



**ERC Advanced Grant 2013
Research proposal [Part B1]**

Principal Investigator (PI): *Prof. Stefano Ragazzi*
PI's Host Institution for the project: *Istituto Nazionale di Fisica Nucleare*

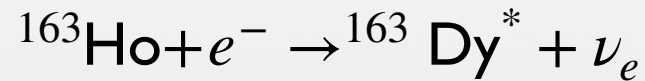
The Electron Capture Decay of ^{163}Ho to Measure the
Electron Neutrino Mass with sub-eV sensitivity

HOLMES

**Grant europeo finanziato nel 2014 (esteso sino a 02/2020)
INFN GE e INFN / Uni Mi Bicocca
Progetto pilota per la misura diretta di massa del
neutrino.**

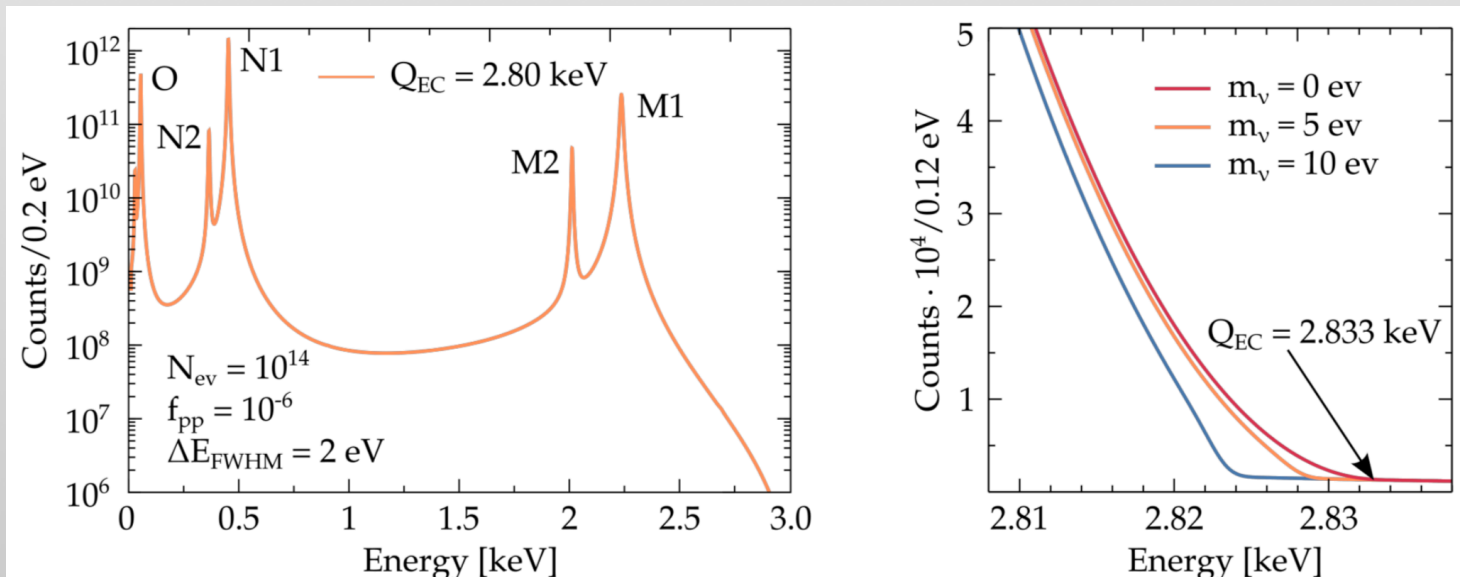
La misura di HOLMES

- Decadimento di ^{163}Ho via cattura elettronica da shell $\geq M1$, $Q_{\text{EC}} \sim 2.8\text{keV}$



$$\frac{d\Lambda_{\text{EC}}}{dE_c} = \frac{G_{\beta}^2}{4\pi^2} (Q - E_c) \sqrt{(Q - E_c)^2 - m_{\nu}^2} \times \sum_i K_i \frac{\Gamma_i}{2\pi} \frac{1}{(E_c - E_i)^2 + \Gamma_i^2/4}$$

