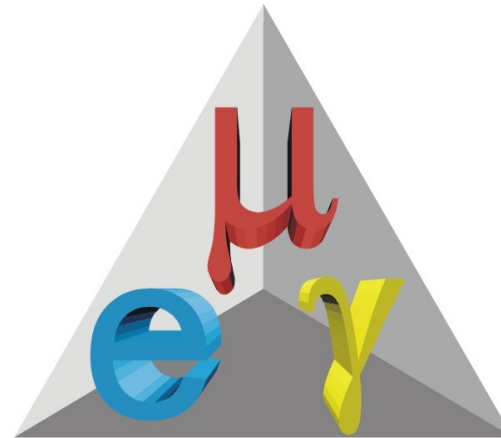


# Calibrazione del calorimetro a LXe dell'esperimento MEG

Andrea Russomando

***Tutors:***

*Gianluca Cavoto, Cecilia Voena*



*17- Giugno-2011*

# Motivazioni fisiche

Misura del  $BR(\mu \rightarrow e\gamma)$

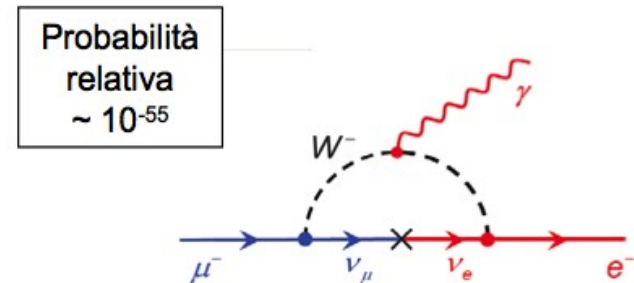
Il modello standard (con oscillazione neutrini) da una stima proporzionale

$$\propto \frac{(\Delta m)^4}{(m_W)^4} \sim 10^{-55}$$

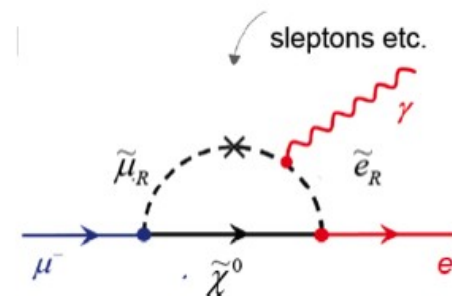
I modelli di nuova fisica invece hanno stime più accessibili da un punto di vista sperimentale

Migliore stima del limite superiore attuale MEGA [1999] ( $< 1.2 \cdot 10^{-11}$  @90% CL)

MEG vuole arrivare ad una sensibilità di  $\sim 10^{-13}$



$$BR(\mu \rightarrow e\gamma) = 10^{-14} - 10^{-11}$$



# Il laboratorio

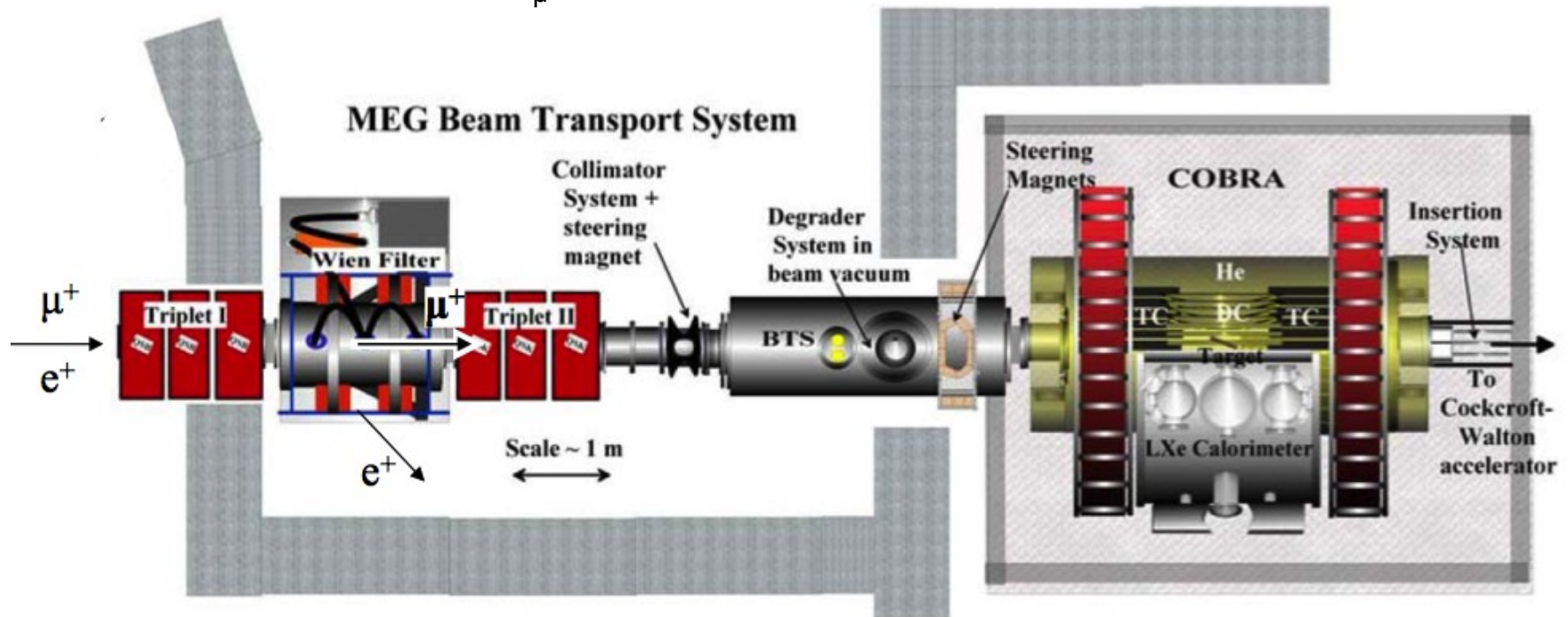
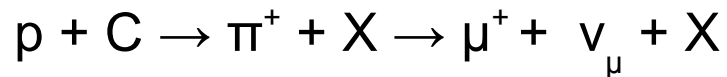


L'esperimento è stato allestito presso Zurigo, al Paul Scherrer Istitut dove è stato realizzato il più intenso fascio di muoni al mondo ( $3 \cdot 10^7 \mu /s$ ) .

