

Misure sperimentali di violazione del sapore leptonic (LFV)

Cecilia Voena

INFN Roma

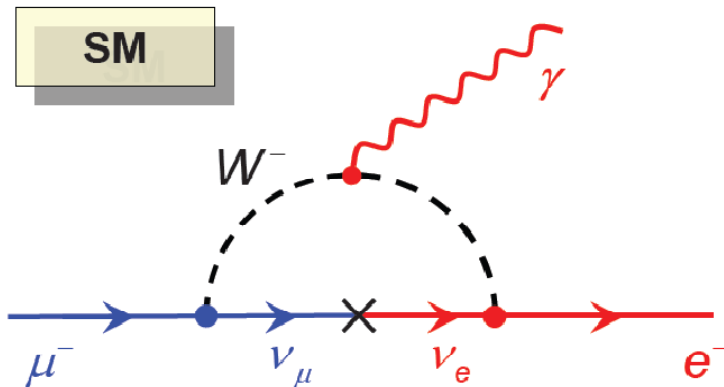
Giornate sulle Prospettive della Sezione di Roma

4-6-7 Maggio 2009

La violazione del sapore nei leptoni

- Il mescolamento dei sapori leptonici e' stato osservato nei neutrini (oscillazione dei ν) mentre **decadimenti di leptoni carichi** (es. $l_i \rightarrow l_j \gamma$) che non conservano il sapore non sono mai stati osservati (cLNF)
- Nel Modello Standard includendo le oscillazioni dei ν la cLNF e' permessa ma fortemente soppressa

Esempio: $\mu \rightarrow e \gamma$



$$\text{BR}(\mu^- \rightarrow e^- \gamma) \Big|_{\text{SM}} \propto \frac{m_\nu^4}{m_W^4} \approx 10^{-54}$$

Non misurabile!

$$\begin{aligned} \text{SM CR}(\mu \rightarrow e) &< 10^{-52} \\ \text{SM BR}(\tau \rightarrow \mu \gamma) &< 10^{-40} \end{aligned}$$

Una osservazione di violazione del sapore in decadimenti di leptoni carichi sarebbe un' evidenza di Nuova Fisica

(Alcuni) decadimenti cLFV di μ e τ

Process	Present bound	Future sensitivity
$\mu \rightarrow e\gamma$	1.2×10^{-11} (MEGA)	$O(10^{-13})$ (MEG)
$\mu \rightarrow eee$	1.0×10^{-12} (SINDRUM)	-
$\mu \rightarrow e$ in Ti	4.3×10^{-12} (SINDRUMII)	$O(10^{-18})$ (PRISM/ProjectX)
$\mu \rightarrow e$ in Au	7×10^{-13} (SINDRUM)	-
$\mu \rightarrow e$ in Al	-	$O(10^{-16})$ (COMET, Mu2e)
$\tau \rightarrow \mu\gamma$	6.8×10^{-8} (BABAR)	$O(10^{-9})$ (SuperB factories)
$\tau \rightarrow e\gamma$	1.1×10^{-7} (BABAR)	$O(10^{-9})$ (SuperB factories)
$\tau \rightarrow \mu\mu\mu$	3.2×10^{-8} (BELLE)	$O(10^{-10})$ (SuperB factories)
$\tau \rightarrow eee$	2.9×10^{-8} (BABAR)	$O(10^{-10})$ (SuperB factories)

Presente 

MEG: in presa dati. Sensibilita' di progetto di 10^{-13} nel 2011
(partecipa un gruppo della sezione)

Futuro 

Esperimenti proposti a Fermilab (coinvolgimento della sezione di Pisa), e JPARC (20xx)

Proposte SuperB factories. Coinvolgimento di un gruppo della sezione (20xx).

Example: LFV and $g-2$ in MSSM

Isidori, Mescia, Paradisi, Temes

hep-ph/0703035

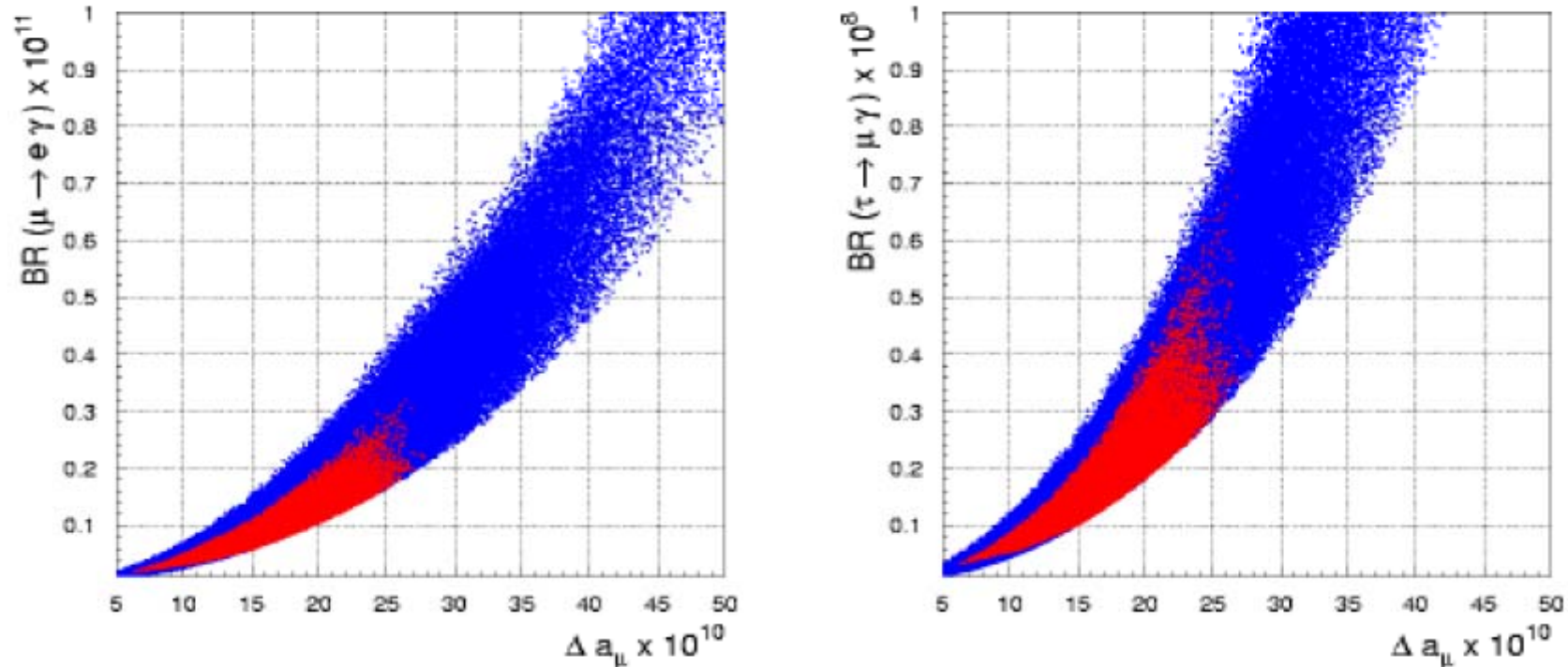


Figure 6: Expectations for $\mathcal{B}(\mu \rightarrow e\gamma)$ and $\mathcal{B}(\tau \rightarrow \mu\gamma)$ vs. $\Delta a_\mu = (g_\mu - g_\mu^{\text{SM}})/2$, assuming $|\delta_{LL}^{12}| = 10^{-4}$ and $|\delta_{LL}^{23}| = 10^{-2}$. The plots have been obtained employing the following ranges: $300 \text{ GeV} \leq M_\ell \leq 600 \text{ GeV}$, $200 \text{ GeV} \leq M_2 \leq 1000 \text{ GeV}$, $500 \text{ GeV} \leq \mu \leq 1000 \text{ GeV}$, $10 \leq \tan \beta \leq 50$, and setting $A_U = -1 \text{ TeV}$, $M_{\bar{q}} = 1.5 \text{ TeV}$. Moreover, the GUT relations $M_2 \approx 2M_1$ and $M_3 \approx 6M_1$ are assumed. The red areas correspond to points within the funnel region which satisfy the B -physics constraints listed in Section 3.2 [$\mathcal{B}(B_s \rightarrow \mu^+\mu^-) < 8 \times 10^{-8}$, $1.01 < R_{Bs\gamma} < 1.24$, $0.8 < R_{B\tau\nu} < 0.9$,

