

Il bosone X_{17} a **PADME**

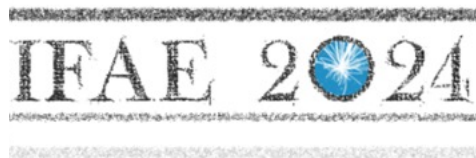
E. Di Meco - **LNF-INFN**

Per la collaborazione PADME

Incontri di Fisica delle Alte Energie IFAE– Firenze, 5 Aprile 2024

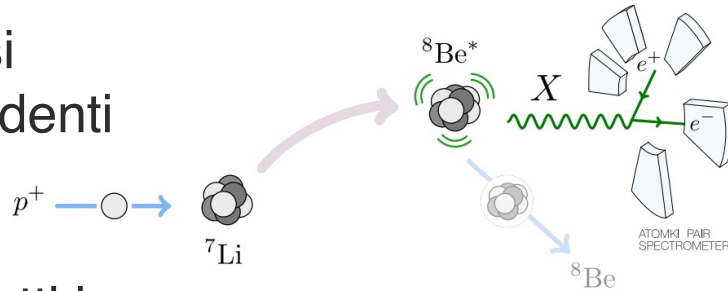


TOR VERGATA
UNIVERSITY OF ROME

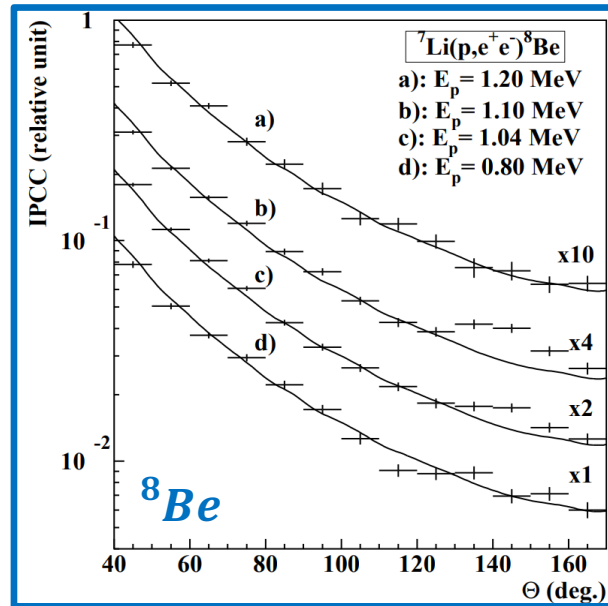


Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

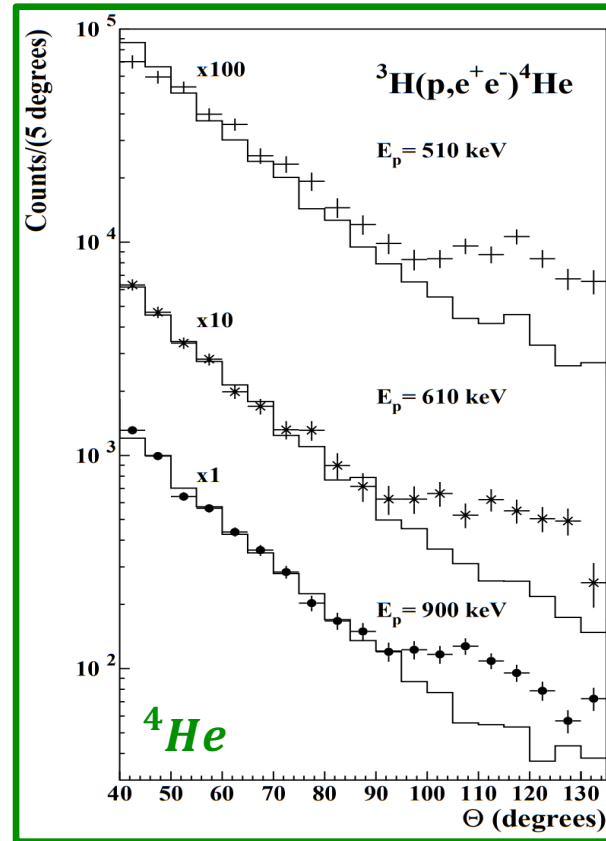
- I recenti risultati della collaborazione ATOMKI hanno mostrato degli eccessi anomali nelle misure dell'IPC per ${}^8\text{Be}$, ${}^4\text{He}$ e ${}^{12}\text{C}$.
- Trovata a diversi angoli corrispondenti all'energia di transizione
- Compatibile in tutti i casi con la produzione e successivo decadimento di un nuovo bosone di massa di 17 MeV, X_{17} .



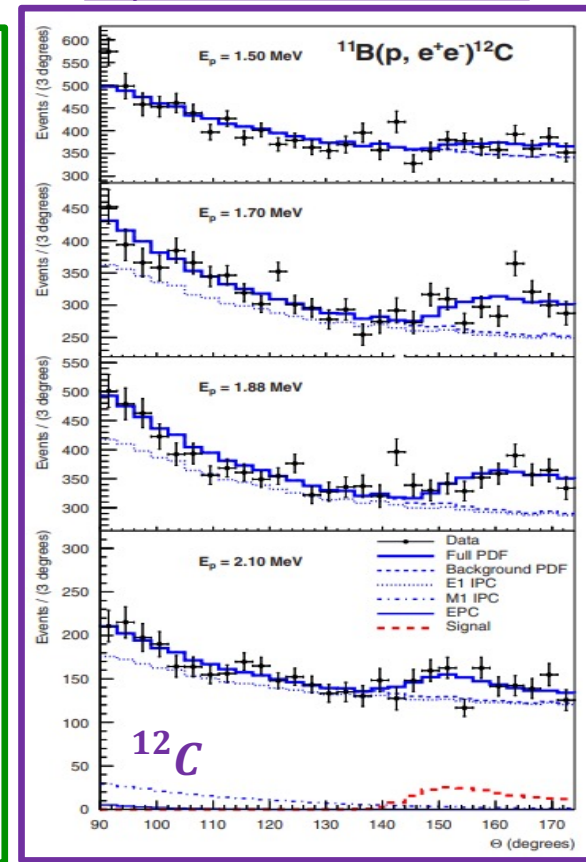
[Phys.Rev.Lett. 116 \(2016\) 4, 042501](#)



