

L'esperimento **HOLMES**



IFAE 2018 – XVII edizione degli Incontri di Fisica delle Alte Energie

Milano, 4-6 Aprile 2018
Edificio U4, Aula 08
Piazza della Scienza 4

Frontiera Energia
Frontiera Intensità
Cosmologia e Astroparticelle
Nuove Tecnologie

INFN
MILANO BICOCCA

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO BICOCCA

Comitato Scientifico
Diego Bettoni, Walter Bonivento, Conorzio Bozzi, Claudia Cecchi, Giorgio Chiarelli, Eugenio Cocchi, Pietro Colangelo, Fabia De Fazio, Giuseppe Della Ricca, Anna Di Ciacco, Fabrizio Febbrì, Speranza Falcano, Fernando Ferretti, Emidio Gabrielli, Pasquale Lubrano, Antonio Masiero, Leonardo Marola, Stefano Ragazzi, Giulia Ricciardi, Sergio Saitta, Luca Trentadue (chair), Alessia Tricomi, Vincenzo Vagnoni, Francesco Vissani, Antonio Zoccolì.

Comitato Organizzatore Locale
Simone Alioli, Chiara Brofferio, Marta Calvi, Monica Colpi, Alessio Ghezzi, Giancarlo Ghirlanda, Pietro Govoni, Sandra Malvezzi, Clara Matteuzzi, Dario Menasce, Carlo Oleari, Marco Paganoni, Maura Pavan, Daniele Pedrini, Michele Pepe, Elio Previsali, Tommaso Tabarelli de Fatis, Veronica Valsecchi.

Sito web: <http://ifae2018.mib.infn.it>

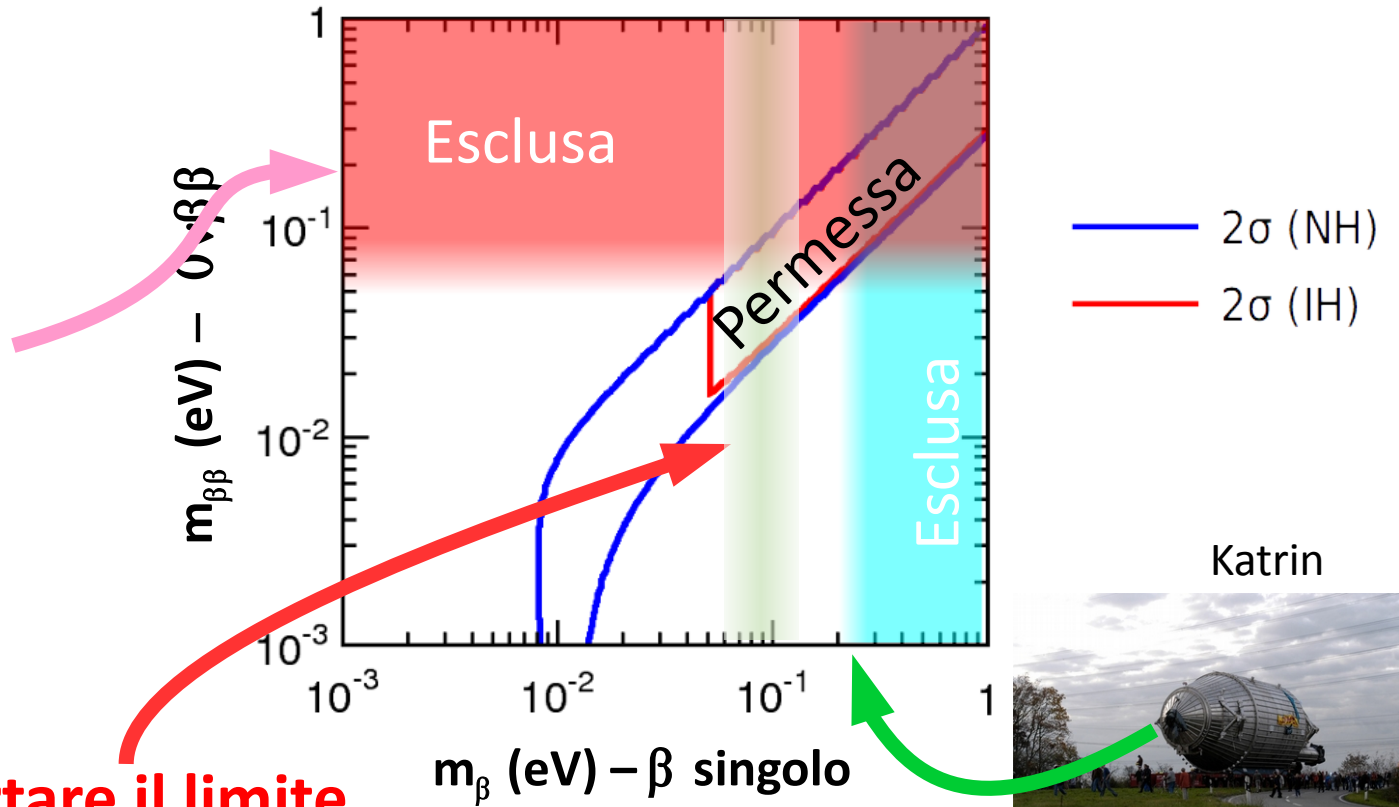
Andrei Puiu
per conto della collaborazione HOLMES



IFAE, 6 Marzo 2018
Andrei Puiu



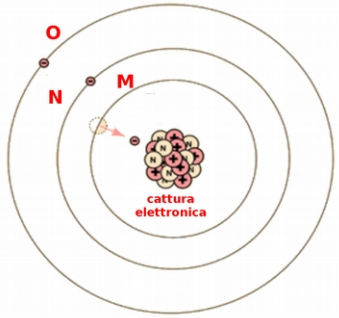
Misura della massa del neutrino



Come portare il limite sotto 0.1 eV ?



