



**S**odium-iodide with  
**A**ctive **B**ackground  
**RE**jection

# XVII edizione IFAE - Incontri di Fisica delle Alte Energie

4-6 Aprile 2018, Milano

## **Sensibilità dell'esperimento SABRE per la ricerca diretta di Materia Oscura**

Valerio Toso in rappresentanza della collaborazione SABRE

Università degli Studi di Milano

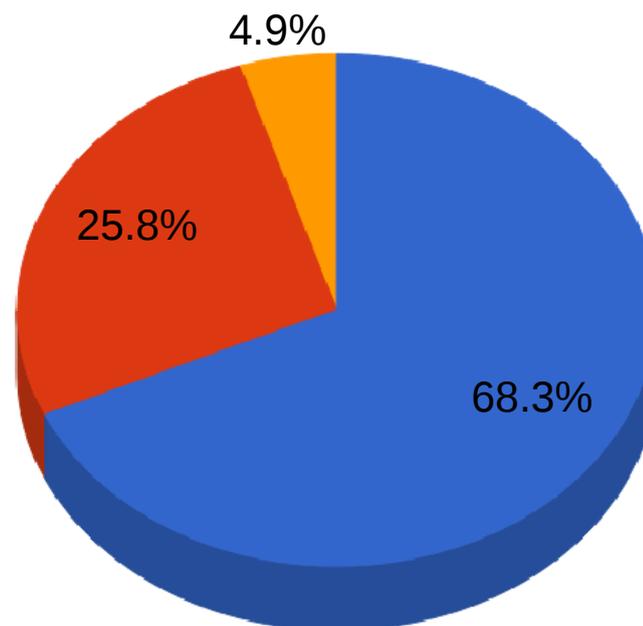
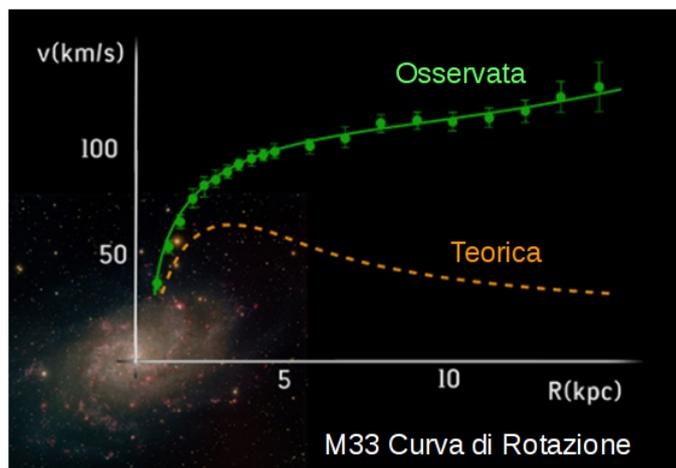


UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI MILANO

# La Materia Oscura

## Evidenze:

- Curve di rotazione galassie
- Effetto di lente gravitazionale
- Parametri cosmologici



- Energia Oscura
- Materia Oscura
- Materia ordinaria

Non sappiamo di cosa è composta la maggior parte dell'universo

## Caratteristiche della Materia Oscura:

- Debolmente interagente
- Stabile
- Non relativistica

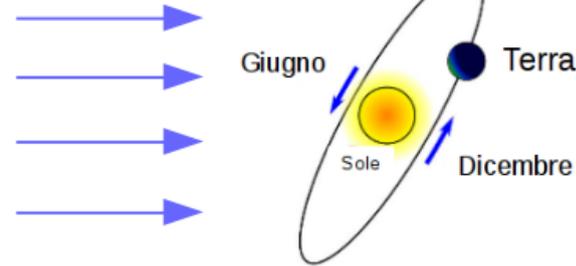
Ipotesi → **WIMP: particella massiva debolmente interagente**

# La modulazione annuale

## Alone galattico di Materia Oscura



## Flusso di WIMP



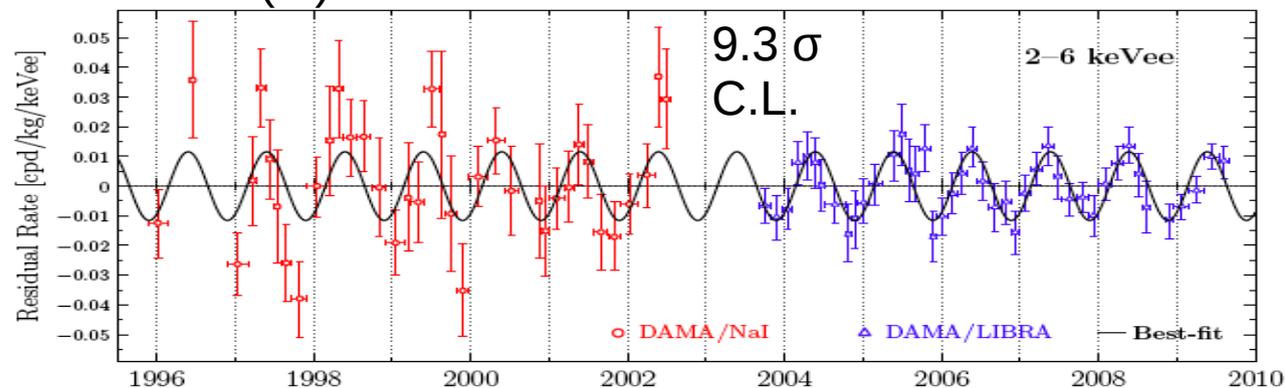
$$\frac{dR(E_r, t)}{dE_r} \sim \frac{dR_0(E_r)}{dE_r} + \frac{dR_m(E_r)}{dE_r} \cos(w(t - t_0))$$

Segnatura indipendente dal modello

## Il segnale misurato da DAMA:

- Periodo ~ 1 anno
- Fase (144 +/- 7)d (attesa 152.5d)

## Cristalli NaI(Tl)



European Physical Journal C 73, 2648 (2013)

- Altri esperimenti non osservano segnale, ma basati su differenti materiali bersaglio e tecnologie

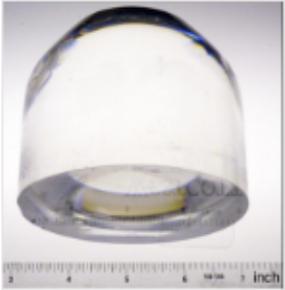
**Necessario nuovo esperimento con NaI(Tl): SABRE**

# L'esperimento SABRE

## Una verifica indipendente dal modello del risultato di DAMA

- 1) Cristalli ultra-puri
- 2) Tubi fotomoltiplicatori con elevata efficienza quantica e basso fondo
- 3) Rimozione attiva del fondo
- 4) Doppio rivelatore nei 2 emisferi

