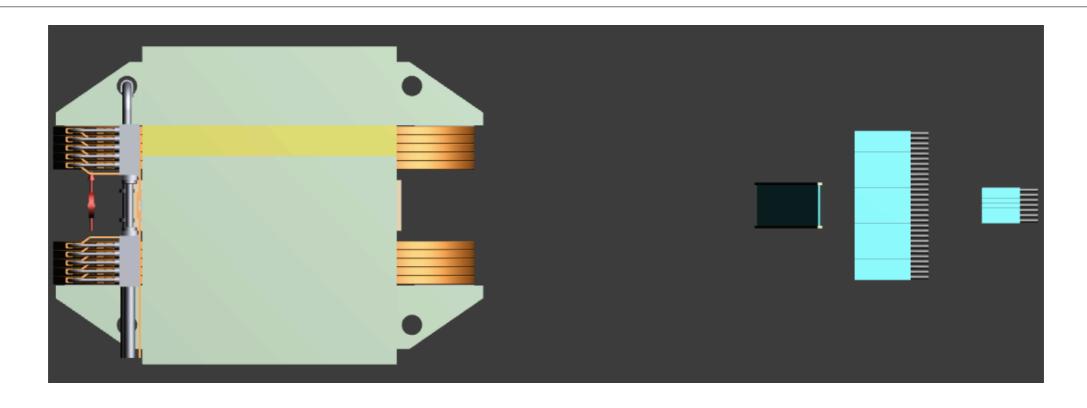




L'esperimento PADME

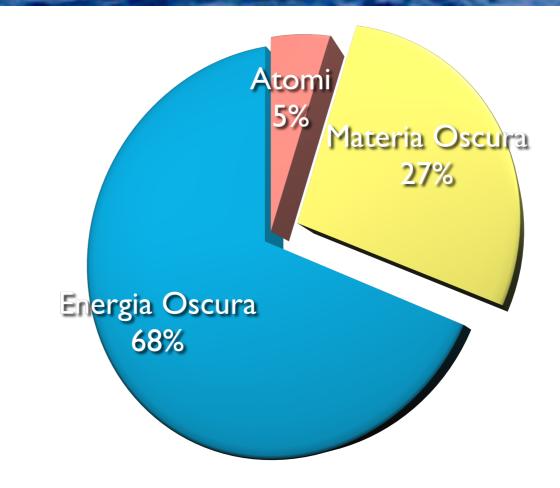
Gabriele Piperno per la collaborazione PADME



Il problema della Materia Oscura

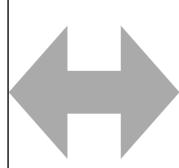
Evidenze sperimentali:

- galassie a spirale
- Radiazione Cosmica di Fondo
- lensing gravitazionale
- ammassi di galassie
- Nucleosintesi da Big Bang
- strutture a larga scala



Proprietà:

- stabile (vita media ~ età dell'universo)
- fredda (non relativistica)
- interazione gravitazionale
- non barionica



Questioni irrisolte:

- natura della Materia Oscura (MO)
- interazioni col MS
- esiste un Settore Oscuro (SO)?
- forze del SO?

Fotone Oscuro

Possibile soluzione alla elusività della MO: MO non interagisce direttamente con MS, ma per mezzo di "portali".

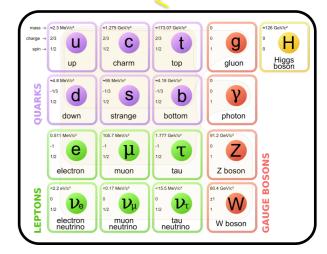
Modello più semplice aggiunge una simmetria U(1) di gauge e il suo bosone: il Fotone Oscuro (FO) A'



- particelle MS neutre sotto questa simmetria
- il nuovo campo si accoppia al MS con carica effettiva εq

Settore Oscuro

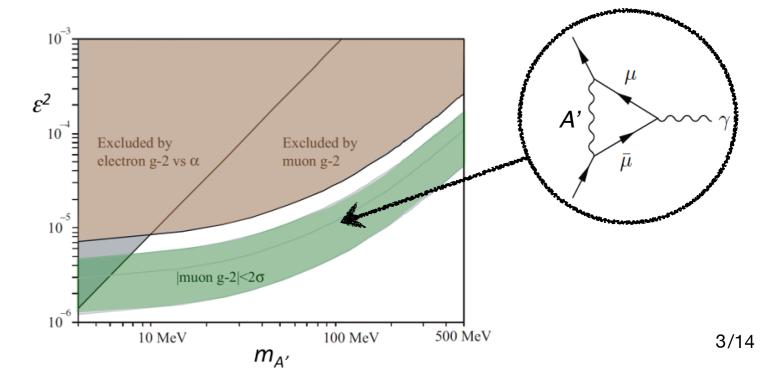
Portale (A')



In aggiunta A' con

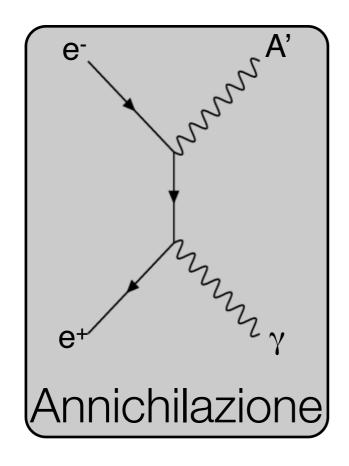
- 1 MeV $< m_{A'} < 1 \text{ GeV}$
- ε ≥ 10⁻³