- Misura calorimetrica dello spettro di diseccitazione del Dy^*
- m_{ν} dipende da Q valore e posizione dei picchi
- $\tau \sim 4200\text{y}$: pochi nuclei necessari per avere attività ragionevoli ($1\text{Bq} = 2 \times 10^{11}$ nuclei)



La misura di HOLMES

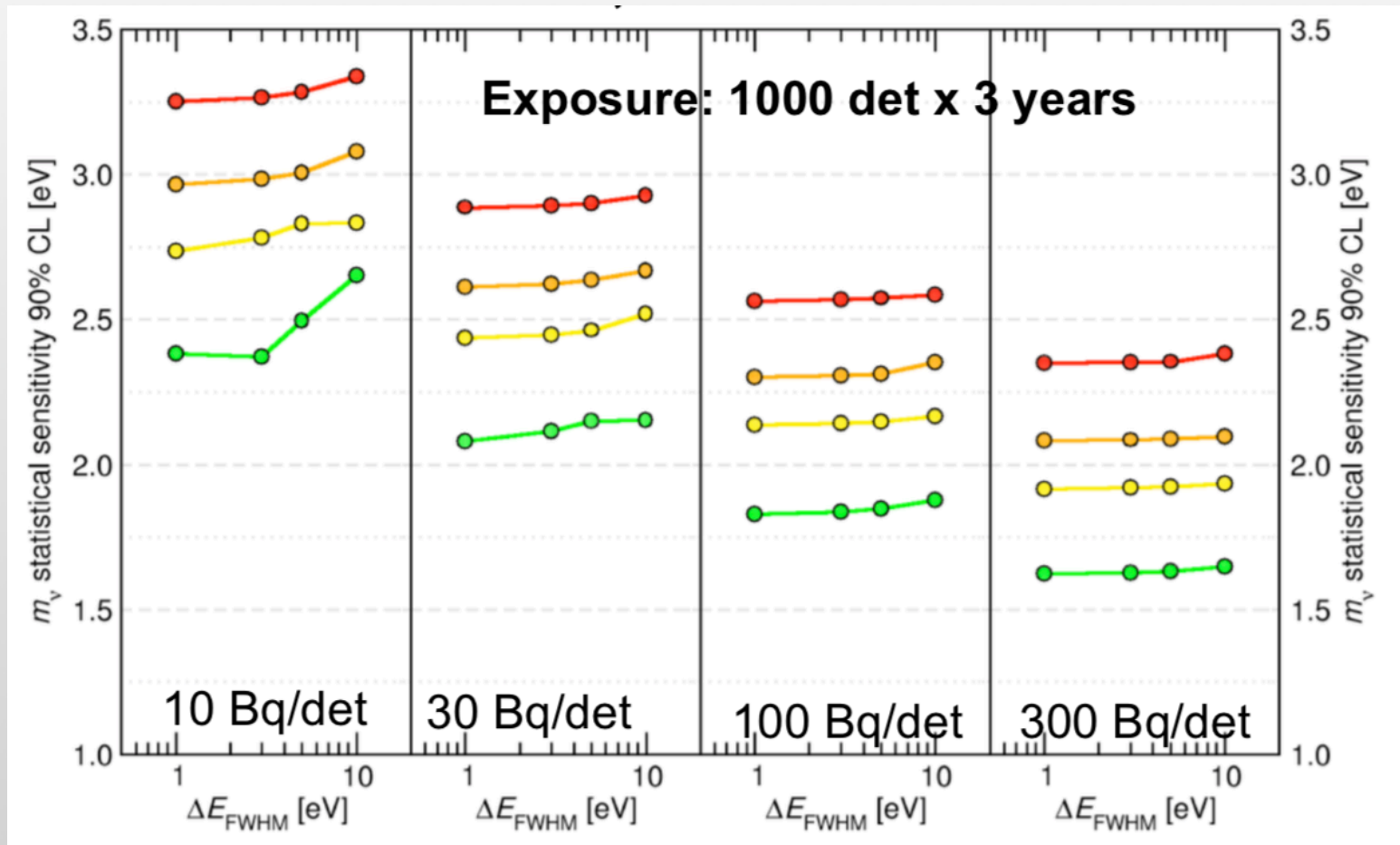
Nella sua configurazione di baseline, **Holmes consiste in:**