La ricerca del decadimento $\mu \rightarrow e\gamma$

- La ricerca del decadimento $\mu \rightarrow e\gamma$ e' stata fatta molte volte in passato a partire dal 1947 (Hinks&Pontecorvo) con sensibilita' sempre maggiore
- Non e' stato mai osservato. La non osservazione ha contribuito alla definizione della teoria. Es.:l 'assenza del decadimento a un livello di 10^{-4} ha portato direttamente all'ipotesi dei due neutrini ($\nu_\mu \neq \nu_e$)
- Cruciali l'intensita' del fascio di μ e le risoluzioni dell'apparato (FWHM nella tabella qui sotto)

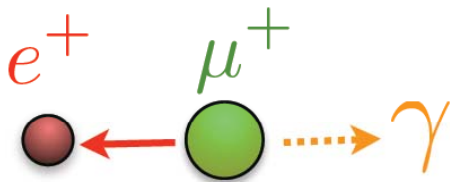
Exp./Lab	Year	$\Delta E_e/E_e$ (%)	$\Delta E_\gamma/E_\gamma$ (%)	$\Delta t_{e\gamma}$ (ns)	$\Delta\theta_{e\gamma}$ (mrad)	Stop rate (s^{-1})	Duty cyc.(%)	BR (90% CL)
SIN	1977	8.7	9.3	1.4	-	5×10^5	100	3.6×10^{-9}
TRIUMF	1977	10	8.7	6.7	-	2×10^5	100	1×10^{-9}
LANL	1979	8.8	8	1.9	37	2.4×10^5	6.4	1.7×10^{-10}
Crystal Box	1986	8	8	1.3	87	4×10^5	(6..9)	4.9×10^{-11}
MEGA	1999	1.2	4.5	1.6	17	2.5×10^8	(6..7)	1.2×10^{-11}
MEG	2011	1	4.5	0.15	19	3×10^7	100	2×10^{-13}

Ricerca di $\mu \rightarrow e\gamma$ a MEG

- Il piu' intenso fascio di μ al mondo (PSI, Villigen, Svizzera): $2.8 \cdot 10^7 \mu/\text{sec}$ fermati in un bersaglio di polietilene

Segnale

BR $\sim 10^{-13}$ (?)

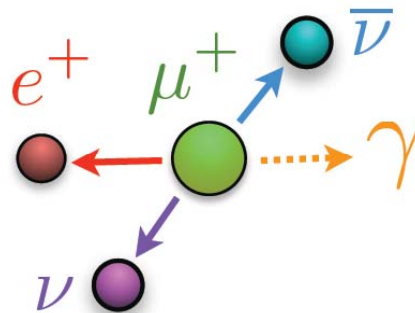


2-body kinematics:

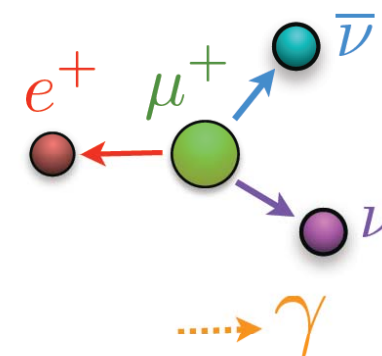
- $E_{e^+} = E_\gamma = 52.8 \text{ MeV}$
- $\theta_{e\gamma} = 180^\circ$,
- $T_{e\gamma} = 0$ (time coincidence)

Fondi

Decadimento radiativo:
BR $\sim 10^{-15}$



Accidentale:
BR $\sim 10^{-14}$

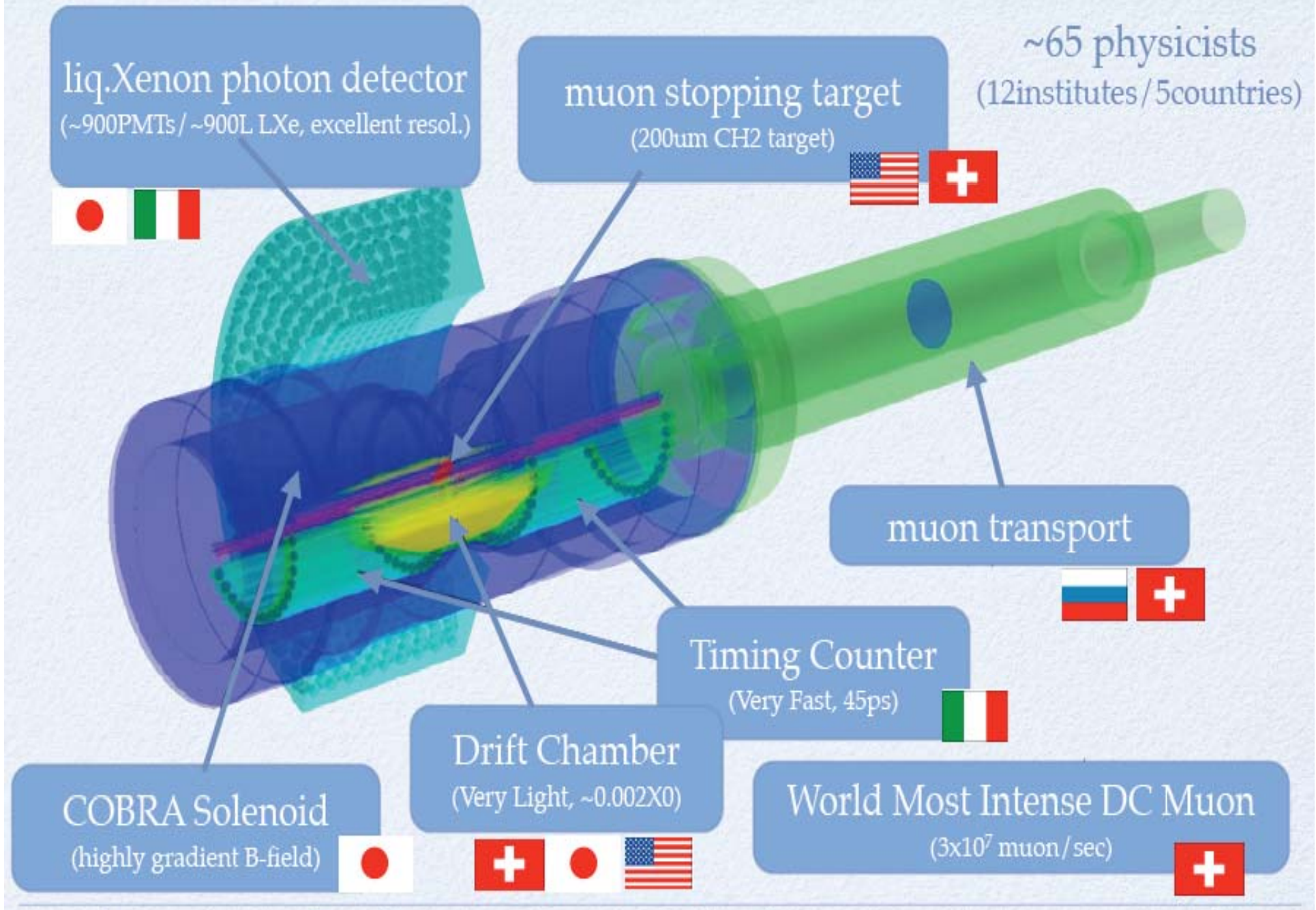


$$B_{\text{prompt}} \approx 0.1 \times B_{\text{acc}} \quad B_{\text{acc}} \approx R_\mu \Delta E_e \Delta E_\gamma^2 \Delta \theta^2 \Delta t$$

at $3 \times 10^7 \mu\text{-stop/s}$

Il fondo accidentale e' dominante: sono necessarie ottime risoluzioni in $E_\gamma, E_{e^+}, \theta_{e\gamma}, T_{e\gamma}$. MEG si aspetta 0.1-0.3 eventi di fondo nel 2011