Misura calorimetrica con ^{163}Ho

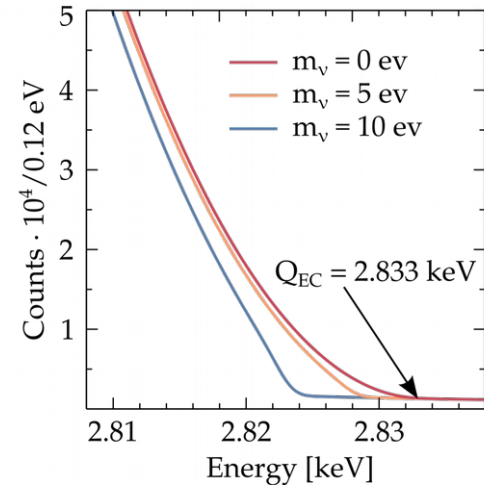
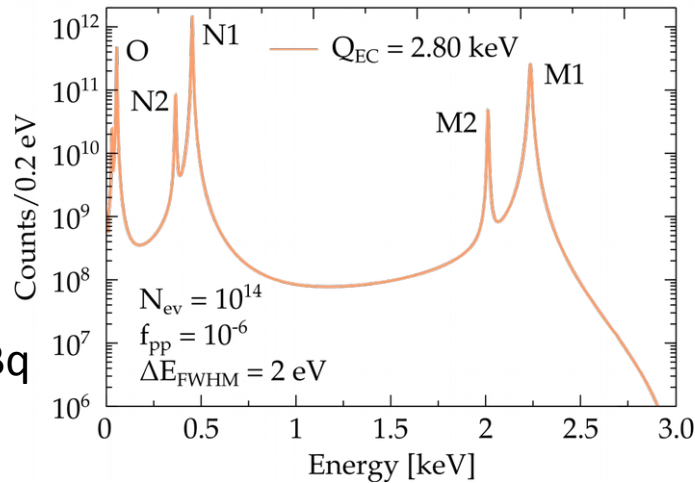


^{163}Ho decade con cattura elettronica (EC) da shell $\geq M1$, con $Q_{\text{EC}} \sim 2.8\text{keV}$

Prima proposta di A. De Rujula e M. Lusignoli, *Phys. Lett. B* 118 (1982) 429

$$\frac{d\lambda_{\text{EC}}}{dE_c} = \frac{G_{\beta}^2}{4\pi^2} \left[(Q - E_c) \sqrt{(Q - E_c)^2 - m_{\nu}^2} \right] \times \sum_i n_i C_i \beta_i^2 \frac{\Gamma_i}{2\pi (E_c - E_i)^2 + \Gamma_i^2/4}$$

- misura calorimetrica degli elettroni di diseccitazione del Dy
- Vicinanza della Shell M1 alla coda dello spettro aumenta il tasso di eventi nella regione di interesse per la misura di m_{ν}
- $\tau_{1/2} \sim 4570$ anni: 2×10^{11} nuclei $^{163}\text{Ho} = 1 \text{ Bq}$



Sensibilità per m_ν e pile-up

In una misura calorimetrica il fondo principale è dato dagli eventi di pile-up irrisolti

- eventi che avvengono a distanza temporale minore della ris. temporale del rivelatore (τ_R)

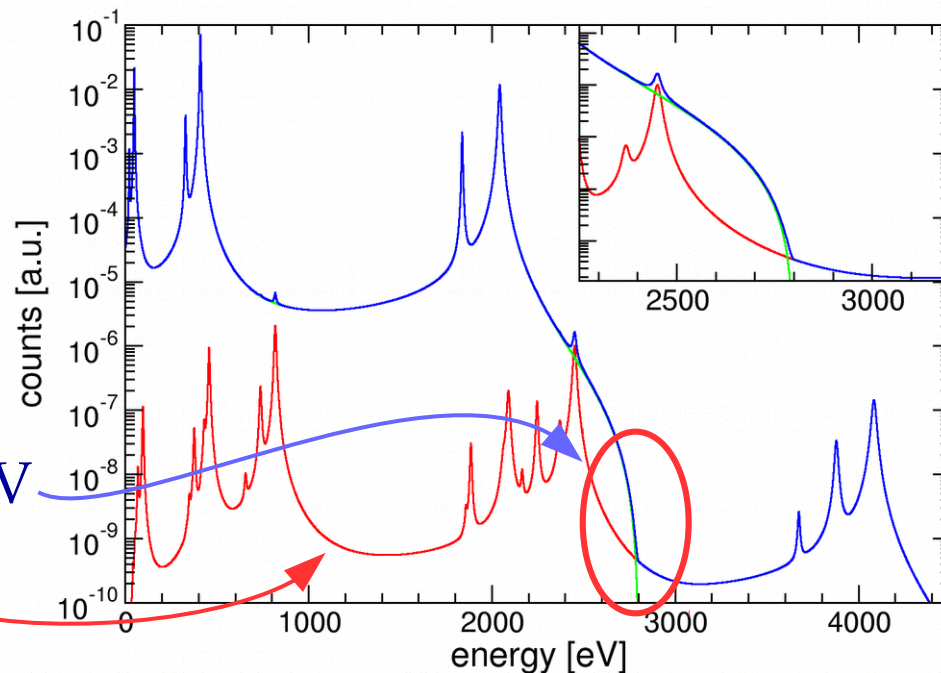
- limite all'attività massima impiantabile in ciascun rivelatore (A_{EC})

$$N_{pp}(E) = f_{pp} N_{EC}(E) \otimes N_{EC}(E) \text{ with } f_{pp} \approx A_{EC} \tau_R$$

