

Da KATRIN a TRISTAN: massa del neutrino e neutrini sterili

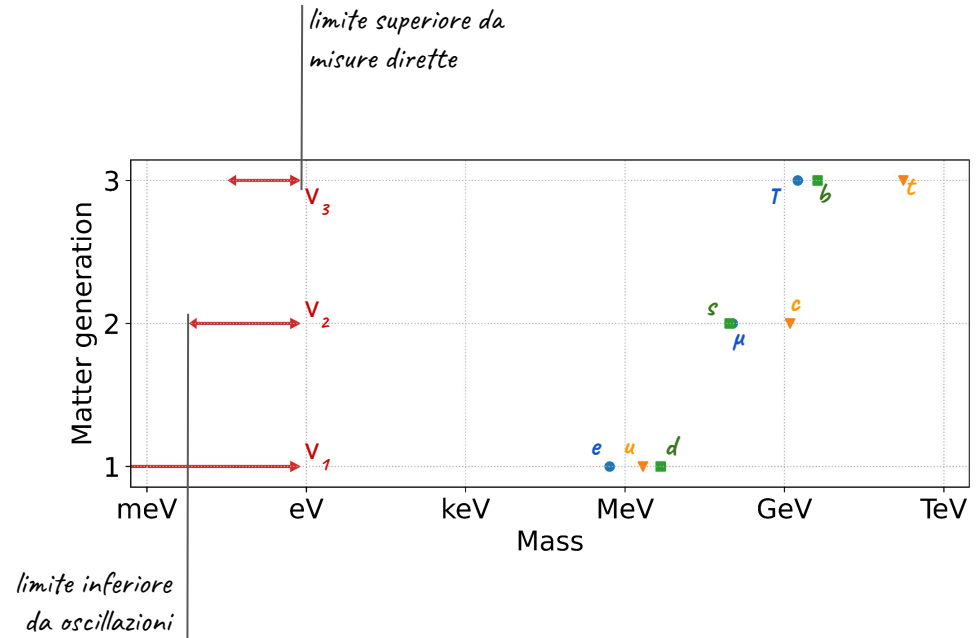


Andrea Nava
Università di Milano-Bicocca
IFAE 2023 - Catania 12-14 Aprile



Misura diretta della massa del neutrino

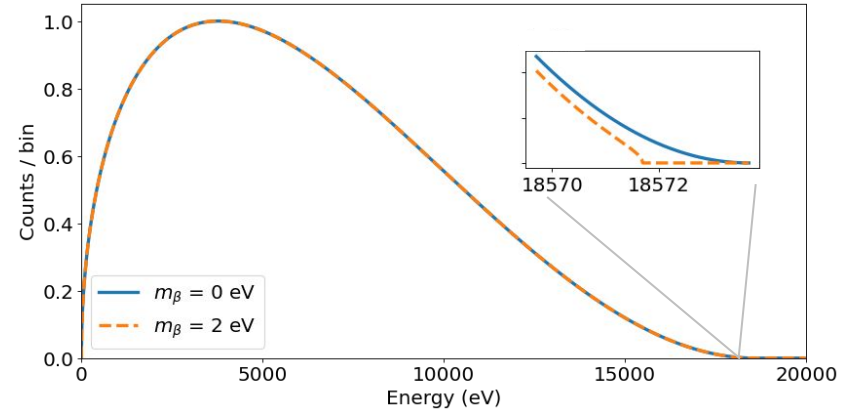
- i **neutrini sono particelle massive**
- il valore assoluto della massa non può essere determinato da esperimenti di oscillazione



Misura diretta della massa del neutrino

- i **neutrini sono particelle massive**
- il valore assoluto della massa non può essere determinato da esperimenti di oscillazione
- opzione più promettente: **endpoint di uno spettro β**

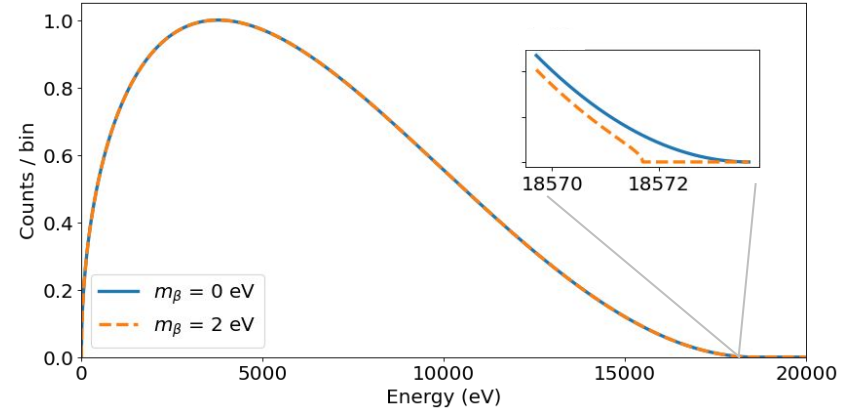
$$m_{\beta} = \sqrt{\sum_i |U_{ei}|^2 m_{\nu_i}^2}$$



Misura diretta della massa del neutrino

- i **neutrini sono particelle massive**
- il valore assoluto della massa non può essere determinato da esperimenti di oscillazione
- opzione più promettente: **endpoint di uno spettro β**