# Fascio e bersaglio

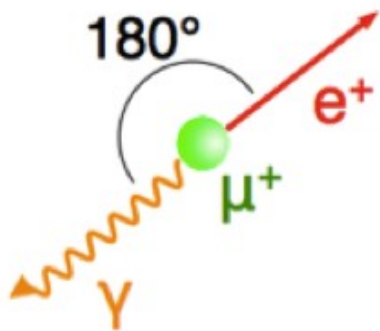
Il ciclotrone produce un fascio di p di 590 MeV

Produce muoni di ~29 MeV, che si fermano nel bersaglio di polietilene di 500  $\mu\text{m}$



# Il segnale e i fondi

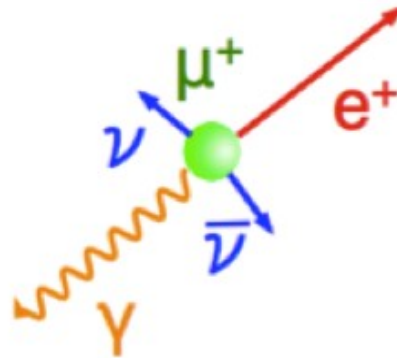
Segnale



- $\theta = 180^\circ$
- $52.8 \text{ MeV}/c$
- Coincidenza temporale

$$R_{sig} \propto R_\mu B(\mu \rightarrow e\gamma)$$

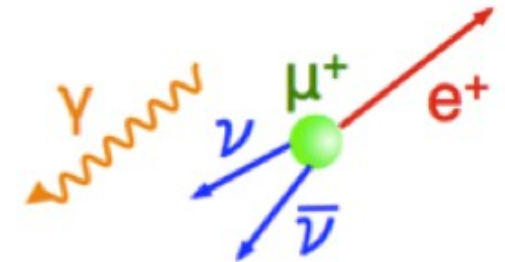
Fondo Fisico



- $\theta$  qualsiasi
- $< 52.8 \text{ MeV}/c$
- Coincidenza temporale

$$R_{bck} \propto R_\mu B(\mu \rightarrow e\bar{\nu}\nu\gamma)$$

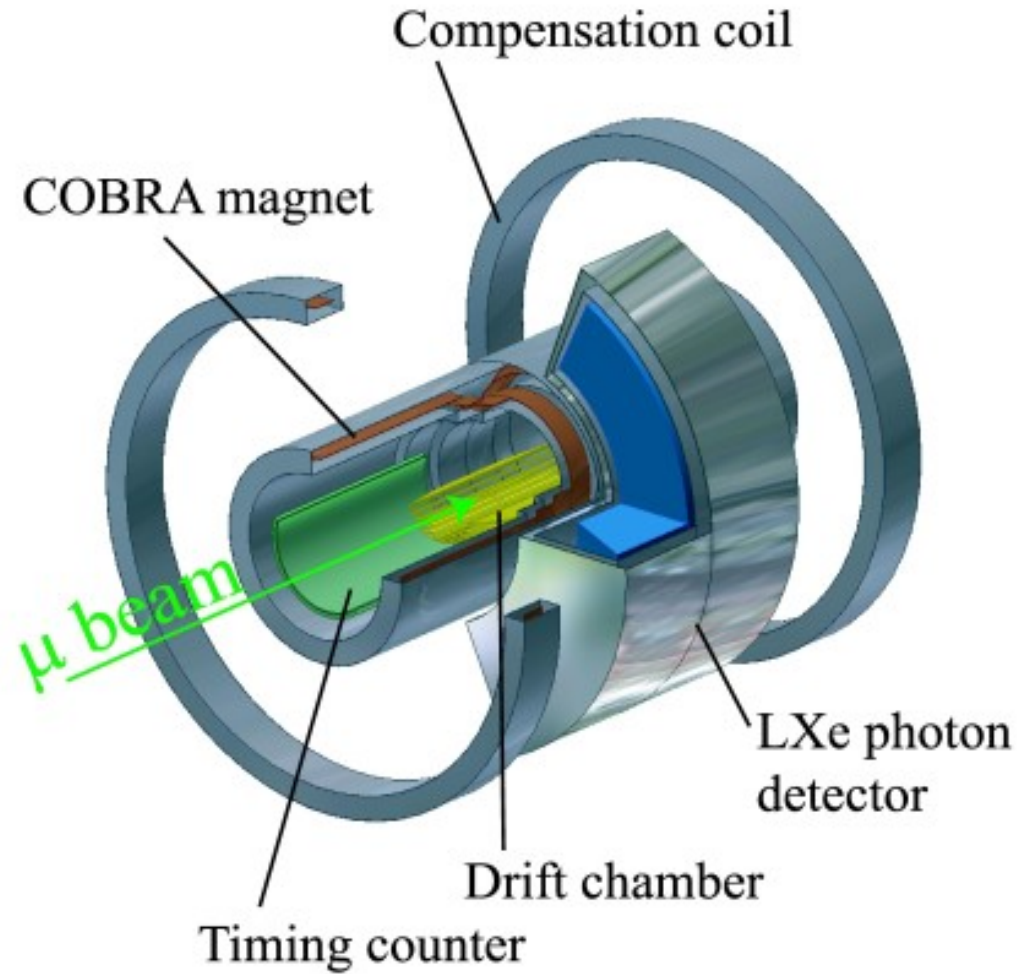
Fondo Accidentale (dominante)