Rivelatori rapidi $\sim 10 \mu\text{s}$ tempo di salita

Attività limitata $\sim 300 \text{ Bq/riv}$

→ Grandi matrici di rivelatori ~ 1000

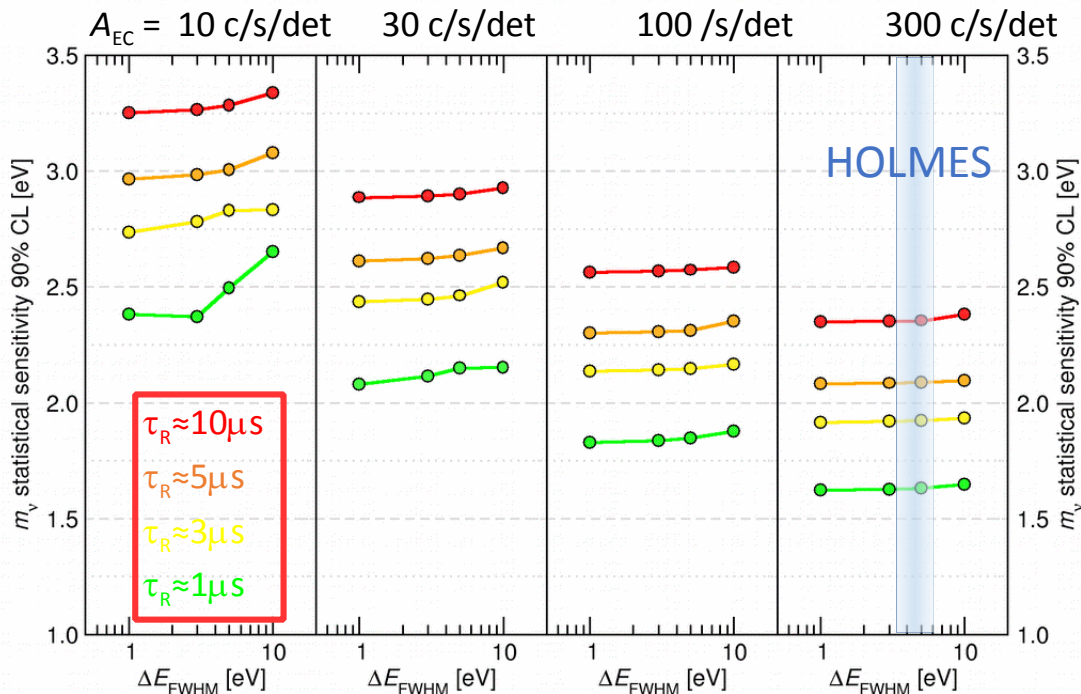


$Q = 2800 \text{ eV}$

$f_{pp} = 10^{-4}$

Sensibilità di HOLMES

MonteCarlo per 1000 riv x 3 anni



(ERC-Adv. Grant 340321) PI:S.Ragazzi

IFAE, 6 Marzo 2018
Andrei Puiu

Scopo di HOLMES:

- Misura della massa del neutrino con sensibilità $\sim 1 \text{ eV}$
- Dimostrare la solidità della tecnica calorimetrica per la misura della massa
- Misura precisa di Q
- Studio delle sistematiche

Esperimento in due fasi:

- Misura con 64 rivelatori, $t_M = 1 \text{ mese}$ ($m_\nu < 10 \text{ eV}$)
- Misura finale: 1000 canali, 3×10^{13} events raccolti in 3 anni
- 6.5×10^{16} nuclei di ^{163}Ho ($\approx 18 \mu\text{g}$)

Progetto quinquennale. Inizio: Febbraio 2014

Produzione di ^{136}Ho



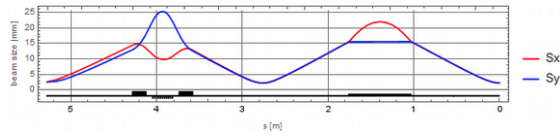
- Reattore ILL a Grenoble: alto flusso di $n \ 1.3 \times 10^{15} \text{ n/cm}^2/\text{s}$
- Sezione d'urto di burn-up $^{163}\text{Ho}(n,\gamma)^{164}\text{Ho}$ non trascurabile ($\sim 200 \text{ b}$)
- $^{165}\text{Ho}(n,\gamma)$ (da $^{164}\text{Er}(n,\gamma)$) \rightarrow $^{166\text{m}}\text{Ho}$, β^- , $\tau_{1/2} = 1200 \text{ y}$, $Q = 1856 \text{ keV}$
- $A(^{163}\text{Ho})/A(^{166\text{m}}\text{Ho}) = 100 \sim 1000$
- Purificazione prima e dopo l'irraggiamento a PSI (Villigen, CH)