- **array di micro-calorimetri basati su TES** con impiantati all'interno atomi di ^{163}Ho
 - **$O(10^2)\text{Bq/detector}$** , corrispondenti a $\sim 10^{13}$ nuclei di ^{163}Ho
 - risoluzioni attese: **$\Delta E \sim 1\text{eV}$, $\tau \sim 1\mu\text{s}$**
- **array da 1000 rivelatori con readout multiplexato**
 - totale di $\sim 10^{16}$ nuclei di $^{163}\text{Ho} \sim 18\ \mu\text{g}$
 - $O(10^{13})$ eventi in 1 anno di presa dati

E' una **misura pilota** che vuole dimostrare:

- la **fattibilita' della misura** sul singolo array
- la **scalabilita' del progetto** (ovvero, la possibilita' di costruire molti array da misurare contemporaneamente per aumentare la statistica)

La misura di HOLMES



I task di HOLMES

- Produzione e caratterizzazione dei singoli microcalorimetri
- Ingegnerizzazione degli array
- Produzione della sorgente di ^{163}Ho
- Purificazione della sorgente
- Impiantazione dell' ^{163}Ho nei detector e completamento
- Sviluppo readout multiplexing

resp. Mi / NIST

resp. GE

Produzione dell' ^{163}Ho

^{163}Ho non esiste in natura, viene prodotto per attivazione neutronica di ^{162}Er in reattore:

- $^{162}\text{Er} (n,\gamma) ^{163}\text{Er}$
- $^{163}\text{Er} + e^- \rightarrow ^{163}\text{Ho} + \nu_e$ ($\tau_{1/2} \sim 75$ m)
- alto yield $\sim 3 \times 10^{12}$ ^{163}Ho nuclei/mg(^{162}Er)/h

Tm 163 1.81 h ϵ β^+ γ 104; 69; 241; 1434; 1397...	Tm 164 5.1 m 2.0 m ϵ β^+ 2.0... γ 91; 208; 315...	Tm 165 30.06 h ϵ β^+ γ 243; 47; 297; 807...	Tm 166 7.70 h ϵ β^+ 1.9... γ 779; 2052; 184; 1274...	Tm 167 9.25 d ϵ γ 532... m	Tm 168 93.1 d ϵ ; β^+ ... β^- ... γ 198; 816; 447...
Er 162 0.139 σ 19 $\sigma_{n,\alpha} < 0.011$	Er 163 75 m ϵ β^+ ... γ (1114...) g	Er 164 1.601 σ 13 $\sigma_{n,\alpha} < 0.0012$	Er 165 10.3 h ϵ no γ	Er 166 33.503 σ 3 + 14 $\sigma_{n,\alpha} < 7E-5$	Er 167 2.3 s 22.869 γ 208 σ 650 $\sigma_{n,\alpha} 3E-6$
Ho 161 6.7 s 2.5 h ϵ γ 26; 78... β^- γ 211	Ho 162 68 m 15 m ϵ β^- 1.1... γ 85; 1229; 283; 1319... β^- γ 937...	Ho 163 1.1 h 4570 a ϵ no γ	Ho 164 37 m 29 m ϵ β^- 1.0... γ 37; 57... β^- γ 91; 73... β^- γ 211	Ho 165 100 σ 3.1 + 58 $\sigma_{n,\alpha} < 2E-5$	Ho 166 1200 a 26.80 h ϵ β^- ... γ 184; 810; 712 γ 81... σ 3100 β^- γ 1.9... γ 81... σ 3800
Dy 160 2.329 σ 60 $\sigma_{n,\alpha} < 0.0003$	Dy 161 18.889 σ 600 $\sigma_{n,\alpha} < 1E-6$	Dy 162 25.475 σ 170	Dy 163 24.896 σ 120 $\sigma_{n,\alpha} < 2E-5$	Dy 164 28.260 σ 1610 + 1040	Dy 165 1.3 m 2.35 h β^- 108; ϵ^- β^- 0.9; 1.3... 1.0... γ 95; γ 515... σ 2000 σ 3800
Tb 159	Tb 160	Tb 161	Tb 162	Tb 163	Tb 164