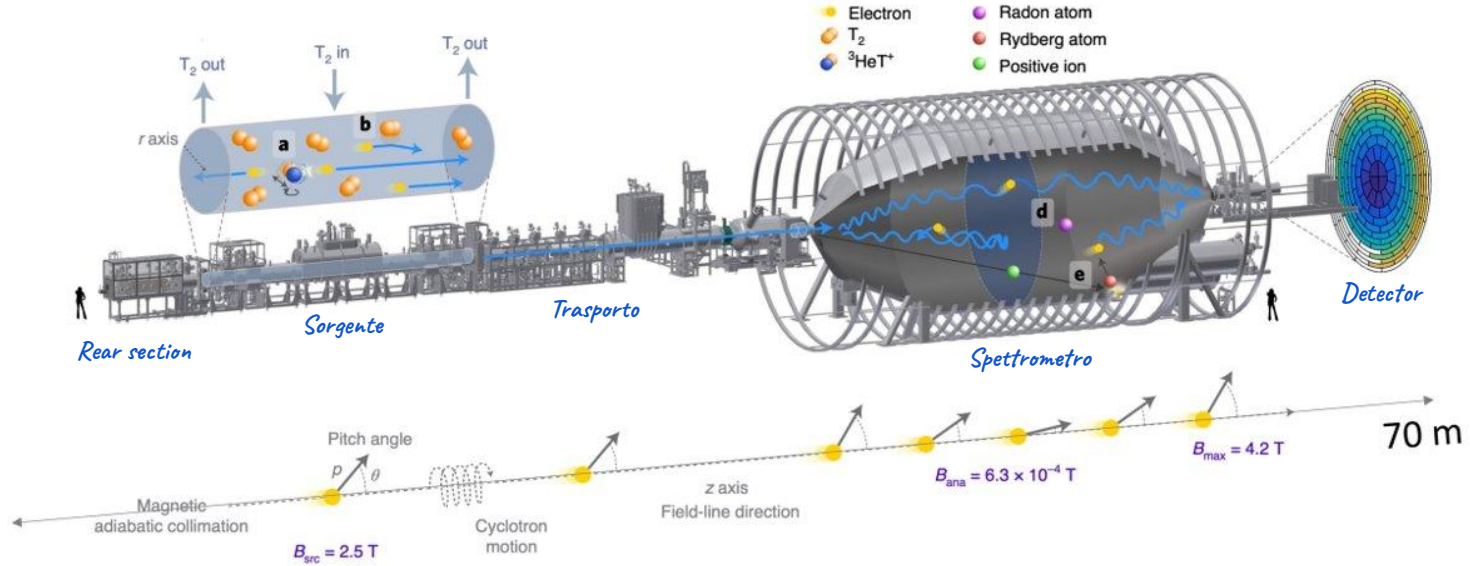
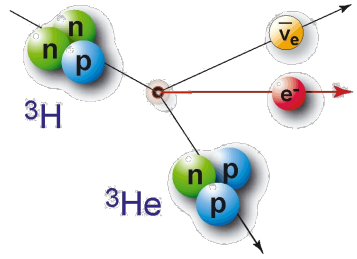
$$m_{\beta} = \sqrt{\sum_i |U_{ei}|^2 m_{\nu_i}^2}$$



Sfida tecnologica:

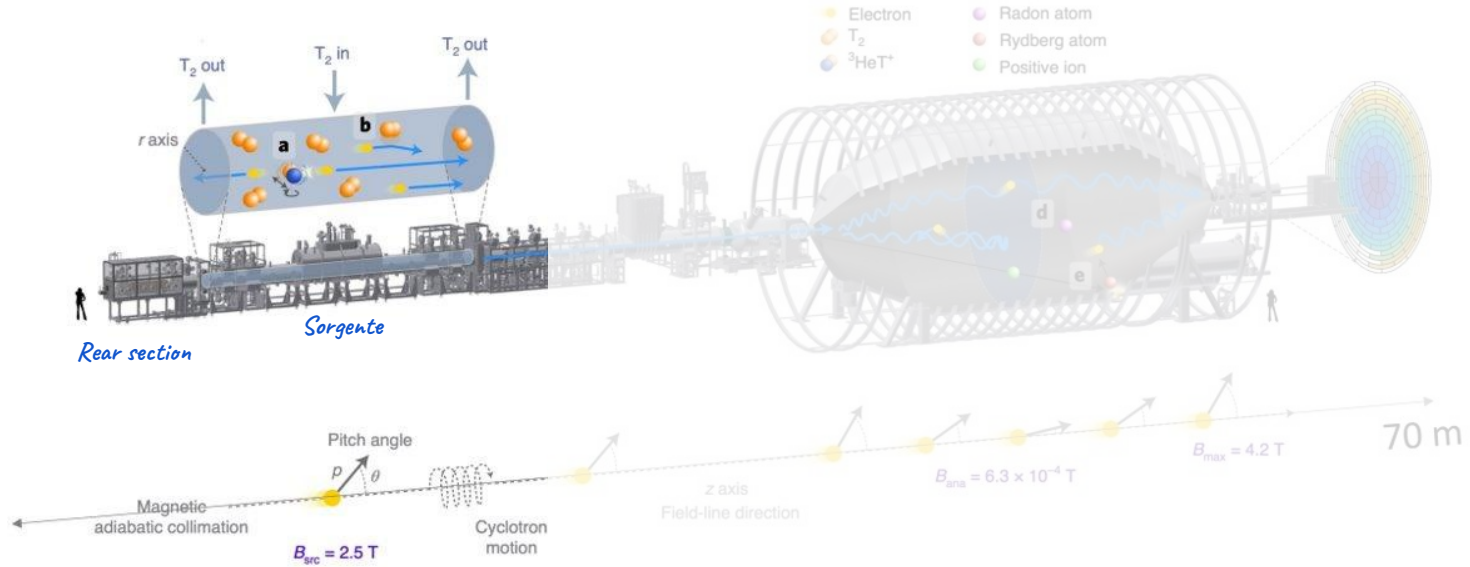
- pochi eventi all'endpoint → **sorgente ultra-luminosa** + Q-valore basso
- effetto piccolo → **risoluzione energetica $\sim 1\text{eV}$**