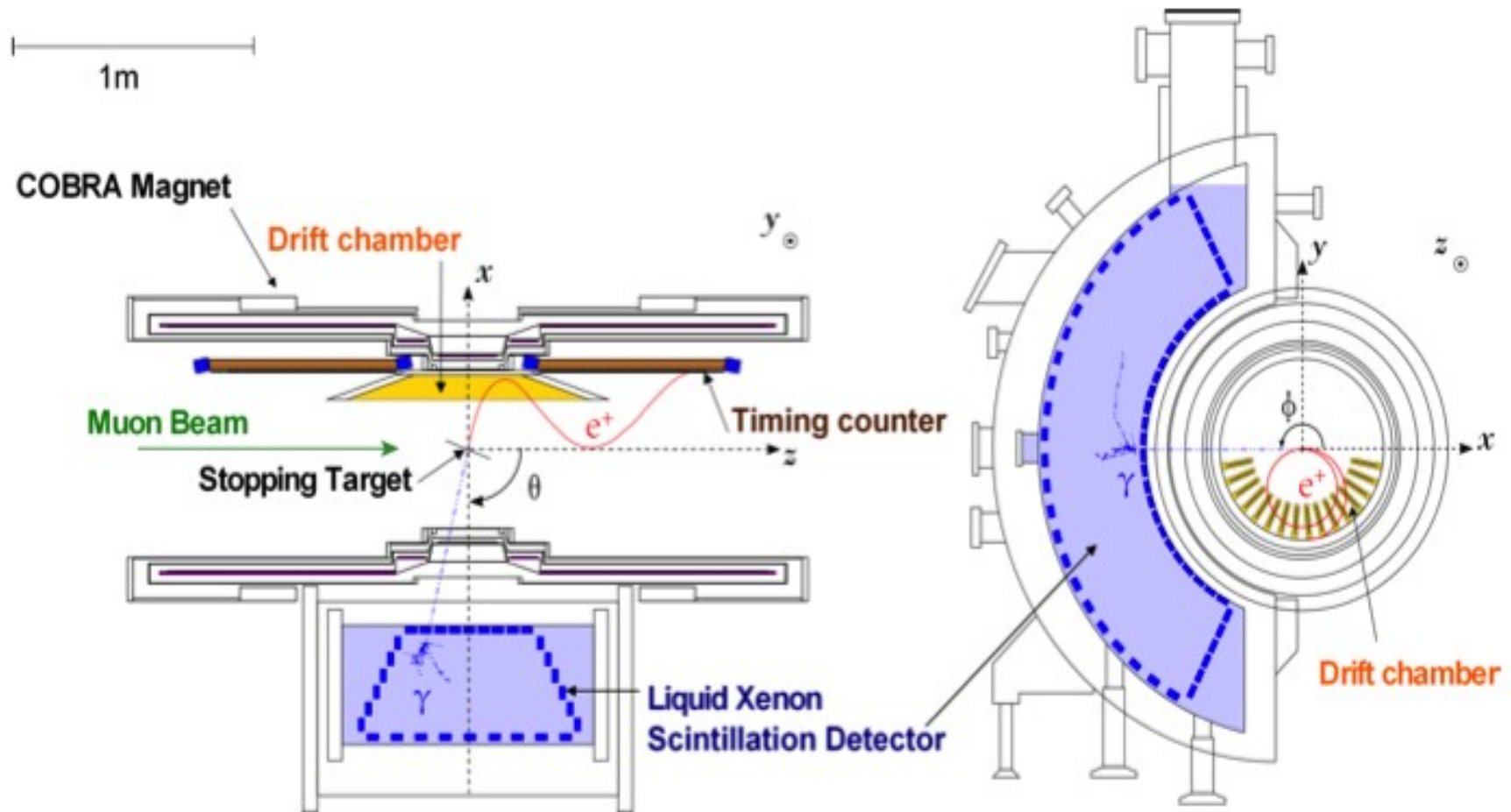
- $\theta$  qualsiasi
- $< 52.8 \text{ MeV}/c$
- Nessuna coincidenza (scorrelati)

$$R_{acc} \propto (R_\mu)^2 (\delta E_\gamma)^2 \delta E_e (\delta \theta_{e\gamma})^2 \delta t_{e\gamma}$$

# Il rivelatore



# Schema esperimento

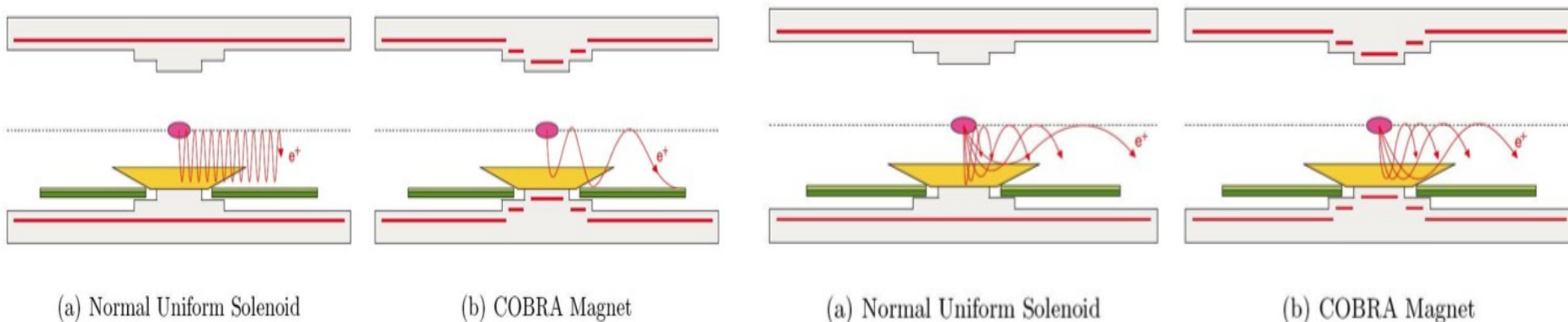


# CO.B.R.A.

Magnete superconduttore a gradiente di campo

L'intensità massima (1.24 T) è al centro dell'apparato e decresce verso l'esterno

Lo scopo è eliminare rapidamente positroni di fondo





# Misura del positrone

Il tracciamento del positrone avviene tramite camere a drift e un Timing Counter.

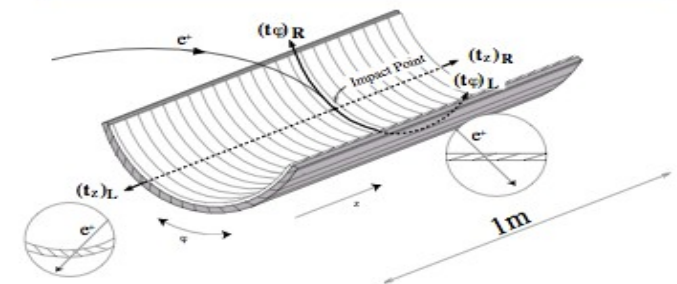
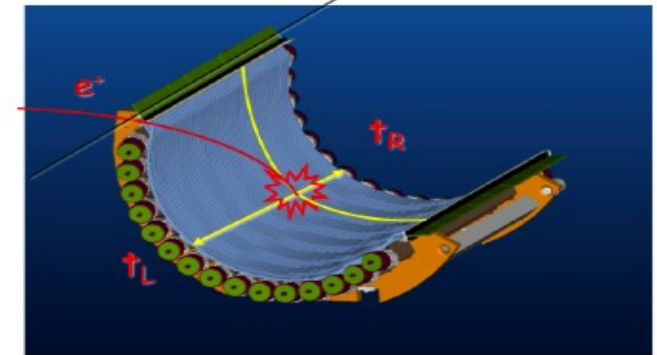
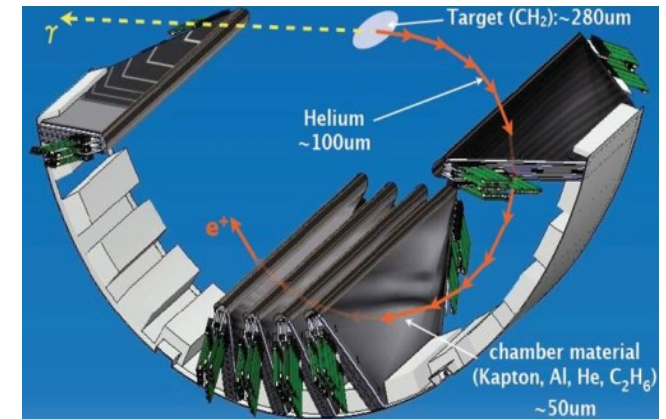
Ci sono 16 camere a deriva, posizionate in modo da rilevare positroni con energia di 52.8 MeV e appropriato angolo di emissione

