- Ampia scelta di materiali
- ottima risoluzione energetica

# Rivelatori Criogenici



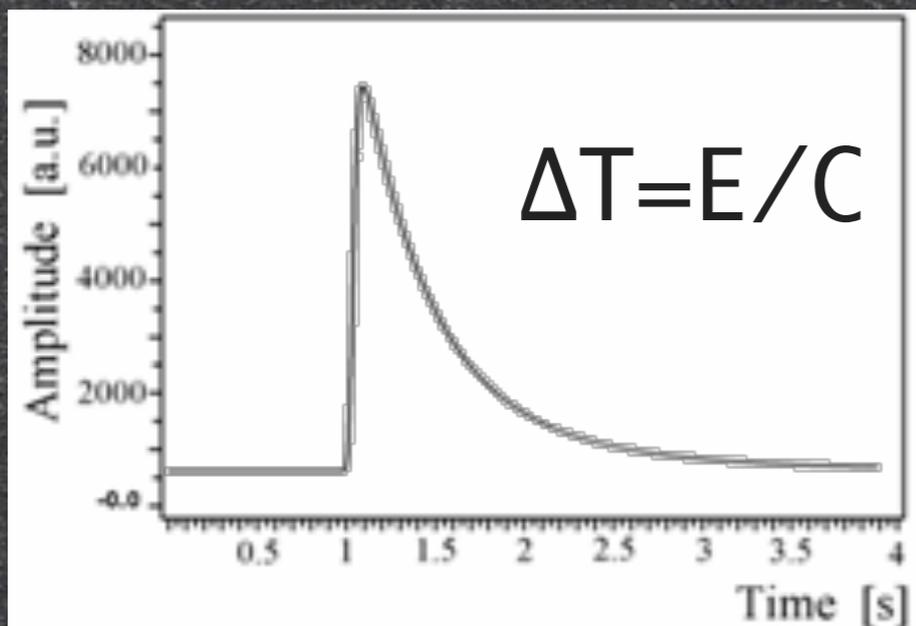
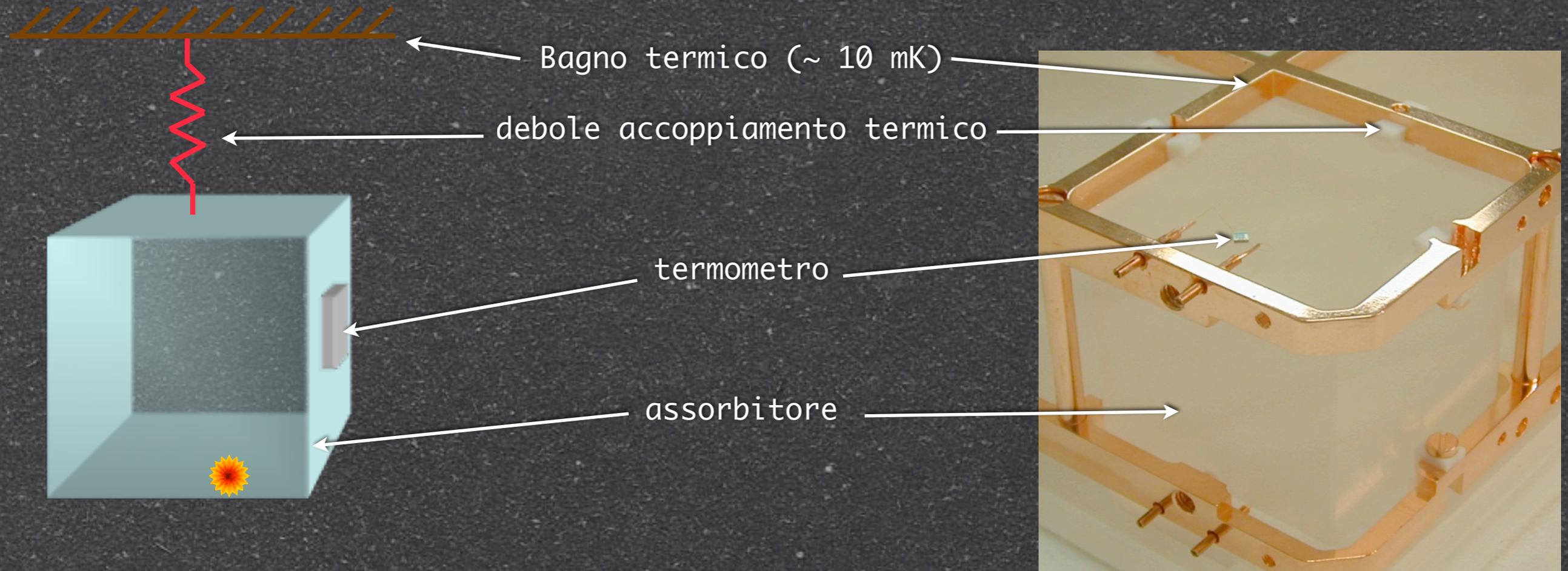
- Ampia scelta di materiali
- ottima risoluzione energetica
- veri calorimetri

# Rivelatori Criogenici



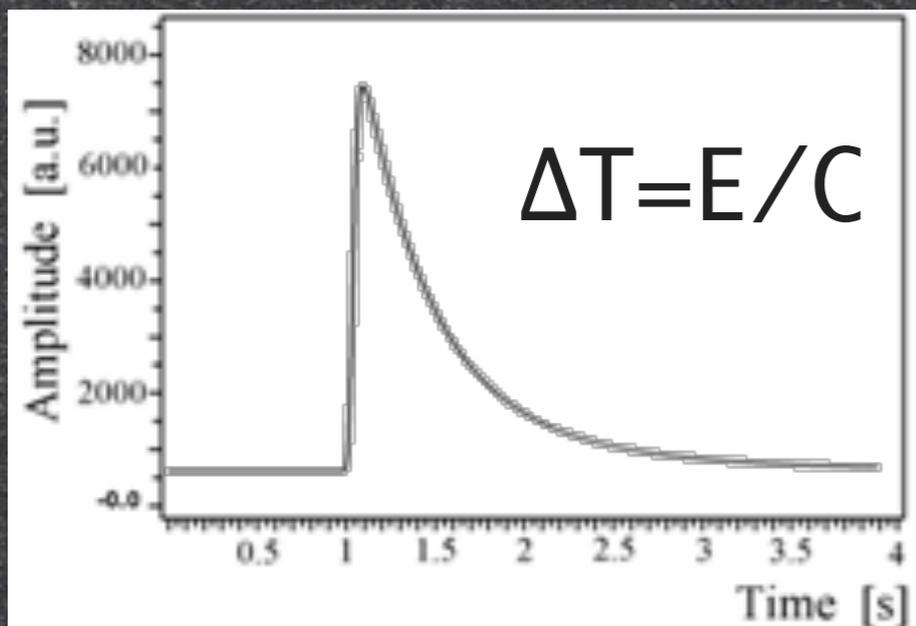
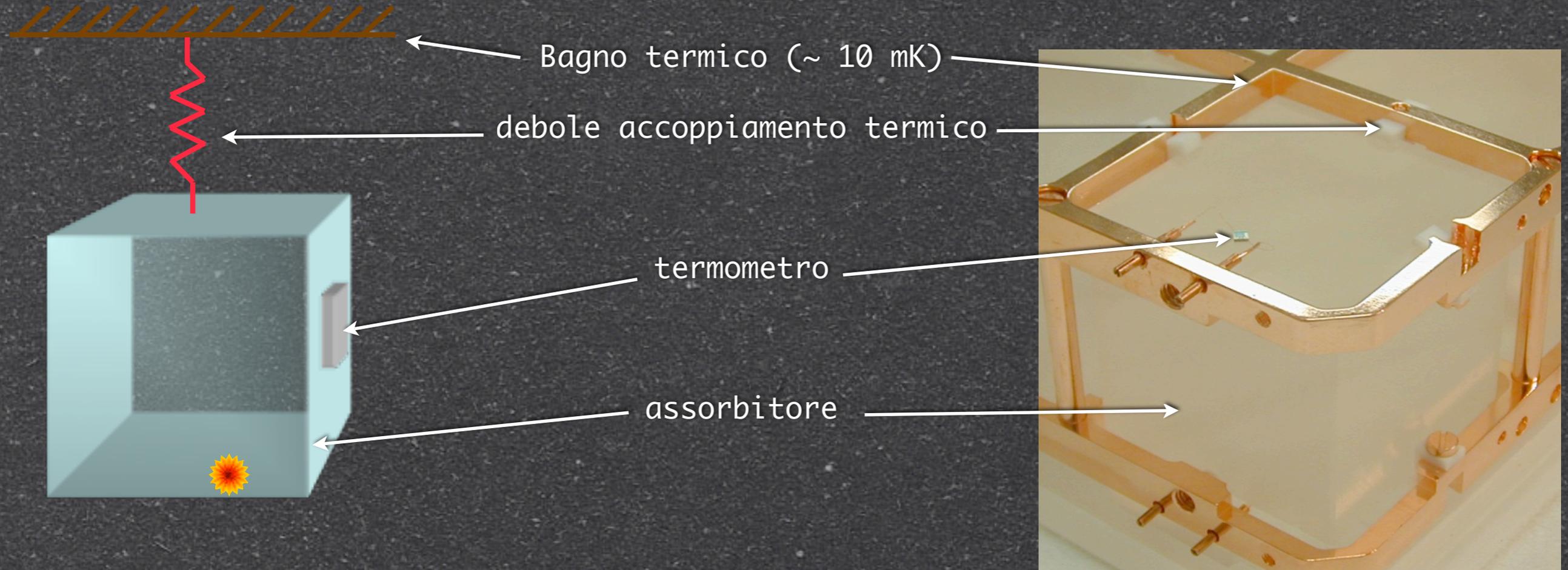
- Ampia scelta di materiali
- ottima risoluzione energetica
- veri calorimetri
- risposta indipendente dal tipo di particella incidente ( $QF \sim 1$ )

# Rivelatori Criogenici



- Ampia scelta di materiali
- ottima risoluzione energetica
- veri calorimetri
- risposta indipendente dal tipo di particella incidente ( $QF \sim 1$ )
- lenti (ma qui non conta)

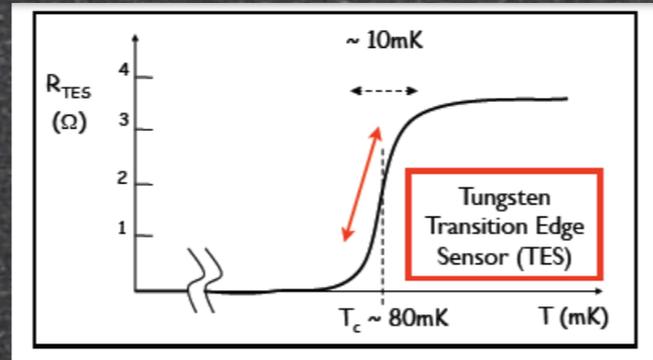
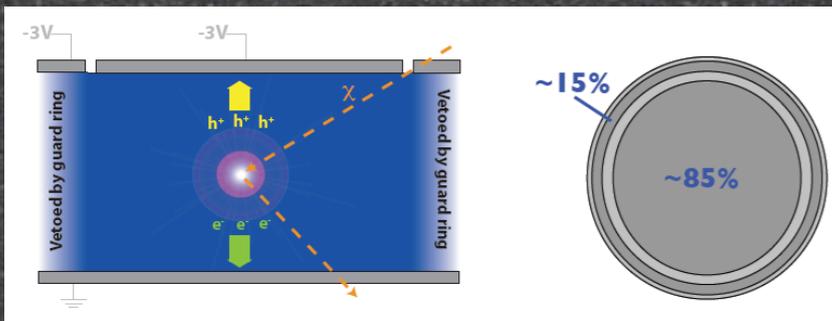
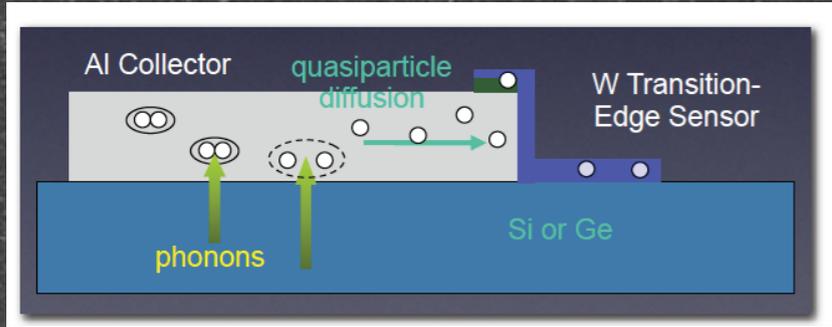
# Rivelatori Criogenici



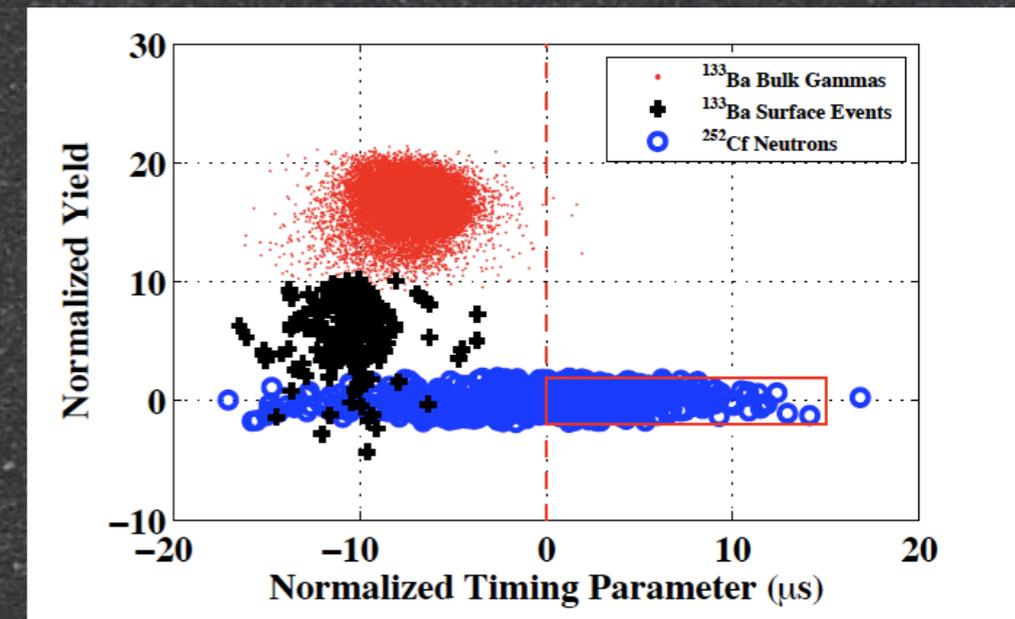
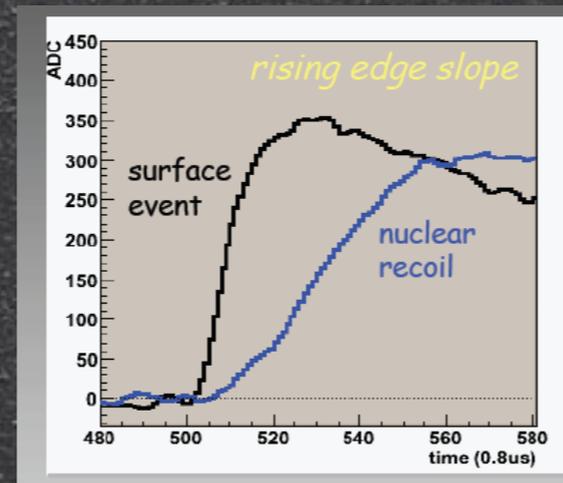
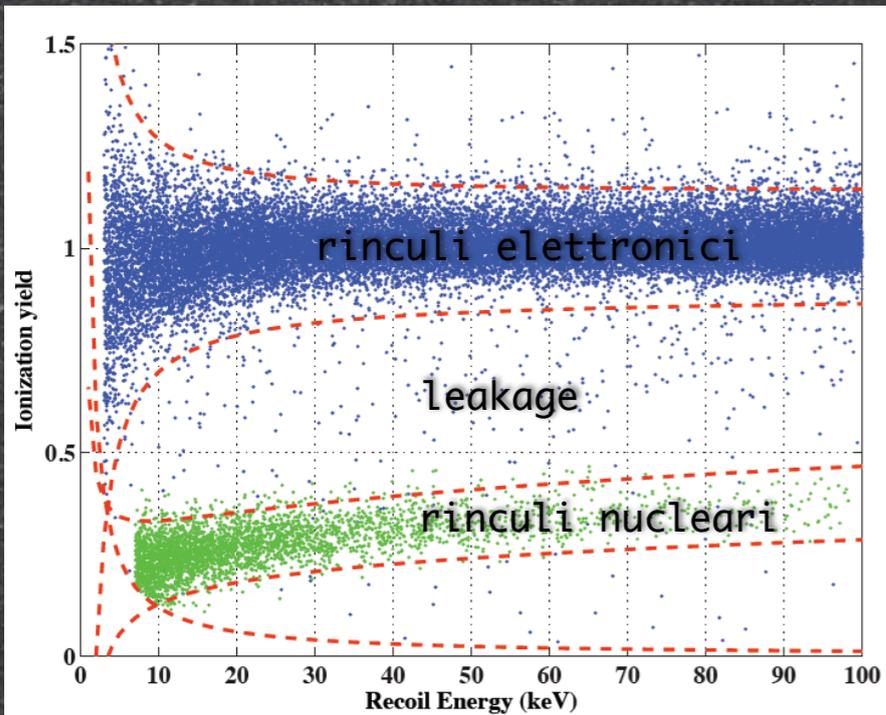
- Ampia scelta di materiali
- ottima risoluzione energetica
- veri calorimetri
- risposta indipendente dal tipo di particella incidente ( $QF \sim 1$ )
- lenti (ma qui non conta)
- funzionamento complesso

# CDMS II

- 19 rivelatori di Ge (4.4 kg) e 11 di Si (1.1 kg)
- doppia lettura (fononi e ionizzazione)

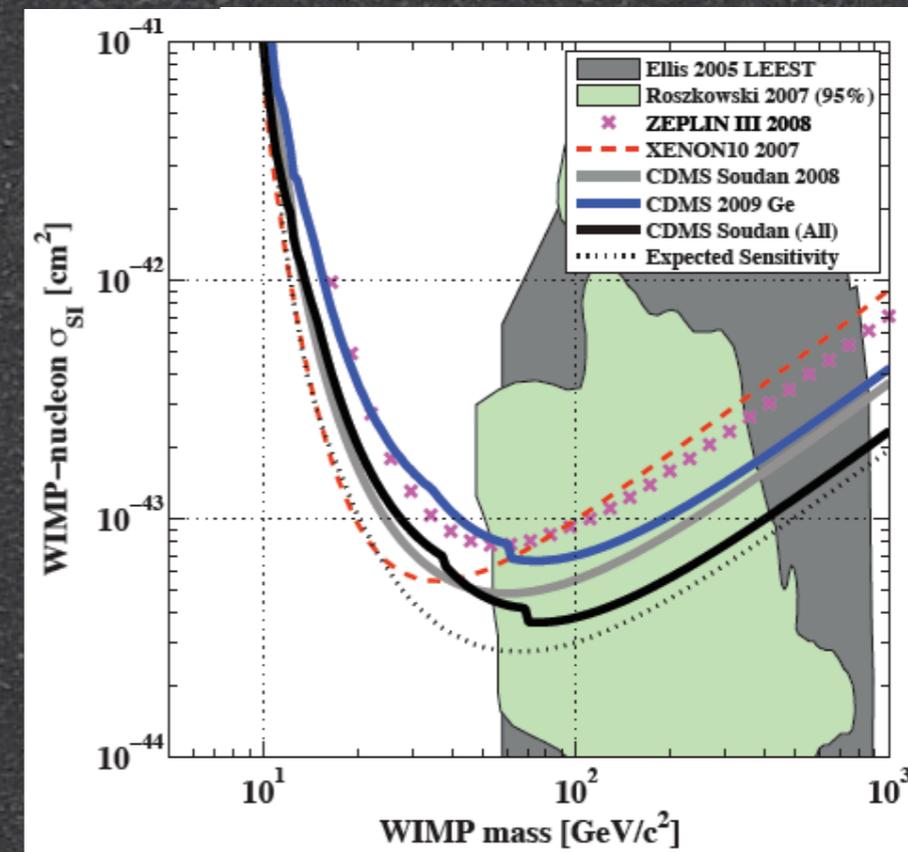
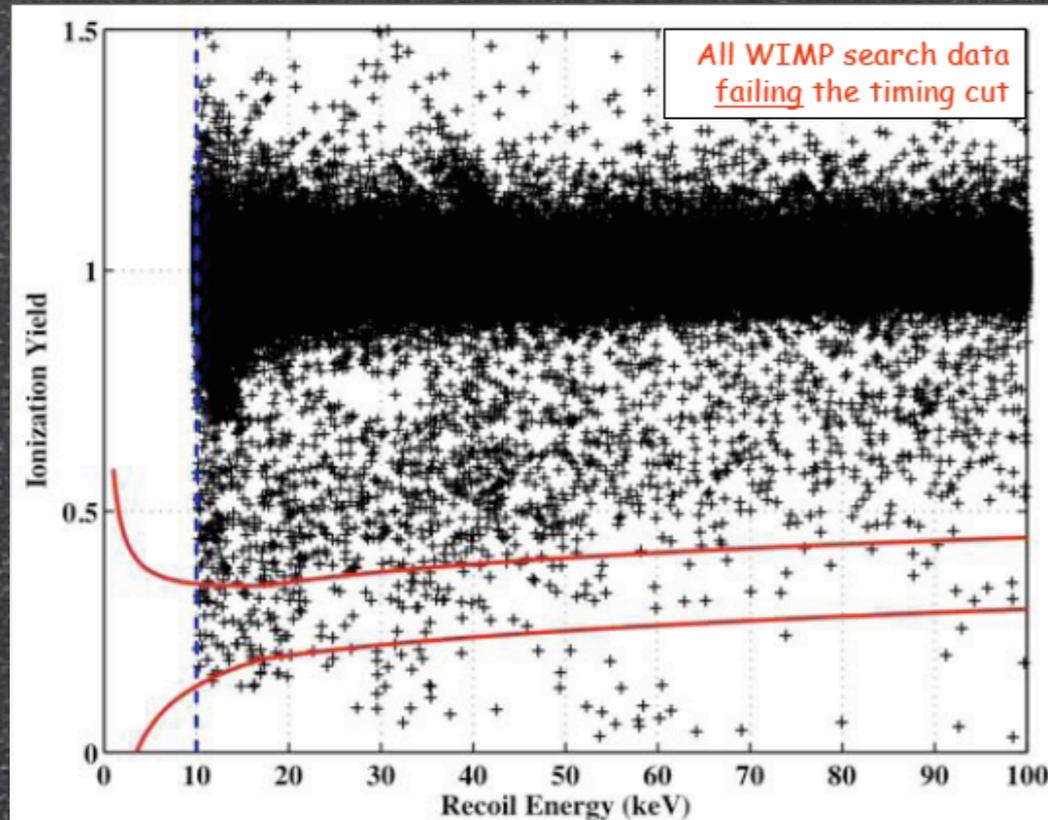
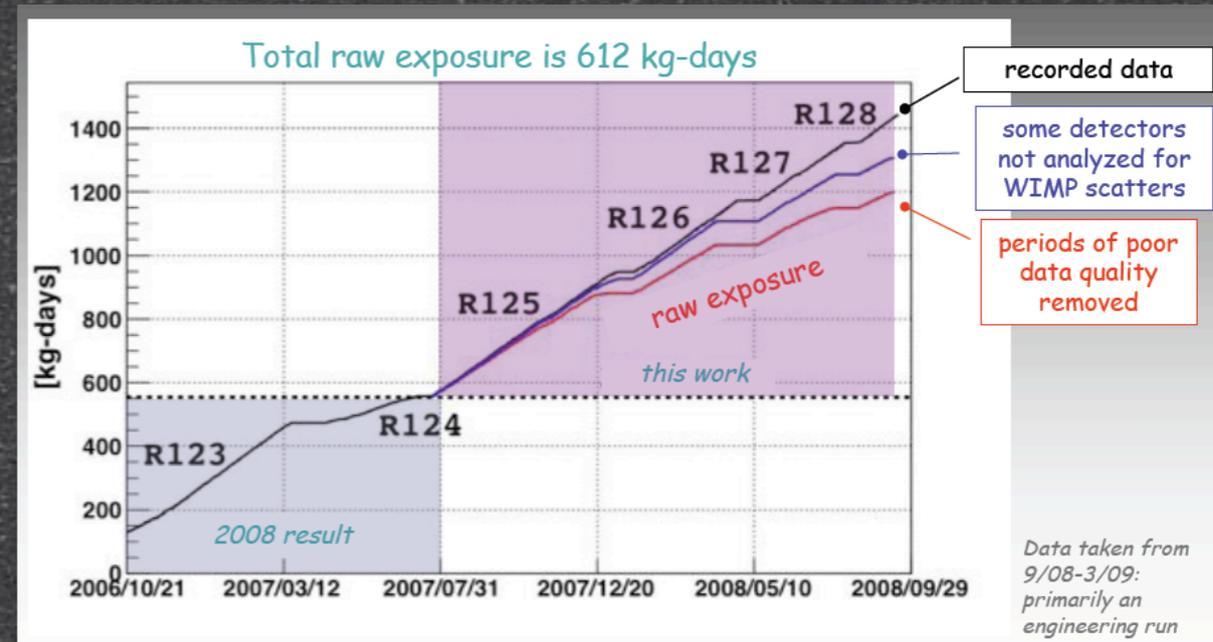