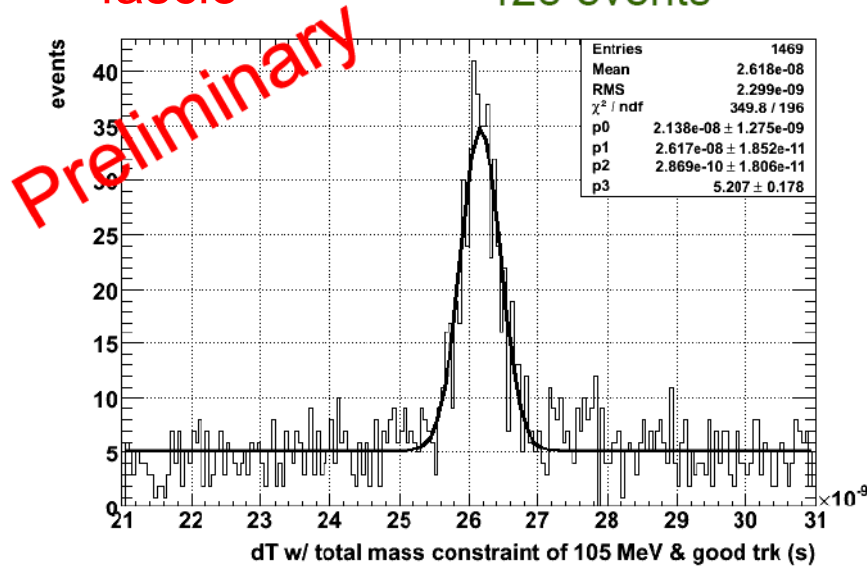
Il rivelatore MEG



MEG Run 2008

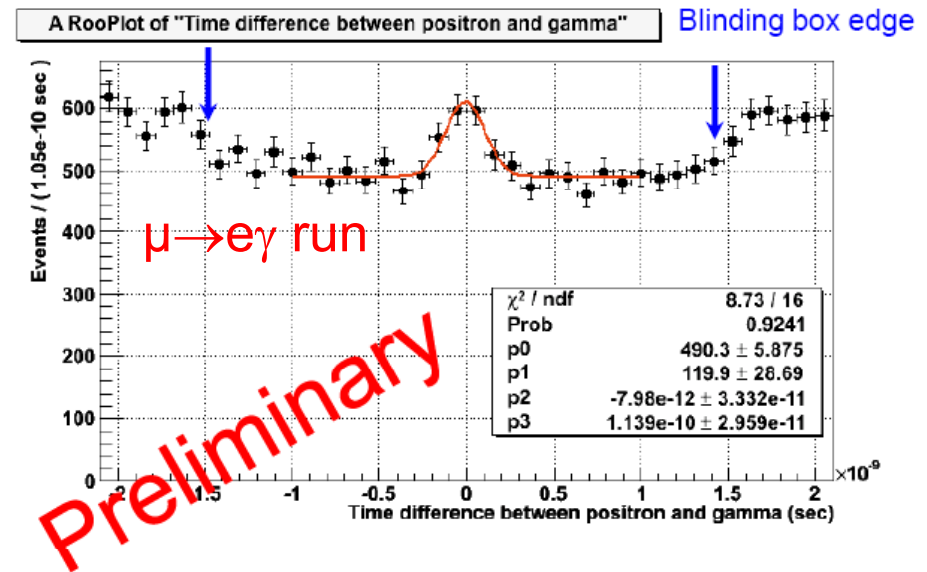
Settembre-Dicembre 2008, $\sim 95 \cdot 10^{13}$ muoni su bersaglio

Segnale di decadimento radiativo
del μ in run a bassa intensita' del
fascio
428 events




Segnale di decadimento radiativo
del μ in run a intensita' nominale
del fascio

$$\sigma(T_{e\gamma}) = 114 \pm 30 \text{ ps}$$



GRUPPO DI ROMA: Gianluca Cavoto, Giancarlo Piredda
Francesco Renga, Cecilia Voena, Dino Zanello

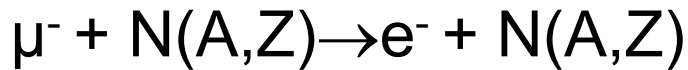
Le prospettive future per i decadimenti cLFV del μ

- Nel 2011 MEG raggiungera' la sensibilita' nominale di 10^{-13} .
- Ci sono due possibilita':
 - MEG ha osservato $\mu \rightarrow e\gamma$ => Nuova Fisica(!)
 - MEG non ha osservato $\mu \rightarrow e\gamma$ e ha messo il limite corrispondente
=> Esclusa (gran) parte dello spazio dei parametri in molti modelli di nuova Fisica
- Come si puo' fare meglio?
- Upgrade di MEG? Se ne parla, ma sarebbe necessario migliorare le risoluzioni del rivelatore (fondo accidentale..)
- Conversione di $\mu \rightarrow e$ in nuclei pesanti 

Conversione $\mu \rightarrow e$ in nuclei pesanti

- Il μ viene fermato in un strato di materiale (es. Al)

Segnale:

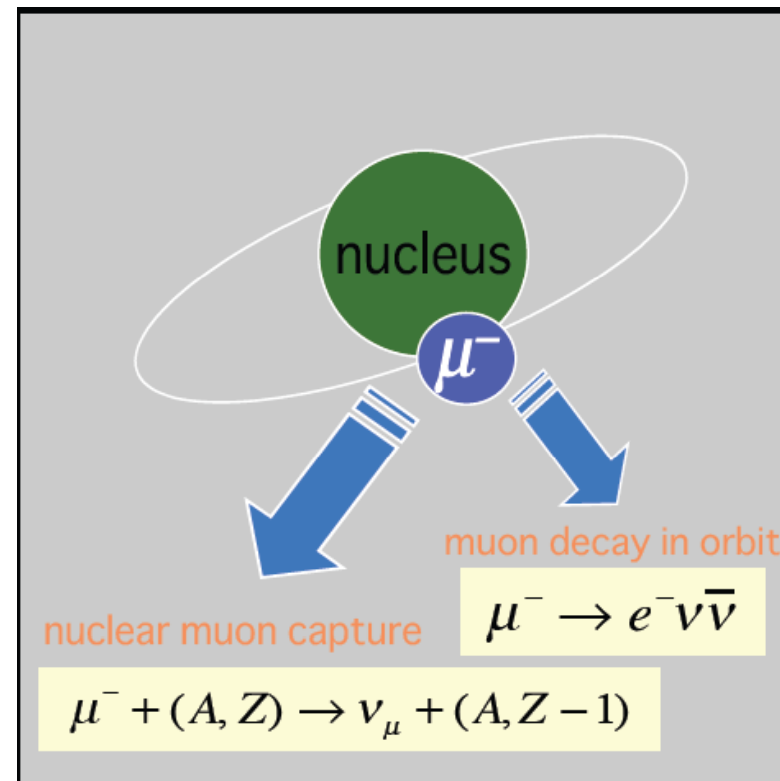
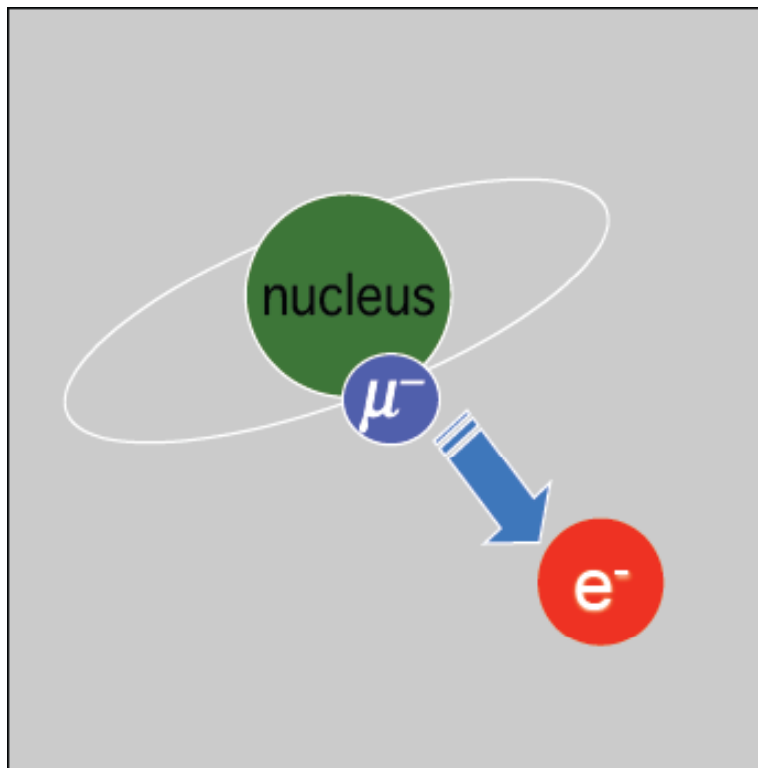