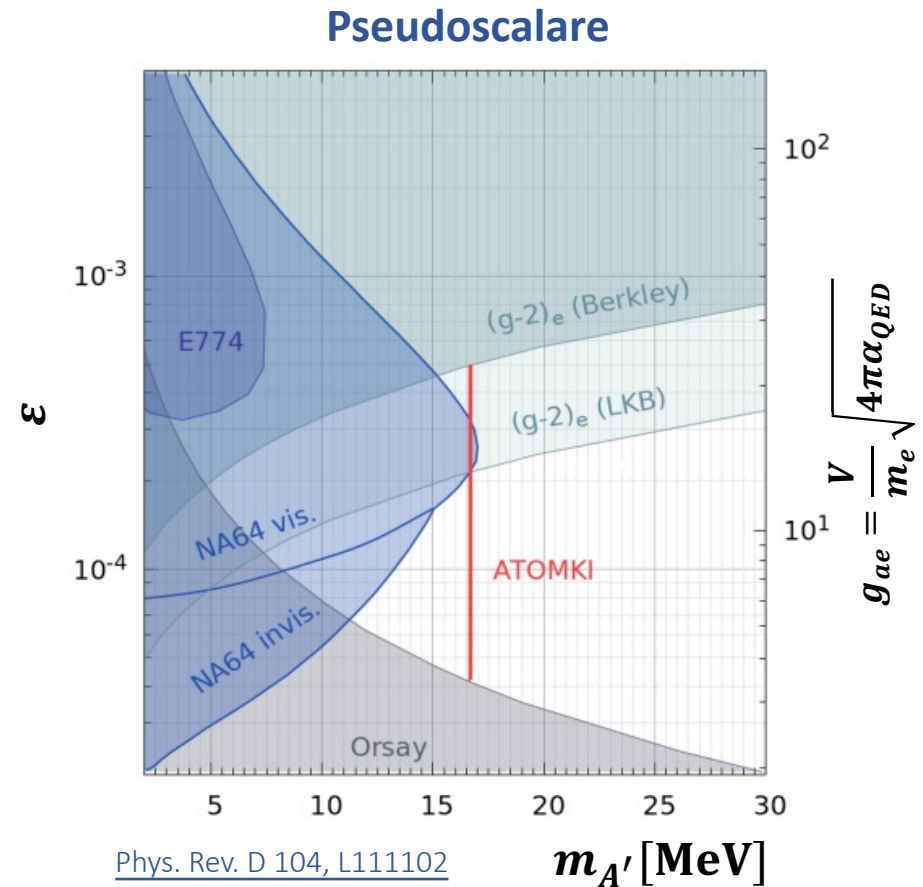
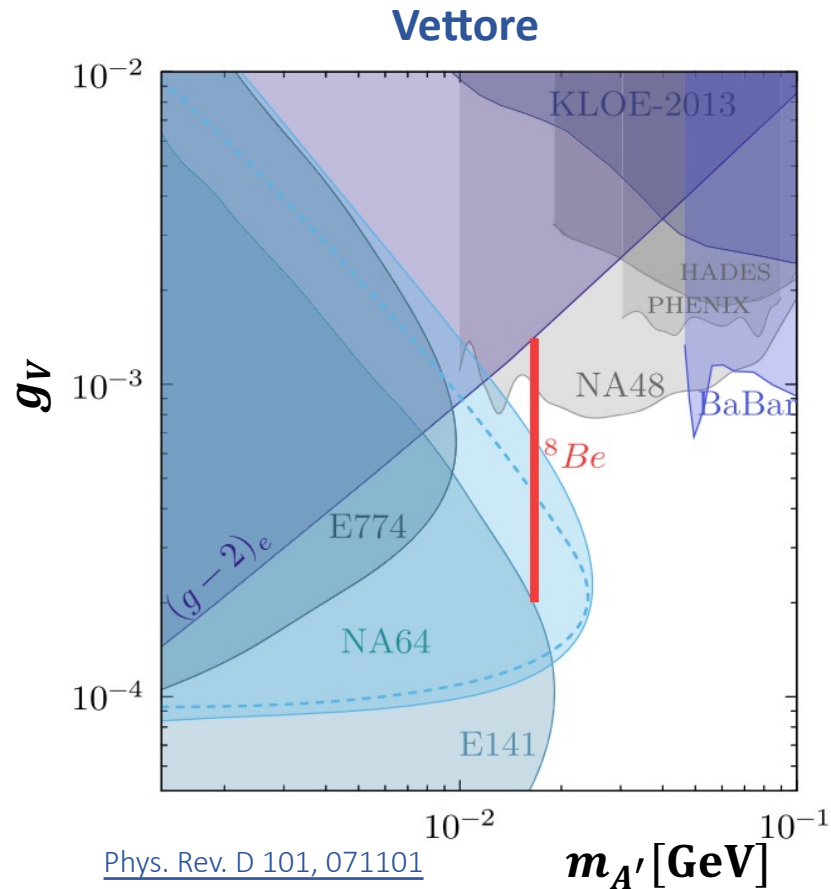
[Phys.Rev.C, 104\(4\):044003](#)



[Phys. Rev. C 106, L061601](#)



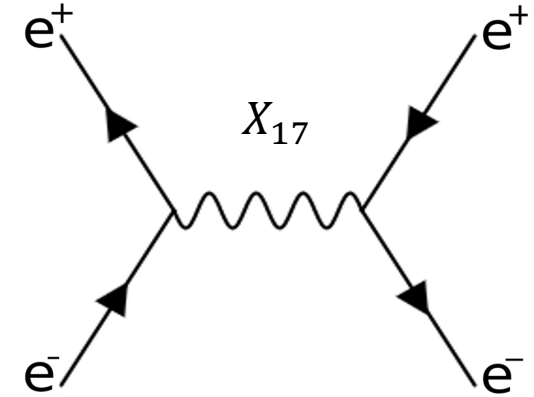
- C'è ancora spazio dei parametri disponibile per la ricerca di X17 sia nel modello vettoriale che per particelle simili agli assioni (ALPs), PADME ha la possibilità mettere limiti in entrambi.



- È possibile sfruttare la produzione risonante per cercare decadimenti visibili di X17 in coppie e^+e^-
- La sezione d'urto $\sigma_{res} \propto \frac{g_{Ve}^2}{2m_e} \pi Z \delta(E_{res} - E_{beam})$ scala con Z → processo dominante rispetto ai modi alternativi di produrre il medesimo segnale (produzione associata o radiativa).
- Necessario \sqrt{s} prossimo alla massa attesa → richiesta una procedura di scan fine nell'energia del fascio di e^+

Strategia di analisi:

1. cambiare l'energia del fascio
2. fittare il fondo
3. calibrare la luminosità
4. cercare la risonanza



$$N_{X17}^{perPoT} \propto \frac{g_{Ve}^2}{2m_e} \ell_{tar} \frac{N_A \rho Z}{A} f(E_{res}, E_{beam})$$