HOLMES needs $\sim 200 \text{ MBq}$ of ^{163}Ho

ϵ β^+ ... γ 104; 69; 241; 1434; 1397...	ϵ β^+ 2.0... γ 91; 1159; 315...	ϵ β^+ ... γ 243; 47; 297; 807...	ϵ β^+ 1.9... γ 779; 2052; 184; 1274...	ϵ β^+ ... γ 532... m	ϵ ; β^+ ... β^+ ... γ 198; 816; 447...
Er 162 0.139	Er 163 75 m	Er 164 1.601	Er 165 10.3 h	Er 166 33.503	Er 167 2.3 s 22.869
σ 19 $\sigma_{n,\alpha} < 0.011$	β^+ ... γ (1114...) g	σ 13 $\sigma_{n,\alpha} < 0.0012$	ϵ no γ	σ 3 + 14 $\sigma_{n,\alpha} < 7\text{E-5}$	γ 208 σ 850 $\sigma_{n,\alpha} < 3\text{E-5}$
Ho 161 6.7 s 2.5 h	Ho 162 68 m 15 m	Ho 163 1.1... 4570 a	Ho 164 37 m 29 m	Ho 165 100	Ho 166 1200 a 26.80 h
ϵ γ 26; 78... β^-	ϵ β^+ 1.1... γ 81; 1319... β^-	ϵ β^- ... γ 898 f no γ	ϵ β^- 1.0... γ 81; 57... β^-	σ 3.1 + 58 $\sigma_{n,\alpha} < 2\text{E-5}$	ϵ 0.07... γ 181; 810; 712 σ 8100 β^- 1.9... γ 81... β^-
Dy 160 2.329	Dy 161 18.889	Dy 162 25.475	Dy 163 24.896	Dy 164 28.260	Dy 165 1.3 m 2.35 h

Impiantazione

Sezione del fascio simulata

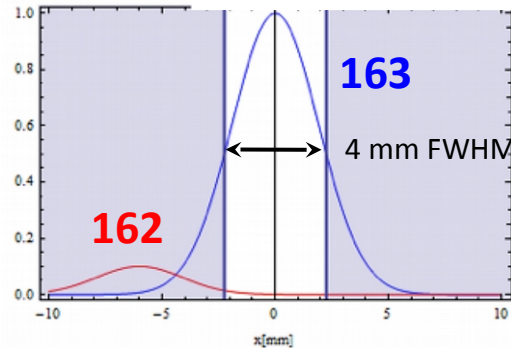


≈ 4 mm FWHM
beam size

target
chamber *

electrostatic
triplet **

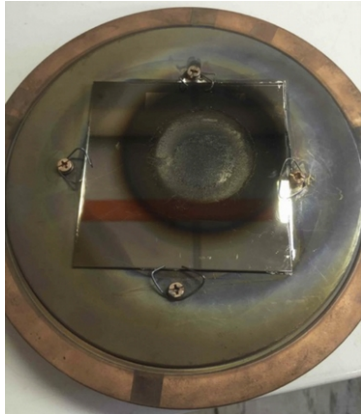
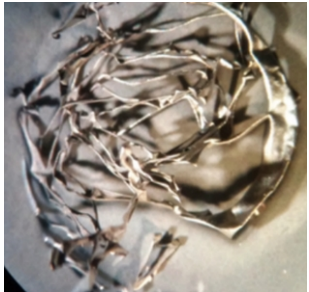
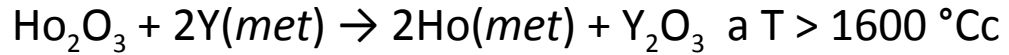
90° magnet
sputter ion source



- Tensione estrazione 30-50 kV
- Profondità impiantazione in Au 10-100 nm
- Separazione $^{163}\text{Ho}/^{166\text{m}}\text{Ho}$ maggiore di 10^5

Sorgente Ho

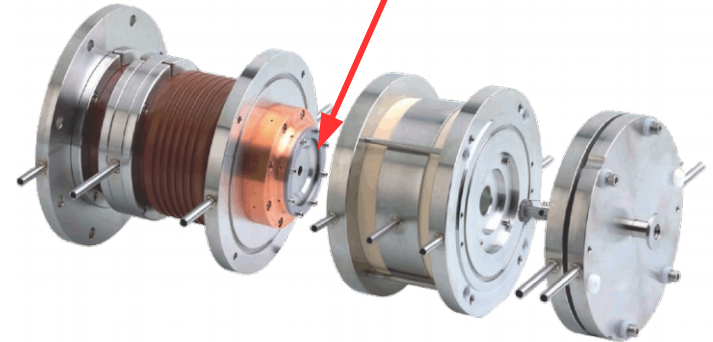
Termoriduzione/distillazione in fornace:



Ho evaporato → produzione sorgente

Produzione della sorgente di Ho:

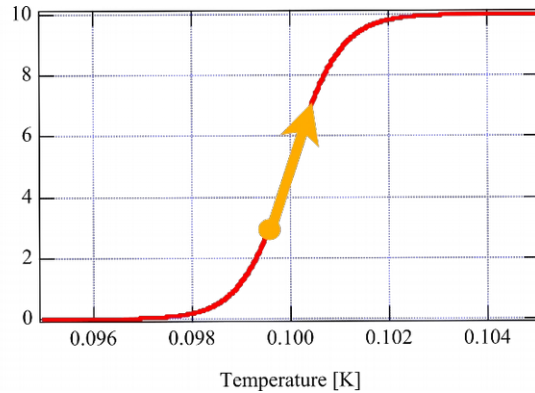
- Ho metallico mischiato con Ti e Sn
- Studio della composizione per efficienza di estrazione
- Prime prove di estrazione



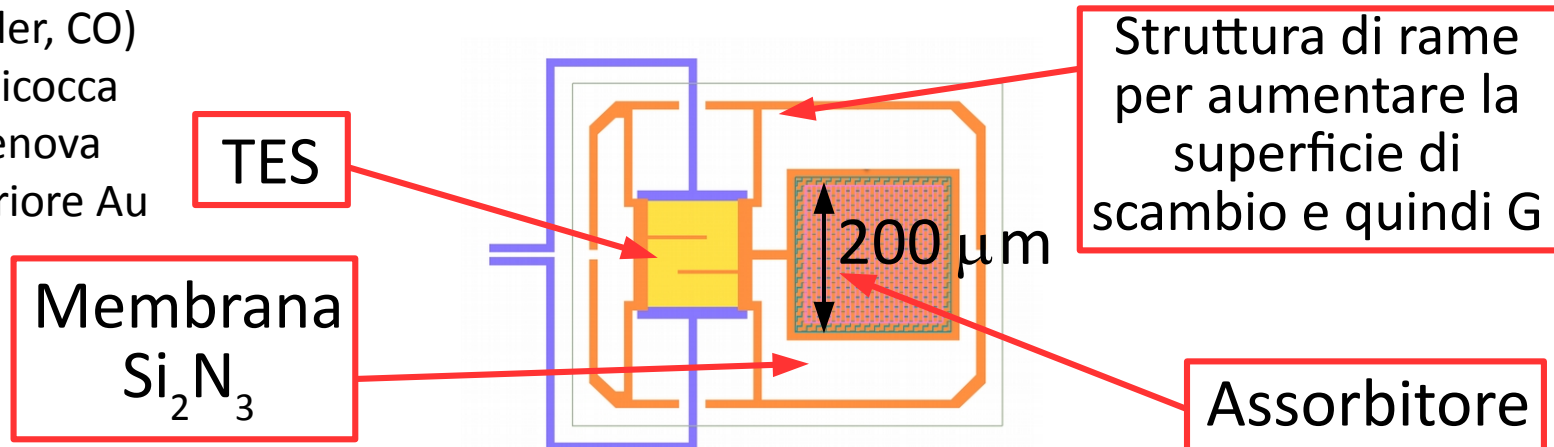
Rivelatori per calorimetria

Rivelatori superconduttori a transizione di fase (TES)

- Sfruttano la forte dipendenza della resistenza dalla temperatura
- Assorbitore di Au con Ho impiantato accoppiato al sensore
- Ho incapsulato tra due strati di Au spessi $1\ \mu\text{m}$ per assorbimento totale degli e^- emessi
- Rivelatori rapidi per ridurre il pile-up
 - tempo di salita limitato dalle caratteristiche elettriche L/R
 - tempo di discesa determinato dalle caratteristiche termiche C/G

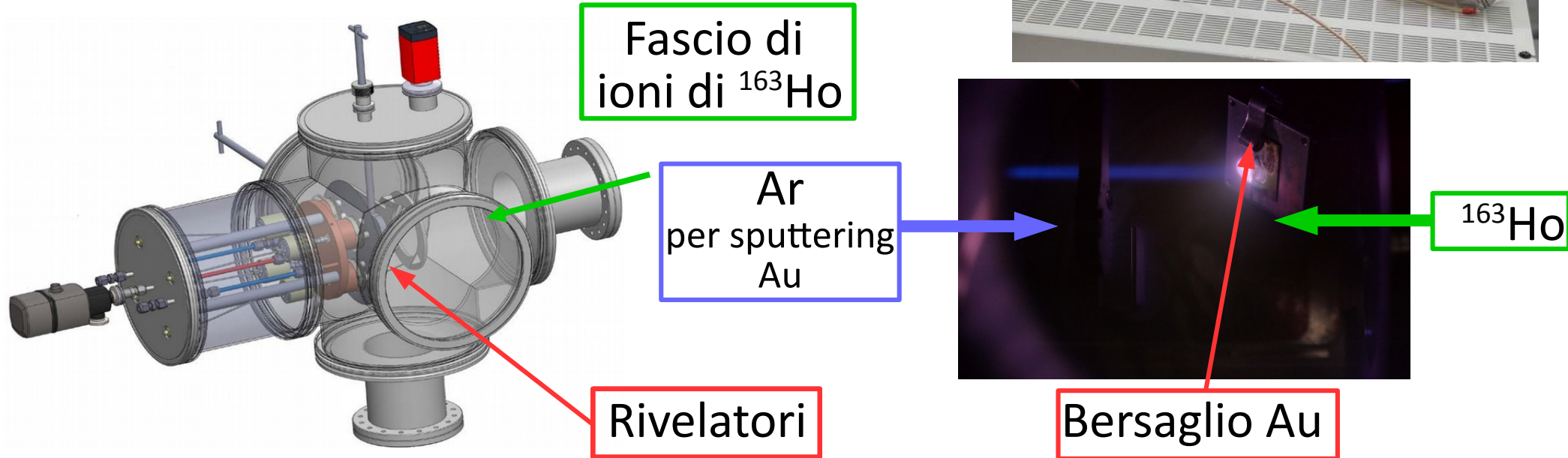
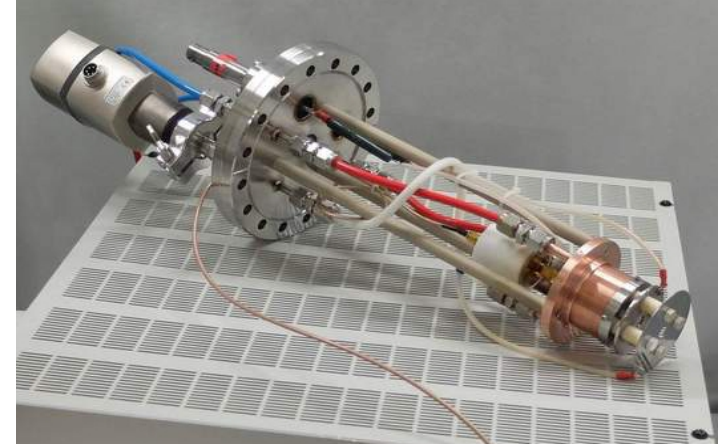