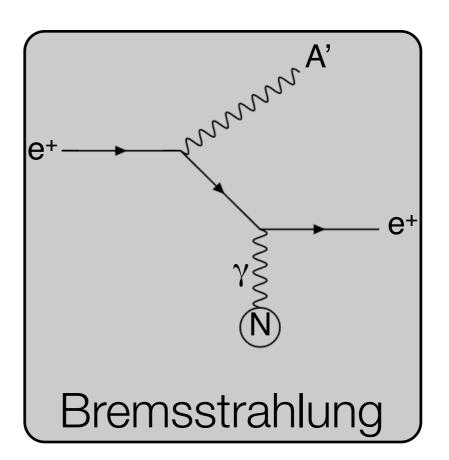
potrebbe spiegare la discrepanza tra teoria e misura su (g-2)_µ

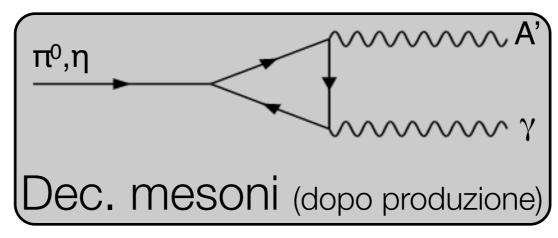


Produzione del Fotone Oscuro

Nelle collisioni e⁺/e⁻ il Fotone Oscuro può essere prodotto in 3 modi principali:







Decadimenti del Fotone Oscuro

Decadimenti visibili

Se non esiste MO con $m_{MO} < m_{A'}/2$:

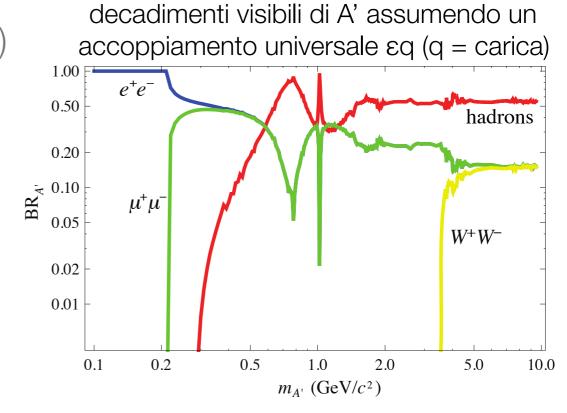
- A'→SM (visibile)
 - fino a $2m_{\mu}$, BR(e⁺e⁻) = 1 (se $m_{A'} > 2m_e$)

Vita media A' proporzionale a: $1/(\alpha \epsilon^2 m_{A'})$



Se esiste MO con $m_{MO} < m_{A'}/2$:

- A'→DM (invisibile) con BR ≃ 1
- decadimenti MS soppressi di un fattore ε²



Vita media A' proporzionale a: $1/(\alpha_D m_{A'})$

αD: costante di accoppiamento di A' al Settore Oscuro

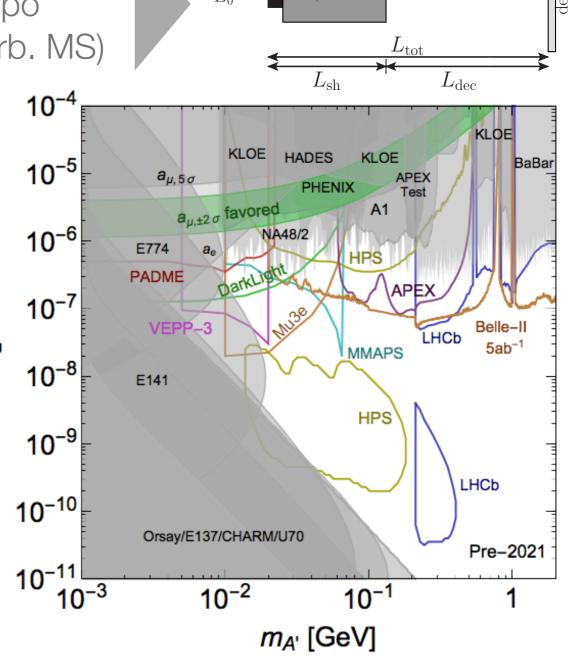
shield

Status della ricerca nel visibile

Tecniche:

- beam dump (bremsstrahlung)
 - rivelazione prodotti di decadimento di A' dopo bersaglio alto z (produz. A') + schermo (assorb. MS)
- bersaglio fisso (bremsstrahlung, annichilazione)
 - ricerca picchi in spettro massa invariante, vertici isolati
- decadimento mesoni
 - solo se A' si accoppia con quarks
 - rianalisi di vecchi esperimenti

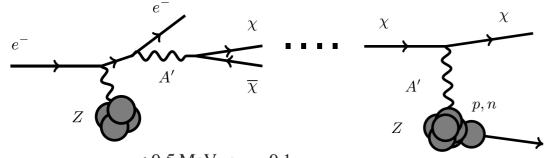
(g-2)_µ escluso (modello più semplice), ma ancora interesse per questo tipo di ricerca