L'esperimento KATRIN



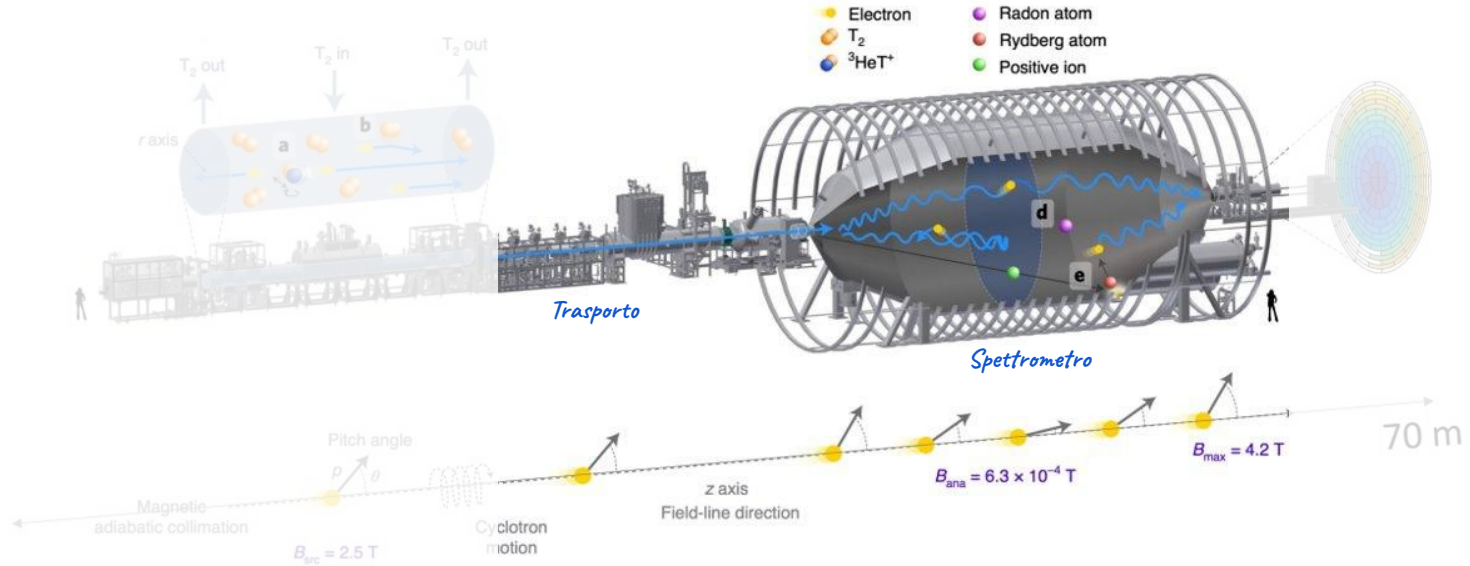
L'esperimento KATRIN

- Trizio molecolare
- 10^{11} decadimenti/s
- e-gun per misure di sistematiche



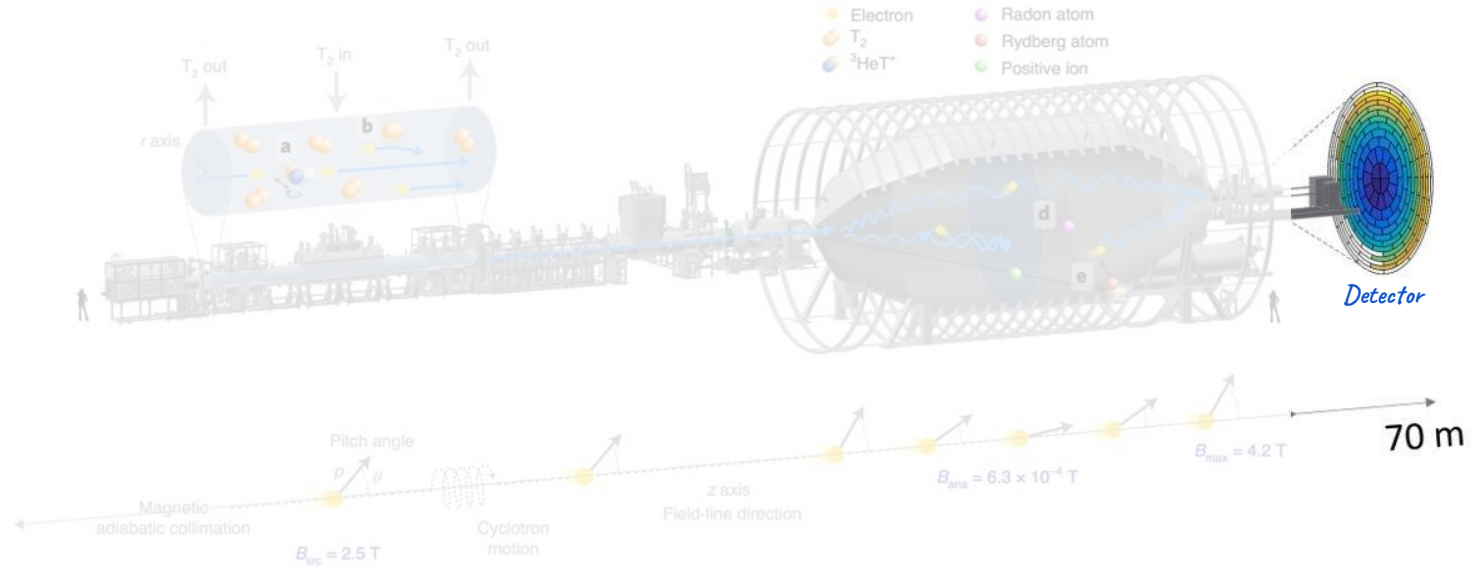
L'esperimento KATRIN

- trasporto adiabatico degli elettroni
- rimozioni di ioni
- **filtro elettrostatico ad alta risoluzione (1eV)**

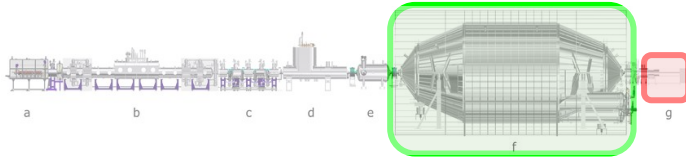


L'esperimento KATRIN

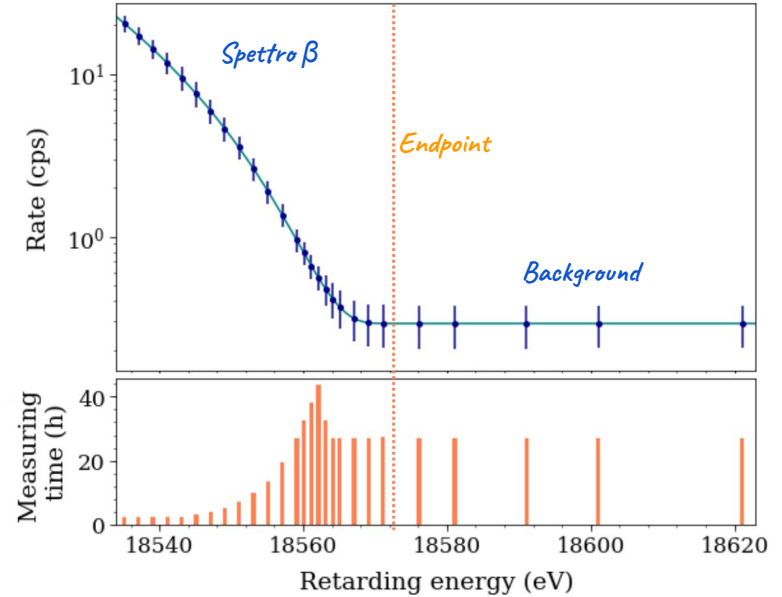
- Detector segmentato (Silicio)
- **conteggio degli elettroni che passano il filtro**



