

Tesi triennali in Fisica del Neutrino massa del ν

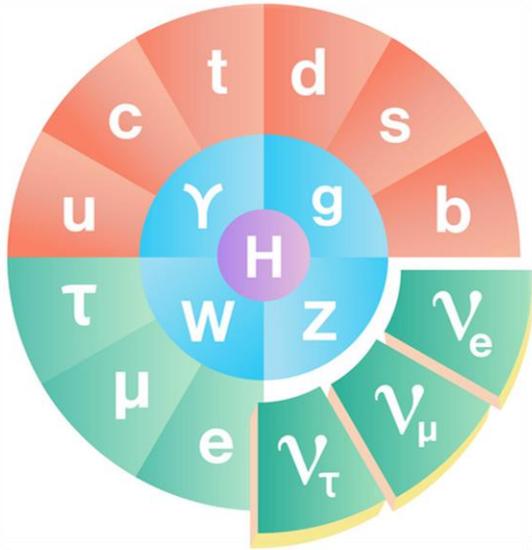
Mattia Beretta



Milano-Bicocca, 2024.01.23



Cosa pensiamo di sapere: il Modello Standard



LEPTONI

QUARK

MASSA

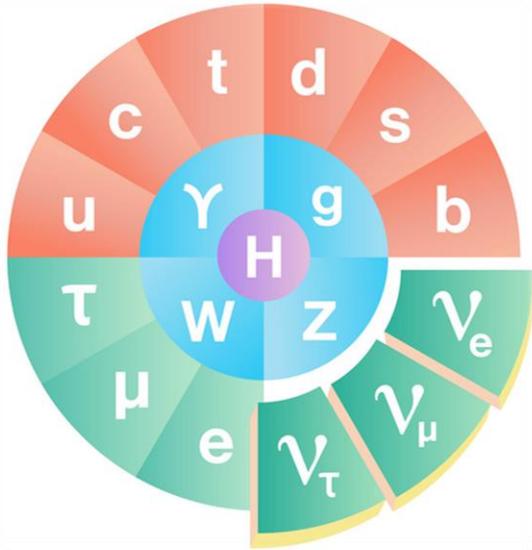
FORZE

NEUTRINI

$$m_\nu = 0$$

Solo interazione debole
bassa probabilità di interazione

Cosa pensiamo di sapere: il Modello Standard



NEUTRINI

$$m_\nu = 0$$

Solo interazione debole
bassa probabilità di interazione

Rivelatori dedicati

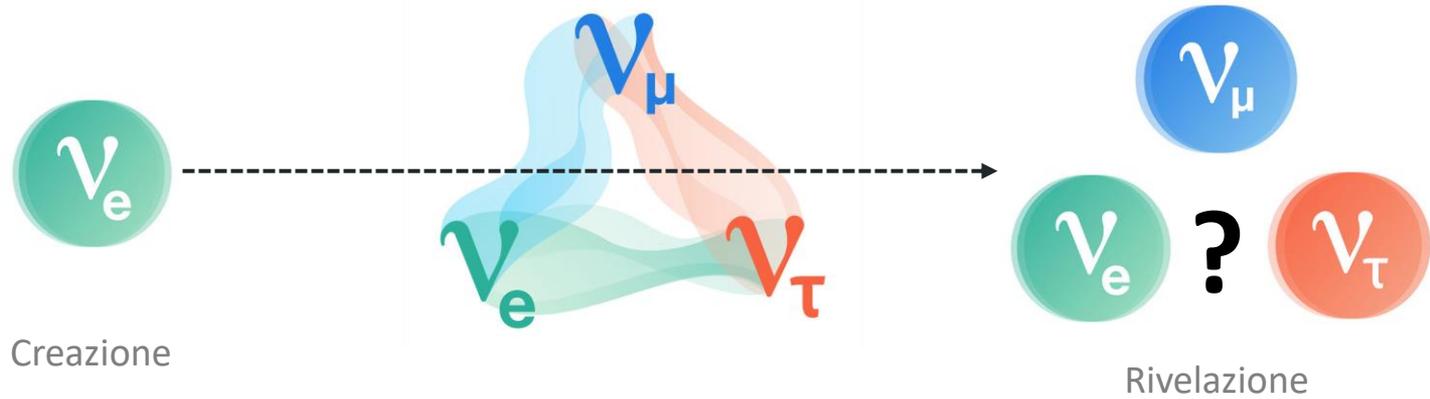
Sensibili

Grandi

Energia mancante

$$E_{\text{Misurata}} = E_{\text{Tot}} - E_\nu$$

Cosa non è incluso: oscillazioni di sapore



Base di *sapore* \neq Base di *Massa*

i neutrini hanno massa \Rightarrow Non sono *standard*

Neutrino: questioni aperte

massa

Quanto vale?
Perché è così piccola?
Da dove viene?

natura

Come li rappresento?

$$\nu \stackrel{?}{\equiv} \bar{\nu}$$

Tipi

Sono solo 3?
Neutrini non interagenti

Neutrino: questioni aperte

massa

Quanto vale?
Perché è così piccola?
Da dove viene?

natura

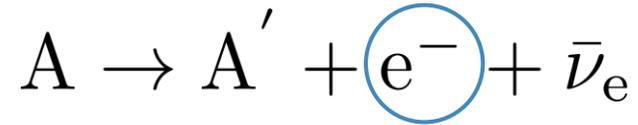
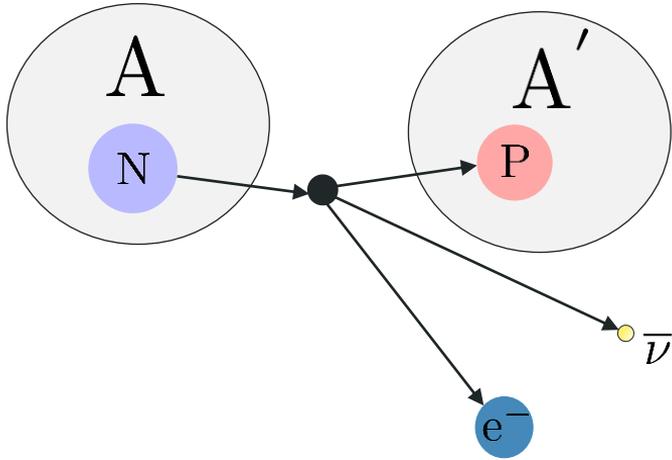
Come li rappresento?