$$\sigma_p \sim 0.7-0.9 \% \quad \sigma_{\theta\phi} \sim 10\text{mrad}$$

$$\sigma_{\text{origine}} \sim 2.1-2.5\text{mm}$$

Il TC è un rivelatore usato come trigger veloce.

Permette anche di misurare il tempo di volo dei positroni con una risoluzione complessiva di ~95 ps (~45 ps solo il TC)



# Il calorimetro a Xenon liquido

Calorimetro a forma di C con sezione trapezoidale (angolo solido di circa 10%)

E' composto da 850l di LXe e di 846 PMT

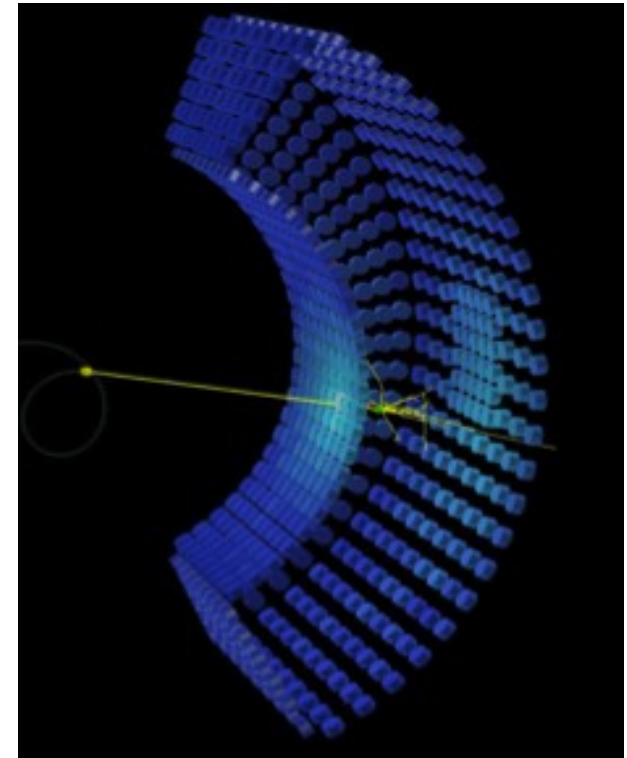
Omogeneo

Sfrutta la luce di scintillazione dello Xenon

Lo Xe è tenuto a 165K (-108°C) e 0.12 MPa

Necessità di un criostato

Un mese di tempo per liquefare lo Xenon



# Caratteristiche LXe

	Ar	Kr	Xe
$\rho(g/cm^3)$	1.39	2.45	2.98
Z	18	36	54
$\lambda_{scint}(nm)$	128	147	178
Boiling T(K)	87.3	119.9	167.1
dE/dx (m.i.p.) (MeV/cm)	2.11	3.45	3.89
$X_0(cm)$	14.0	4.76	2.87
Moliere radius (cm)	7.3	4.7	4.1
$\tau_1(ns)$	6	2	4
$\tau_3(ns)$	1000	91	22
$\tau_r(ns)$	-	-	45

	NaI	BGO	GSO	LSO
Effective atomic number	50	73	58	65
Density ( $g/cm^3$ )	3.7	7.1	6.7	7.4
Relative light output (%)	100	15	20-40	45-70
Decay time (nsec)	230	300	60	40

Elevato Z permette dimensioni più compatte del rivelatore

Trasparente alla propria luce di scintillazione

Elevato numero di fotoni emessi (~40k  $\gamma$ /MeV)

Rapidi tempi di scintillazione (riduzione pile-up)

Problemi

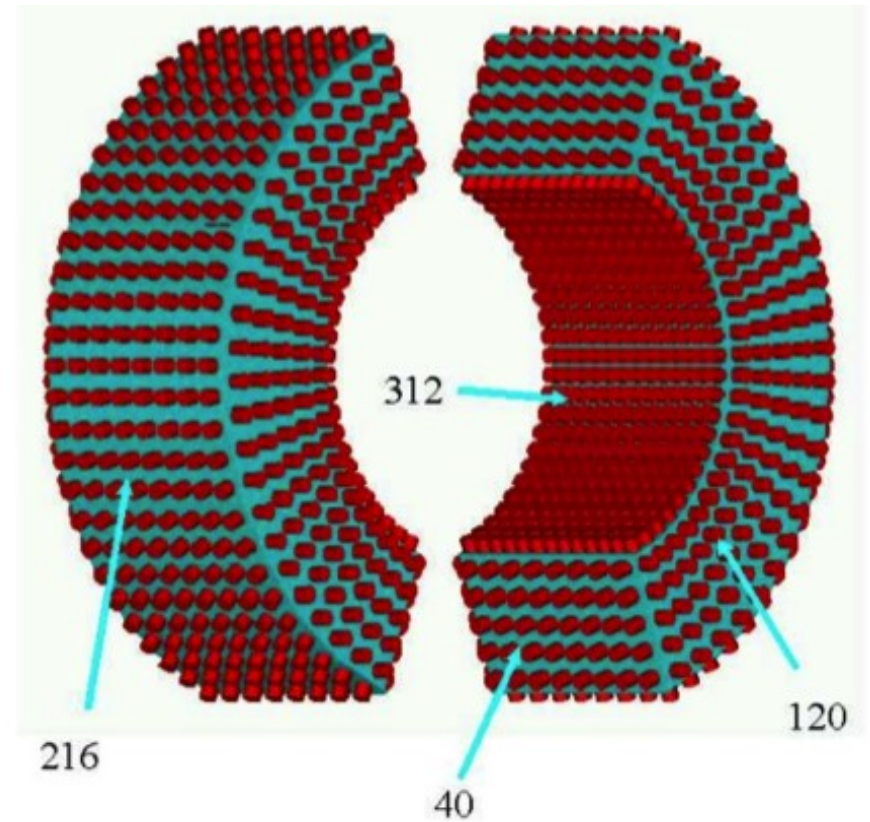
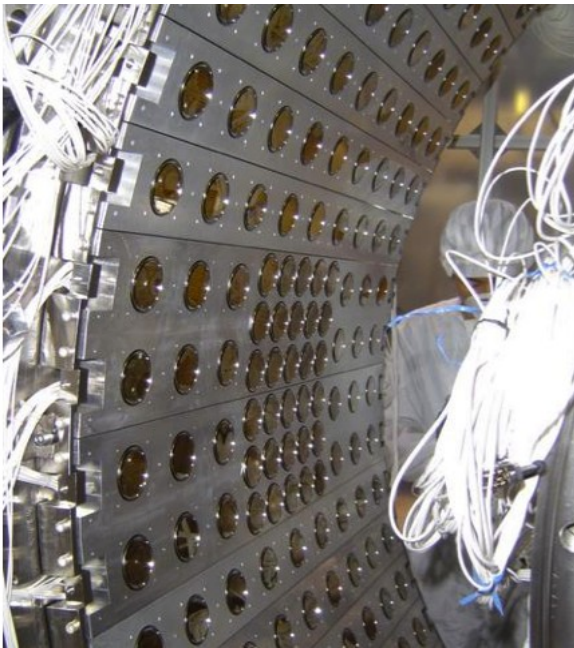
Emette luce nell'UV