Misura dello spettro integrale

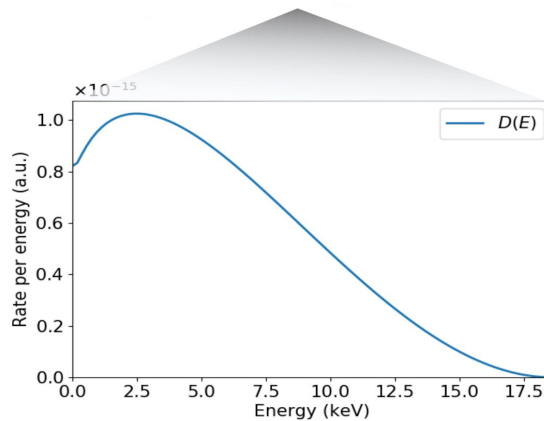


- ~30 step di HV
- distribuzione del tempo di misura ottimizzata per la sensibilità a m_β
- scan da $E_0 - 40\text{eV}$ a $E_0 + 135\text{eV}$



Modello dello spettro integrale

$$\Gamma(qU) \propto \mathbf{A} \cdot \int_{qU}^{E_0} D(E; m_v^2, E_0) \cdot R(qU, E) dE + \mathbf{B}$$

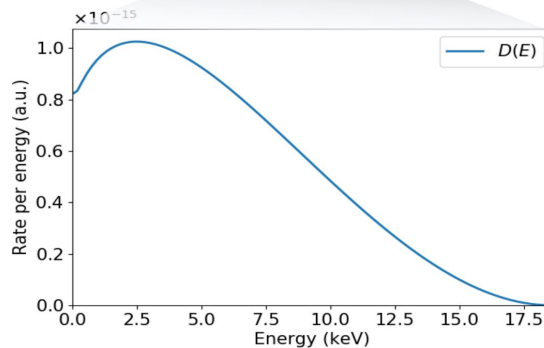


Spettro teorico differenziale:

- teoria di Fermi + correzioni
- stati eccitati molecolari

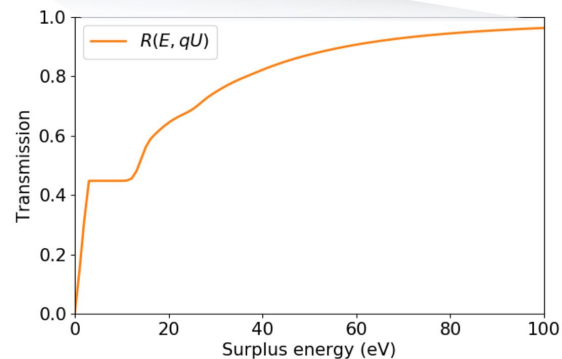
Modello dello spettro integrale

$$\Gamma(qU) \propto \mathbf{A} \cdot \int_{qU}^{E_0} D(E; m_v^2, E_0) \cdot R(qU, E) dE + \mathbf{B}$$



Spettro teorico differenziale:

- teoria di Fermi + correzioni
- stati eccitati molecolari

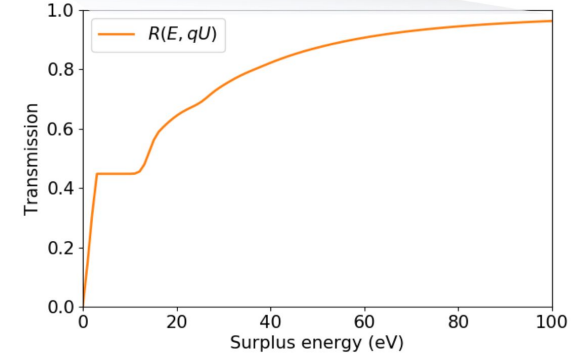
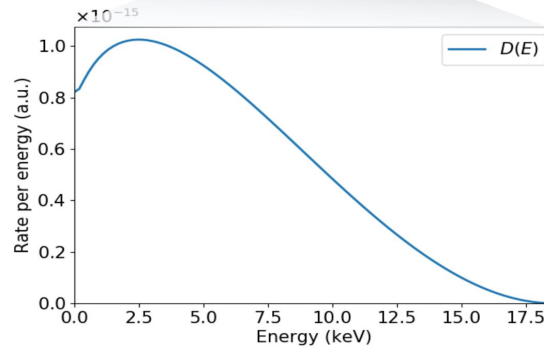
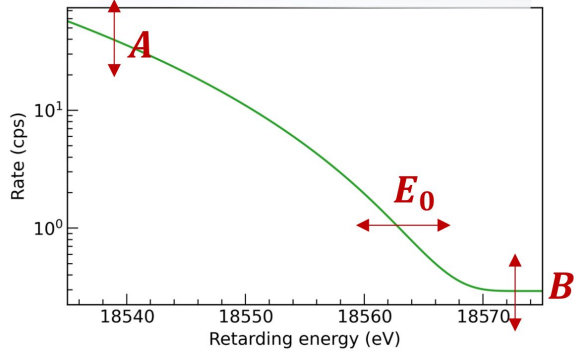


Funzione di risposta:

- trasmissione nello spettrometro
- scattering nella sorgente

Modello dello spettro integrale

$$\Gamma(qU) \propto \mathbf{A} \cdot \int_{qU}^{E_0} D(E; \mathbf{m}_\nu^2, E_0) \cdot R(qU, E) dE + \mathbf{B}$$



Spettro integrale:

- 3 parametri di forma
- m_β^2

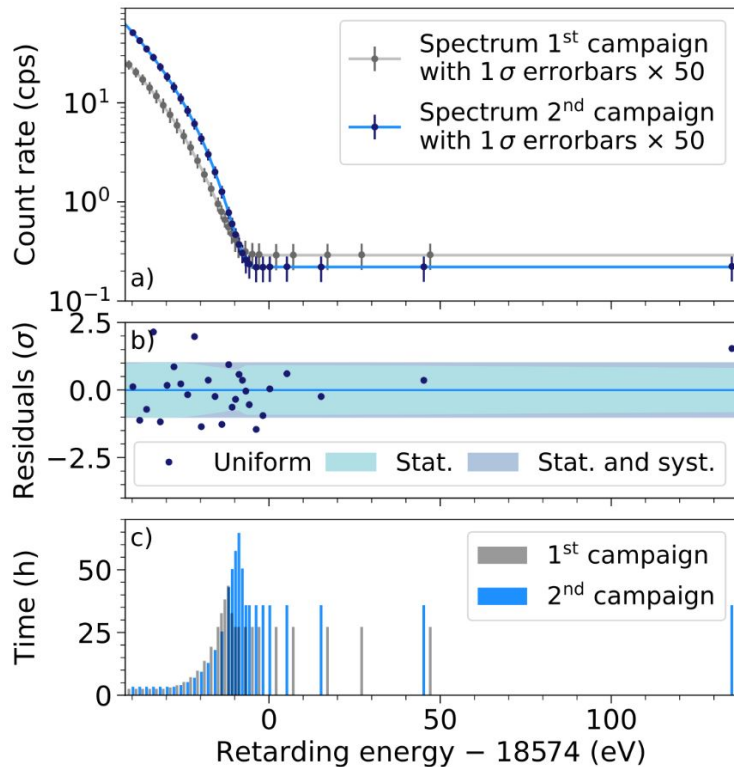
Spettro teorico differenziale:

- teoria di Fermi + correzioni
- stati eccitati molecolari

Funzione di risposta:

- trasmissione nello spettrometro
- scattering nella sorgente

Risultati sulla massa del neutrino



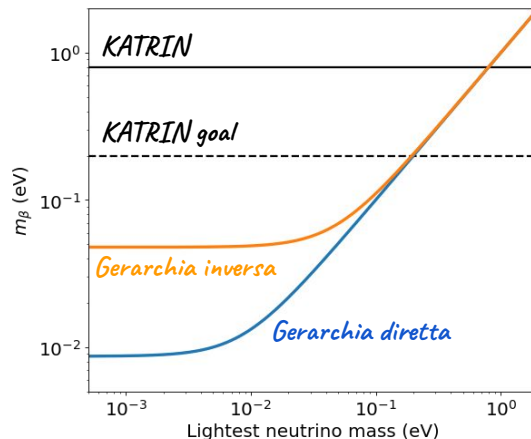
Prima campagna:

- statistica: ~ 2 milioni di elettroni
- limite: $m_\beta < 1.1$ eV (90% C.L.)

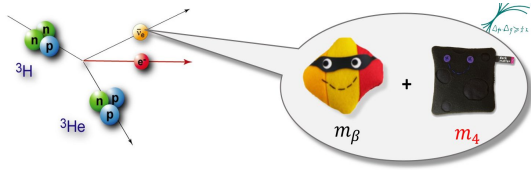
Seconda campagna:

- statistica: ~ 4 milioni di elettroni
- limite: $m_\beta < 0.9$ eV (90% C.L.)

Analisi combinata: $m_\beta < 0.8$ eV (90% C.L.)

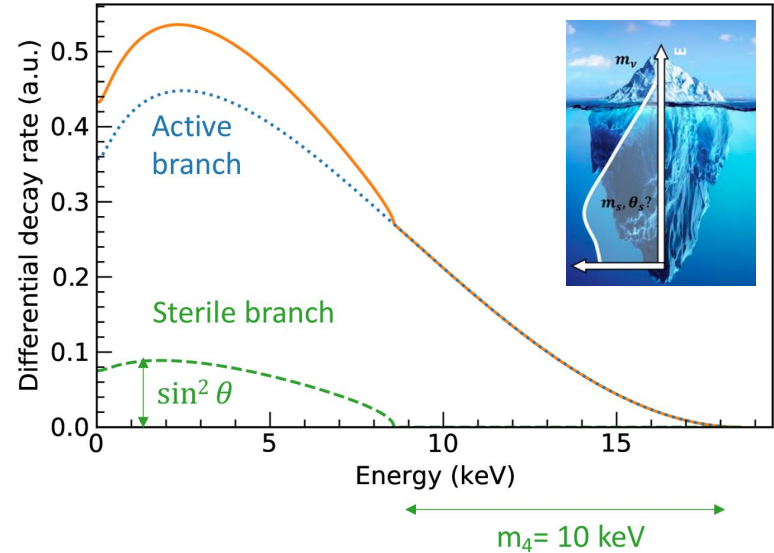


Neutrini sterili

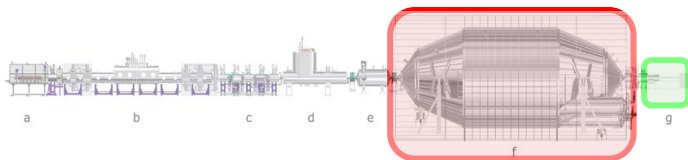


- con massa O(keV) sarebbe un possibile **candidato per la materia oscura**
- predetto da estensioni minimali del Modello Standard \rightarrow mixing con ν_e
- produrrebbe un **“kink” nello spettro β**

$$\frac{d\Gamma}{dE} = (1 - |U_{e4}|^2) \frac{d\Gamma}{dE}(m_\beta^2) + |U_{e4}|^2 \frac{d\Gamma}{dE}(m_4^2)$$



TRISTAN: ricerca di neutrini sterili con KATRIN



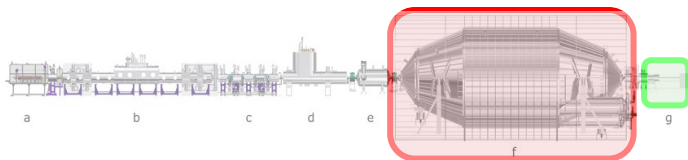
Sfida tecnologica:

- mixing piccolo → la **sorgente di KATRIN** consente di raggiungere altissima statistica
- necessità di misurare tutto lo spettro → **spettrometro spento**
- alto rate di elettroni al detector → necessità di un **detector più veloce**