- interazioni nello strato morto superficiale danno luogo a leakage



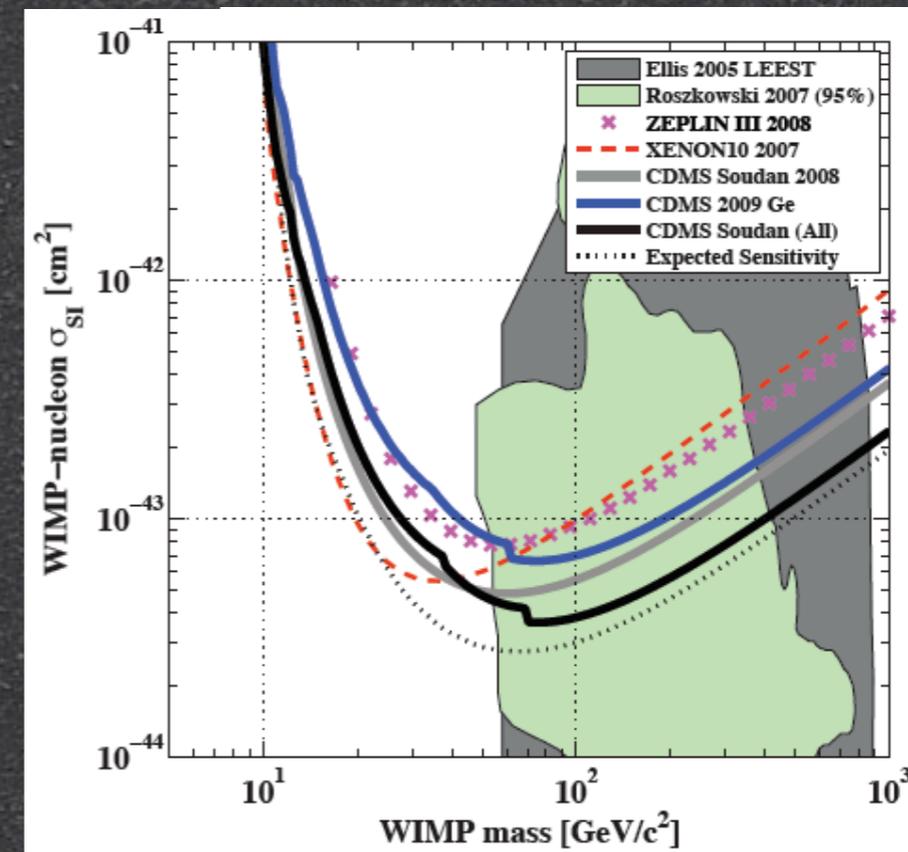
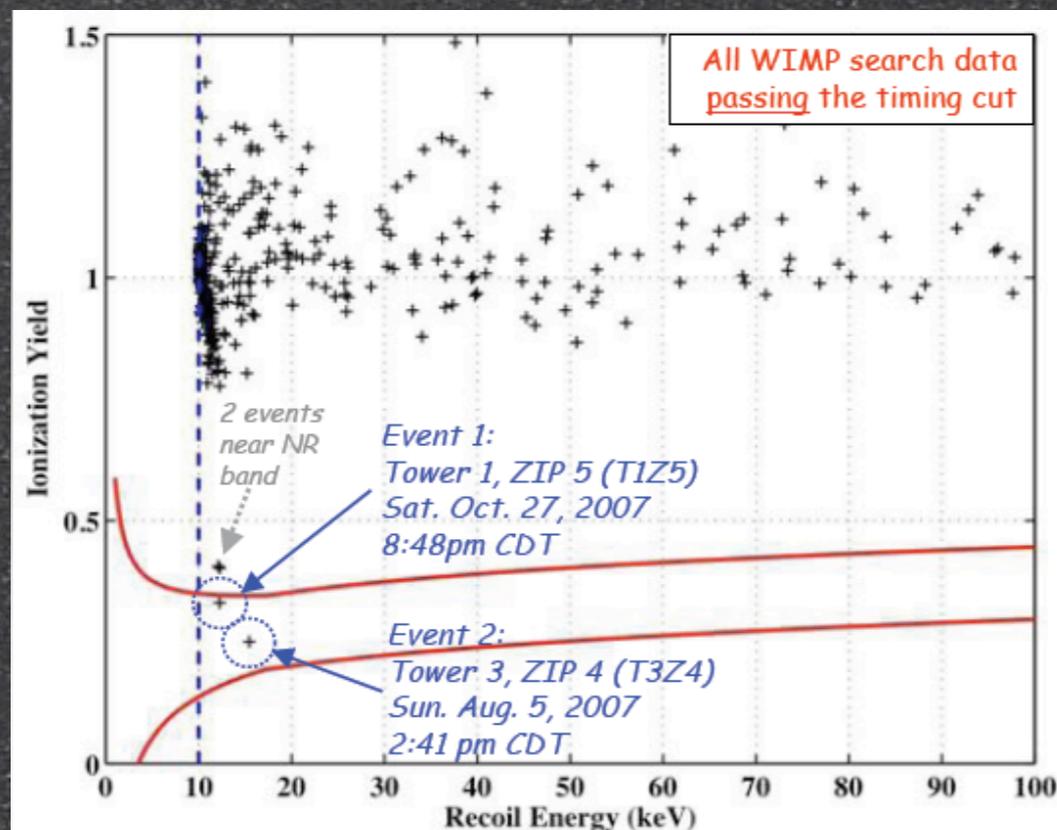
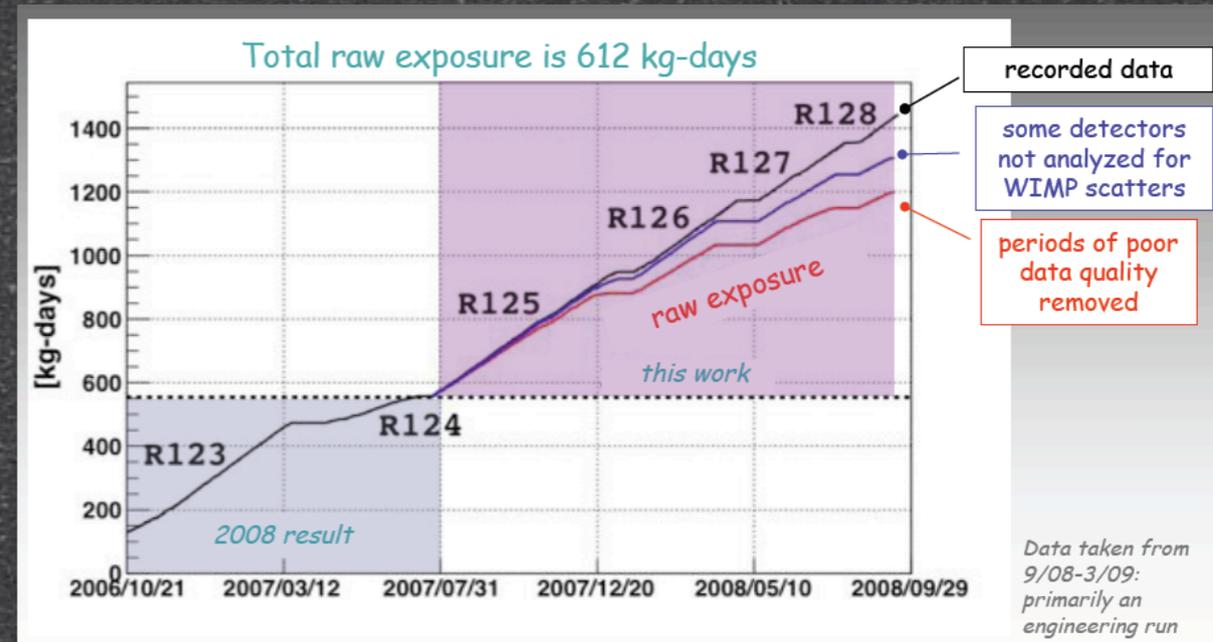
# Risultati di CDMS II

- raw exposure 612 kg-day
- dopo i tagli 194.1 kg-day
- accumulati circa 0.4 kg/day!

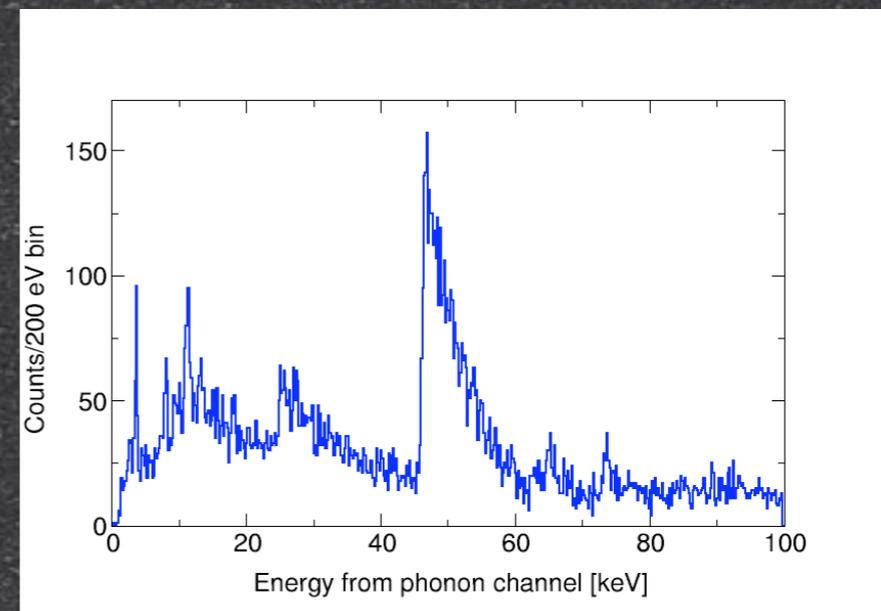
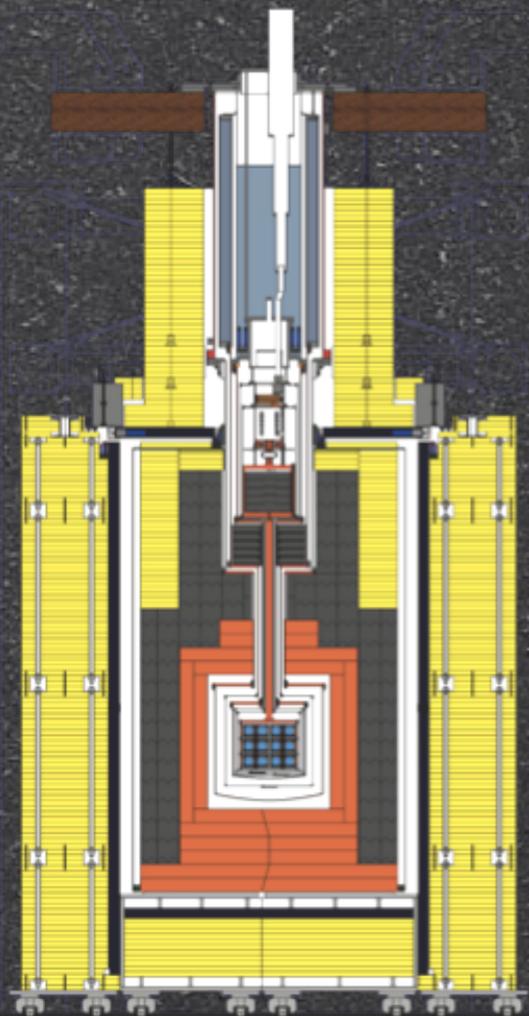
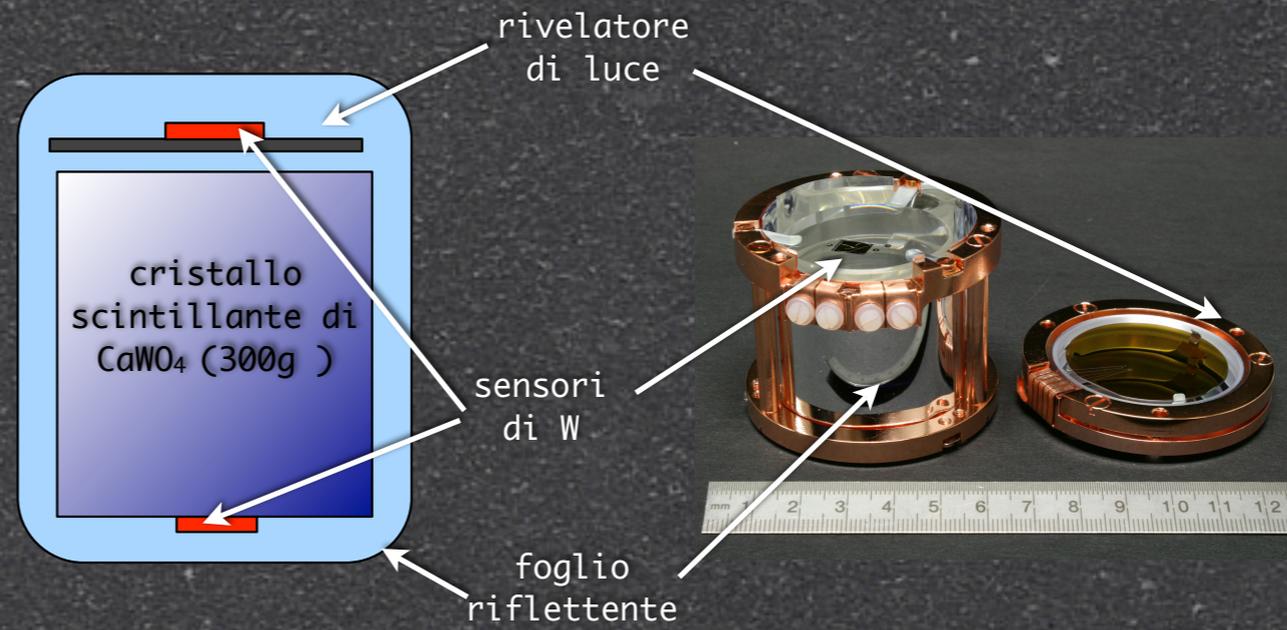


# Risultati di CDMS II

- raw exposure 612 kg-day
- dopo i tagli 194.1 kg-day
- accumulati circa 0.4 kg/day!



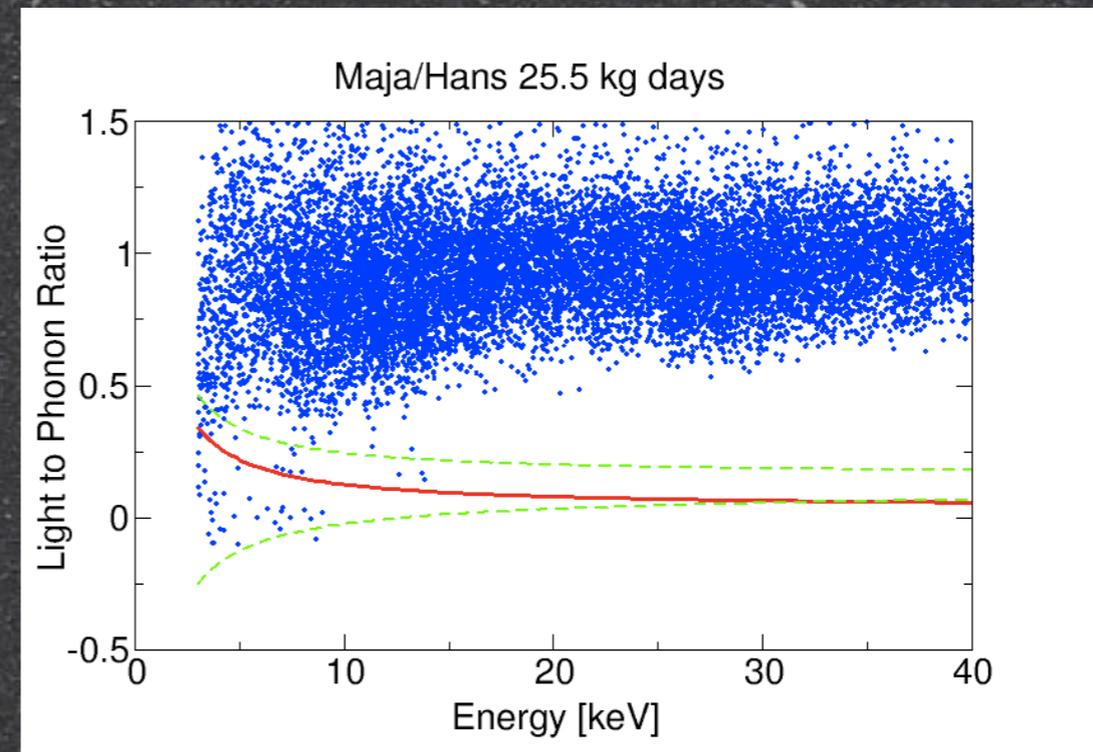
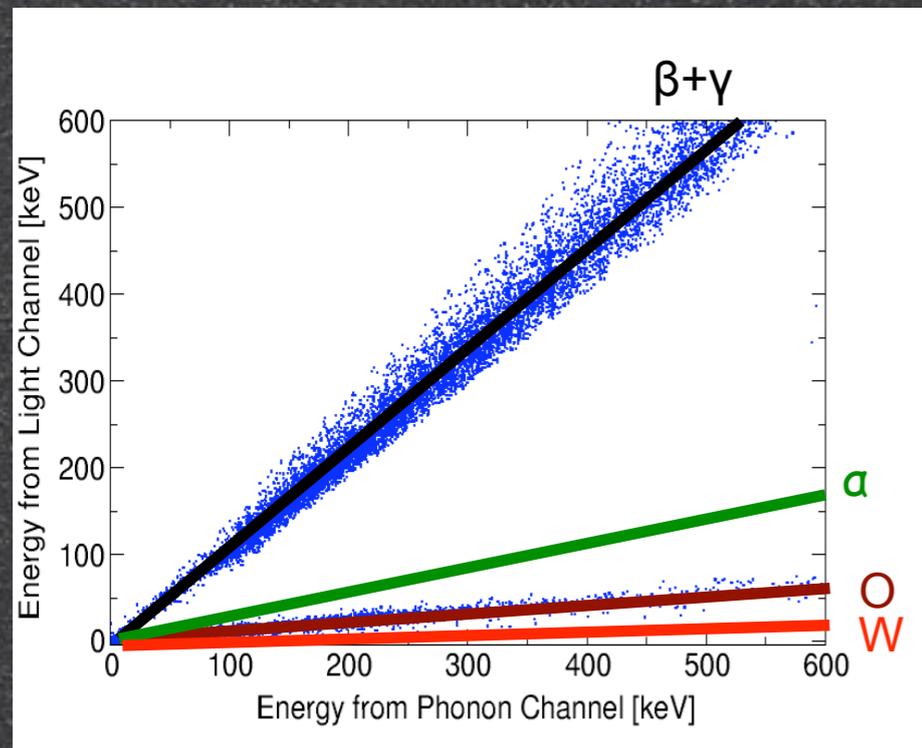
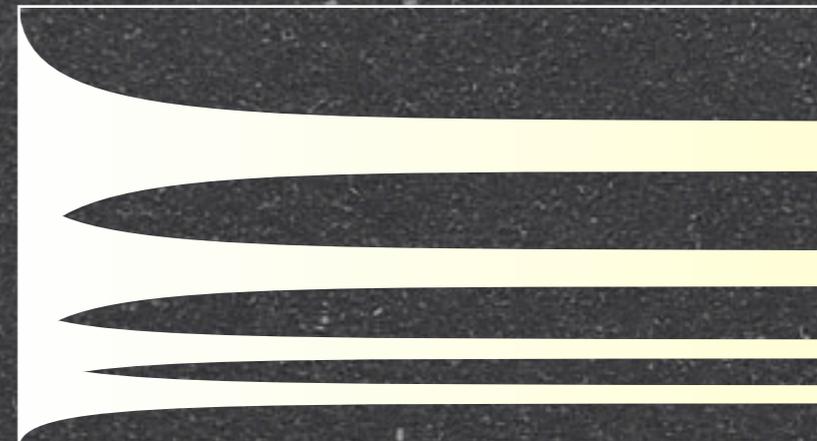
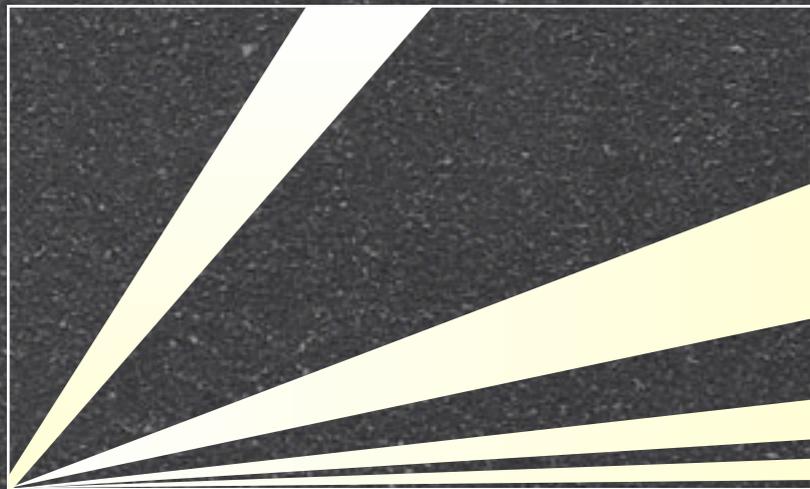
# CRESST II