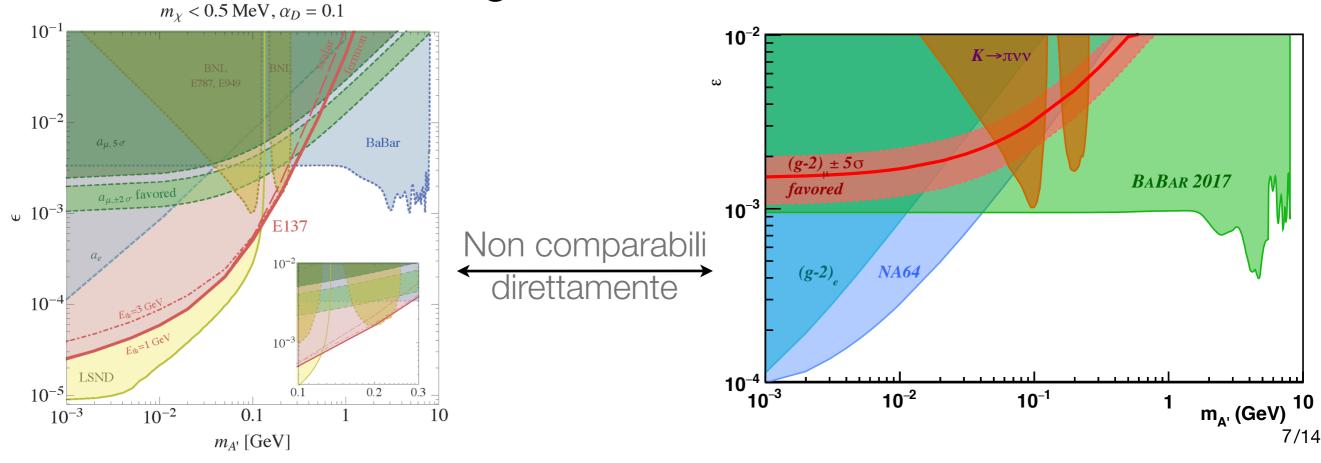
Stato della ricerca nell'invisibile

Tecniche:

- diffusione MO (bremsstrahlung)
 - rivelazione MO prodotta con urti
 - necessari 4 parametri (ε,m_A,m_{MO},α_D)

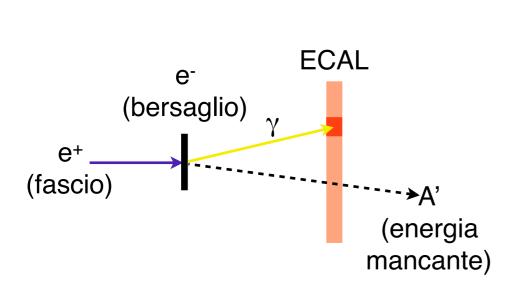


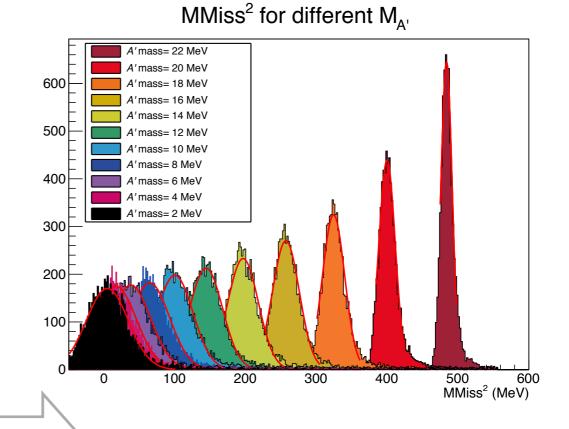
- ricerca massa mancante (annichilazione)
 - processo cinematicamente vincolato
 - no assunzioni su catena di dec. di A'



La tecnica PADME

Ricerca di A' in annichilazioni e+e- cercando massa mancante (decadimento invisibile) in condizioni cinematicamente vincolate





 $m^2_{Miss} = (\mathbf{P}_{fascio} + \mathbf{P}_{e} - \mathbf{P}_{v})^2$

- energia e posizione fascio note
- energia e posizione fotone misurate
- minime assunzioni dipendenti da modello: A' si accoppia ai leptoni
- accoppiamento di qualsiasi nuova particella leggera da annichilazioni e+e- può essere limitato: (Fotone Oscuro, Axion Like Particles, Dark Higgs)

8/14

Il rivelatore

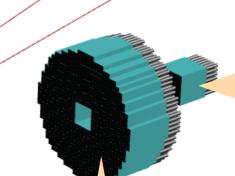
bersaglio attivo

- diamante (basso z)
- spessore 100 μm
- info su tempo, dim.

spot fascio, numero e+

veto (alta energia) e+/e-

• barre scint. plastico



calorimetro di piccolo angolo

- 49 PbF₂
- $2\times2\times20~\text{cm}^3$
- 0-20 mrad cop. ang.

calorimetro elettromagnetico

- 616 BGO 2.1×2.1×23 cm³
- forma cilindrica con buco centrale
- 20-95 mrad cop. ang.
- (1-2)%/√E