### 1) Cristalli ultra-puri:

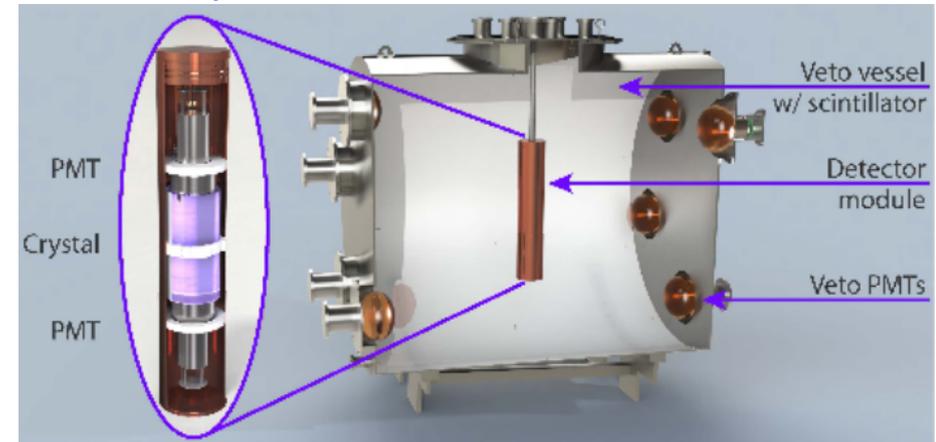


### 2) Tubi fotomoltiplicatori con elevata efficienza quantica (>30%) e basso fondo

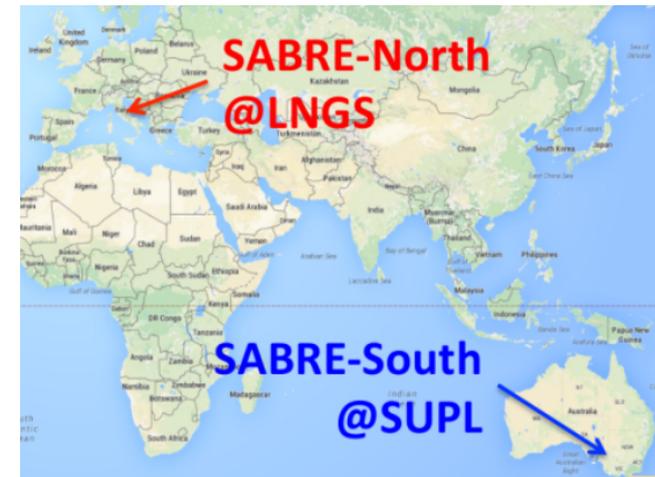
↓  
Abbassamento della soglia energetica

Scopo: investigare regione 1-6 keV con un fondo notevolmente inferiore rispetto agli attuali esperimenti che usano cristalli NaI (ANAIS, COSINE)

### 3) Rimozione attiva del fondo



### 4) Rivelatori gemelli nei due emisferi:

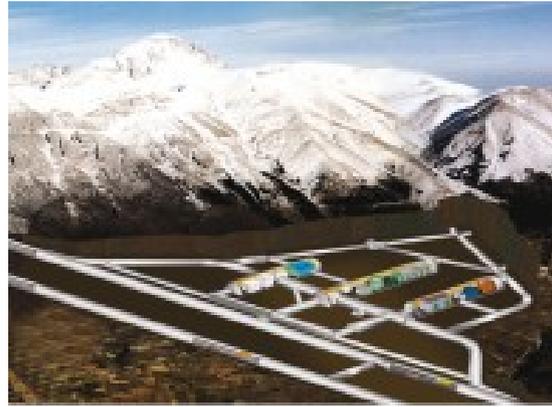


Individuazione di fondi con modulazione stagionale

# SABRE Proof-of-Principle (PoP)

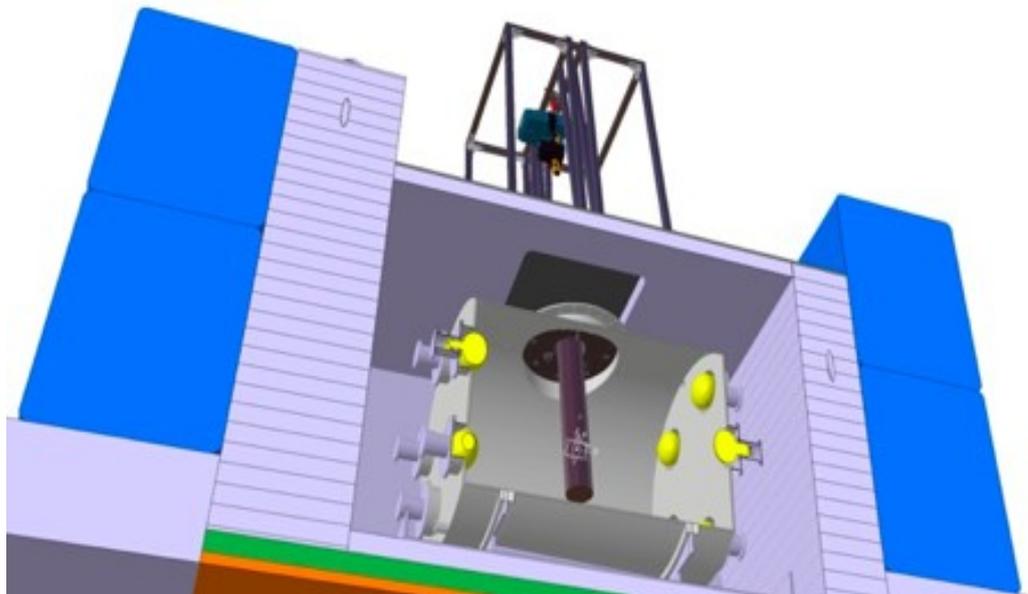
Situato presso i Laboratori Nazionali del Gran Sasso (LNGS), sala C:

- copertura: 3800 m acqua equivalente



## Scopo:

- Misurare il potere di reiezione del veto ( $^{40}\text{K}$  e  $^{22}\text{Na}$ )
- Caratterizzare i fondi cosmogenici ed intrinseci ( $^{87}\text{Rb}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^3\text{H}$ , catene di  $^{238}\text{U}$  e  $^{232}\text{Th}$ )



## Configurazione:

- 1 cristallo NaI(Tl) da 5.5 kg, accoppiato direttamente a 2 tubi fotomoltiplicatori collocati in un contenitore di rame ultra-puro
- veto attivo: cilindrico ( $\varnothing \times h$ ) = (1.40 m x 1.50 m)
- scintillatore liquido da Borexino PC+PPO (massa  $\approx$  2 tonnellate)
- 10 fototubi
- schermatura esterna: combinazione di acqua, polietilene e piombo. Lo spazio interno è sigillato e flussato con azoto per evitare il fondo dovuto al radon.

