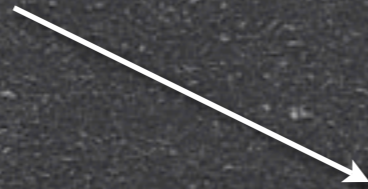
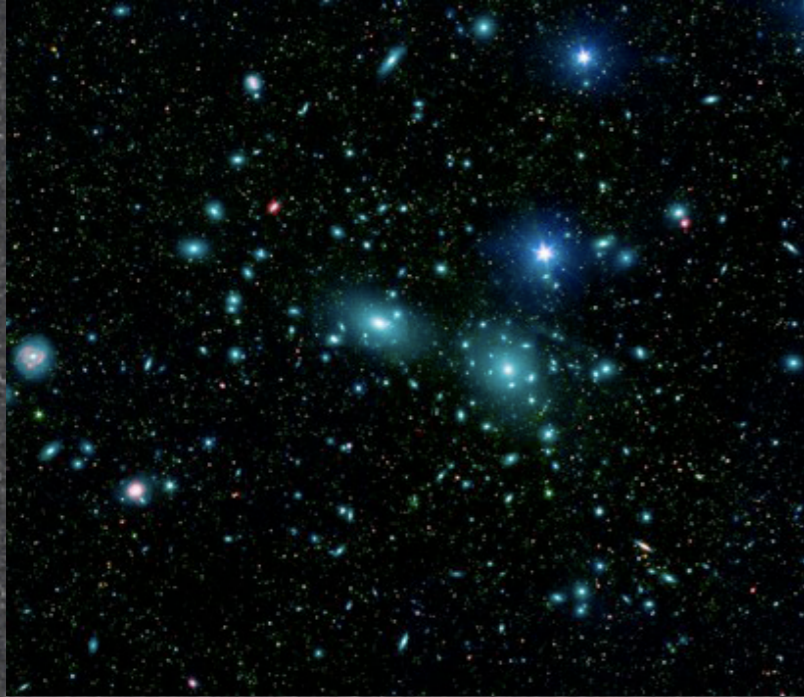


Rassegna sperimentale sulla
ricerca diretta di
Materia Oscura

Materia Oscura

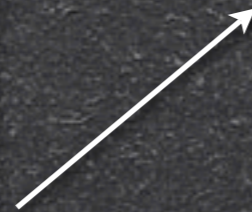
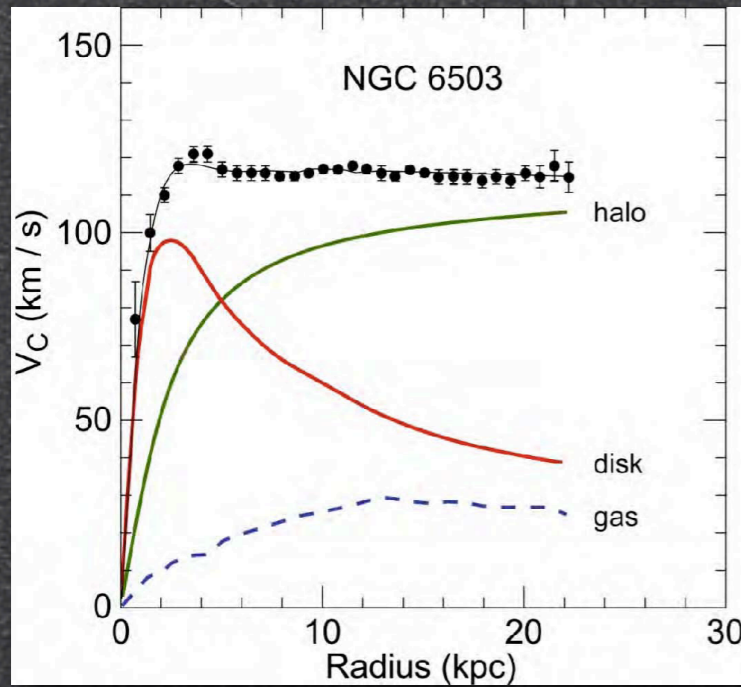
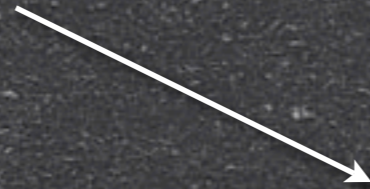
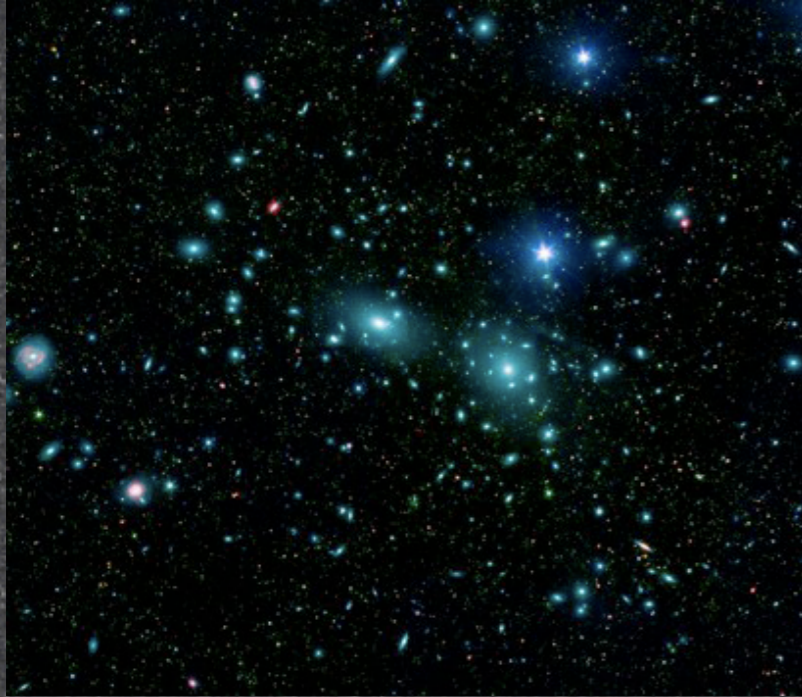
Materia Oscura

Moto delle galassie nei cluster



Materia Oscura

Moto delle galassie nei cluster



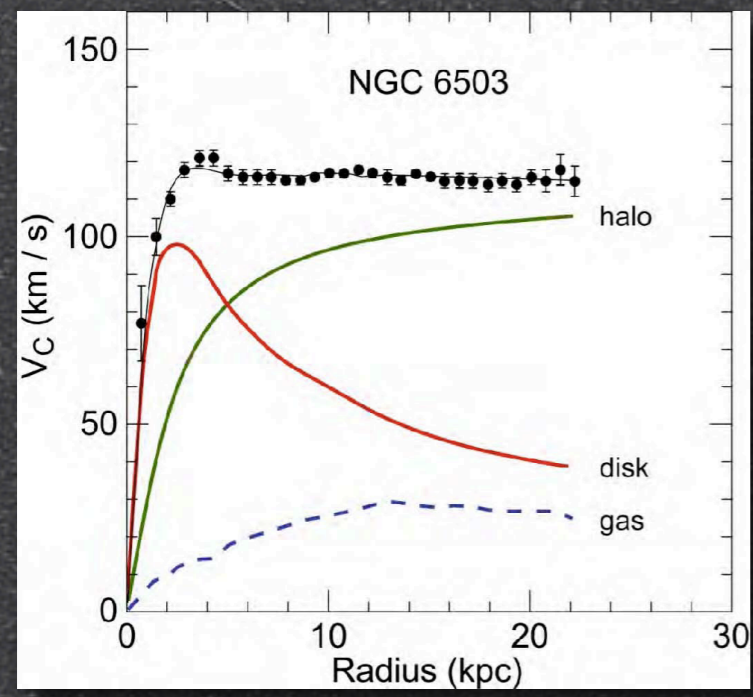
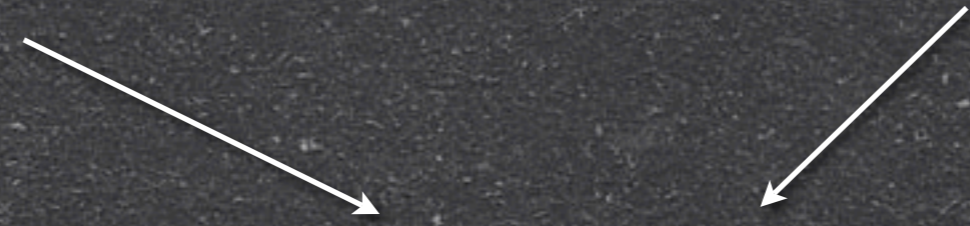
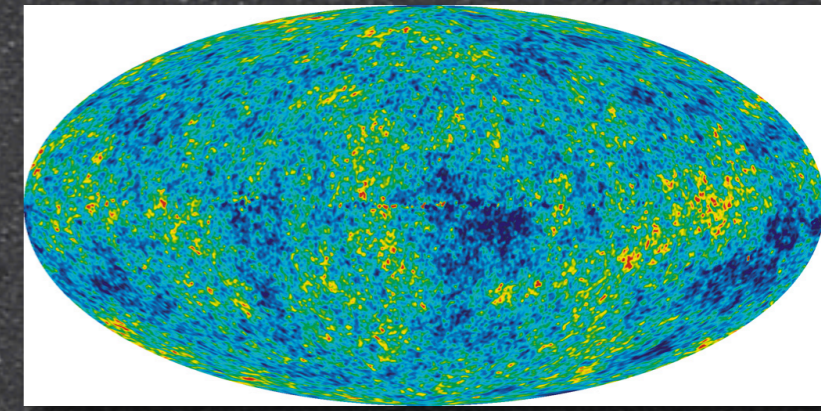
Velocità di rotazione
delle galassie

Materia Oscura

Moto delle galassie nei cluster



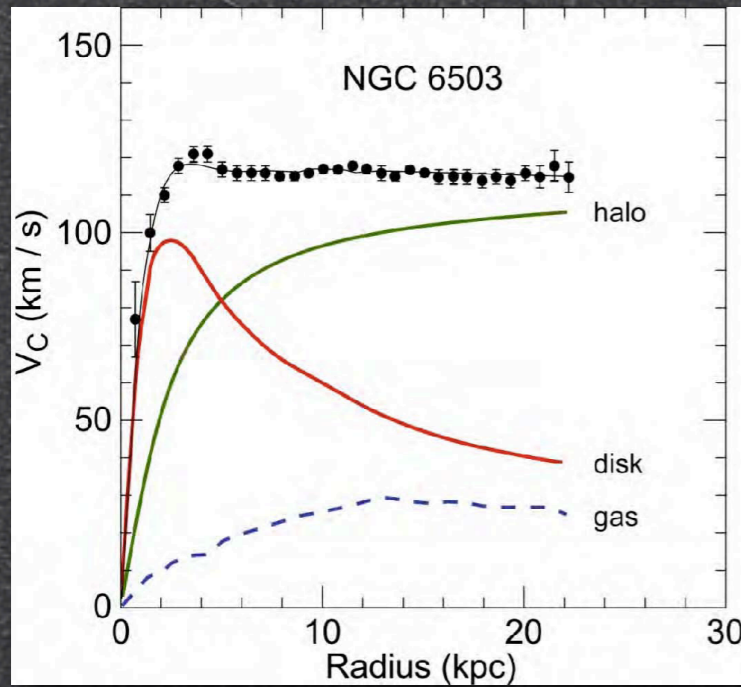
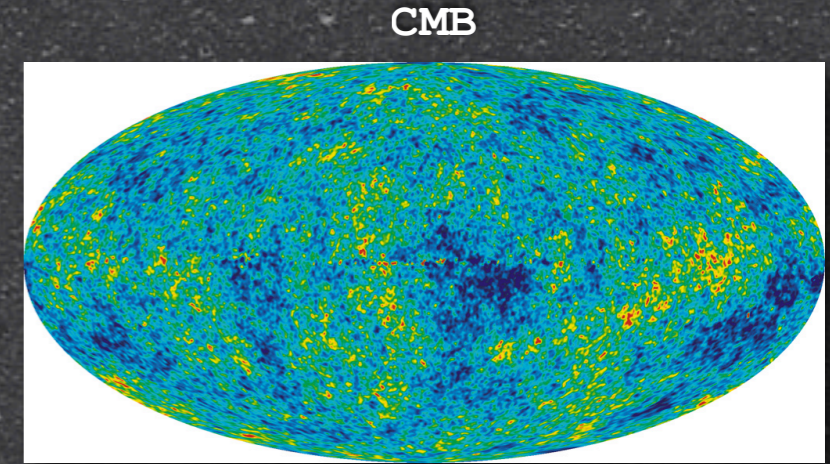
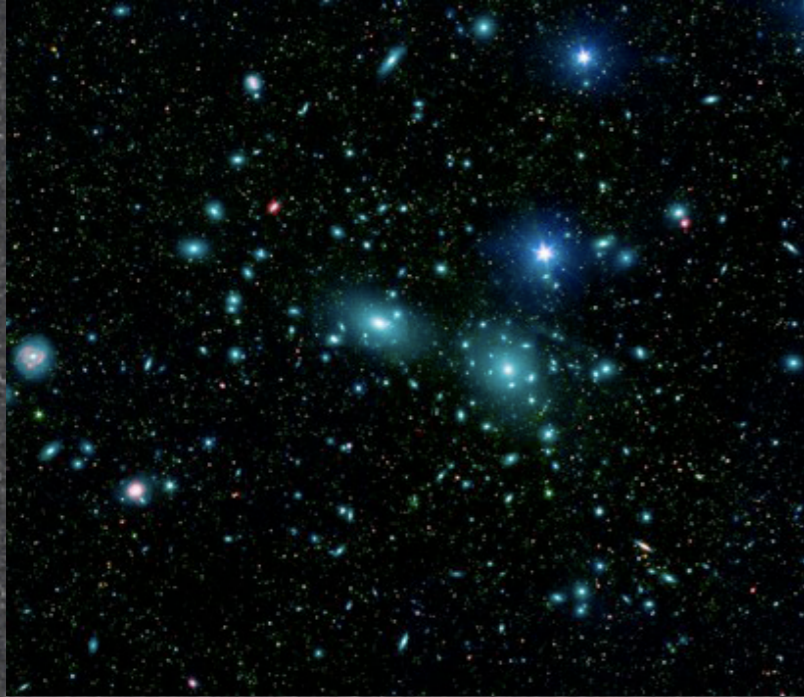
CMB



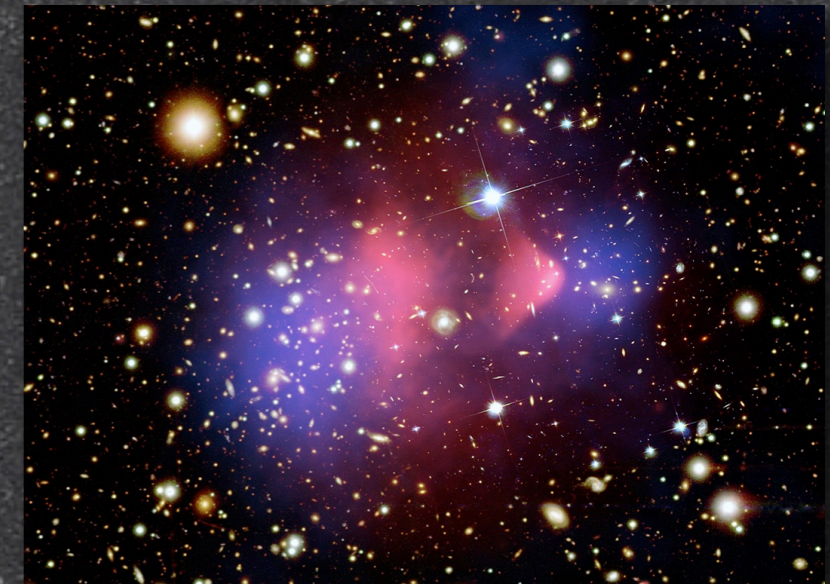
Velocità di rotazione delle galassie

Materia Oscura

Moto delle galassie nei cluster



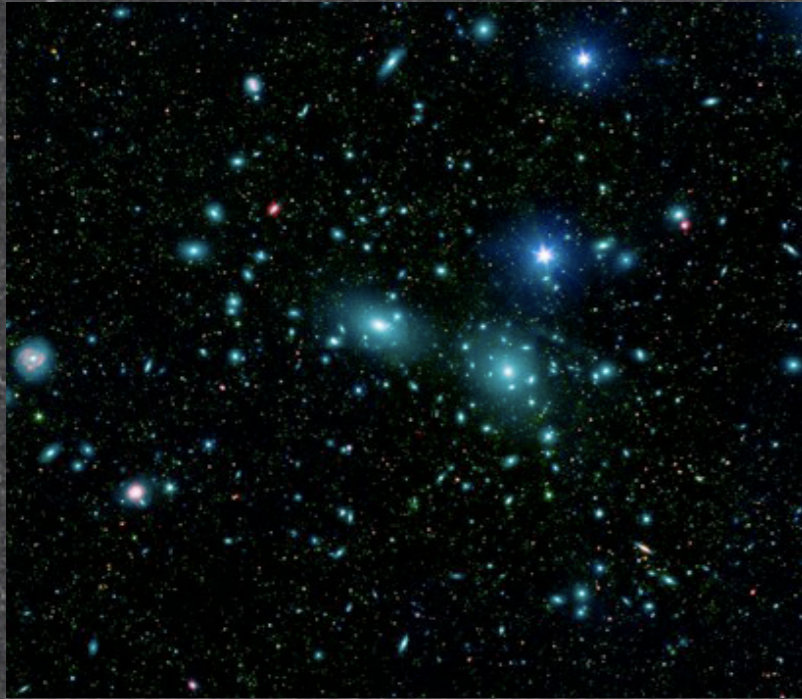
Velocità di rotazione delle galassie



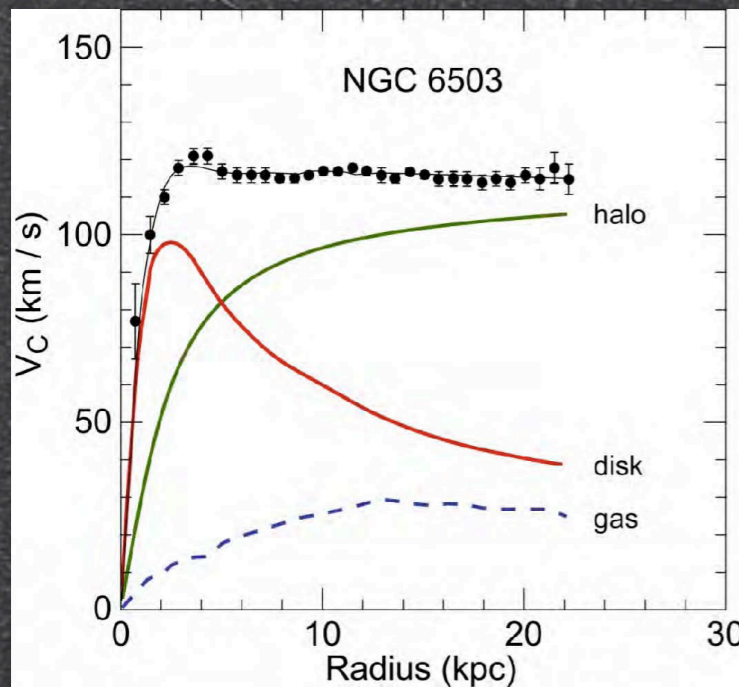
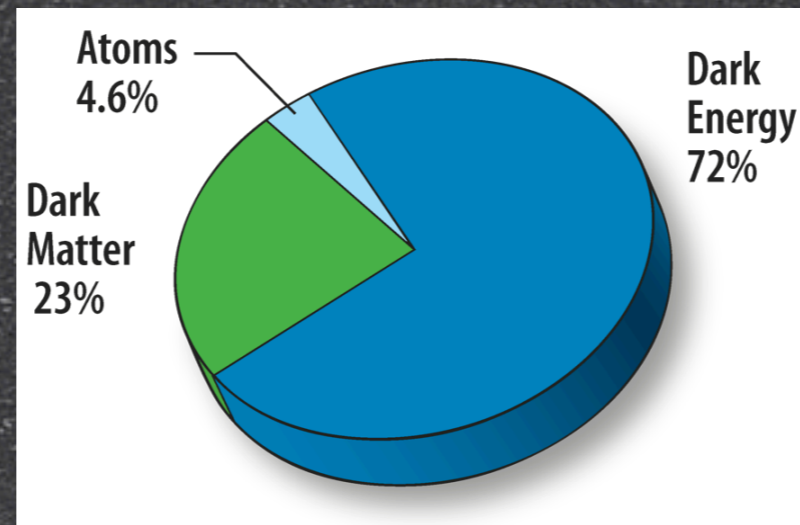
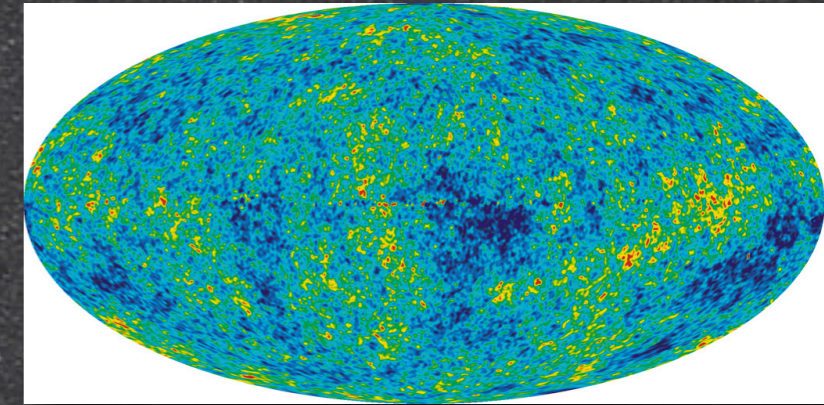
Lensing

Materia Oscura

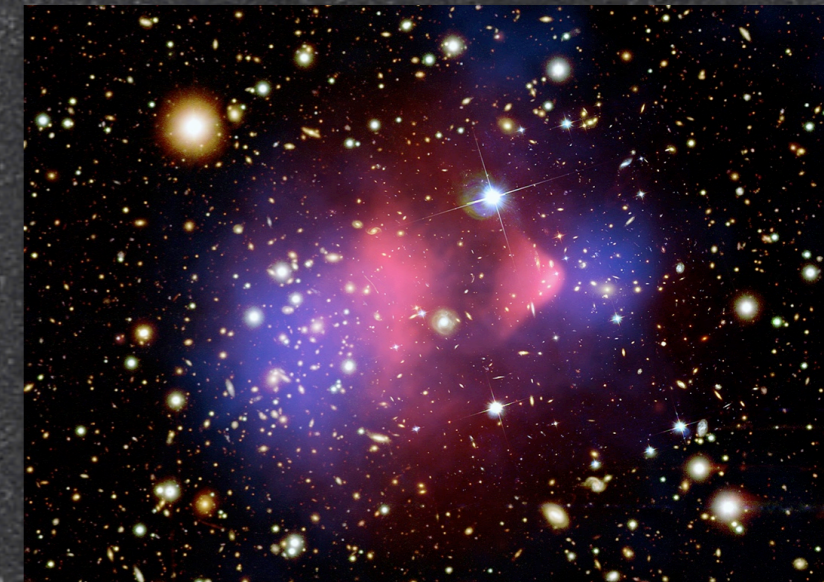
Moto delle galassie nei cluster



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?

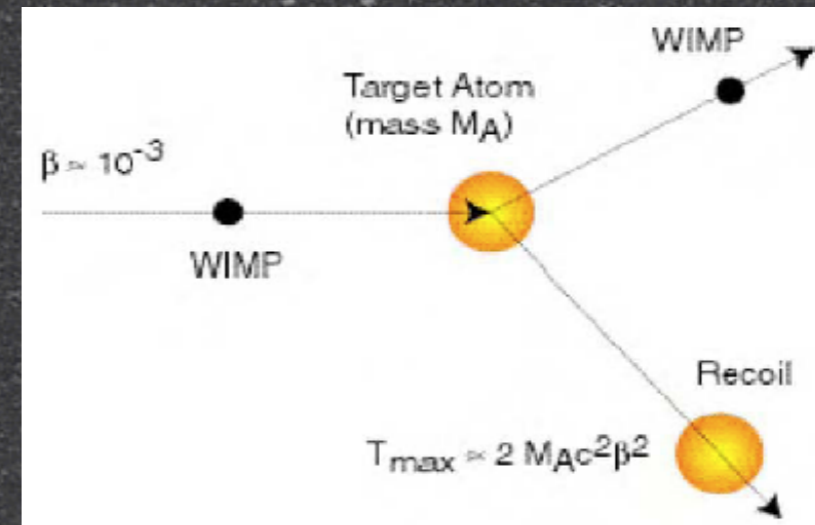
- Il candidato "preferito" è il Neutralino
- Ci sono però numerosi altri candidati:
 - Neutrino sterile
 - Kaluza-Klein
 - Assione
 - Axino
 - Gravitino
 - Inelastic DM
 - Materia Mirror
 - Self-Interacting DM
 - Wimpzilla
 - Champs
 - Buchi Neri primordiali
 -

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

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

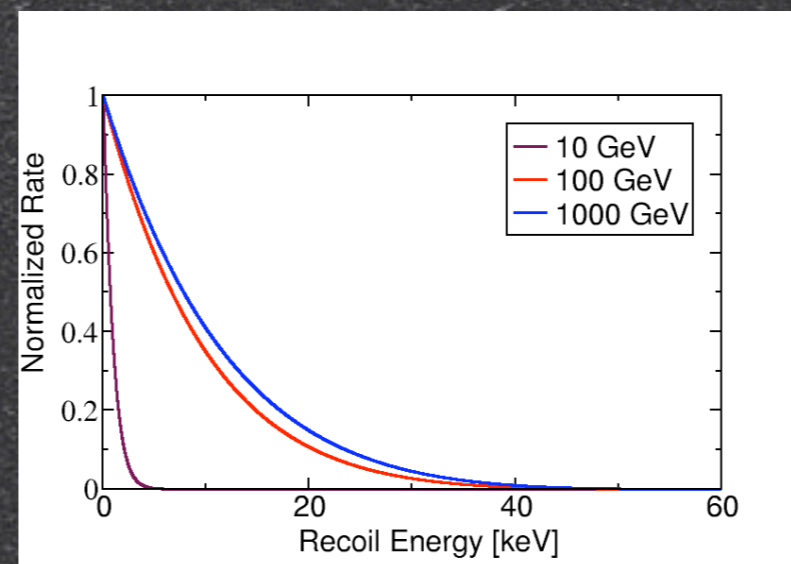
Standard Halo Model

- densità locale 0.3 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

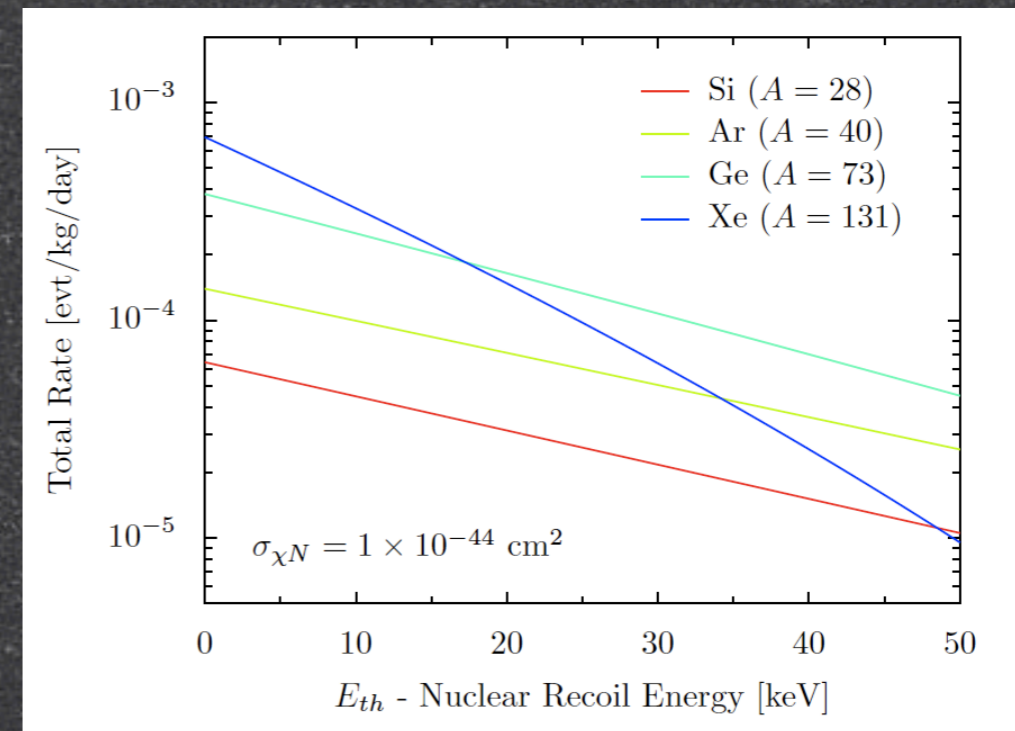
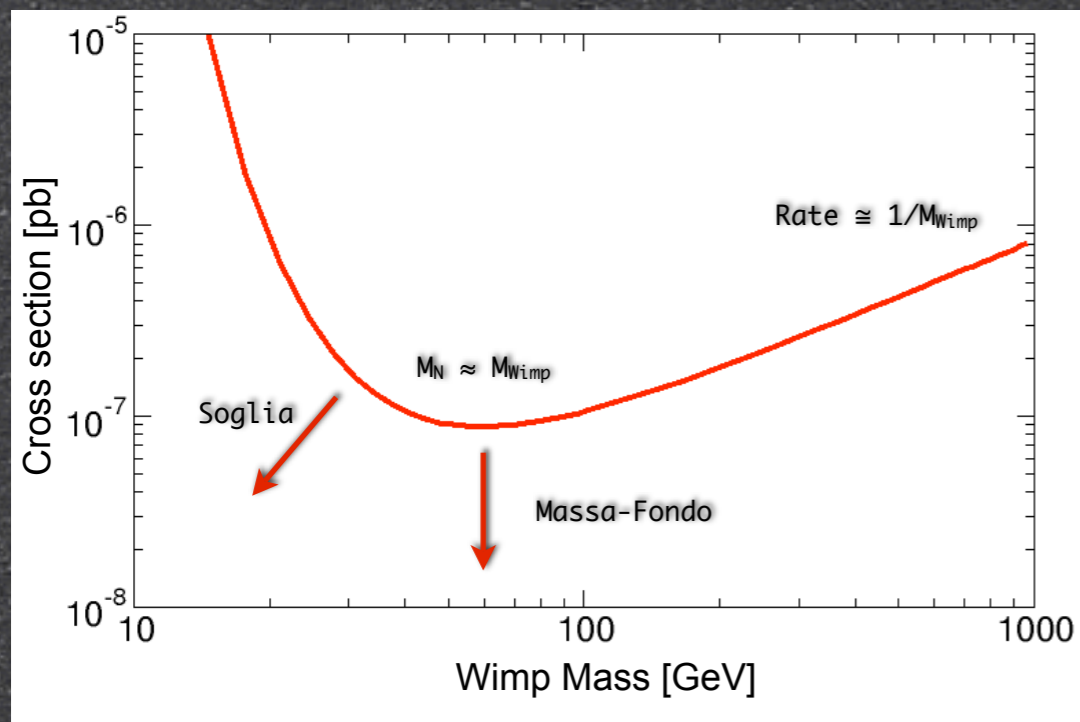
- Rinculi Nucleari
- Esponenziale "featurless"
- Bassa energia (pochi keV)



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 α , β e γ (radioattività ambientale)

Fondo

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

- Radiazione α , β e γ (radioattività ambientale)

- Schermature per γ

Fondo

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

- Radiazione α , β e γ (radioattività ambientale)
 - Schermature per γ
 - Selezione materiali

Fondo

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

- Radiazione α , β e γ (radioattività ambientale)

- Schermature per γ
- Selezione materiali
- Clean Room

Fondo

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

- Radiazione α , β e γ (radioattività ambientale)
 - Schermature per γ
 - Selezione materiali
 - Clean Room
 - Discriminazione tramite doppia lettura (Quenching Factor)

Fondo

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

- Radiazione α , β e γ (radioattività ambientale)
 - Schermature per γ
 - 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 α , β e γ (radioattività ambientale)
 - Schermature per γ
 - 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 α , β e γ (radioattività ambientale)
 - Schermature per γ
 - 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 α , β e γ (radioattività ambientale)
 - Schermature per γ
 - 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 α , β e γ (radioattività ambientale)

- Schermature per γ
- 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 β/γ e rinculi nucleari con doppia lettura



Rilevazione Diretta

- Molteplici tecniche
- Discriminazione tra fondo β/γ e rinculi nucleari con doppia lettura



Elenco largamente incompleto

Rilevazione Diretta

- Molteplici tecniche
- Discriminazione tra fondo β/γ e rinculi nucleari con doppia lettura

- Bubble Chambers:
Picasso, Coupp



Elenco largamente incompleto

Rilevazione Diretta

- Molteplici tecniche
- Discriminazione tra fondo β/γ e rinculi nucleari con doppia lettura