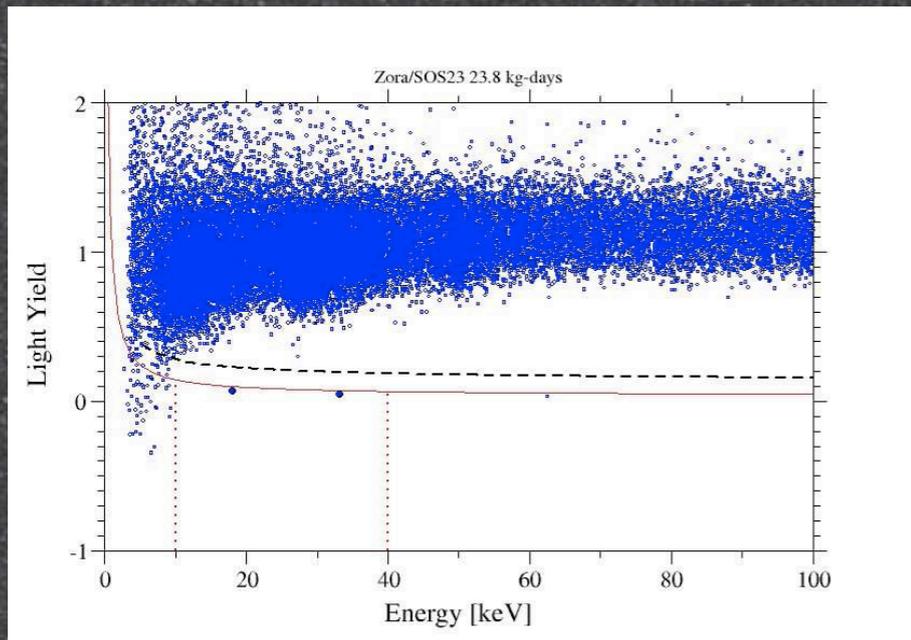
● eccellente risoluzione energetica (300 eV @10 keV)

# CRESST II

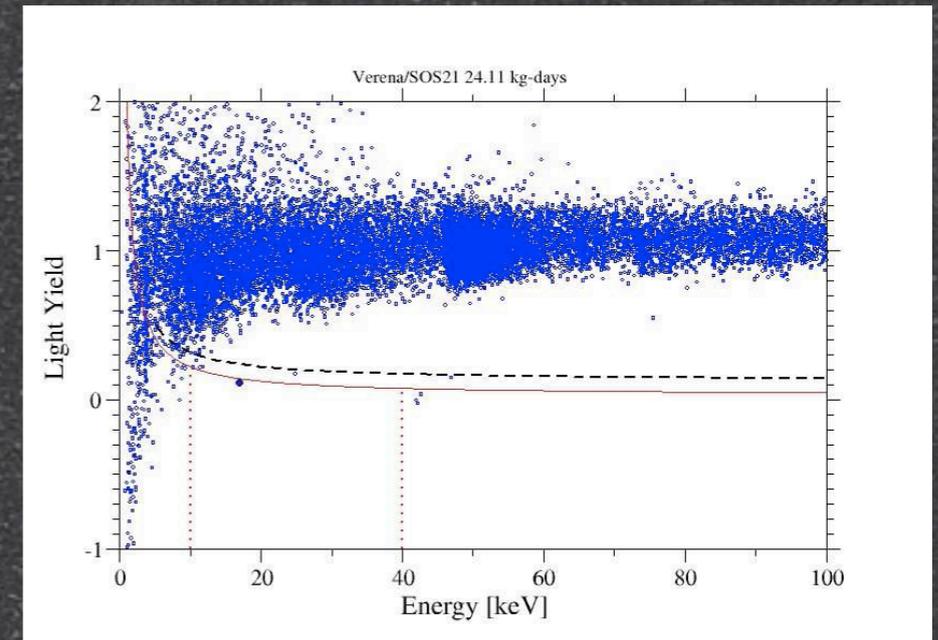
- in presa dati da Luglio 2009 con 10 rivelatori (9 di  $\text{CaWO}_4$  e 1 di  $\text{ZnWO}_4$ )
- multitarget (O, Ca, W)
- in grado di discriminare i neutroni (rinculi su Ossigeno) dalle WIMPs (rinculi su W)
- no "leakage"



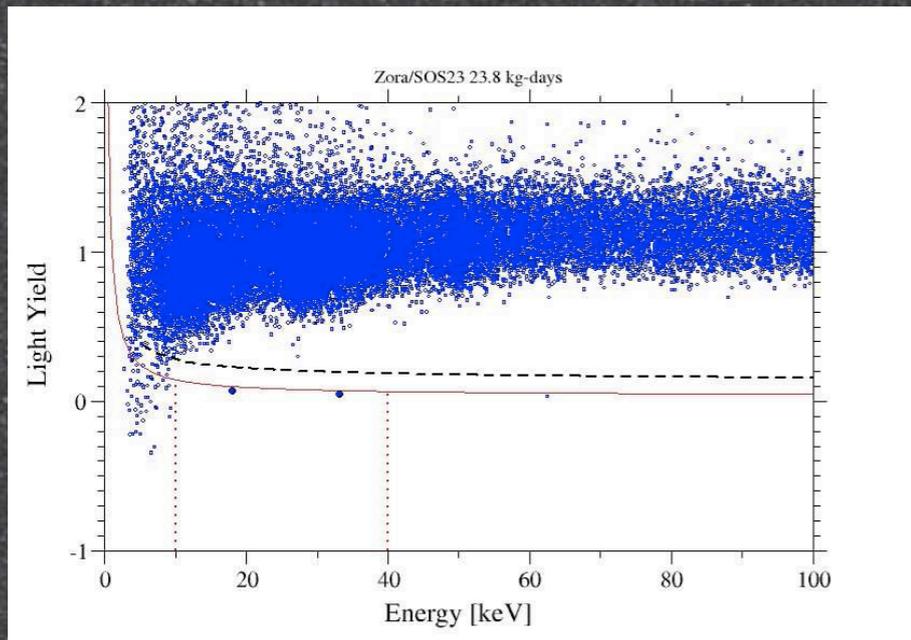
# Risultati di CRESST II



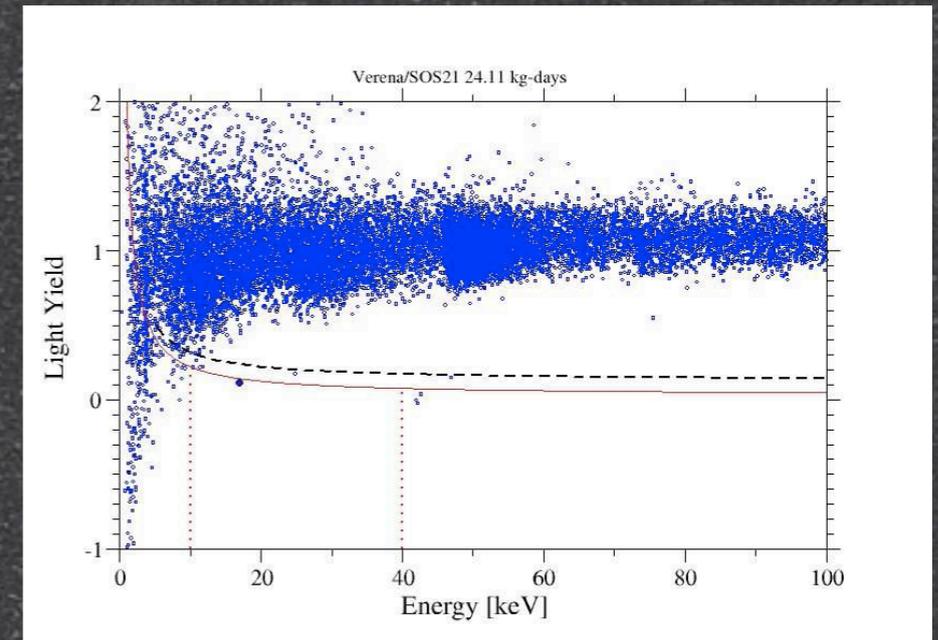
Commissioning Run



# Risultati di CRESST II

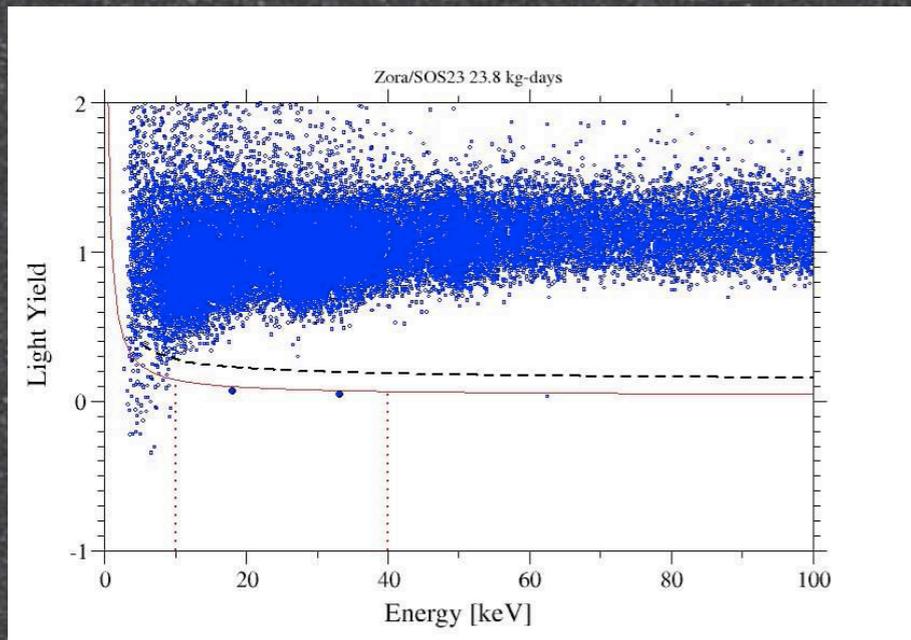


Commissioning Run

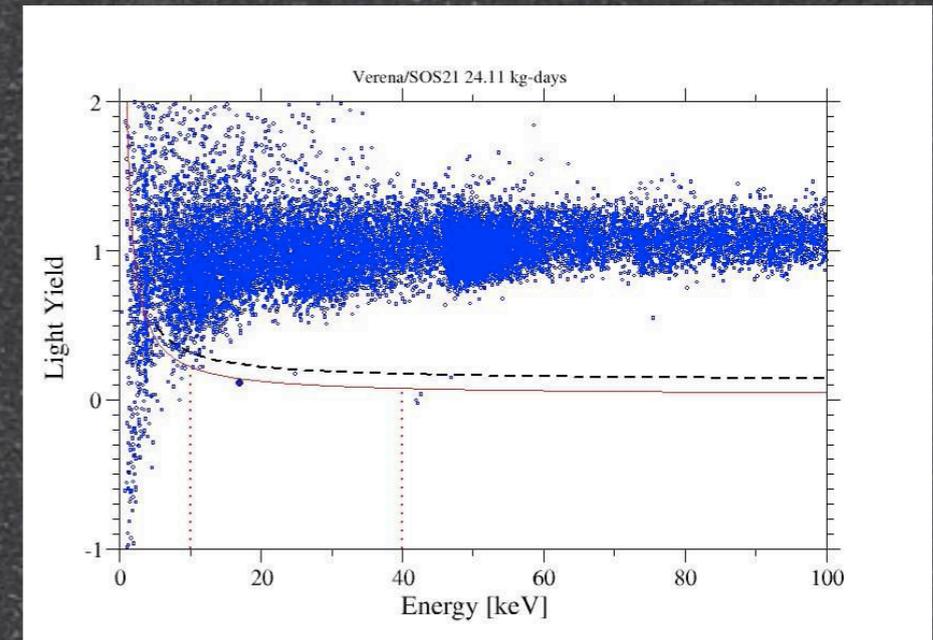


● accumulati circa 330 kg/day

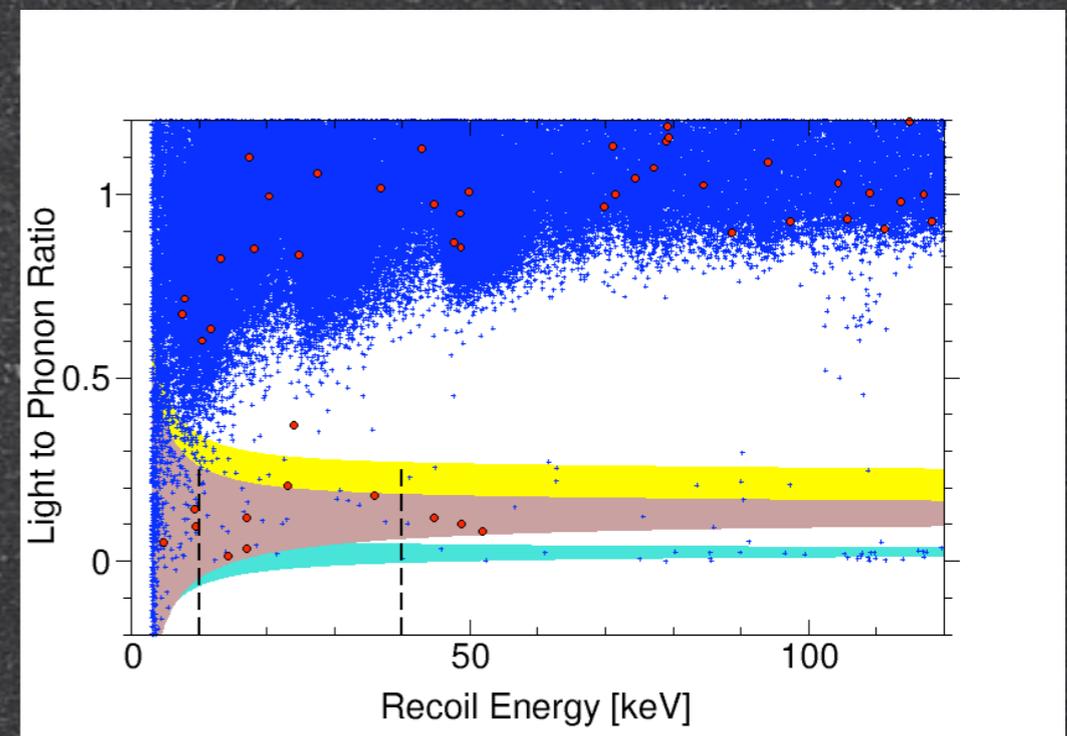
# Risultati di CRESST II



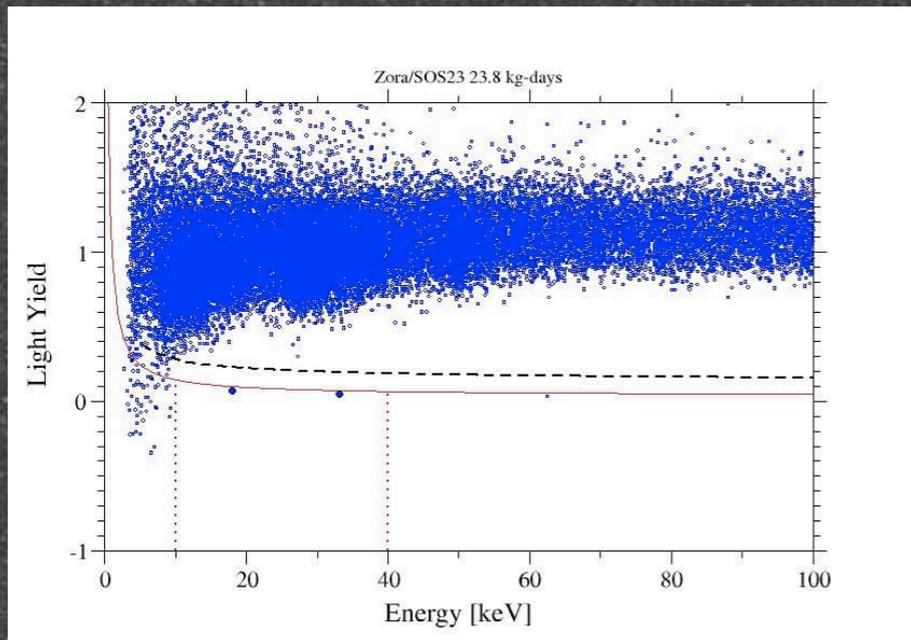
Commissioning Run



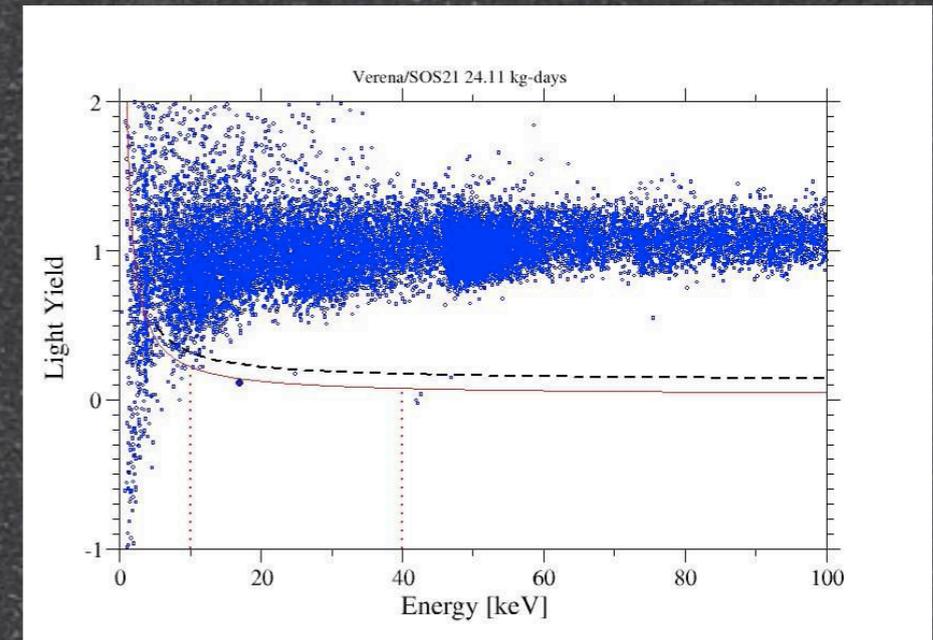
● accumulati circa 330 kg/day



# Risultati di CRESST II

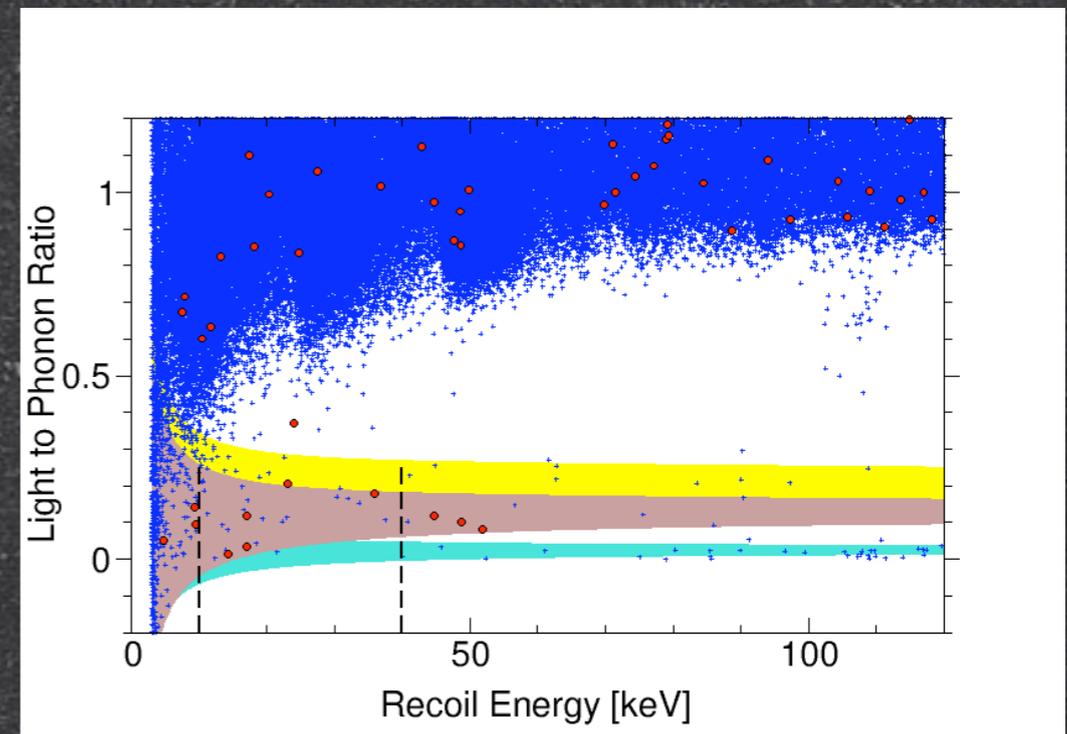


Commissioning Run

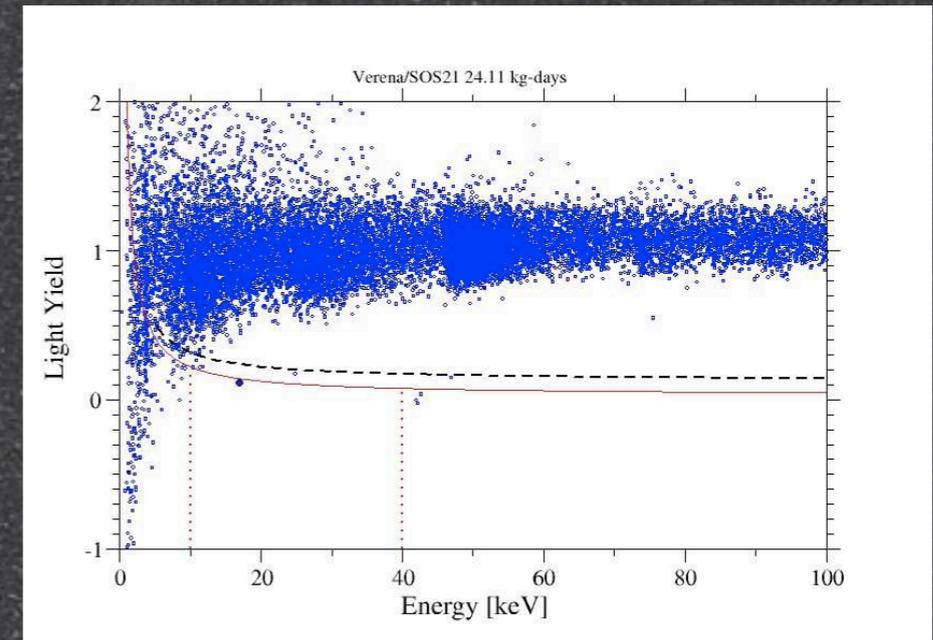
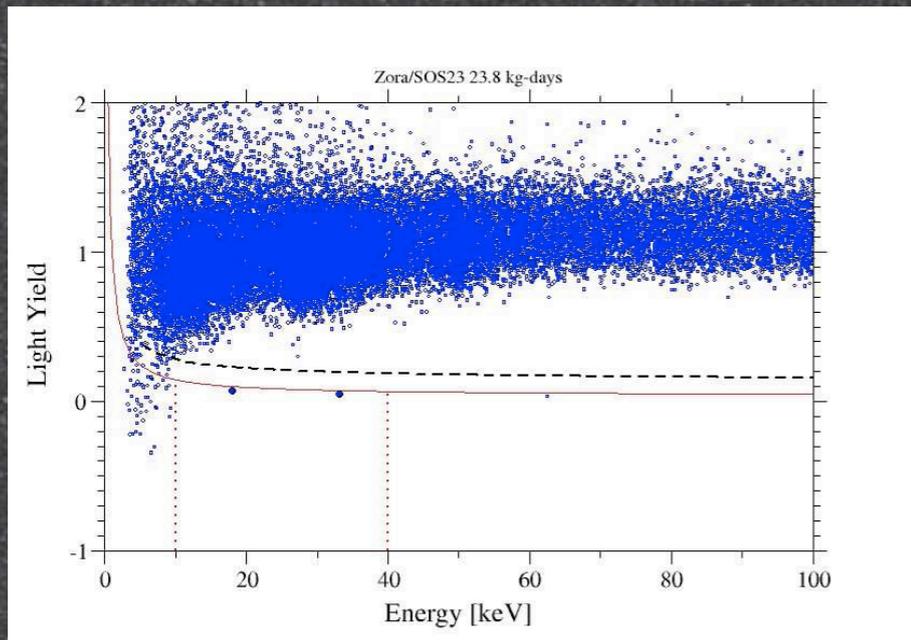