$$\nu \stackrel{?}{\equiv} \bar{\nu}$$

Tipi

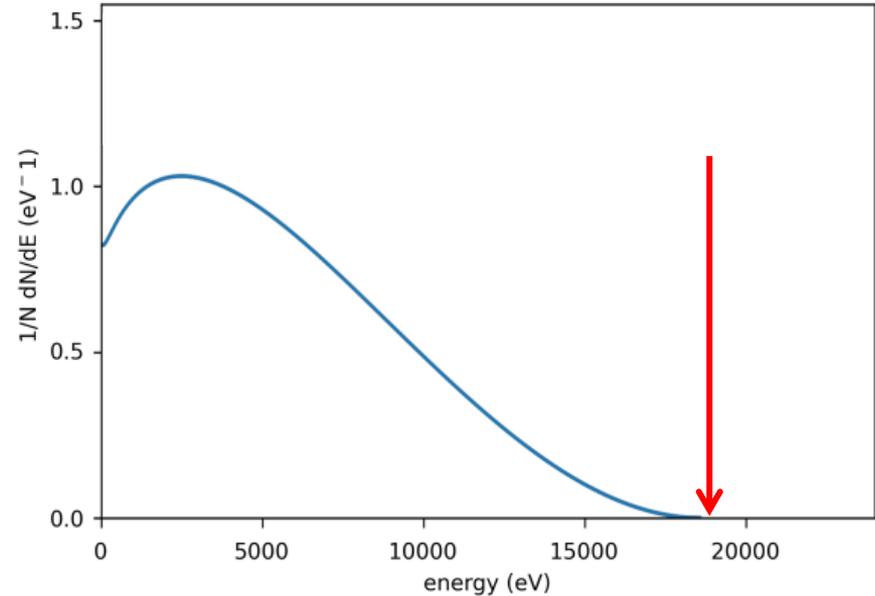
Sono solo 3?
Neutrini non interagenti

Misura diretta di m_ν : decadimento beta

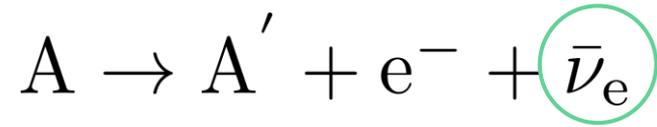
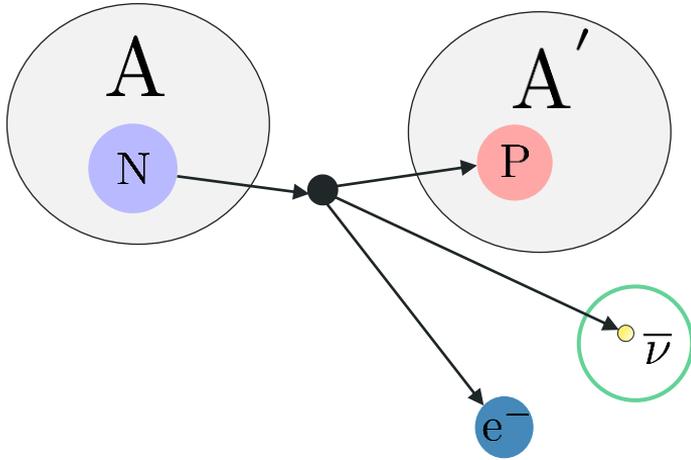