**Inizio presa dati prevista nell'estate 2018**

# Sensibilità di SABRE

## IPOTESI:

1) Alone classico di Materia Oscura: sferico, isoterma, distribuzione maxwelliana di velocità,

$$\rho_{\text{WIMP}} = 0.3 \text{ GeV/cm}^3, v_{\text{SUN}} = 232 \text{ km/s}, \sigma_v = 220 \text{ km/s}, v_{\text{esc}} = 544 \text{ km/s}$$

MNRAS445,3133–3151 (2014)  
J.Phys. G41 (2014) 063101

2) Urto elastico su nucleo, indipendente dallo spin, fattore di forma nucleare di Helm

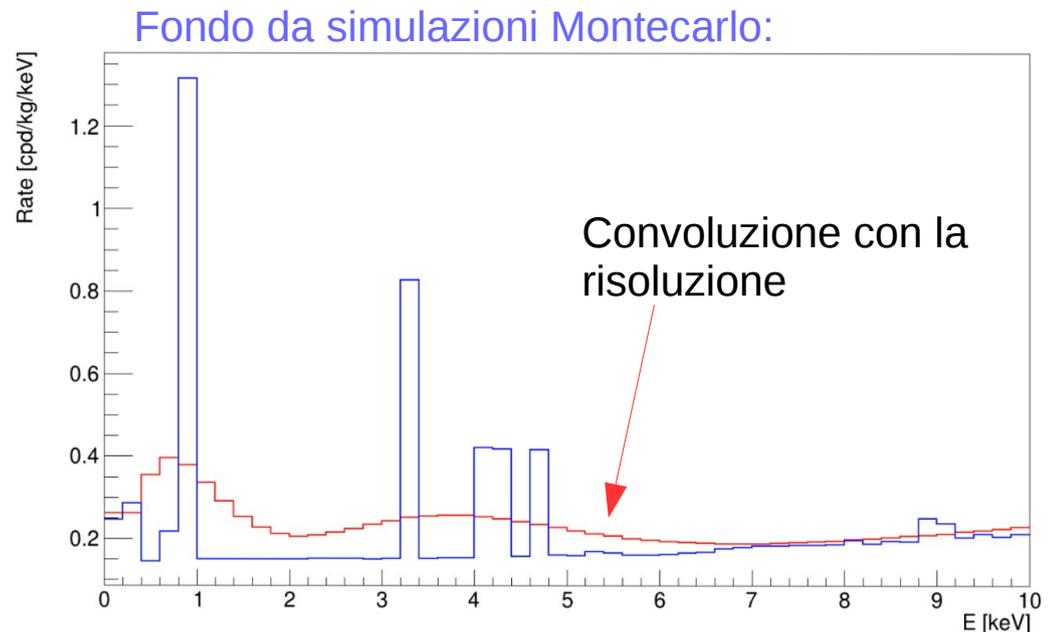
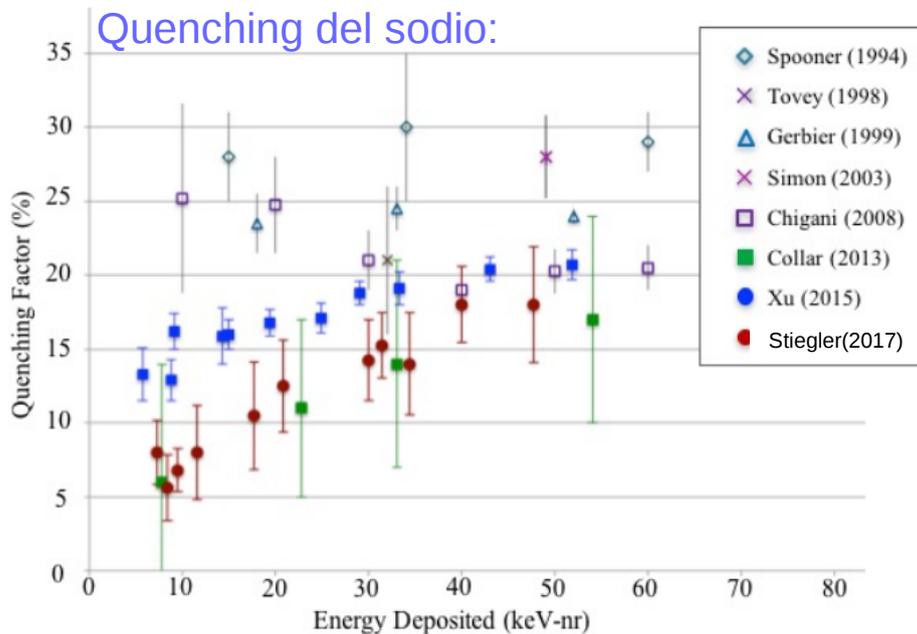
- Massa bersaglio: **50 kg NaI(Tl)**

- Tempo di esposizione: **3 anni**

- Finestra energetica: **2-6 keV**

- Risoluzione energetica :  $\frac{\sigma(E)}{E} = 0.0091 + 0.488/\sqrt{E}$  (NIM A, 592 297-315, 2008)

-Efficienza di rivelazione:  $\sim 0.65$  a 2 keV, incremento lineare fino a 8 keV, poi  $\sim 1$  (JINST, 7 P03009, 2012)



arXiv:1706.07494 (2017)

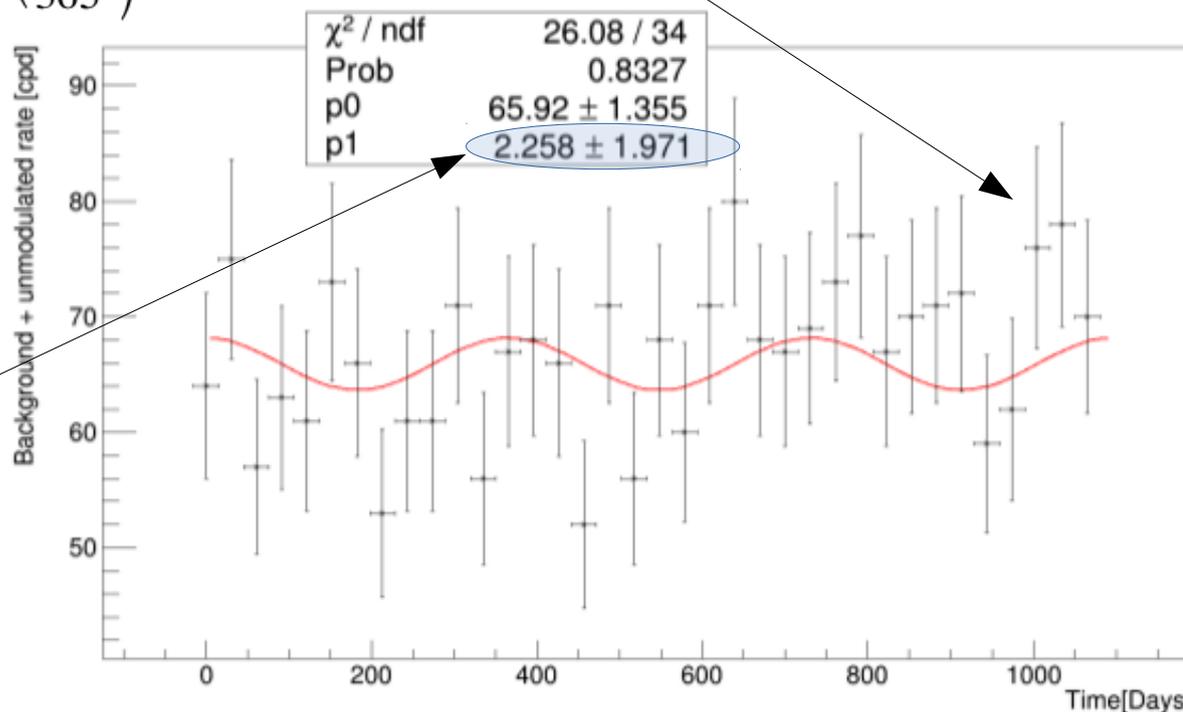
# Il metodo

Per ogni coppia ( $M_w$ ,  $\sigma_{SI,n}$ ) tra (1 GeV – 1TeV), ( $10^{-42}$  –  $10^{-37}$  cm<sup>2</sup>)