● IDM esclusa

● accumulati circa 330 kg/day



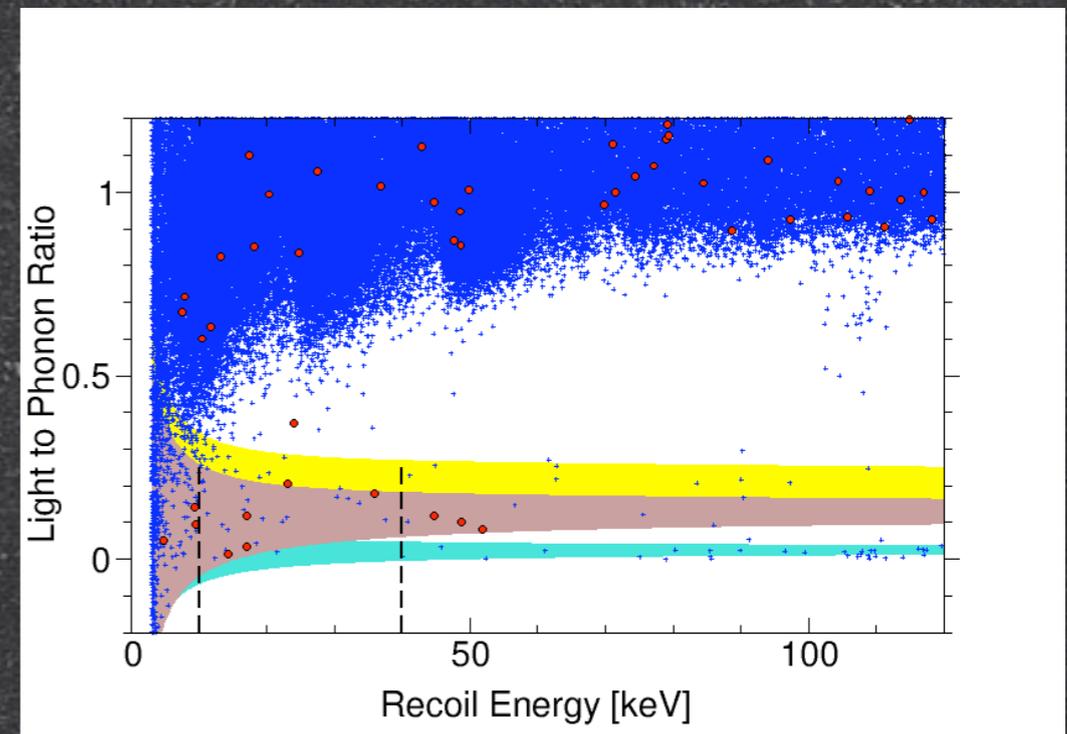
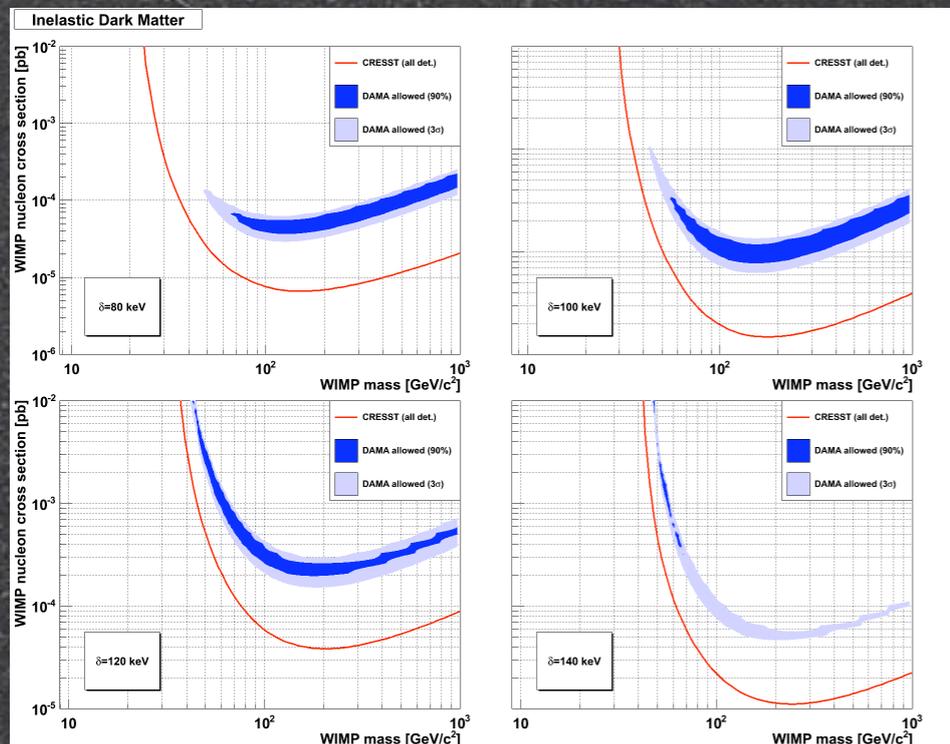
# Risultati di CRESST II



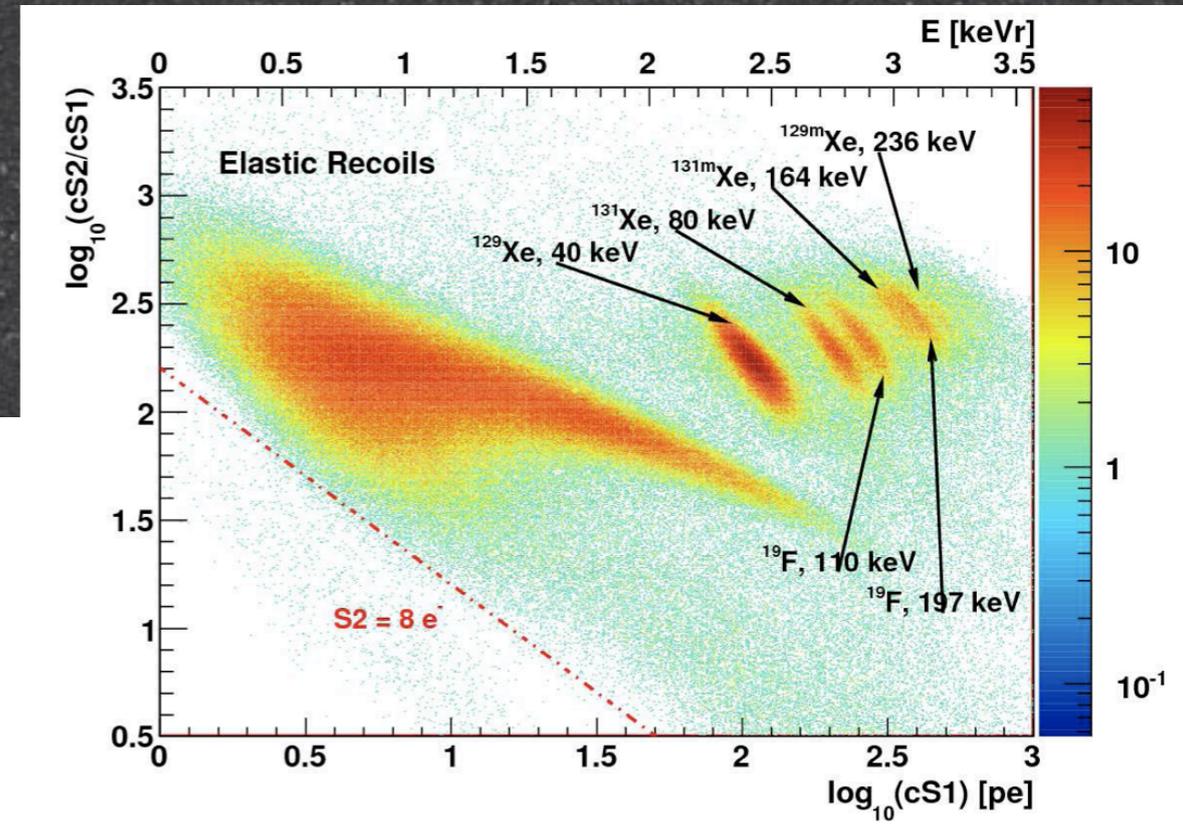
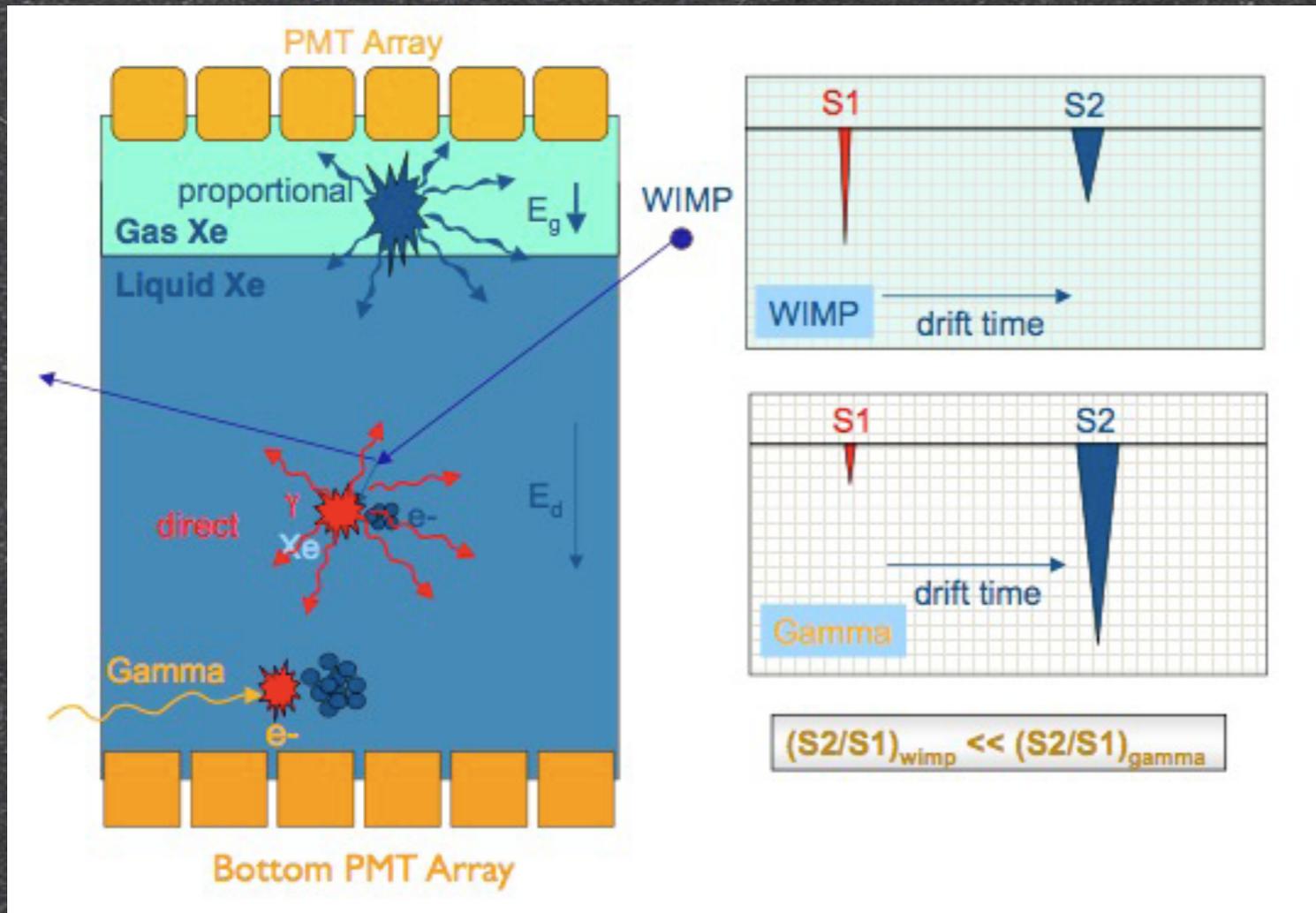
Commissioning Run

● IDM esclusa

● accumulati circa 330 kg/day

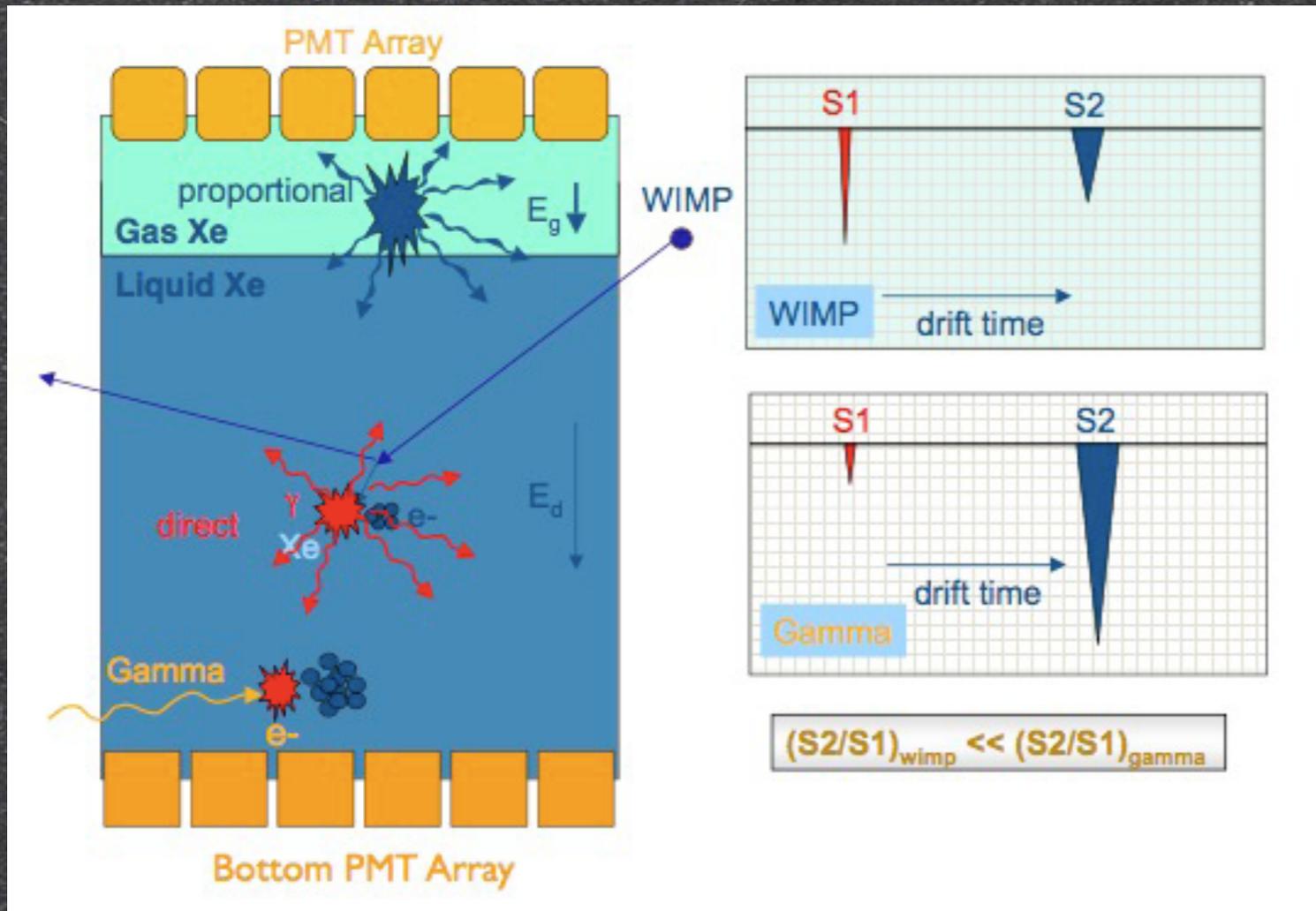
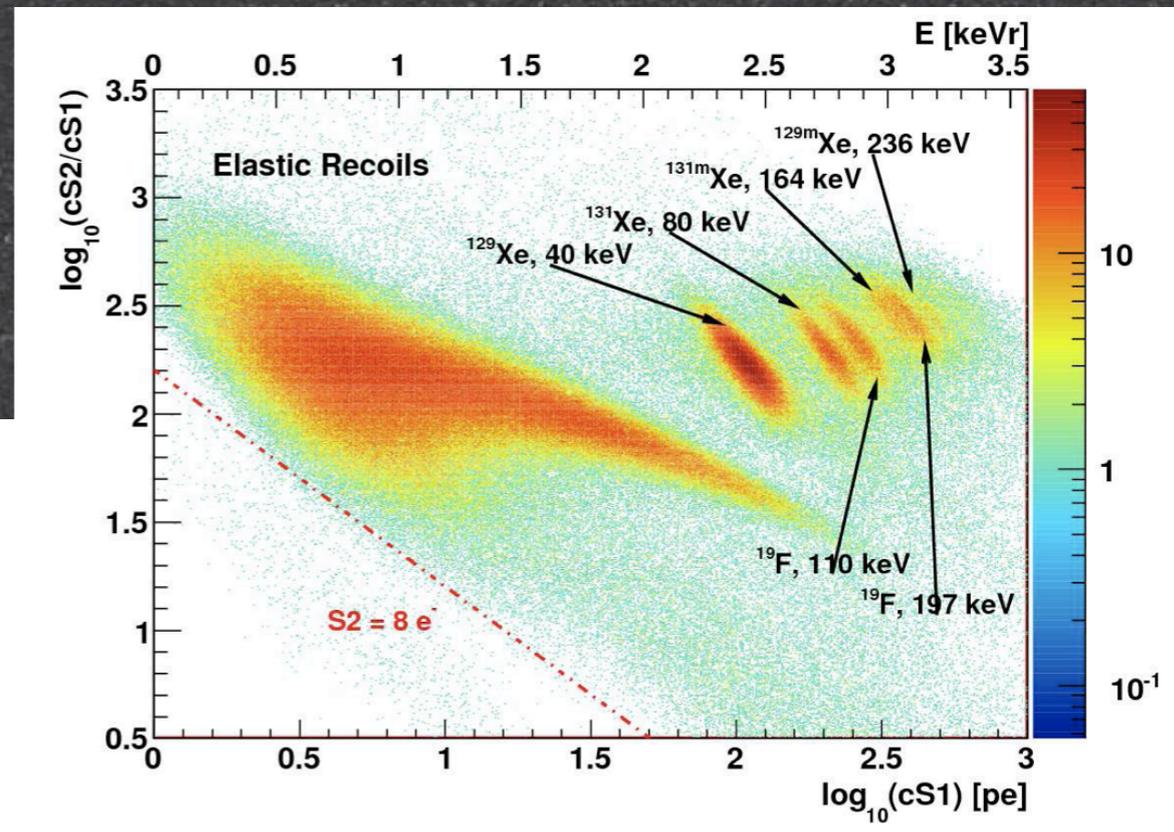


# Liquidi Criogenici (gas nobili)



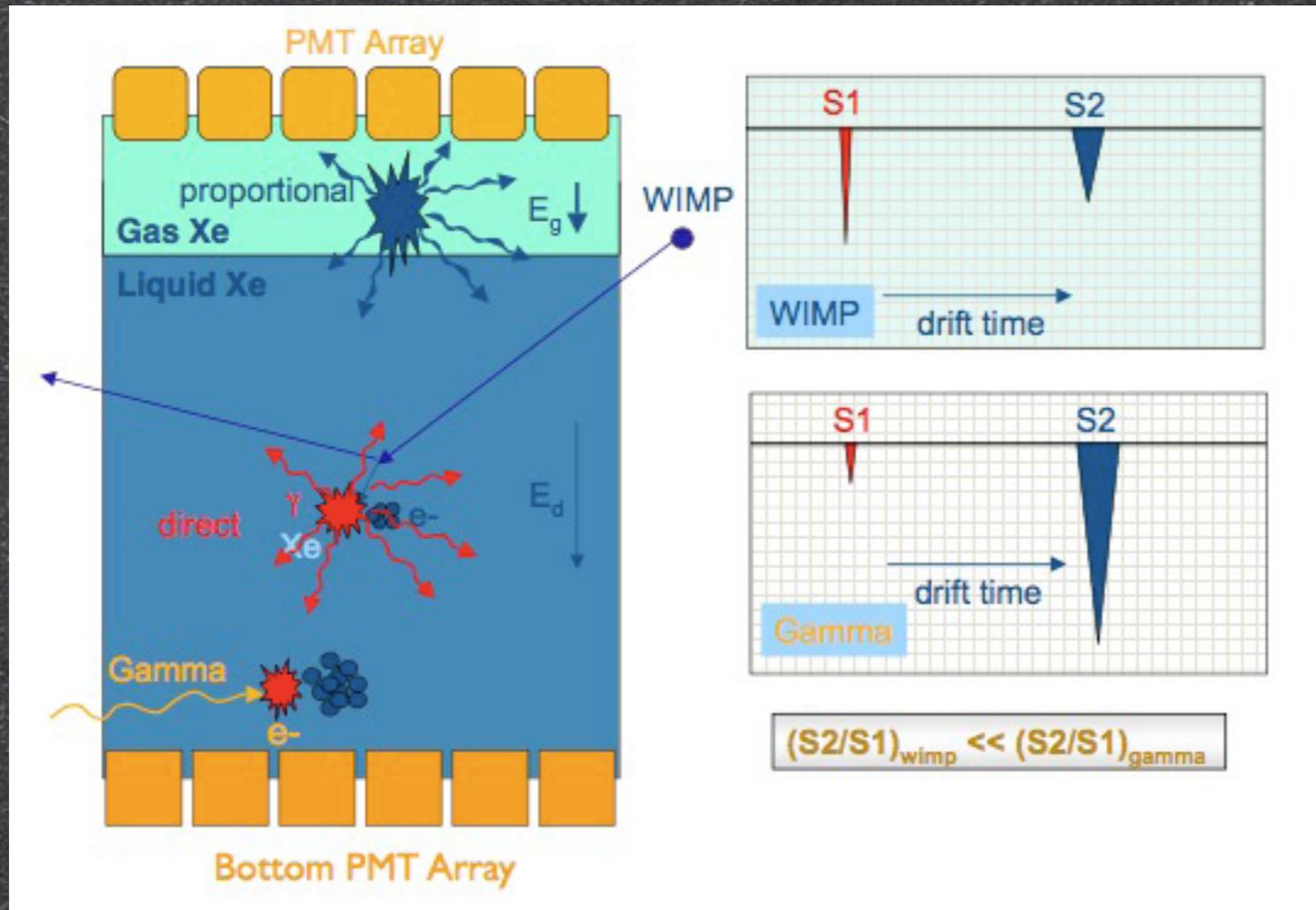
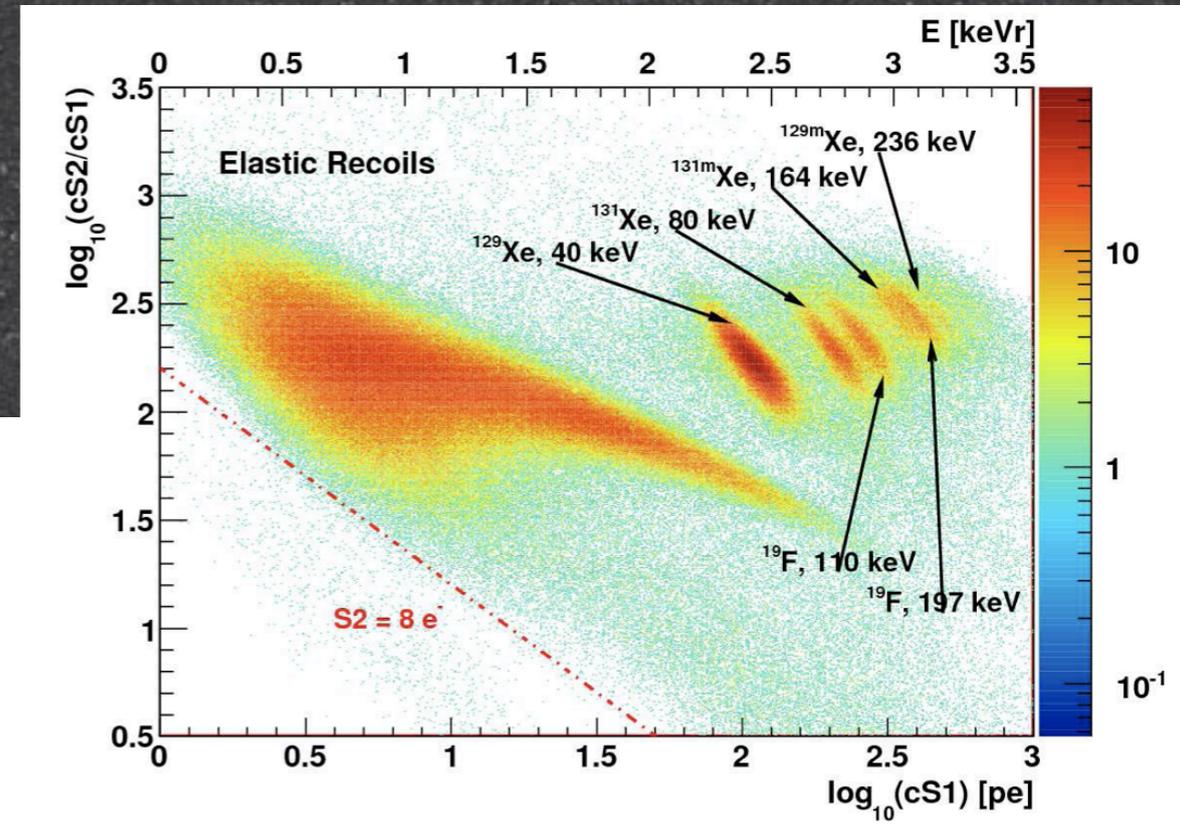
# Liquidi Criogenici (gas nobili)