- ✓ Produzione a NIST (Boulder, CO)
- ✓ test al NIST e a Milano-Bicocca
- Da impiantare a INFN Genova
- Deposizione strato superiore Au Milano/Genova

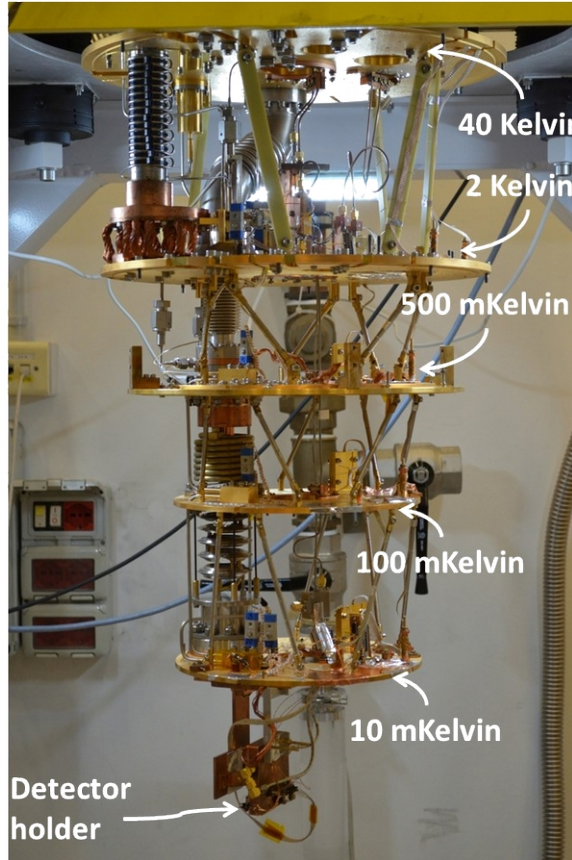


Post impiantazione

- ^{163}Ho impiantato rimuove Au dall'assorbitore
- Per compensare la perdita di strati di Au, durante l'impiantazione viene evaporato Au
- Infine viene evaporato lo strato superiore spesso $1\ \mu\text{m}$ di Au per evitare l'ossidazione del Ho