Gestione apparato (livello contaminazione <1ppm)

# Posizione PMT

Disposizione PMT scelta in base  
allo sviluppo della cascata  
elettromagnetica

Finestra di quarzo per renderli  
sensibili all'UV



# Sistema di acquisizione

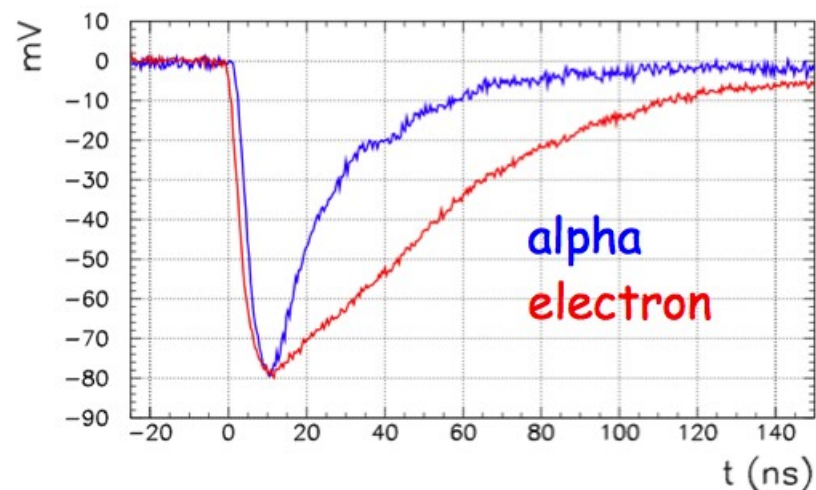
Il trigger utilizza i segnali provenienti dal calorimetro e dal TC

Tempo integrazione delle camere a deriva  $\sim 0.5 \mu\text{s}$ , troppo lento.

Varie configurazioni di trigger (per la calibrazione)

Selezione  $E_\gamma > 45 \text{ MeV}$ ,  $\Delta t_{e\gamma} < 20 \text{ ns}$ , emessi in direzione opposta

Tutti i canali dell'esperimento sono letti da digitalizzatori (permettono di avere una risoluzione migliore)



# Calibrazione

Per raggiungere la precisione prefissata, bisogna tenere un controllo continuo su molti parametri dell'esperimento, in modo da minimizzare le incertezze sistematiche legate alla strumentazione.

Per questo vengono usati molti metodi di calibrazione e di monitoraggio.

In particolare vedremo i metodi di calibrazione con:

- LED e sorgenti di Americio
- Acceleratore di Cockcroft-Walton
- Sorgente mobile di AmBe
- Cattura termica dei neutroni
- Reazione di scambio carica

# Sistema di LED

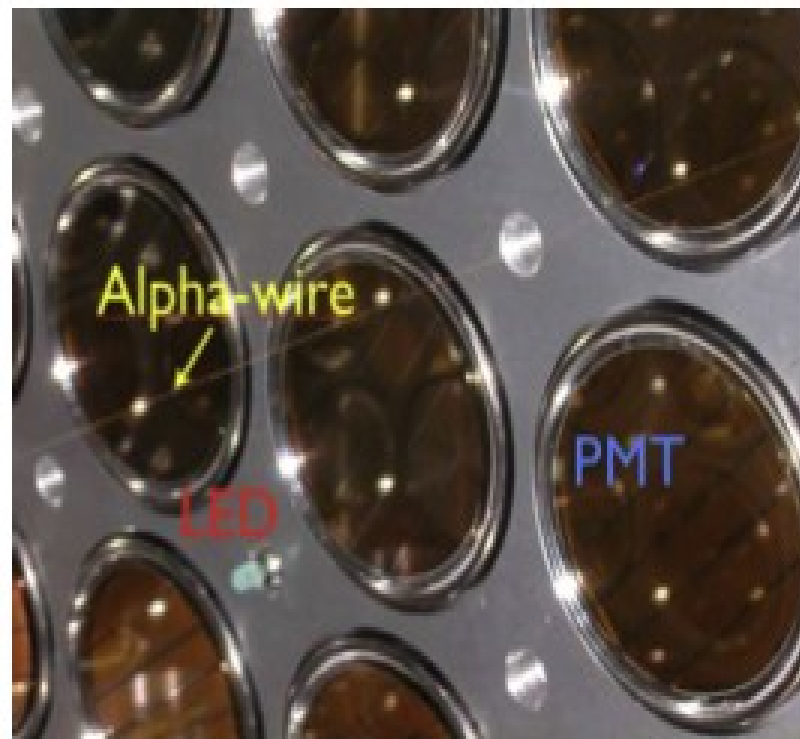
12 postazioni LED

Illuminano completamente ogni PMT

$$\sigma^2 = g(q - q_0) + \sigma_0^2$$

con fit lineare  $(q - q_0, \sigma^2)$  ho incertezza  
singolo PMT ~1%

Guadagno di ogni  
singolo PMT ( $\sim 10^6$ )