- Si divide l'intervallo energetico 2-6 keV in 8 bin di larghezza 0.5keV
- Si calcola il segnale modulato, quello non modulato e il fondo in ogni bin
- Si simula un segnale per un periodo di 3 anni estraendo il valore mensile da una distribuzione di Poisson centrata sul segnale di (fondo + non modulato)

- Fit con funzione:  $y = c + A \cos\left(\frac{2\pi}{365}t\right)$

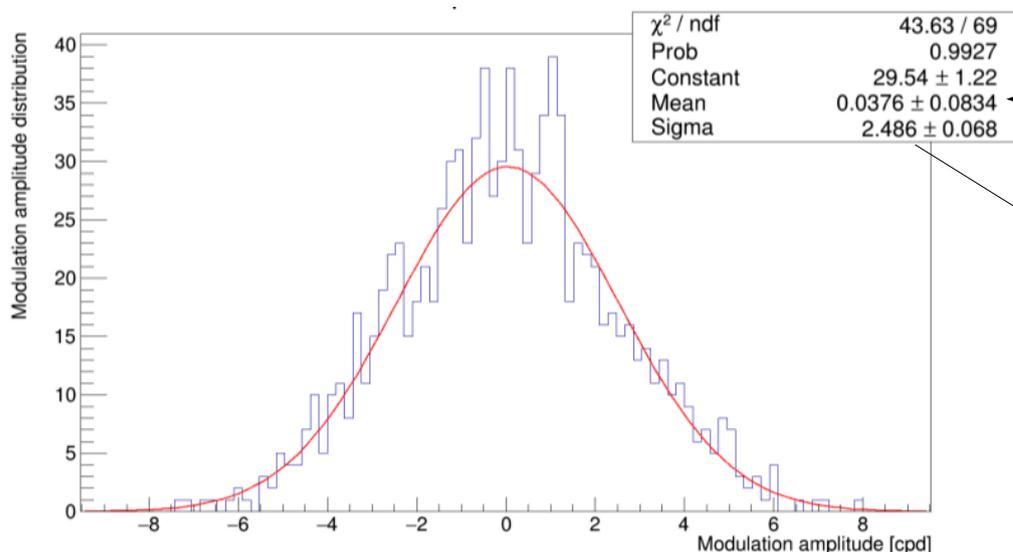
Segnale di Materia Oscura



Ampiezza compatibile con 0

# Il metodo

- Si ripete 1000 volte la simulazione ed il rispettivo fit
- Le 1000 ampiezze della funzione di fit si distribuiscono in maniera gaussiana attorno a 0



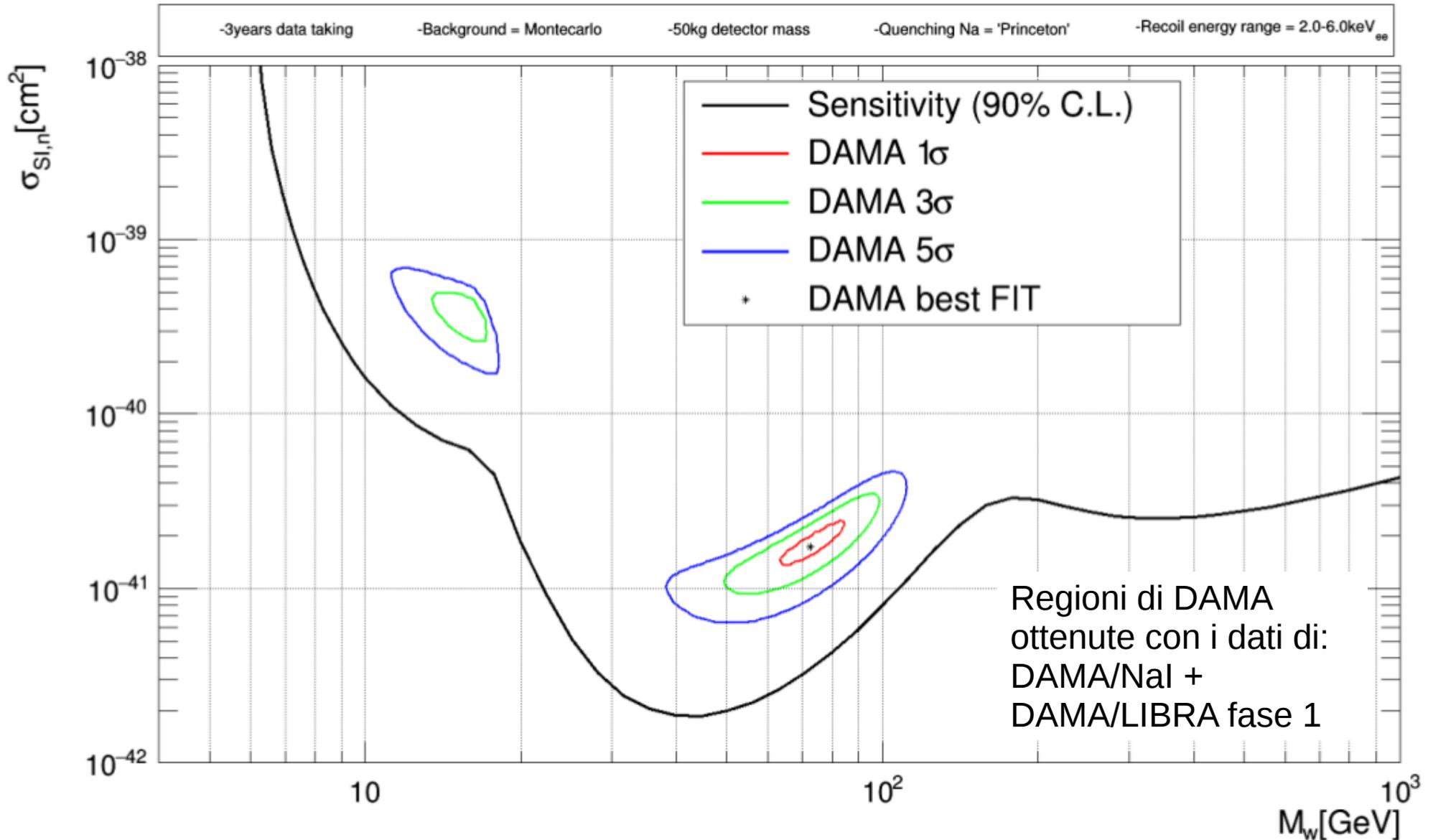
Ampiezza mediamente 0

- Si calcola per ogni  $(M_w, \sigma_{SI,n})$  il  $\chi^2$  tra l'ampiezza di modulazione e l'ampiezza dei fit:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{N_{bin}} ((R_{m,i} - 0) / \sigma_i)^2$$