E di e⁻ continua

Fino a $E_{\max} = Q_{\text{val}}$



Misura diretta di m_ν : decadimento beta

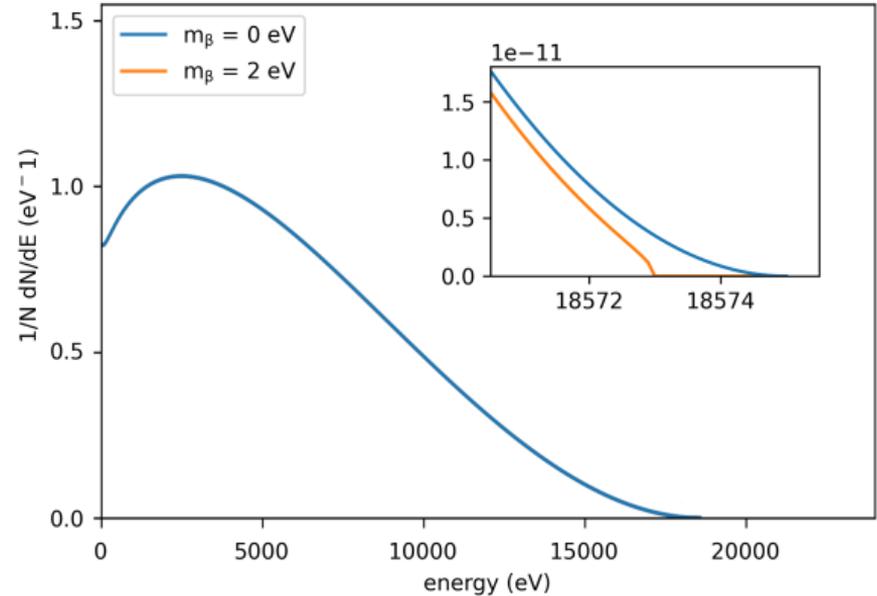


$m_\nu \neq 0$



e^- non ha tutta l'energia

$$E_{\max} = Q_{\text{val}} - m_\nu$$



Misura diretta di m_ν : HOLMES



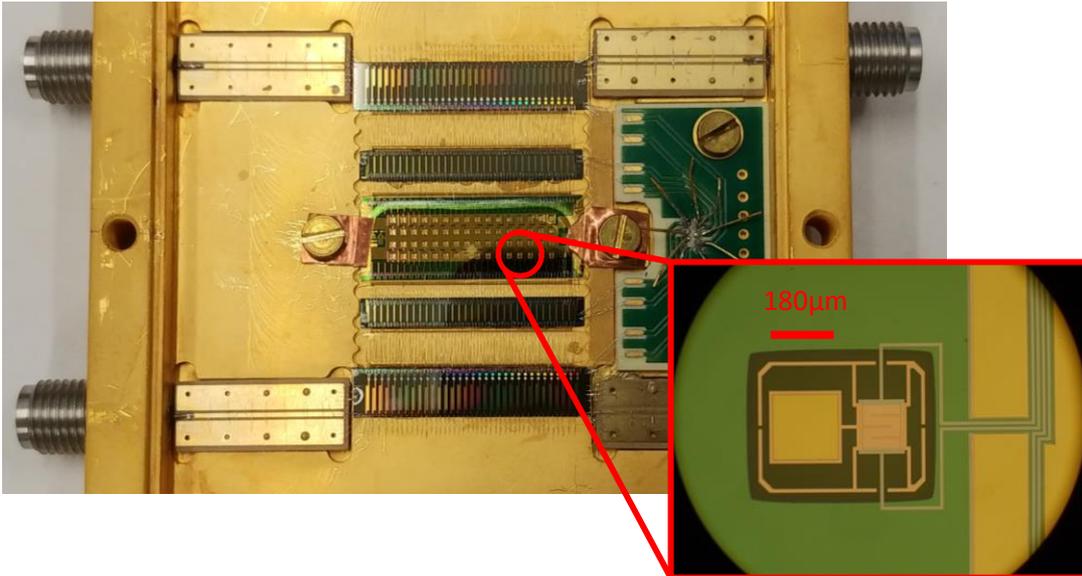
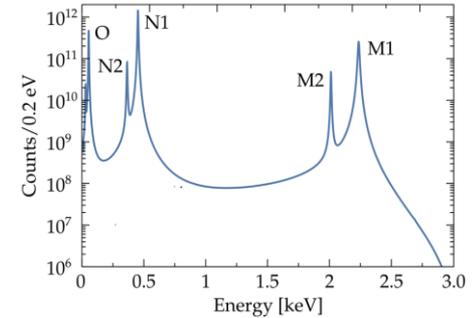
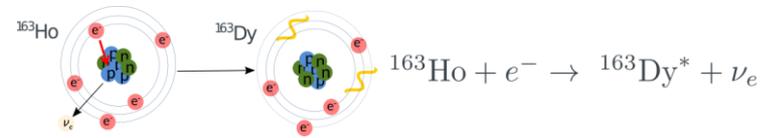
Esperimento **in corso @MiB**

micro-calorimetri @ <100 mK

Sensori superconduttivi

$\beta \rightarrow$ Cattura e^-

Vedo end-point amplificato



Misura diretta di m_ν : HOLMES



Esperimento **in corso @MiB**

micro-calorimetri @ <100 mK

Sensori superconduttivi

Tesi sperimentali

- Sviluppo sorgente criogenica per calibrazione rivelatori a basse T
- Presa dati per misura di massa del ν

Tesi analitiche

- Sviluppo software per analisi e discriminazione pile-up
- Sviluppo software simulazione segnali di micro-calorimetri TES

A. Nucciotti, M. Borghesi, M. Faverzani, E. Ferri, A. Giachero, D. Labranca, L. Origo

Info x tesi: angelo.nucciotti@mib.infn.it marco.faverzani@mib.infn.it

Neutrino: questioni aperte

massa

Quanto vale?
Perché è così piccola?
Da dove viene?

natura

Come li rappresento?

$$\nu \stackrel{?}{\equiv} \bar{\nu}$$

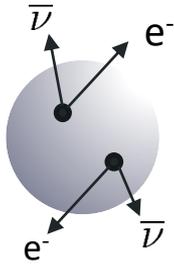
Tipi

Sono solo 3?
Neutrini non interagenti

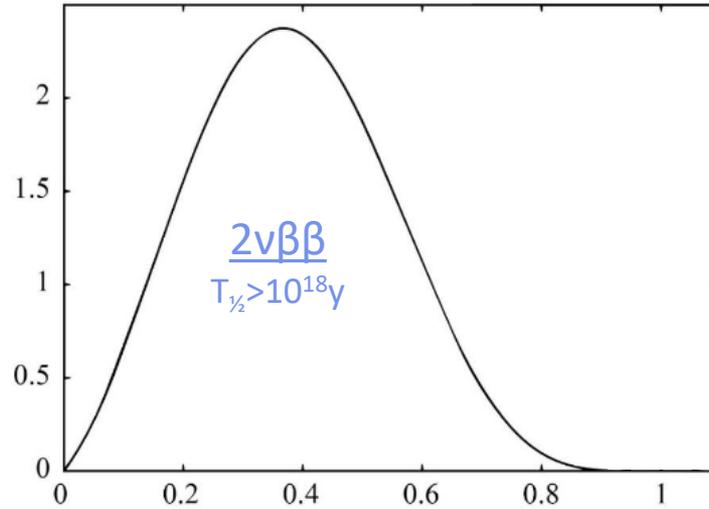
Ricerca del decadimento $0\nu\beta\beta$

Ovvero: la creazione di e^- nella materia

Processo standard:



Missing energy

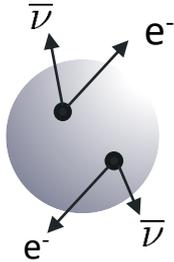
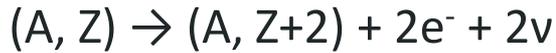


Somma delle energie dei due elettroni / Q_{val}

Ricerca del decadimento $0\nu\beta\beta$

Ovvero: la creazione di e^- nella materia

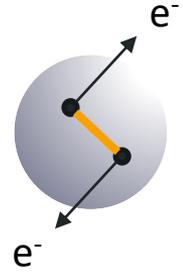
Processo standard:



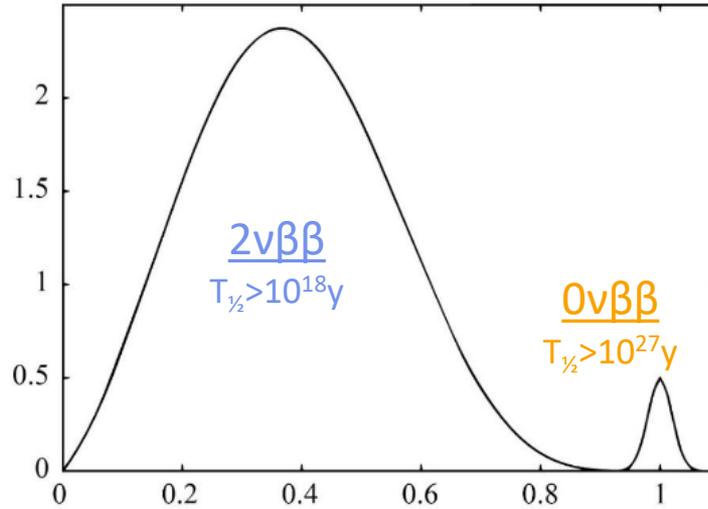
Missing energy

$$\nu \equiv \bar{\nu}$$

Variante non standard:



No missing energy

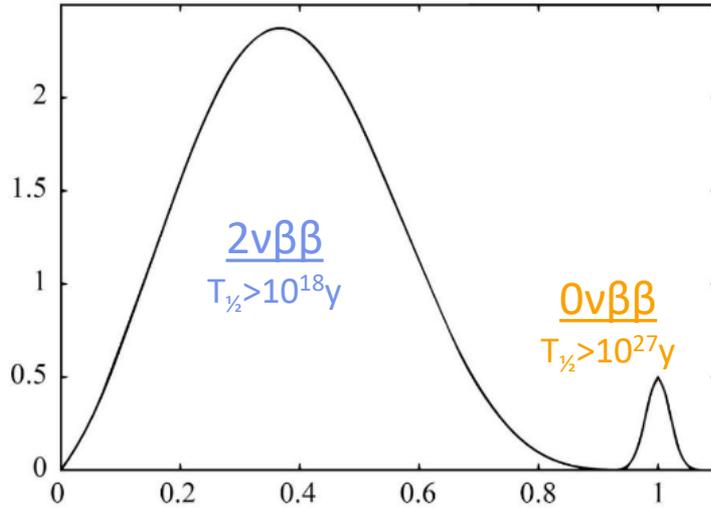
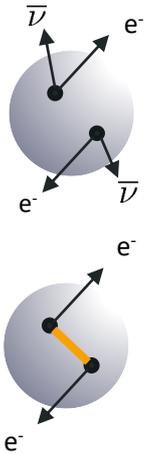


Somma delle energie dei due elettroni / Q_{val}

Rate dipendente da “massa efficace” del ν_e

Ricerca del decadimento $0\nu\beta\beta$

Ovvero: la creazione di e^- nella materia



Somma delle energie dei due elettroni / Q_{Val}

$T_{1/2}$ Lunghi

Tanti (\sim ton) nuclei candidati

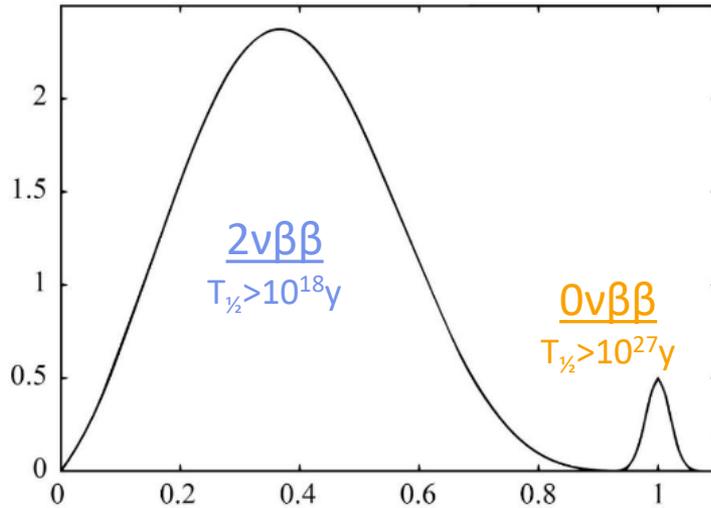
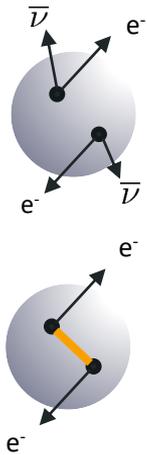
Basso fondo