- Bubble Chambers:
Picasso, Coupp

- TPC a gas: Drift

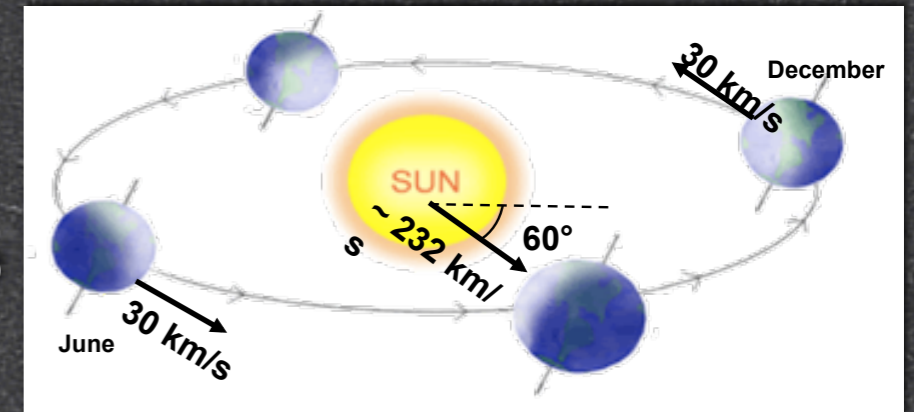


Elenco largamente incompleto

Identificazione della DM

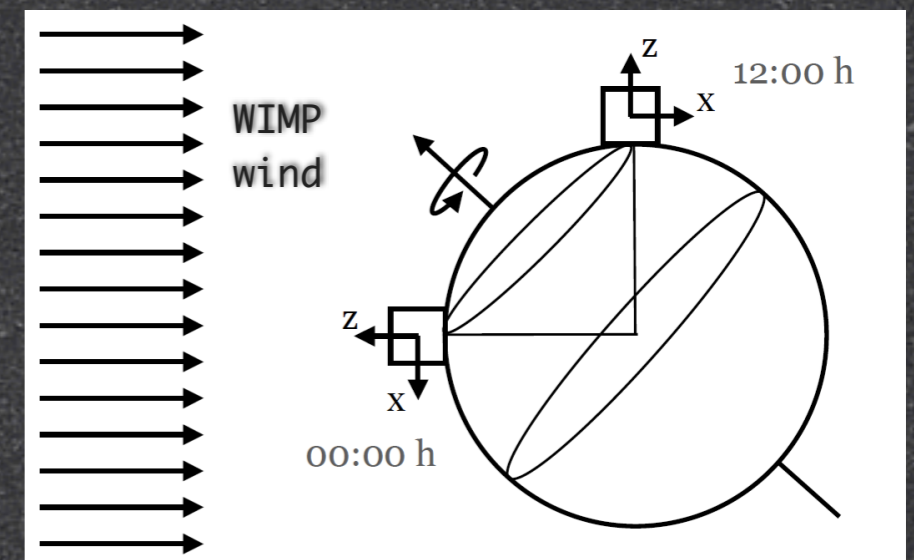
● Modulazione Stagionale

- $v_{\text{sun}} \sim 232 \text{ km/s}$ (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)

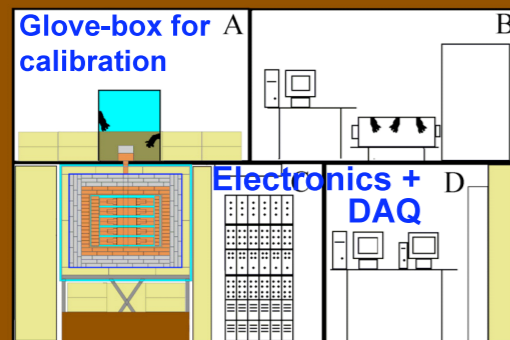


● Spettro e rate diverso su nuclei diversi

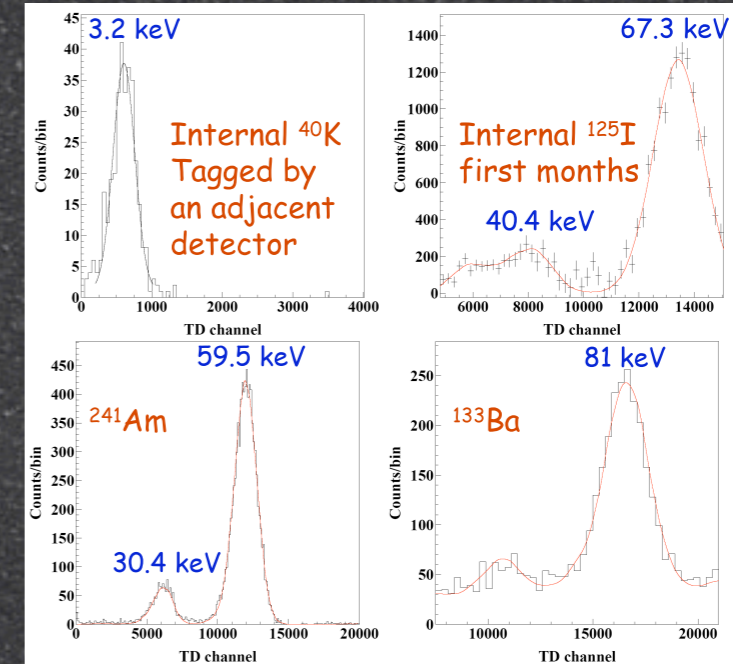
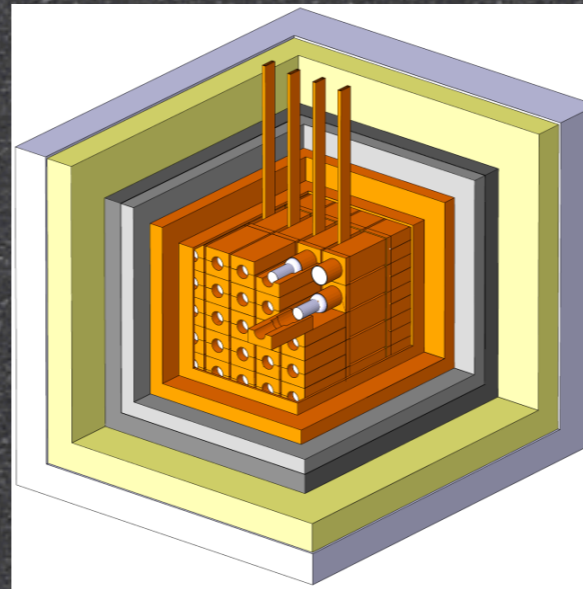
Dama/Libra

- ~ 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

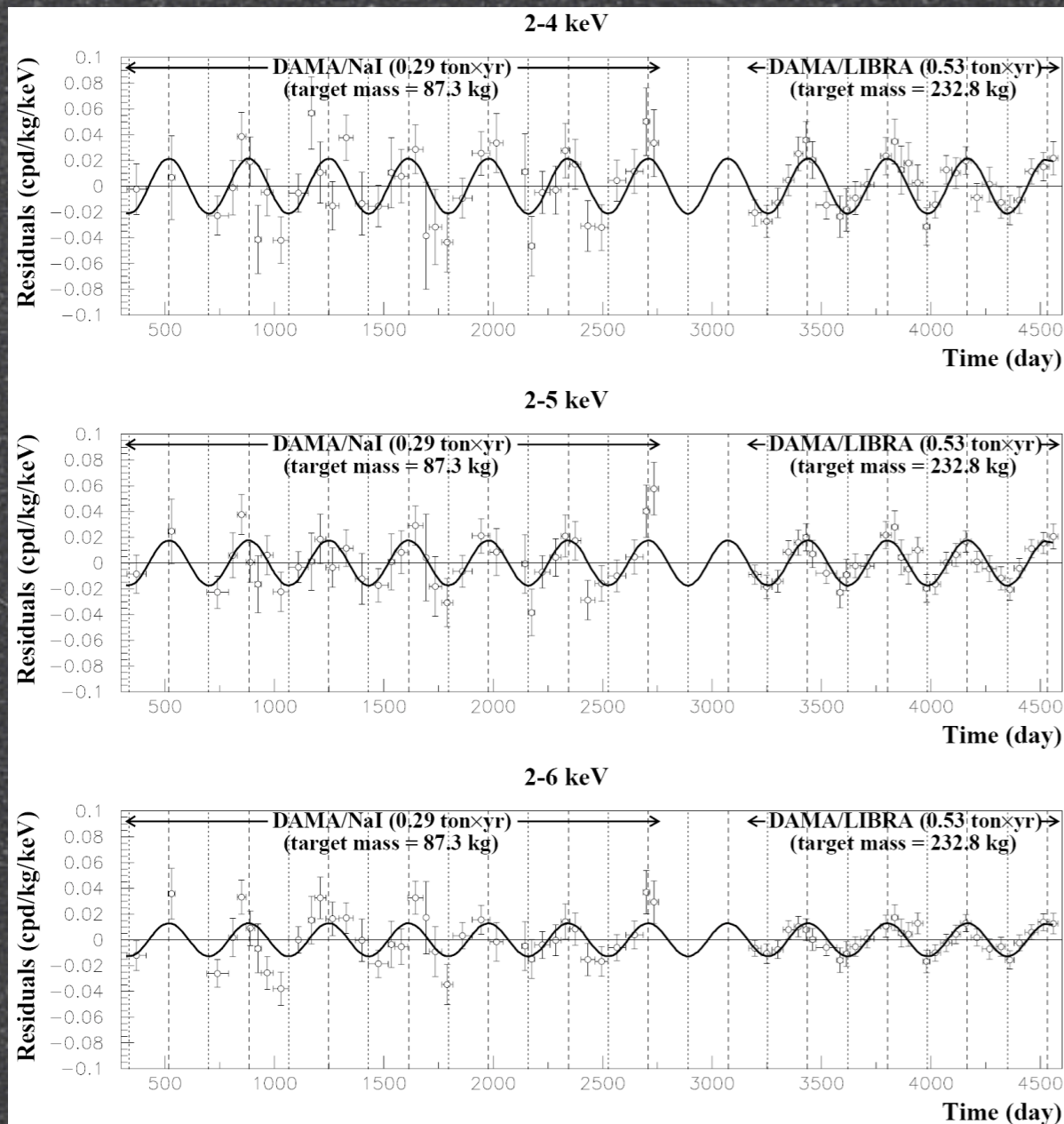


- elevata attenzione alla radiopurezza dei materiali



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

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

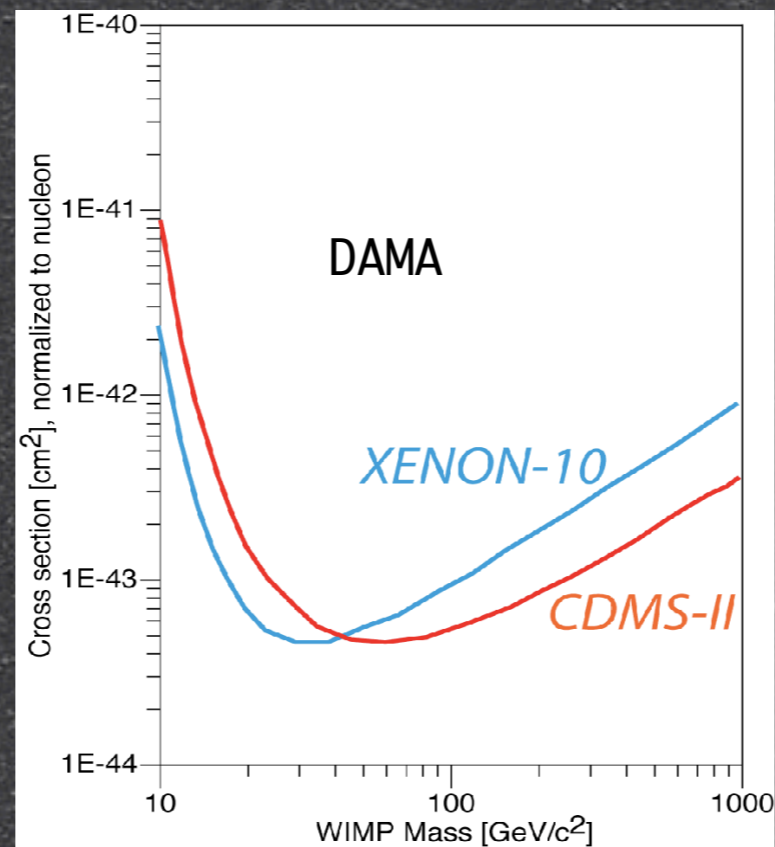
$$\chi^2/\text{dof} = 54.3/66 \quad 8.2\sigma \text{ C.L.}$$

- 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?

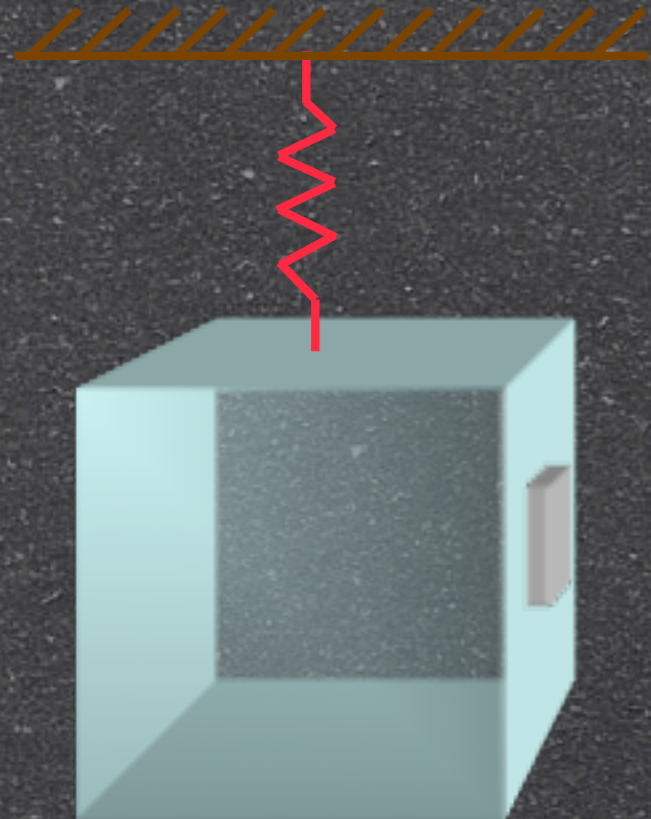
- Il risultato di Dama/Libra è incompatibile con numerosi esperimenti: CDMS, CRESST, Edelweiss, Warp, Xenon, etc.



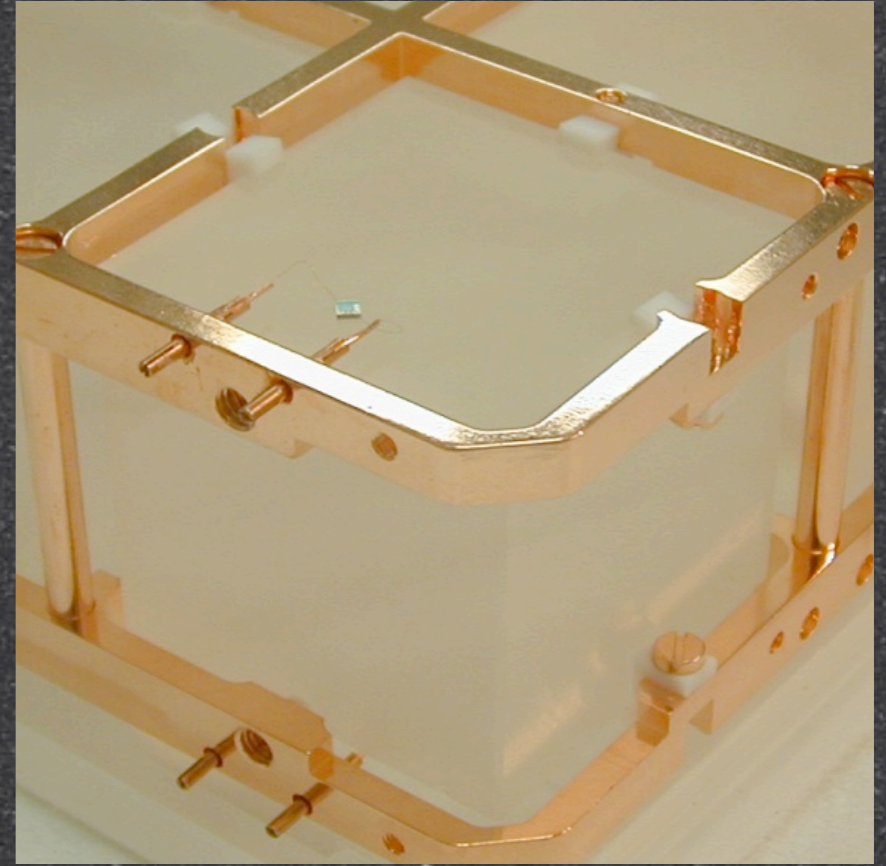
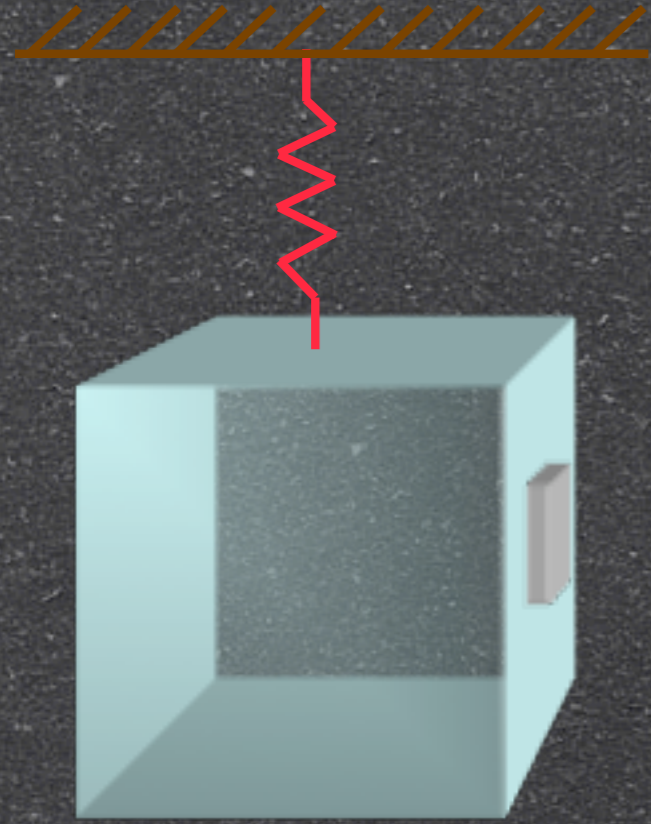
- ma questo è vero solo assumendo lo "Standard Halo Model"!
- non conoscendo di cosa è costituita la DM il risultato di Dama/Libra non va trascurato e va confrontato modello per modello

Rivelatori Criogenici

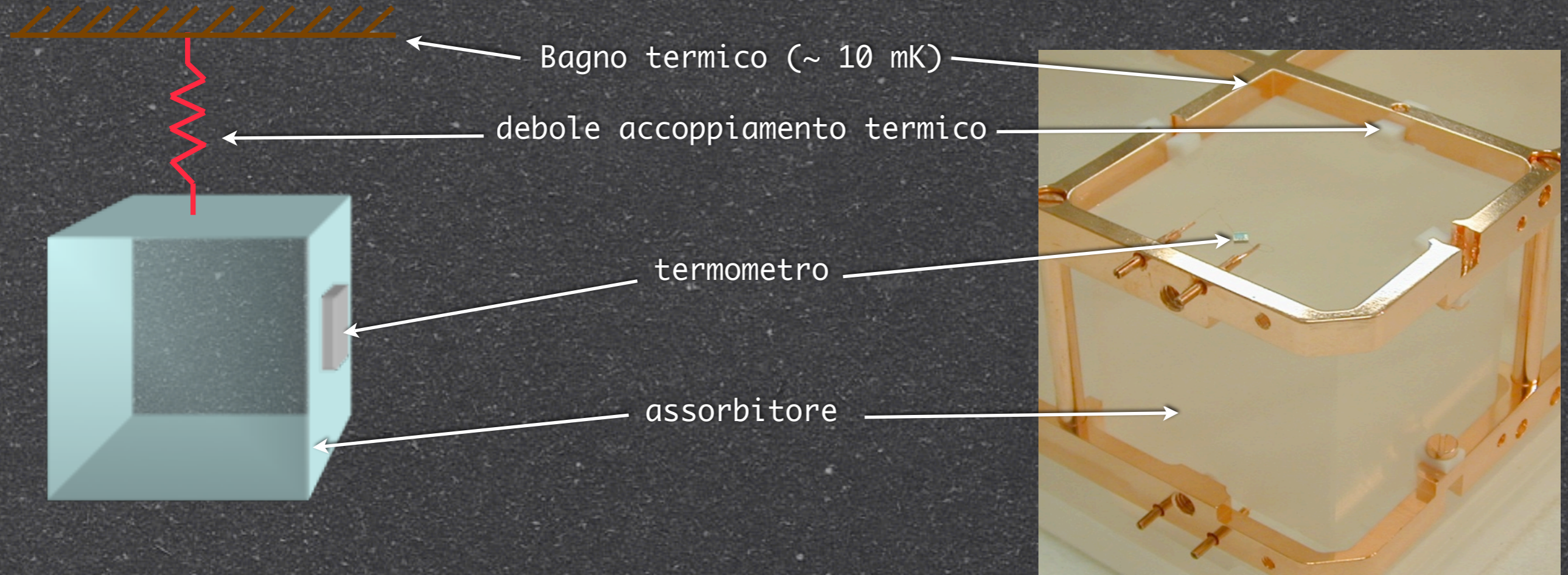
Rivelatori Criogenici



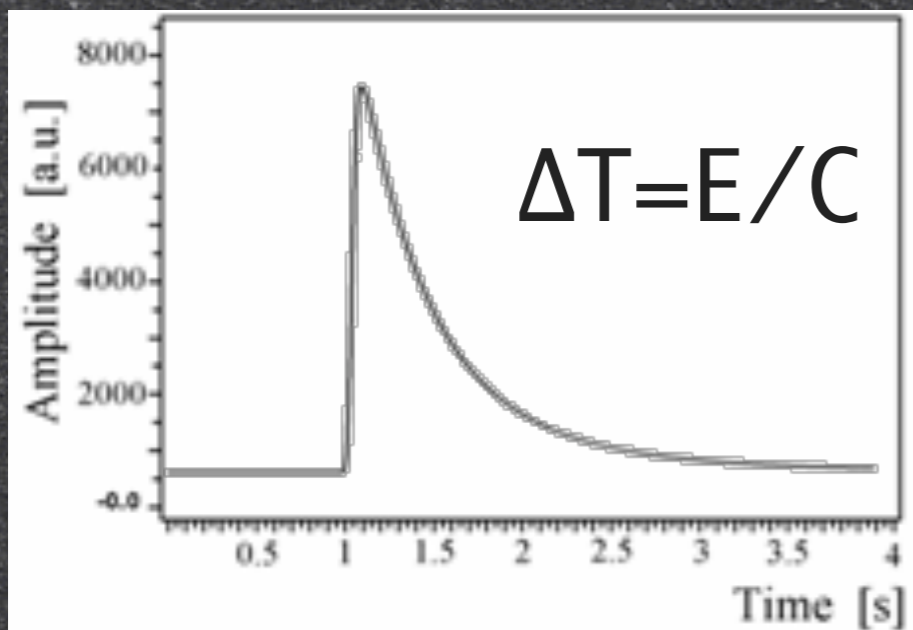
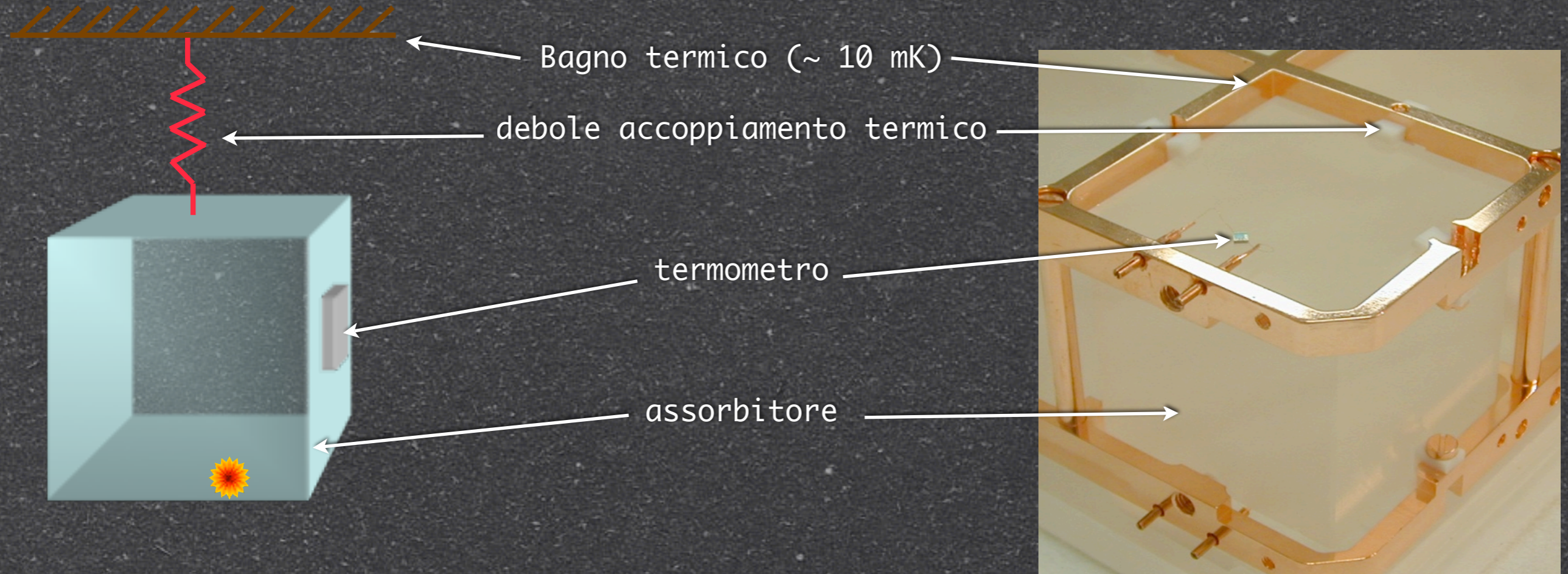
Rivelatori Criogenici



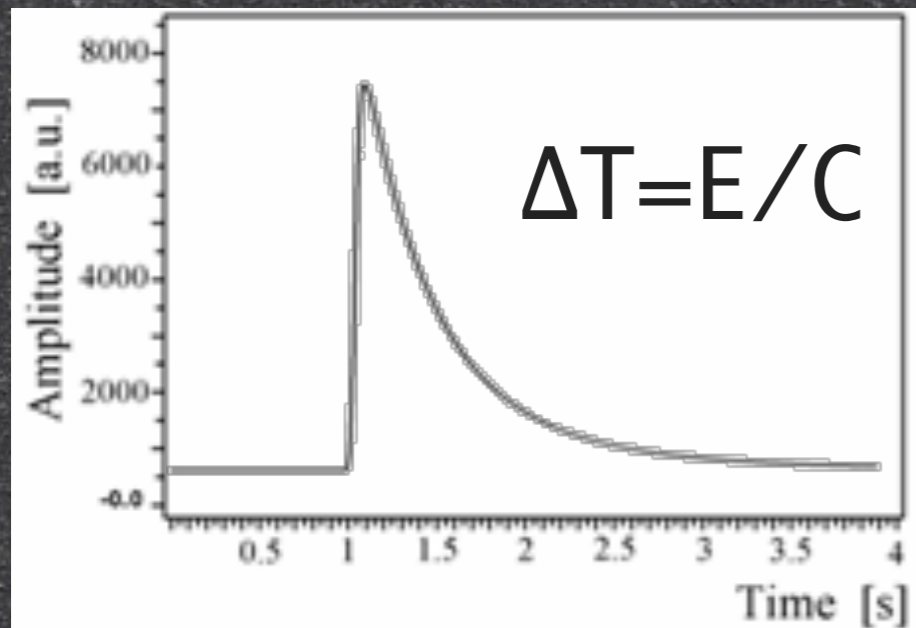
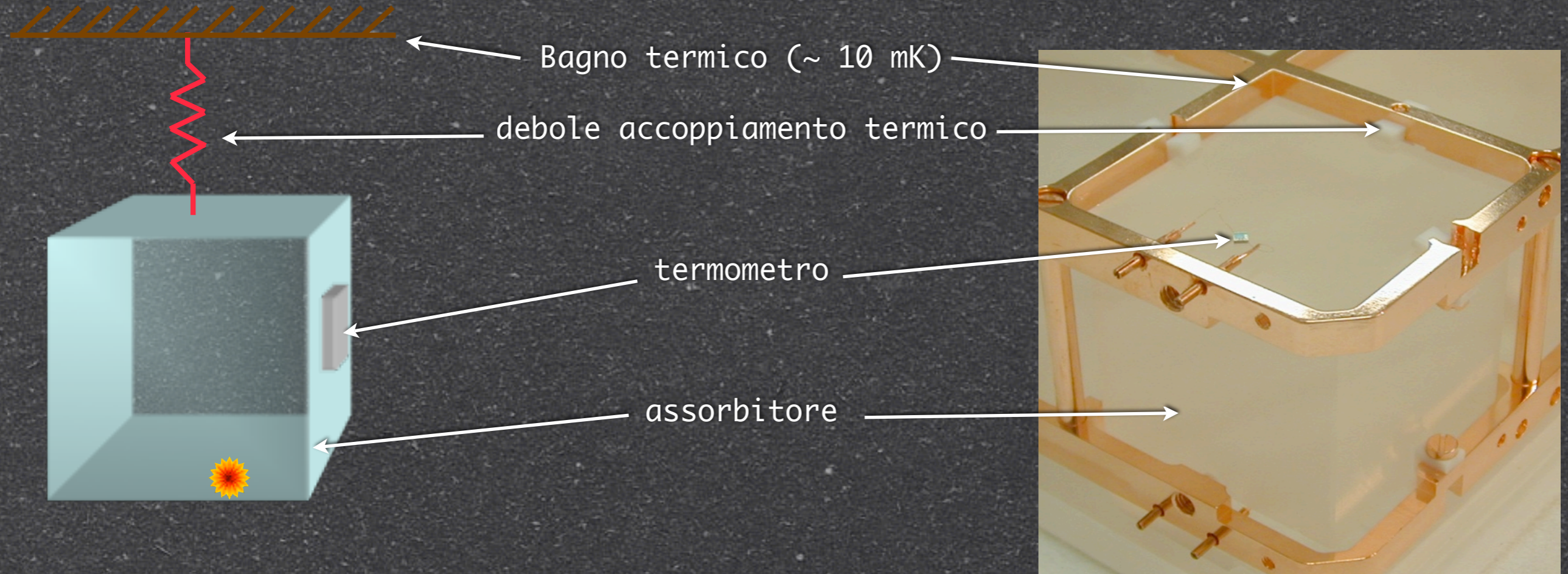
Rivelatori Criogenici