# Sorgenti di Americio

Misura dell'efficienza quantica (QE) dei PMT

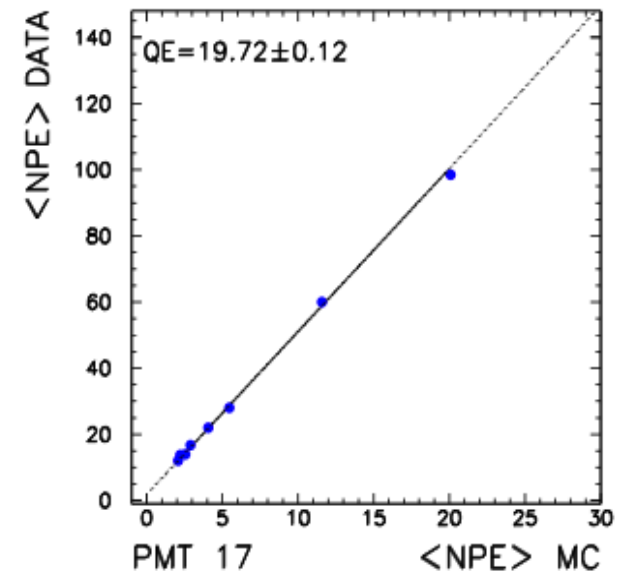
Sorgenti  $\alpha$  di  $^{241}\text{Am}$  disposte su 5 fili di tungsteno ( $\varnothing 100\mu\text{m}$ )

Attività totale  $\sim 1000$  Bq, non influenza durante la presa dati

Rilasciano tutta l'energia  $\sim 5$  MeV in  $\sim 40$   $\mu\text{m}$  dal punto di emissione

Evento simulabile tramite MC si trova QE

Prende pochi minuti, viene fatta una volta al giorno





# Acceleratore Cockcroft-Walton

Calibrazione a fascio spento

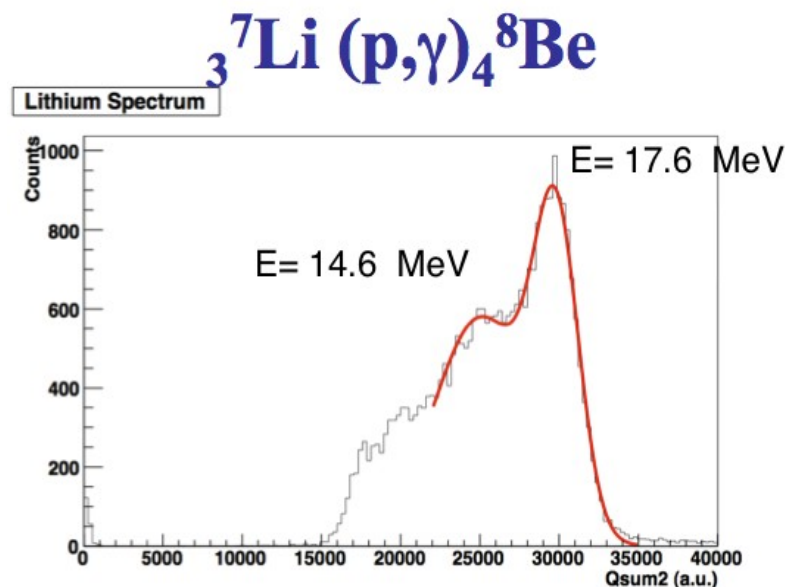
Genera fasci di p ( $0.1 < E < 1$  MeV)

Bersagli LiF o  ${}^7_2\text{Li} {}^4_7\text{B} {}^1_1\text{O}$

Tempo presa dati  $\sim 30$  m

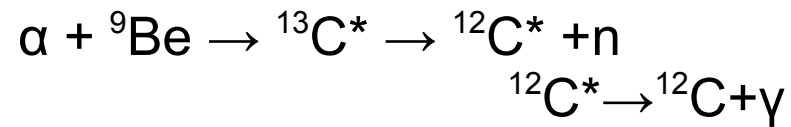
Usato 2 volte a settimana

Distribuzione dei  $\gamma$  isotopa,  
si può calibrare uniformemente  
la faccia d'ingresso del calorimetro



Reazione	Energia del picco	Sezione d'urto del picco	Righe di emissione
$\text{Li}(p, \gamma)\text{Be}$	440 keV	5 mb	(17.6, 14.6) MeV
$\text{B}(p, \gamma)\text{C}$	163 keV	$2 \cdot 10^{-1}$ mb	(4.4, 11.7, 16.1) MeV

# Sorgente mobile di AmBe



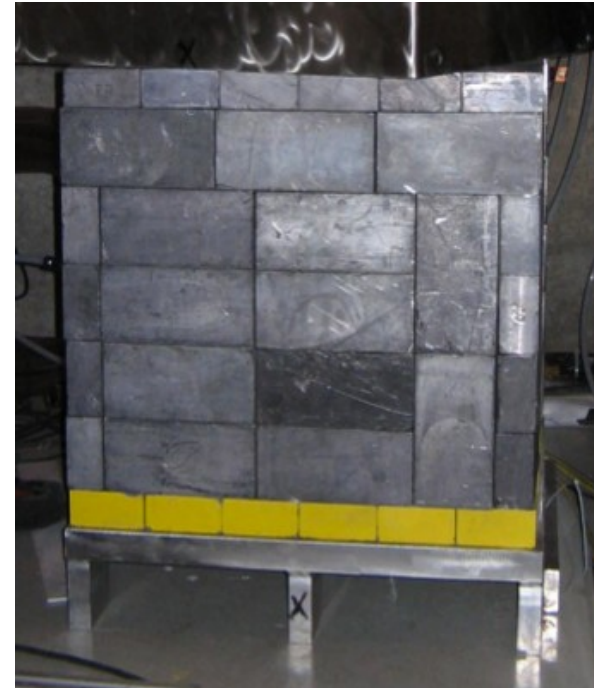
$$E_{\gamma} = 4.4 \text{ MeV}$$

Attività 50k Bq  
(posta in un deposito di piombo  
quando non è usata)