Ricerca di un picco

Risoluzione energetica \sim ‰ Q_{Val}

Ricerca del decadimento $0\nu\beta\beta$

Ovvero: la creazione di e^- nella materia

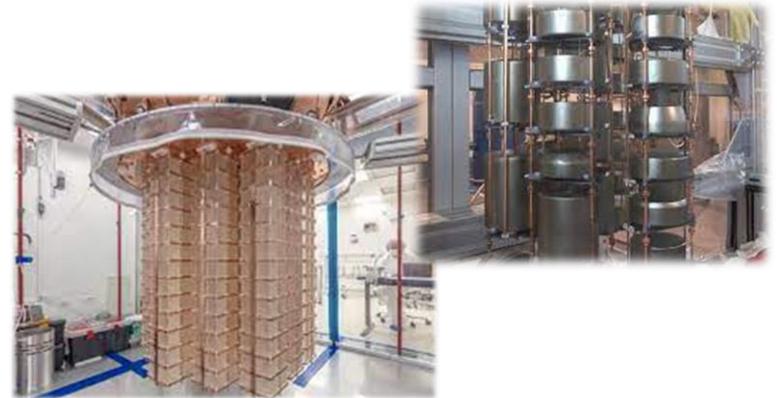


Somma delle energie dei due elettroni / Q_{Val}

Rivelatori con molti moduli
Analisi dedicate
Laboratori sotterranei

$T_{1/2}$ Lunghi
Tanti (\sim ton) nuclei candidati
Basso fondo

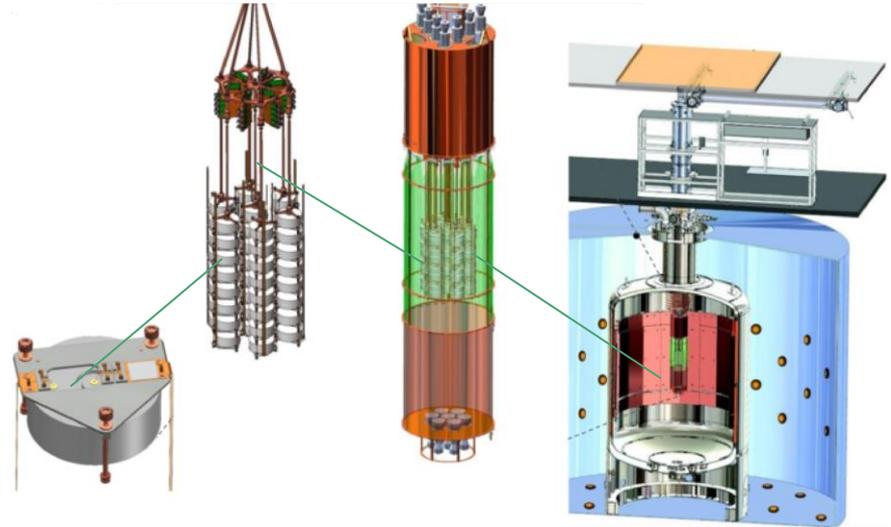
Ricerca di un picco
Risoluzione energetica \sim ‰ Q_{Val}



Ricerca del decadimento $0\nu\beta\beta$: LEGEND



$0\nu\beta\beta$ del ^{76}Ge
@ Gran Sasso
Rivelatori al Germanio



Array di HPGe

Veto Attivo scintillante

Ricerca del decadimento $0\nu\beta\beta$: LEGEND



$0\nu\beta\beta$ del ^{76}Ge

@ Gran Sasso

Rivelatori al Germanio



- Algoritmi machine learning per identificazione rumore e studio della forma di impulso (MiB)
- Analisi dati da SiPMs per readout luce scintillazione Argon Liquido (MiB)
- Presa dati e preanalisi per LEGEND-200: statistiche e correlazioni multiparametriche (MiB e LNGS)
- Messa in funzione e presa dati di setup per la misura dell'efficienza di rivelazione del LAr neutron tagger (LARATmVeto) (MiB e LNGS).
- Partecipazione a test di qualificazione e accettazione dei nuovi rivelatori Ge per LEGEND-200 presso IRMM (MiB e Geel)

C. Cattadori, T. Tabarelli

Info x tesi: carla.cattadori@lngs.infn.it

Ricerca del decadimento $0\nu\beta\beta$: CUORE e CUPID

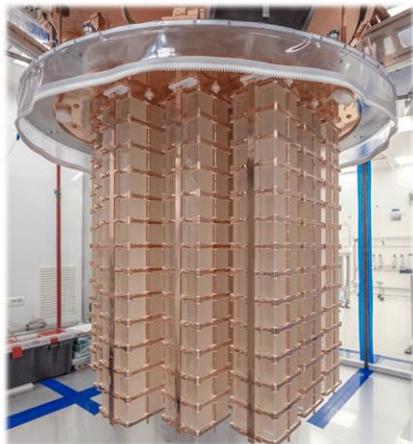
Rivelatori termici @ 10mK

Energia dall'aumento di temperatura

Tecnologia cresciuta @MiB



$0\nu\beta\beta$ del ^{130}Te
@ Gran Sasso



988 rivelatori

m^3 più freddo
dell'universo

In presa dati

Ricerca del decadimento $0\nu\beta\beta$: CUORE e CUPID

Rivelatori termici @ 10mK

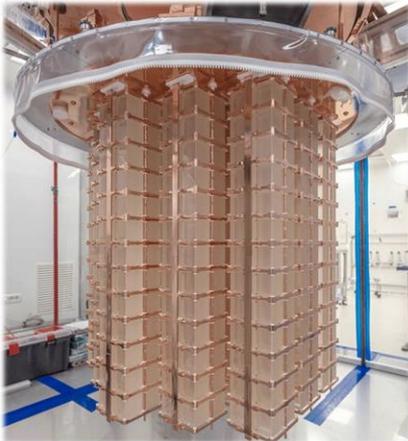
Energia dall'aumento di temperatura



$0\nu\beta\beta$ del ^{130}Te
@ Gran Sasso



$0\nu\beta\beta$ del ^{100}Mo
Cristalli scintillanti
Anche luce!

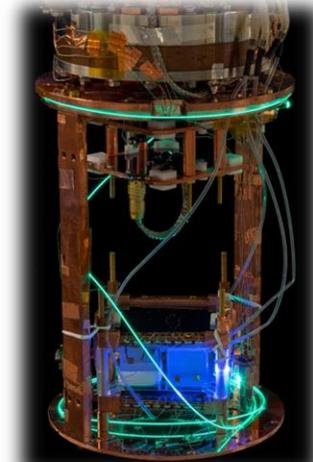


988 rivelatori

m^3 più freddo
dell'universo

In presa dati

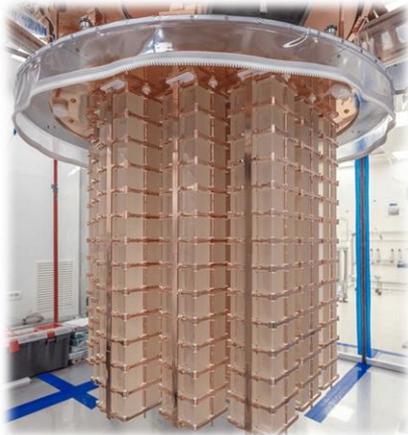
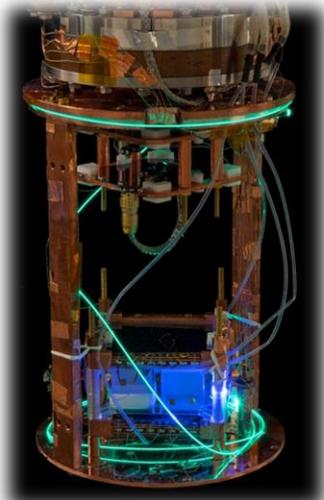
In progettazione
R&D attivo @MiB