Poster su ECAl di Clara Tarugg

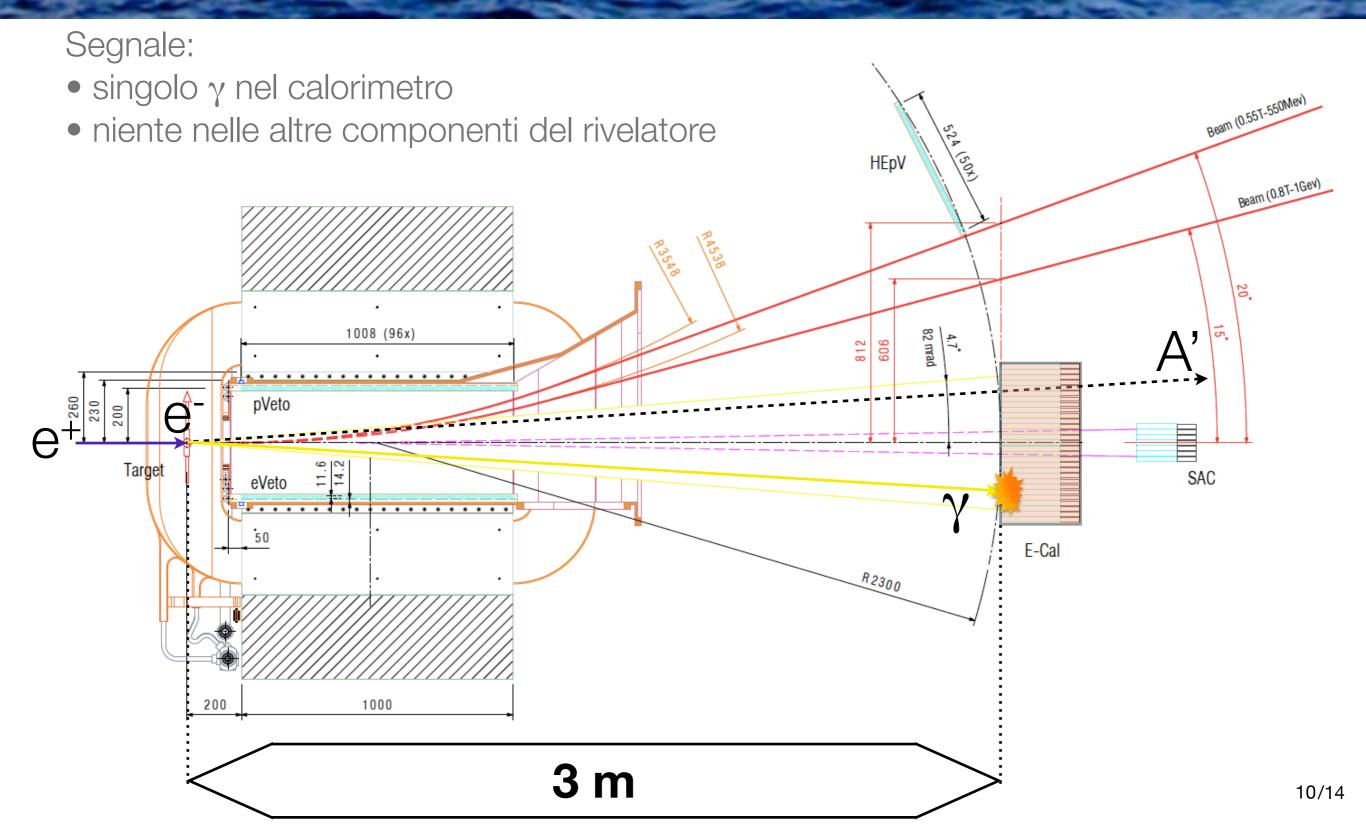
fascio e+

- 550 MeV
- 5000 e⁺ per bunch
- bunch 40 ns,
 ogni 20 ms

dipolo MBP-S (parte superiore non mostrata)

- 0.5 T
- 1 m lungh. × 23 cm gap

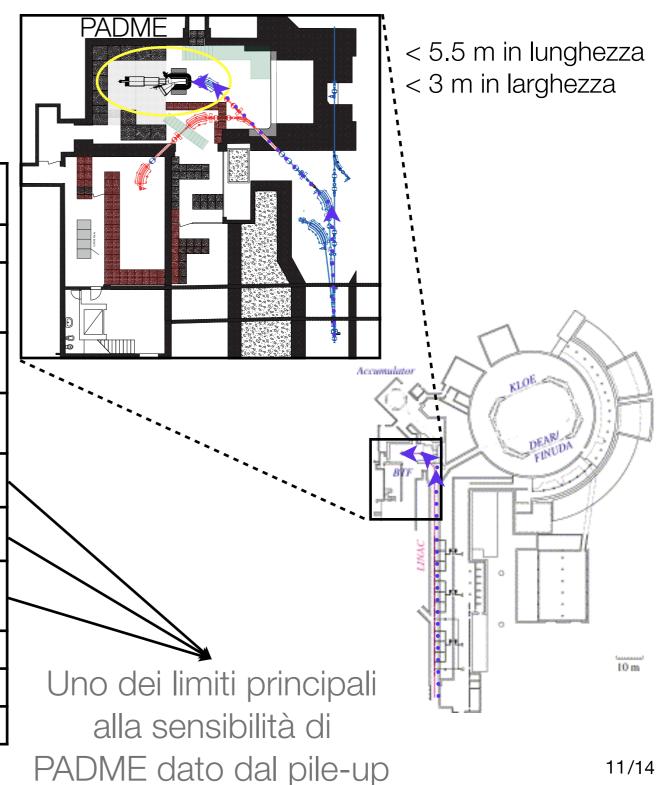
Vista del rivelatore dall'alto (con segnale)



La Beam Test Facility dei LNF

PADME sarà posizionato nella Beam Test Facility dei Laboratori Nazionali di Frascati