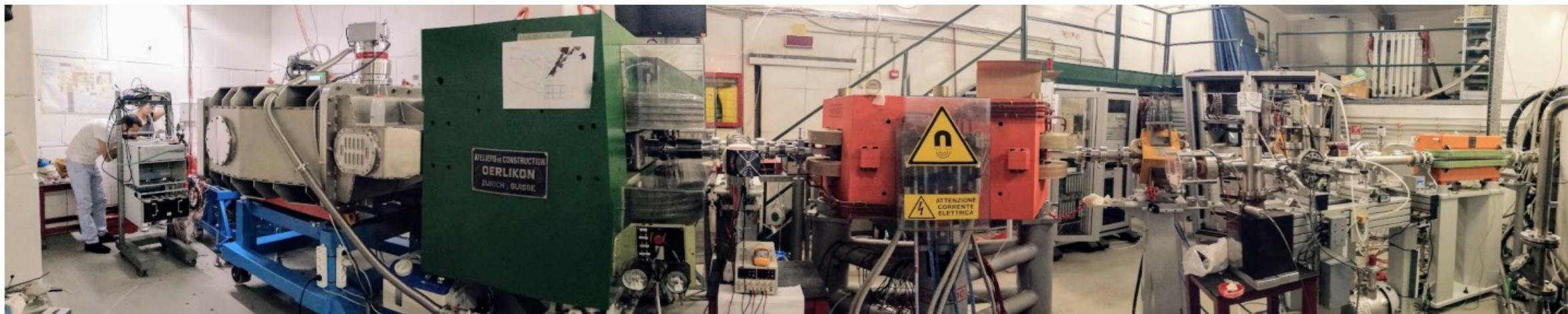
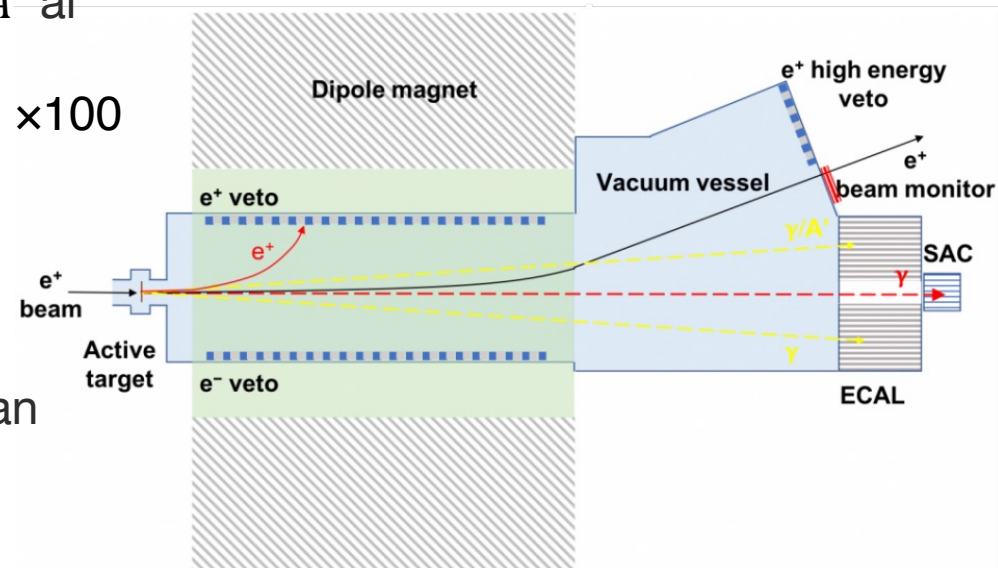
$f(E_{res}, E_{beam})$ dispersione energetica del fascio
 → Distribuzione gaussiana con **dispersione δE**

PADME L'esperienza PADME

- Positron Annihilation into Dark Matter Experiment: $e^+e^- \rightarrow \gamma A'$ ai Laboratori Nazionali di Frascati (LNF).
- Fascio di e^+ ($E < 550$ MeV) su bersaglio attivo di $2\text{ cm} \times 2\text{ cm} \times 100\text{ }\mu\text{m}$ di diamante
- Misura di ΔM_{miss}^2 tramite il calorimetro elettromagnetico.
- Sensitività per fisica sotto il GeV (e.g. ALPs)

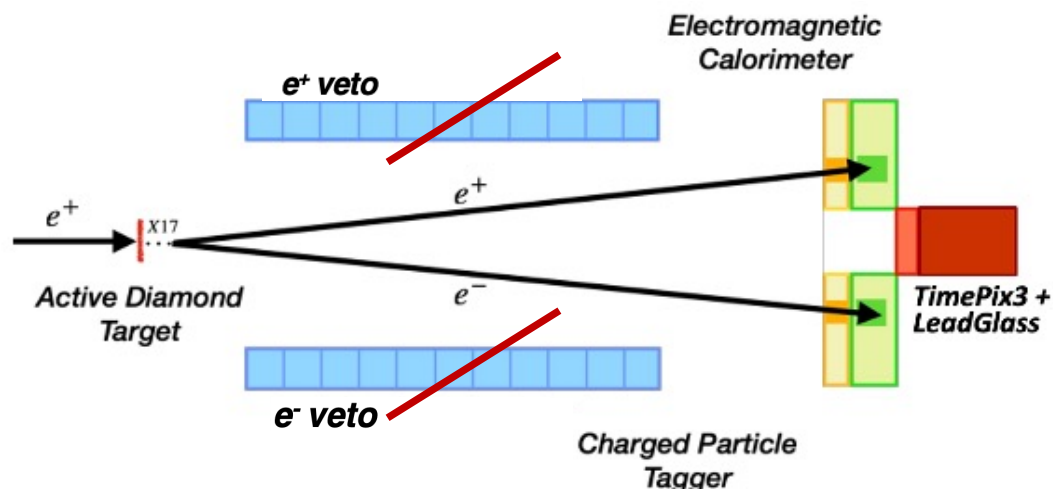
Può sfruttare la **produzione risonante** di $X_{17} \rightarrow$ procedura di scan fine: **PADME Run III**.

- Necessarie alcune modifiche all'apparato sperimentale



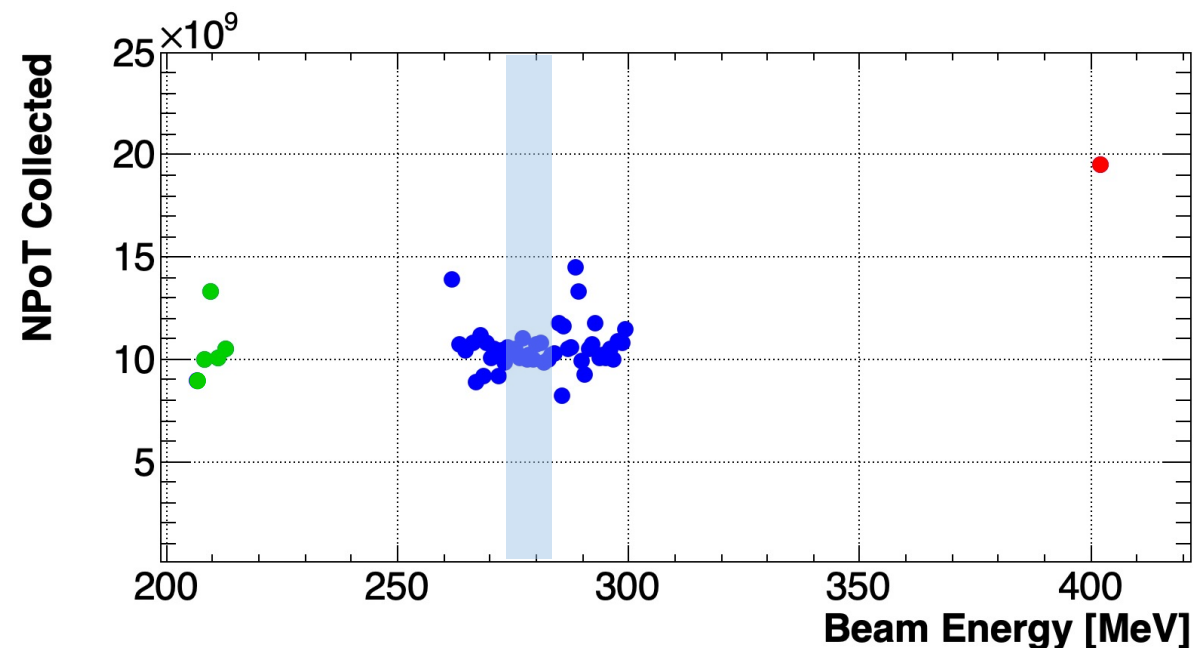
Il fondo atteso dal Modello Standard è dominato dallo scattering di Bhabha e dalla produzione di coppie $\gamma\gamma$ e viene fittato direttamente dai dati \rightarrow **il setup va modificato**