- Grandi masse possibili



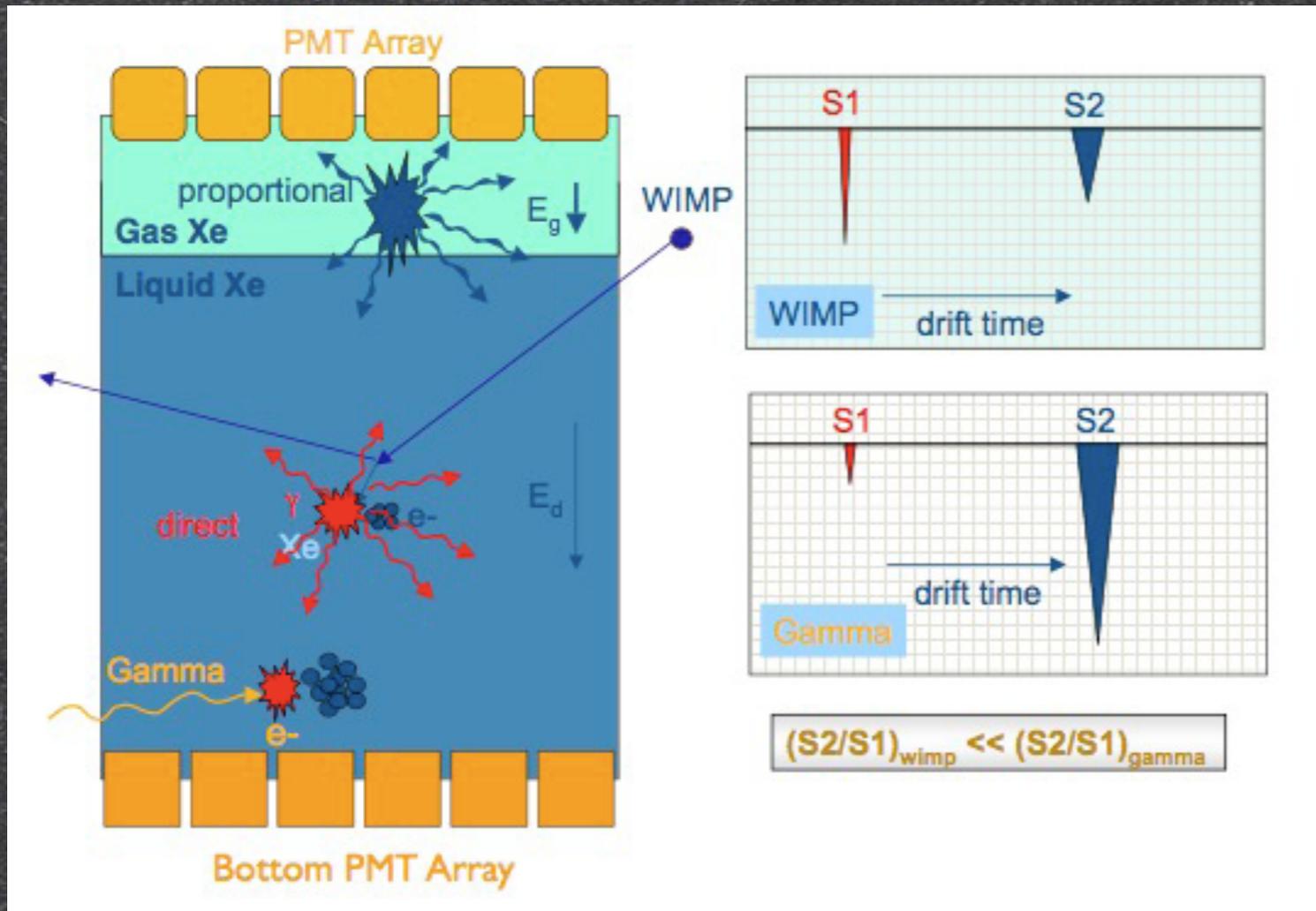
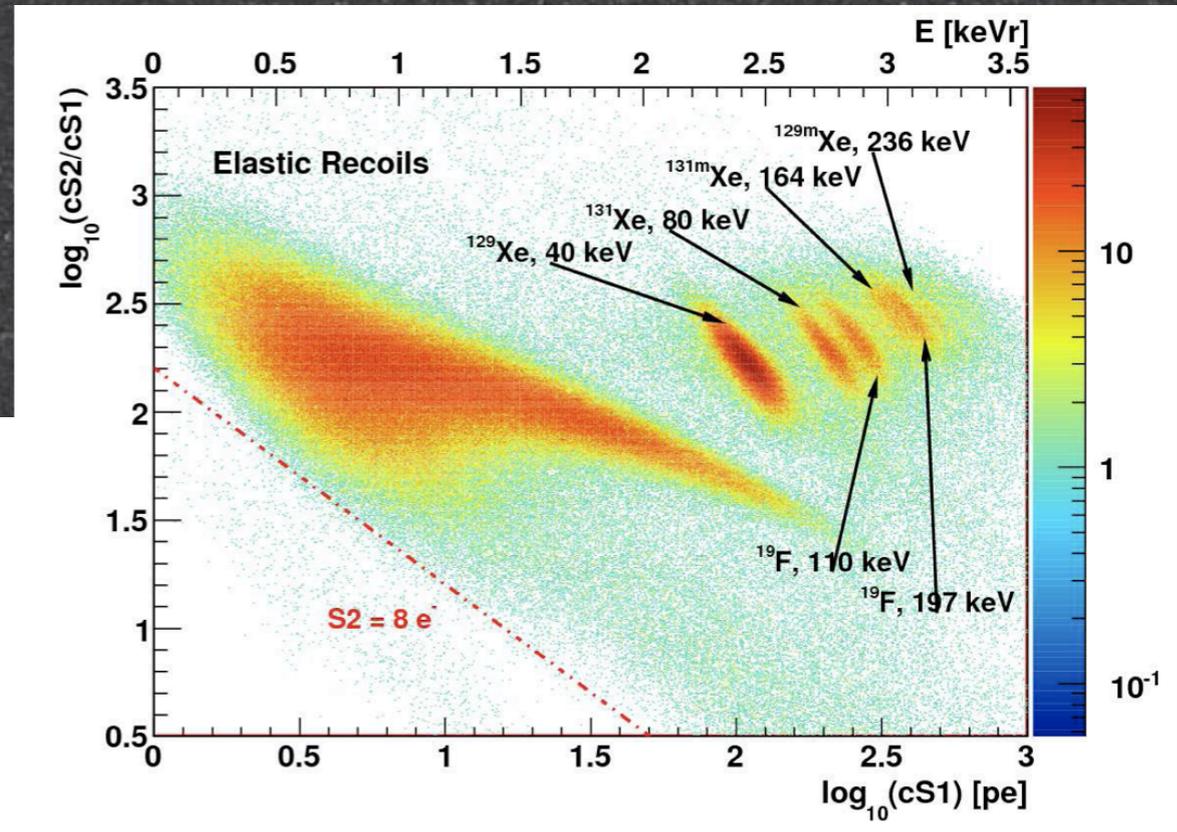
# Liquidi Criogenici (gas nobili)

- Grandi masse possibili
  - relativamente economici e densi



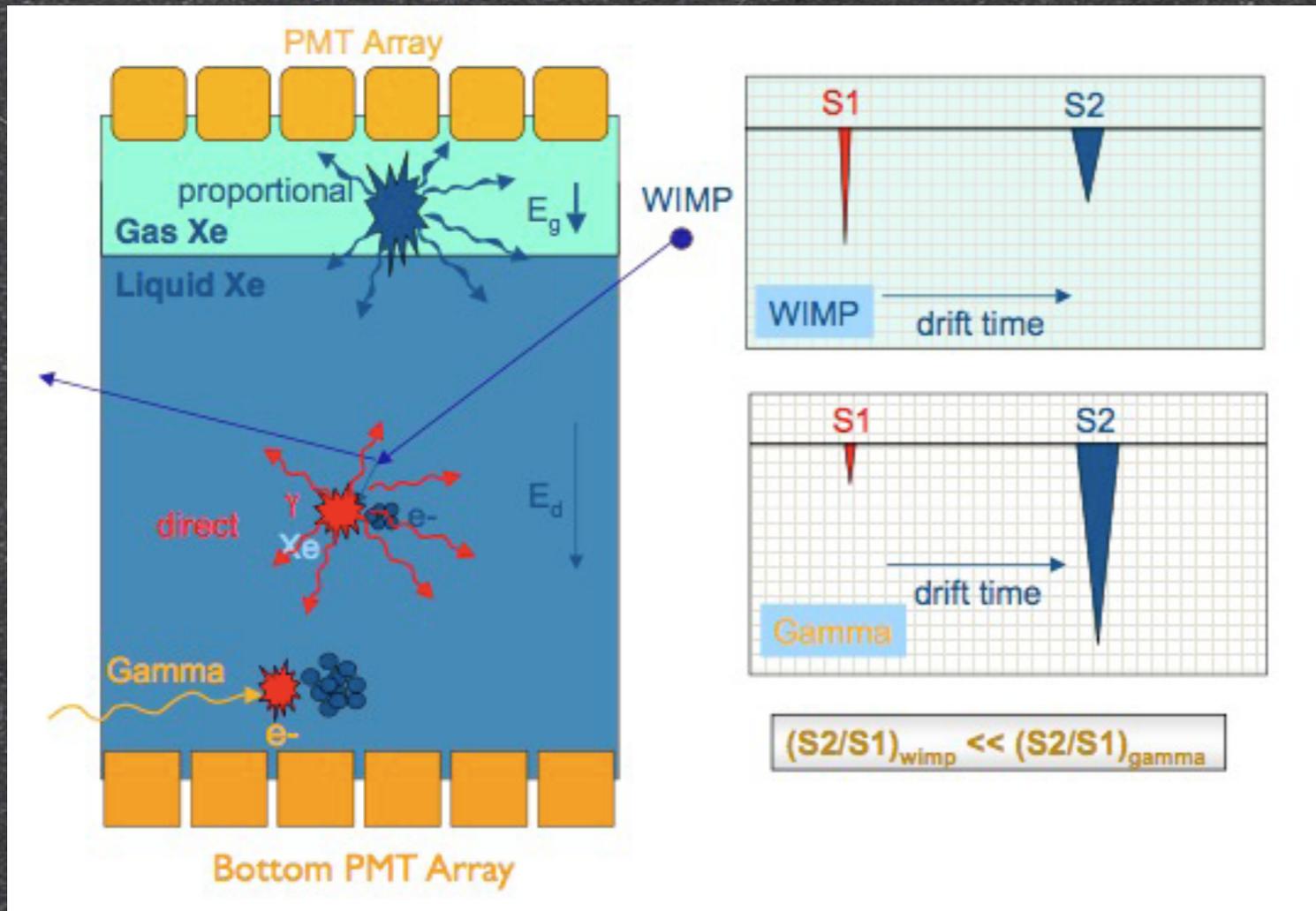
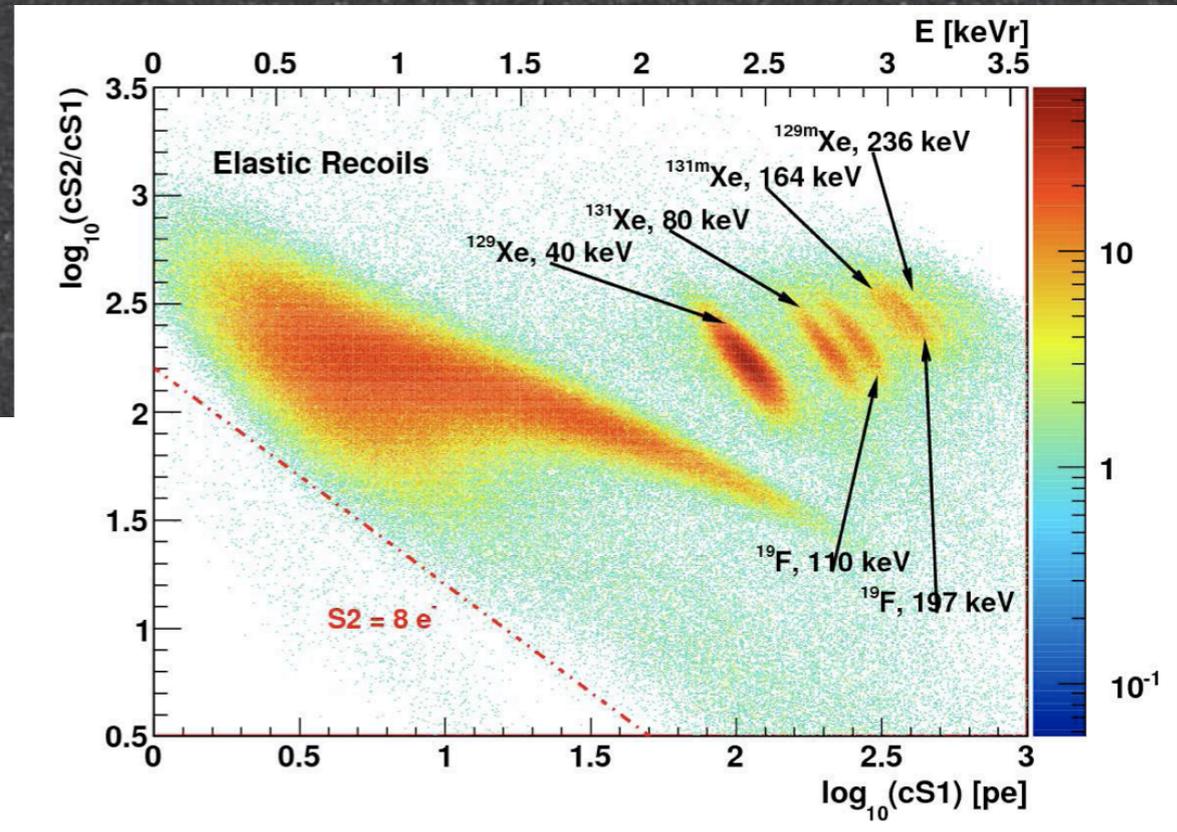
# Liquidi Criogenici (gas nobili)

- Grandi masse possibili
  - relativamente economici e densi
- Alto yield di scintillazione



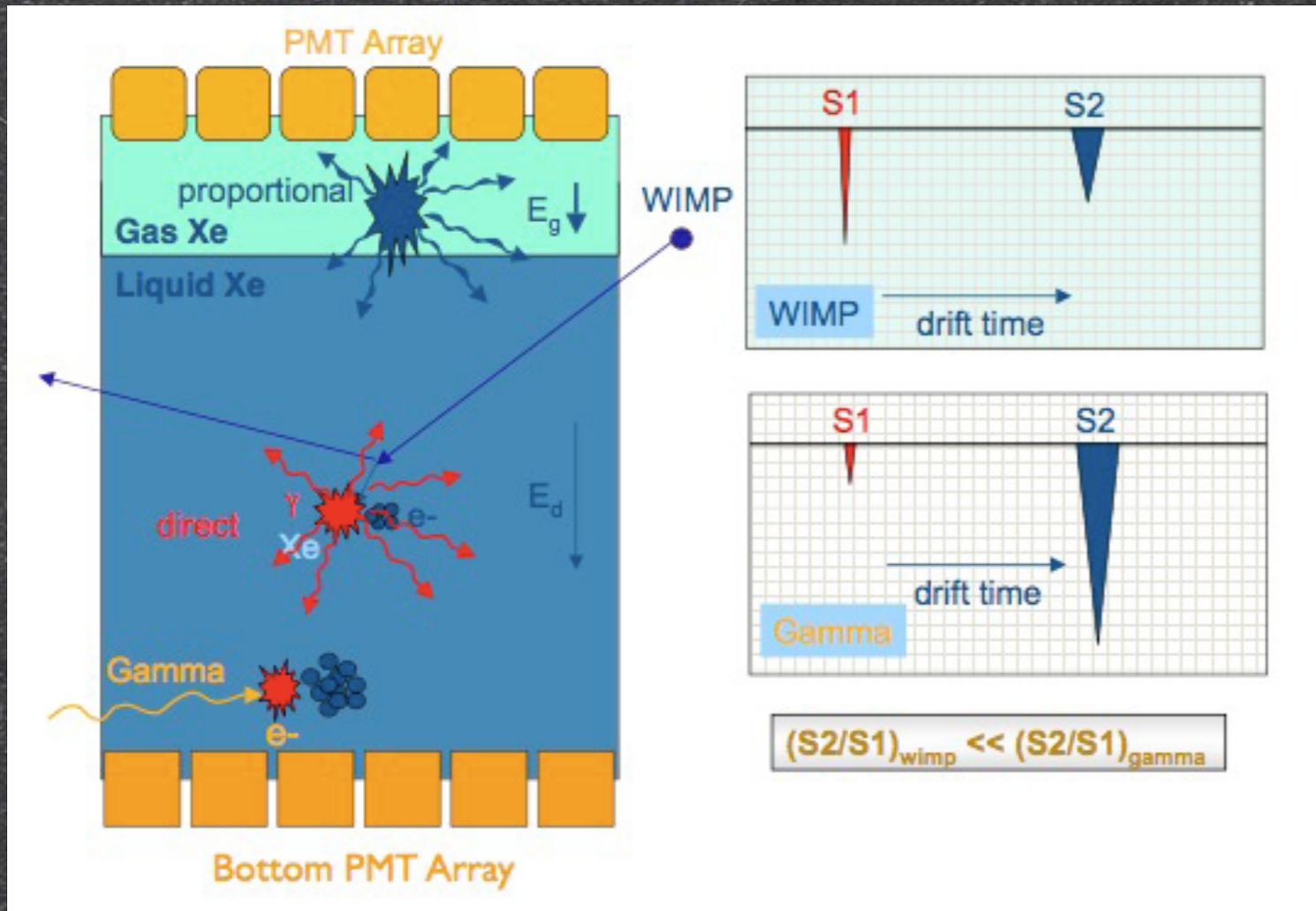
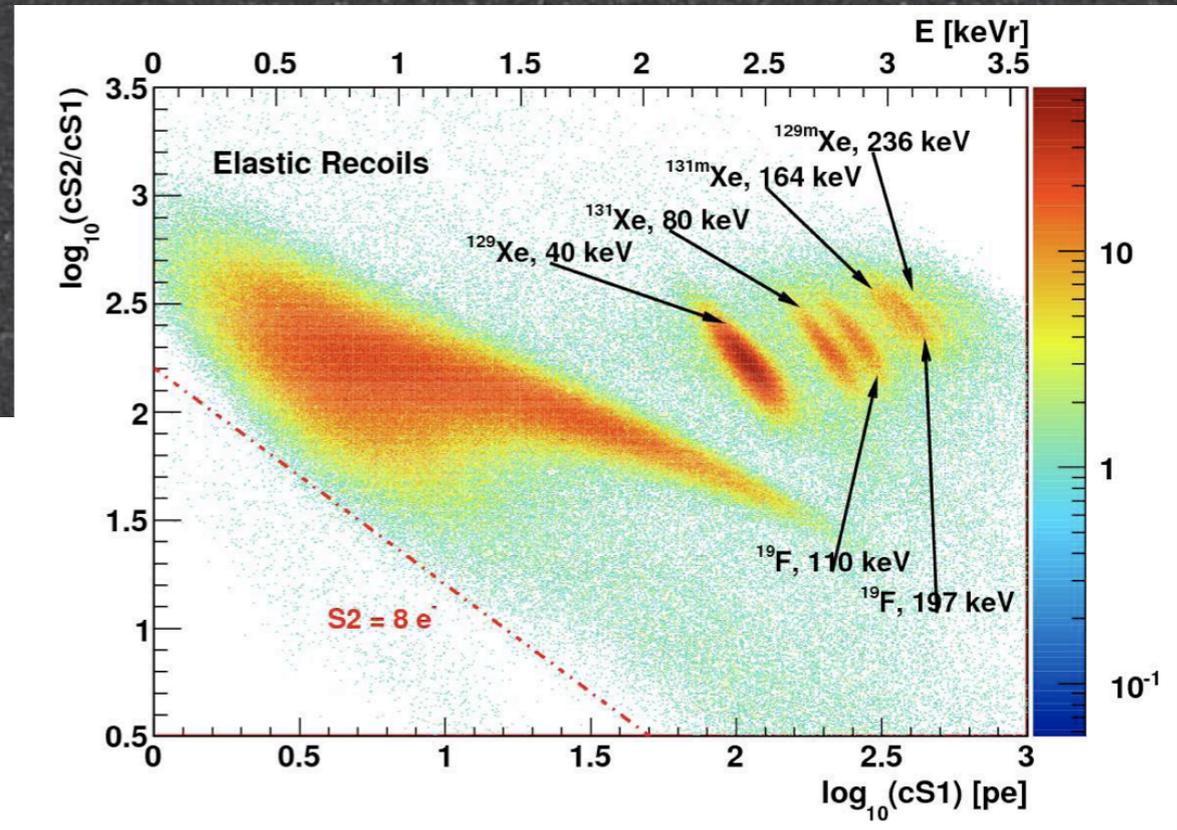
# Liquidi Criogenici (gas nobili)

- Grandi masse possibili
  - relativamente economici e densi
- Alto yield di scintillazione
- Ottima purezza