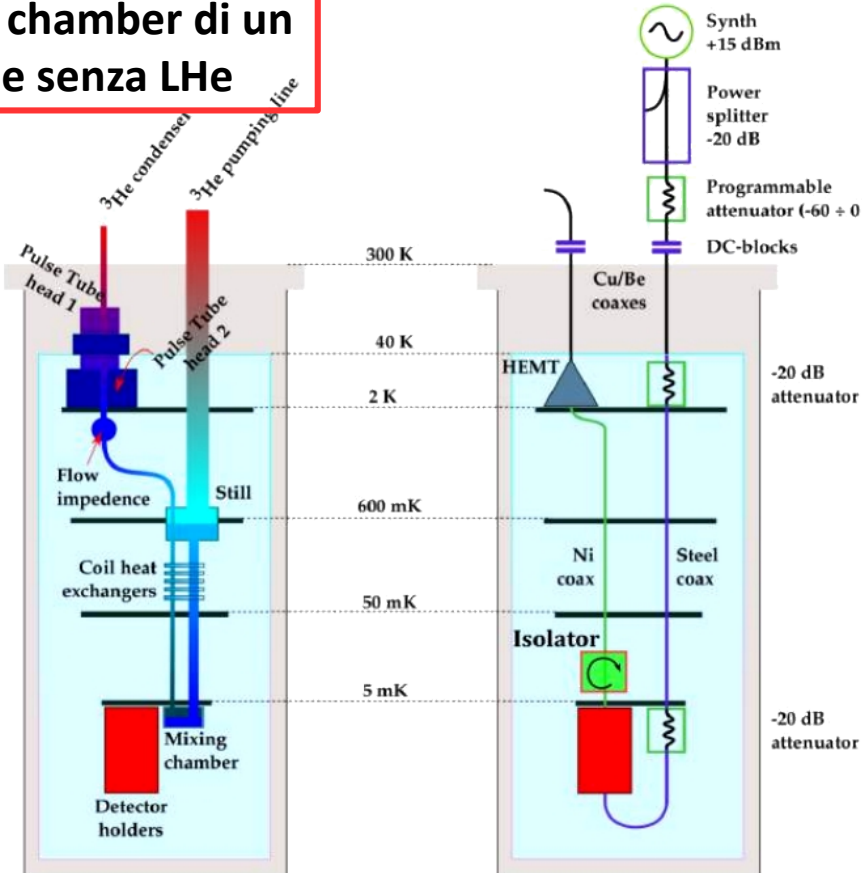


Sistema criogenico - Milano



IFAE, 6 Marzo 2018
Andrei Paiu

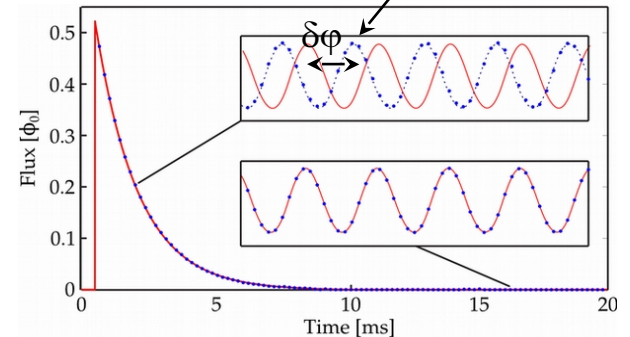
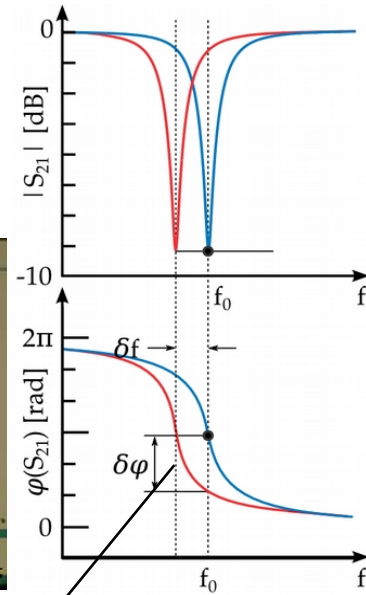
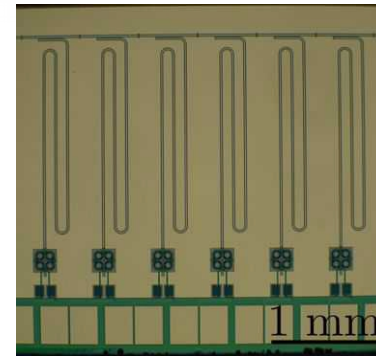
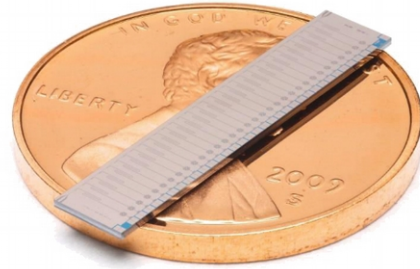
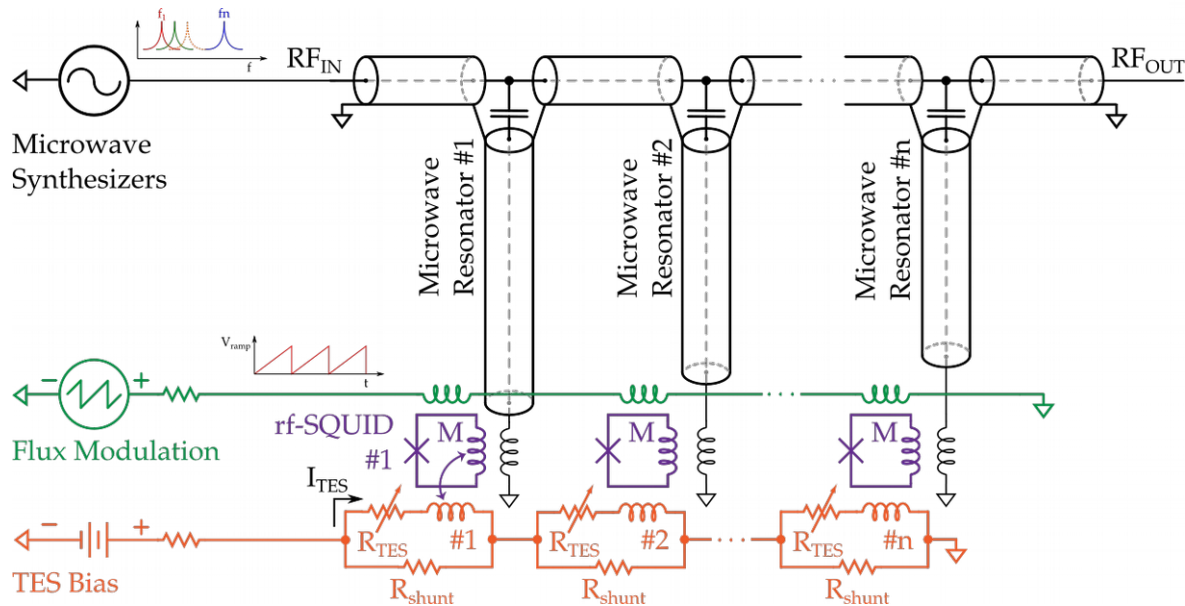
Rivelatori montati su supporto di rame
accoppiato alla mixing chamber di un
criostato a diluizione senza LHe