Ricerca del decadimento $0\nu\beta\beta$: CUORE e CUPID

Rivelatori termici @ 10mK

Energia dall'aumento di temperatura



- Sviluppo+test nuovi rivelatori calorimetrici
 - Misura contaminazioni radioattive materiali
 - Misure γ con HPGe, misure α con rivelatori al Si
- Caratterizzazione risposta rivelatori CUPID
 - Modello fondo radioattivo CUORE & previsioni per CUPID
 - Calibrazione CUORE: analisi dati & simulazione MC
 - Algoritmi Machine Learning per studio pileup e rumore
 - Eventi a bassa E: ricerca signature DM

M. Biassoni, M. Beretta, C. Brofferio, S. Capelli, D. Chiesa, O. Cremonesi, S. Dell'Oro, M. Girola, L. Gironi, I. Nutini, M. Pavan, S. Pozzi, E. Previtali, M. Sisti

Info x tesi: chiara.brofferio@unimib.it, luca.gironi@mib.infn.it

Neutrino: questioni aperte

massa

Quanto vale?
Perché è così piccola?
Da dove viene?

natura

Come li rappresento?

$$\nu \stackrel{?}{\equiv} \bar{\nu}$$

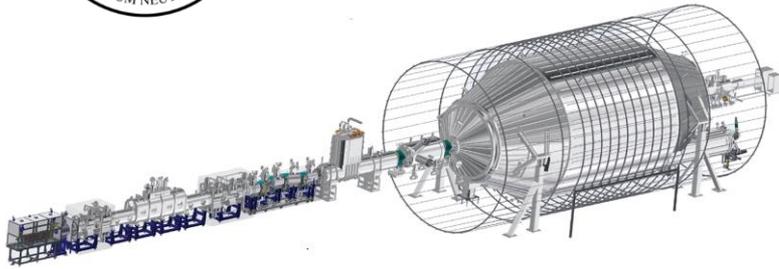
Tipi

Sono solo 3?
Neutrini non interagenti

Misura diretta di m_ν : KATRIN



Decadimento β del ^3H
Spettrometro
Guardo attorno a E_{Max}



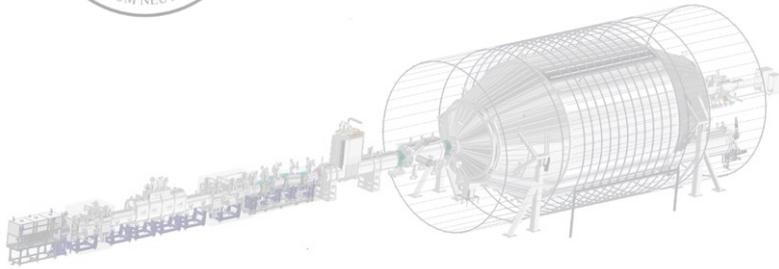
Miglior
limite su m_ν

Strumento
unico

Misura diretta di m_ν : KATRIN



Decadimento β del ^3H
Spettrometro
Guardo attorno a E_{Max}

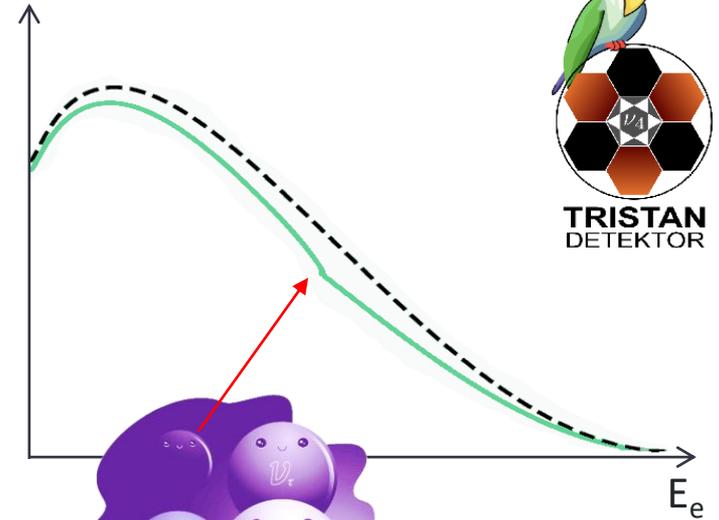


Miglior
limite su m_ν

Strumento
unico

TRISTAN

Ricerca di ν_{sterili}
deformazione in spettro β
Rivelatori SDD



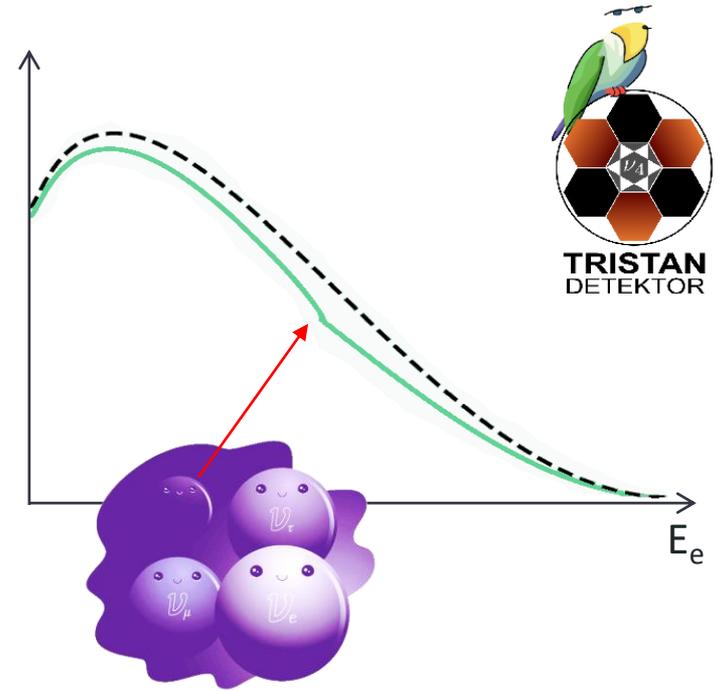
TRISTAN

Ricerca di ν_{sterili}
deformazione in spettro β
Rivelatori SDD

- Simulazione MC di KATRIN per fase TRISTAN