singolo elettrone monocromatico:

e.g. 105 MeV in Al

Altri processi:

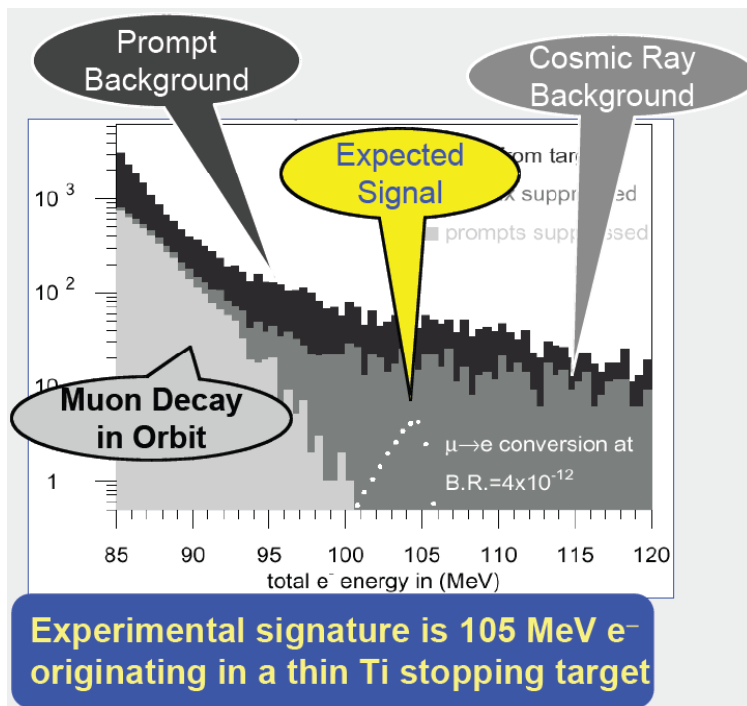
- Cattura nucleare del μ (60%)
- Decadimento del μ in orbita (40%, **fondo fisico**)



Conversione $\mu \rightarrow e$ in nuclei pesanti: i fondi sperimentali

- Il μ decade in orbita
=> necessaria buona risoluzione dell'apparato
- Fondo da fascio, soprattutto da π catturati con seguente decadimento radiativo e conversione del fotone
=> Fascio pulsato, si sfrutta la vita media dello stato legato di ~ 864 ns per Al
- Raggi cosmici, anche essi sopprimibili da fascio pulsato

SINDRUMII



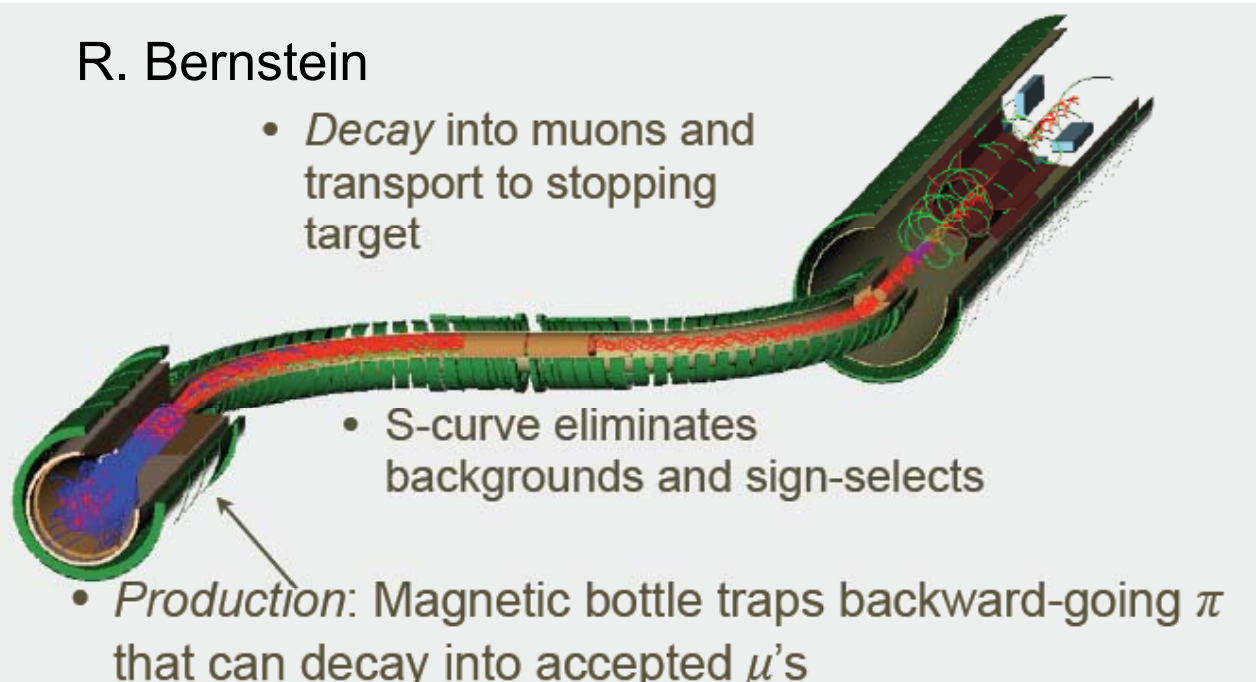
Stima degli eventi di fondo residui per $\mu \rightarrow e$ per sensibilità di 10^{-16} (R. Bernstein)

Source	Number
DIO	0.225
Radiative π capture	0.072
μ decay-in-flight	0.072
Scattered e^-	0.035
π decay in flight	<0.0035

Conversione $\mu \rightarrow e$ in nuclei pesanti: le proposte

- **Proposto Mu2e al Fermilab** (potrebbe prendere dati in parallelo con Nova)

R. Bernstein



Straw tubes:
 $\sigma \sim 200 \mu\text{m}$ transversa
 $\sigma \sim 1.5 \text{mm}$ assiale