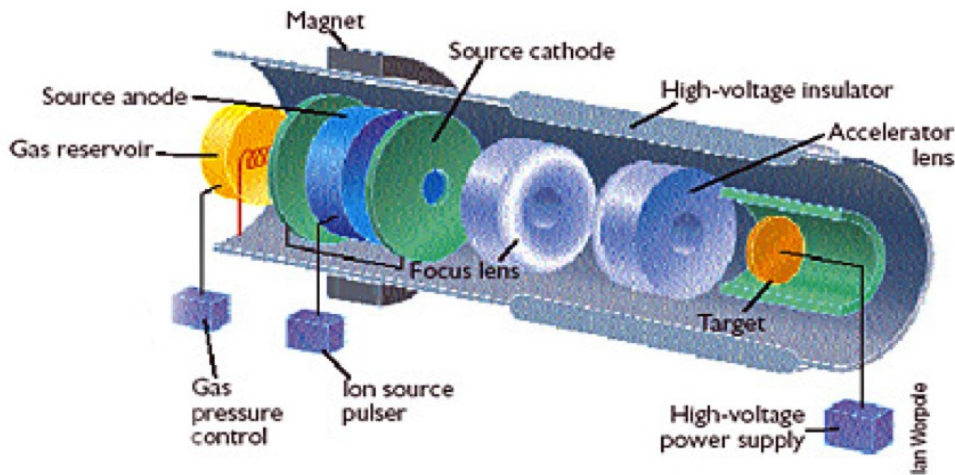
Il fondo delle sorgenti fisse di Am  
ha energia simile  
Si discriminano dalle forme d'onda

Tempo calibrazione 10 m

Si usa in mancanza dell'acceleratore  
di Cockcroft-Walton per verificare la  
purezza dello LXe



# Cattura termica di neutroni



Reazione D-D

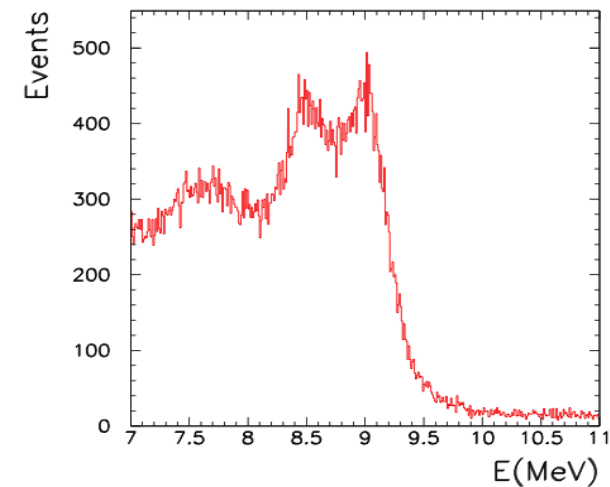
Sampling di nichel e polistirene

Decadimento al 34% in un unico fotone di 9 MeV

Verifica la linearità anche a basse E

La calibrazione può avvenire a fascio acceso (fascio impulsato)

Molto rapido (15 minuti)



**Spettro del nichel a fascio acceso**

# Reazione di scambio carica

$\pi^- + p \rightarrow \pi^0 + n$  seguita da  $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$

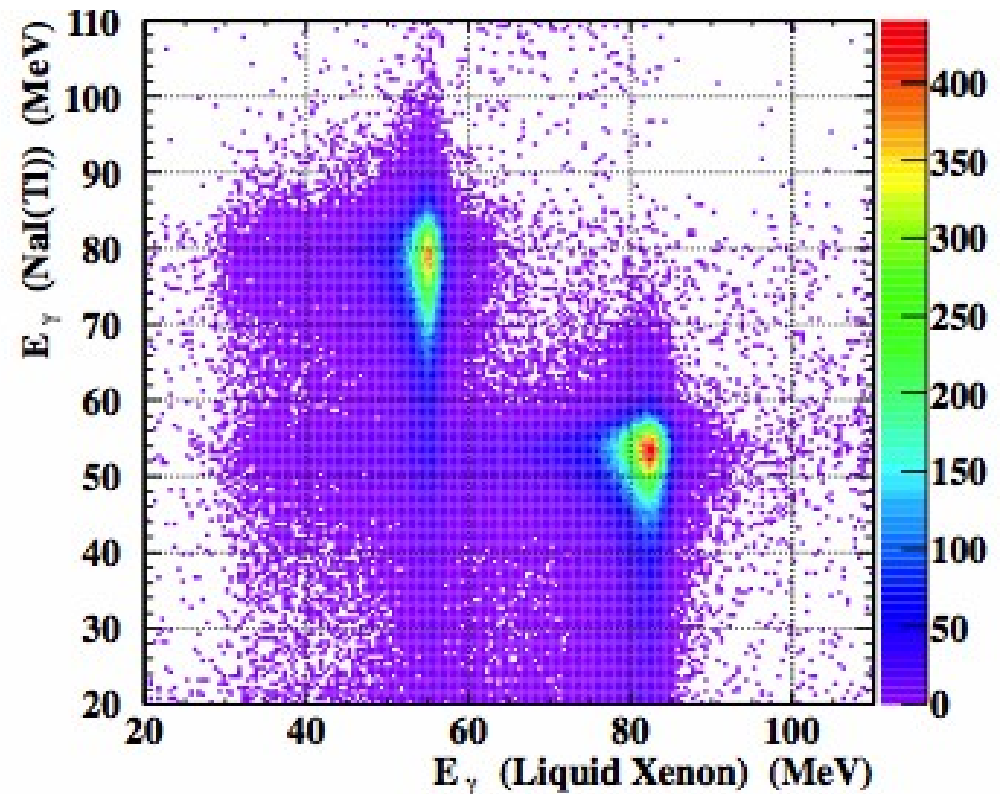
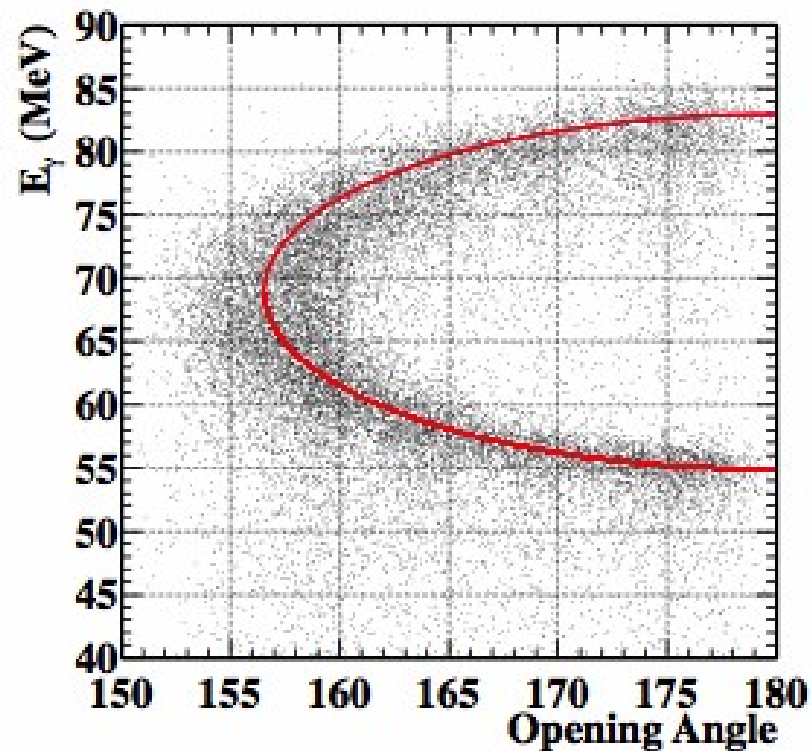
$54.9 < E_\gamma < 82.9 \text{ MeV}$