 - Simulazione per misura spettri β
 - SDD + scintillatore
 - Studio sensibilità/analisi dati per TRISTAN
- Misure di Back-scattering
 - Diversa E, angolo e materiali
 - Confronto con simulazioni
 - Misura di spettri β con SDD
 - Confronto con simulazioni

M. Biassoni, O. Cremonesi, A. Nava, I. Nutini, M. Pavan, S. Pozzi

Info x tesi: matteo.biassoni@mib.infn.it



Neutrino: questioni aperte

massa



natura



Tipi



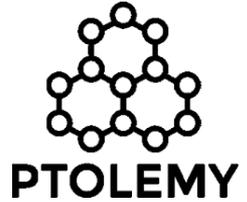
HOLMES



LEGEND

Sviluppo di tecniche con varie applicazioni

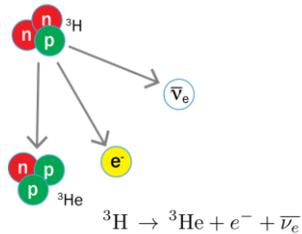
Misura di ν primordiali: PTOLEMY



ricerca di ν primordiali dal Big Bang

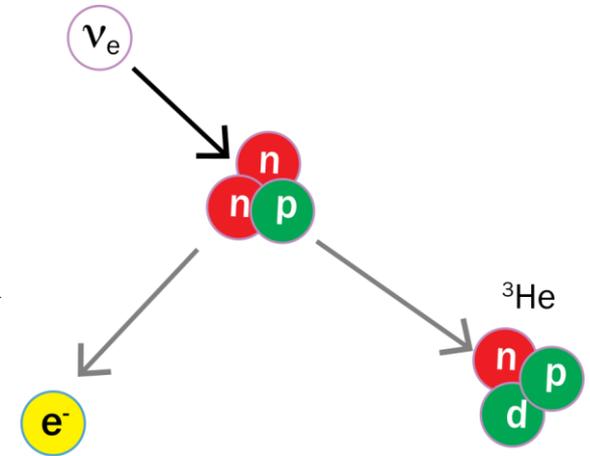
simili a CMB, ma disaccoppiati dopo $\sim 1s$

i più numerosi... eppure i più difficili da misurare



$$\nu \rightarrow e^-$$

Sfrutto il decadimento β inverso

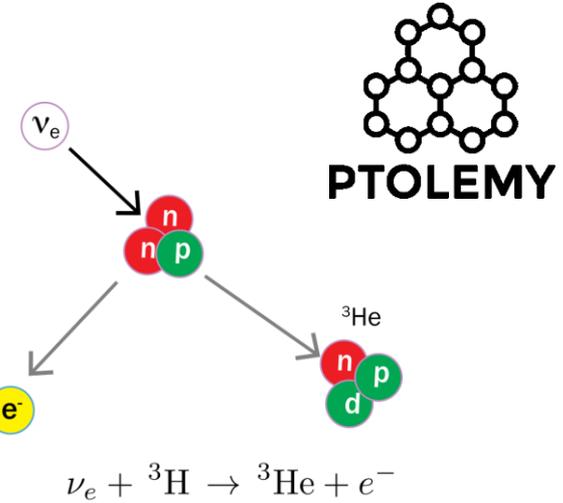


spettrometro + rivelatori Superconduttivi



Misura di ν primordiali: PTOLEMY

Spettrometro
+
rivelatori Superconduttivi



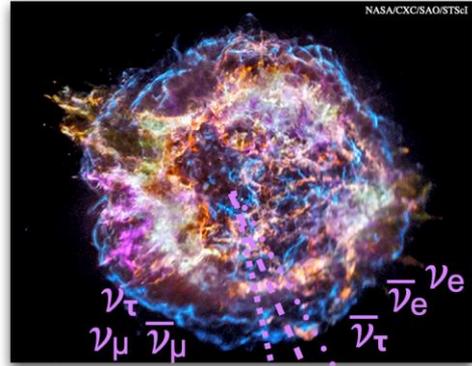
- Studio sensibilità PTOLEMY con approccio bayesiano
- Spettroscopia di elettroni con rivelatori criogenici
- Sviluppo software simulazione segnali di micro-calorimetri TES

A. Nucciotti, M. Borghesi, M. Faverzani, E. Ferri, A. Giachero, D. Labranca, L. Origo

Info x tesi: angelo.nucciotti@mib.infn.it marco.faverzani@mib.infn.it

RES-NOVA

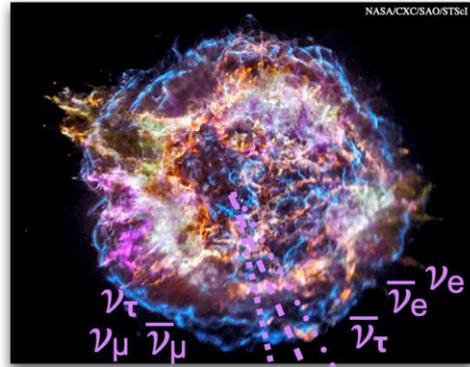
Rivelare neutrini da Supernova usando Pb archeologico



Sviluppare rivelatori criogenici (10 mK) prodotti utilizzando Pb Romano Archeologico