Calorimetro (PbWO_4):
 $\sigma/E = 5\%$

- Sensibilita' di progetto (prima fase): 10^{-16} , previsti 0.4 ev fondo
Presa dati dal 2016 se approvato
- A JParc ci sono due progetti: Comet (Al) con sensibilita' 10^{-16} ,
PRISM (Ti) con sensibilita' 10^{-18}

cLFV nei decadimenti del τ alle B factories

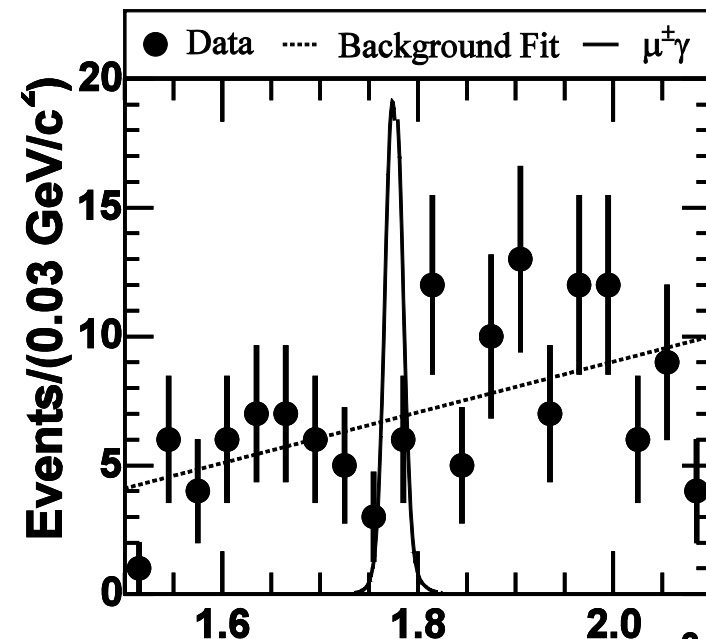
- Le B factories BaBar e Belle sono anche τ factories:
 $\sigma(\tau\tau)=0.89$ nb a $\sqrt{s}=10.58$ GeV
- Babar 2005 con $2.07 \cdot 10^8$ $e^+e^- \rightarrow \tau^+\tau^-$: $BR(\tau \rightarrow \mu\gamma) < 6.8 \cdot 10^{-8}$
al 90% C.L

Tecnica sperimentale

Ricostruzione di un μ e γ isolati consistenti con il decadimento di un τ e un'energia totale consistente con $\sqrt{s}/2$ in un emisfero. Decadimento Standard di un τ nell'altro emisfero.

Fondo dominante (irriducibile):

$e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$ e $e^+e^- \rightarrow \tau^+\tau^-$
con $\tau \rightarrow \mu\nu + \gamma$ da radiazione di stato iniziale



Massa del sistema $\mu\gamma$ applicando il vincolo dell'energia del fascio (GeV)

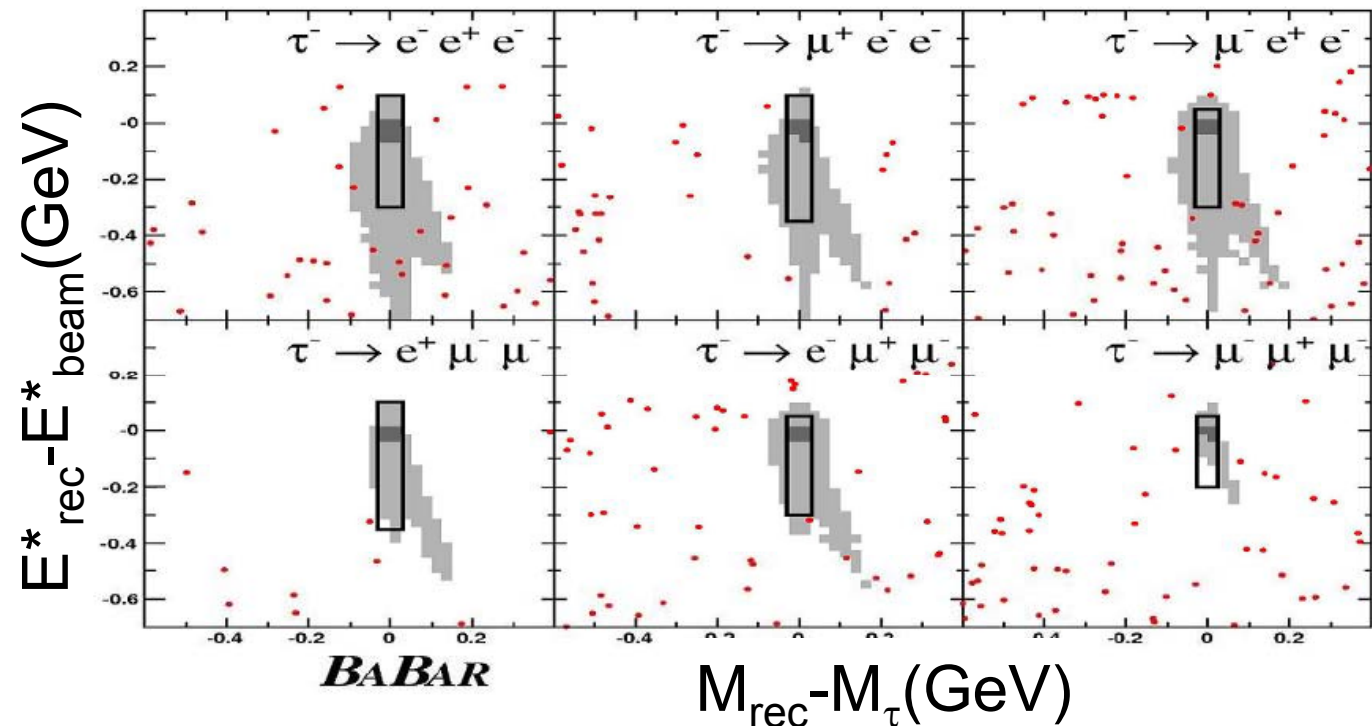
cLFV nei decadimenti del τ alle B factories (II)

- Nuovi risultati di Babar con 477fb^{-1} (430M coppie $\tau\tau$) sulla ricerca di $\tau \rightarrow \text{ll}$

- Non c'è fondo irriducibile fino a luminosità 100 volte quella di PEP/KEK

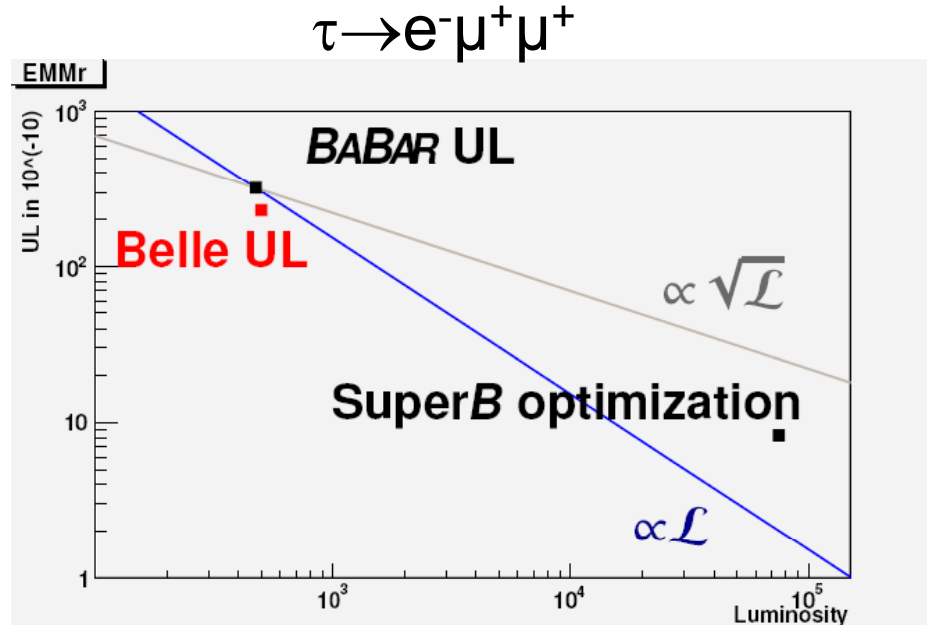
poi comincia a essere rilevante $\tau \rightarrow \text{lvv} + e^+e^-$ da $\gamma(\text{ISR})$

modo	Babar U.L.	Belle U.L. (535fb^{-1})
$e^+e^-e^+$	$2.9 \cdot 10^{-8}$	$3.6 \cdot 10^{-8}$
$e^+e^-\mu^+$	$2.2 \cdot 10^{-8}$	$2.7 \cdot 10^{-8}$
$e^+e^+\mu^-$	$1.8 \cdot 10^{-8}$	$2.0 \cdot 10^{-8}$
$e^+\mu^-\mu^+$	$3.2 \cdot 10^{-8}$	$4.1 \cdot 10^{-8}$
$e^-\mu^+\mu^+$	$2.6 \cdot 10^{-8}$	$2.3 \cdot 10^{-8}$
$\mu^+\mu^-\mu^-$	$3.3 \cdot 10^{-8}$	$3.2 \cdot 10^{-8}$



cLFV nei decadimenti del τ alle superB factories

- Due progetti: **SuperB e SuperKEKB**
- SuperB: luminosita' 10^{36} , 75 ab^{-1} come dataset di riferimento, 85% di polarizzazione longitudinale del fascio per la produzione di τ polarizzati (maggiore reiezione del fondo, studio dist. angolari)
- Proiezione della sensitivita' a partire dalle analisi di Babar e Belle tenendo conto dei miglioramenti alla SuperB