Rivelatori Criogenici

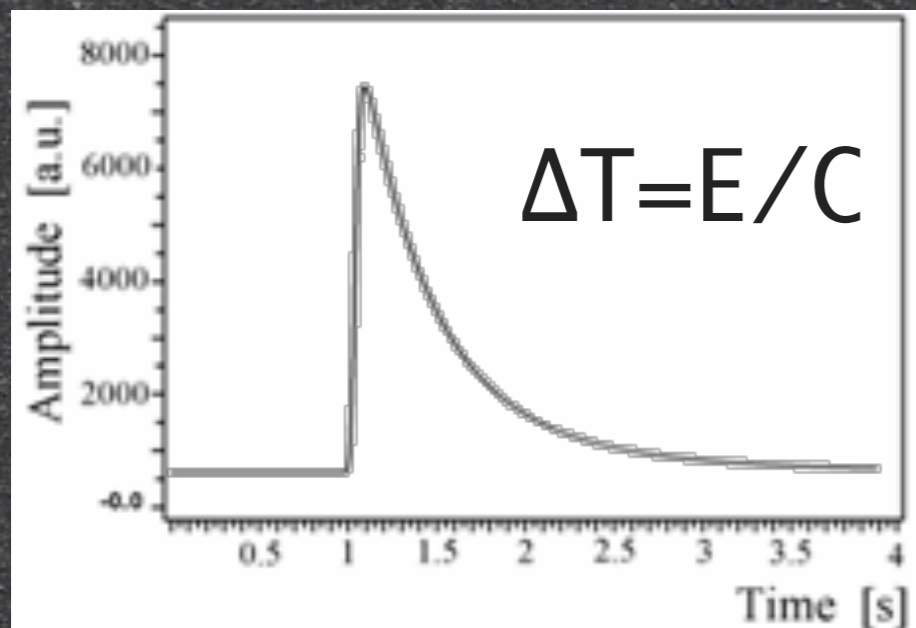
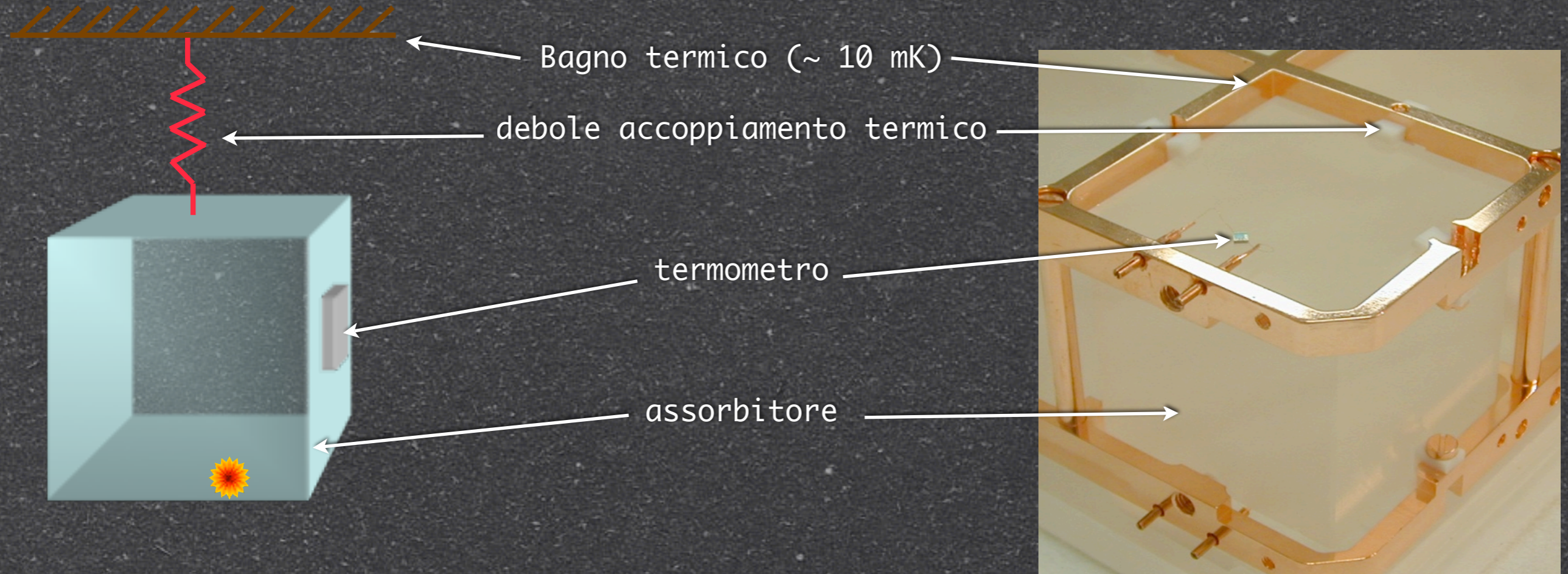


Rivelatori Criogenici



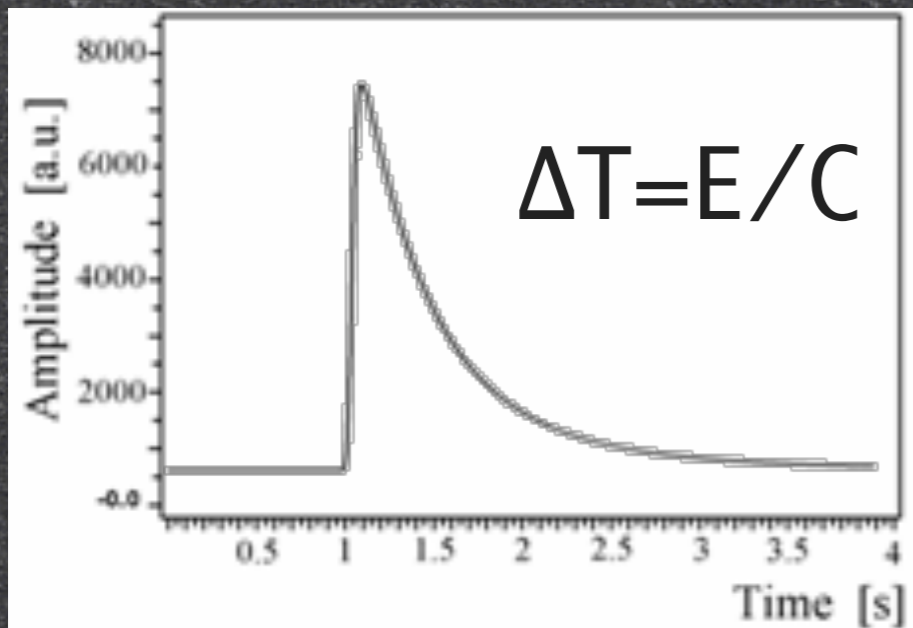
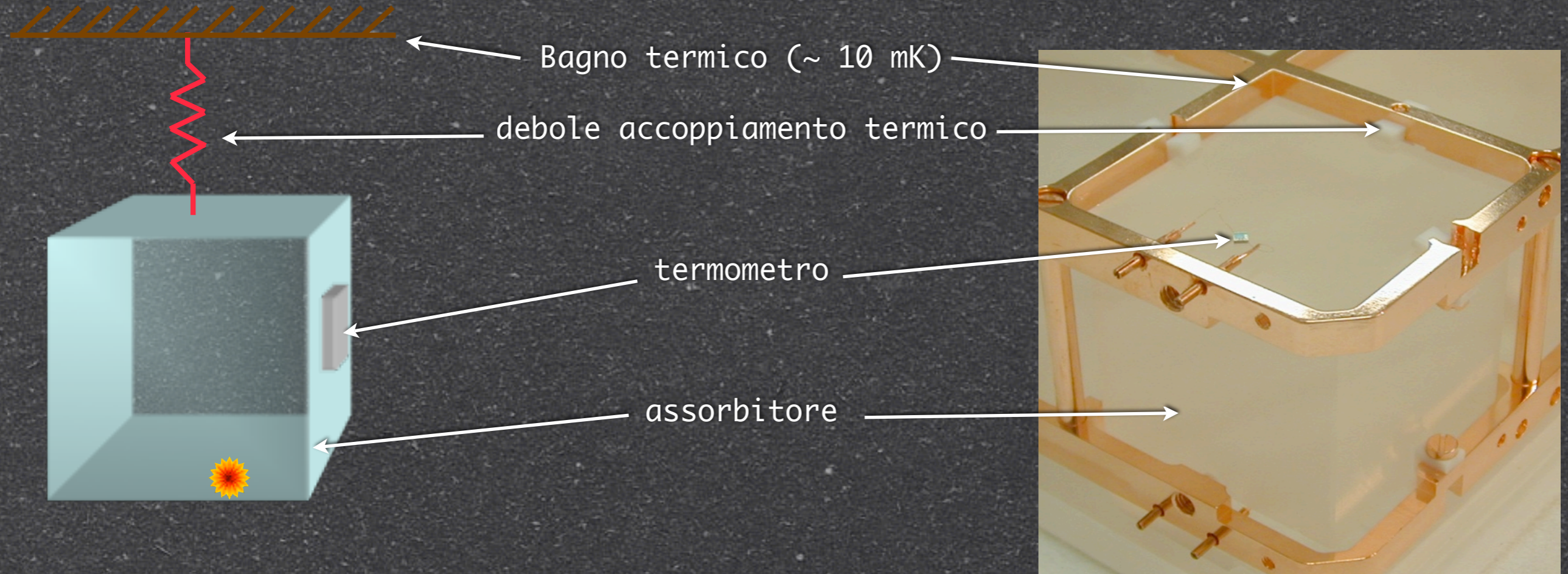
- Ampia scelta di materiali

Rivelatori Criogenici



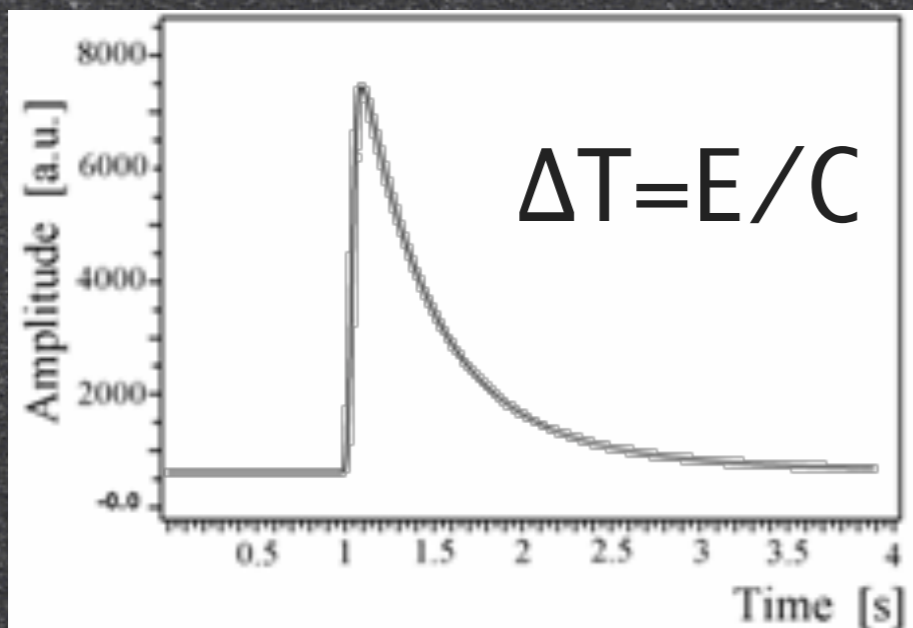
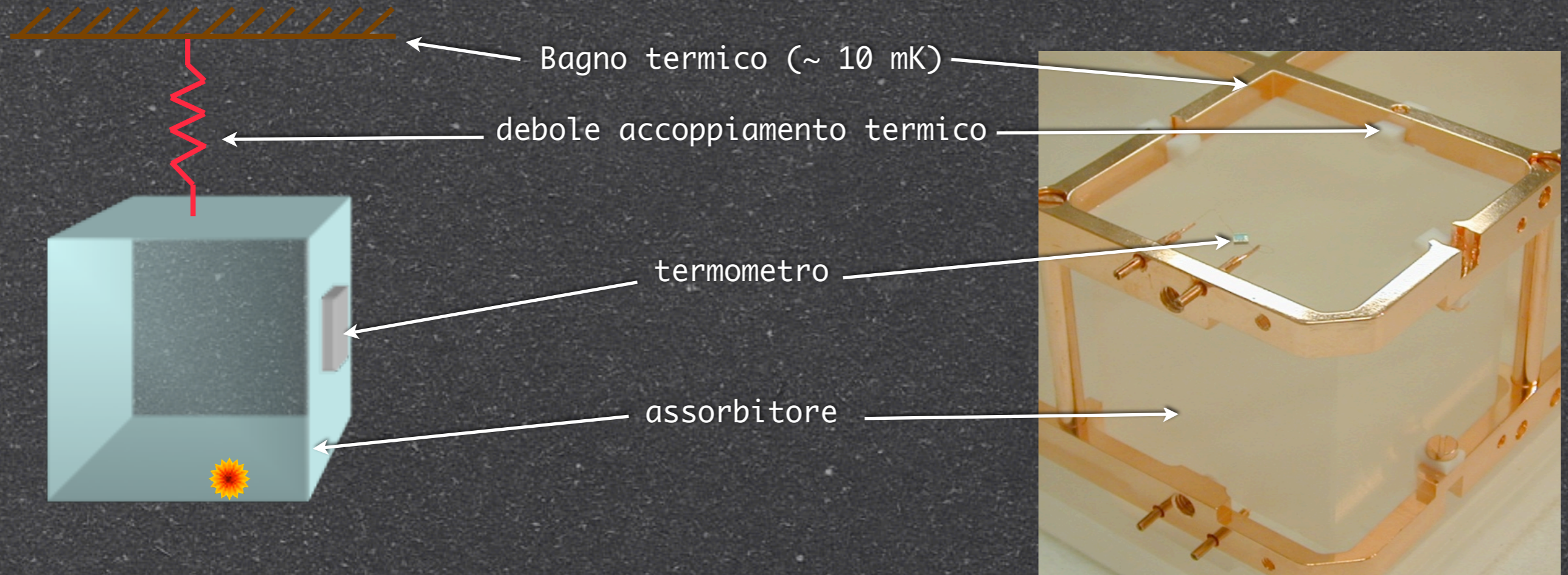
- Ampia scelta di materiali
- ottima risoluzione energetica

Rivelatori Criogenici



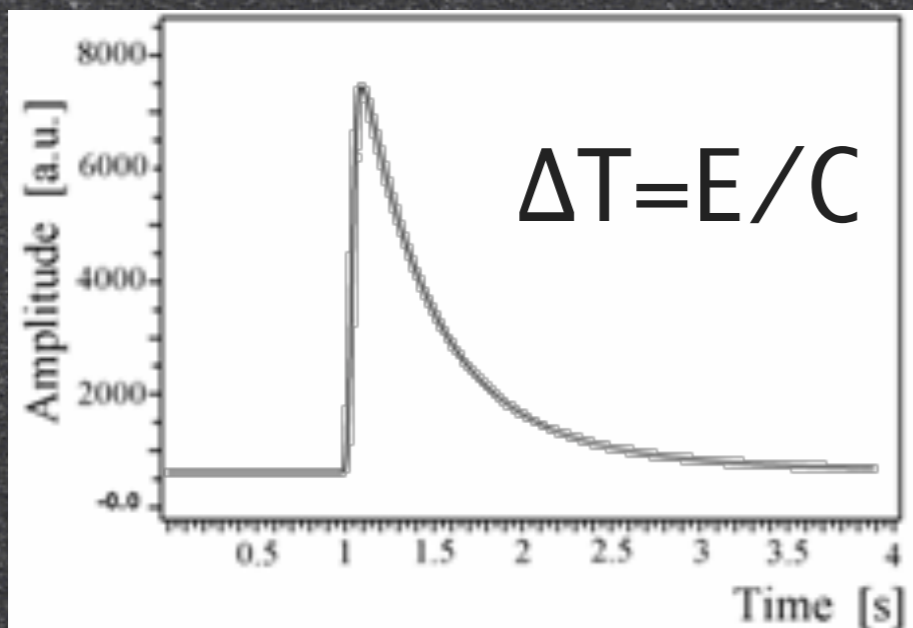
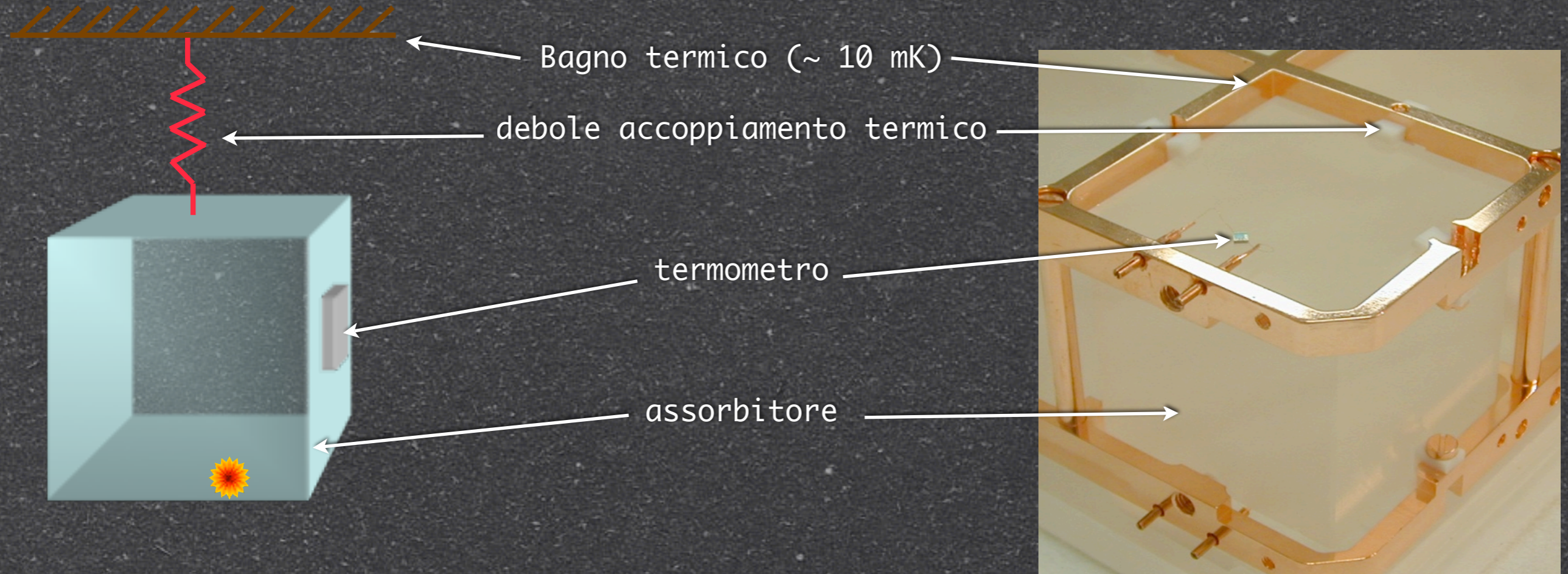
- Ampia scelta di materiali
- ottima risoluzione energetica
- veri calorimetri

Rivelatori Criogenici



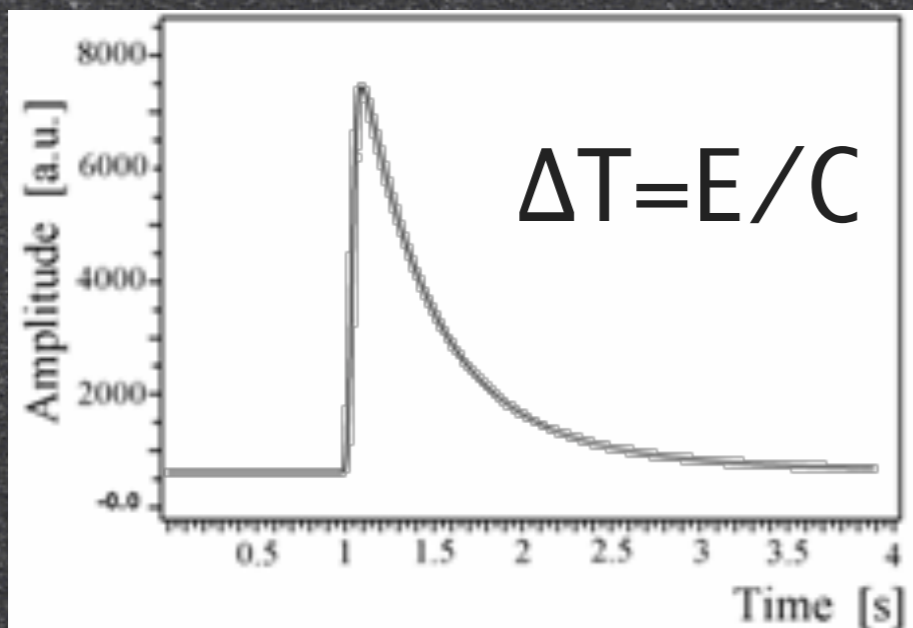
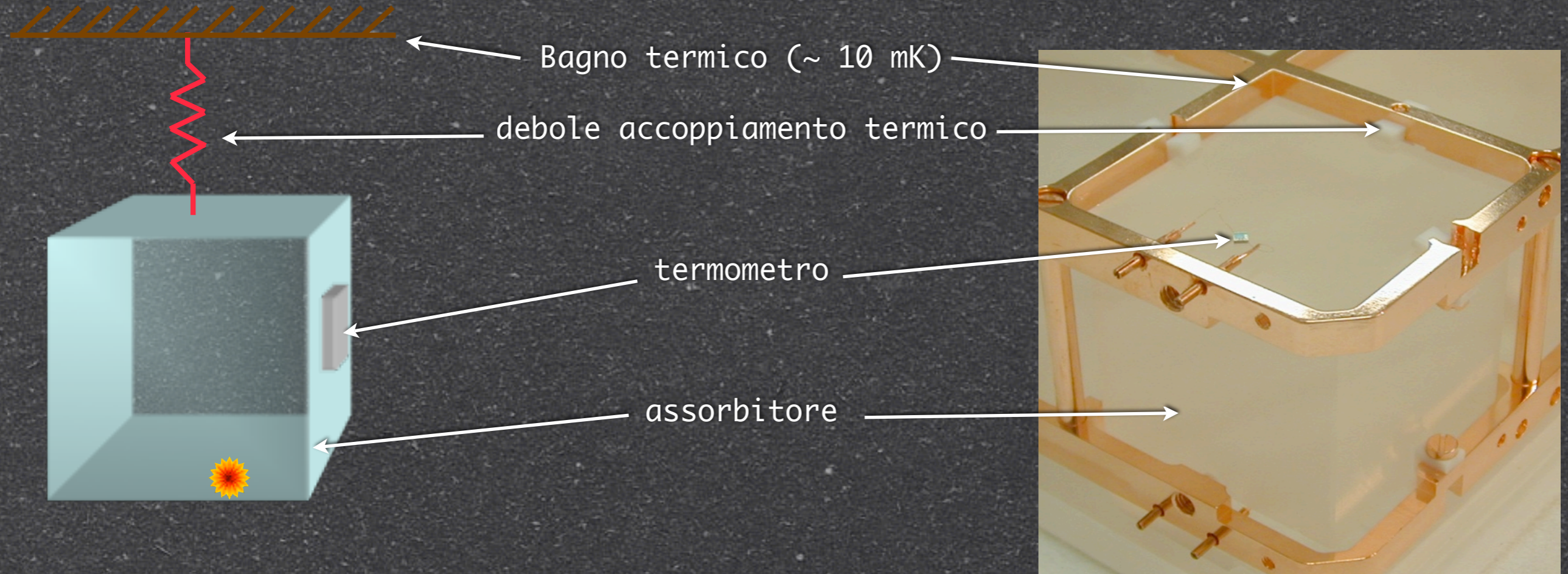
- Ampia scelta di materiali
- ottima risoluzione energetica
- veri calorimetri
- risposta indipendente dal tipo di particella incidente ($QF \sim 1$)

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)

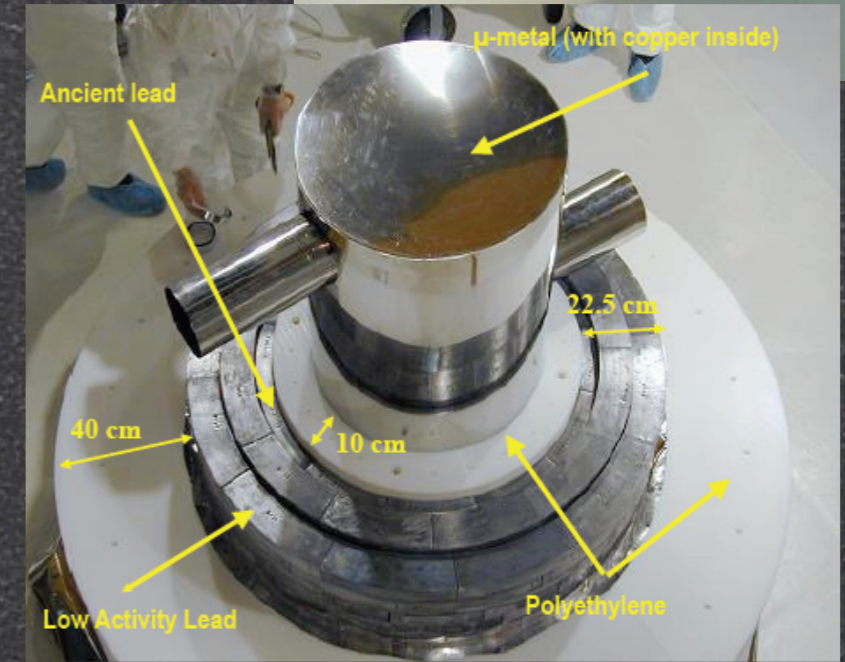
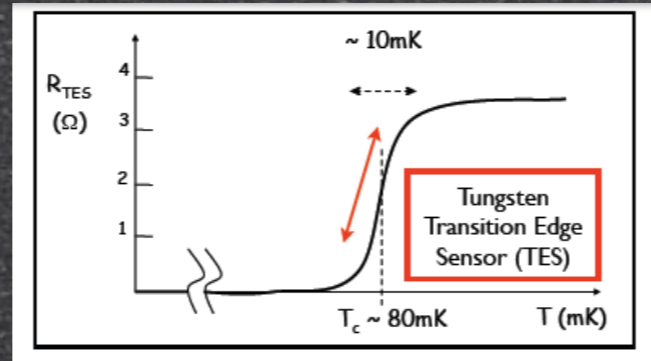
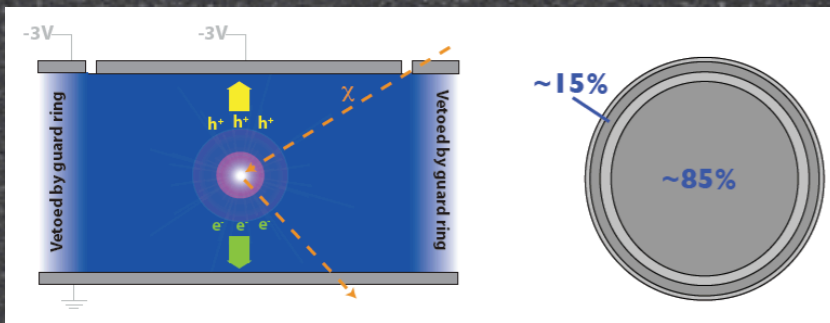
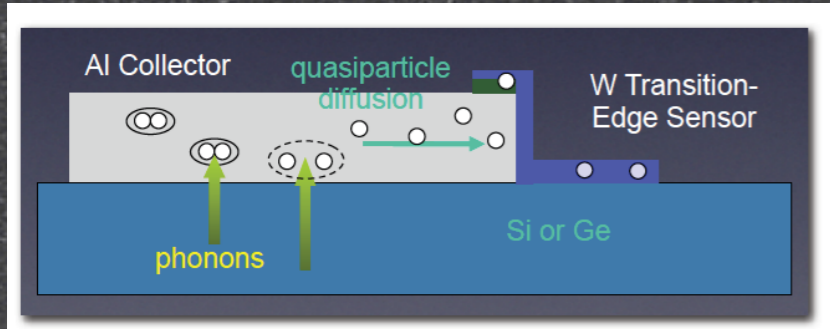
Rivelatori Criogenici



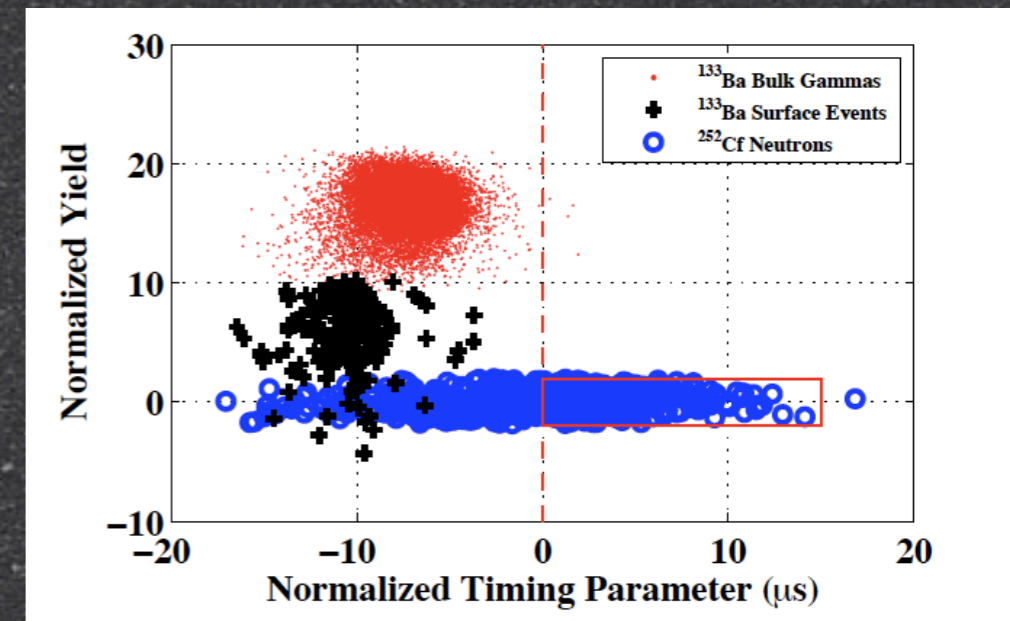
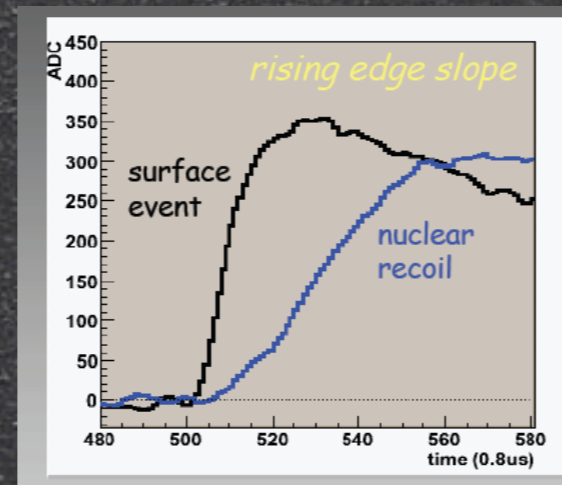
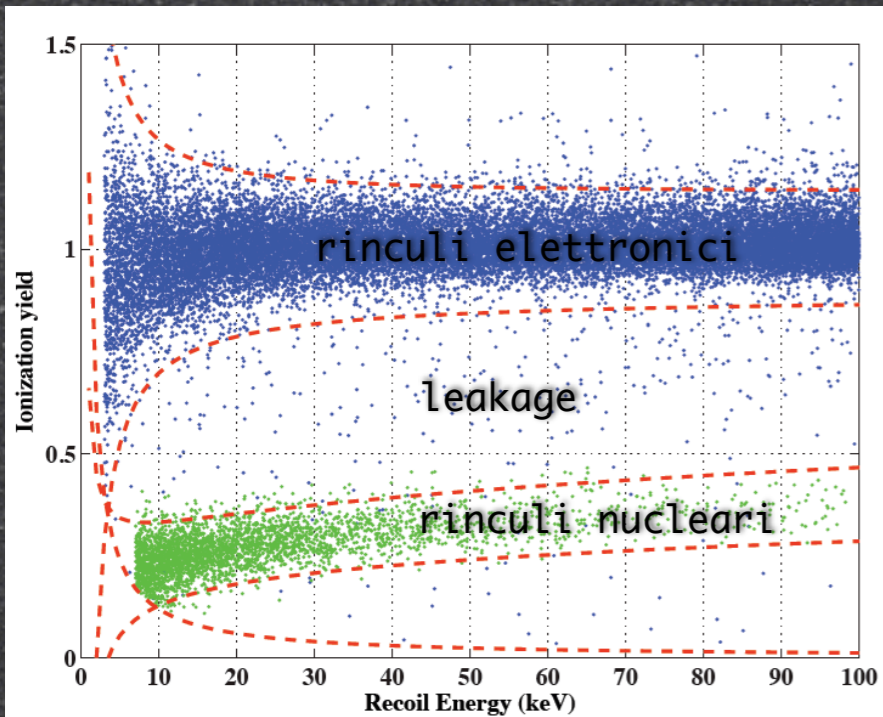
- Ampia scelta di materiali
- ottima risoluzione energetica
- veri calorimetri
- risposta indipendente dal tipo di particella incidente ($QF \sim 1$)
- lenti (ma qui non conta)
- funzionamento complesso