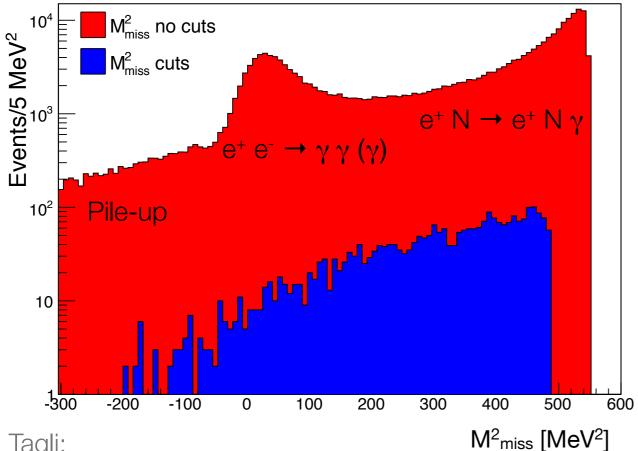
	Modalità р (DAФNE	oarassitica in opera)	Modalità dedicata				
	Bersaglio	No bersaglio	Bersaglio	No bersaglio			
Tipologia particelle	e ⁺ /e ⁻ selezionabile dall'utente	e ⁺ /e ⁻ dip. dalla modalità di DAФNE	e ⁺ /e ⁻ selezionabile dall'utente				
Energia [MeV]	25-500	510	25-700 (e ⁺) 25-700 (e ⁻)	250-730 (e ⁺) 250-530 (e ⁻)			
Spread energetico	1% @ 500 MeV	0.5%	0.5%				
Ripetizione [Hz]	_	-49 nodalità di DAФNE	1-49 selezionabile dall'utente				
Impulso [ns]	1	0	1.5-40 selezionabile dall'utente				
Intensità [particelle/bunch]	1-10 ⁵ dipendente dall'energia	10 ⁷ -1.5 · 10 ¹⁰	1-10 ⁵ dipendente dall'energia	10 ³ -3 · 10 ¹⁰			
Flusso medio max	3.125 · 10 ¹⁰ particelle/s						
Dim. spot [mm]	0.5-25 (y) × 0.6-55 (x)						
Divergenza [mrad]	1-1.5						



Fondi

Fondi principali:

- $e^+ e^- \rightarrow \gamma \gamma (\gamma)$
- $e^+ N \rightarrow e^+ N \gamma$
- pile-up

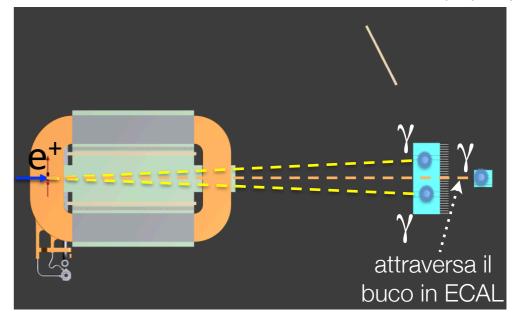


Tagli:

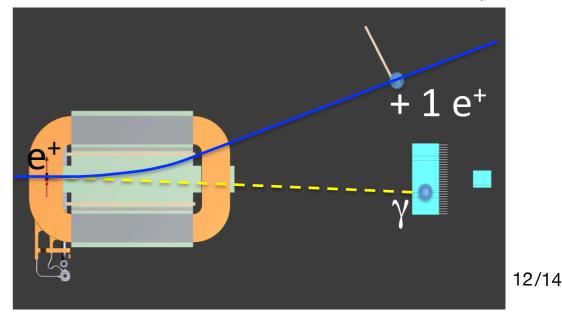
- 1 cluster nel volume fiduciale di ECAL
- no particelle nei veto
- no γ nel SAC con $E_{\gamma} > 50$ MeV
- 20-150 MeV $< E_{\gamma} < 120-350$ MeV (dipendente da $m_{A'}$)

Geometria dei fondi

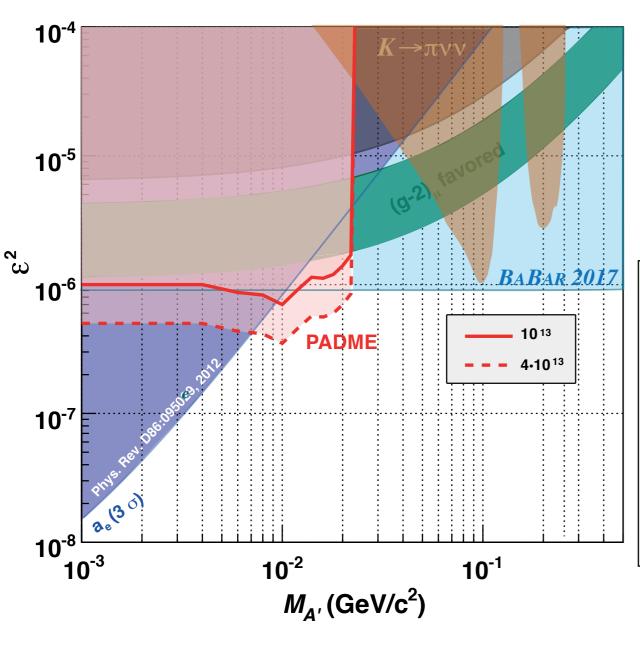
Annichilazione (+ISR): $e^+e^- \rightarrow \gamma \gamma (\gamma)$



Bremsstrahlung: $e^+ N \rightarrow e^+ N \gamma$



Sensibilità



Basata su simulazione (GEANT4) di 2.5 · 10¹⁰ eventi da e⁺ di 550 MeV su bersaglio. Numero eventi di fondo estrapolato a 10¹³ e⁺ su bersaglio.