Sensibilita' aspettate
a 75 ab^{-1} :

$$\tau \rightarrow \mu \gamma: 2 \cdot 10^{-9}$$

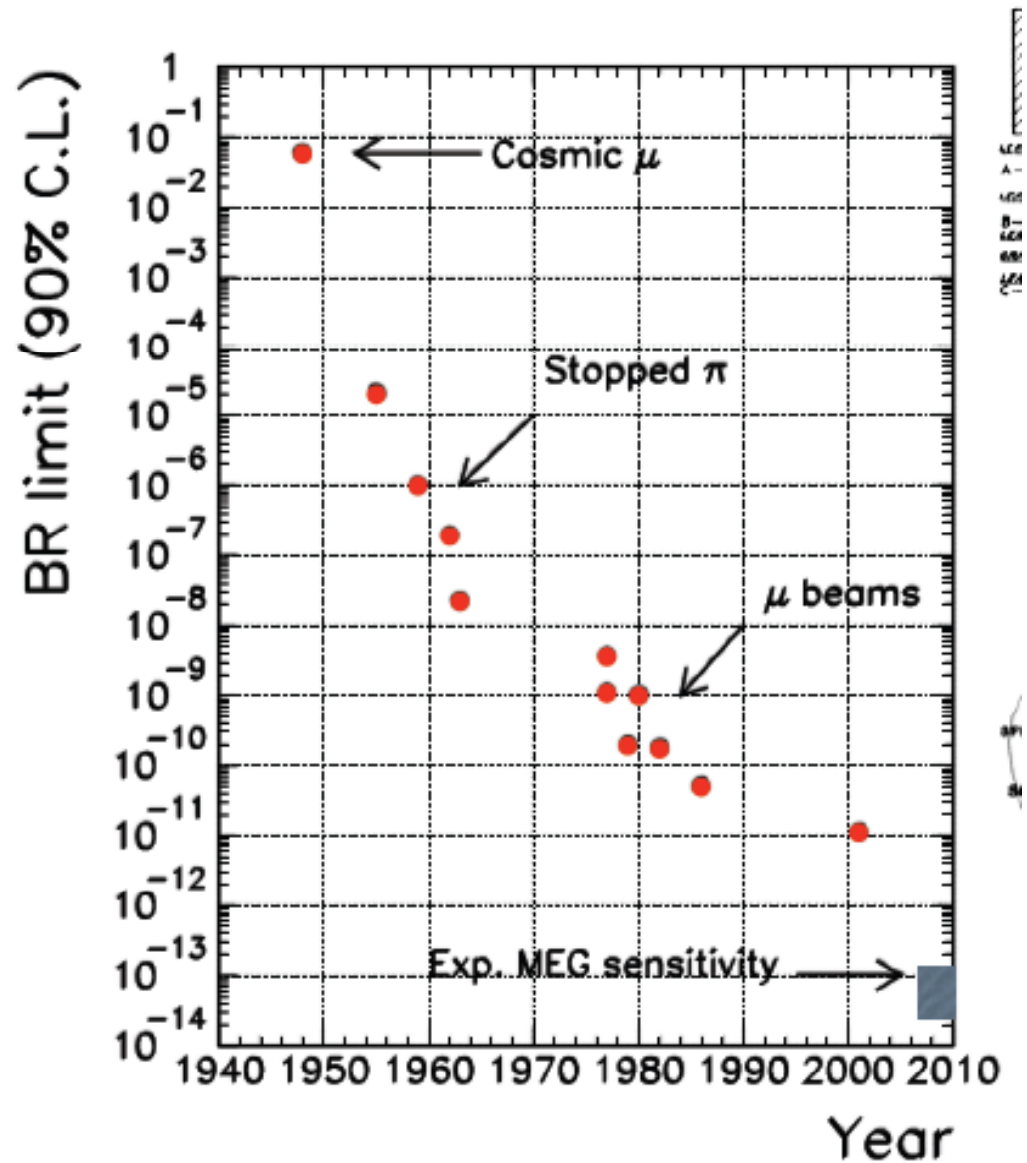
$$\tau \rightarrow \mu \mu \mu: 8.1 \cdot 10^{-10}$$

Conclusioni

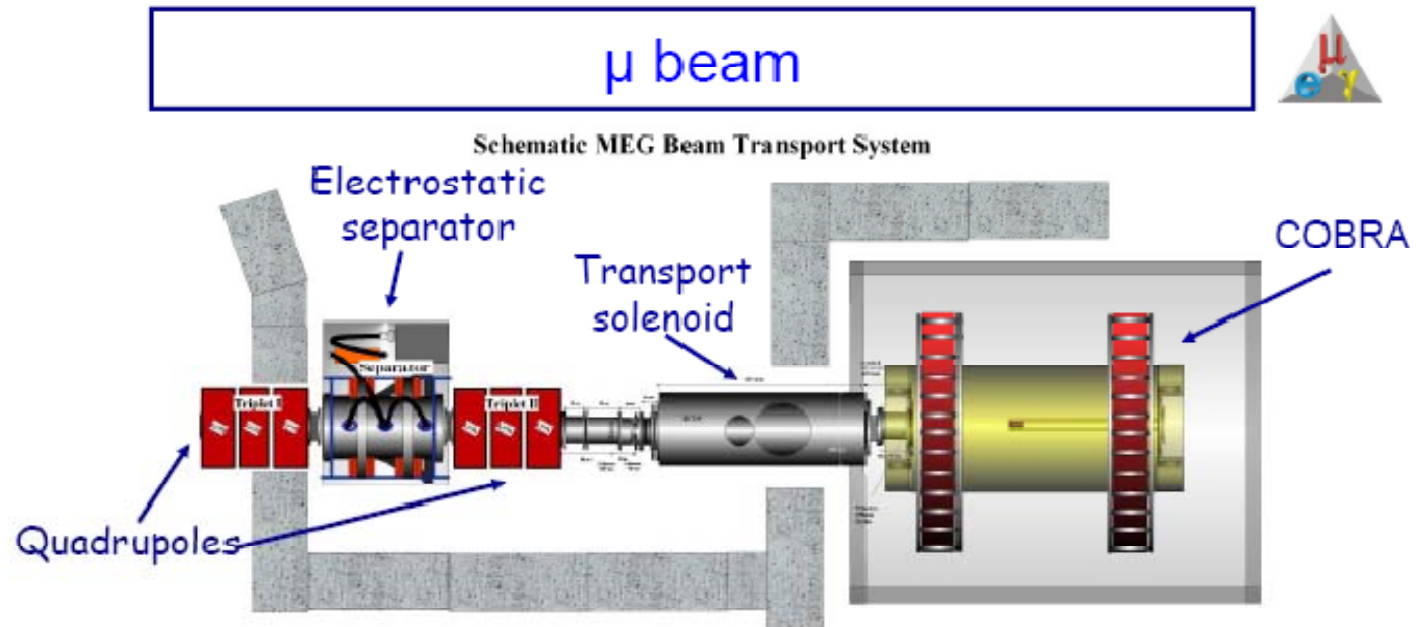
- Lo studio della violazione del sapore leptonic nei decadimenti dei leptoni carichi permette la ricerca di Nuova Fisica in un ambiente privo di fondo dal Modello Standard
- **Presente:**
 - Esperimento **MEG** (ricerca $\mu \rightarrow e\gamma$) ha concluso il primo run di fisica. La **sensibilita' di progetto di 10^{-13} che si raggiungera' nel 2011** rappresenta un miglioramento di 2 ordini di grandezza rispetto al presente limite (scoperta?)
 - **Babar/Belle**, hanno pubblicato molti risultati sui decadimenti cLFV del τ (migliori upper limits al momento)
- **Futuro:** in discussione molti progetti che migliorerebbero la sensitivita' di ordini di grandezza:
Mu2e/Prime ($\mu \rightarrow e, 10^{-16}, 10^{-18}$) SuperB ($\tau \rightarrow l\gamma, \tau \rightarrow, ll, \dots 10^{-9}, 10^{-10}$)