Letture del segnale

- Ciascun rivelatore è accoppiato induttivamente a un amplificatore SQUID
- Tutti gli SQUID sono linearizzati con una rampa comune
- Ciascuno SQUID è accoppiato a un circuito RF risonante per la lettura

$$E \rightarrow \delta T_{\text{TES}} \rightarrow \delta I_{\text{TES}} \rightarrow \delta \phi_{\text{squid}} \rightarrow \delta f_{\text{resonator}}$$

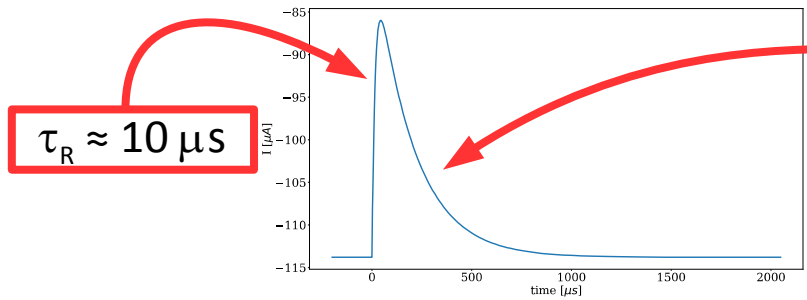


Rivelatori per HOLMES

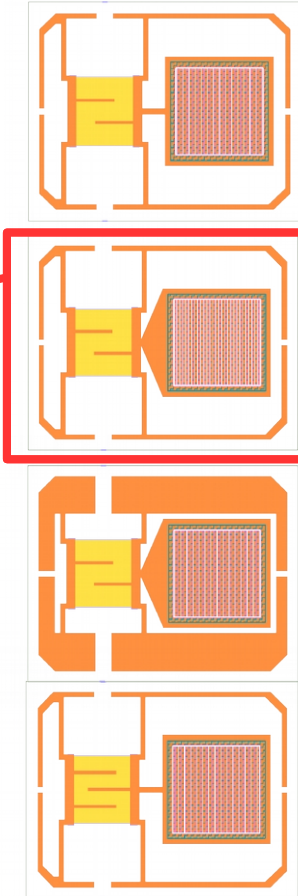
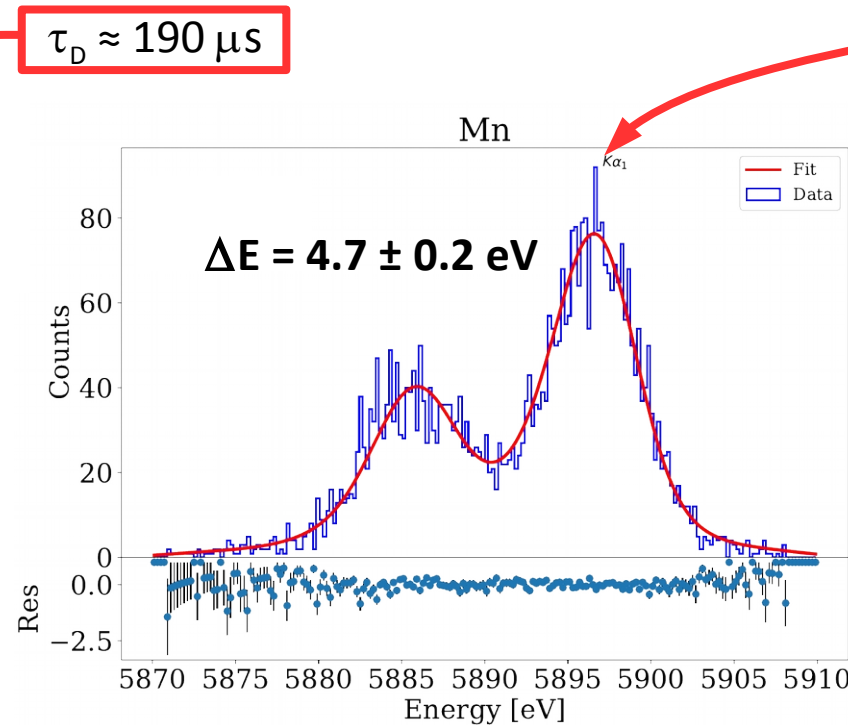
Rivelatori non impiantati

^{55}Fe (5.9 keV) + sorgente di fluorescenza (Ca – 3.7 keV; Cl – 2.6 keV; Al – 1.5 keV)

Induttanza parassita 50 nH per ottenere tempo di salita $\tau_R \approx 10 \mu\text{s}$



E [keV]	ΔE [eV]
1.49	3
2.62	4.6
3.69	4.6



Programma

Year	2018		2019	
Task	S1	S2	S1	S2
isotope production	[Yellow bar spanning S1 and S2]			
target chamber set-up and optimization	[Yellow bar spanning S1 and S2]			
ion implanter set-up and optimization	[Yellow bar spanning S1 and S2]			
full implanted TES pixel fabrication			[Yellow bar spanning S1 and S2]	
6 months measurement (64 pixels)				[Yellow bar in S2]

IFAE, 6 Marzo 2018
Andrei Puiu

Grazie per l'attenzione