- Dipolo di PADME spento
- Aggiunta del nuovo rivelatore ETagger per identificazione delle particelle cariche
- Sostituzione del SAC con monitor di fascio TimePix3 e cristallo di vetro al piombo



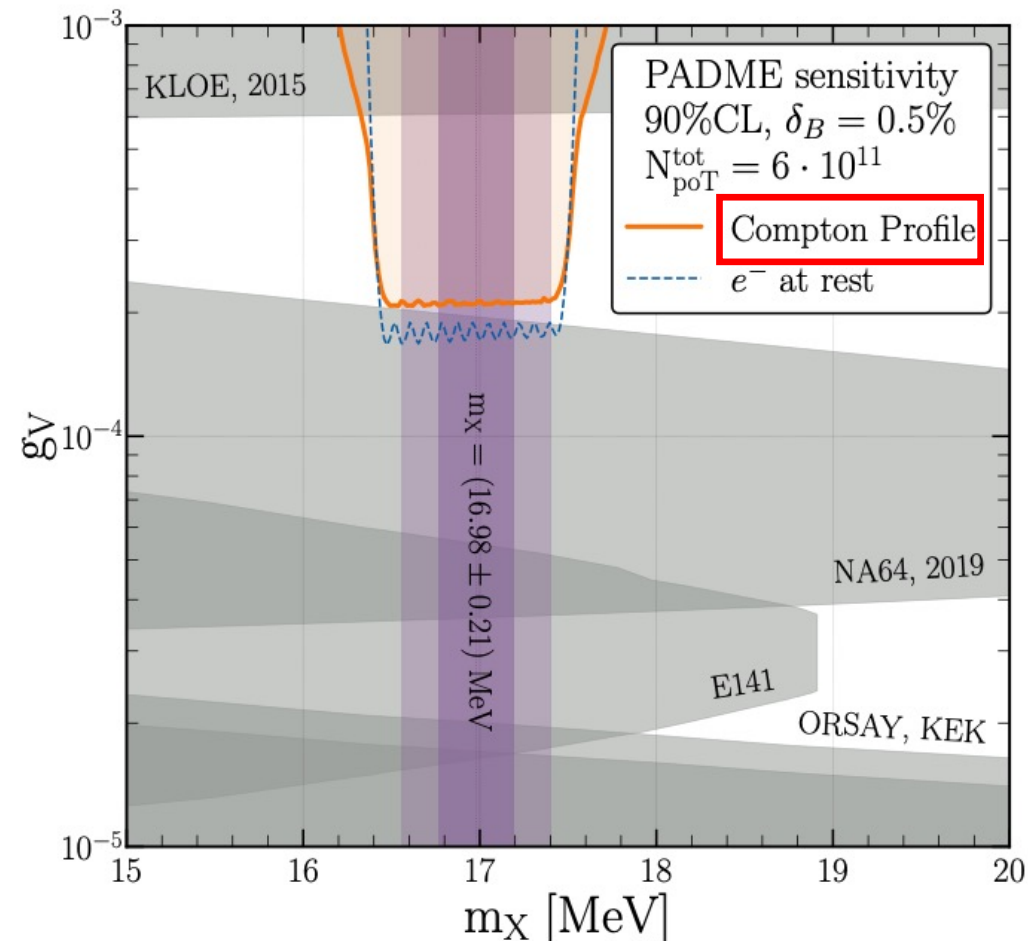
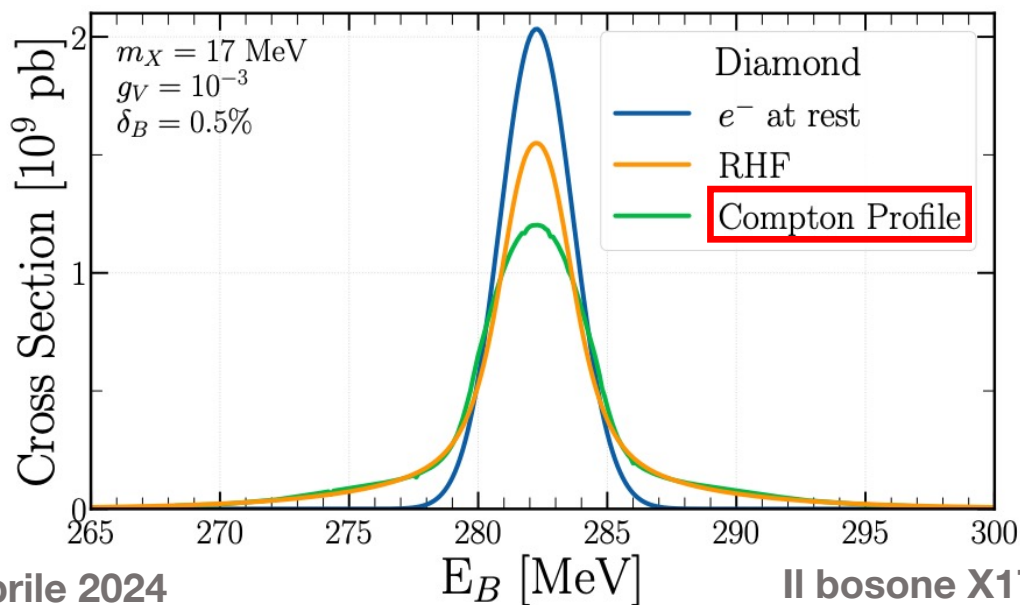
La presa dati è poi stata suddivisa in 3 parti:

- **In risonanza: 47 punti a (263-299) MeV**
- **Sotto risonanza: 5 punti a (205-211) MeV**
- **Sopra risonanza: 5 punti a 402.5 MeV**



Banda azzurra: intervallo di massa dei risultati dei fit in [Phys. Rev. D 108, 015009 \(2023\)](https://arxiv.org/abs/2205.08801)