Detector ausiliario:  
Cubo di 15 cm di lato di NaI  
9 cristalli  
Scorre su guide

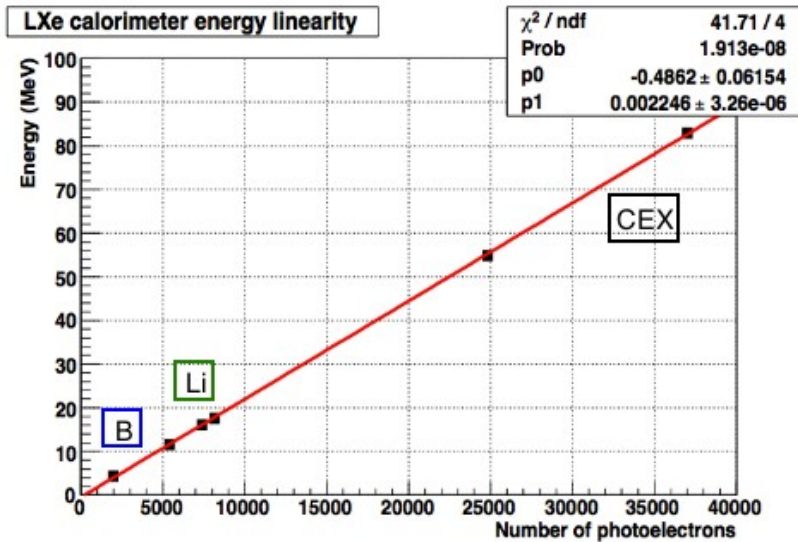
L'E del fotone nel calorimetro è  
simile a quella dei segnali



# Relazione tra i fotoni dello scambio di carica



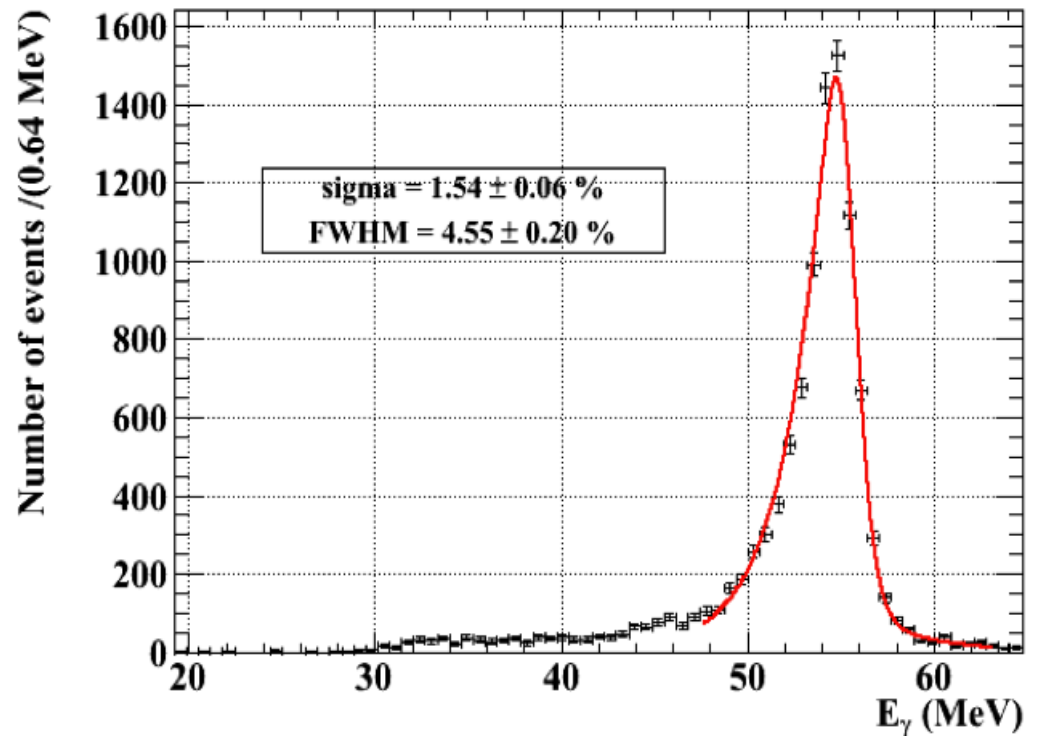
# Linearità e risoluzione in energia



$$E_{\text{Qsum}} = \sum_i c_i Q_i$$

$$\Delta E_Y / E_Y \sim 4-5\%$$

Fotone da 55 Mev



# Conclusioni

L'esperimento MEG prende dati dal 2008

Nel 2008 sono stati fermati  $9.5 \cdot 10^{13}$  muoni con un  $\text{BR}(\mu \rightarrow e\gamma)$  ( $< 2.8 \cdot 10^{-11}$ )

Nel 2009 sono stati fermati  $6.5 \cdot 10^{13}$ , (la presa dati è durata tre mesi di meno)  
La purezza dello Xenon si è mantenuta stabile (0.3%) per tutta la presa dati.

Si è arrivati a una sensibilità

Misura del  $\text{BR}(\mu \rightarrow e\gamma)$  ( $< 1.5 \cdot 10^{-11}$ )

Le attuali risoluzioni sono

$$\sigma_{E\gamma} \sim 2\%$$

$$\sigma_{\Phi_{e\gamma}} \sim 14\text{-}21 \text{ mrad}$$

$$\sigma_{t_{e\gamma}} \sim 150 \text{ ps}$$