Ma ci sono contaminazioni provenienti da altre specie:

- $^{165}\text{Ho} (n,\gamma) ^{166m}\text{Ho}$ (β , $\tau_{1/2} \sim 1200$ anni)
- da contaminazioni di ^{165}Ho oppure $^{164}\text{Er} (n,\gamma)$
- processo di purificazione e selezione del campione in modo da eliminare specie contaminanti che possono generare fondo nella misura
- fondamentale ridurre al minimo il contributo di ^{166m}Ho
- Tutta la sorgente di Ho è già stata prodotta ed è in attesa di essere estratta dalla vasca di irraggiamento e trasportata a PSI

Purificazione dell' ^{163}Ho

La separazione dell'Ho da altri contaminanti procede in piu' passaggi:

- **purificazione radiochimica** (prima/dopo il processo di attivazione)
 - permette di separare tutto cio' che non e' Ho, non ha effetti sugli isotopi (es. $^{166\text{m}}\text{Ho}$)
 - **MoU siglato fra INFN e PSI** per la purificazione di tutta la sorgente necessaria per HOLMES ($\sim 200\text{MBq}$)
- **“distillazione” dell' ^{163}Ho**
 - ^{163}Ho dopo purificazione è in forma ossidata, necessario in forma metallica per essere utilizzato nello spettrometro
- **separazione in massa con spettrometro magnetico**
 - fondamentale per eliminare $^{166\text{m}}\text{Ho}$
 - sviluppo di linea di fascio a bassa energia (50keV) permette di impiantare nuclei nell'assorbire
 - Produzione di target da sputtering per sorgente

Produzione del target

“ricetta” sinter definita (collaborazione con Prof. Manfrinetti DCCI):

- 5% Ho
- 36% Ti
- 41% Ni
- 18% Sn
- Polveri < 40um
- Miscela e lavorazione in atmosfera controllata per ridurre ossidazione
- Pressato in stampo e “cotto” @1200 K per qualche giorno...

Campioni già prodotti (Ho naturale!) e pronti alla cottura → completato procurement tubo in quarzo + produzione flangia di misura per tenuta vuoto.