CDMS II

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

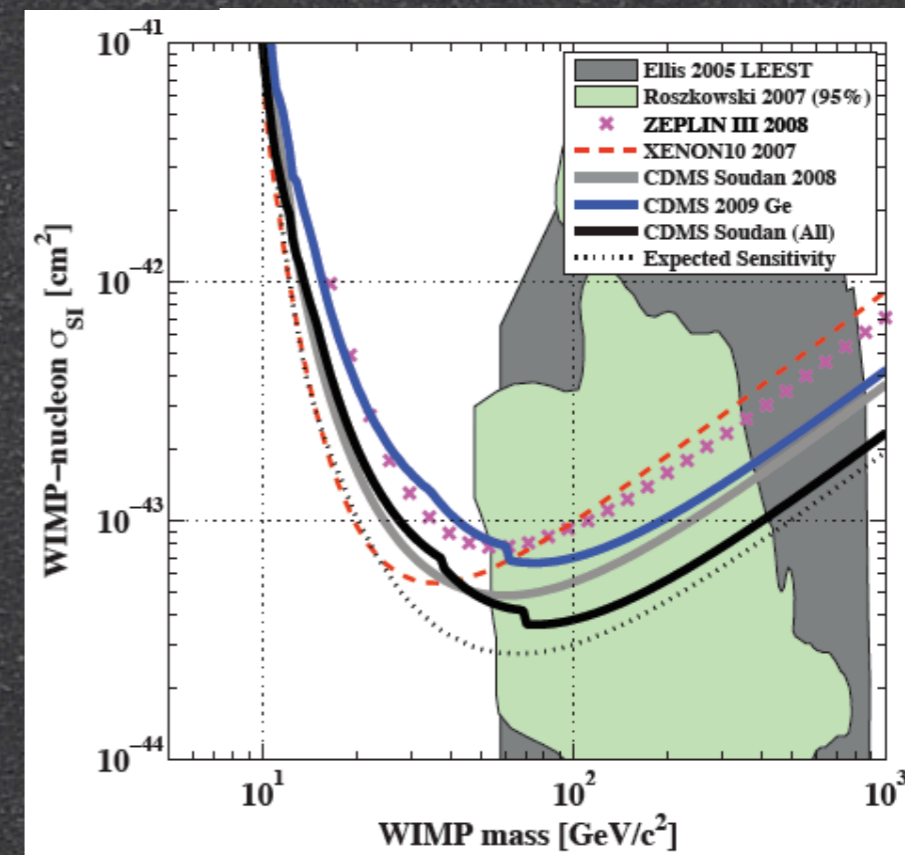
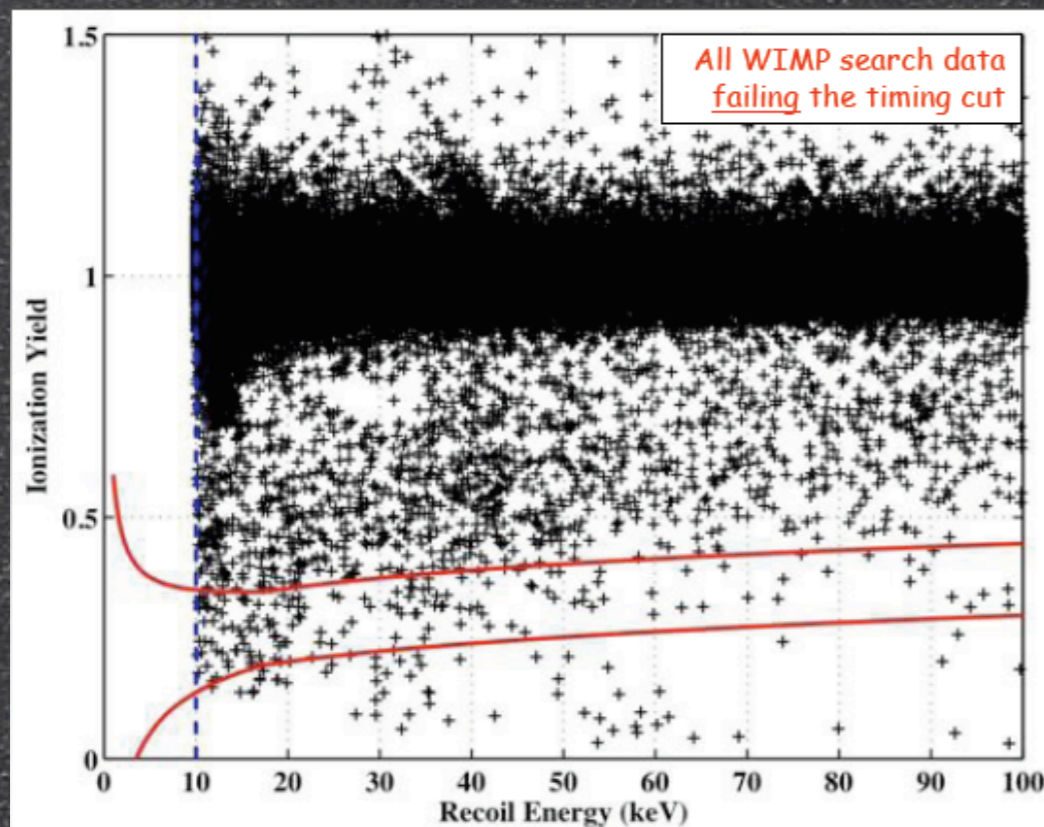
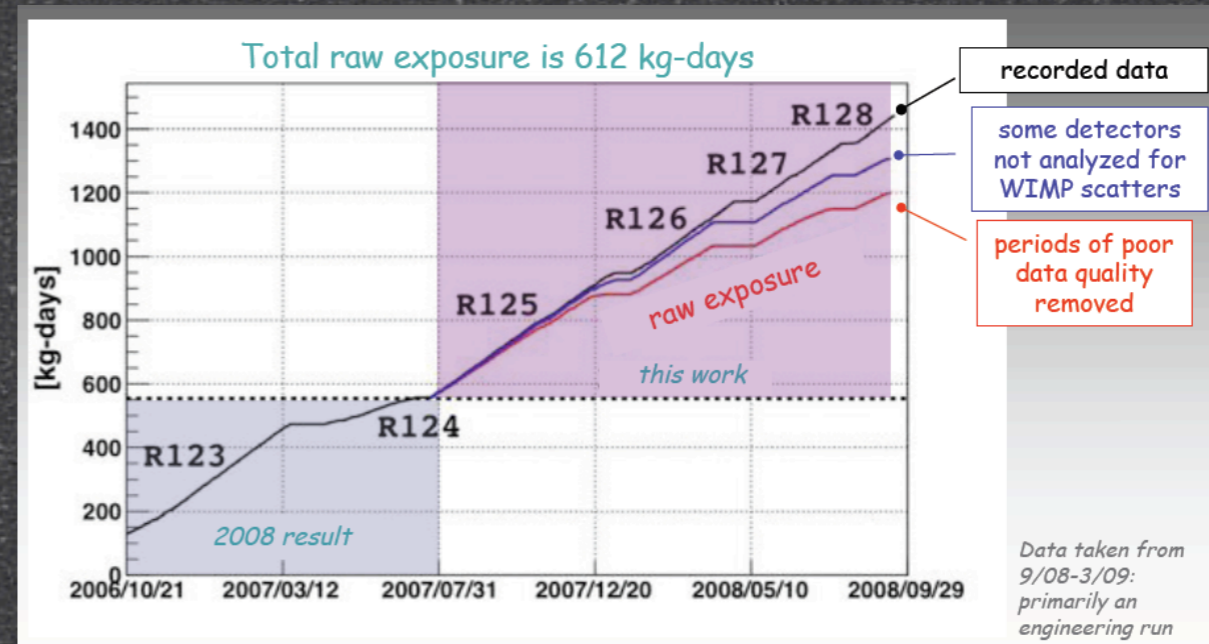


- interazioni nello strato morto superficiale danno luogo a leakage



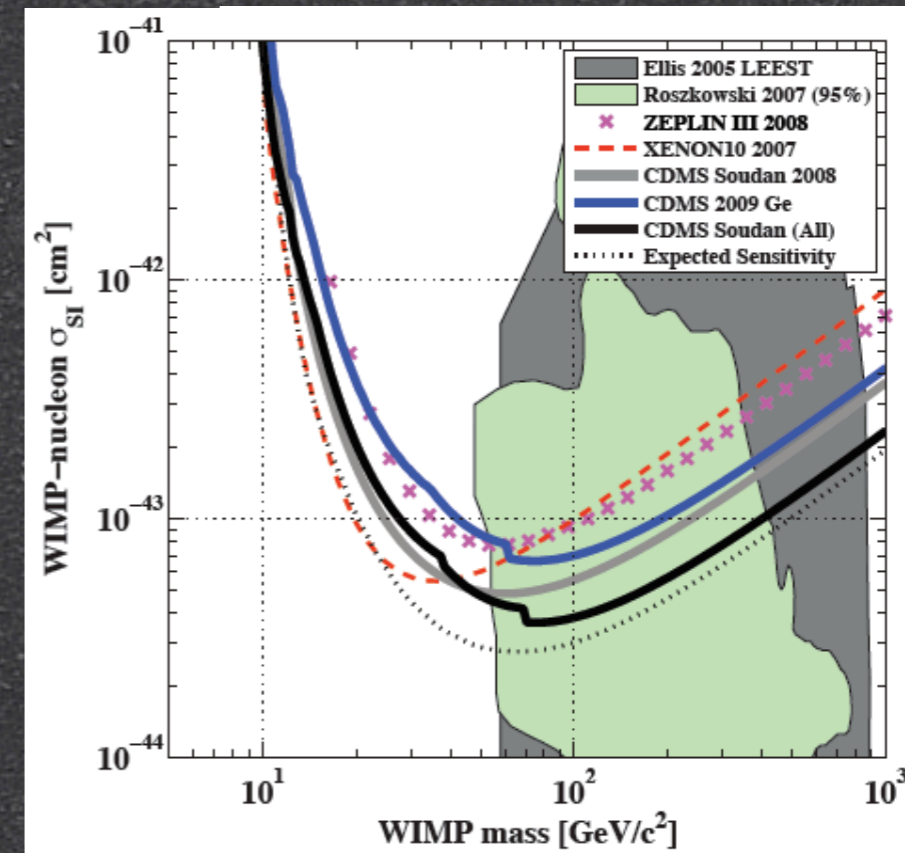
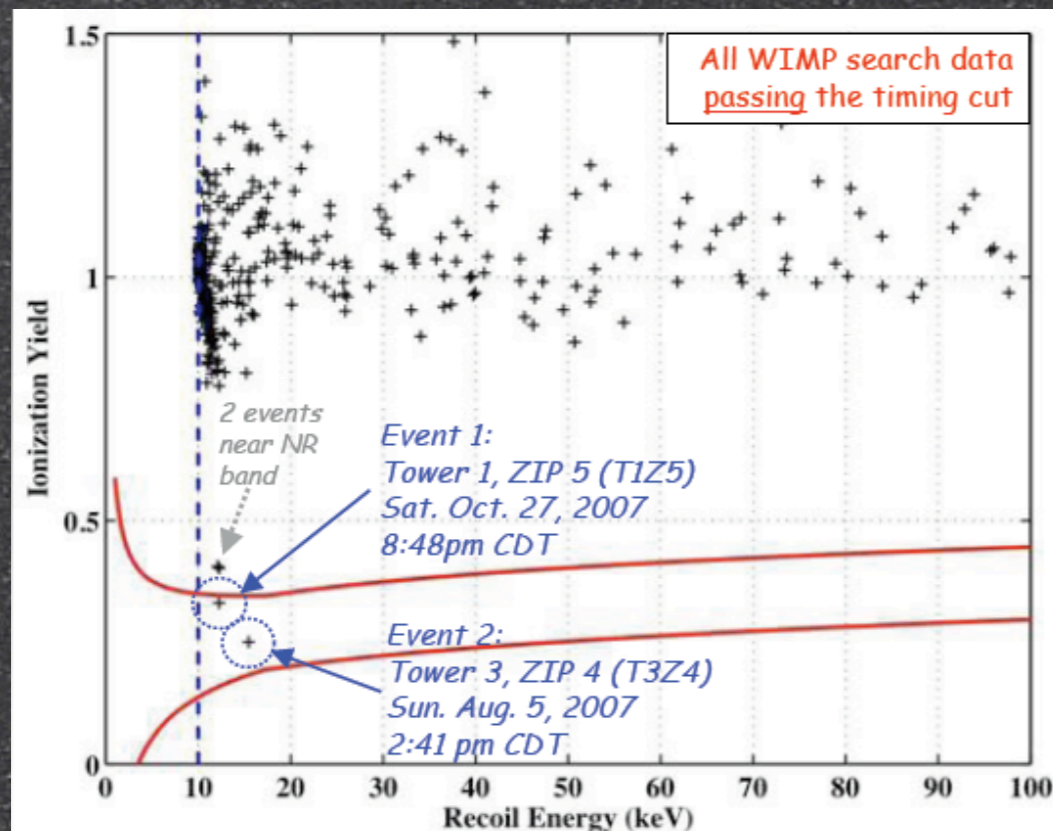
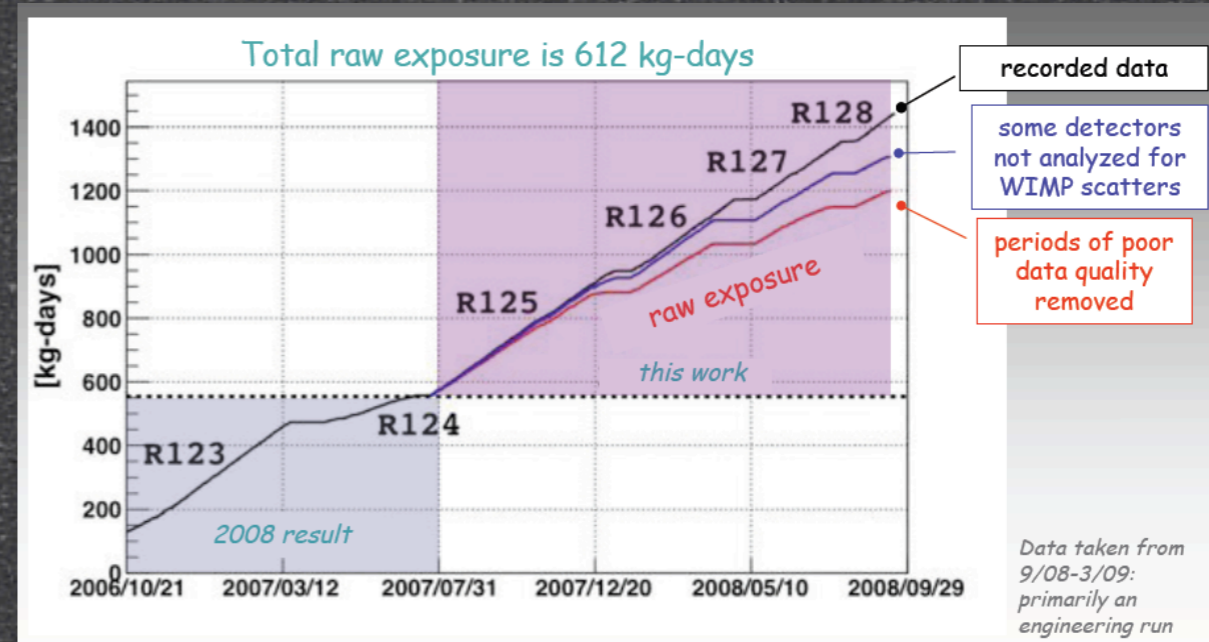
Risultati di CDMS II

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

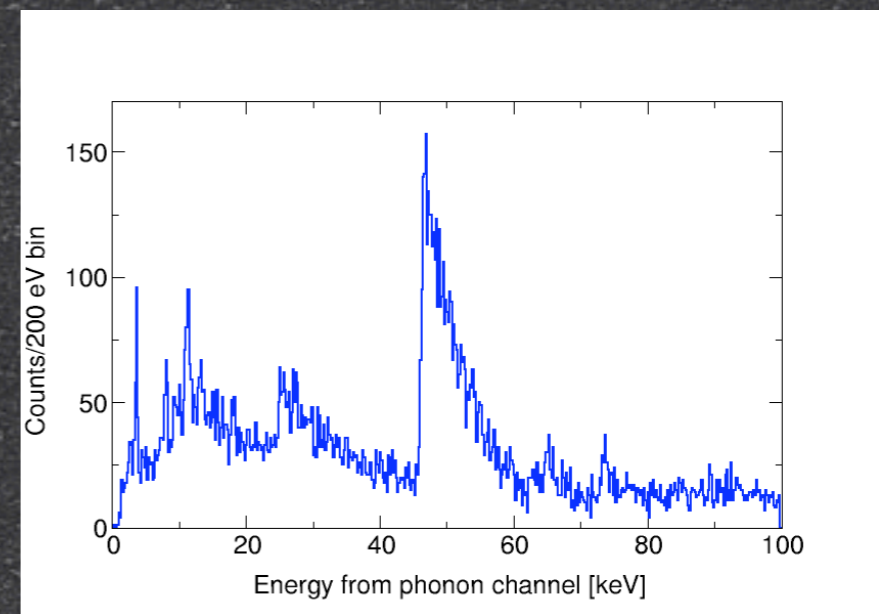
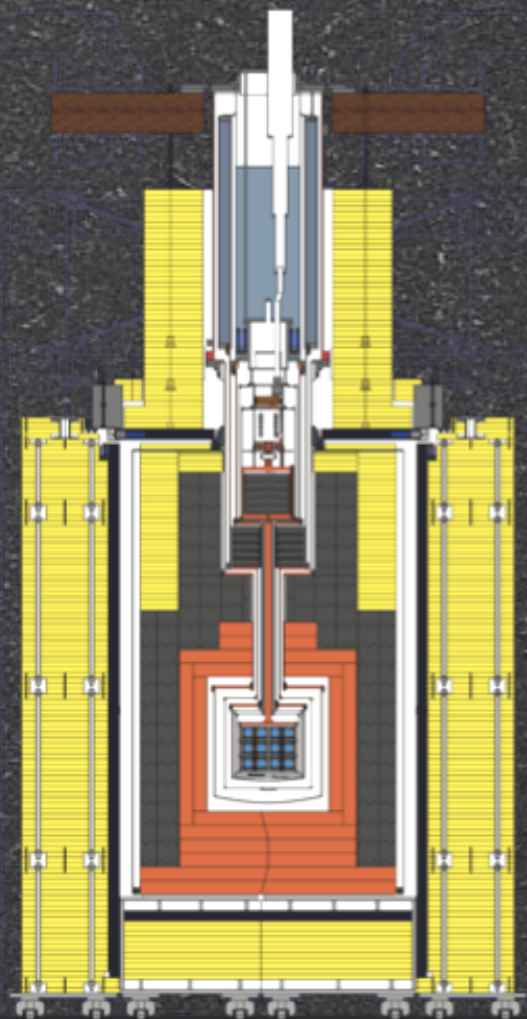
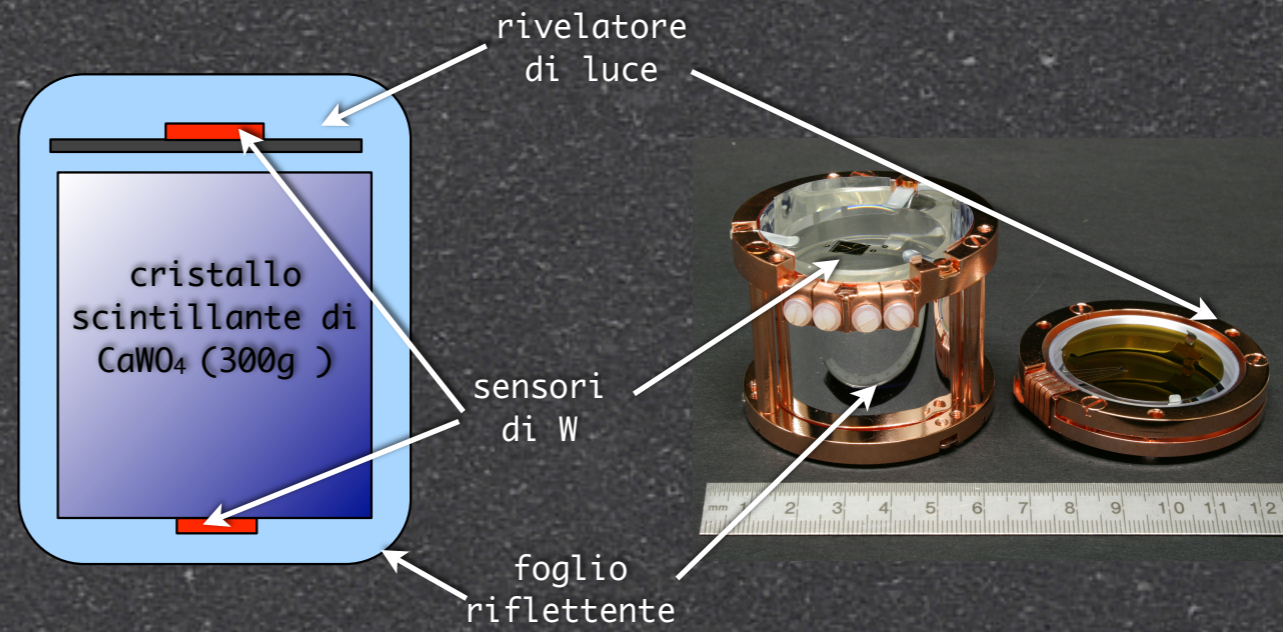
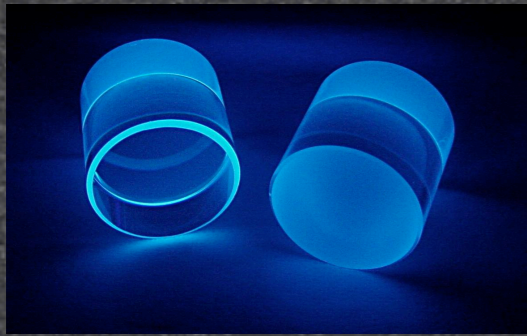


Risultati di CDMS II

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



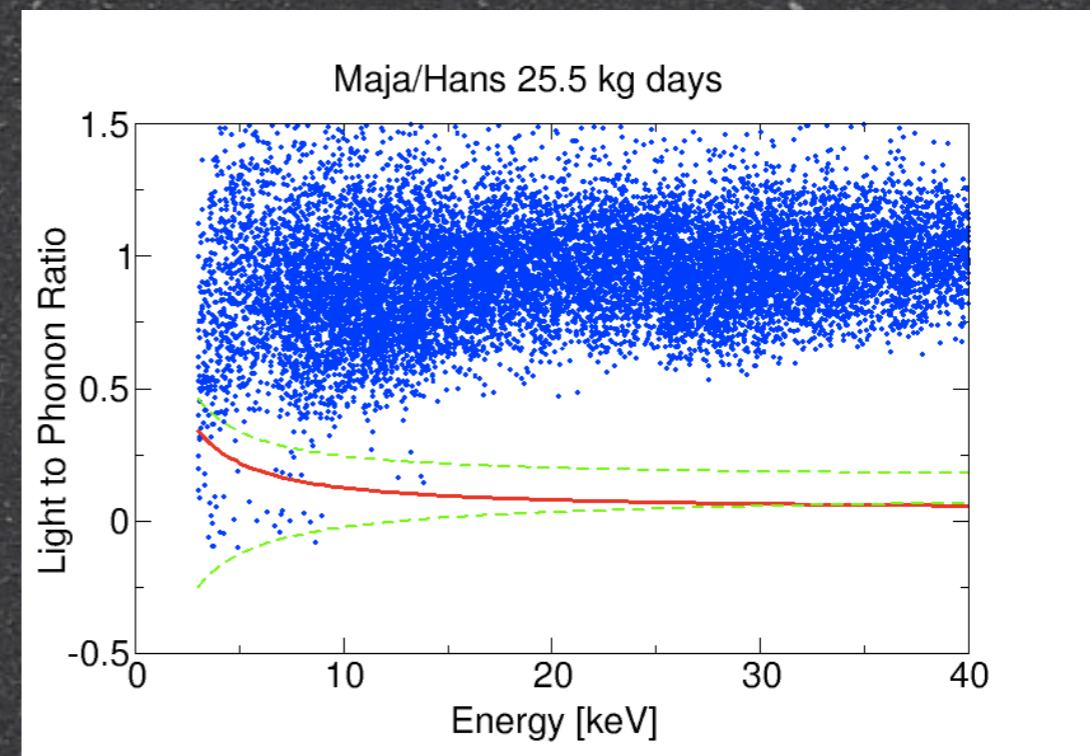
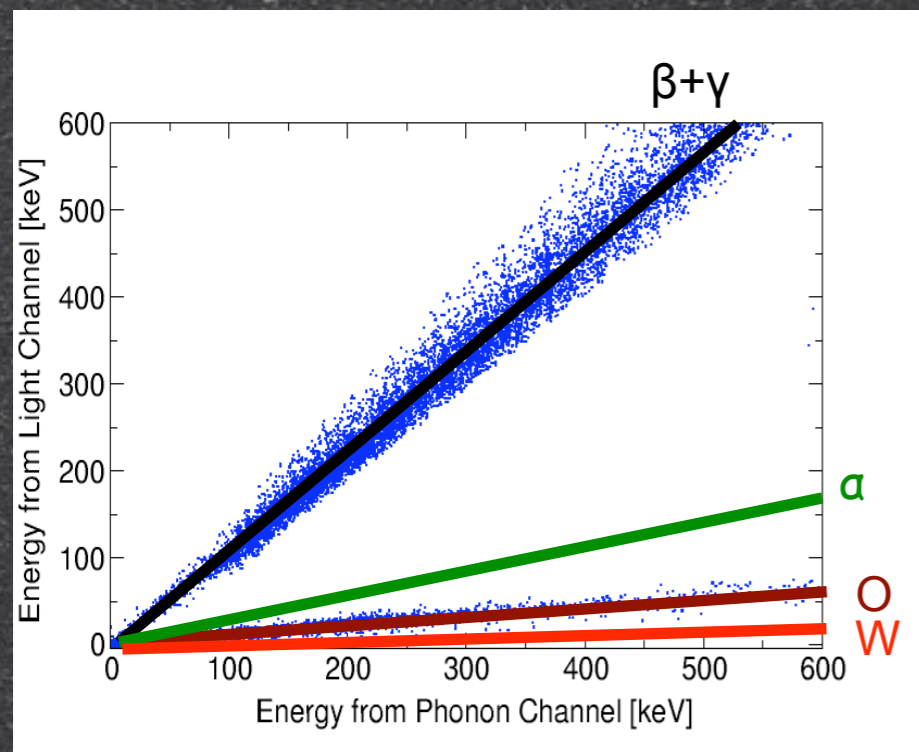
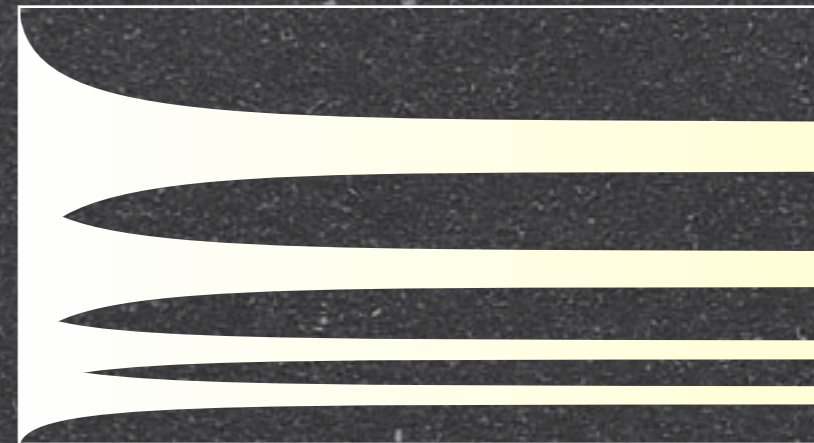
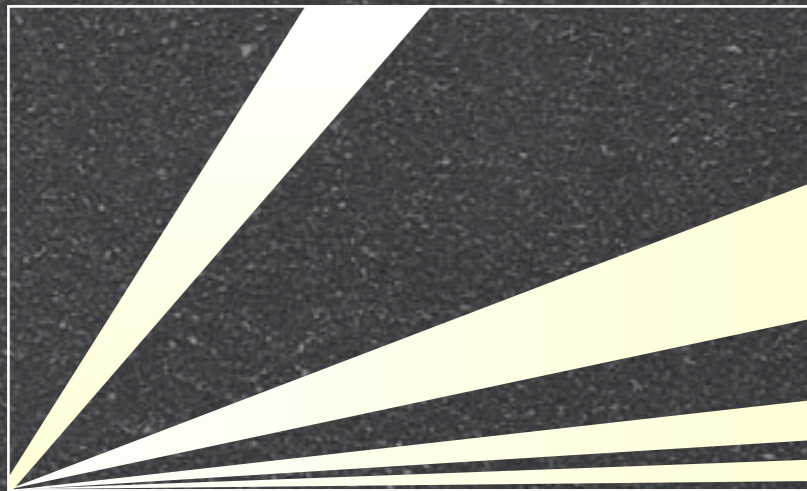
CRESST II



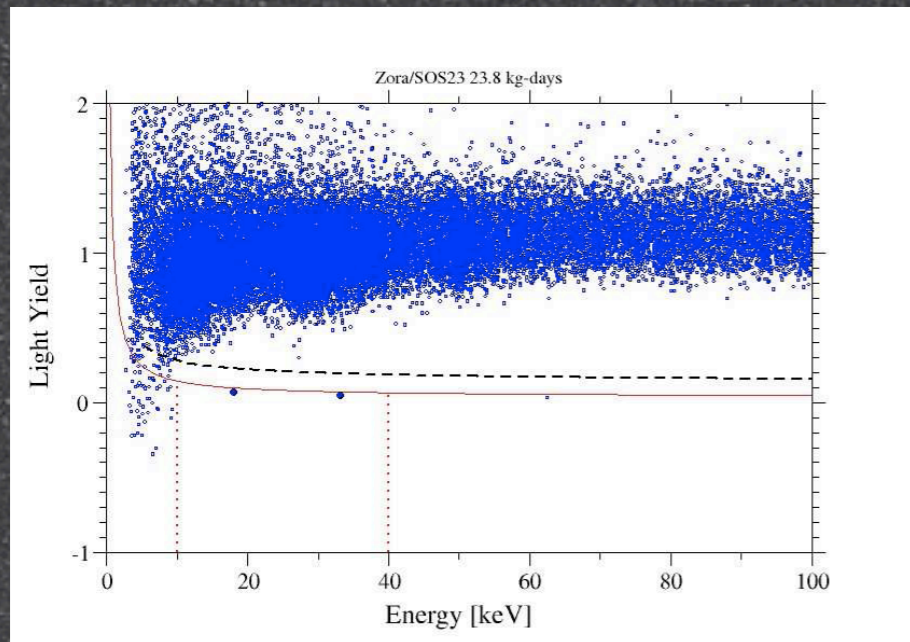
● eccellente risoluzione energetica (300 eV @10 keV)

CRESST II

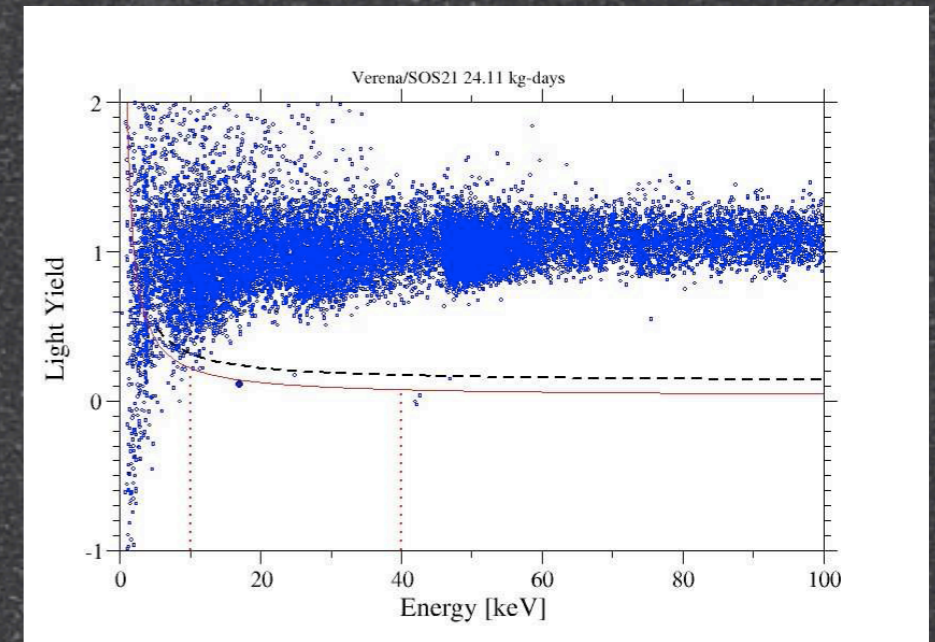
- in presa dati da Luglio 2009 con 10 rivelatori (9 di CaWO_4 e 1 di ZnWO_4)
- multitarget (O, Ca, W)
- in grado di discriminare i neutroni (rinculi su Ossigeno) dalle WIMPs (rinculi su W)
- no "leakage"