TRISTAN: ricerca di neutrini sterili con KATRIN

Sfida tecnologica:

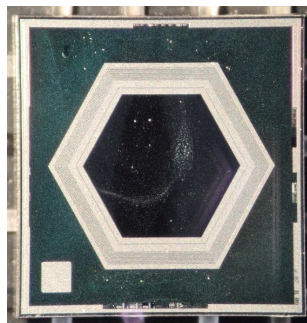
- mixing piccolo → la **sorgente di KATRIN** consente di raggiungere altissima statistica
- necessità di misurare tutto lo spettro → **spettrometro spento**
- alto rate di elettroni al detector → necessità di un **detector più veloce**



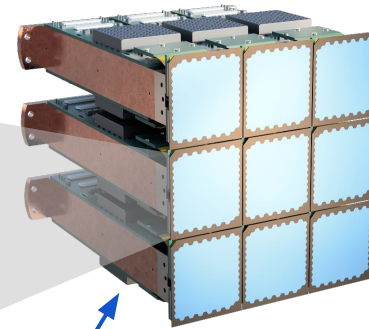
Contributo principale **INFN**:
modello dello spettro e della funzione di
risposta di SDD

SDD (Silicon Drift Detector)

- sostiene più di 100 kcps
- ottima risoluzione
- opera in alto vuoto e alti B



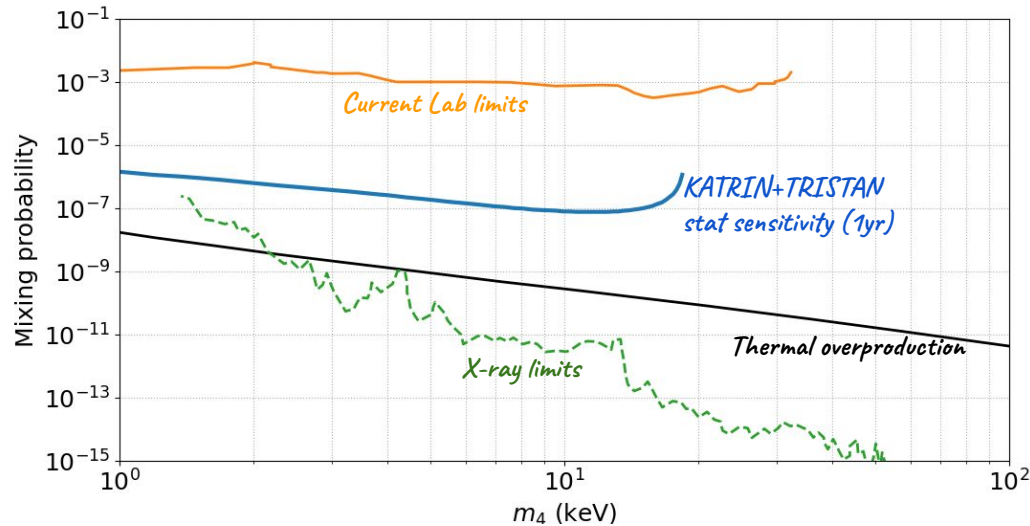
TRISTAN



Contributo principale **INFN**:
elettronica di front-end

TRISTAN: sensibilità al neutrino sterile

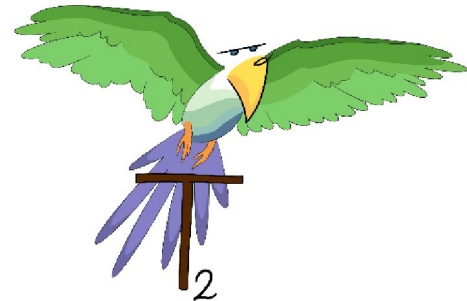
- con 1 anno di misura si può raggiungere una **sensibilità sul mixing di $\sim 10^{-7}$**
- i limiti teorici e astrofisici hanno forti dipendenze dal modello assunto
- KATRIN+TRISTAN ha accesso a una **regione interessante dello spazio dei parametri!**



Conclusioni

- la determinazione della massa del neutrino gioca un ruolo fondamentale nella ricerca di fisica oltre il Modello Standard e nella Cosmologia
- **KATRIN detiene il miglior limite sulla massa del neutrino elettronico: 0.8 eV**
- la sensibilità finale di KATRIN è di 0.2 eV → la discussione sul post TRISTAN è iniziata!
- **TRISTAN** è l'upgrade del detector di KATRIN con cui sarà possibile una misura ad alta statistica dell'intero spettro del Trizio
- l'obiettivo principale è la **ricerca di neutrini sterili** di O(keV), promettenti candidati per la materia oscura

Grazie della vostra attenzione!



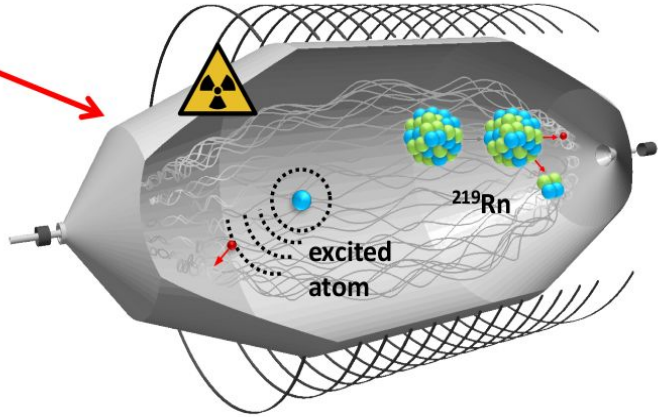
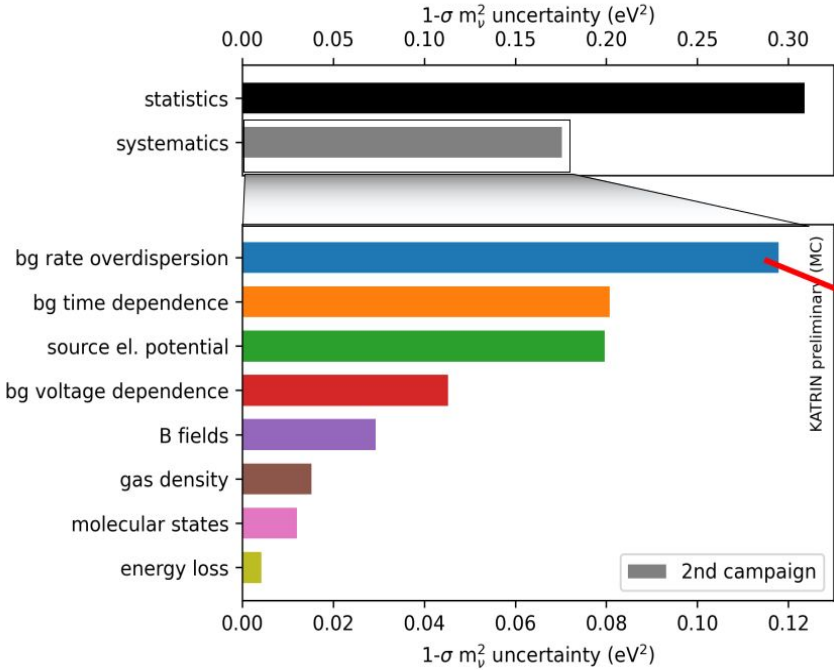
Backup