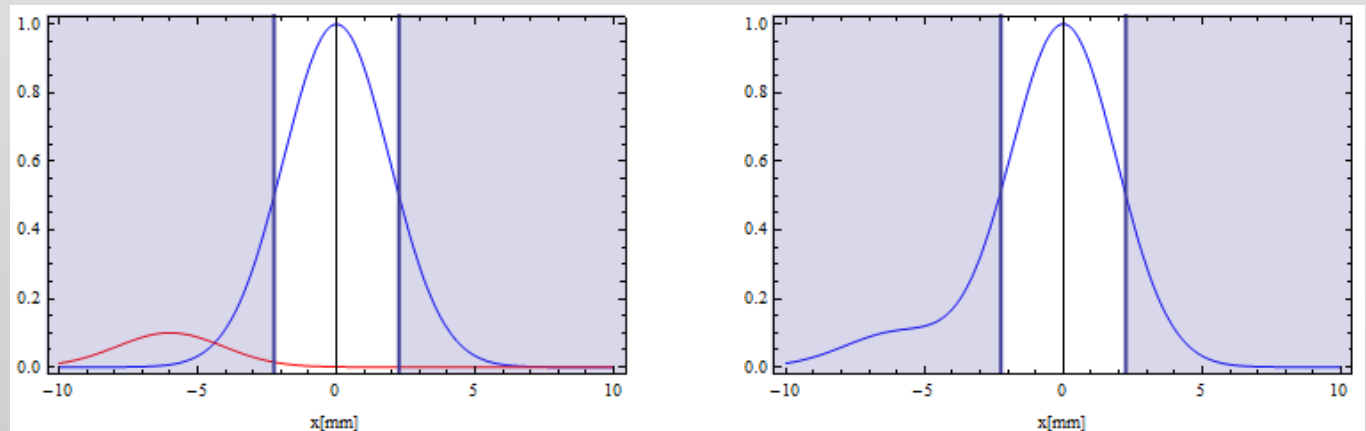


Produzione target in queste settimane.

Il separatore isotopico

- **sorgente ionica** basata su sputtering con potenziale di accelerazione a 50kV
 - ionizza ^{163}Ho in plasma d'Ar e accelera fascio
- **dipolo per analisi magnetica**
 - separa isotopi in funzione delle masse
- **diagnostica e target**
 - analisi del fascio, slitte, posizionamento del target, coevaporazione di Au (la sorgente deve essere incapsulata nel micro-calorimetro)

Diametro fascio atteso circa 4.5mm FWHM alle slitte dopo magnete. Separazione fra 2 picchi masse adiacenti (es 163/162) ~ 6mm



Impiantatore



Impiantatore

- Installazione dell'impiantatore completata
- Tutto il sistema e' controllato in remoto con controller NI e Labview
 - Tutti gli elementi a 50kV sono schermati con strutture in PVC da 40mm (vedi seguito)
- Corrente di fascio misurata: $\sim 100\mu\text{A}$ con target in rame
- Target con ^{165}Ho in matrice di TiO-Ni-Sn preparato e pronto ad essere montato in sorgente.

Procedure e dispositivi di sicurezza



Attività 2019 - 2020

- Completare test impiantatore con bersaglio in rame e caratterizzazione della linea di fascio
- Installazione bersaglio con Ho e test della linea di fascio @165a.m.u.

Produzione bersaglio finale con 163Ho

- Upgrade della linea di fascio:
 - Quadrupolo elettrostatico + tool diagnostica (già acquistati)
 - Estensione della linea di fascio ~ 2.5 m
 - Riunione per organizzazione / logistica prevista per Luglio 2019

Anagrafica / richieste servizi

Richieste servizi:

- studio posizionamento carichi per upgrade linea di fascio
- disegno e produzione strutture