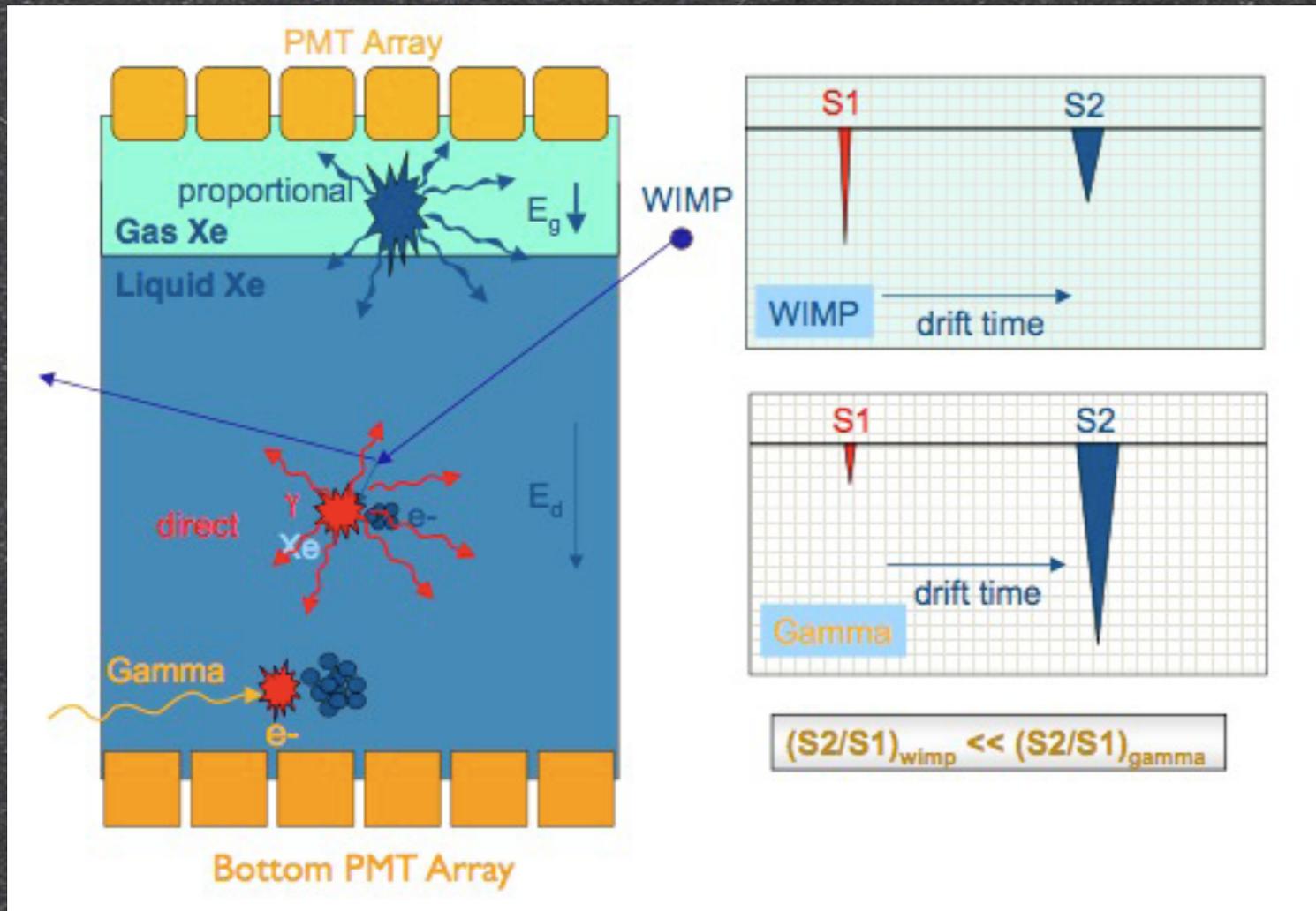
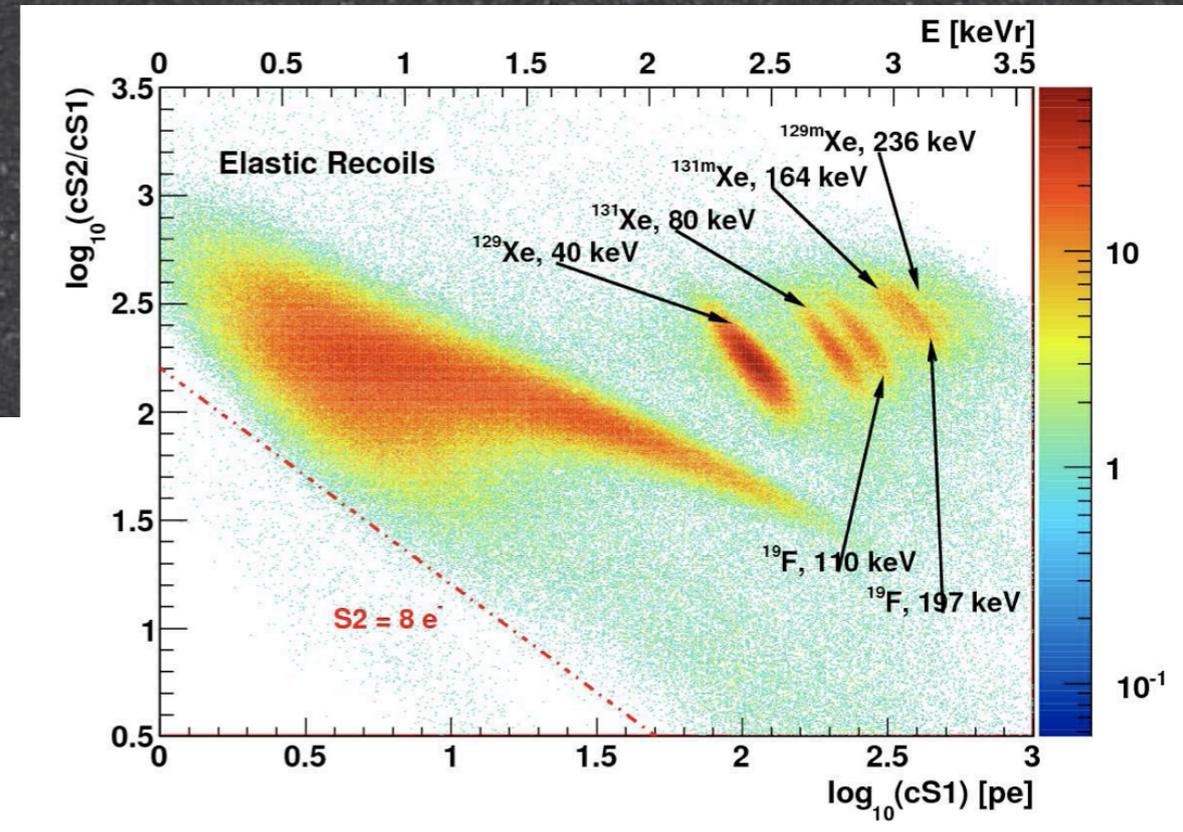
# Liquidi Criogenici (gas nobili)

- Grandi masse possibili
  - relativamente economici e densi
- Alto yield di scintillazione
- Ottima purezza
- Drift degli elettroni su distanze elevate



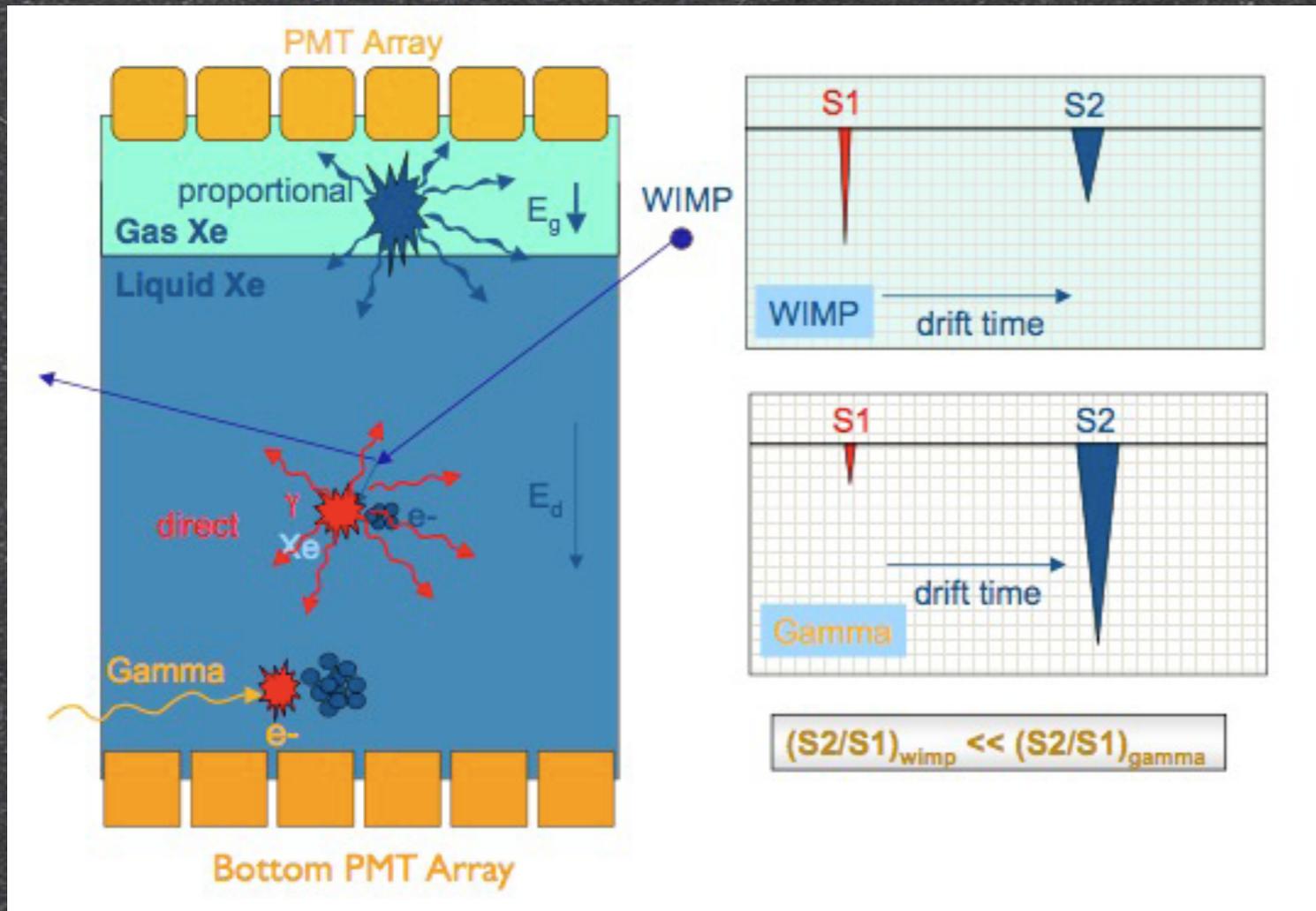
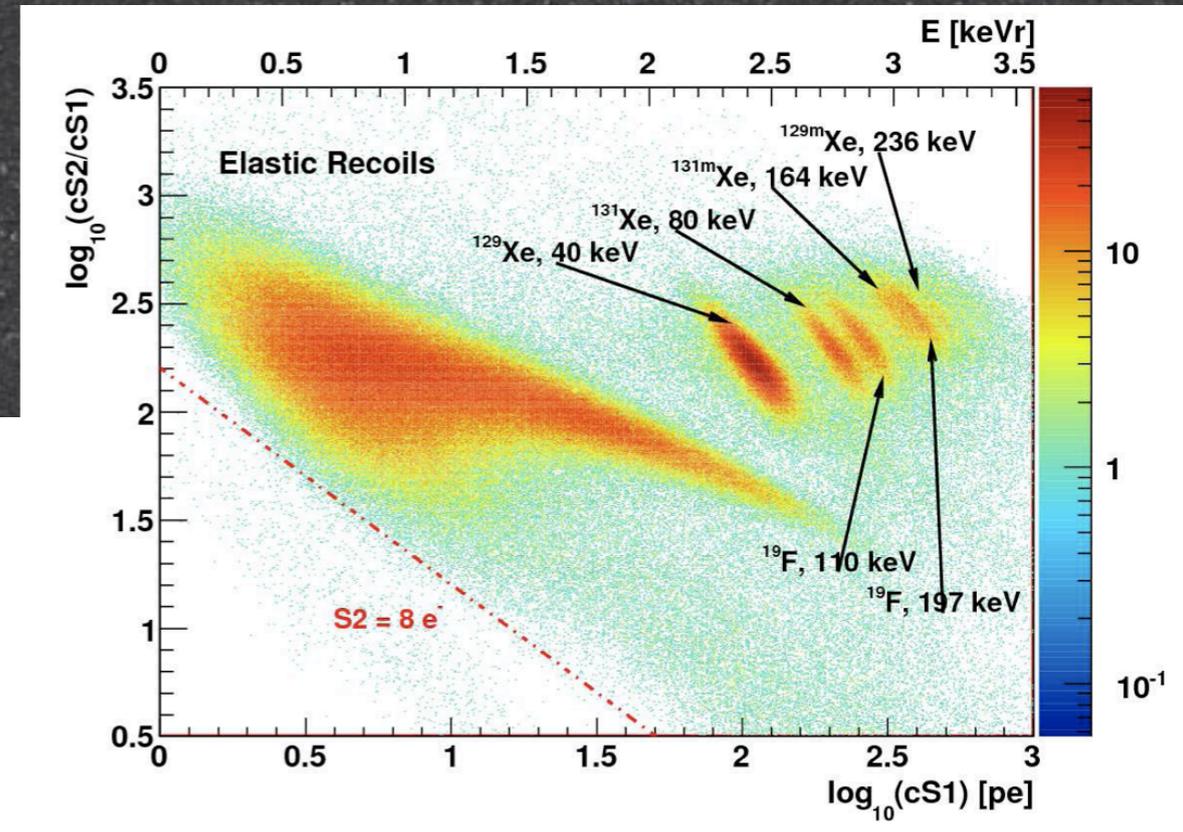
# Liquidi Criogenici (gas nobili)

- Grandi masse possibili
  - relativamente economici e densi
- Alto yield di scintillazione
- Ottima purezza
- Drift degli elettroni su distanze elevate
- Discriminazione (S2/S1)



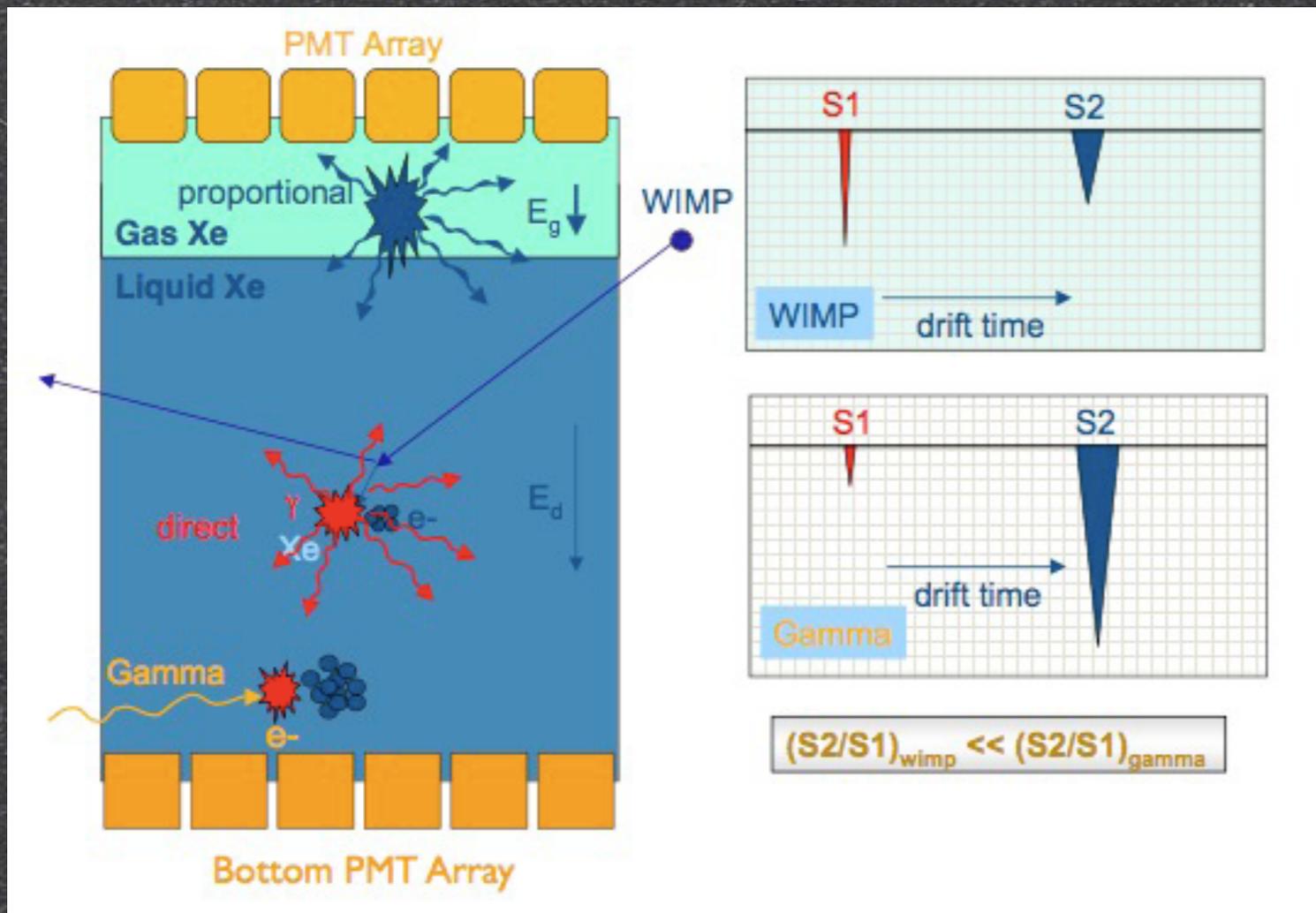
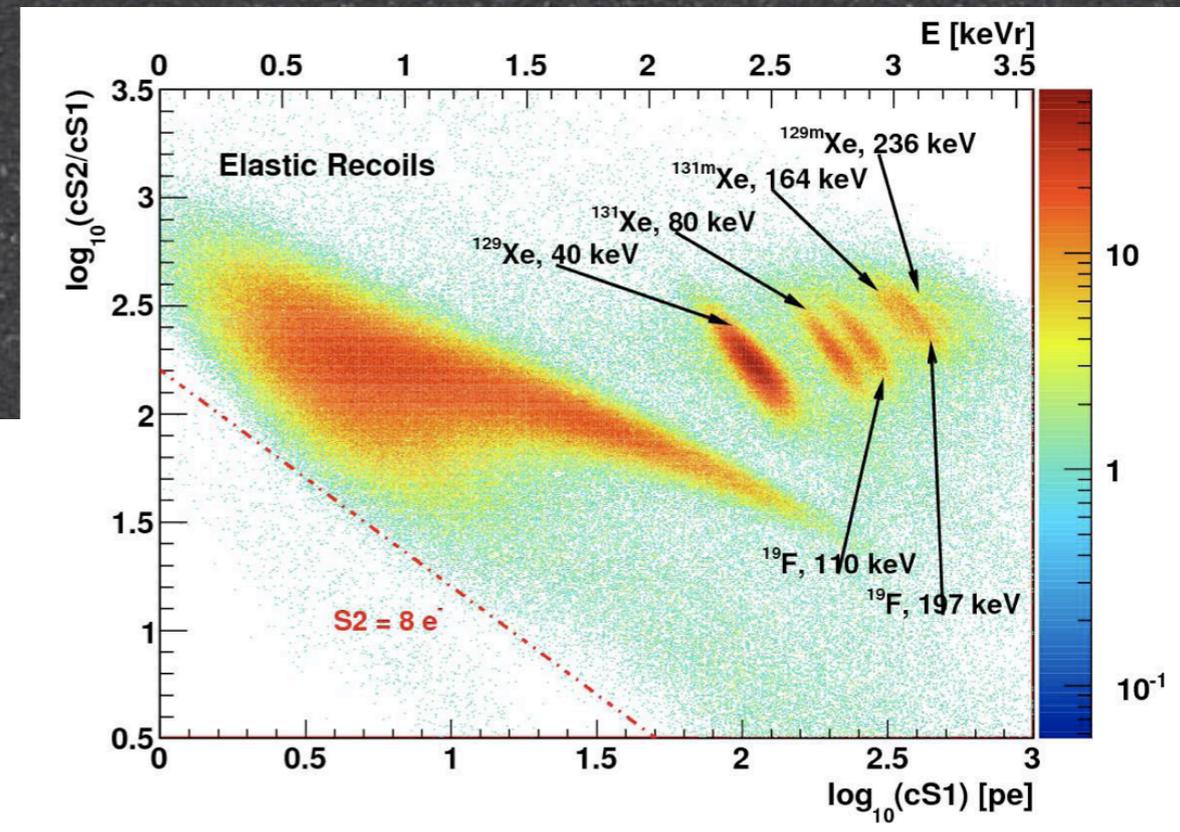
# Liquidi Criogenici (gas nobili)

- Grandi masse possibili
  - relativamente economici e densi
- Alto yield di scintillazione
- Ottima purezza
- Drift degli elettroni su distanze elevate
- Discriminazione (S2/S1)
- Ricostruzione della posizione



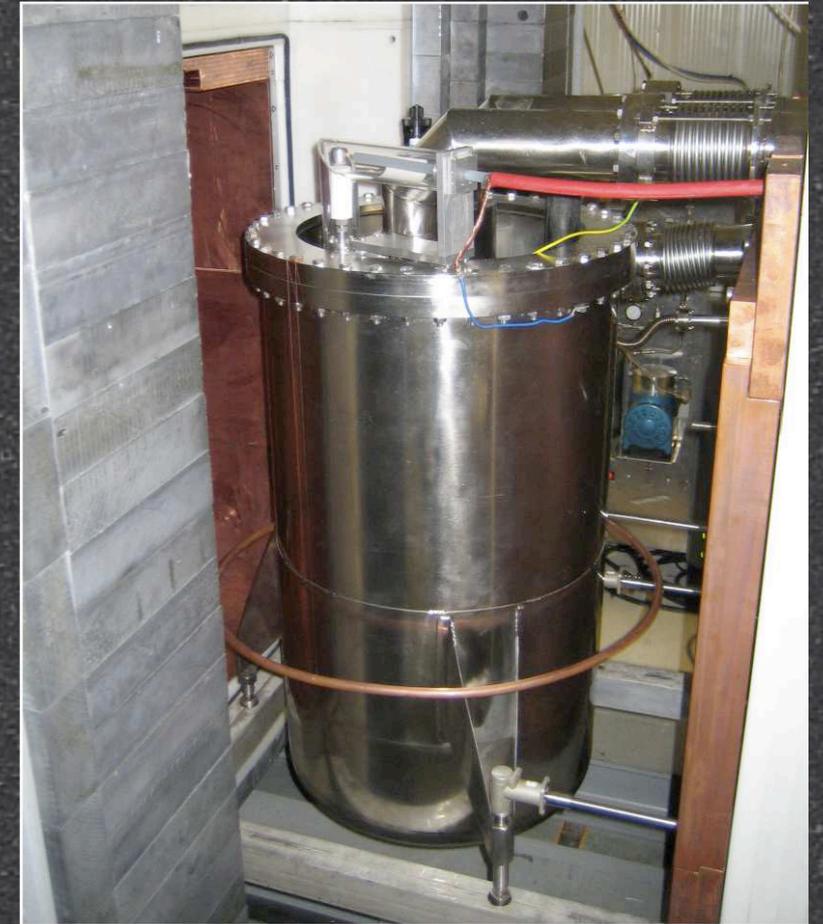
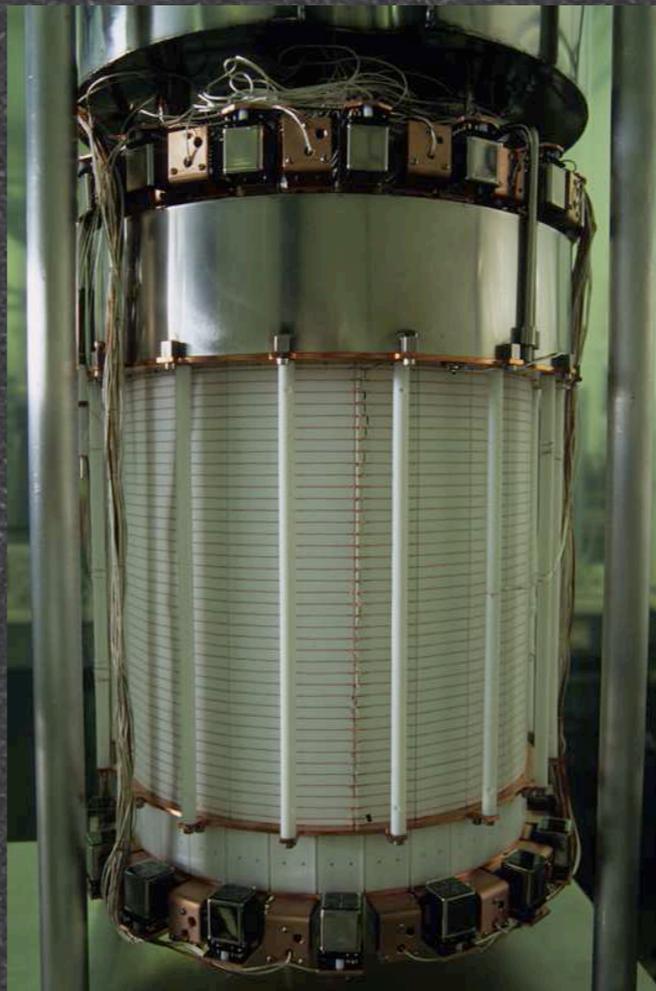
# Liquidi Criogenici (gas nobili)