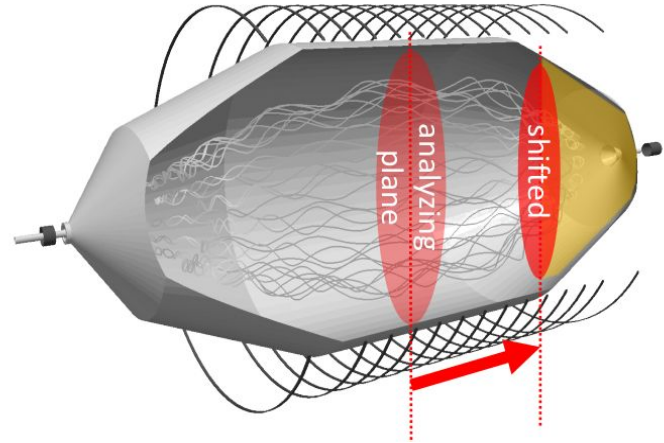
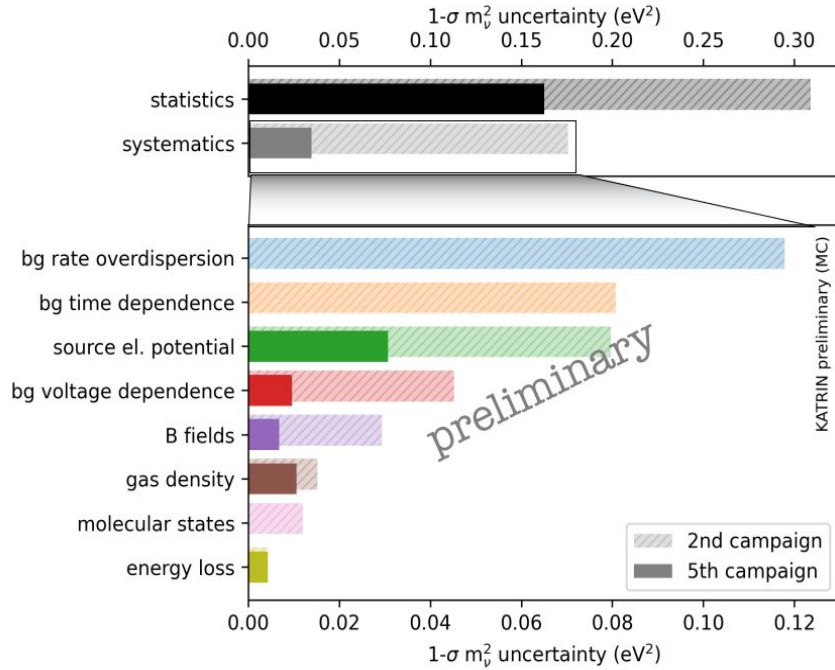
Andrea Nava
Università di Milano-Bicocca
IFAE 2023 - Catania 12-14 Aprile



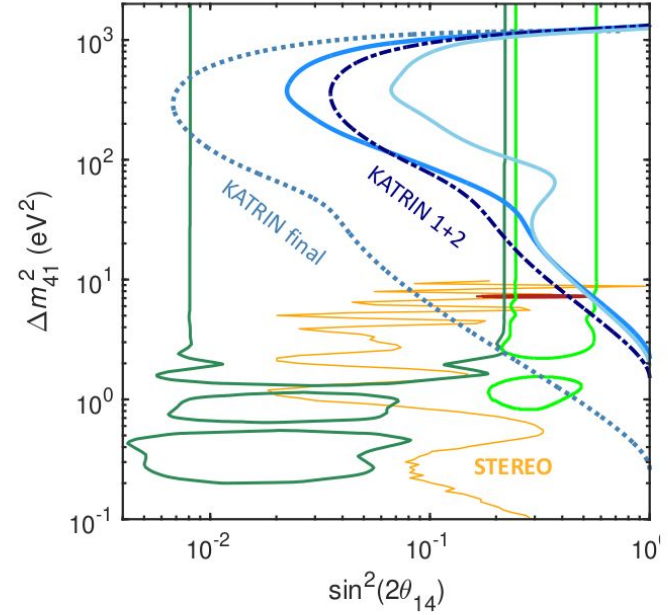
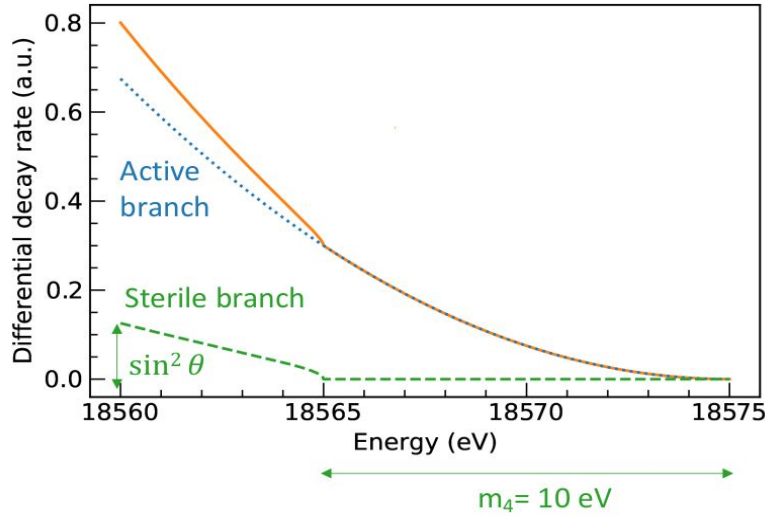
Sistematiche sulla massa del neutrino