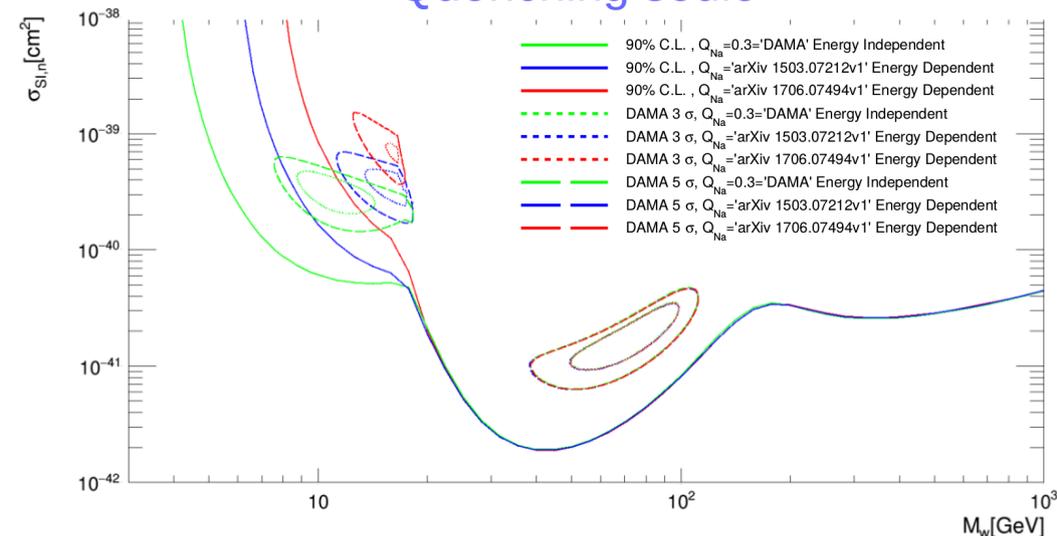
- La sezione di questo grafico 3D a  $\chi^2 = 2.71$  fornisce la curva al 90% C.L.