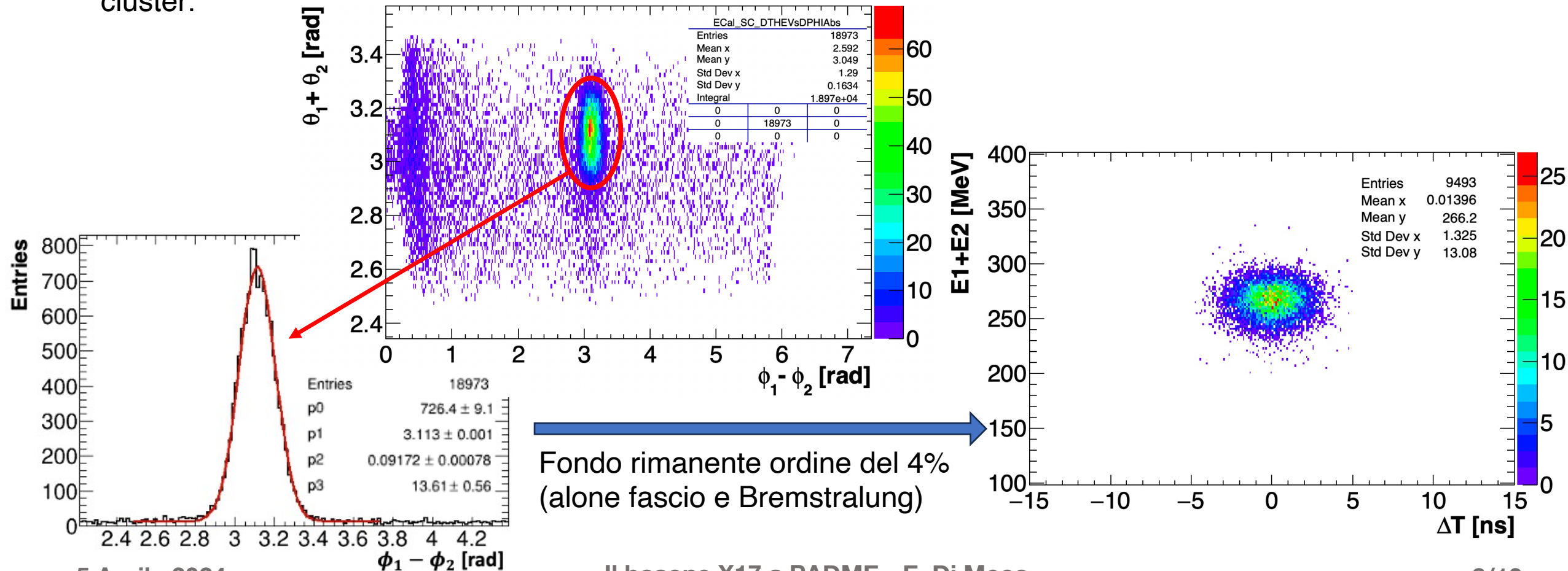
- Il moto degli elettroni all'interno del bersaglio di diamante provoca un allargamento dell'energia nel centro di massa.
- Questo ha diversi effetti sulla presa dati già conclusa:
 1. Abbassamento del picco di un fattore 3 e del S/B di 2
 2. La disponibilità di dati nelle bande laterali da usare per valutare il fondo si riduce di un fattore 4
 3. La sensibilità dipende strettamente dall'**errore sistematico**, quest'ultimo deve essere **dell'ordine del 0.3%** per chiudere la zona dei parametri disponibile



<https://arxiv.org/pdf/2403.15387.pdf>

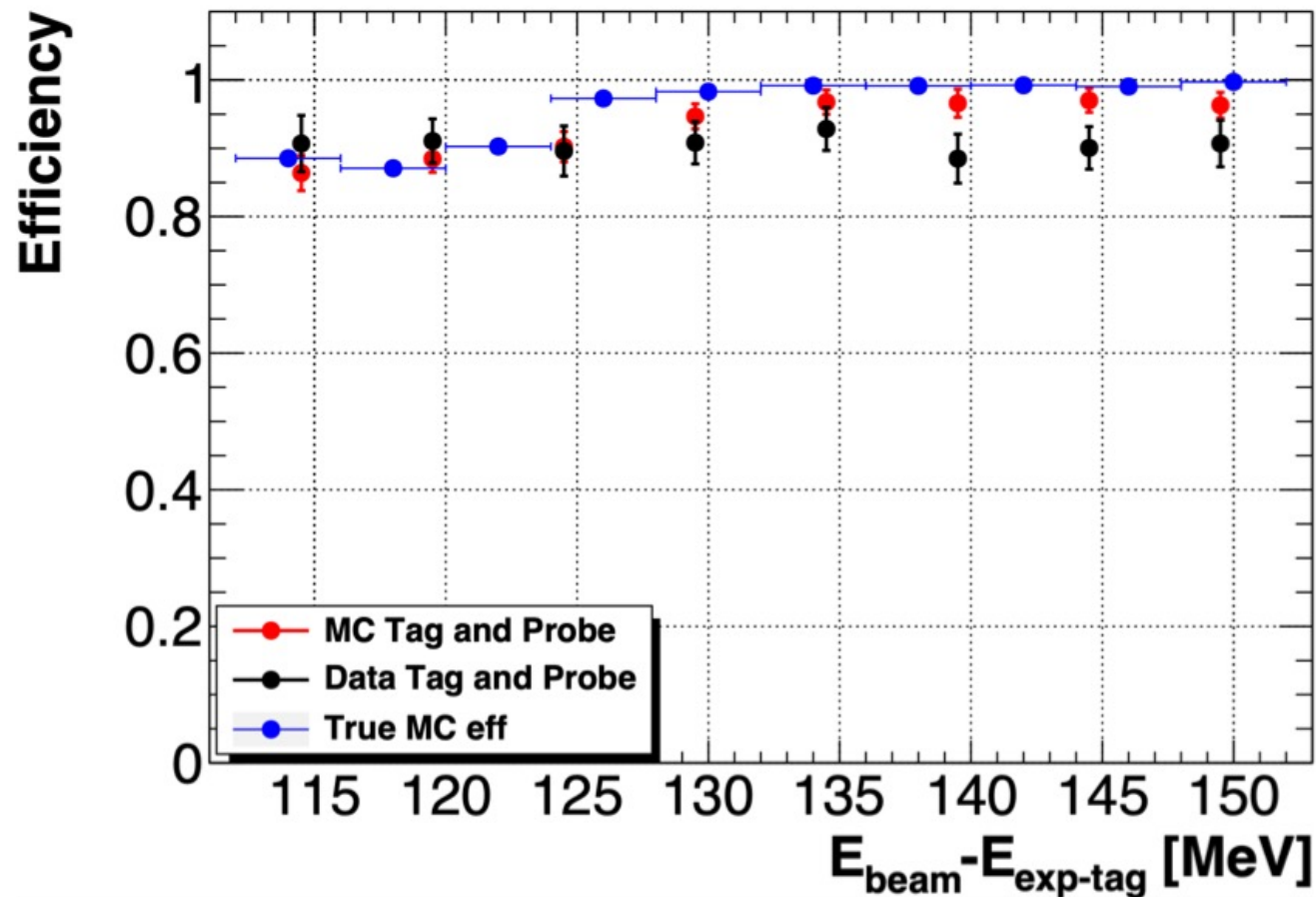
PADME Run III: selezione candidati di segnale

- Il calorimetro elettromagnetico è il detector fondamentale per questa misura → **ricerca di due cluster in tempo (5 ns)**
- La selezione è prettamente basata sulla **correlazione angolare del decadimento in due corpi nel sistema di riferimento del centro di massa** → indipendente dalla risposta in energia e dalla ricostruzione dei cluster.