PADME può esplorare in modo model-independent la regione fino a $\epsilon \approx 10^{-3}$ con:

- $m_{A'}$ < 23.7 MeV (E_{fascio} = 550 MeV)
- $m_{A'}$ < 27.7 MeV ($E_{fascio} = 750 \text{ MeV}$)
- m_{A'} < 32 MeV (E_{fascio} = 1 GeV)

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Commissioning PADME run 1					DAФNЕ			run 1			

2018

Conclusioni

- Il Fotone Oscuro (FO) è predetto in una classe di modelli fisici relativamente giovani e generali che stanno velocemente guadagnando interesse nella comunità MO
- PADME è un esperimento che cercherà un FO che decade in "invisibile" (MO) ai Laboratori Nazionali di Frascati
- La collaborazione punta a collezionare 10^{13} e⁺ su bersaglio entro la fine del 2018, testando in modo model-independent un FO con $\varepsilon \approx 10^{-3}$ e con massa fino a 23.7 MeV (E_{fascio} = 550 MeV)
- I risultati di PADME si applicheranno anche ad altre ipotetiche particelle come Axion Like Particles e Dark Higgs

Referenze

- Fotone Oscuro
 - P. Galison and A. Manohar, Phys. Lett. B 136, 279 (1984)
 - B. Holdom, Phys. Lett. B 166, 196 (1986)
- Il Fotone Oscuro come soluzione dell'anomalia (g-2)_μ
 - M. Pospelov, Phys. Rev. D 80, 095002 (2009)
- Stato e prospettive nella ricerca del Fotone Oscuro
 - M. Raggi and V. Kozhuharov, Riv. Nuovo Cim. 38, 449 (2015)
- Beam Test Facility ai Laboratori Nazionali di Frascati
 - G. Mazzitelli et al., Nucl. Instrum. Meth. A 515, 524 (2003)
- PADME
 - M. Raggi and V. Kozhuharov, AdHEP 2014, 959802 (2014)
 - M. Raggi, V. Kozhuharov and P. Valente, EPJ Web Conf. 96, 01025 (2015)



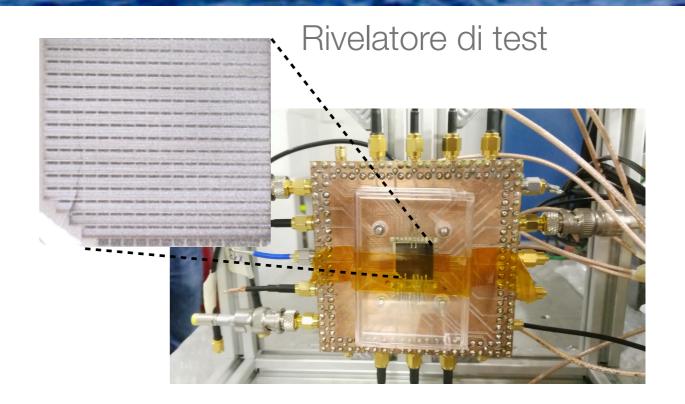
Ricerche del Fotone Oscuro



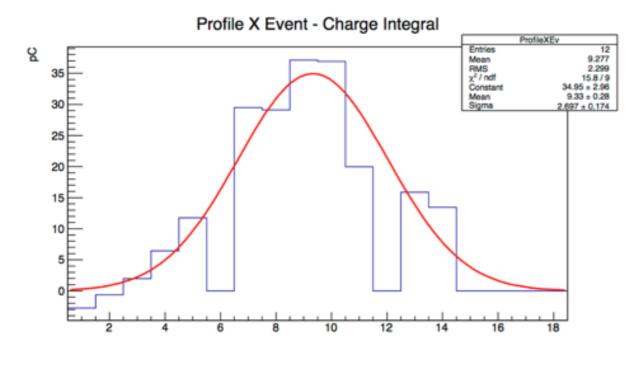
Bersaglio attivo

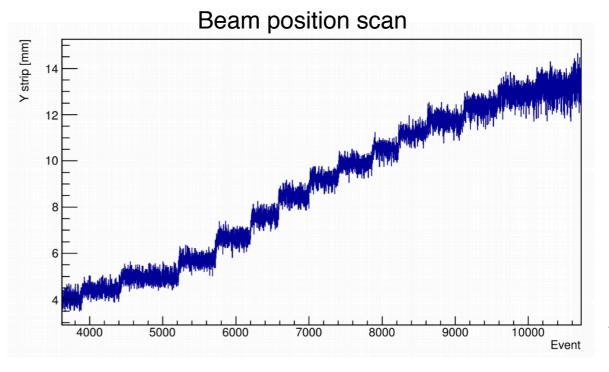
Caratteristiche:

- Diamante (basso z, poca brems.)
- Dim.: 20×20×0.05/0.1 mm³
- 16 (oriz.)×16 (vert.) strisce attive di grafite
- σ_{x-y} (posizione fascio) < 2 mm
- in vuoto con sistema di movimento