Backup

History of $\mu \rightarrow e\gamma$ searches



μ beam



Intensity' (μ -stop/s)

- Low 2.5×10^6
- Normal 3.2×10^7
- High 8.6×10^7

characteristics

- $P = 27.7 \text{ MeV}/c$
- $\Delta P = 0.3 \text{ MeV}/c$
- $\sigma_x = 9.5 \text{ mm}$
- $\sigma_y = 10. \text{ mm}$

MEG 2008 Run

Running conditions

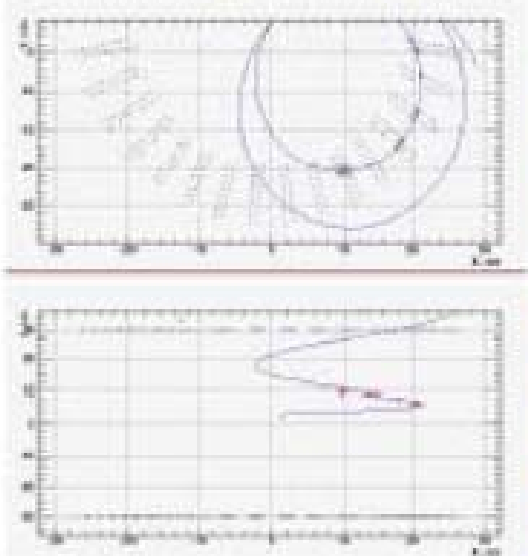
MEG run period

- Live time $\sim 50\%$ of total time
- Total time $\sim 7 \times 10^6$ s
- μ stop rate: 3×10^7 μ /s
- Trigger rate 6.5 ev/s ; 9 MB/s

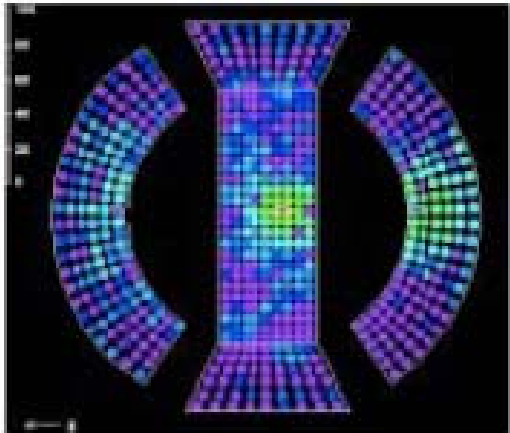
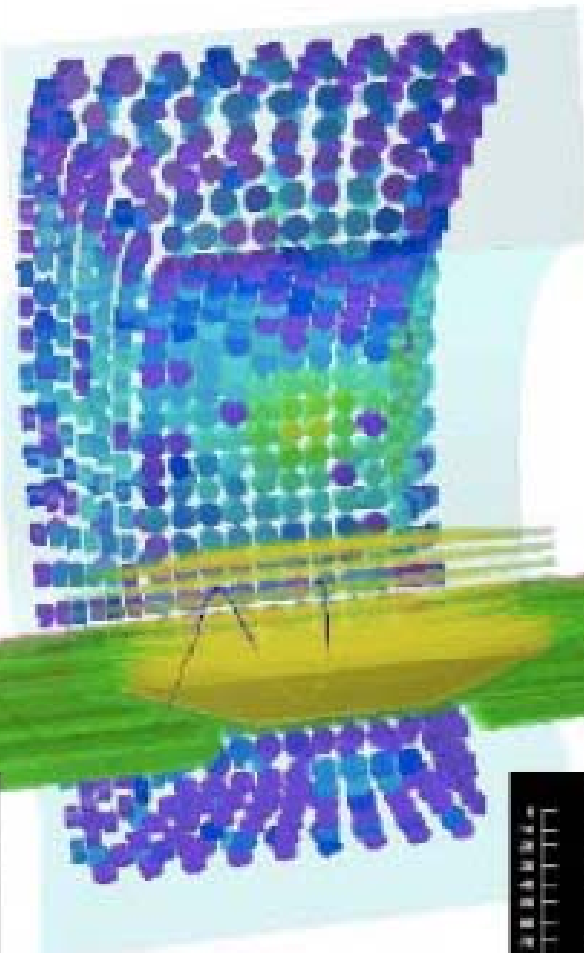
The missing 50% is composed of:

- 17% DAQ dead time
- 14% programmed beam shutdowns
- 7% low intensity Radiative muon decay runs (RMD)
- 11% calibrations
- 2% unforeseen beam stops

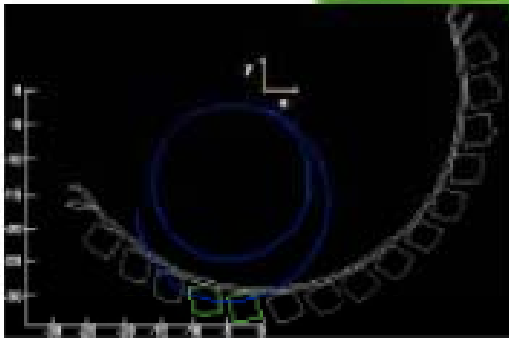
Event display



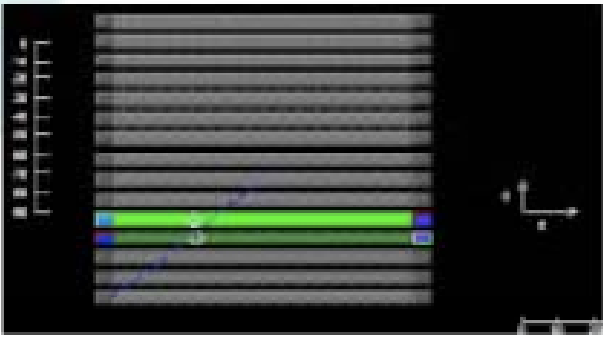
e^+ Tracks in DC



γ in LXe



e^+ hits in TC



Example#1:SUSY GUT SO10 with see-saw

Neutrino mass via the see-saw mechanism, analysis performed in an SO(10) framework