PADME Run III: efficienza di ECAL

- Il calorimetro elettromagnetico è il detector fondamentale per questa misura → necessario valutarne l'efficienza
- Il metodo scelto è quello del **Tag and Probe**
- L'inefficienza a bassa energia è dominata dalla soglia sull'energia delle hit in fase di ricostruzione
- Differenza tra verità Monte Carlo e Tag and Probe su MC minima → l'influenza del metodo di valutazione è anch'essa minima
- Correzione MC sui dati all'ordine del %.

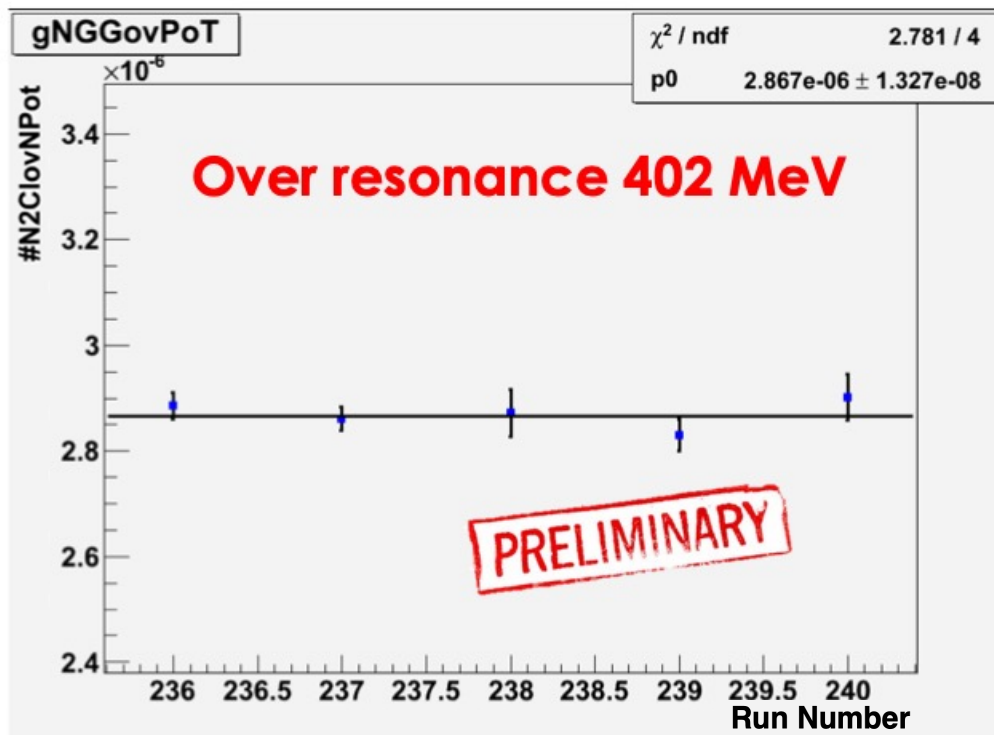
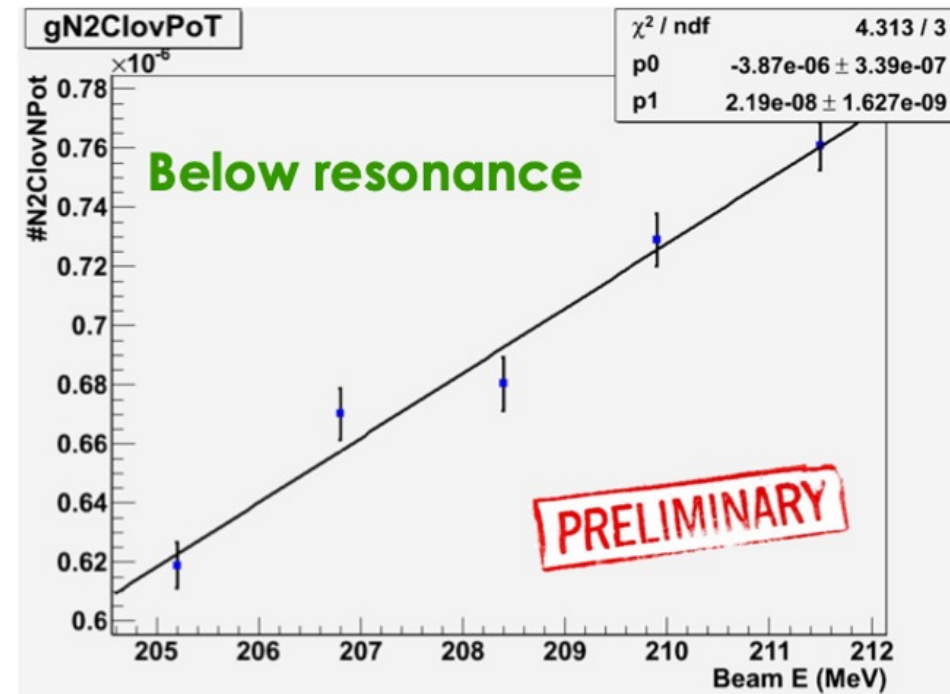


PADME Run III: stabilità del segnale

Stabilità del segnale: valutata con il rapporto tra il numero di 2 coppie di cluster e il numero di PoT

- Punti sotto risonanza:**

- RMS <1% tra le 5 energie sui residui rispetto al fit
- χ^2 del fit lineare buono, la pendenza è dovuta all'accettazione ed è riprodotta anche nel MC