Sistematiche sulla massa del neutrino



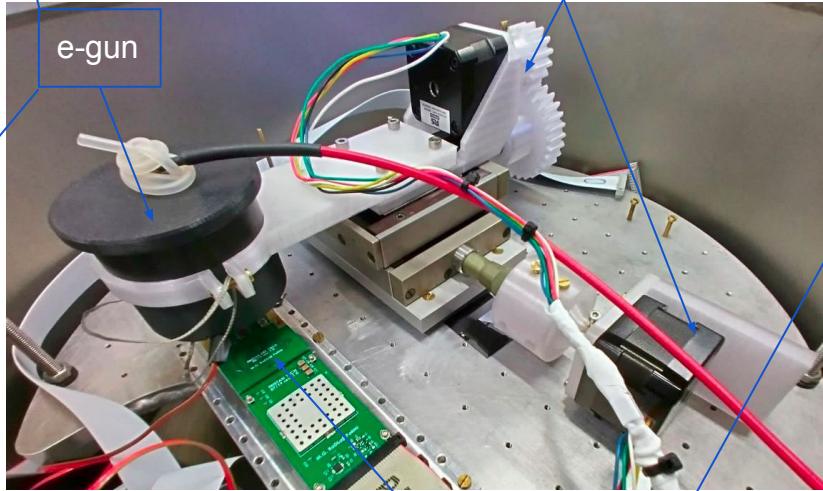
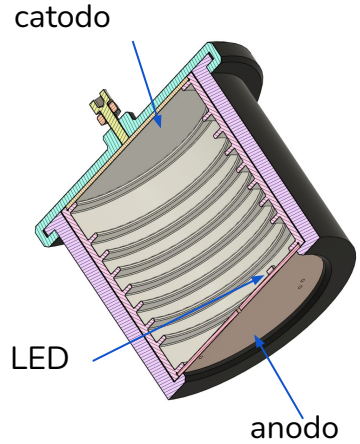
Neutrini sterili O(eV) in KATRIN



Ricerca complementare a quella di esperimenti di oscillazioni short-baseline!

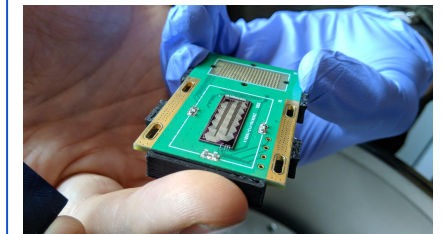
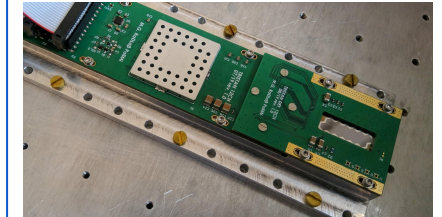
Misure con electron-gun e SDD

- fascio direttamente su SDD per studiare strato morto e backscattering
- scan posizionale per studiare effetti di bordo

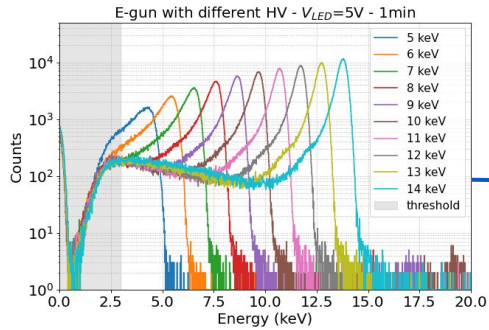


gran parte dei materiali prodotti con stampante 3D!

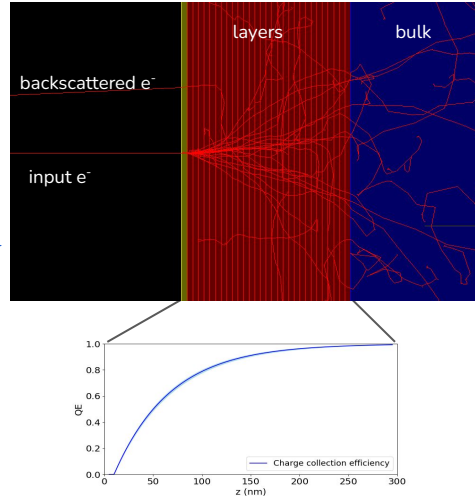
matrice di SDD



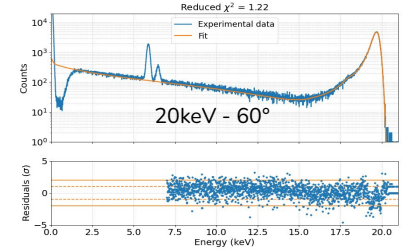
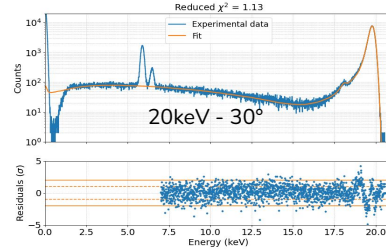
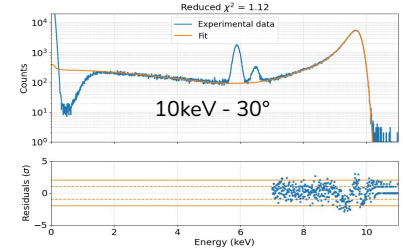
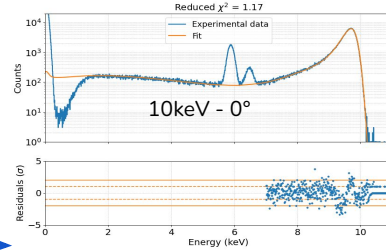
Funzione di risposta SDD



Dati raccolti con e-gun



Modello della funzione di risposta di SDD (integrato in Geant4)



Fit ai dati sperimentali per determinare i parametri del modello

Studi di sistematiche per TRISTAN