- Grandi masse possibili
  - relativamente economici e densi
- Alto yield di scintillazione
- Ottima purezza
- Drift degli elettroni su distanze elevate
- Discriminazione (S2/S1)
- Ricostruzione della posizione
- Self-shielding (volume fiduciale)



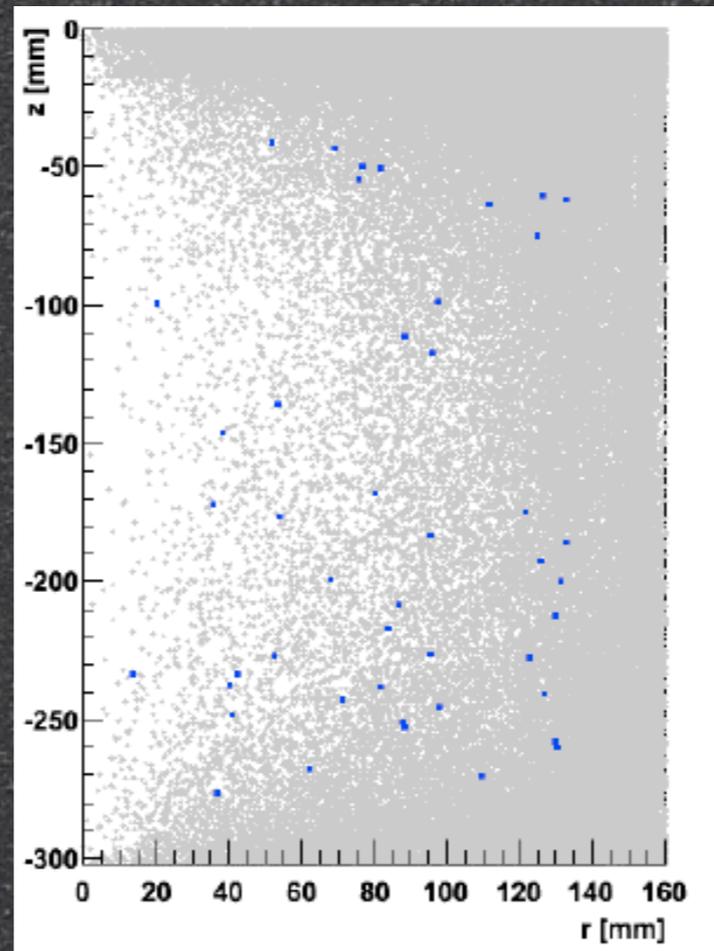
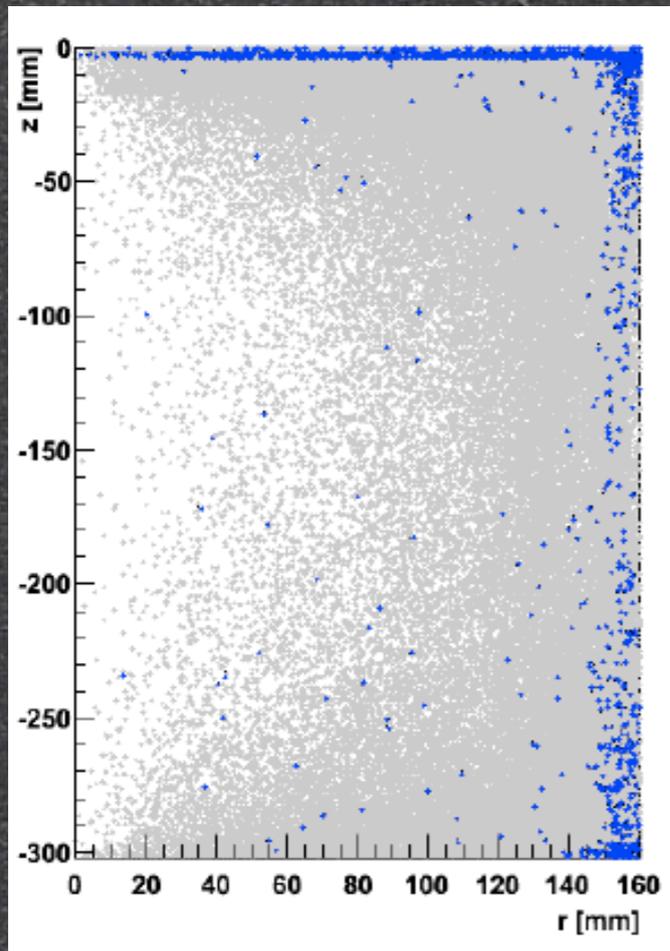
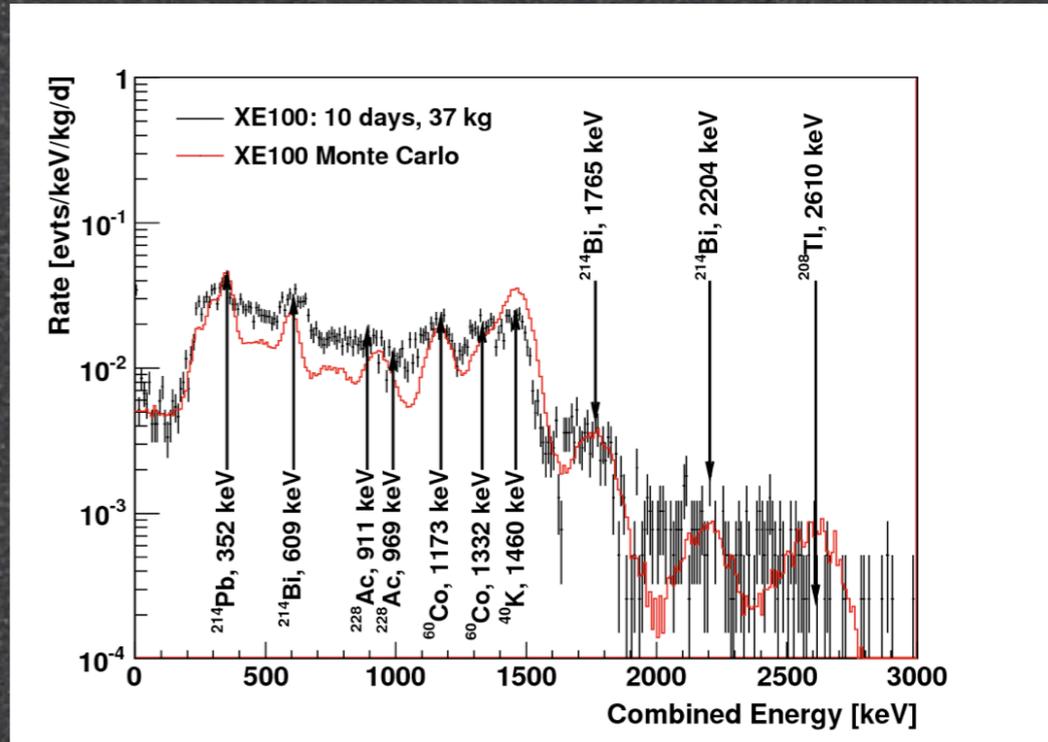
# Xenon-100

- TPC a due fasi
- 242 PMT a bassa radioattività (QE ~30 %)
- Sistema di purificazione e liquefazione



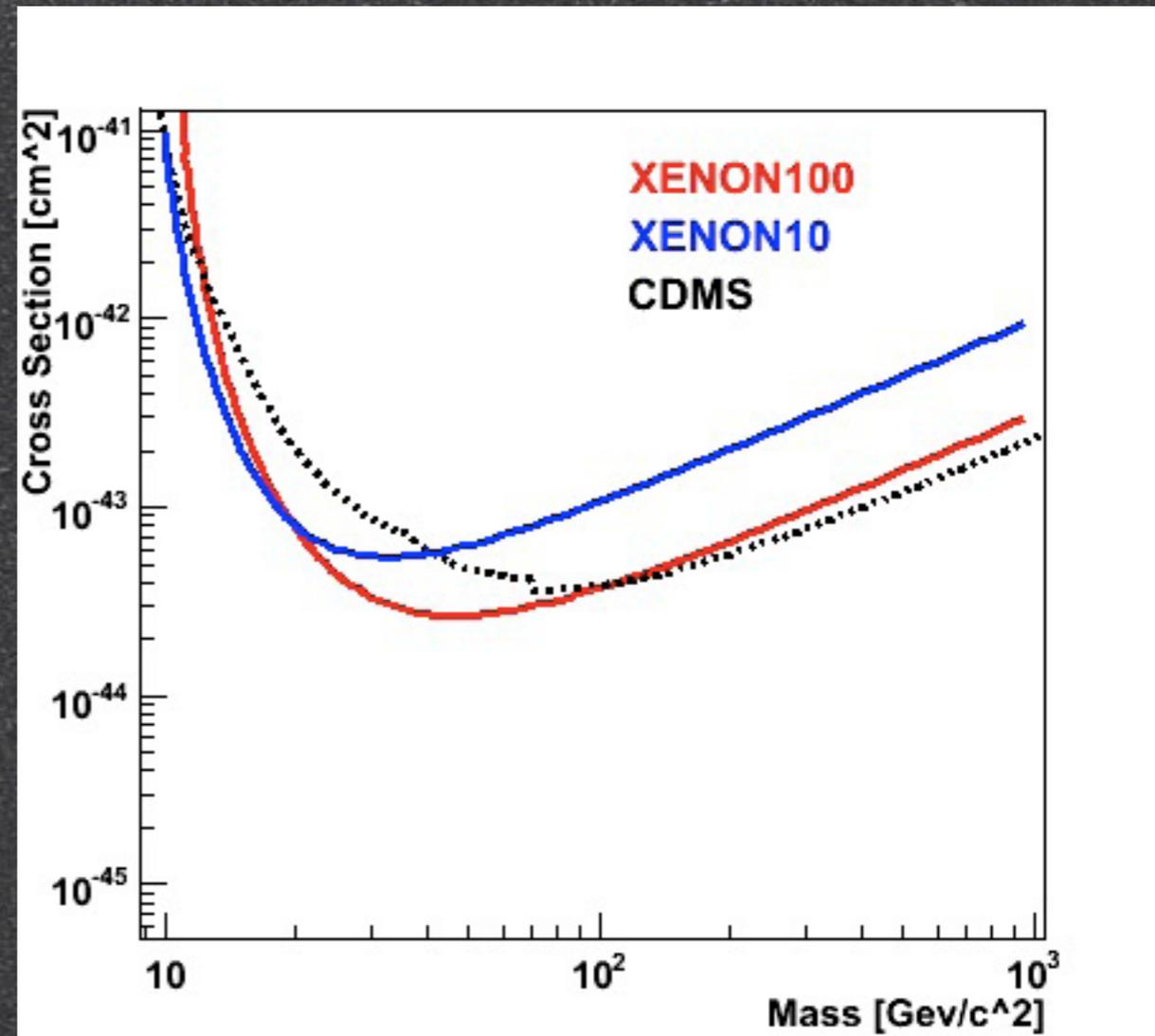
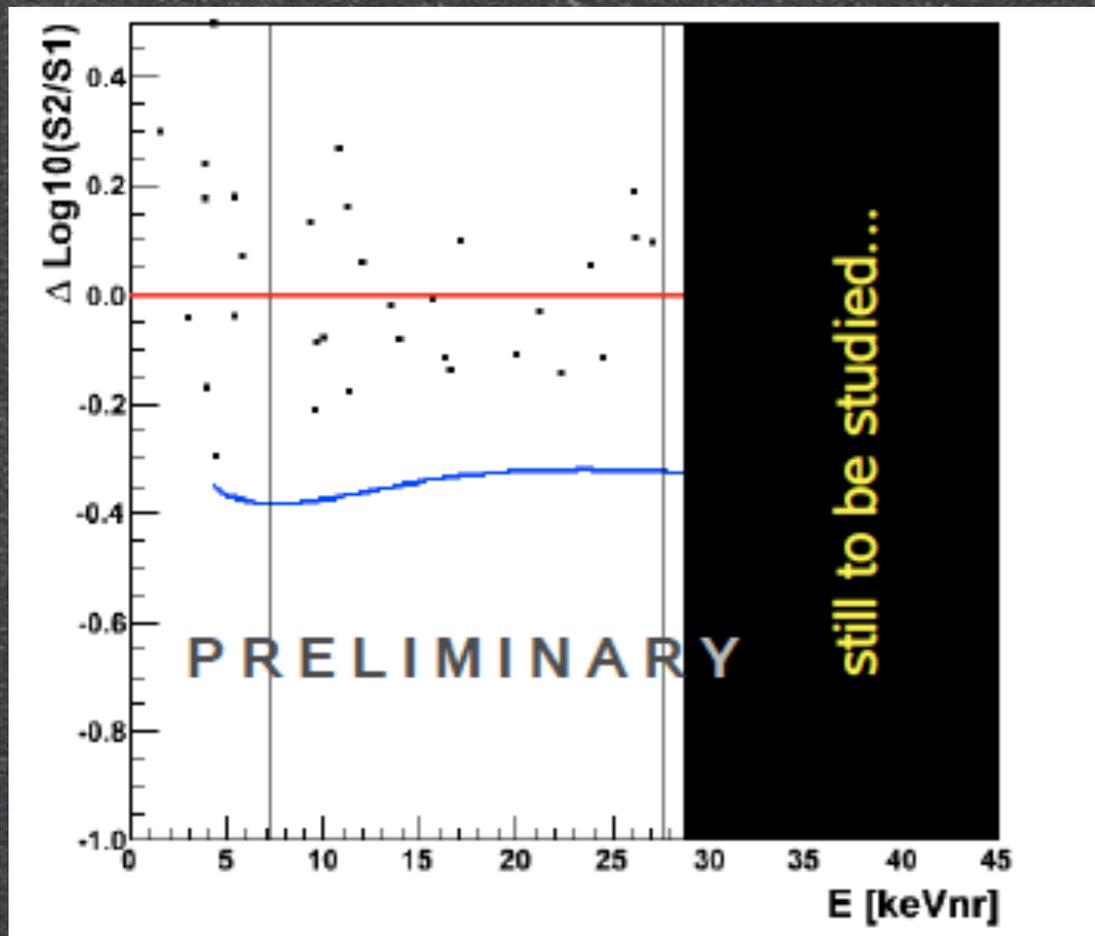
# Xenon-100

- 100 litri di Xenon in due fasi
- Volume fiduciale 40 kg
- Fondo ridotto di un fattore circa 100
- Fondo ben riconosciuto
- Efficiente self-shielding dello Xenon

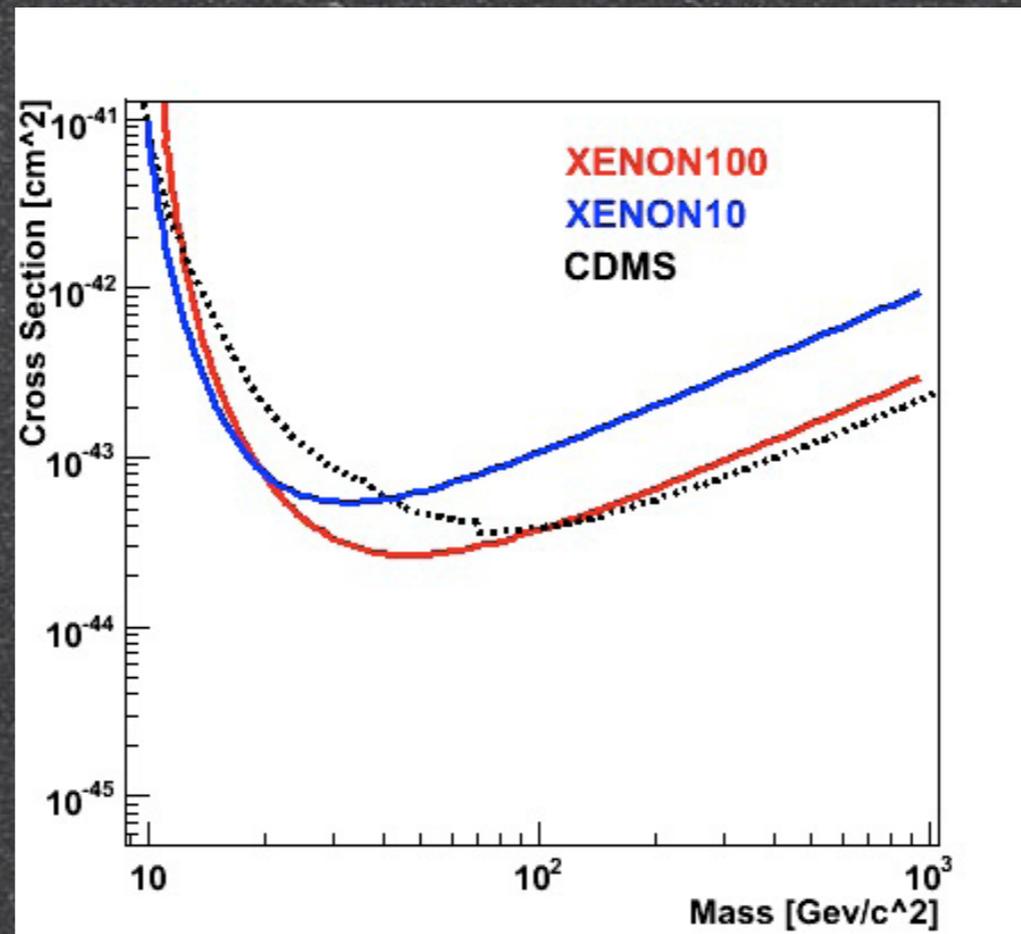


# Xenon

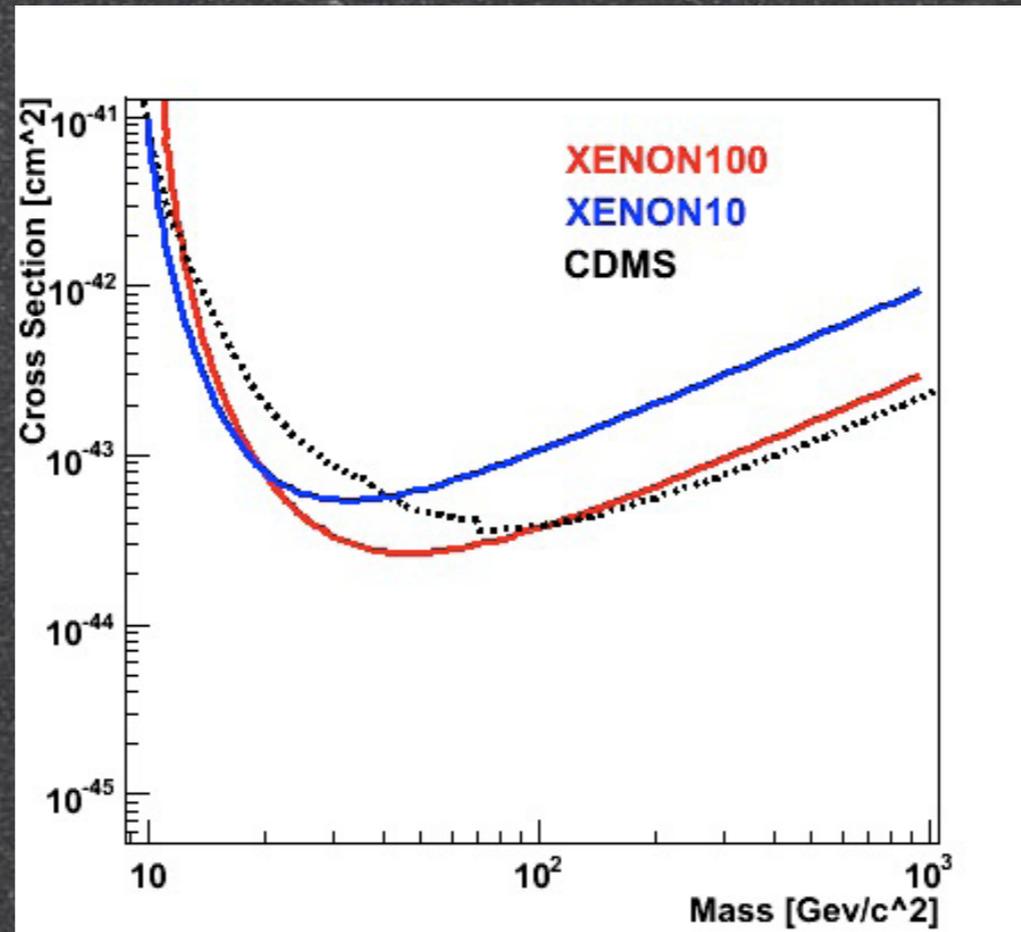
- Risultati preliminari su 194 kg-days (ma accumulati in meno di 2 settimane!!!)
- Nessun conteggio nella zona di interesse
- Miglior limite per interazione SI