# Curva di sensibilità al 90% C.L.

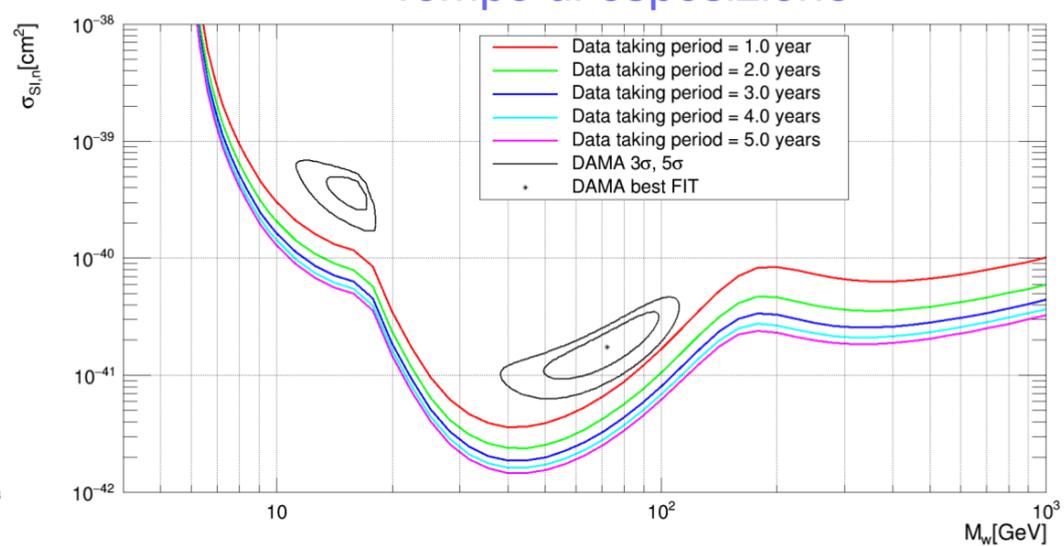


# Studio dei parametri

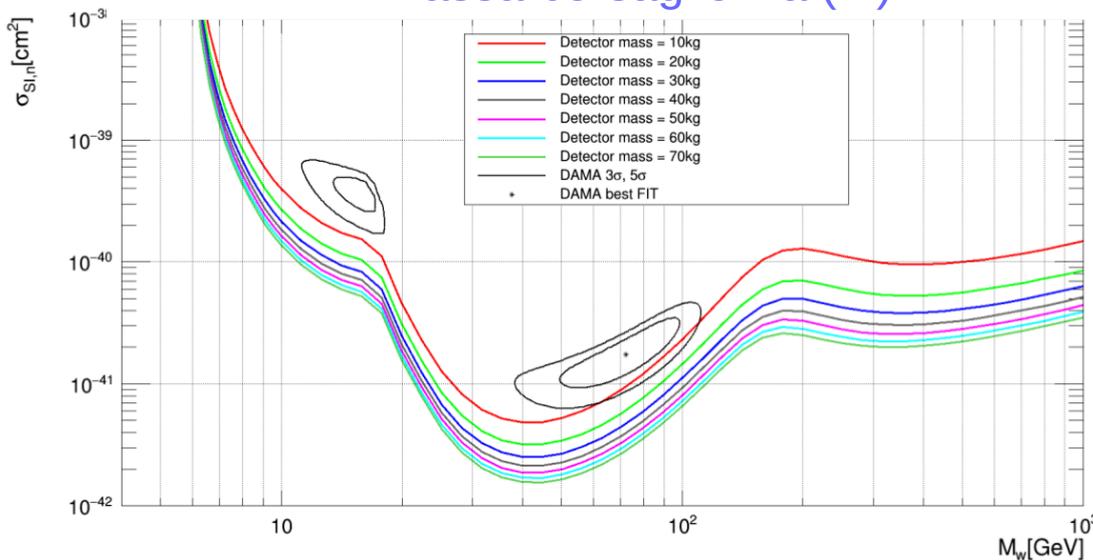
## Quenching sodio



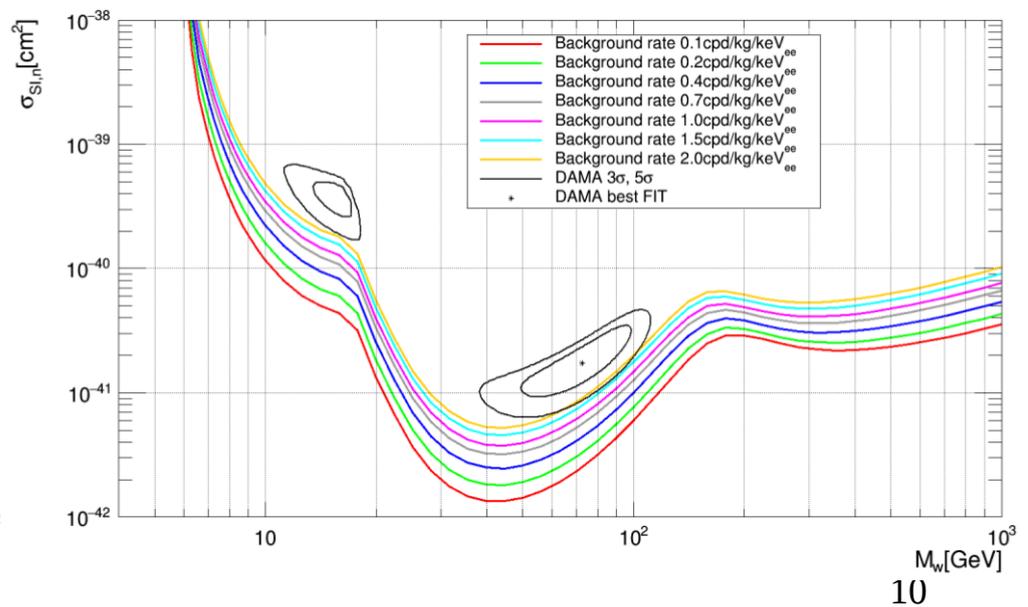
## Tempo di esposizione



## Massa bersaglio NaI(Tl)



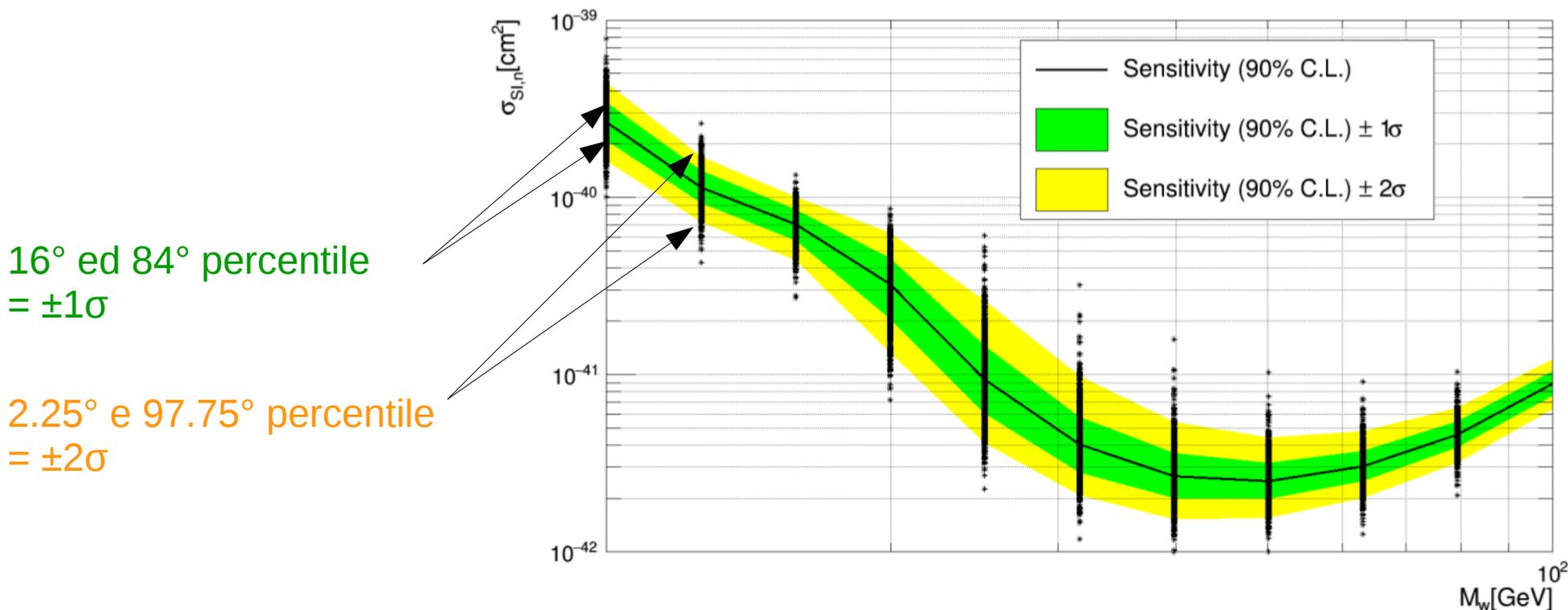
## Livello di fondo



# Studio delle sistematiche

## Il metodo:

- Consideriamo un parametro con errore associato
- Ricalcoliamo la sensibilità (tipicamente 200 volte) facendo variare tale parametro nell'intervallo di incertezza
- Per ogni valore di massa della WIMP si ottiene una distribuzione di valori di sezione d'urto



# Incertezze considerate

Le sistematiche considerate sono:

**1 - Fattore di quenching del sodio:**

- Fit lineare dei valori sperimentali
- Parametri variati all'interno degli intervalli di errore del fit

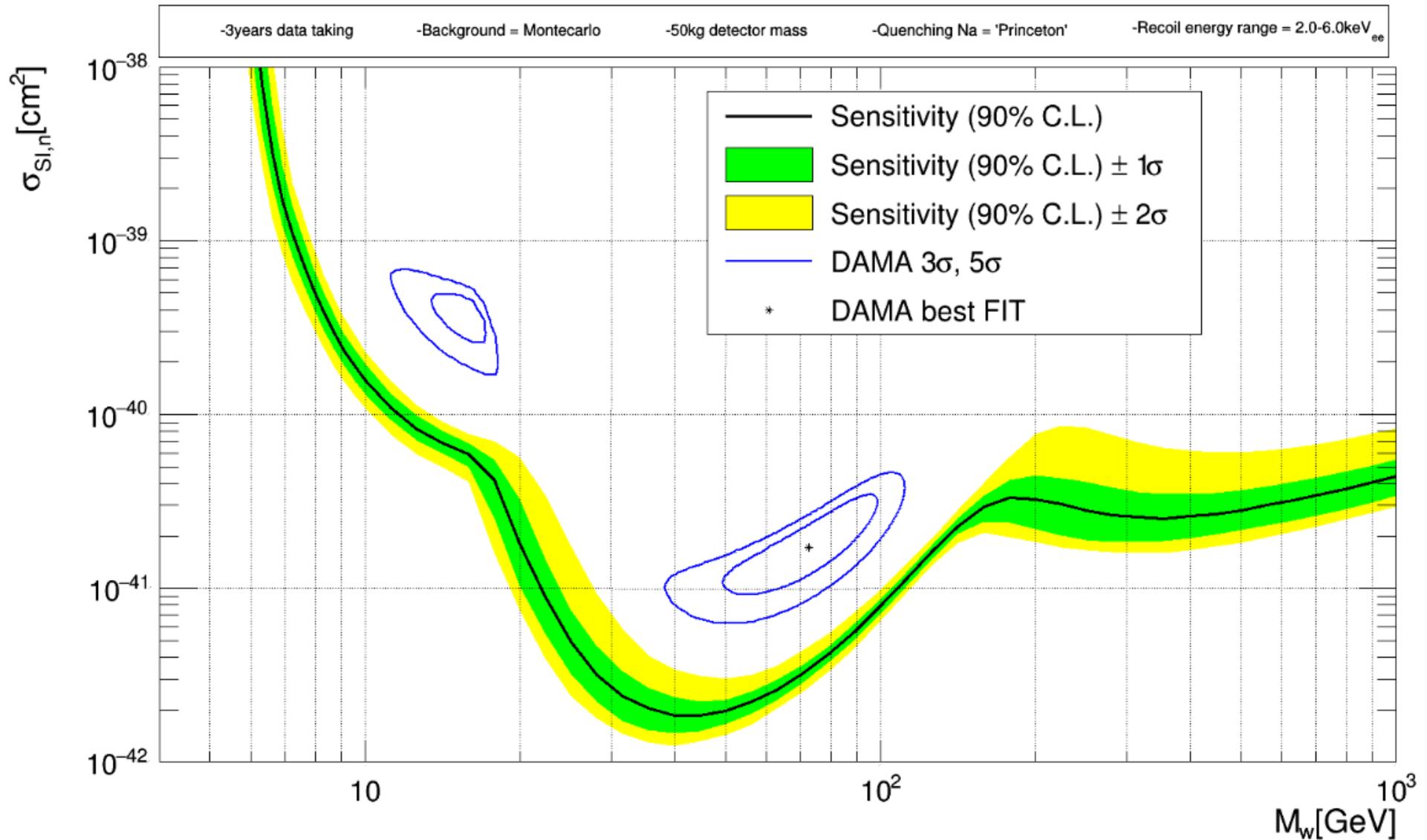
**2 - Fattore di quenching dello iodio:** Estrazione gaussiana ( $\mu = 0.09$ ,  $\sigma = 0.01$ ) ArXiv:0911.3041 (2009)