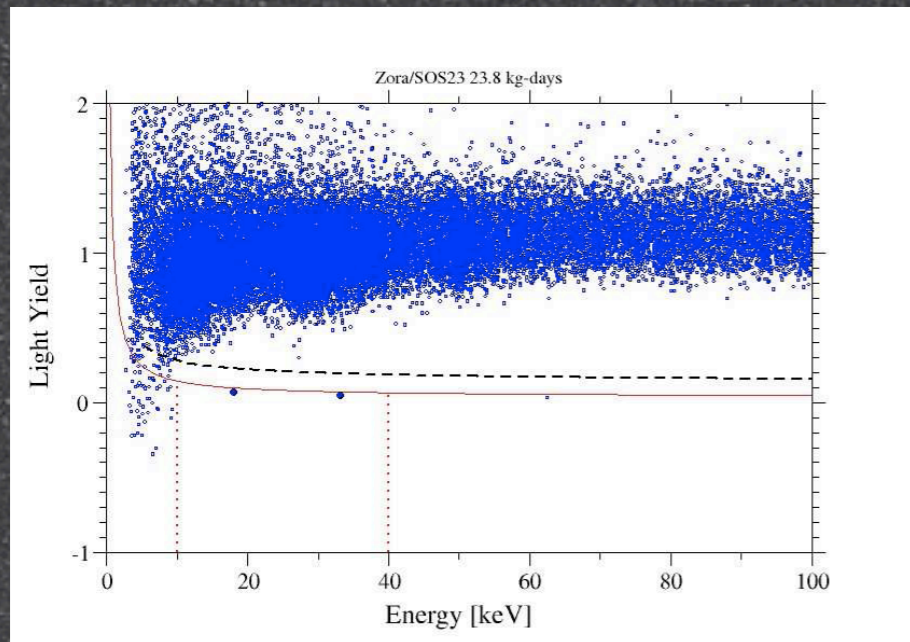
Risultati di CRESST II



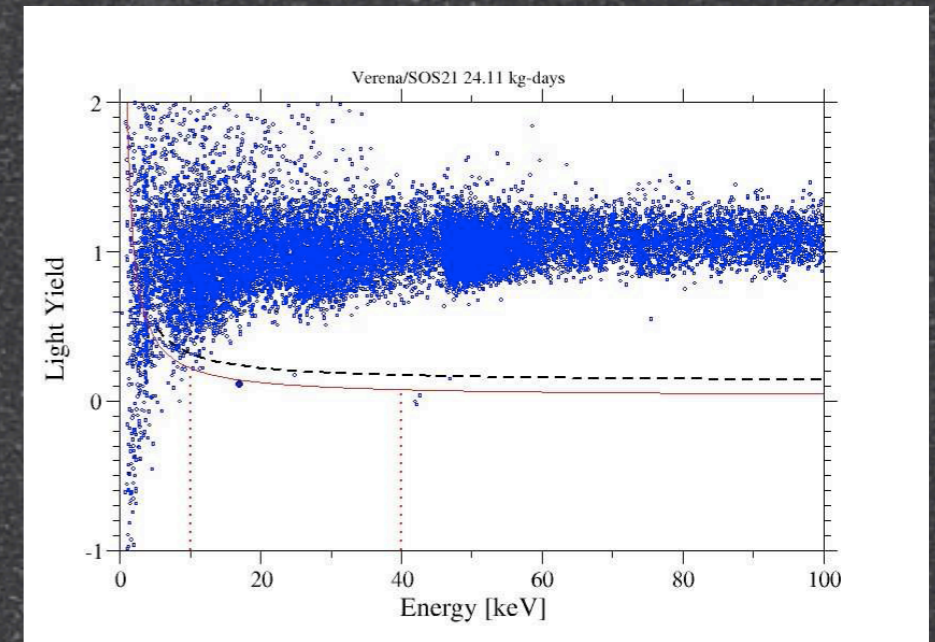
Commissioning Run



Risultati di CRESST II

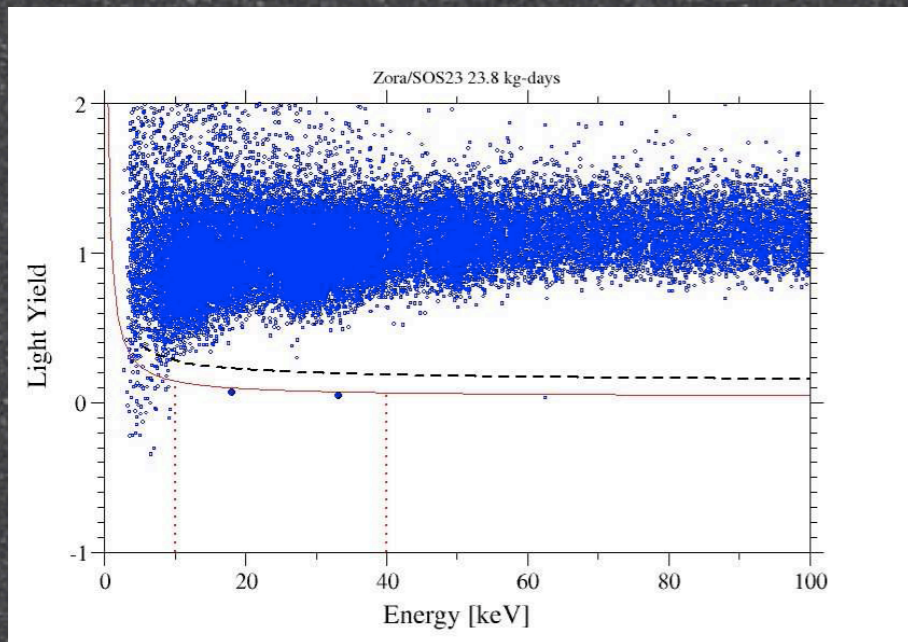


Commissioning Run

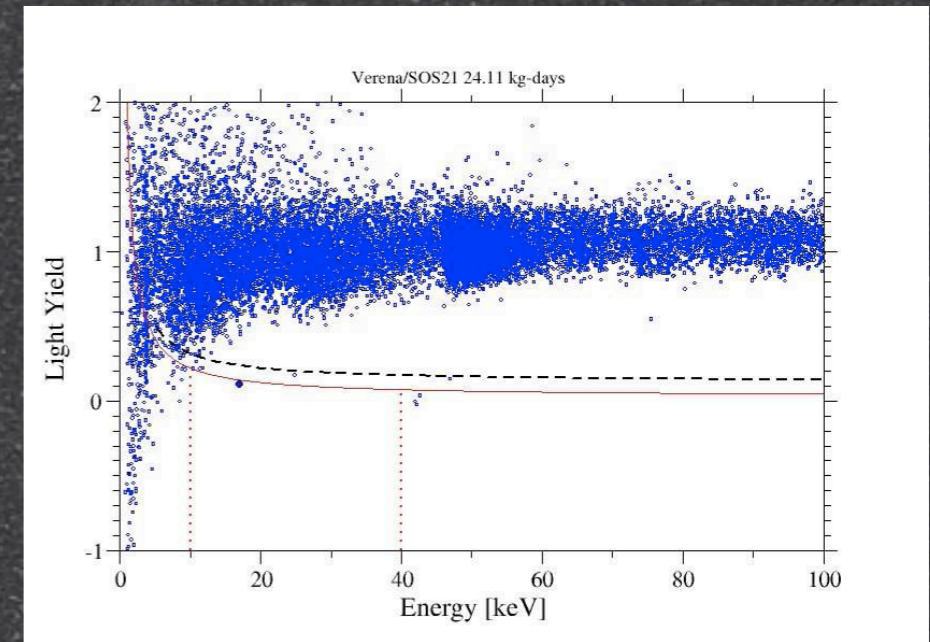


● accumulati circa 330 kg/day

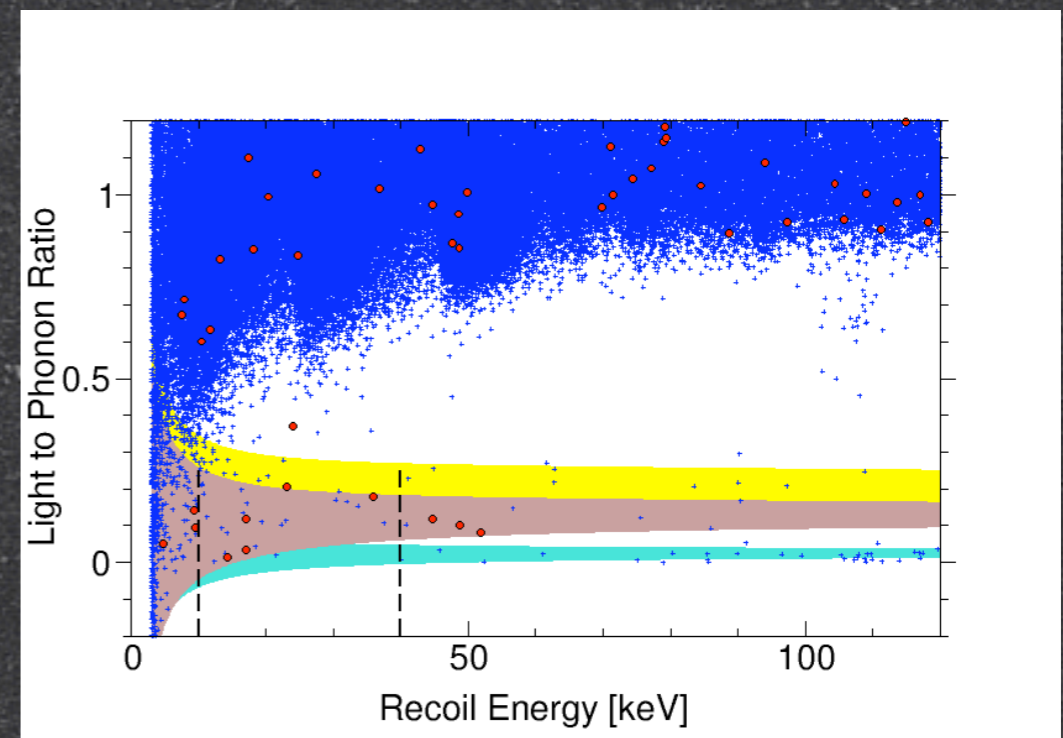
Risultati di CRESST II



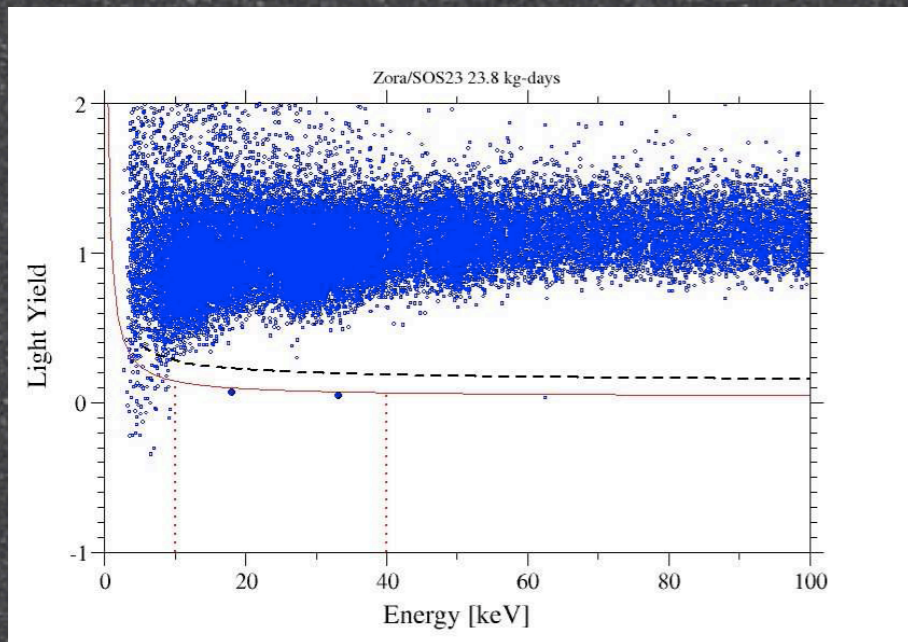
Commissioning Run



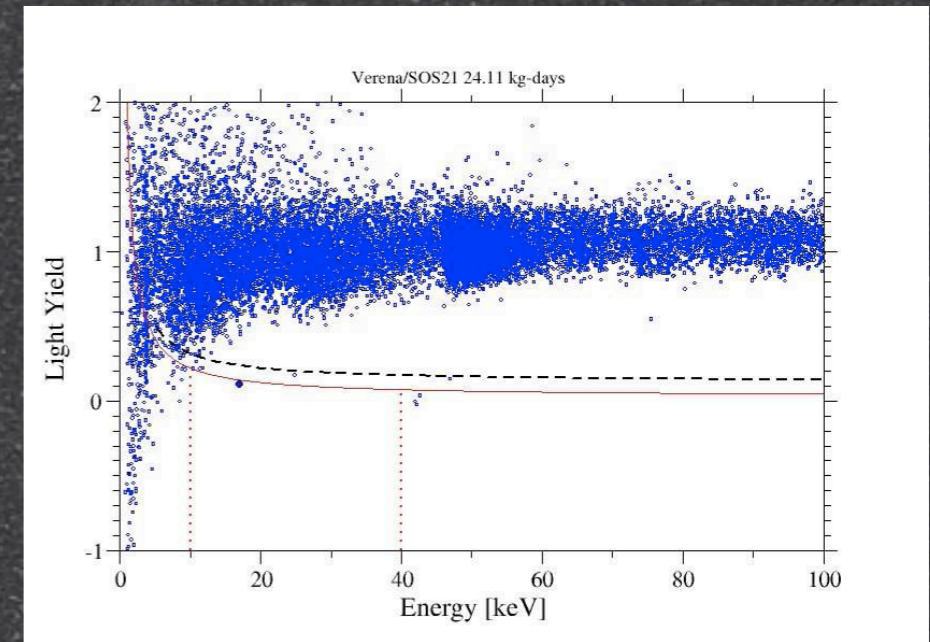
● accumulati circa 330 kg/day



Risultati di CRESST II

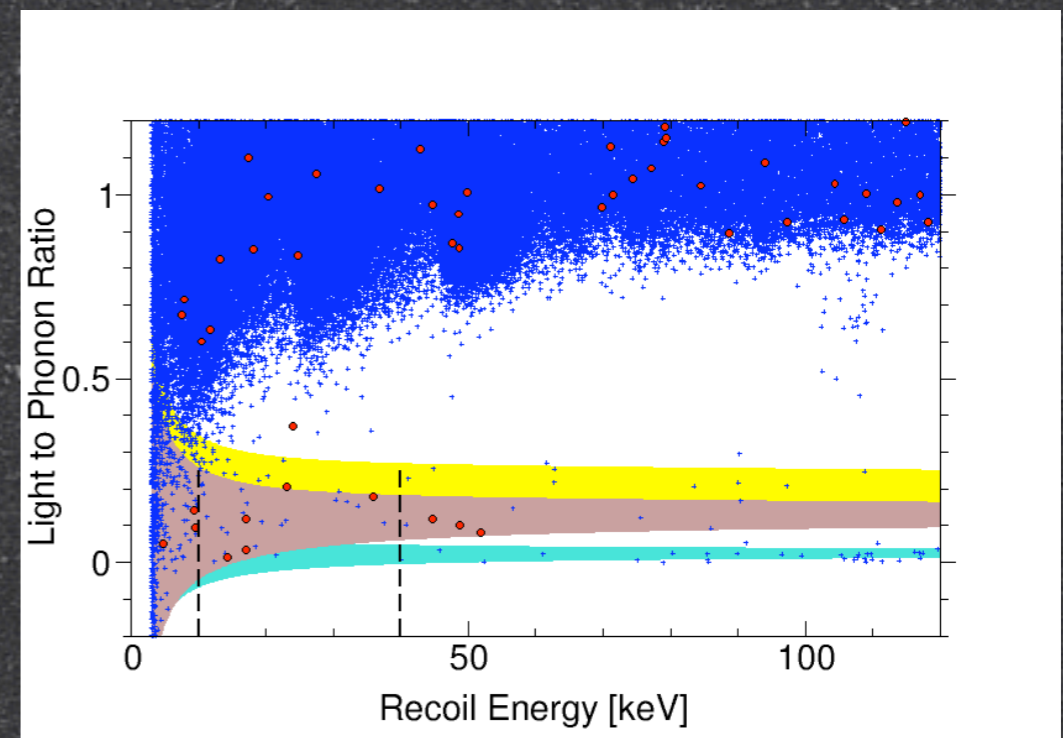


Commissioning Run

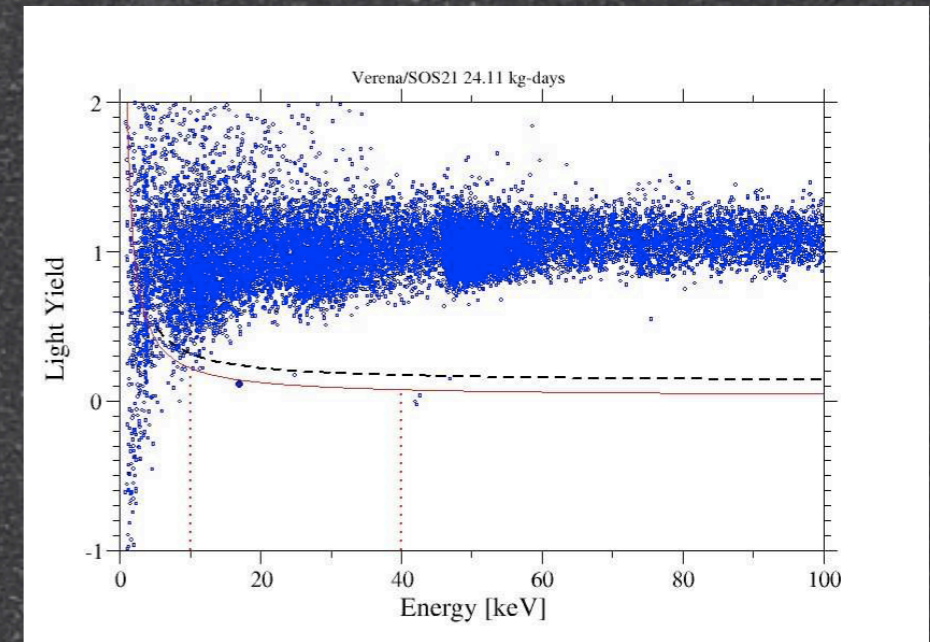
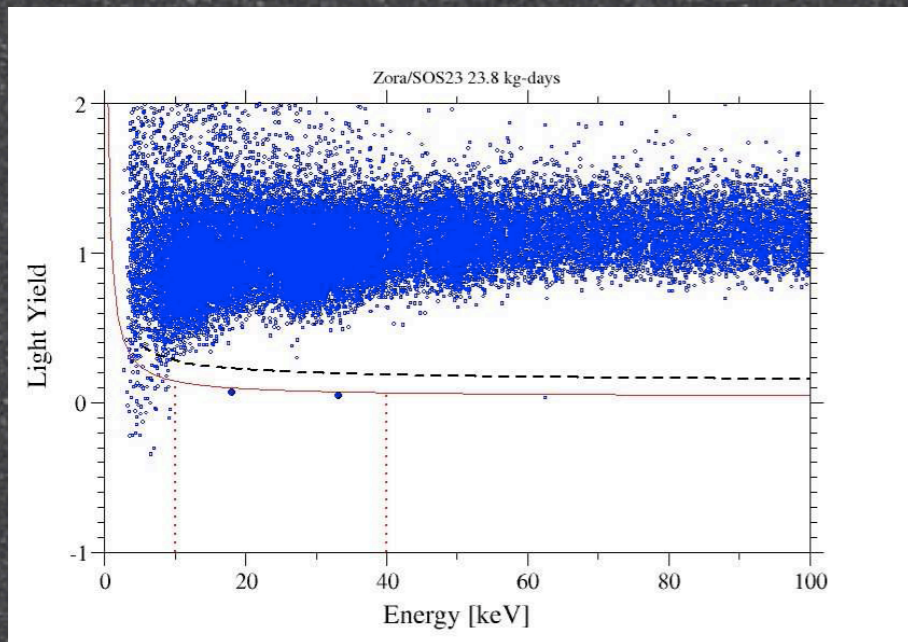


● IDM esclusa

● accumulati circa 330 kg/day



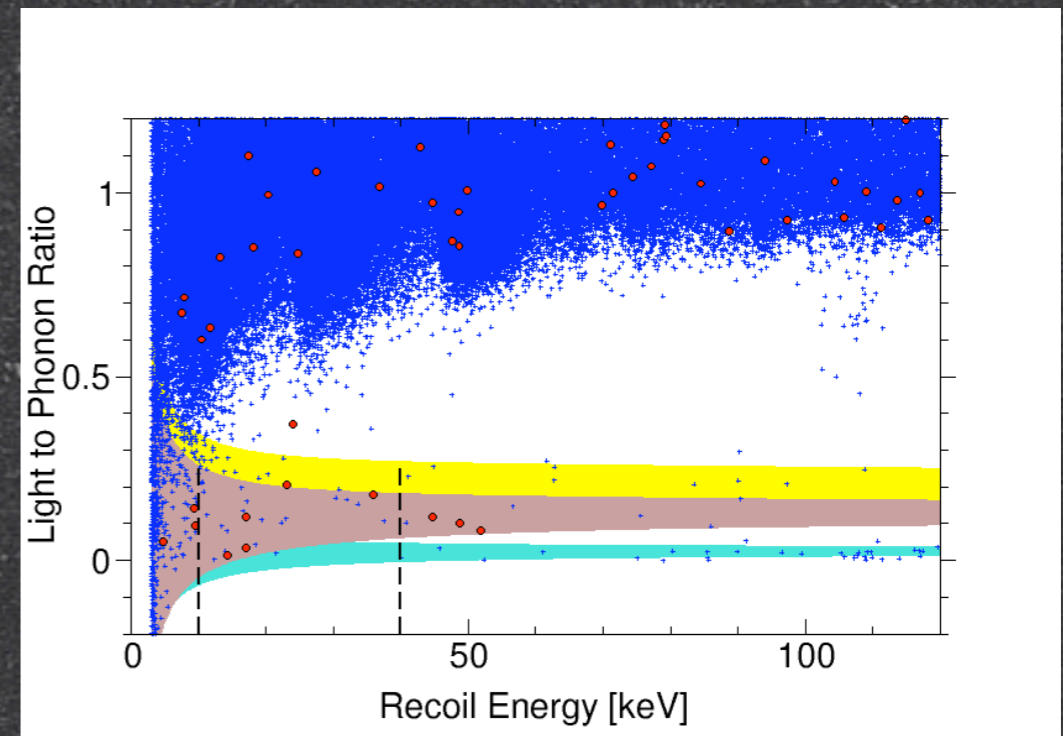
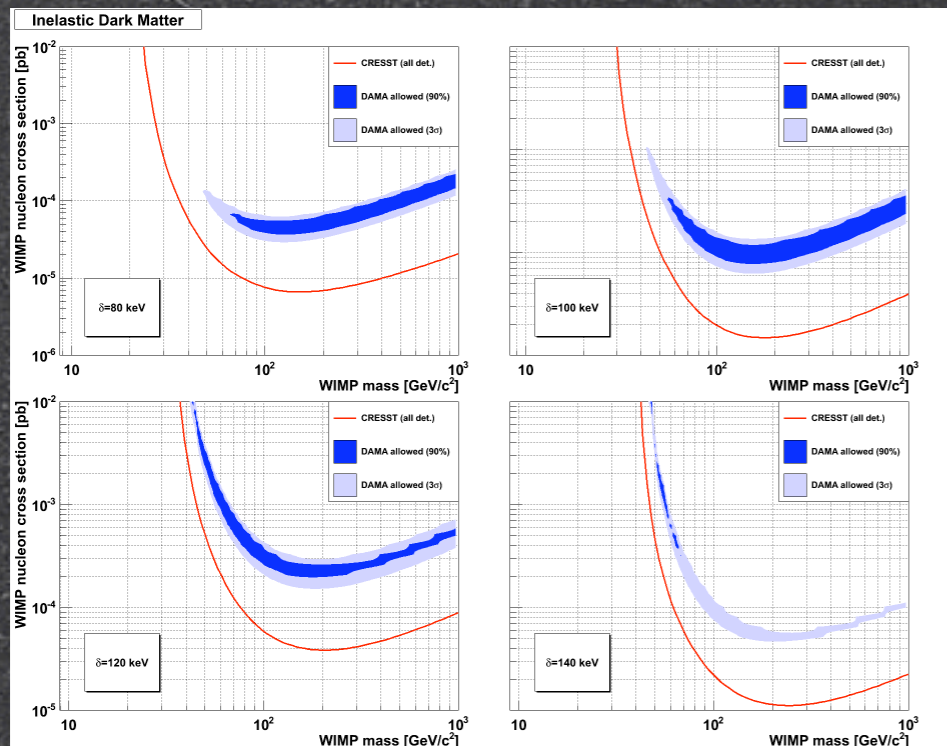
Risultati di CRESST II



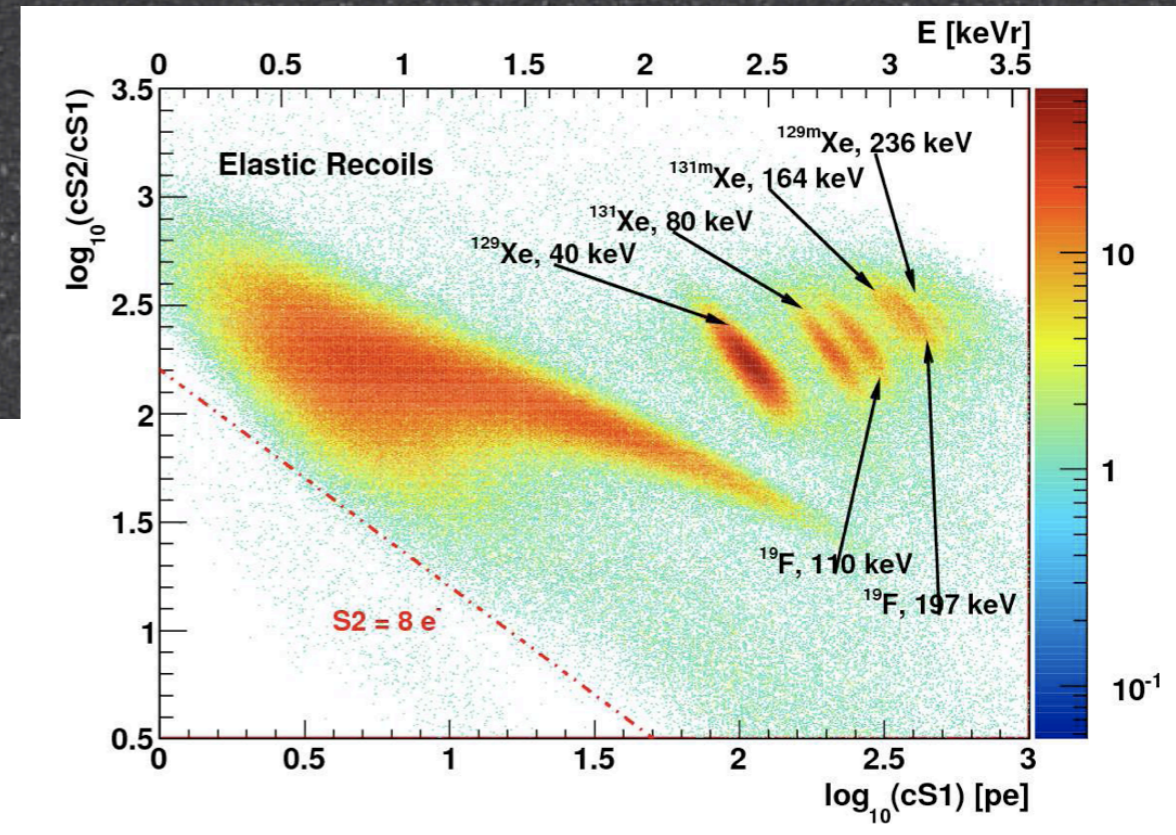
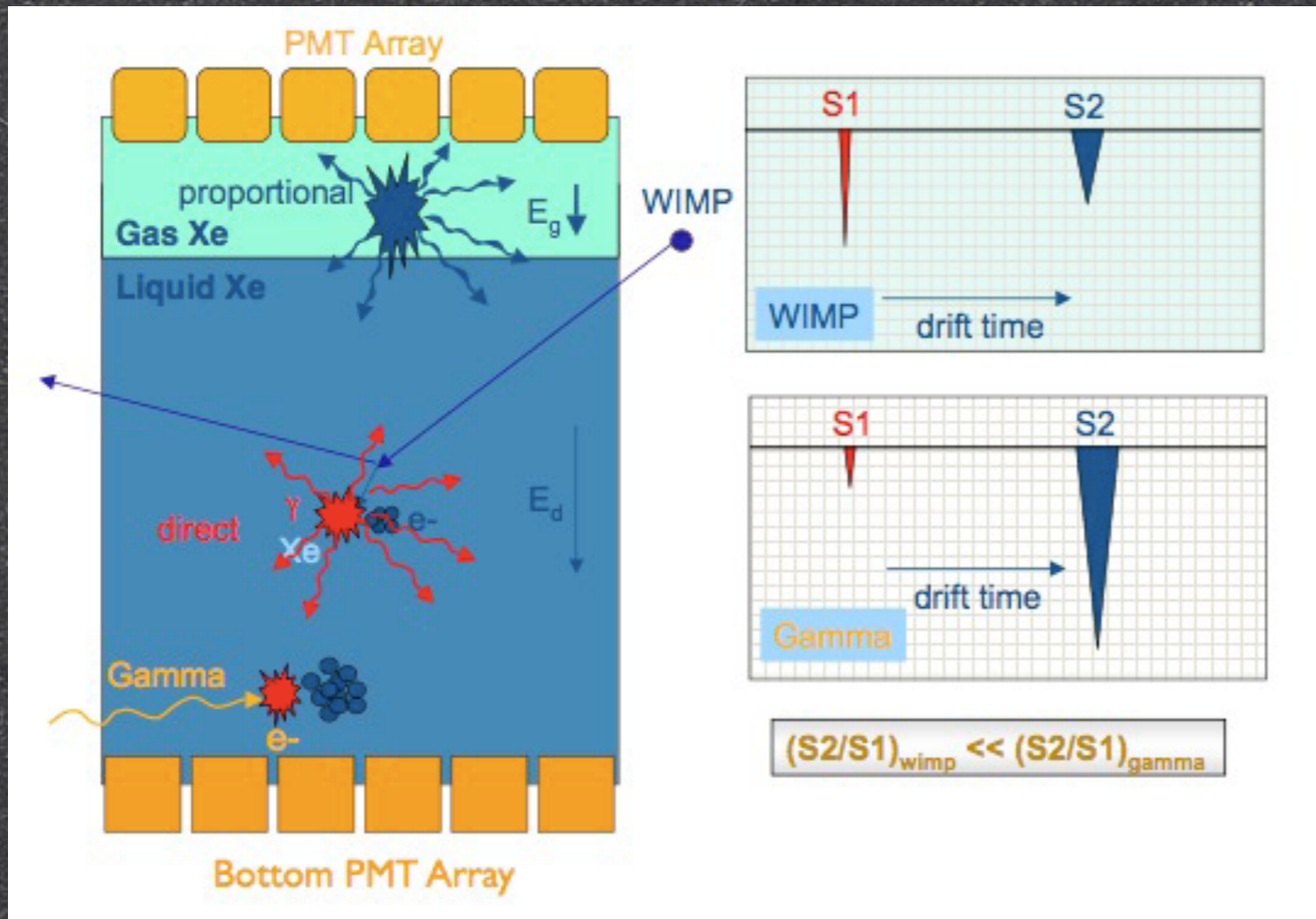
Commissioning Run

● IDM esclusa

● accumulati circa 330 kg/day

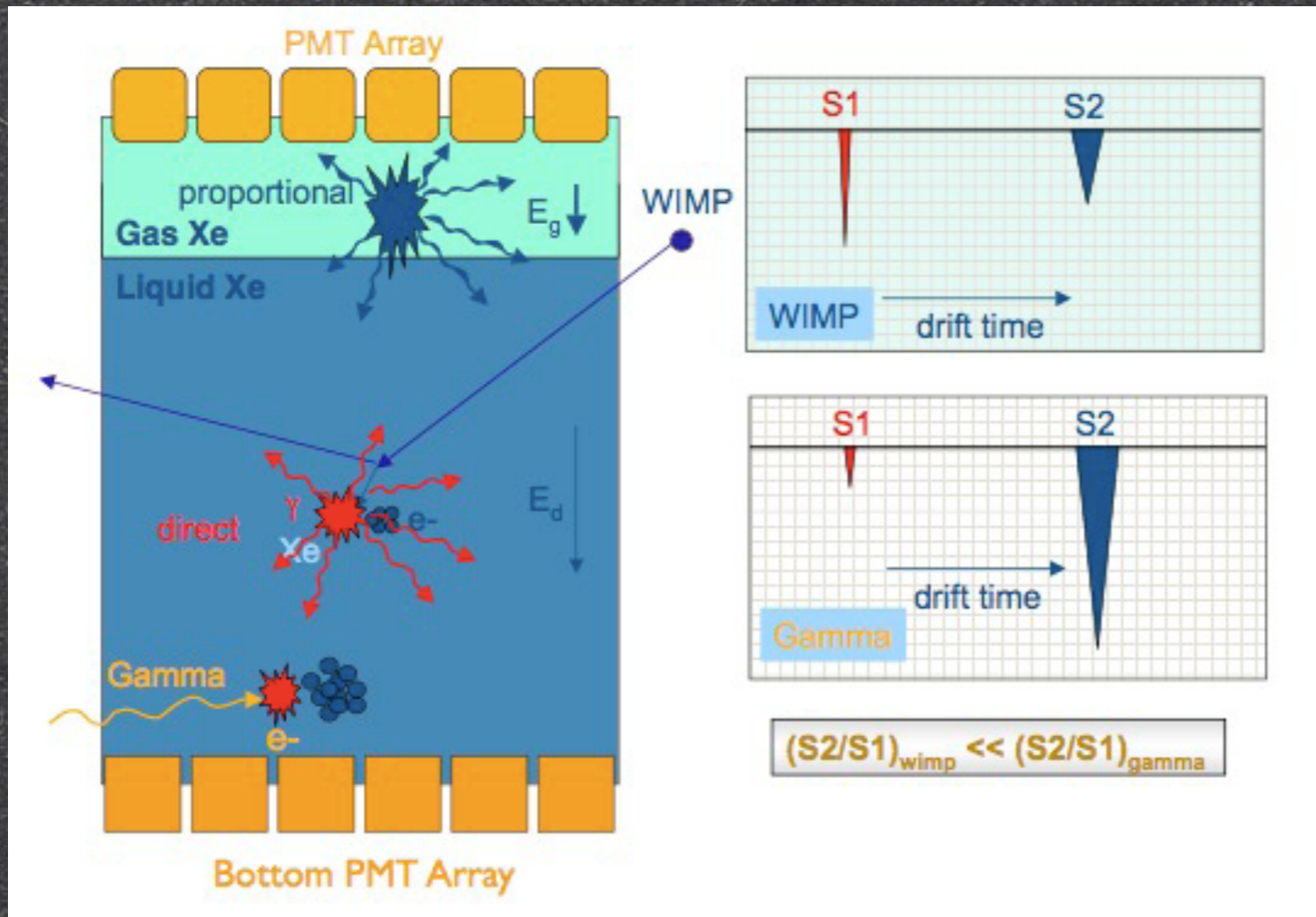
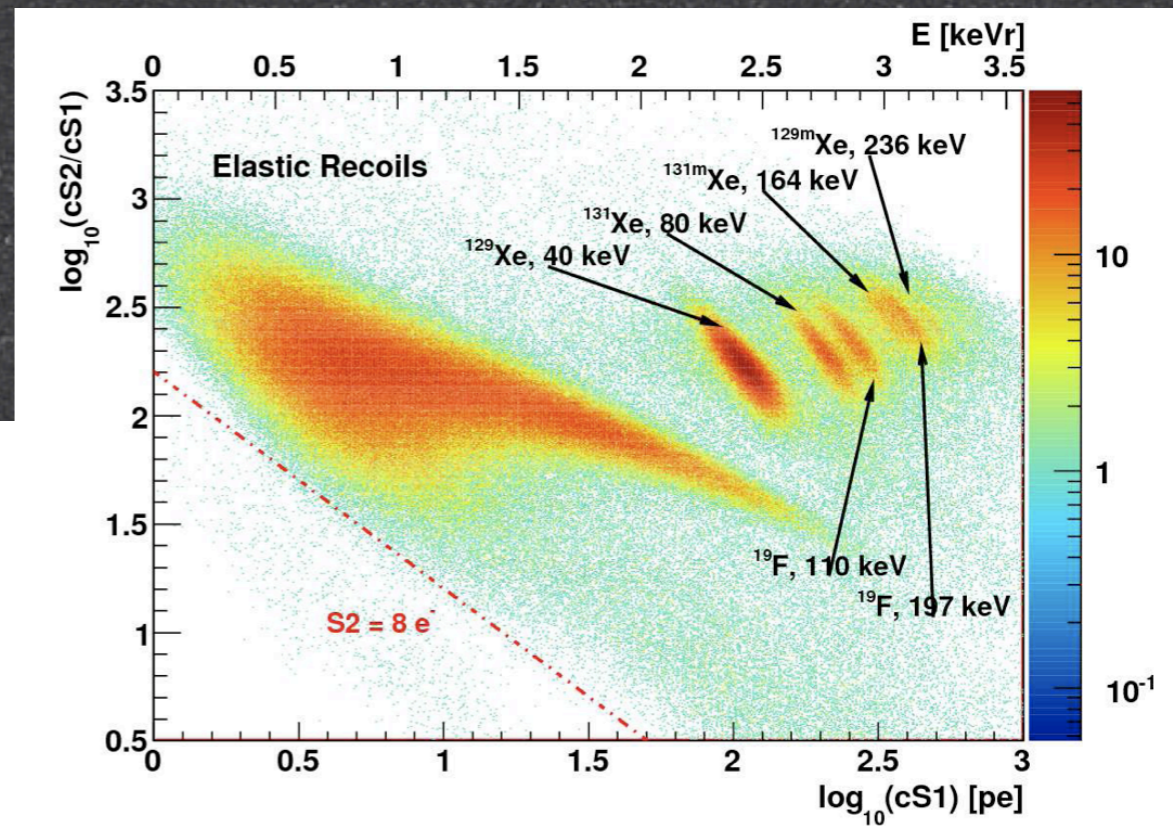