Risultati rivelatore di test





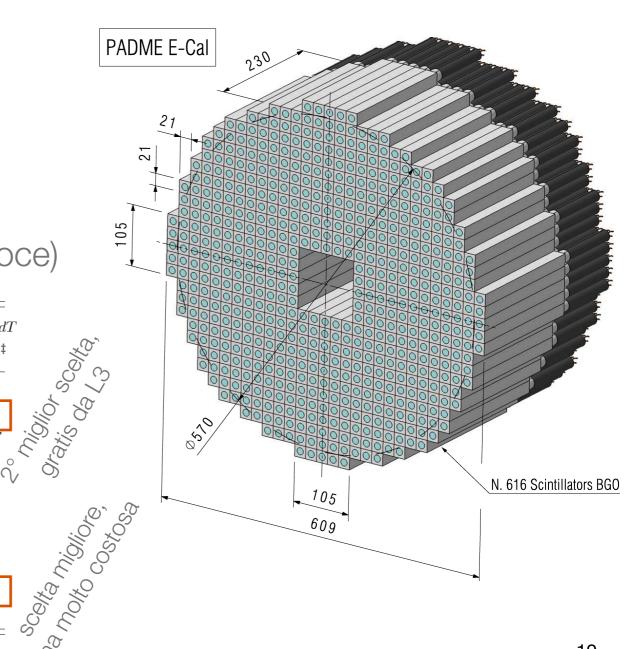
Calorimetro elettromagnetico (1)

Caratteristiche:

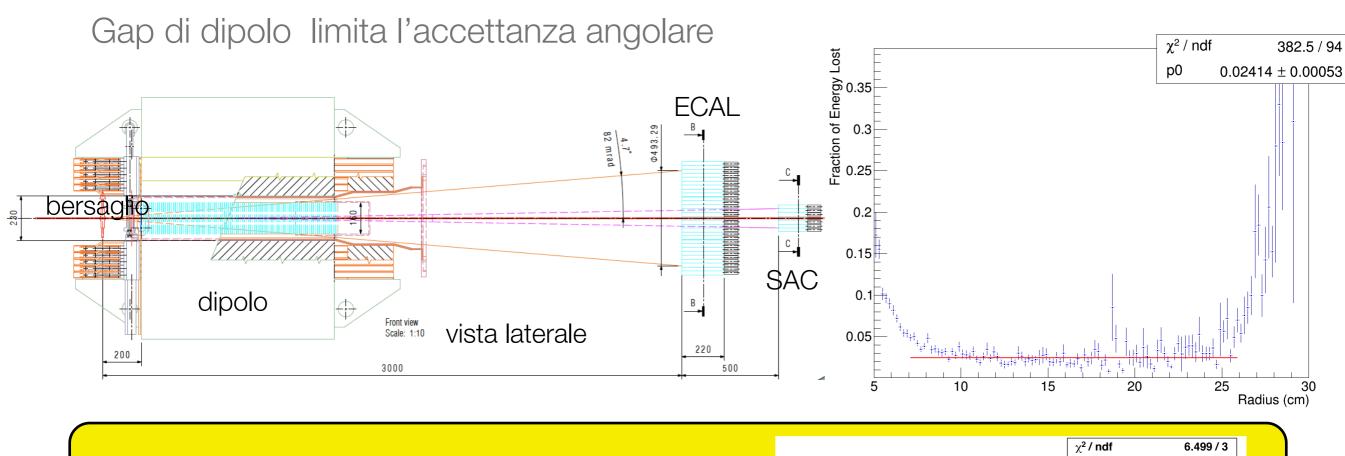
- $\sigma_{E} \simeq (1-2)\%/\sqrt{E}$
 - alta statistica γ
 - contenimento
- risoluzione temporale sul cluster < 1 ns
- risoluzione angolare ≤ 1 mrad
- copertura angolare: [20,93] mrad
- accettanza angolare: [26,83] mrad
- buco centrale per brems. al SAC (più veloce)

Parameter	•	MP	X_0^*	R_M^*	dE^*/dx	λ_I^*	$\tau_{ m decay}$	$\lambda_{ m max}$	$n^{ atural}$	Relative output [†]		d(LY)/dT
Units:	g/cm ³	°C	cm	cm	MeV/cm	cm	ns	nm		output	scopic:	%/°C [‡]
NaI(Tl)	3.67	651	2.59	4.13	4.8	42.9	245	410	1.85	100	yes	-0.2
BGO	7.13	1050	1.12	2.23	9.0	22.8	300	480	2.15	21	no	-0.9
BaF_2	4.89	1280	2.03	3.10	6.5	30.7	650 ^s	300 ^s	1.50	36 ^s	no	-1.9^{s}
							0.9^{f}	220^{f}		4.1^{f}		0.1^f
CsI(Tl)	4.51	621	1.86	3.57	5.6	39.3	1220	550	1.79	165	slight	$0.4 \ $
CsI(pure)	4.51	621	1.86	3.57	5.6	39.3	30^{s}	420^s	1.95	3.6^{s}	slight	-1.4
							6^f	310^{f}		1.1^{f}		
$PbWO_4$	8.3	1123	0.89	2.00	10.1	20.7	30^s	425^s	2.20	0.3^{s}	no	-2.5
							10^{f}	420^{f}		0.077^{f}		
LSO(Ce)	7.40	2050	1.14	2.07	9.6	20.9	40	402	1.82	85	no	-0.2
$LaBr_3(Ce)$	5.29	788	1.88	2.85	6.9	30.4	20	356	1.9	130	yes	0.2

616 BGO 2.1×2.1×23 cm³@ 3 m dal bersaglio

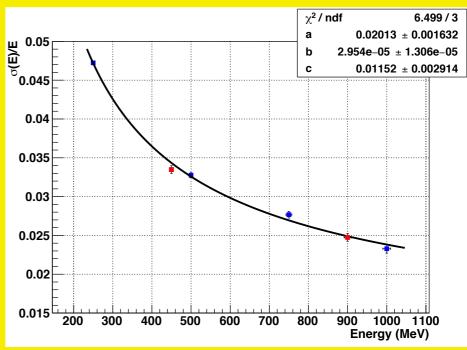


Calorimetro elettromagnetico (2)