**3 – Risoluzione energetica:** Estrazione dei parametri da una gaussiana con  $\sigma = 25\%$

**4 – Efficienza di rivelazione:** Estrazione in un intervallo corrispondente a possibili rese di luce del rivelatore

**5 – Livello di fondo:** Estrazione gaussiana del fondo simulato con incertezza del 30%

# Sistematiche e bande di errore



# Conclusioni

- Il risultato di DAMA non è ancora stato verificato. Una verifica indipendente dal modello necessita di un esperimento con NaI(Tl).
- SABRE può fornire una tale verifica attraverso:
  - Cristalli ultra-puri di NaI(Tl)
  - Una bassa soglia energetica
  - Un sistema attivo di rimozione del fondo
  - Una coppia di rivelatori posti nei due emisferi
- L'esperimento è attualmente in una fase Proof-of-Principle presso i LNGS, l'inizio dell'acquisizione dati è programmato per l'estate 2018
- Abbiamo studiato la sensibilità dell'esperimento in maniera esaustiva:
  - Considerando le possibili configurazioni dell'esperimento
  - Includendo le sistematiche attese
  - Tracciando la curva di sensibilità per interazioni indipendenti dallo spin delle WIMP coi nuclei
- L'esperimento SABRE potrà confermare o rigettare il risultato di DAMA con alta significatività dopo 3 anni di acquisizione dati e con una massa di 50 kg di NaI(Tl)

## Grazie per l'attenzione



# SABRE Collaboration



Australian National University  
Swinburne University  
University of Adelaide  
University of Melbourne