- Punti sopra risonanza:**

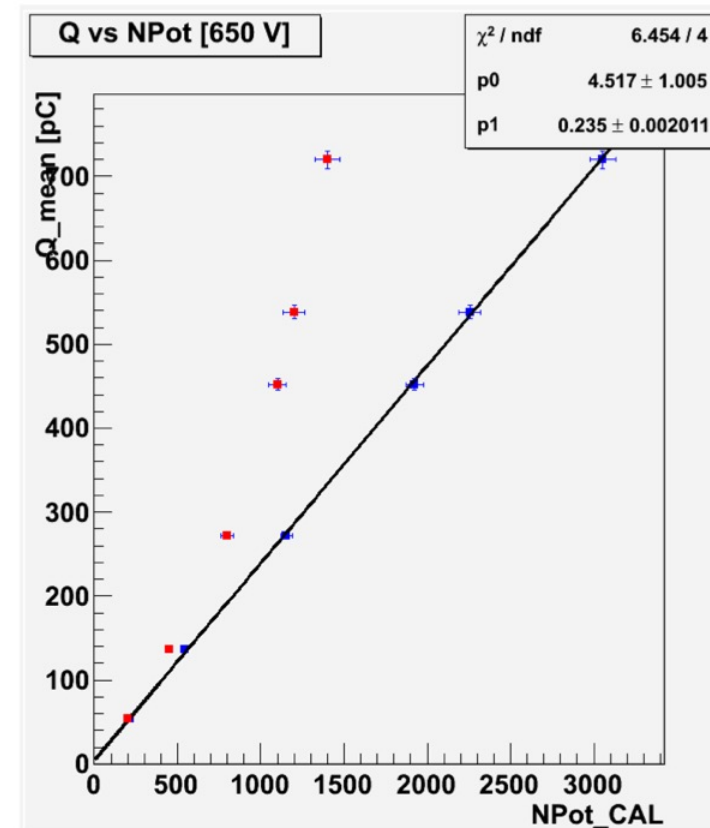
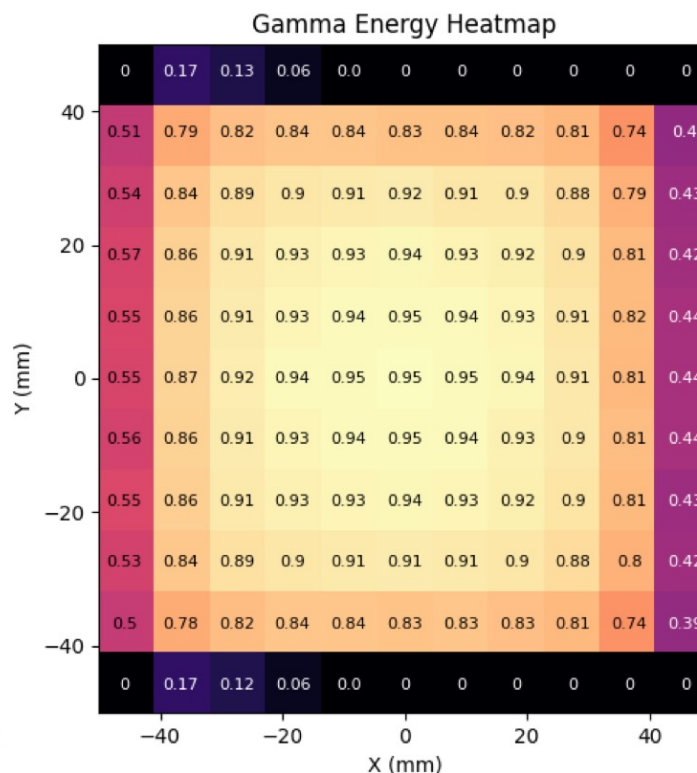
- RMS <0.7% tra le cinque prese dati, compatibile con errore puramente statistico
- χ^2 del fit costante buono, sistematiche sembrano assenti anche senza correzioni di accettazione.

Stabilità → livello dell' 1% sui punti fuori risonanza

PADME Run III: valutazione dei PoT

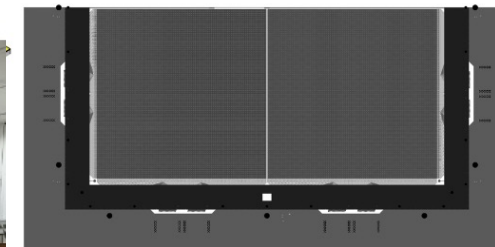
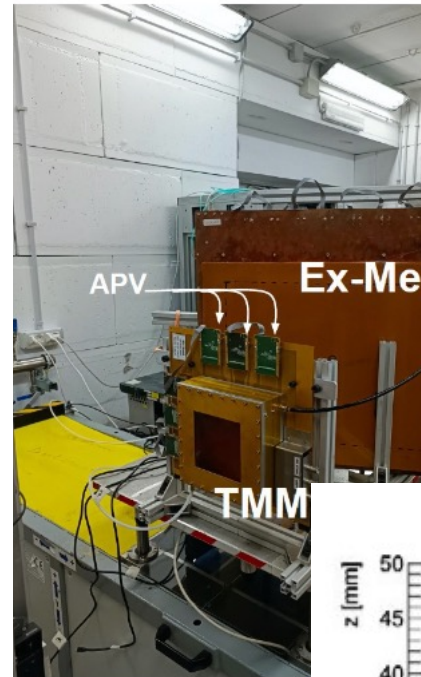
- La scala assoluta dei positroni su bersaglio (PoT) è necessaria per stimare la sezione d'urto assoluta
- Valutata con un luminometro in vetro al piombo posto alla fine della linea di fascio con una precisione al di sotto del 10% ma ancora migliorabile.
- Le variazioni di posizione del fascio in particolare necessitano delle correzioni punto per punto al livello del % → da tenere in conto durante l'analisi.

Luminometro in vetro al piombo

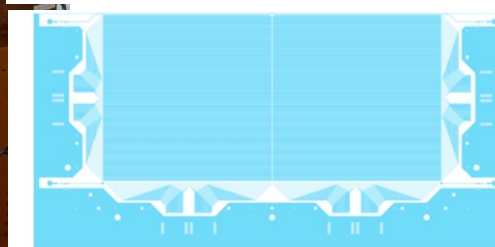


PADME Nuovo run, nuovo tagger

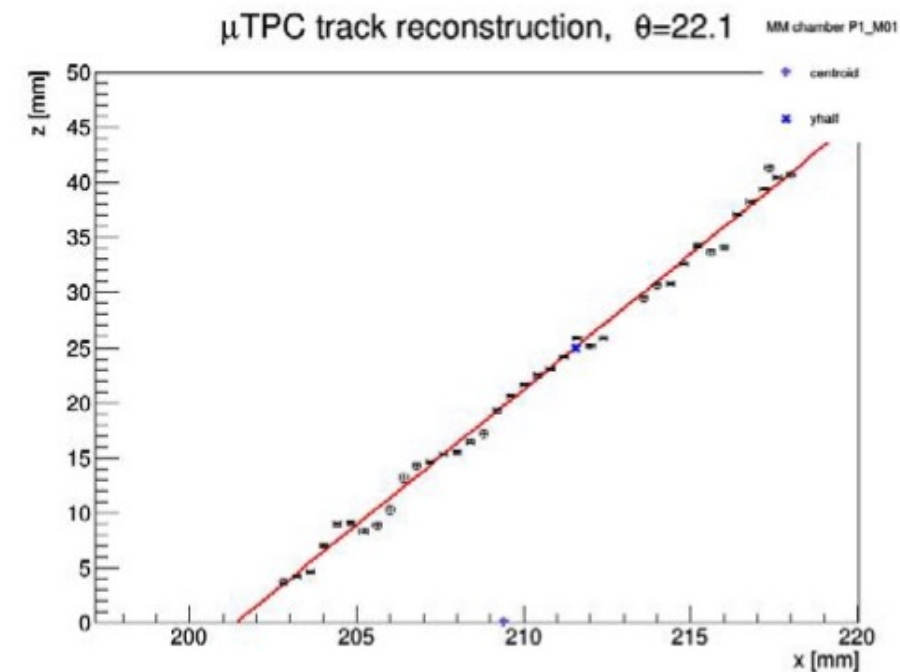
- In preparazione nuovo tracciatore per determinare la massa invariante e^+e^-
- Per l'analisi di X17 è meglio usare $N(e^+e^-)/N(\gamma\gamma)$ e non $N(e^+e^-/\gamma\gamma)/POT$
- La probabilità di selezionare eventi errati deve essere tenuta sotto controllo → ETag non è adatto per la stabilità essendo limitato dalla rate → necessario un nuovo rivelatore
- **Idea: micro pattern gas detector:**
 - Alta segmentazione
 - Capacità di tracciare
 - Bassa X0
 - Ottima risoluzione in XY
- Già provato in un test beam alla Beam Test Facility di LNF nel 2023 e pronto per un prossimo test a Maggio 2024.