# A che punto siamo?

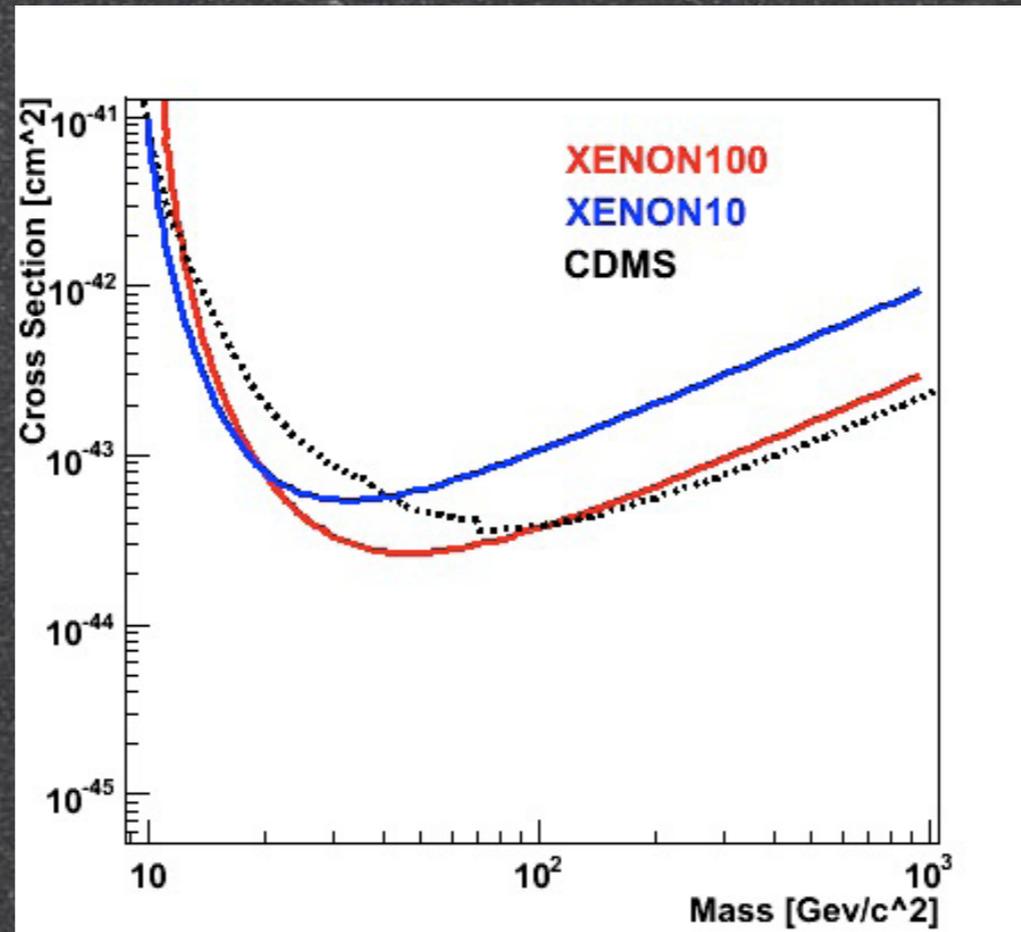


# A che punto siamo?



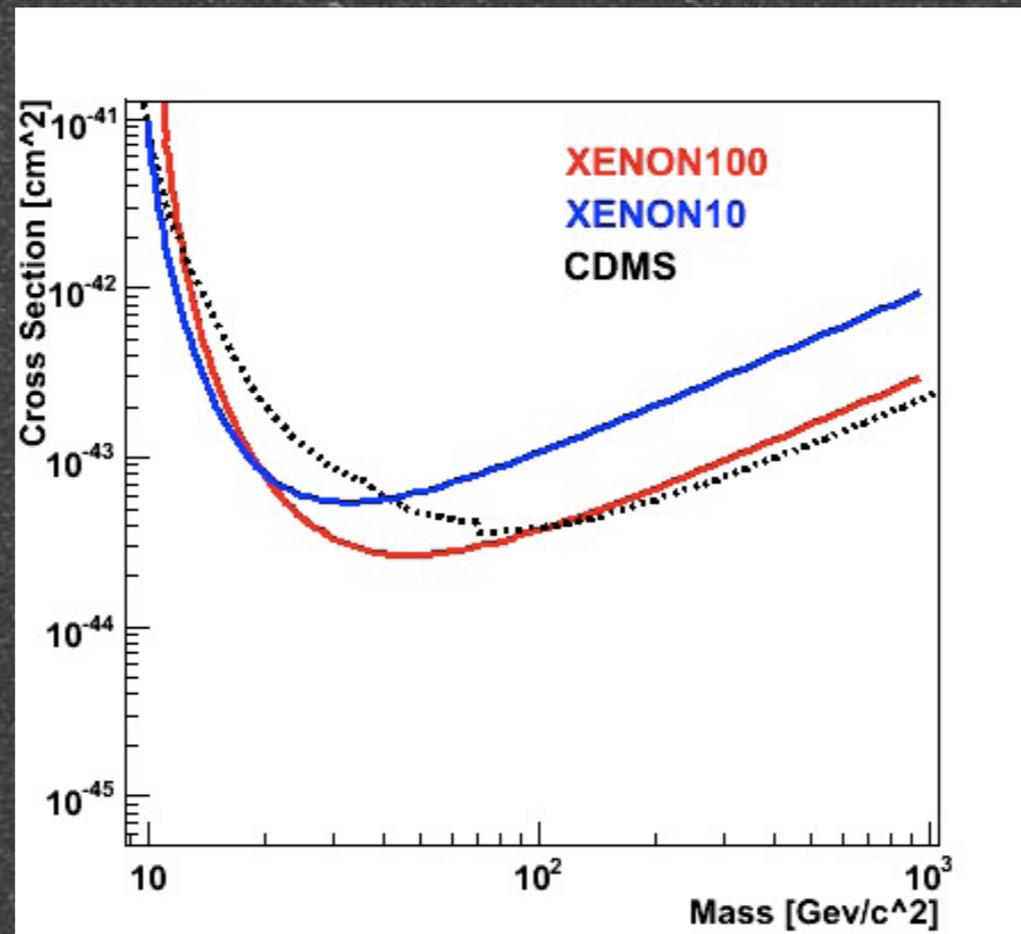
- proliferazione degli esperimenti sulla DM ( $\sim 20$ )

# A che punto siamo?



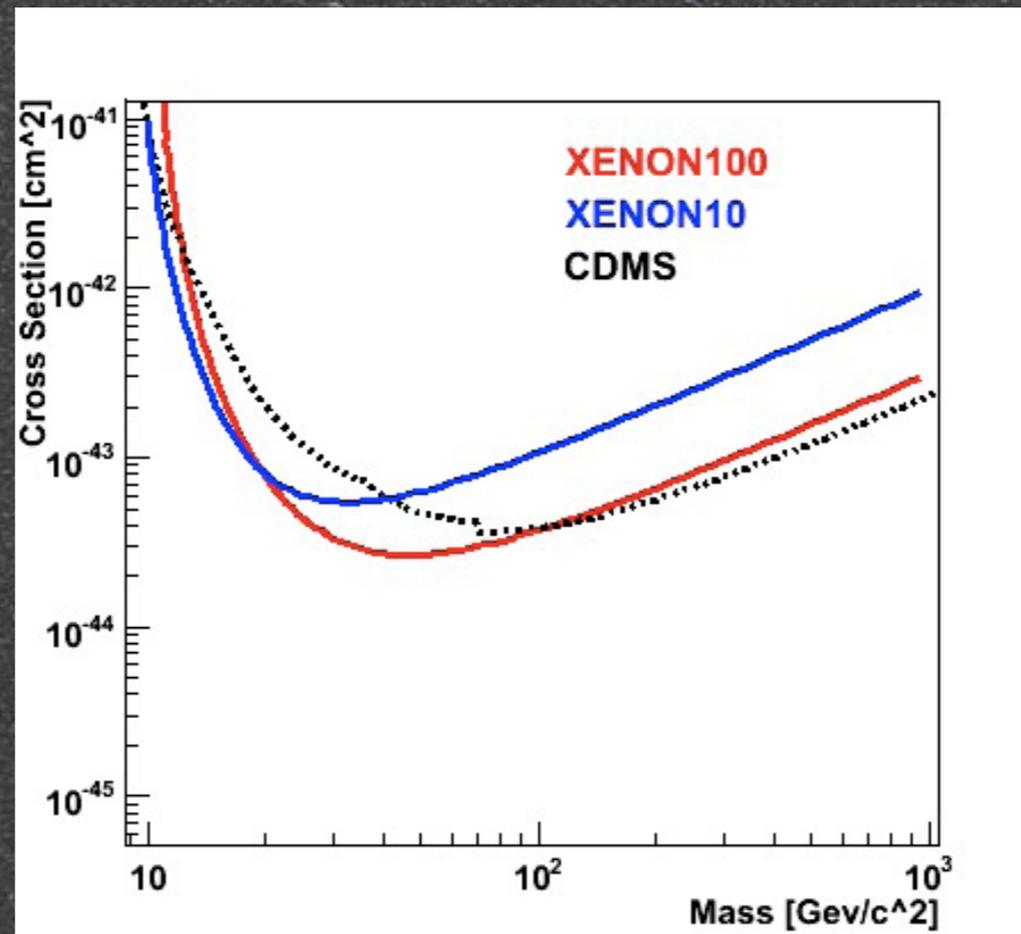
- proliferazione degli esperimenti sulla DM (~ 20)
- situazione estremamente dinamica (nuove idee)

# A che punto siamo?



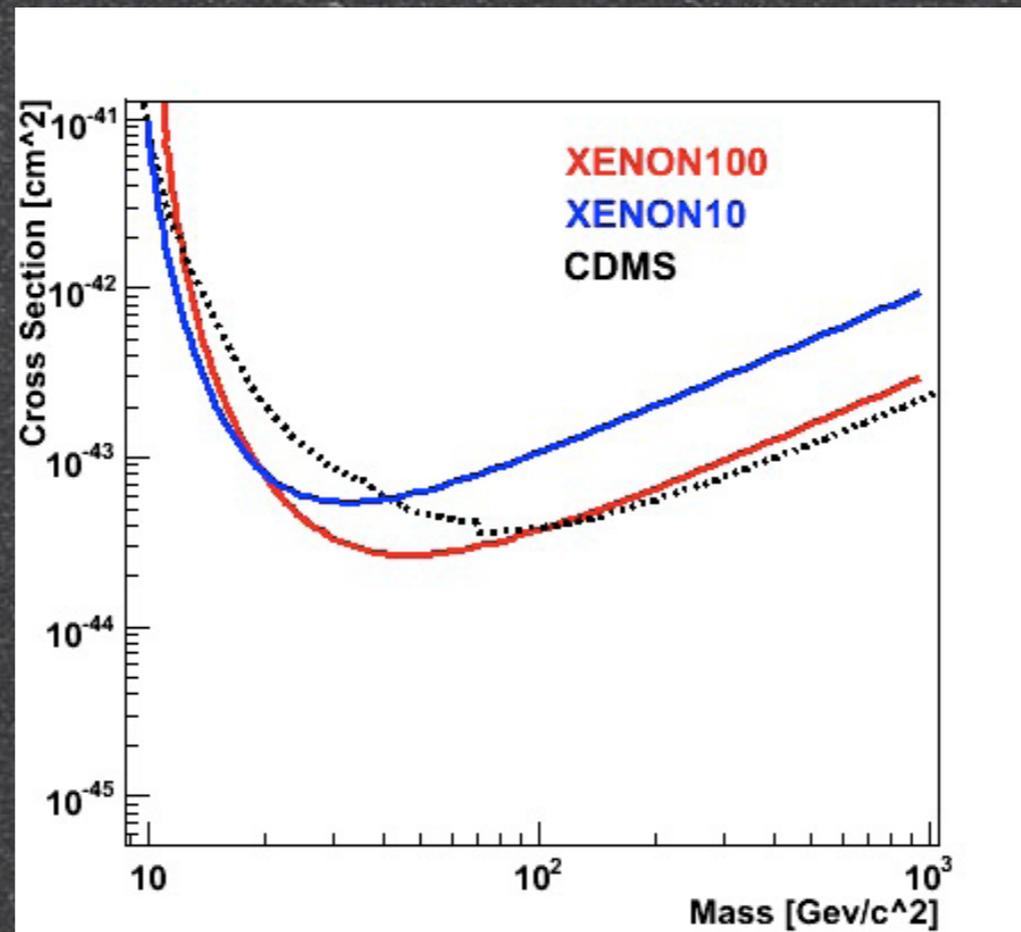
- proliferazione degli esperimenti sulla DM (~ 20)
- situazione estremamente dinamica (nuove idee)
- Xenon-100 (1T) sembra l'esperimento con migliori potenzialità

# A che punto siamo?



- proliferazione degli esperimenti sulla DM (~ 20)
- situazione estremamente dinamica (nuove idee)
- Xenon-100 (1T) sembra l'esperimento con migliori potenzialità
  - ma comparare le potenzialità di esperimenti con tecniche differenti è problematico (varia sostanzialmente a seconda del candidato di DM)

# A che punto siamo?



- proliferazione degli esperimenti sulla DM (~ 20)
- situazione estremamente dinamica (nuove idee)
- Xenon-100 (1T) sembra l'esperimento con migliori potenzialità
  - ma comparare le potenzialità di esperimenti con tecniche differenti è problematico (varia sostanzialmente a seconda del candidato di DM)
  - più saggio puntare sulla complementarità

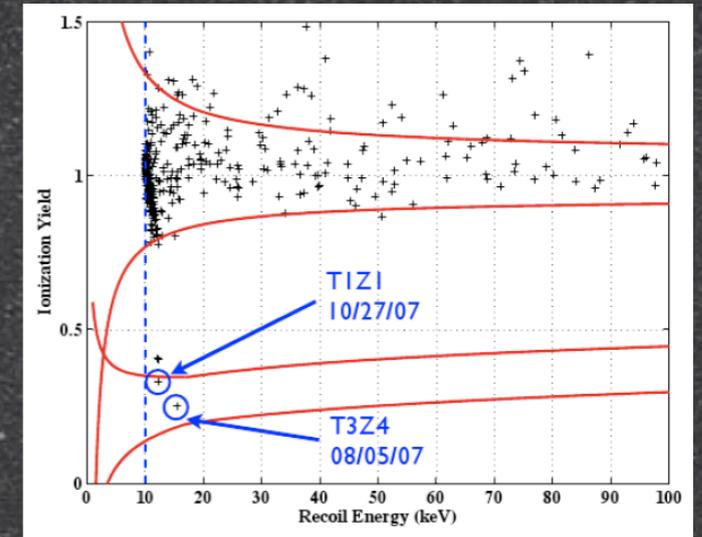
Qualcosa sta cambiando? (eventi non discriminabili)

# Qualcosa sta cambiando? (eventi non discriminabili)

- CDMS vede due eventi (fondo stimato  $0.9 \pm 0.2$ )

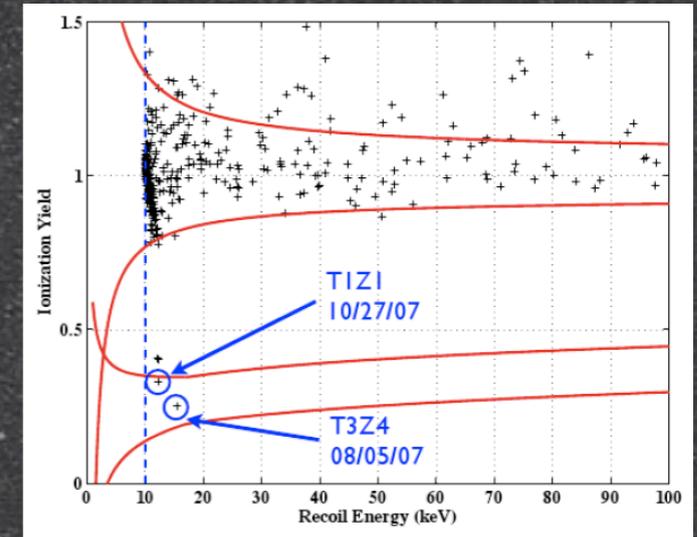
# Qualcosa sta cambiando? (eventi non discriminabili)

- CDMS vede due eventi (fondo stimato  $0.9 \pm 0.2$ )



# Qualcosa sta cambiando? (eventi non discriminabili)

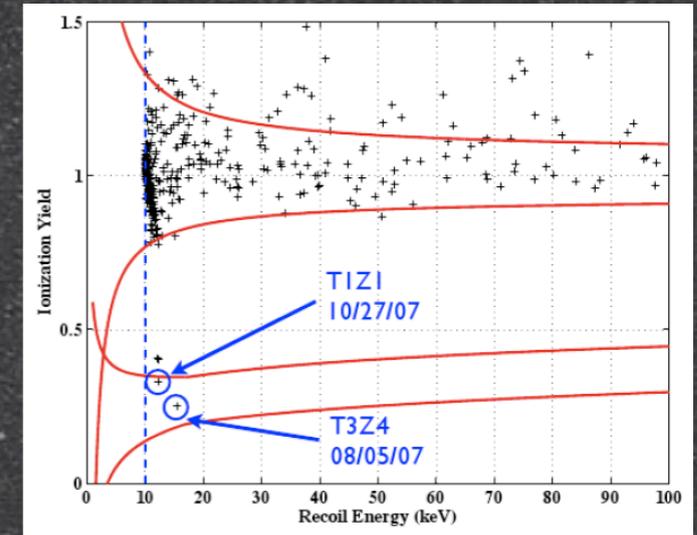
- CDMS vede due eventi (fondo stimato  $0.9 \pm 0.2$ )



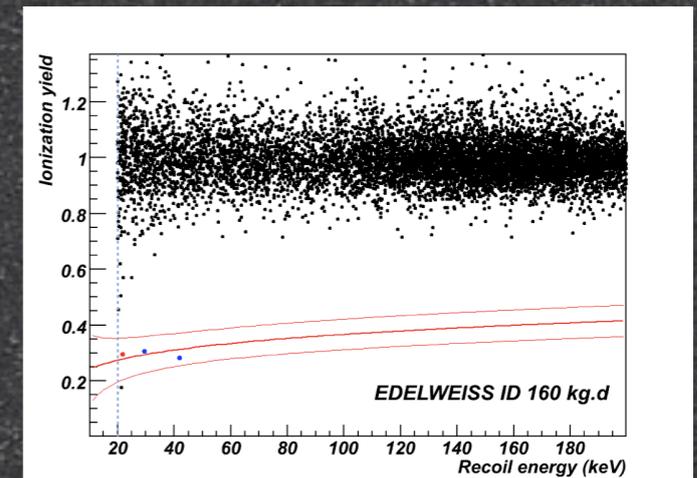
- Edelweiss vede un evento (fondo stimato  $<0.23$ )

# Qualcosa sta cambiando? (eventi non discriminabili)

- CDMS vede due eventi (fondo stimato  $0.9 \pm 0.2$ )

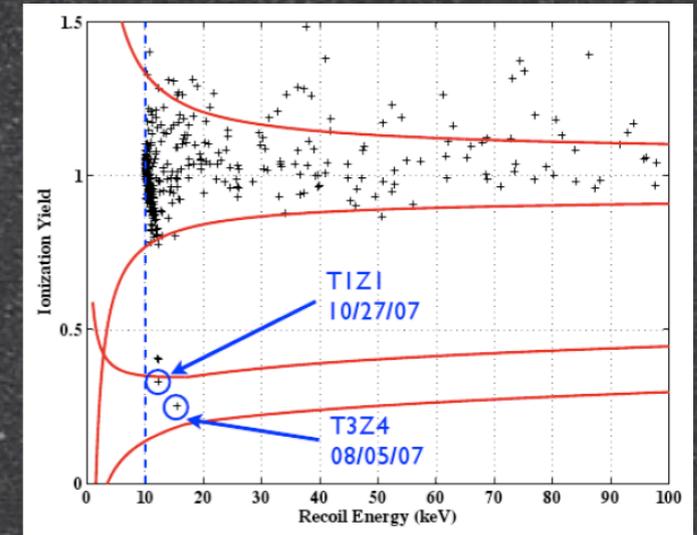


- Edelweiss vede un evento (fondo stimato  $<0.23$ )

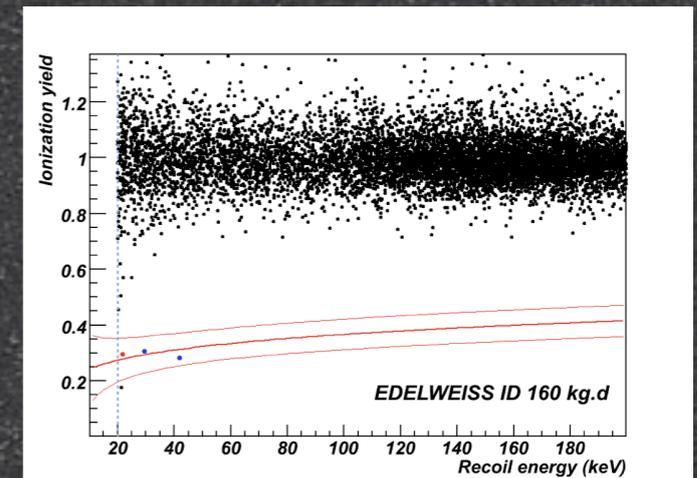


# Qualcosa sta cambiando? (eventi non discriminabili)

- CDMS vede due eventi (fondo stimato  $0.9 \pm 0.2$ )



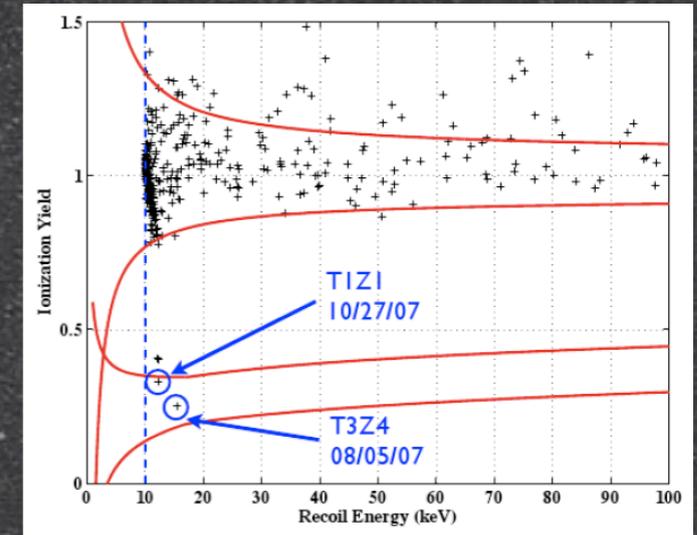
- Edelweiss vede un evento (fondo stimato  $<0.23$ )



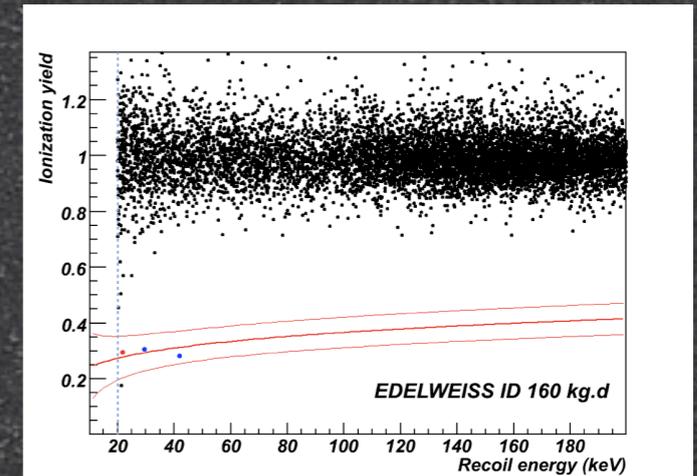
- CRESST II vede tre eventi (e di più nel nuovo run)

# Qualcosa sta cambiando? (eventi non discriminabili)

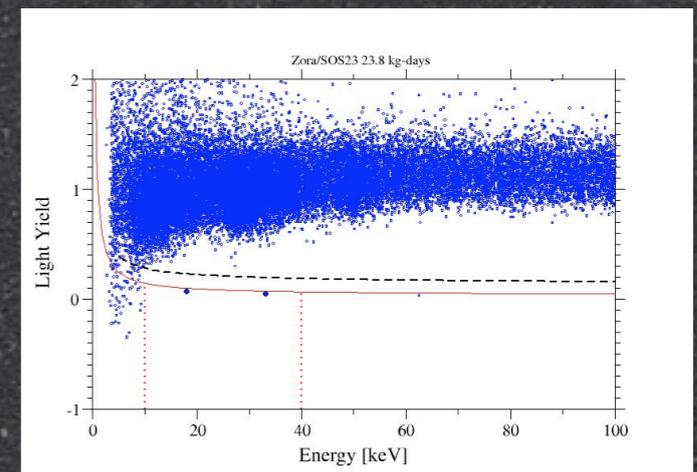
- CDMS vede due eventi (fondo stimato  $0.9 \pm 0.2$ )



- Edelweiss vede un evento (fondo stimato  $<0.23$ )



- CRESST II vede tre eventi (e di più nel nuovo run)



# Conclusioni

# Conclusioni

- Campo in rapida evoluzione

# Conclusioni

- Campo in rapida evoluzione

# Conclusioni

- Campo in rapida evoluzione
- LHC sta partendo

# Conclusioni

- Campo in rapida evoluzione
- LHC sta partendo

# Conclusioni

- Campo in rapida evoluzione
- LHC sta partendo
- La ricerca indiretta produce già risultati : PAMELA, ...

# Conclusioni

- Campo in rapida evoluzione
- LHC sta partendo
- La ricerca indiretta produce già risultati : PAMELA, ...
- C'è solo da aspettare, e non penso molto a lungo