LNGS & GSSI  
INFN Rome  
University of Milano & INFN



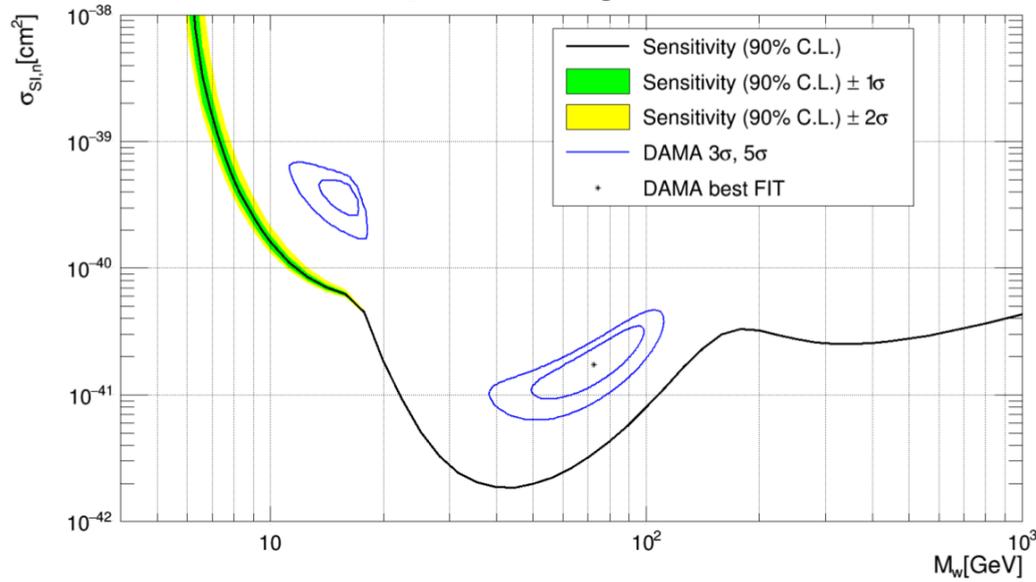
LLNL  
PNNL  
Princeton University



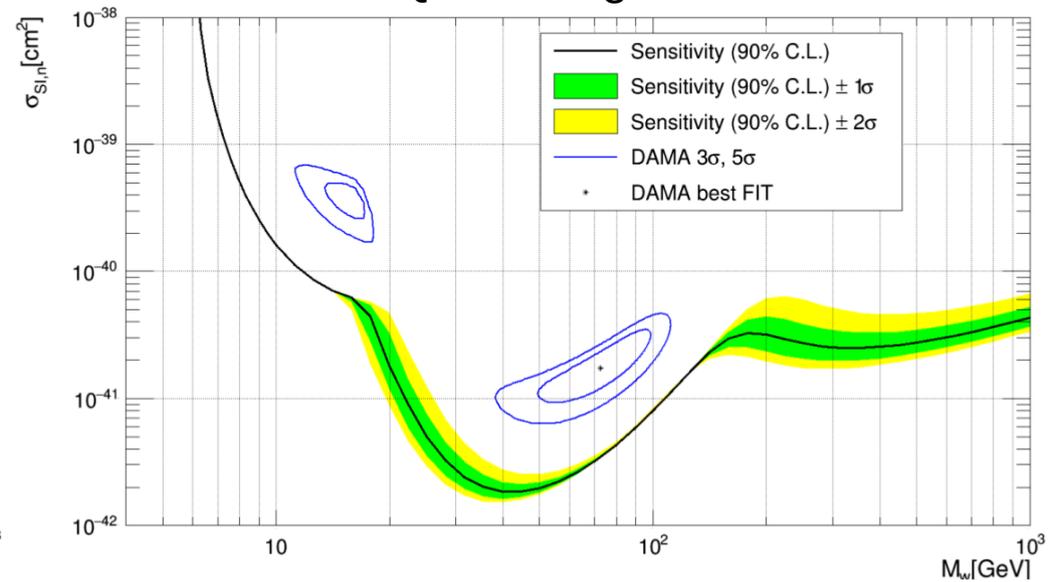
# Backup

# Sistematiche e bande di errore

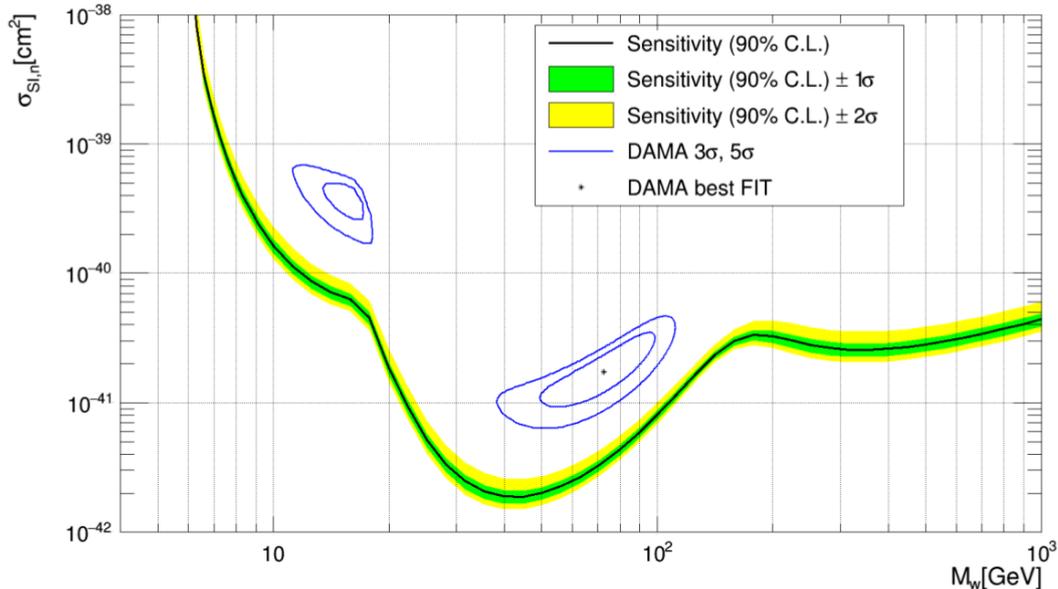
## Quenching sodio



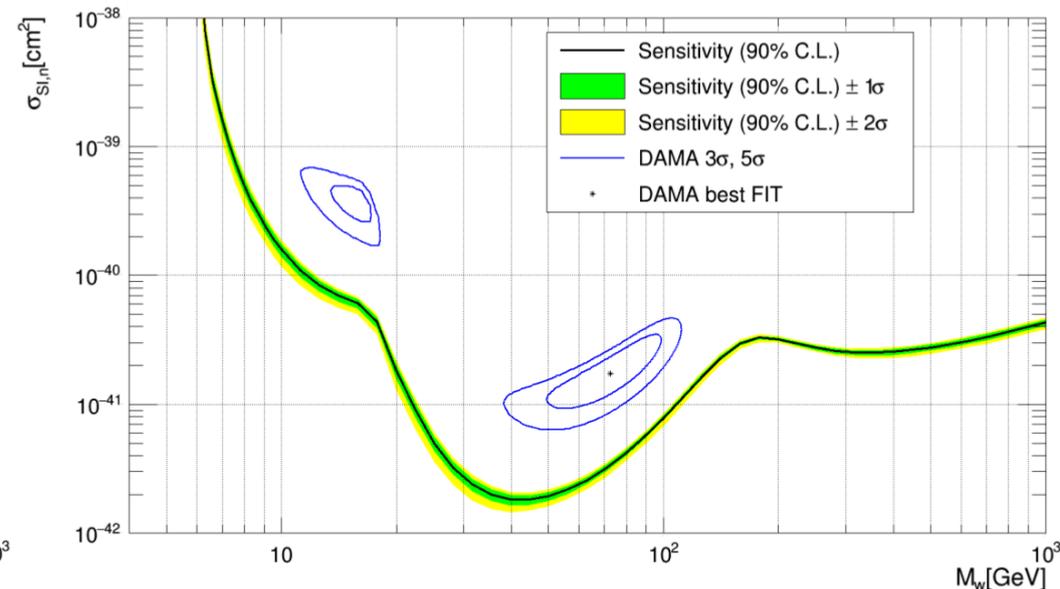
## Quenching iodio



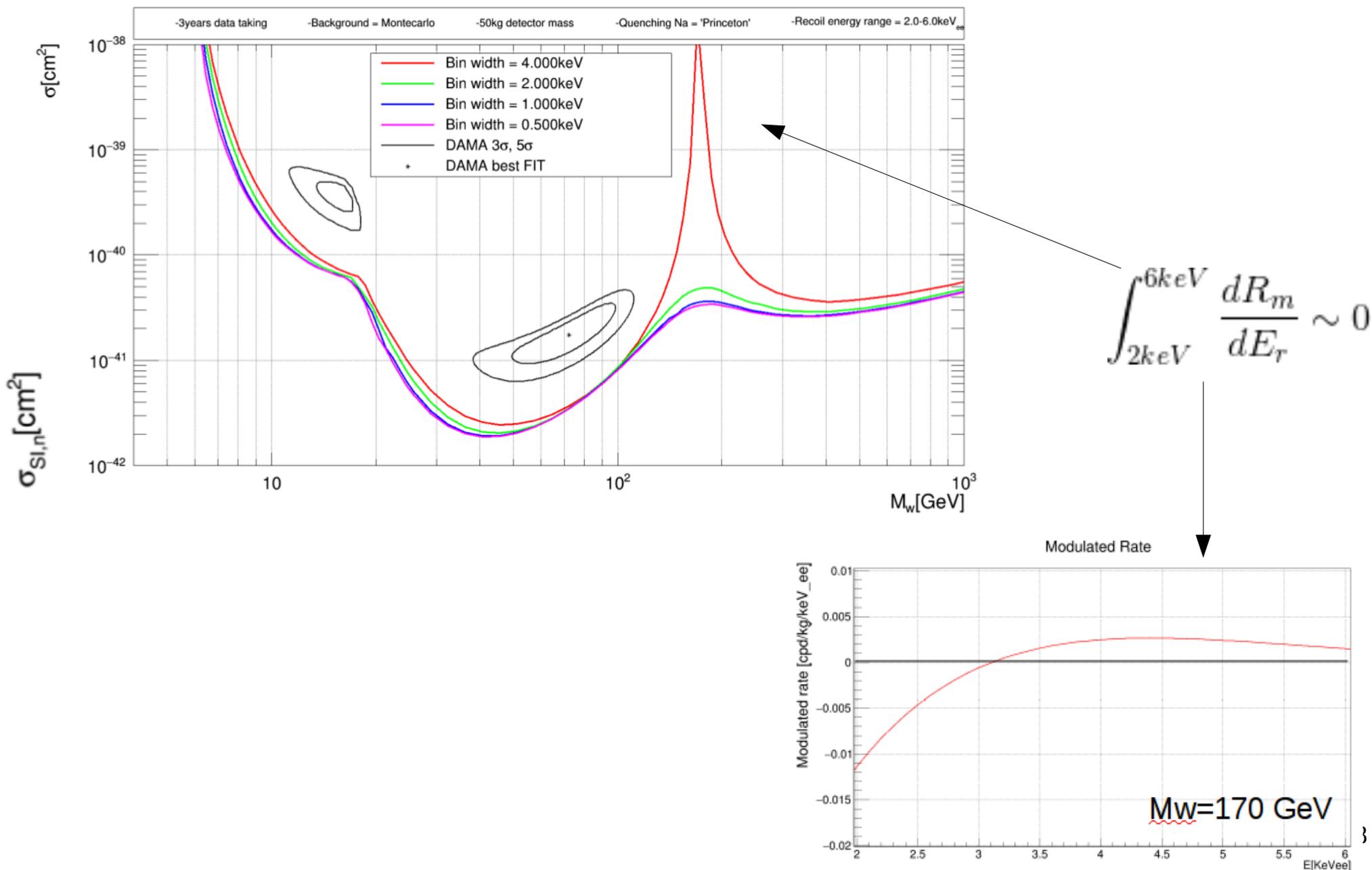
## Efficienza



## Fondo



# Bin energetici



# DAMA Livello di Confidenza Conferma/Smentita

Distribuzione delle ampiezze dall'interpolazione sinusoidale ottenuta:

- 50000 eventi simulati
- Fondo pari a 0.3 conteggi/giorno/kg/keV