Liquidi Criogenici (gas nobili)



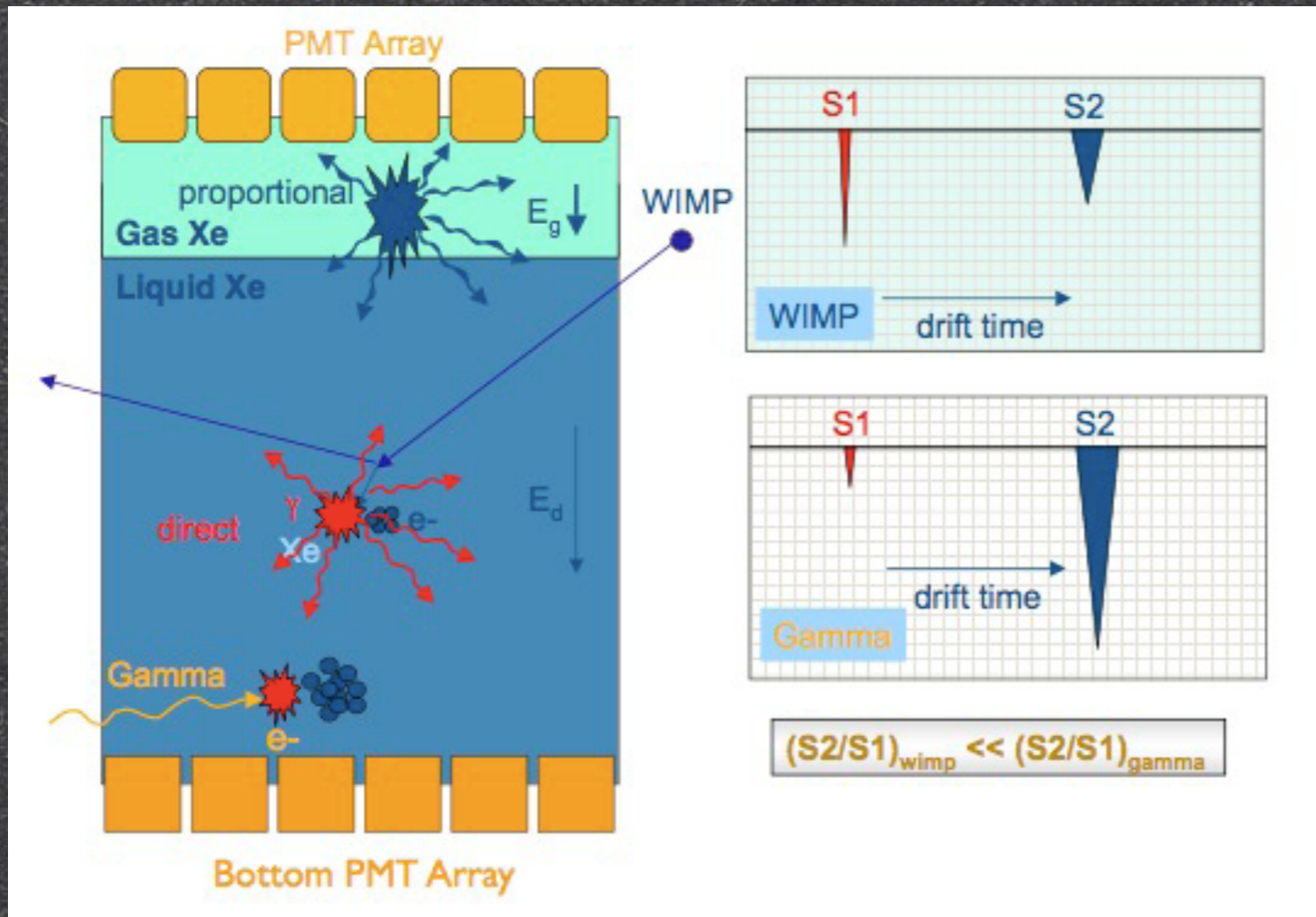
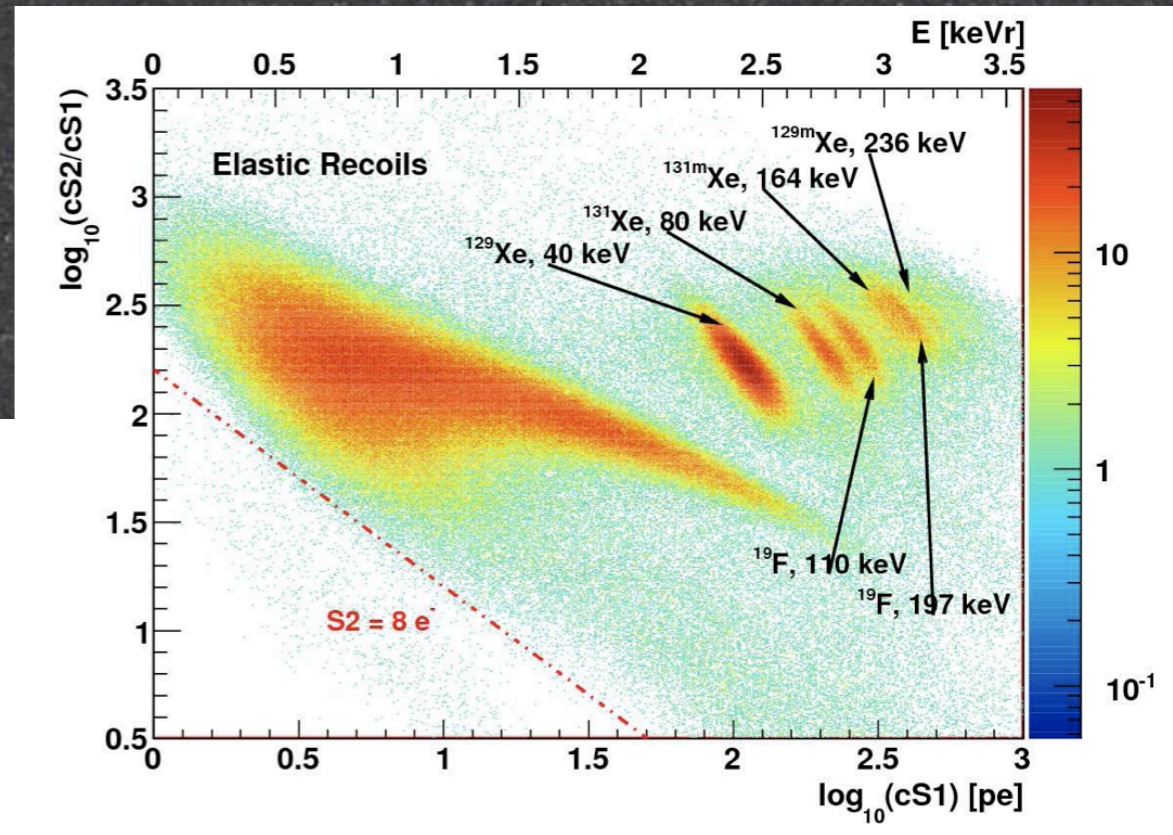
Liquidi Criogenici (gas nobili)

- Grandi masse possibili



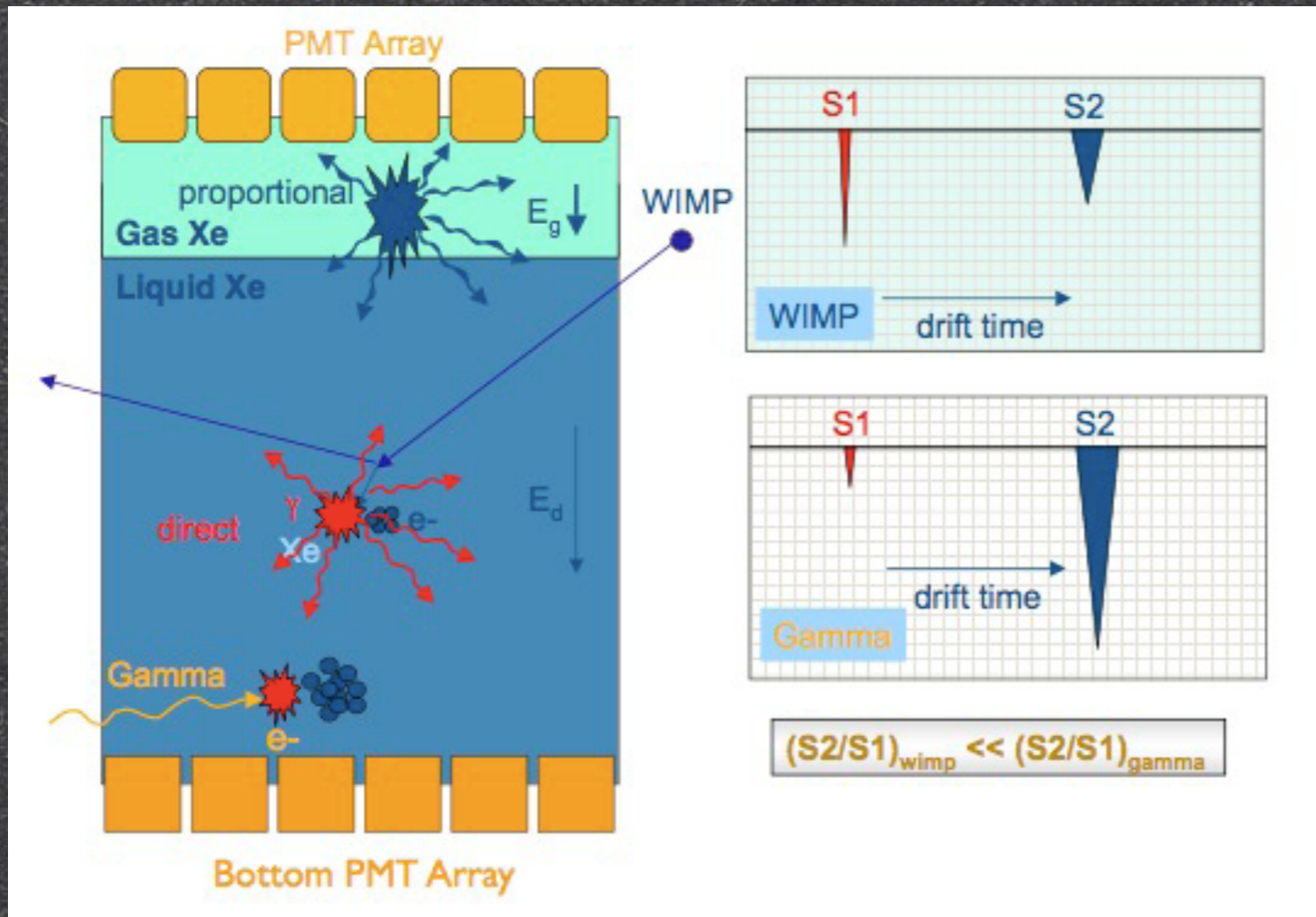
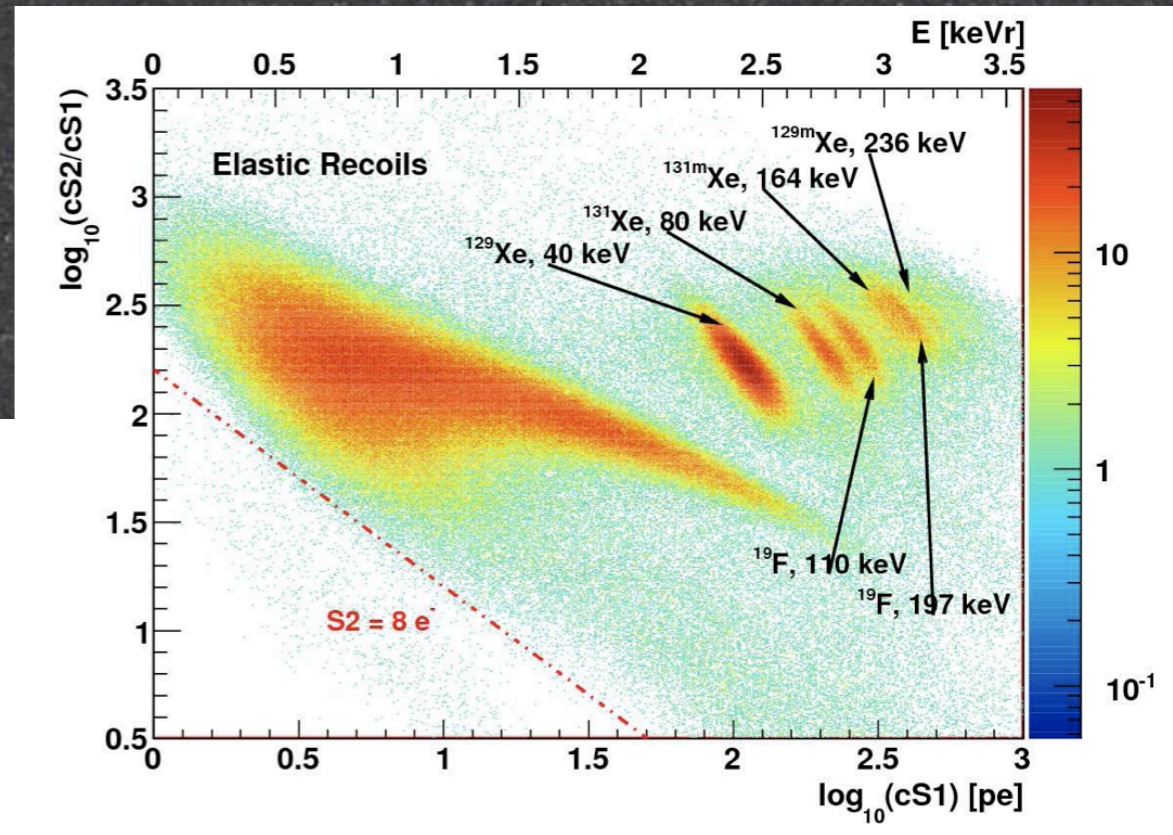
Liquidi Criogenici (gas nobili)

- Grandi masse possibili
 - relativamente economici e densi



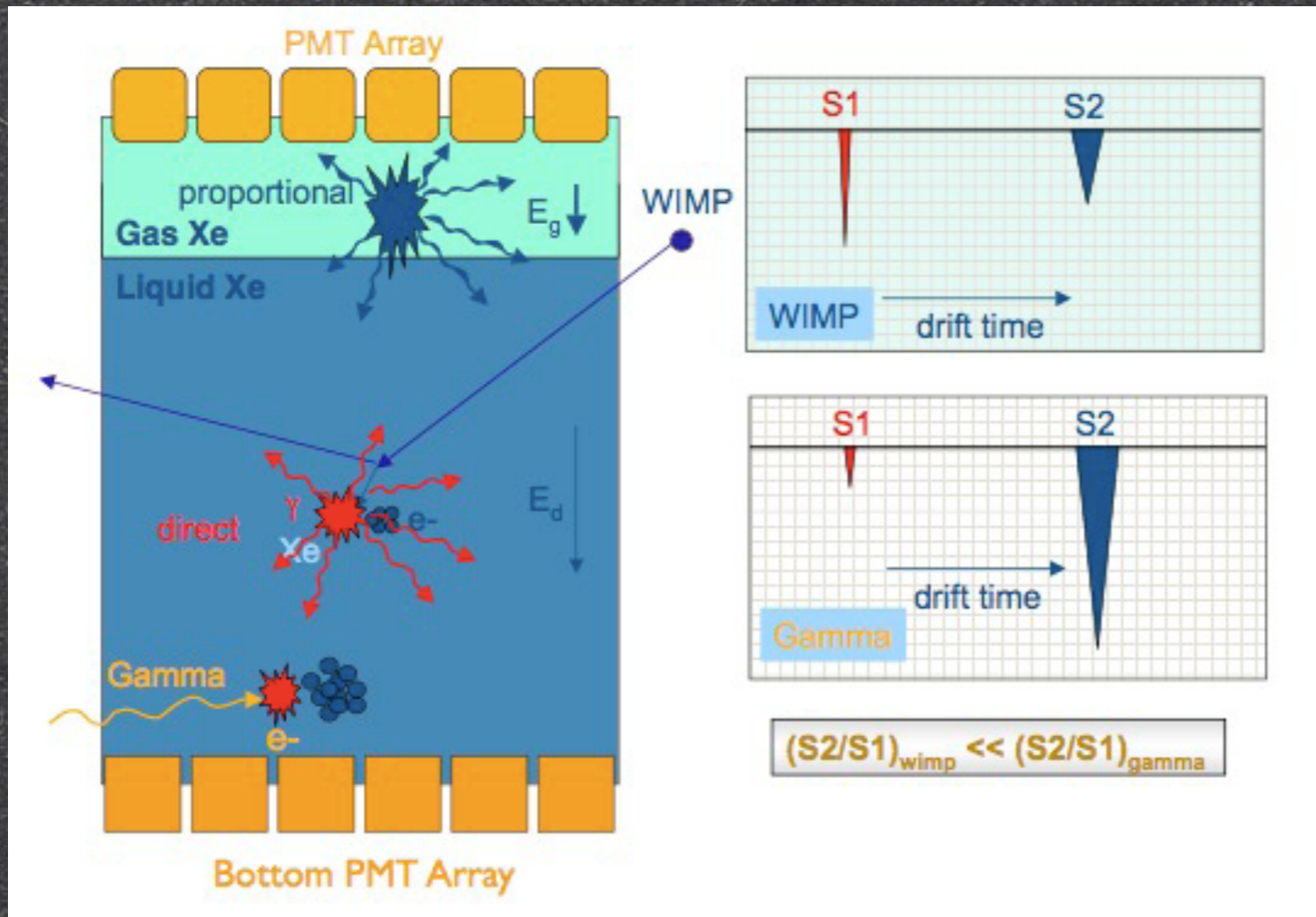
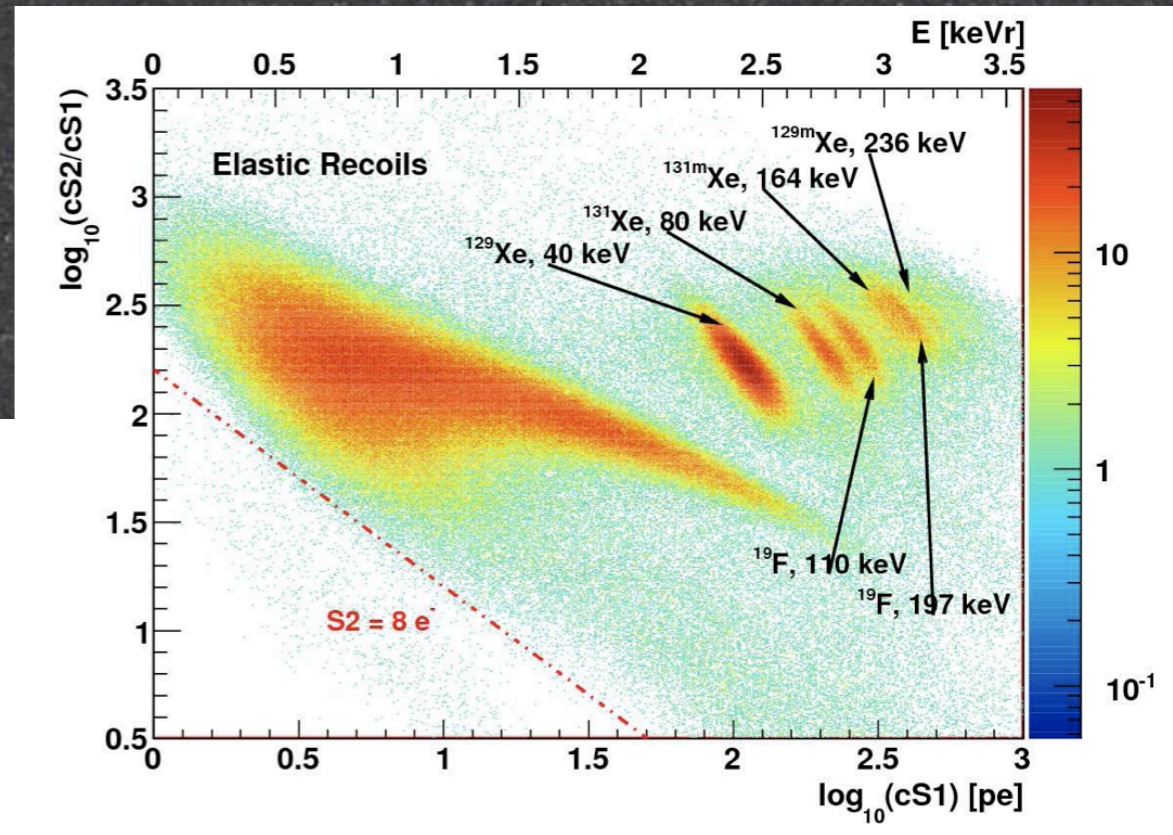
Liquidi Criogenici (gas nobili)

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



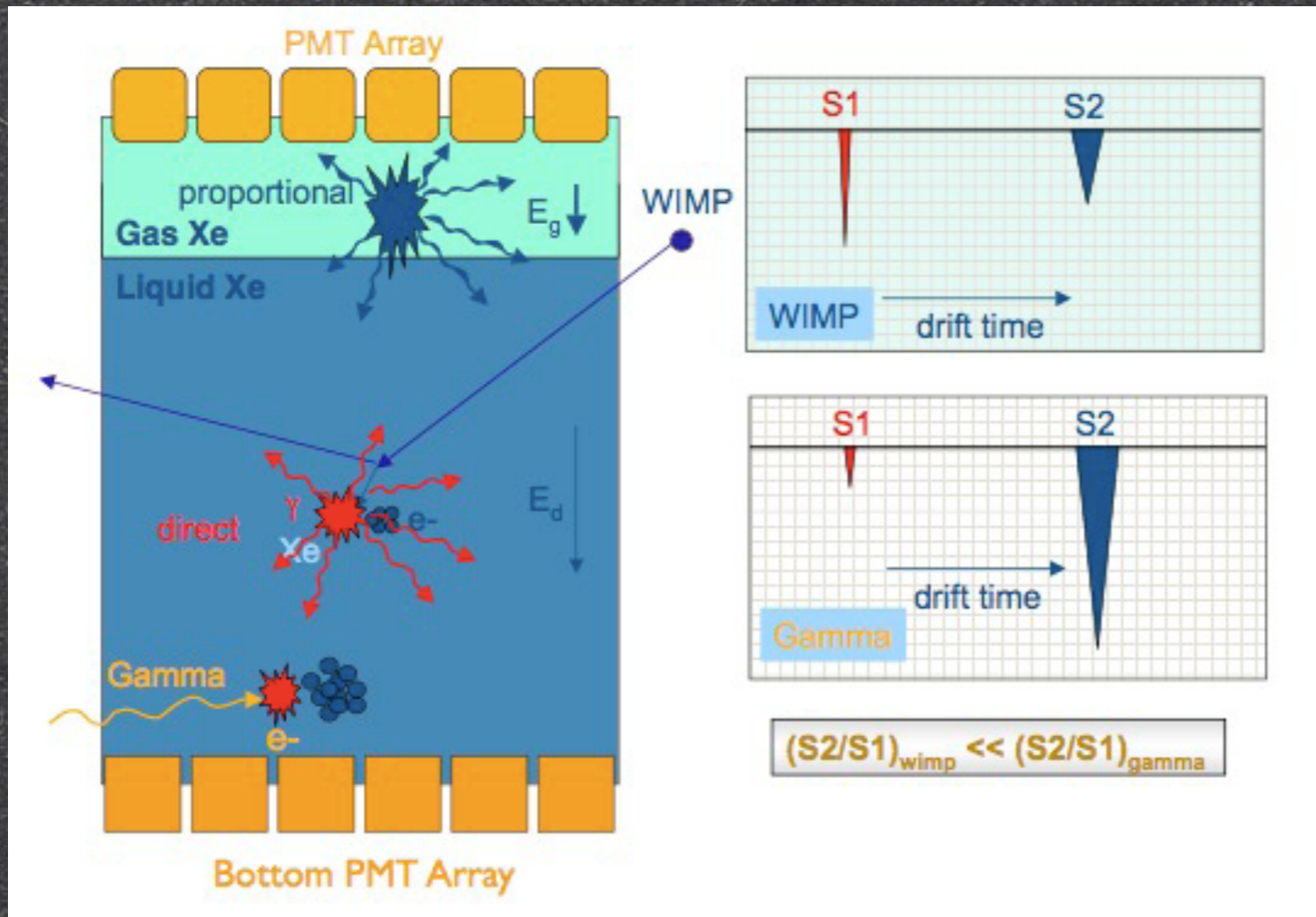
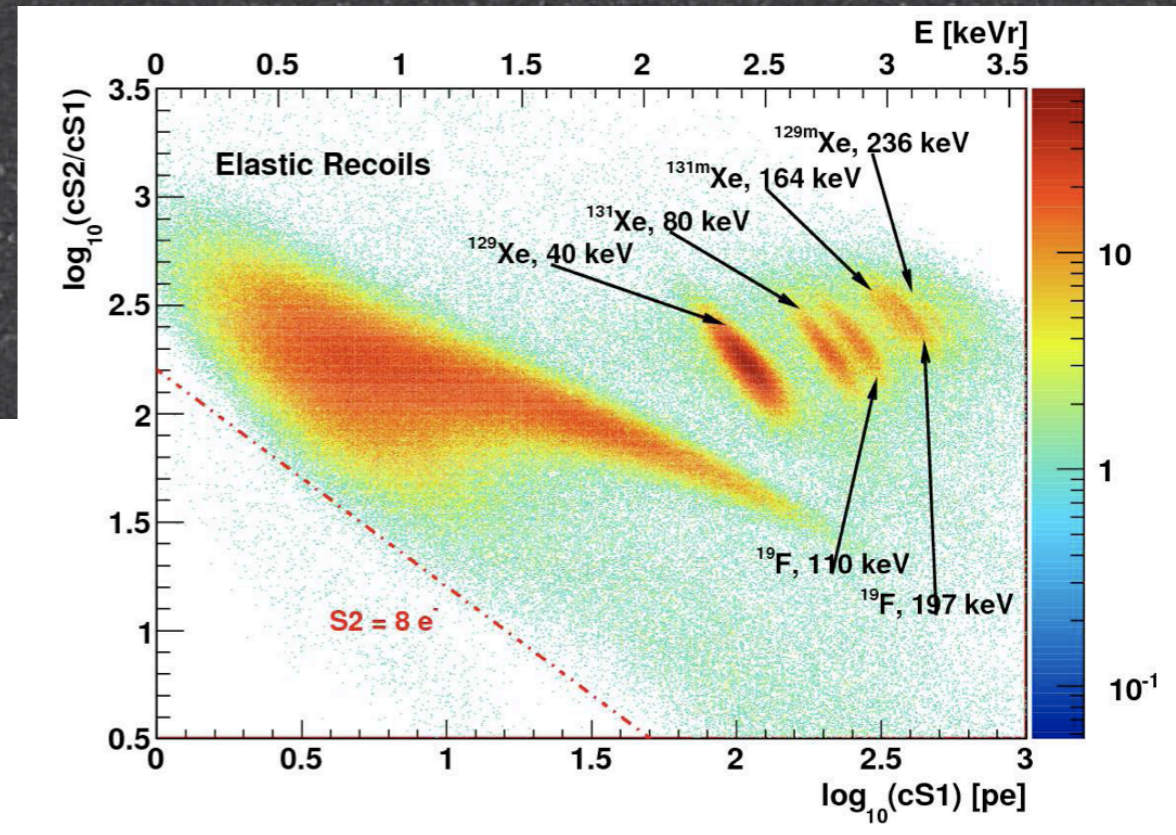
Liquidi Criogenici (gas nobili)