L.Cabibbi,A.Faccia,A.Masiero,S.Vempati hep-ph/0605139

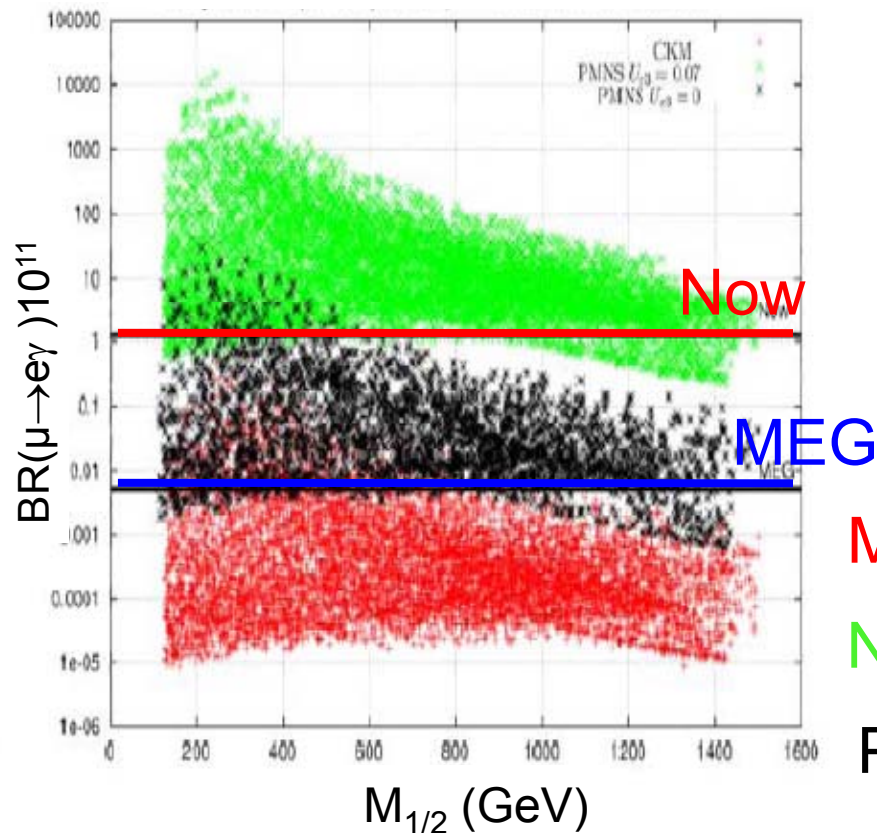
Reach in $(m_0, m_{\tilde{g}})$

Experiment	PMNS		CKM	
	$t_\beta = 40$	$t_\beta = 10$	$t_\beta = 40$	$t_\beta = 10$
<i>μe sector</i>				
MEGA	LHC	2 TeV	no	no
	1.1 TeV ^a	no ^a		
MEG	all	all	1.3 TeV	no
	LHC ^a	1.1 TeV ^a		
PRISM/PRIME ^b	all	all	all	2.8 TeV
		LHC ^a		
<i>$\tau \mu$ sector</i>				
BaBar, Belle	1.2 TeV	no	no	no
SuperKEKB	2 TeV	0.9 TeV	no	no
Super Flavour ^b	2.8 TeV	1.5 TeV	0.9 TeV	no

^a $U_{e3} = 0$

^bPost-LHC era, planned/discussed experiment

Comparison of $\mu \rightarrow e \gamma$ at $\tan \beta = 40$ in different scenarios



Minimal Flavor Violation (CKM)

Neutrino-matrix like (PMNS)

PMNS with $U_{e3} = 0$

Example #2: LFV and g-2 in MSSM

Isidori, Mescia, Paradisi, Temes

hep-ph/0703035

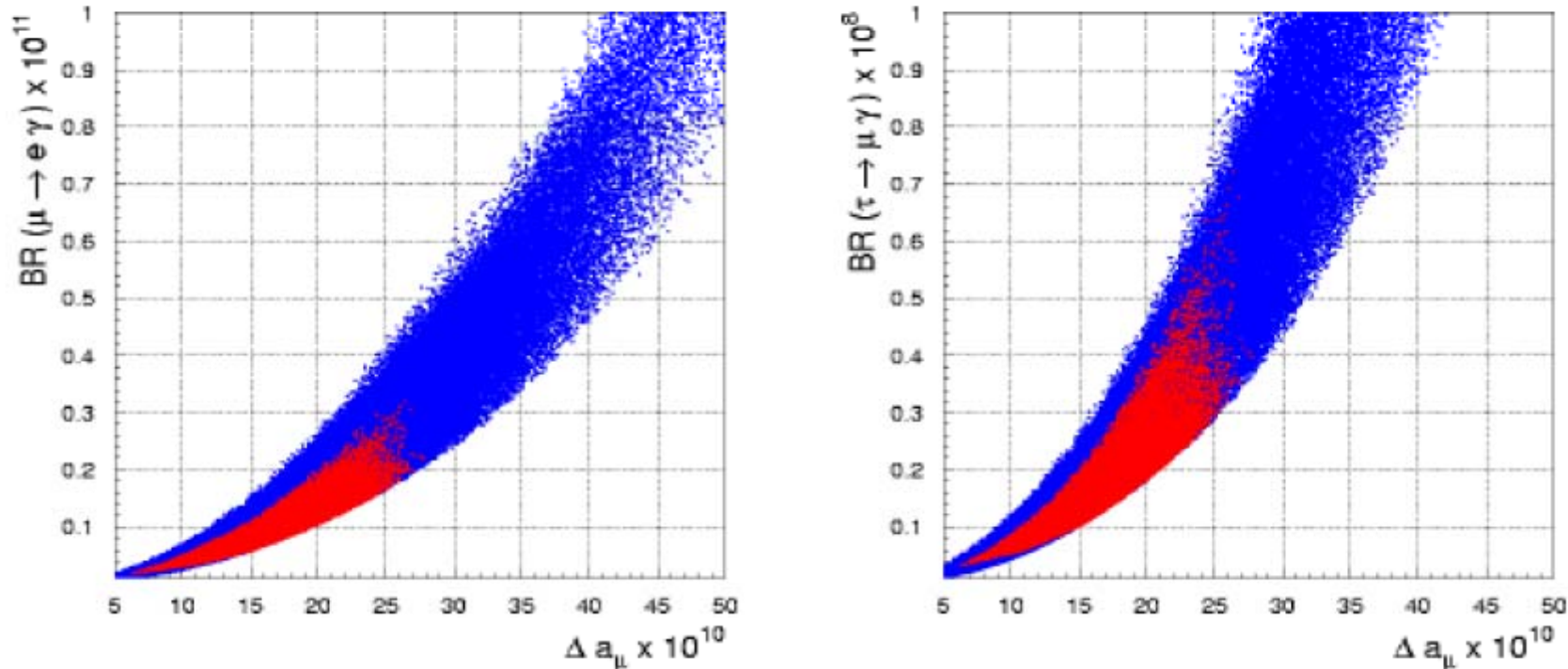


Figure 6: Expectations for $\mathcal{B}(\mu \rightarrow e\gamma)$ and $\mathcal{B}(\tau \rightarrow \mu\gamma)$ vs. $\Delta a_\mu = (g_\mu - g_\mu^{\text{SM}})/2$, assuming $|\delta_{LL}^{12}| = 10^{-4}$ and $|\delta_{LL}^{23}| = 10^{-2}$. The plots have been obtained employing the following ranges: $300 \text{ GeV} \leq M_\ell \leq 600 \text{ GeV}$, $200 \text{ GeV} \leq M_2 \leq 1000 \text{ GeV}$, $500 \text{ GeV} \leq \mu \leq 1000 \text{ GeV}$, $10 \leq \tan \beta \leq 50$, and setting $A_U = -1 \text{ TeV}$, $M_{\bar{q}} = 1.5 \text{ TeV}$. Moreover, the GUT relations $M_2 \approx 2M_1$ and $M_3 \approx 6M_1$ are assumed. The red areas correspond to points within the funnel region which satisfy the B -physics constraints listed in Section 3.2 [$\mathcal{B}(B_s \rightarrow \mu^+\mu^-) < 8 \times 10^{-8}$, $1.01 < R_{Bs\gamma} < 1.24$, $0.8 < R_{B\tau\nu} < 0.9$,

Example #3: μe conversion and $\mu \rightarrow e \gamma$

Sensitivity to the New Physics scale Λ as a function of κ , the dimensionless parameter that interpolates between a flavor violating magnetic moment type-operator ($\kappa \ll 1$) and a flavor violating four-fermion operator ($\kappa \gg 1$)

A.De Gouva', project X workshop Golden Book