Risultati con una matrice 5×5 di BGO @ BTF



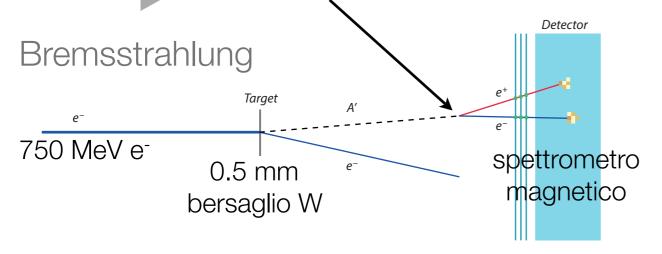


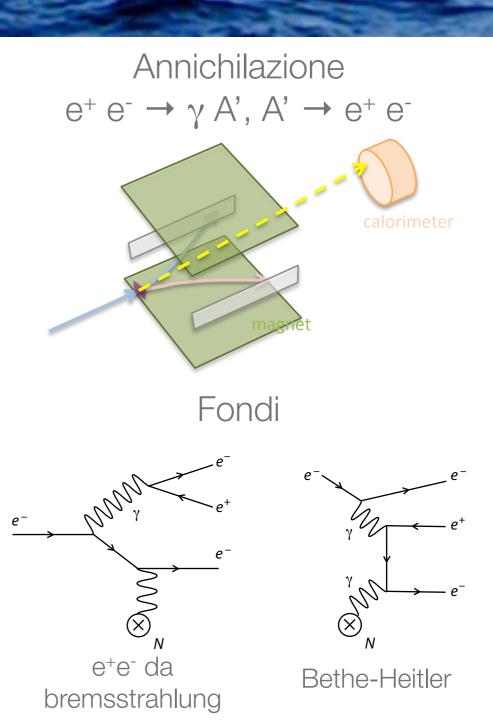
PADME nel visibile

Grazie alla granularità dei veto e+/e- è possibile ricercare (breve vita media) A' che decadono in visibile con il setup attuale

Possibili miglioramenti futuri:

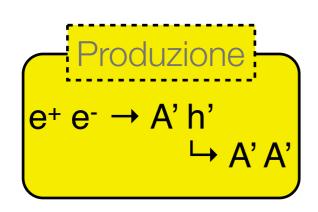
- bersaglio sottile ad alto z (più bremsstrahlung A')
 - E_{A'} può essere > √2m_eE_{beam}
 - E_{A'} non nota (cinematica non chiusa)
 - Solo dec. visibili sono interessanti





Calcoli preliminari con 10^{18} EOT danno una sensibilità su $\epsilon^2 \sim 10^{-7}$ nella regione di bassa massa, che peggiora all'aumentare di $m_{A'}$

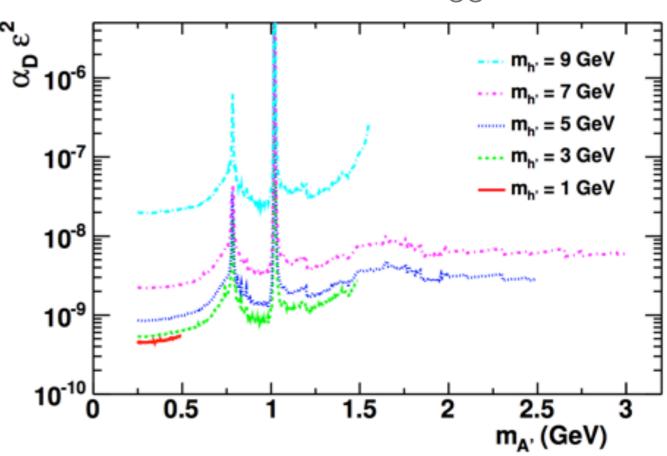
Dark Higgs a PADME



Decadimenti interessanti per PADME (dipende da $m_{h'}$ e $m_{A'}$):

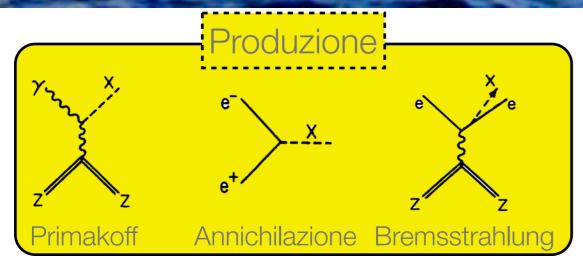
- se $m_{A'} < m_{h'}/2$ dominante A' h' \rightarrow A' A' A'
- → 6 leptoni (0 carica, E_{tot} < E_{beam})
- se $m_{A'} > m_{h'}/2$ (o h' con lunga vita media) dominante A' h' \rightarrow A' inv. \rightarrow 2 leptoni (0 carica)





- forte segnatura (no nuove componenti rivelatore necessarie)
- spettrometro tracciante necessario

Axion Like Particles a PADME



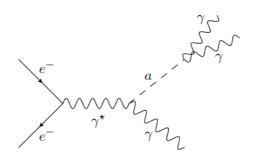
ALP che decade in invisibile o a lunga vita media in PADME ha la stessa segnatura di un FO:

- 1 γ
- energia mancante nello stato finale

Nel dec. visibile a $\rightarrow \gamma \gamma$ tutti i meccanismi di produzione possono essere esplorati fino a m_{ALP} ~100 MeV.

Osservabili:

- Θ⁺ γ γ
- γγγ



Limiti sulle ALPs che si accoppiano ai fotoni