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



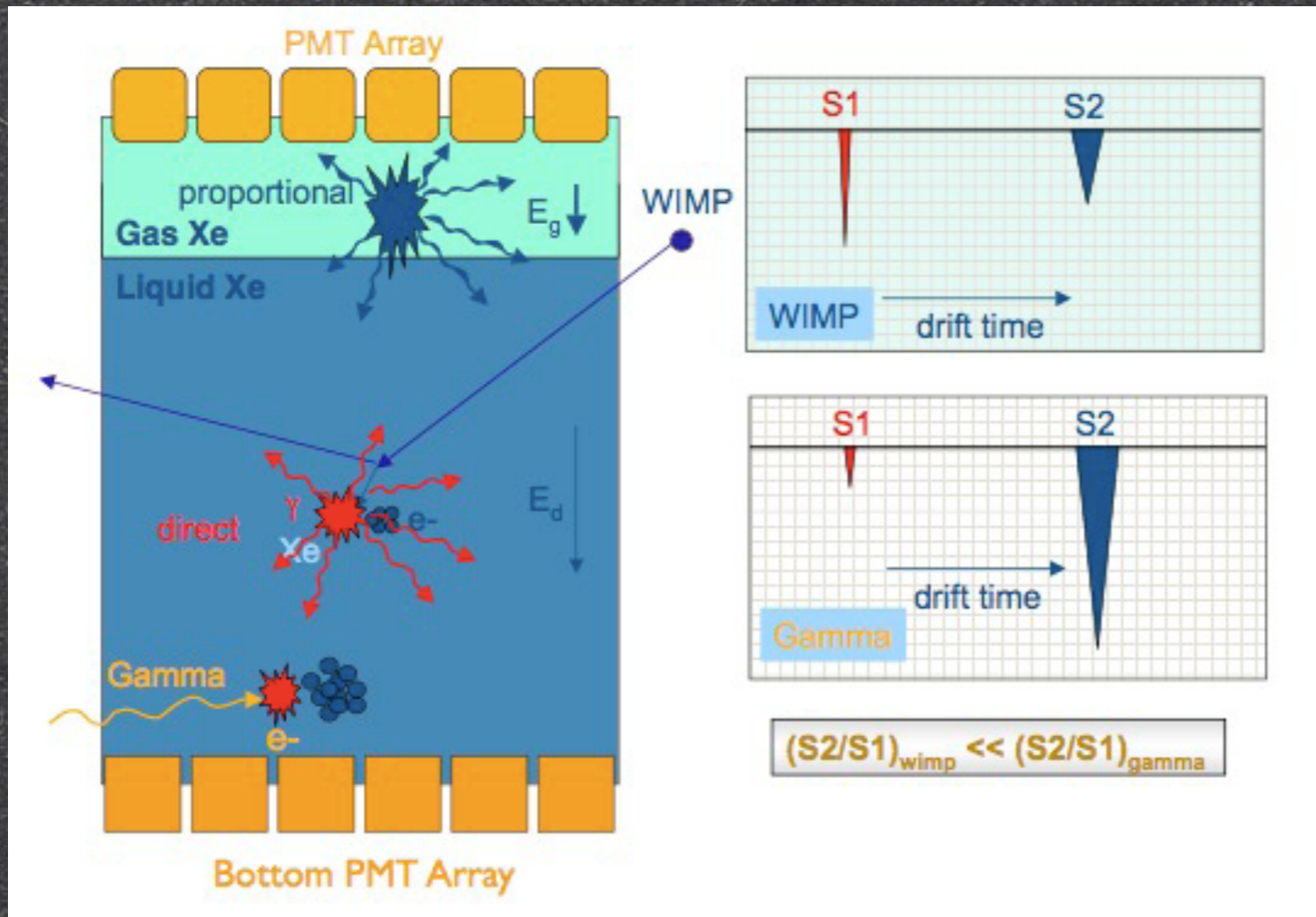
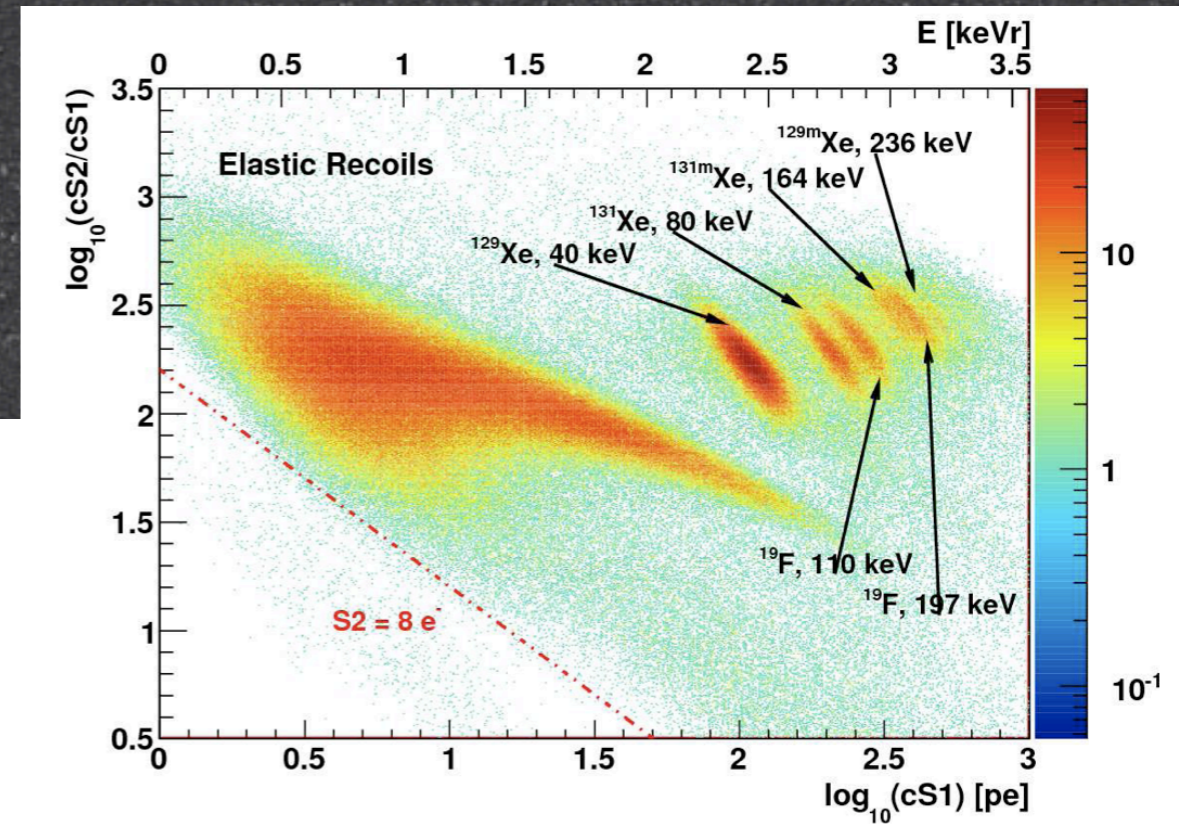
Liquidi Criogenici (gas nobili)

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



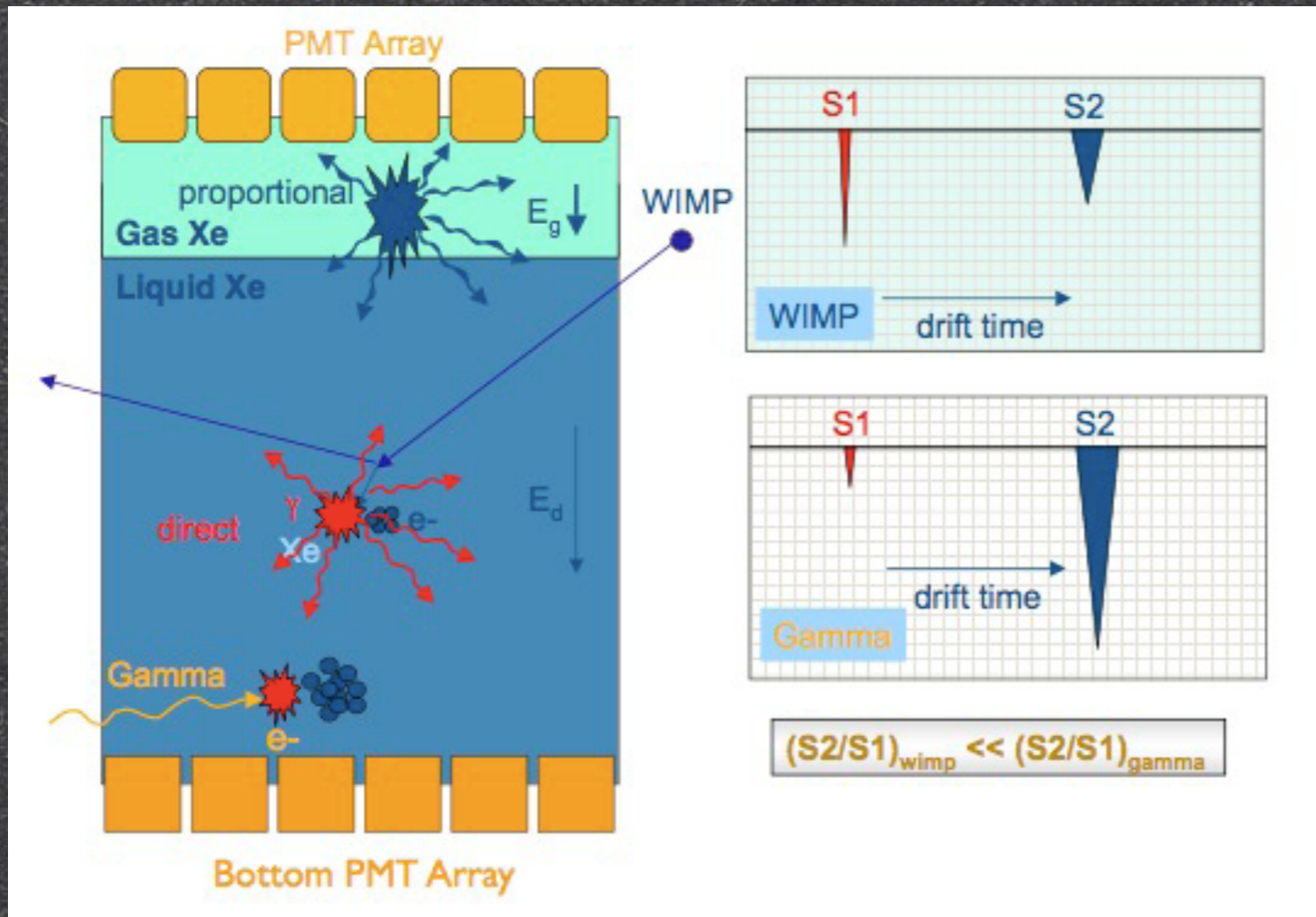
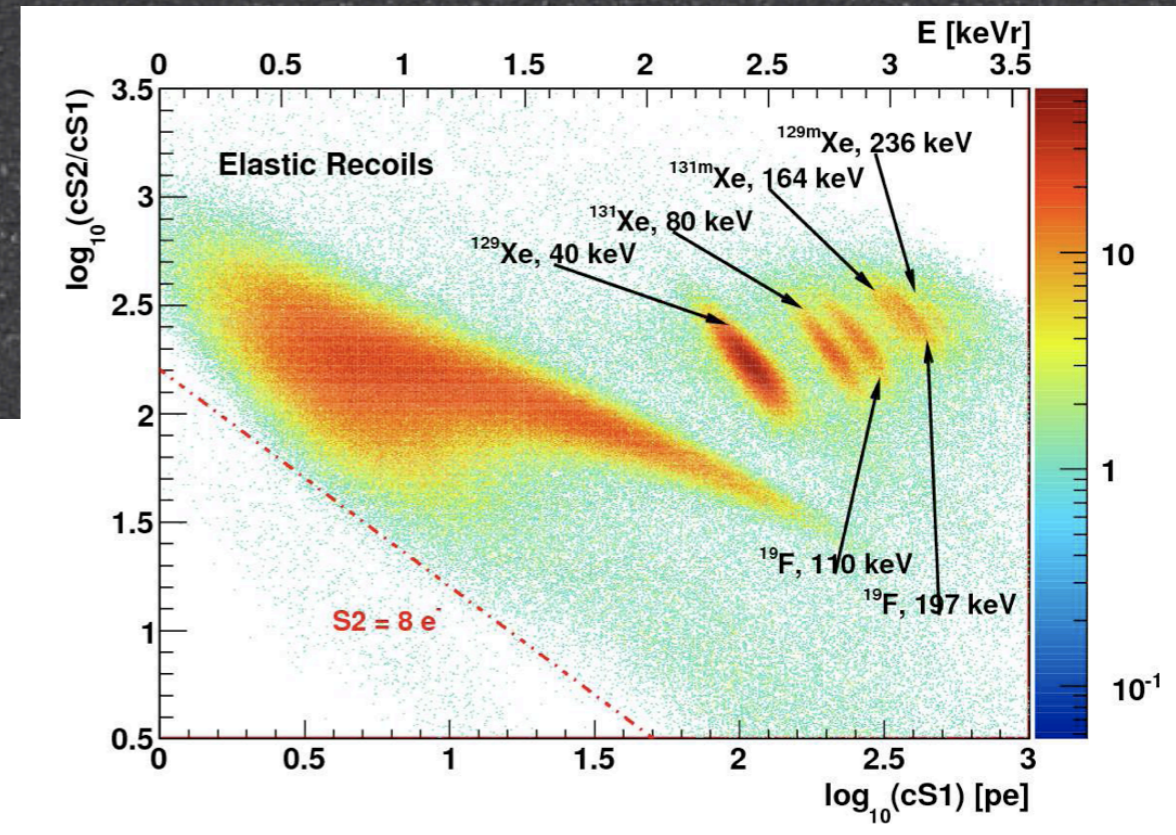
Liquidi Criogenici (gas nobili)

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



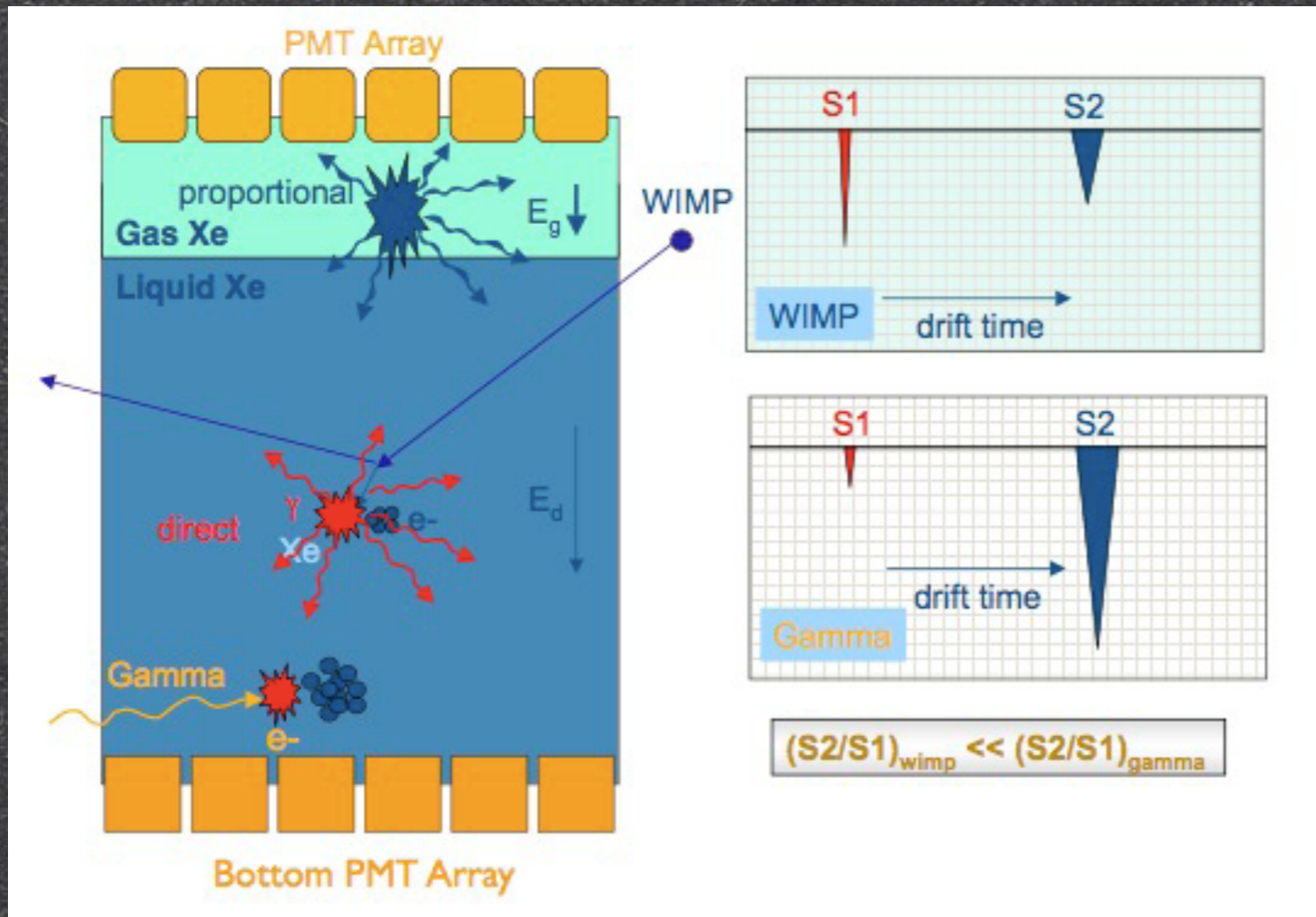
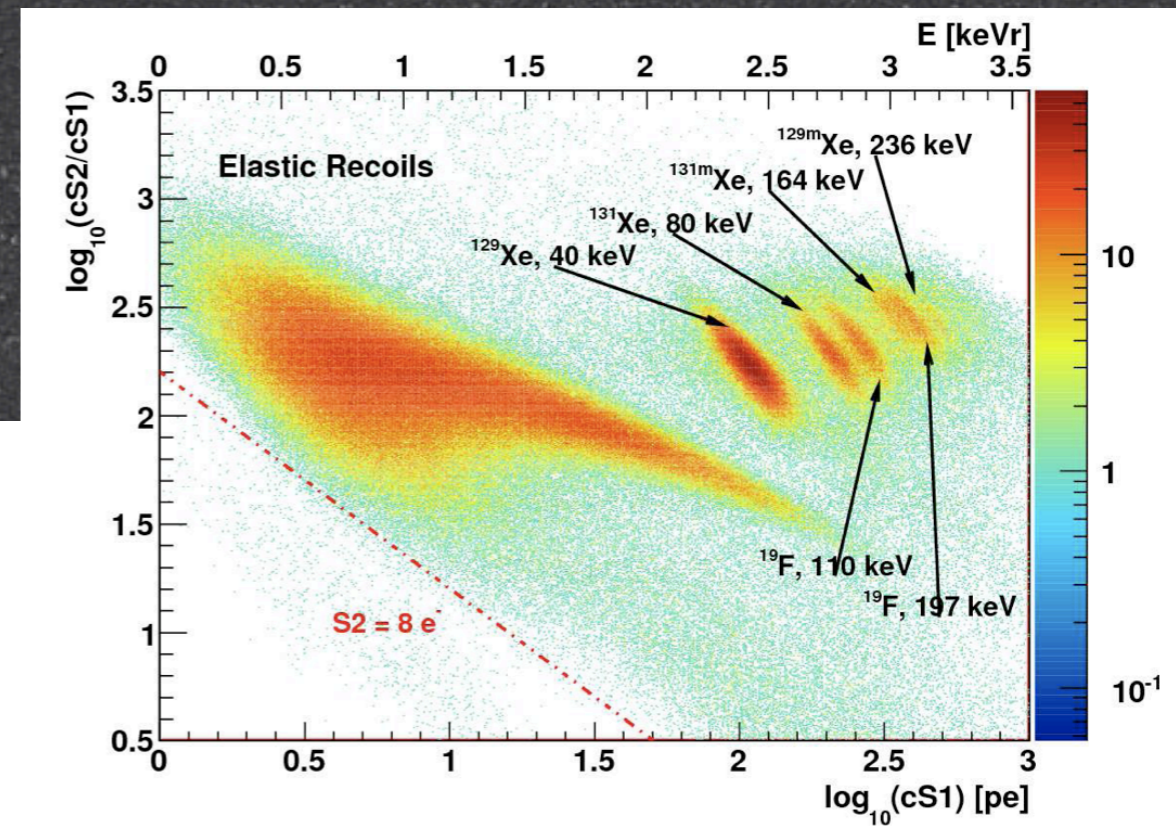
Liquidi Criogenici (gas nobili)

- 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



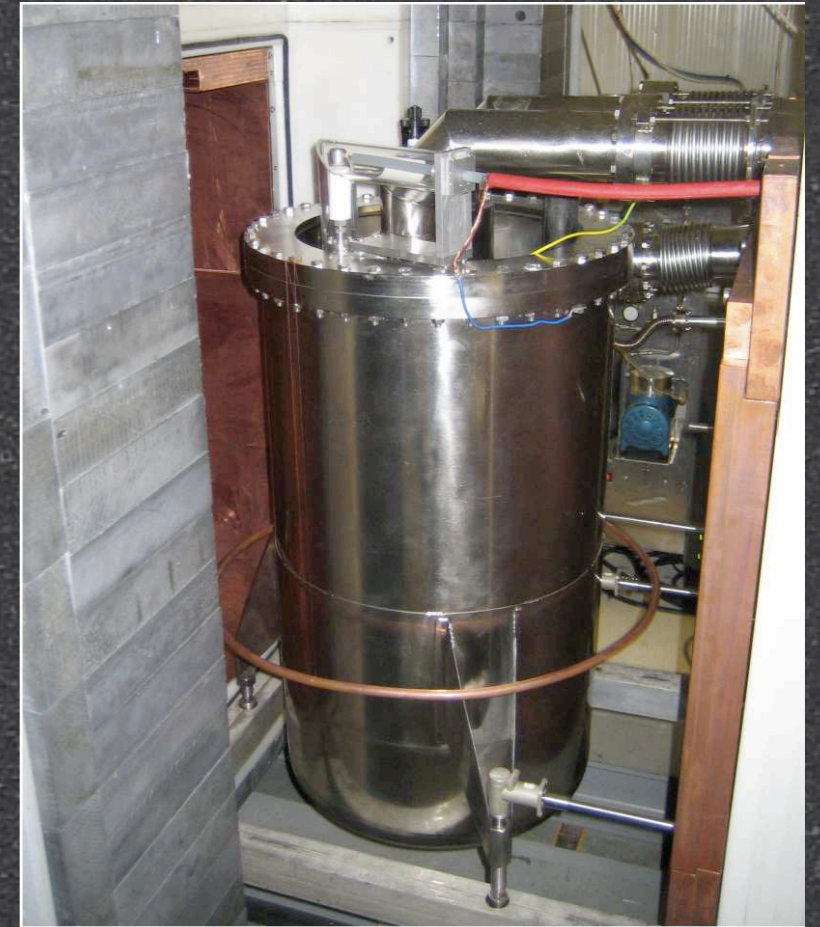
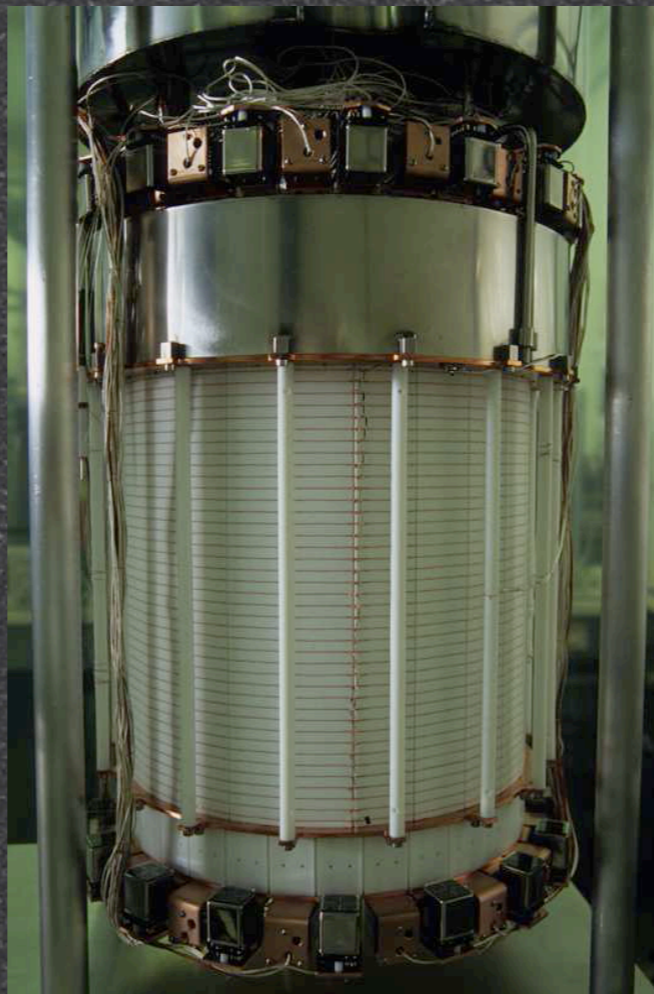
Liquidi Criogenici (gas nobili)

- 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)



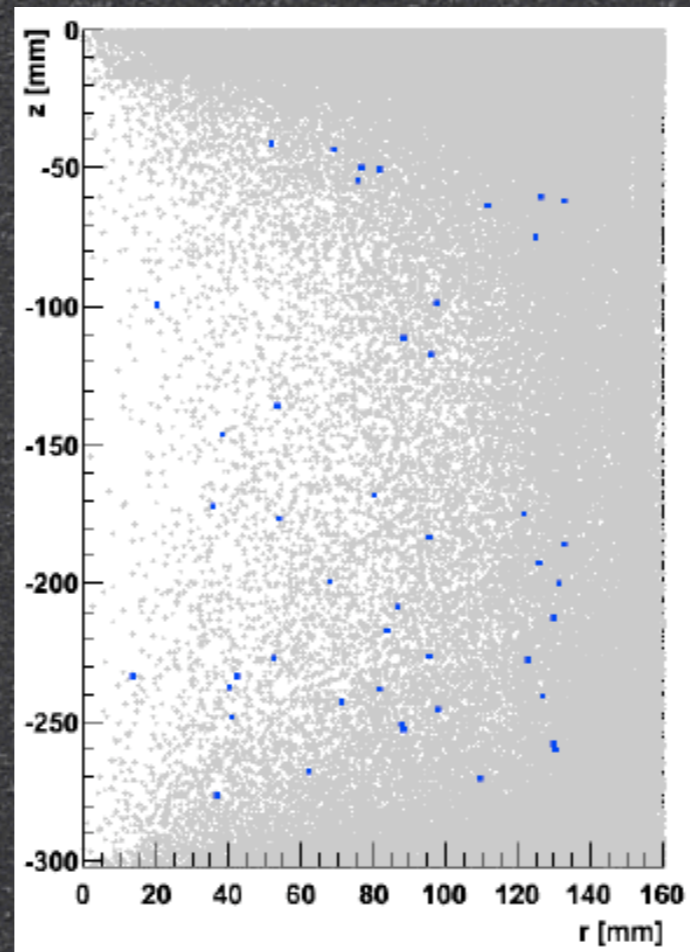
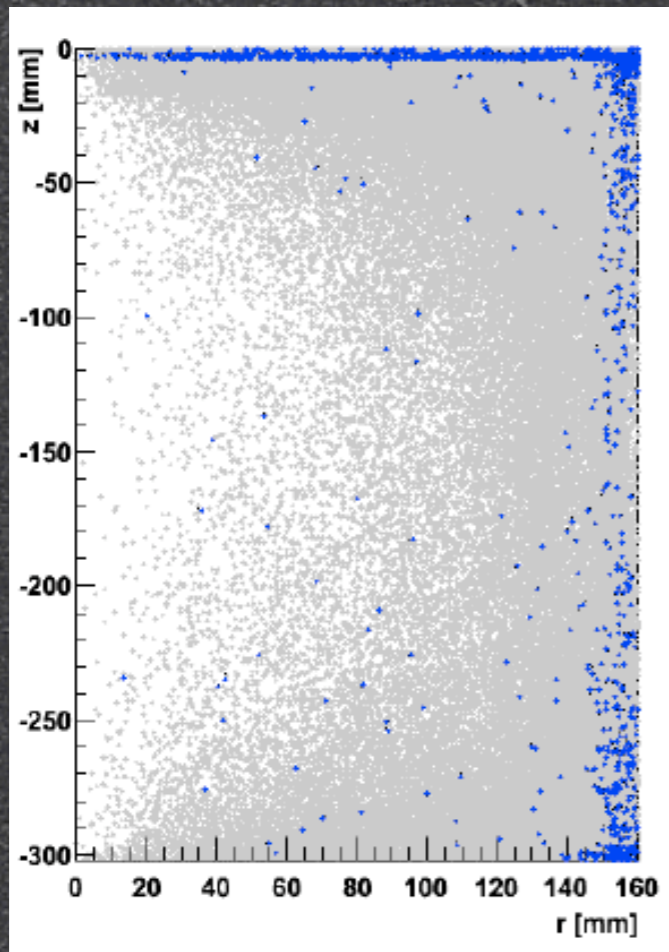
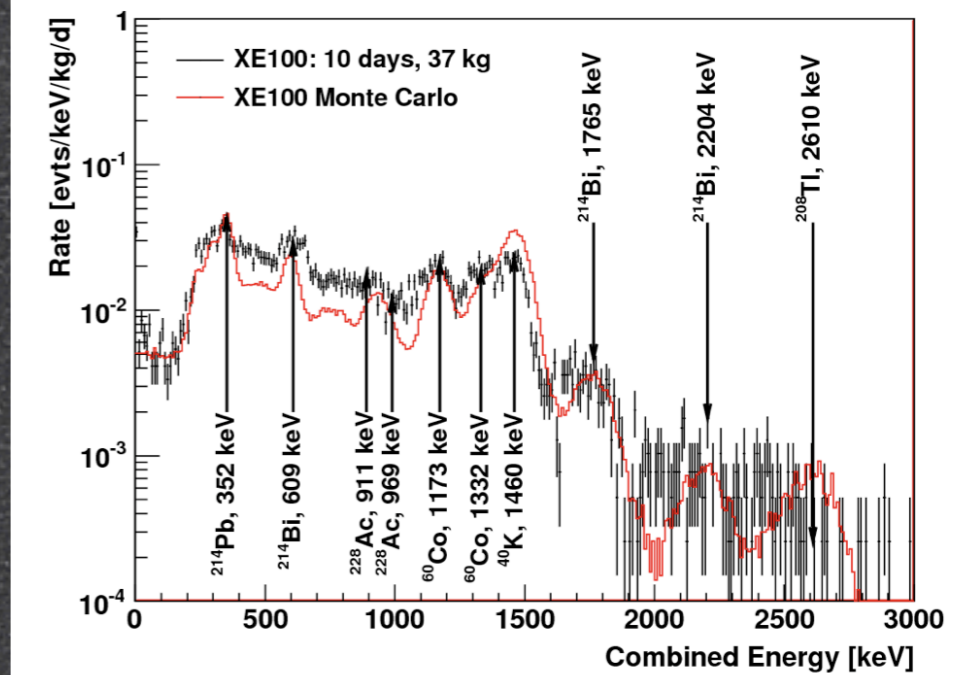
Xenon-100

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



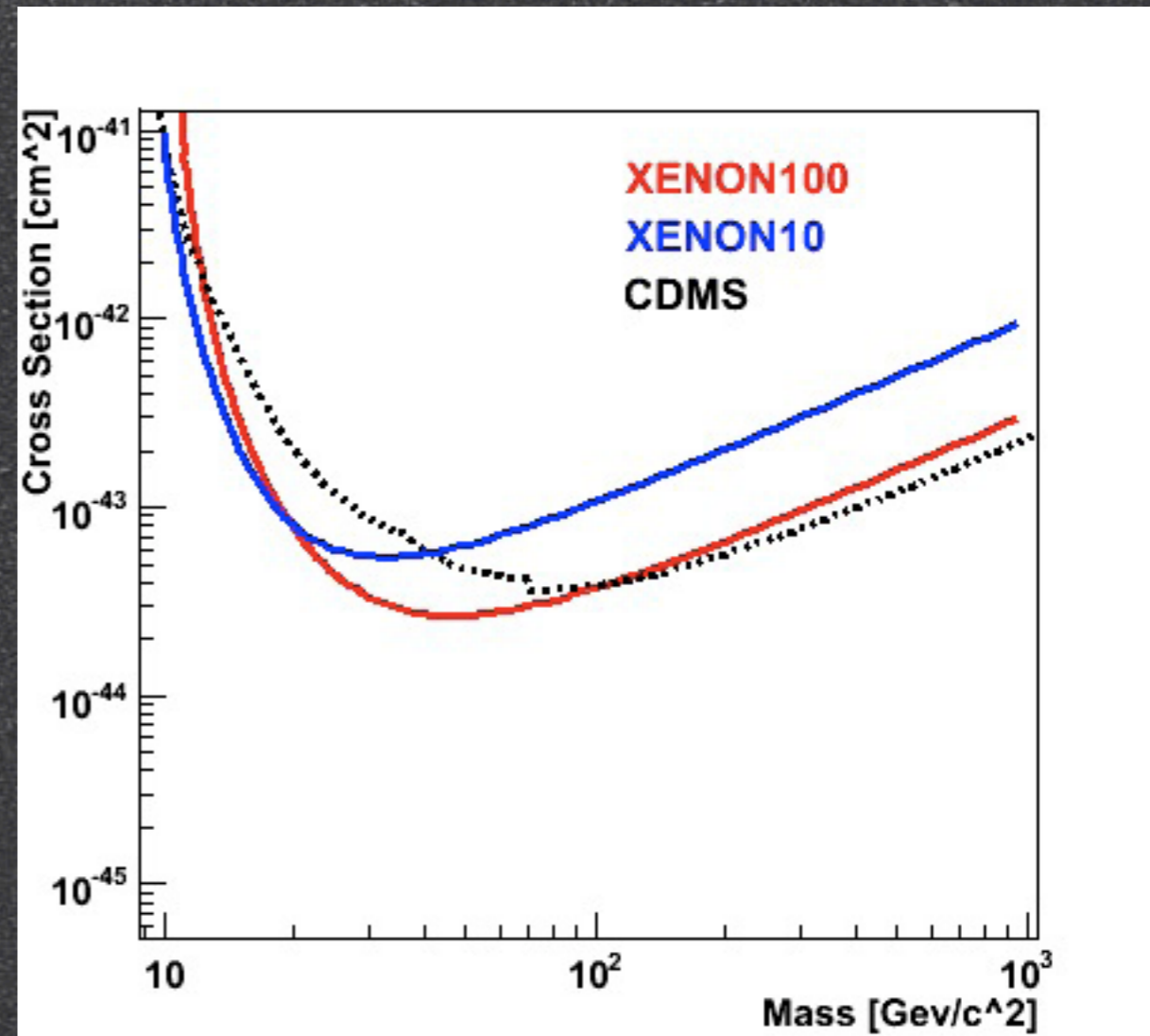
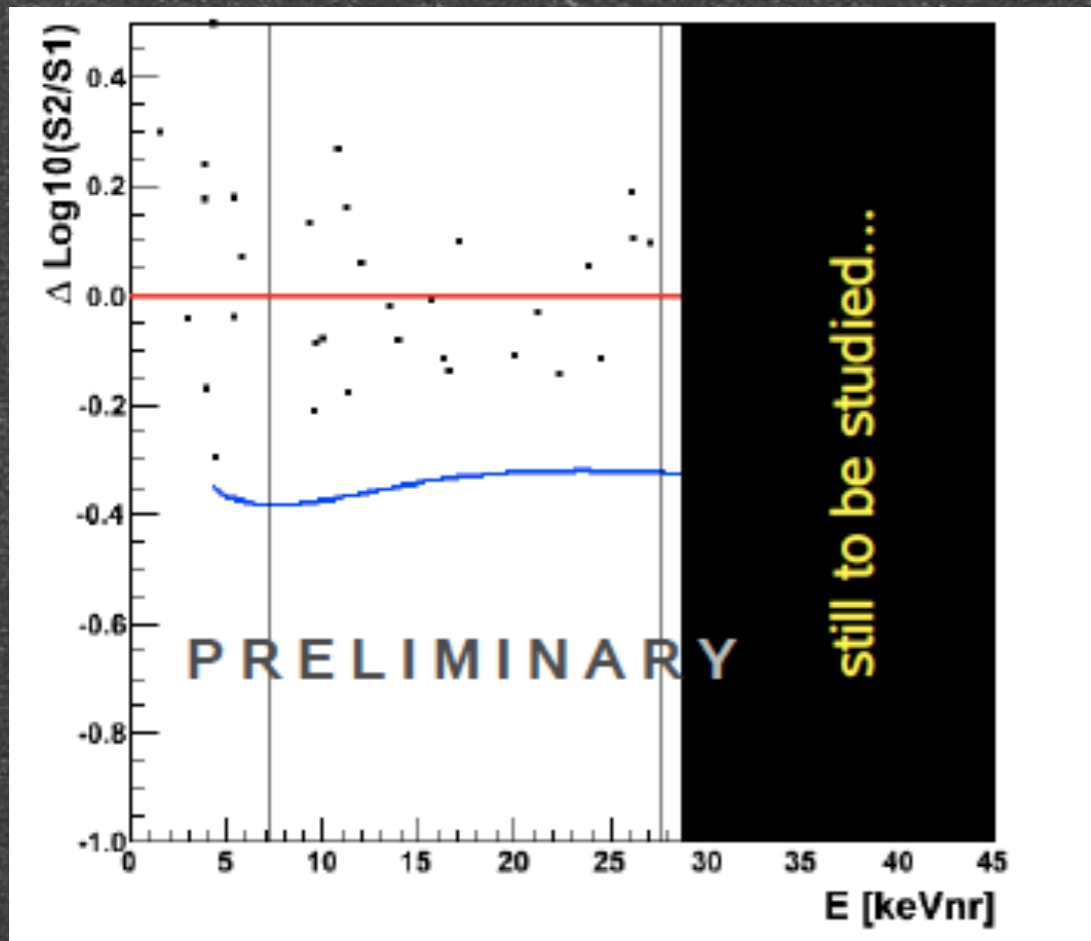
Xenon-100