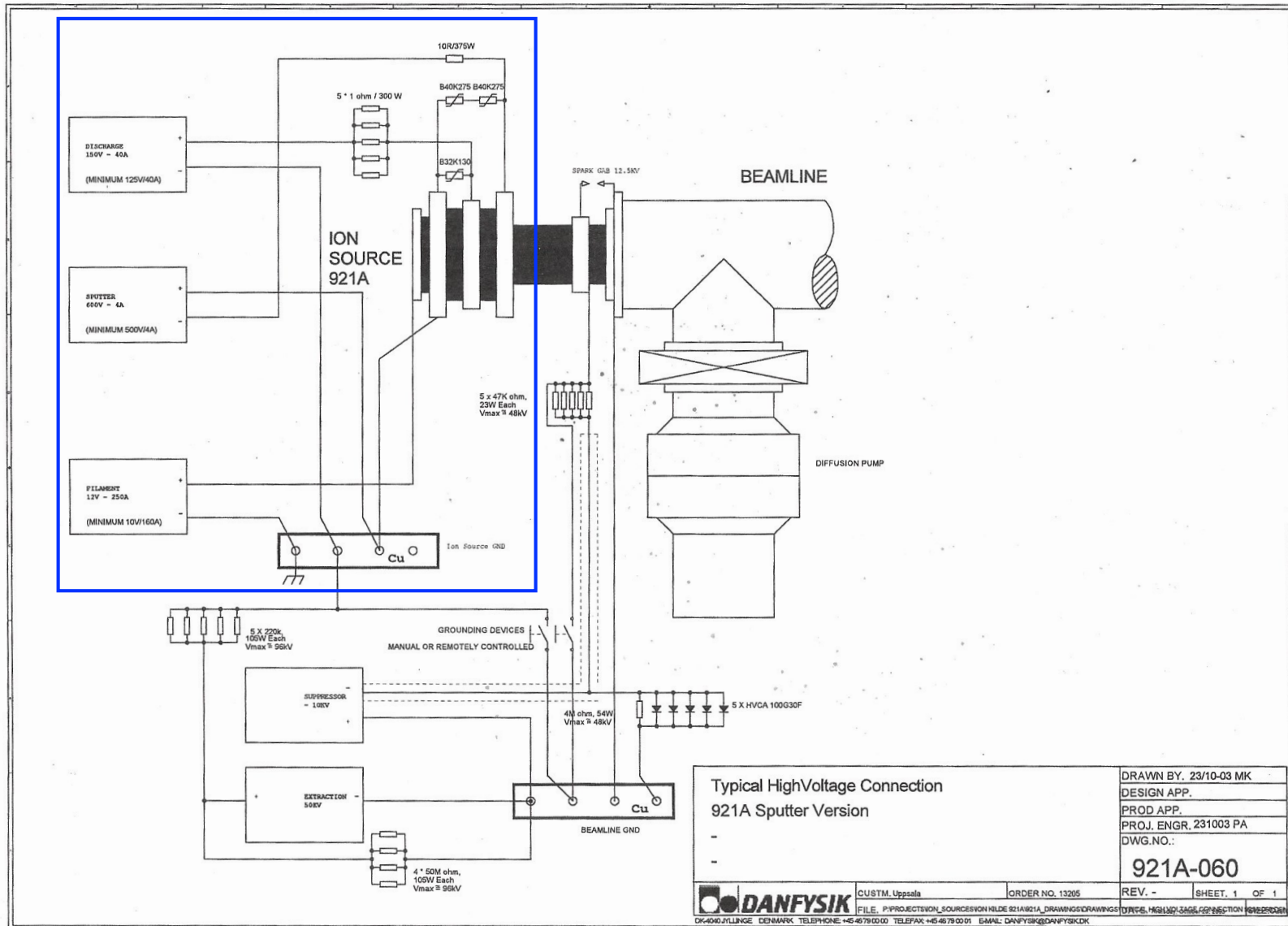
Holmes_2	
De Gerone	50%
Gallucci	100%
Manfrinetti	50%
Provino	50%
Bevilacqua	5 m.u.
Parodi L.	4 m.u.
Siccardi	5 m.u.

Officina	6 m.u.
Pro. mec.	6 m.u.

Back up

Schema della sorgente

devices a 50kV



Procedure e dispositivi di sicurezza

- Messa in sicurezza dell'apparato per permettere primi test della macchina
- Produzione di rack isolato per la schermatura degli strumenti @50keV e box isolata per trasformatore @50keV
 - Pro. Mec.: A. Lalli, C. Rossi
 - Officina.: A. Manco
- Schermatura di tutti i cavi @50keV con tubi di PVC e posizionamento.
- Testato con successo fino alla tensione massima di 50keV
- Produzione simile schermatura per la sorgente (in plexiglass) in fase di dettaglio.

Procedure e dispositivi di sicurezza

- Protocollo di manipolazione della sorgente con esperto qualificato (P. Prati) → necessario acquisto glove box per lavorazioni produzione target con sorgente
 - finanziata da CSN2, ordine piazzato in questi giorni, consegna e installazione in laboratorio a settembre
- Progettazione di sistema di movimentazione della flangia di chiusura del forno di distillazione e sistema per contenere flusso di evaporato
 - Disegno completato (C. Rossi, A. Lalli) in fase di procurement del materiale
- “Dichiarazione di detenzione” dell’impiantatore (ancora con EQ)