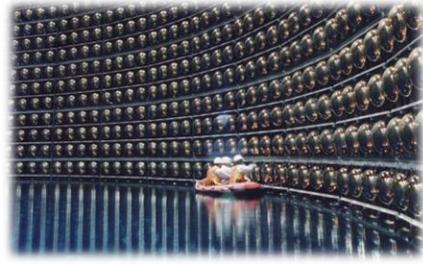
RES-NOVA

Rivelare neutrini da Supernova usando Pb archeologico



Sviluppare rivelatori criogenici (10 mK) prodotti utilizzando Pb Romano Archeologico

Rivelatore di neutrini tradizionale



Water Cherenkov detector

20 m

rivelatore di neutrini di RES-NOVA

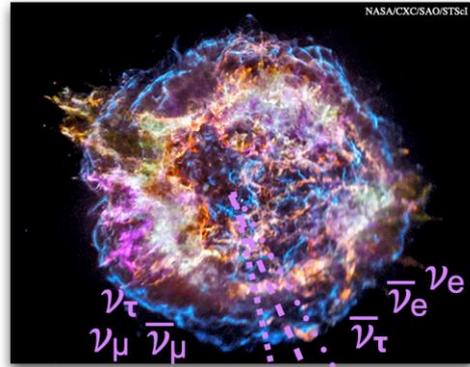


Archeo-PbWO₄ crystal

4 cm

RES-NOVA

Rivelare neutrini da Supernova usando Pb archeologico



Sviluppare rivelatori criogenici (10 mK) prodotti utilizzando Pb Romano Archeologico

Rivelatore di neutrini tradizionale



Water Cherenkov detector

20 m

rivelatore di neutrini di RES-NOVA



Archaeo-PbWO₄ crystal

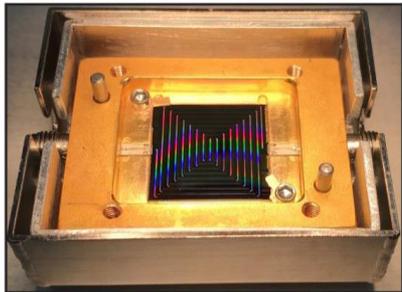
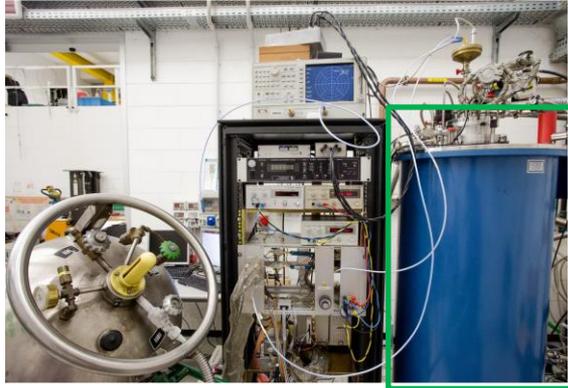
4 cm

- Caratterizzazione di campioni di Pb Archeologico (HP-Ge, X-ray)
- Misure di attivazione neutronica di campioni di Pb Archeologico
- Studio di attivazione cosmogenica di cristalli di Archeo-PbWO₄

L. Pattavina, M. Clemenza

Info x tesi: luca.pattavina@unimib.it

Nella pratica: QT nel solco delle particelle



Percorso di laurea dedicato a
Tecnologie Quantistiche



Laboratorio di stato solido e
tecnologie quantistiche

Utilizzo di tecniche della
ricerca sulla massa del ν

Quantum Computing: dalla ricerca all'applicazione

maggiori dettagli alla presentazione di fisica applicata

Qub-IT:

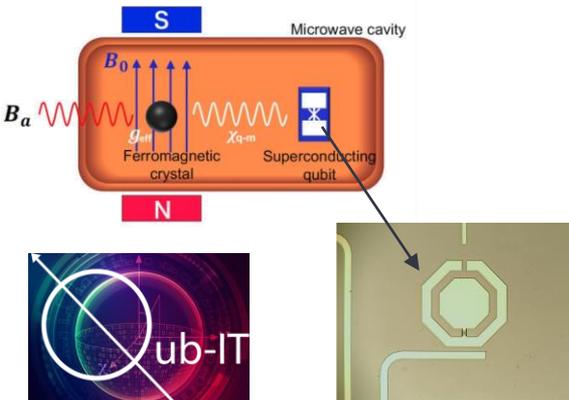
Dark matter con q-bits

Misura di singoli fotoni

- Simulazione di SC qbit
- Modello di risposta

A. Giachero, A. Nucciotti, M. Borghesi, M. Faverzani, E. Ferri, R. Moretti

Info x tesi: andrea.giachero@mib.infn.it



DARTWARS:

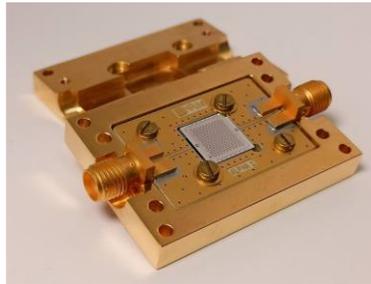
Linee SC con alta banda e

rumore quantico

- Simulazione/modello di amplificatore
- Caratterizzazione sperimentale

A. Giachero, A. Nucciotti, M. Borghesi, M. Faverzani, E. Ferri, R. Moretti

Info x tesi: andrea.giachero@mib.infn.it

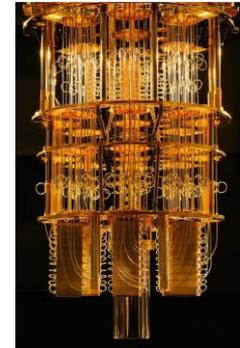


Simulazioni/algoritmi di QC

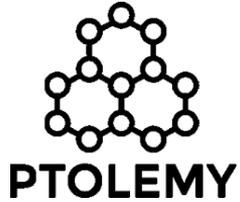
Utilizzo dei QBit

- Simulazione di QC
- Quantum error correction
- Quantum machine learning
- Quantum key distribution

A. Giachero, P. Govoni, A. Nucciotti, R. Moretti



HOLMES



LEGEND

Tante attività, per altrettante sfide