- 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

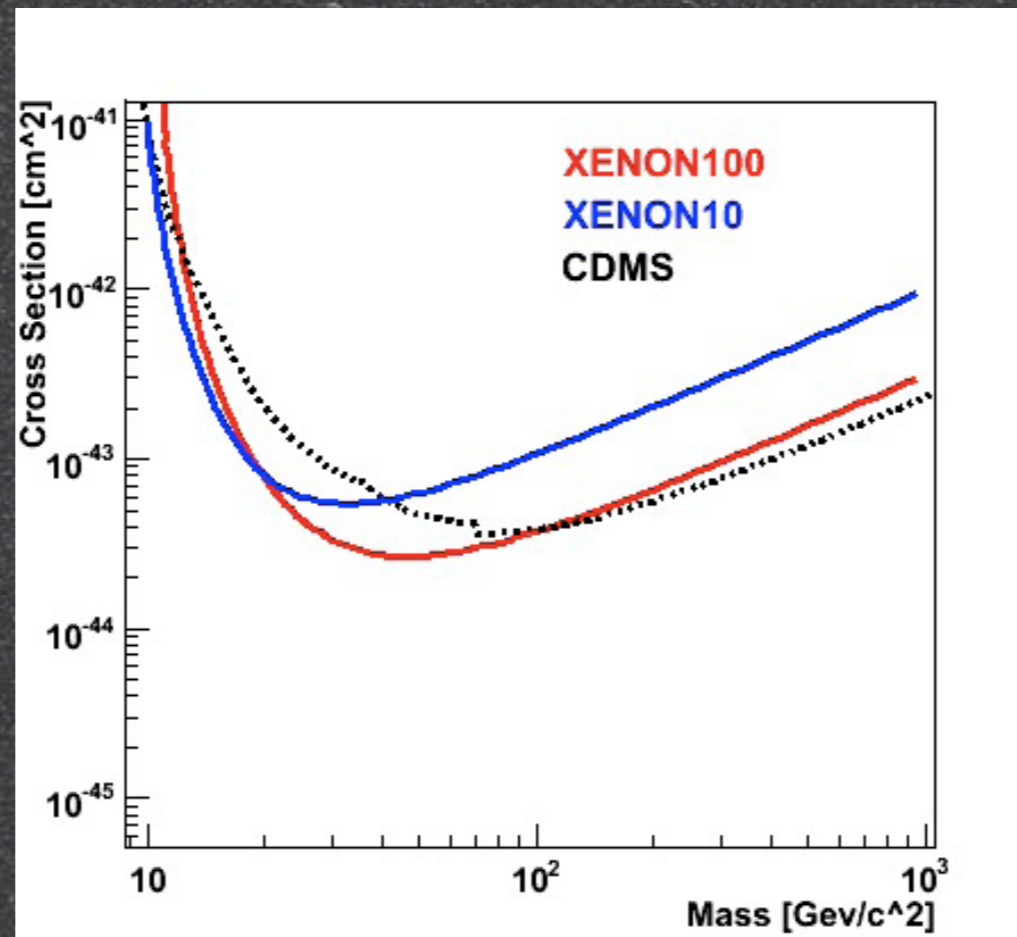


Xenon

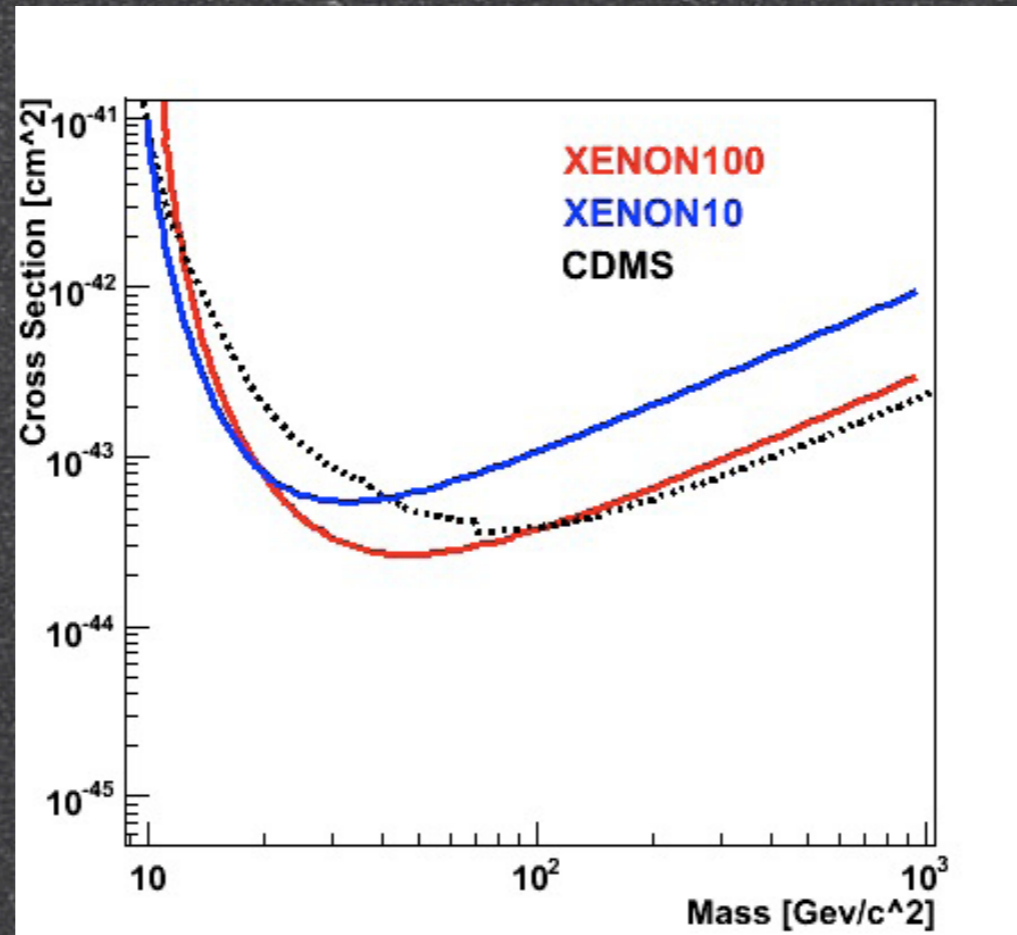
- Risultati preliminari su 194 kg-days (ma accumulati in meno di 2 settimane!!!)
- Nessun conteggio nella zona di interesse
- Miglior limite per interazione SI



A che punto siamo?

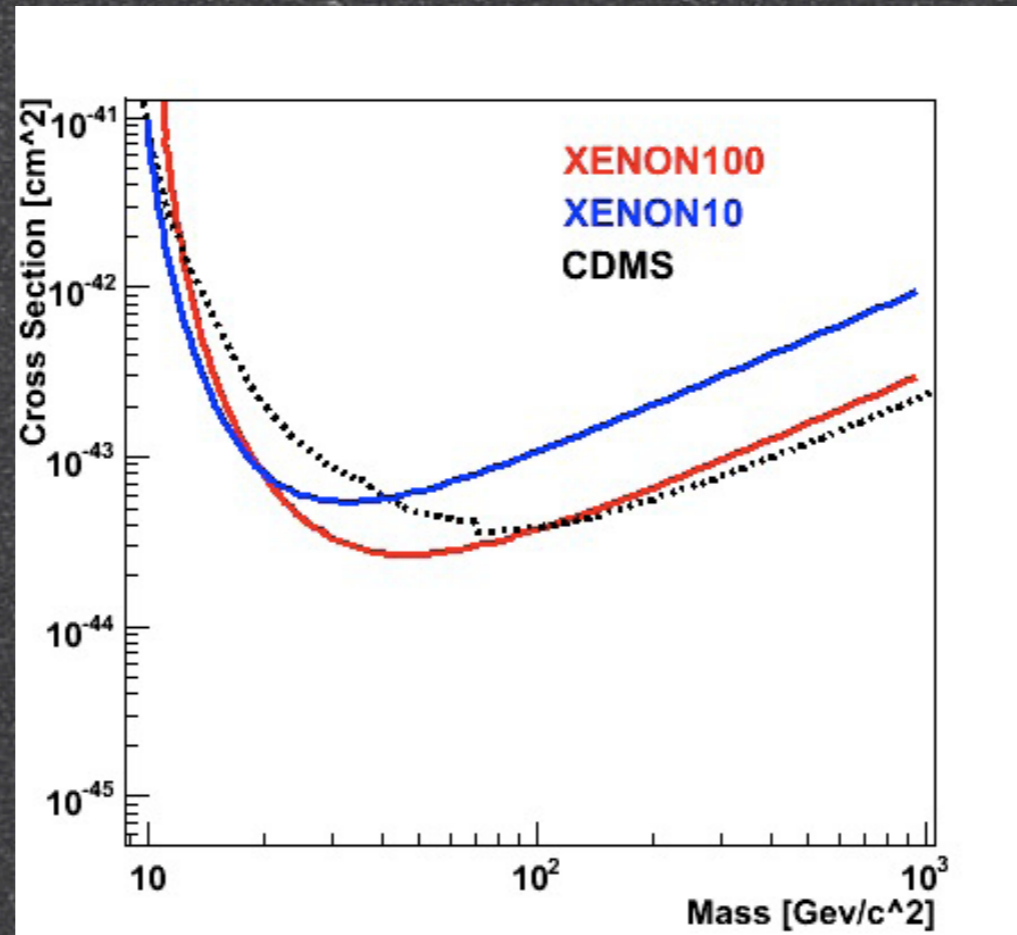


A che punto siamo?



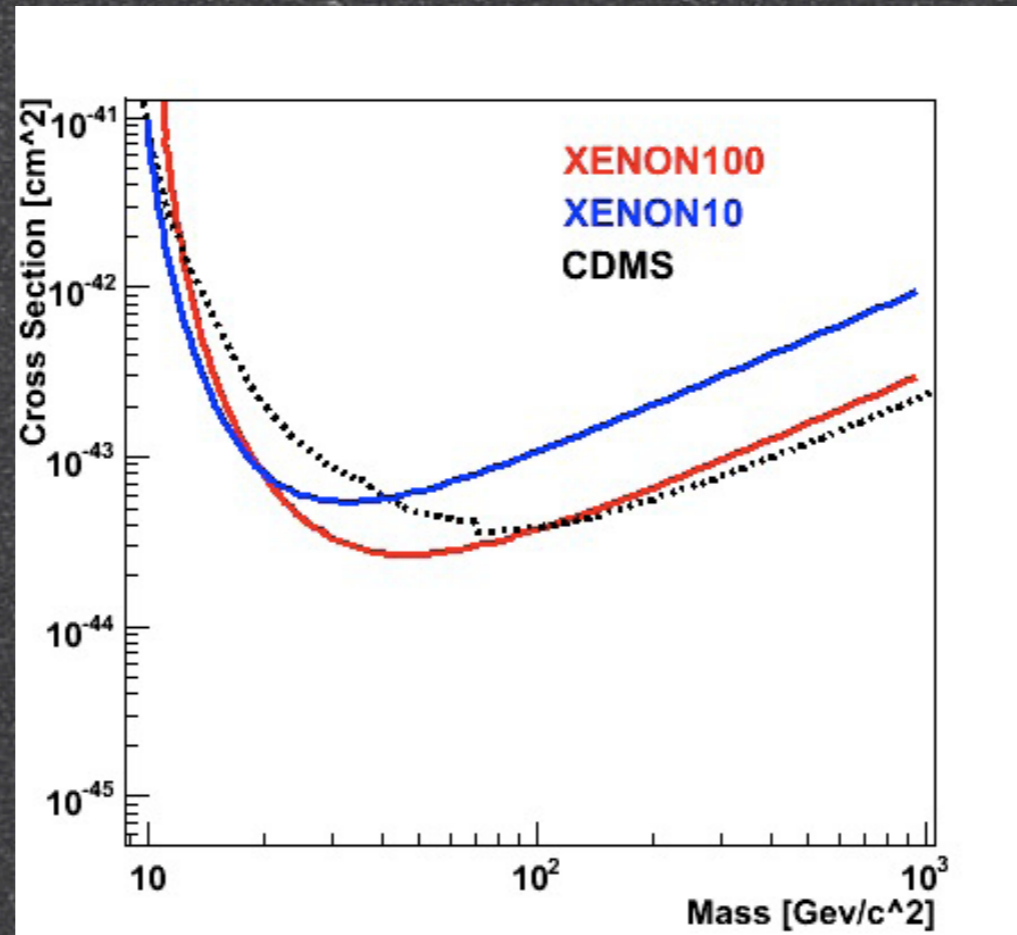
- proliferazione degli esperimenti sulla DM (~ 20)

A che punto siamo?



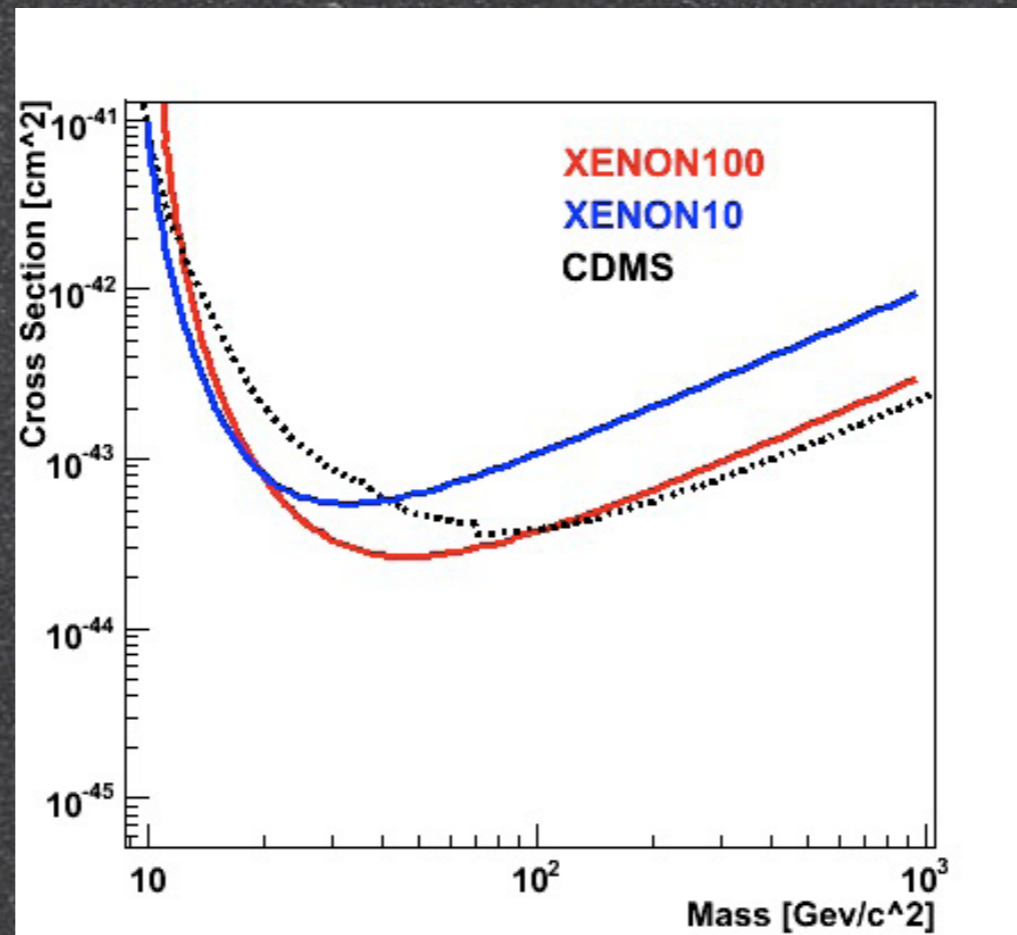
- proliferazione degli esperimenti sulla DM (~ 20)
- situazione estremamente dinamica (nuove idee)

A che punto siamo?



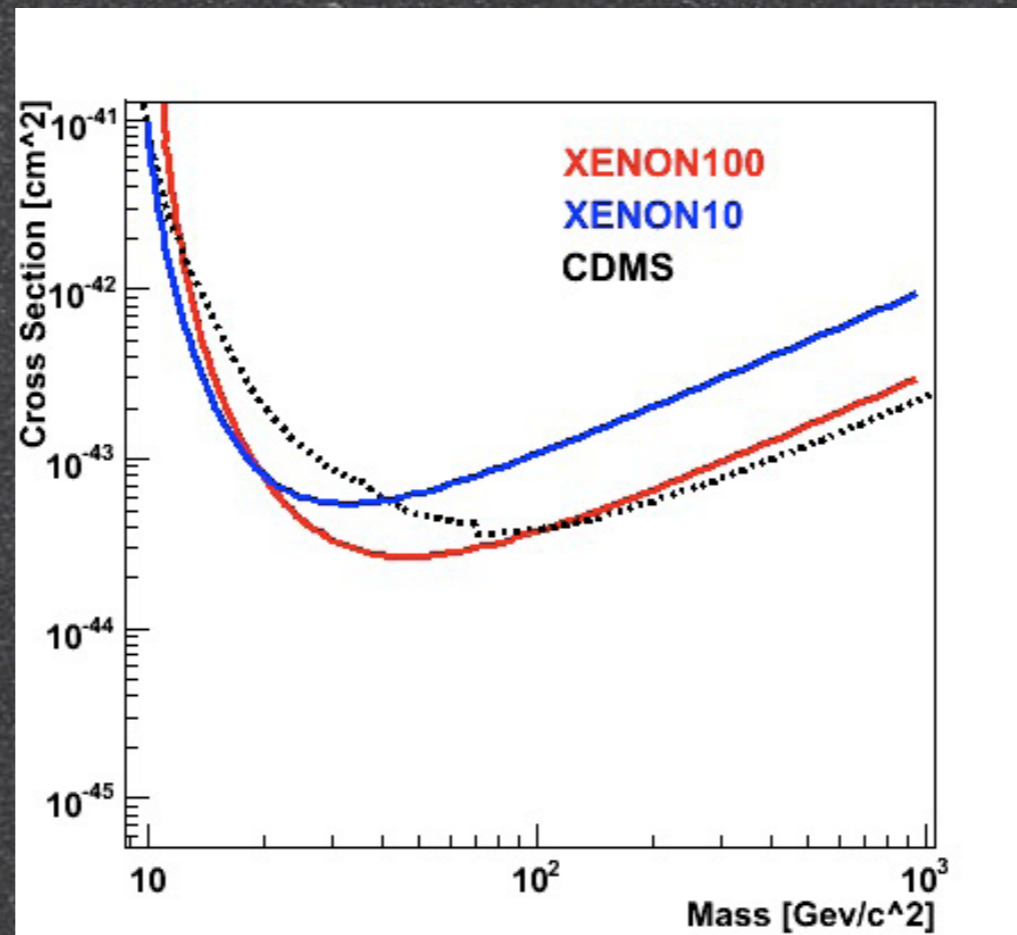
- proliferazione degli esperimenti sulla DM (~ 20)
- situazione estremamente dinamica (nuove idee)
- Xenon-100 (1T) sembra l'esperimento con migliori potenzialità

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

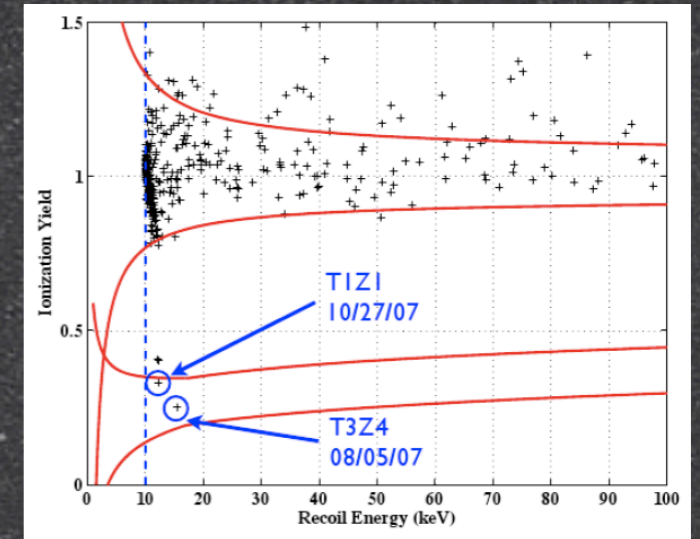
Qualcosa sta cambiando? (eventi non discriminabili)

Qualcosa sta cambiando? (eventi non discriminabili)

- CDMS vede due eventi (fondo stimato 0.9 ± 0.2)

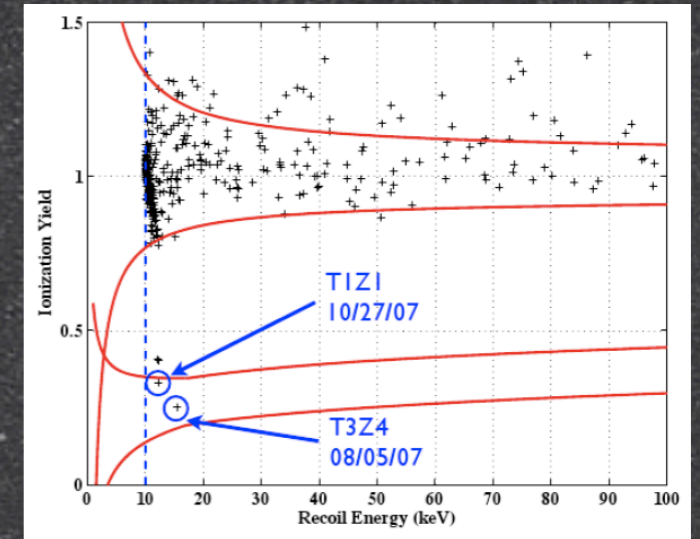
Qualcosa sta cambiando? (eventi non discriminabili)

- CDMS vede due eventi (fondo stimato 0.9 ± 0.2)



Qualcosa sta cambiando? (eventi non discriminabili)

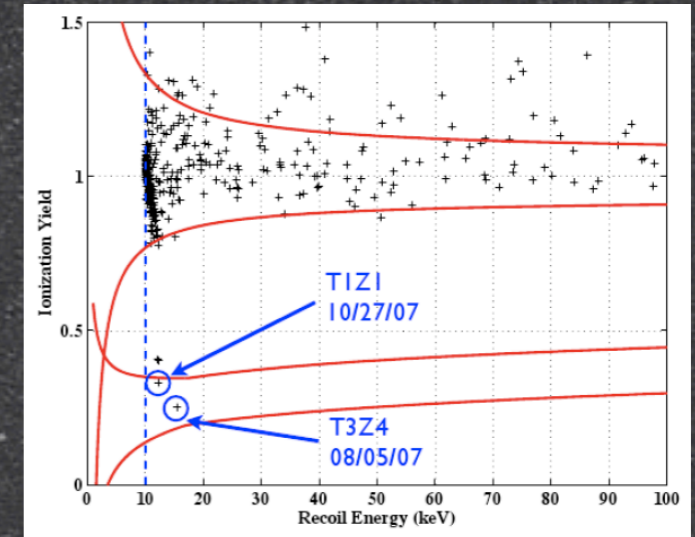
- CDMS vede due eventi (fondo stimato 0.9 ± 0.2)



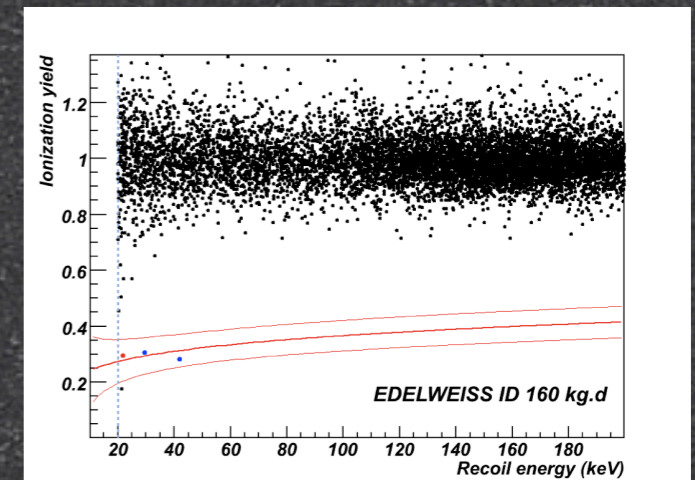
- Edelweiss vede un evento (fondo stimato <0.23)

Qualcosa sta cambiando? (eventi non discriminabili)

- CDMS vede due eventi (fondo stimato 0.9 ± 0.2)

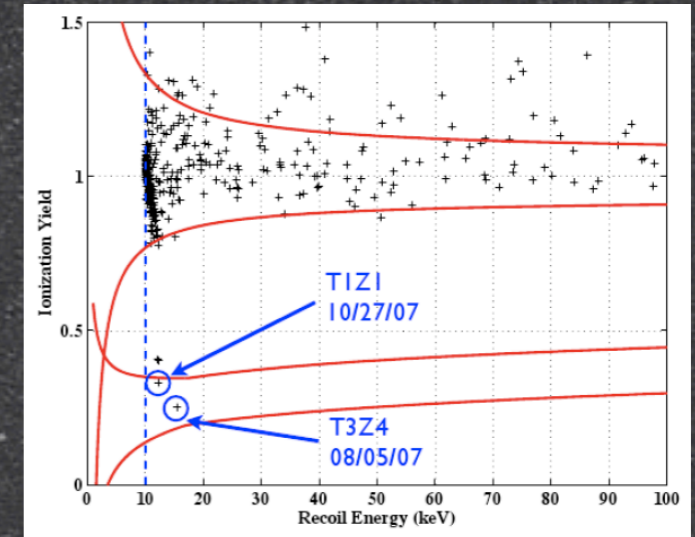


- Edelweiss vede un evento (fondo stimato <0.23)

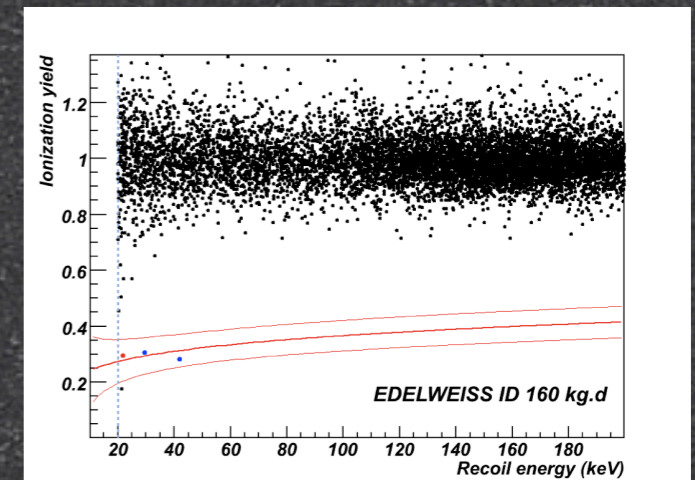


Qualcosa sta cambiando? (eventi non discriminabili)

- CDMS vede due eventi (fondo stimato 0.9 ± 0.2)



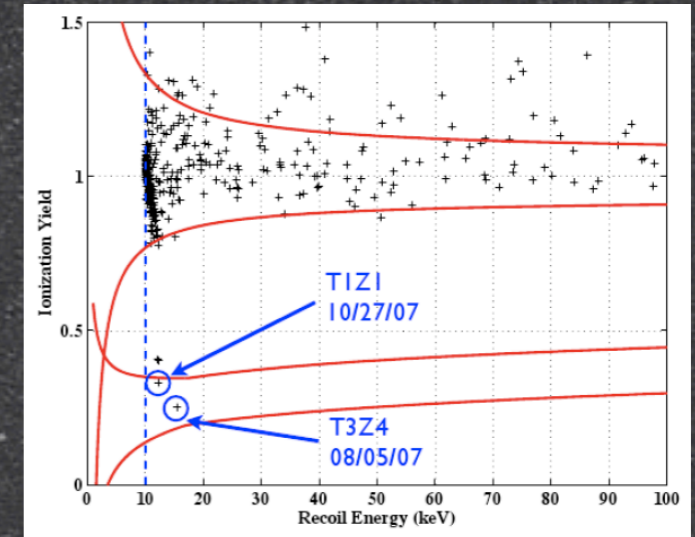
- Edelweiss vede un evento (fondo stimato <0.23)



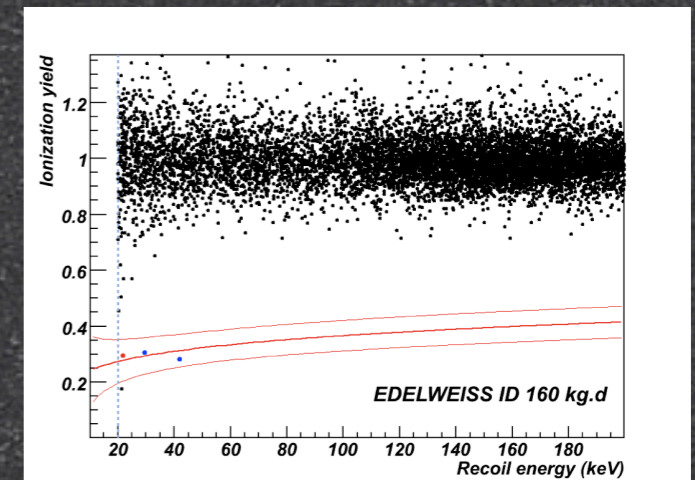
- CRESST II vede tre eventi (e di più nel nuovo run)

Qualcosa sta cambiando? (eventi non discriminabili)

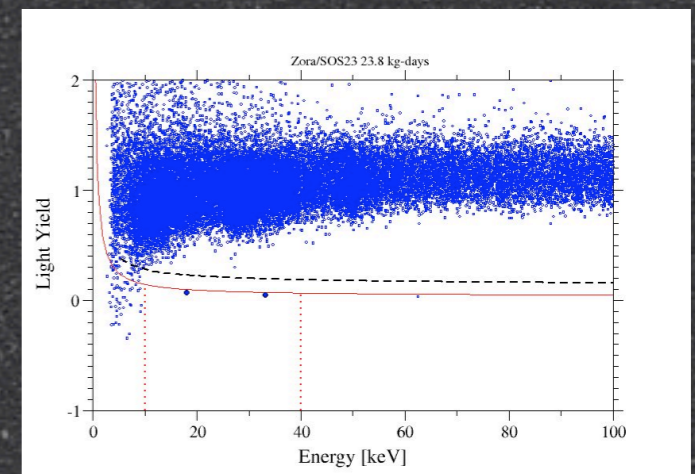
- CDMS vede due eventi (fondo stimato 0.9 ± 0.2)



- 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