Schema a strip



Schema a diamante



- I dati raccolti durante il Run III di PADME sono in linea con le aspettative per la ricerca di X_{17} → l'1% di errore sistematico è raggiungibile
- Guarderemo i dati in risonanza entro l'estate, sfortunatamente la sensibilità sarà ridotta rispetto a quella stimata prima del Run e non riusciremo a chiudere lo spazio dei parametri
- Serve un nuovo run e un nuovo tracciatore che permetta misure di precisione di $ee/\gamma\gamma$ indipendenti dal numero di PoT
- È necessaria inoltre 4 volte la statistica raccolta in Run III di modo da dimezzare l'errore statistico e chiudere lo spazio dei parametri libero



Backup slides

Il **Fotone Oscuro A'** può essere descritto come un portale massivo e neutro tra il Modello Standard e il Settore Oscuro:

$$\mathcal{L} \sim g_V q_f \bar{\psi}_f \gamma^\mu \psi_f A'_\mu$$

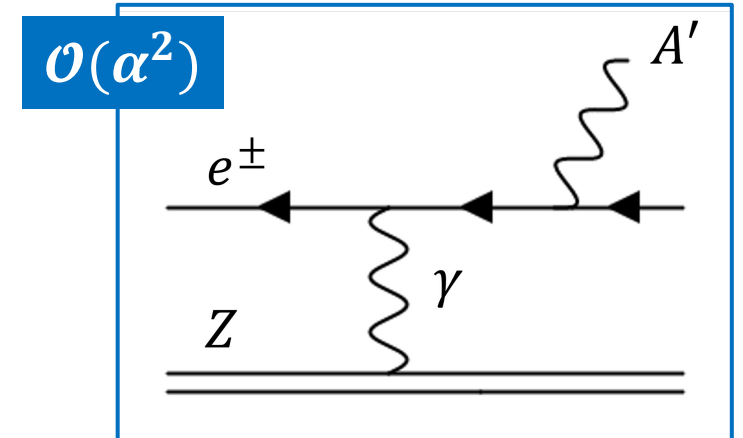
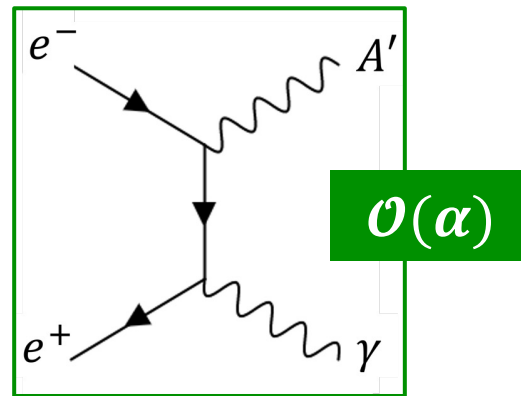
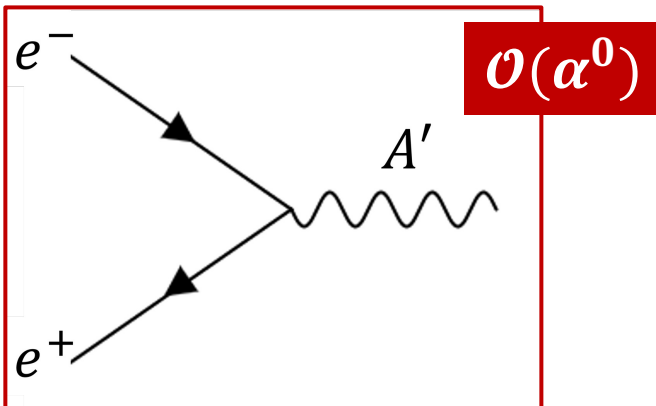
$g_V \ll 1 \rightarrow$ nascosto/oscuo

Produzione di A' tramite due differenti meccanismi, annichilazione ed emissione:

- **Annichilazione risonante:** $e^+ e^- \rightarrow A' \rightarrow \sigma_{res}(E_{e^+}) = \frac{12\pi}{m_{A'}^2} \frac{\Gamma_{A'}^2/4}{(\sqrt{s}-m_{A'})^2 + \Gamma_{A'}^2/4}$
- **Produzione associata:** $e^+ e^- \rightarrow \gamma A'$
- **Emissione radiativa A' -strahlung:** $e^\pm Z \rightarrow e^\pm Z A'$

[Nardi et al. Phys. Rev. D 97, 095004](#)

L'annichilazione risonante è accessibile solo tramite esperimenti con fascio di positroni



In accordo con le osservazioni di ATOMKI, le principali proprietà di X_{17} sono:

- $m_{X_{17}} \simeq 17 \text{ MeV}$ [Feng et al. Phys. Rev. Lett., 117\(7\):071803, 2016](#)
- $Br(e^+e^- \rightarrow X_{17}) \simeq 5 \times 10^{-6} Br(e^+e^- \rightarrow \gamma\gamma)$
- $\Gamma_V \simeq 0.5 \left(\frac{g_V}{0.001}\right)^2 \text{ eV}$ per il caso vettoriale

Le regole di selezione di spin-parità $J_* = L \oplus J_0 \oplus J_X$ e $P_* = (-1)^L P_0 P_X$ sono necessarie per identificare la natura del nuovo mediatore.

[Come proposto da J. Feng in Phys.Rev.D 102 \(2020\) 3, 036016](#)

N_*	J_*^P	Scalar X17	Pseudoscalar X17	Vector X17	Axial Vector X17
$^8\text{Be}(18.15)$	1^+	X	✓	✓	✓
$^{12}\text{C}(17.23)$	1^-	✓	X	✓	✓
$^4\text{He}(21.01)$	0^-	X	✓	X	✓
$^4\text{He}(20.21)$	0^+	✓	X	✓	X

^{12}C Last results

[Phys. Rev. C 106, L061601](#)

Basic assumptions [counting experiment]

Statistics collected (after data quality cuts): $O(10^{10}$ POT) / point

Beam momentum spread: $\sigma_E = 0.7$ MeV/c \rightarrow 0.25% relative beam spread

47 points spaced by $\Delta E = 0.75$ MeV/c $\sim \sigma_E$, reduce span due to binning

- Signal counts (S) expected per point: $S = 350 \times (g_{\nu e} / 2 \times 10^{-4})^2$
- Background (B) expected per point: $B \sim 45000$ events

$S / \sqrt{B} \sim 1.6 \times (g_{\nu e} / 2 \times 10^{-4})^2$

- **5 σ discovery** for $g_{\nu e} > 3.5 \times 10^{-4}$
- If no signal, **90% CL excl.** for $g_{\nu e} > 0.9 \times 10^{-4}$

Systematic σ_B negligible if $\sigma_B / B \ll 1/\sqrt{B} = 0.5\%$

If $\sigma_B / B = 1\%$:

- sensitivity worsens by $\sqrt{3} \rightarrow$ **5 σ** , **3 σ obs.** 5 (**3.8**) $\times 10^{-4}$, **excl.** 1.5×10^{-4}
- **expected exclusion in absence of NP would remain within NA64**

