

IFAE 2015

Roma, Tor Vergata – 8th Aprile - 10th Aprile 2015

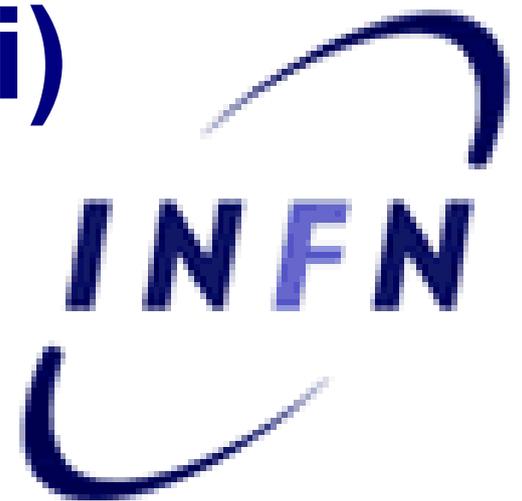
Verifiche del Modello Standard e ricerca diretta di particelle di nuova fisica in BaBar (Risultati Recenti)



™ and © Nelvana, All Rights Reserved

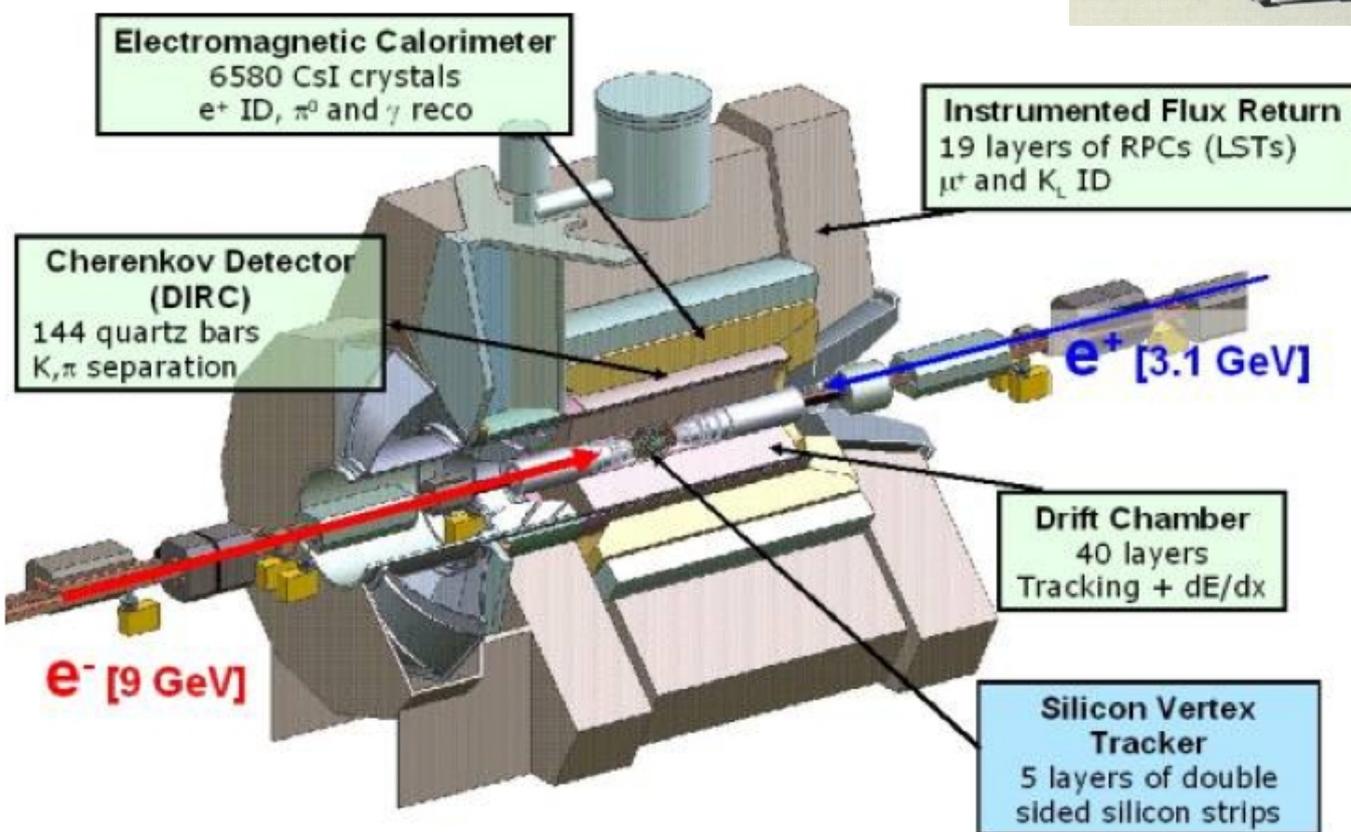
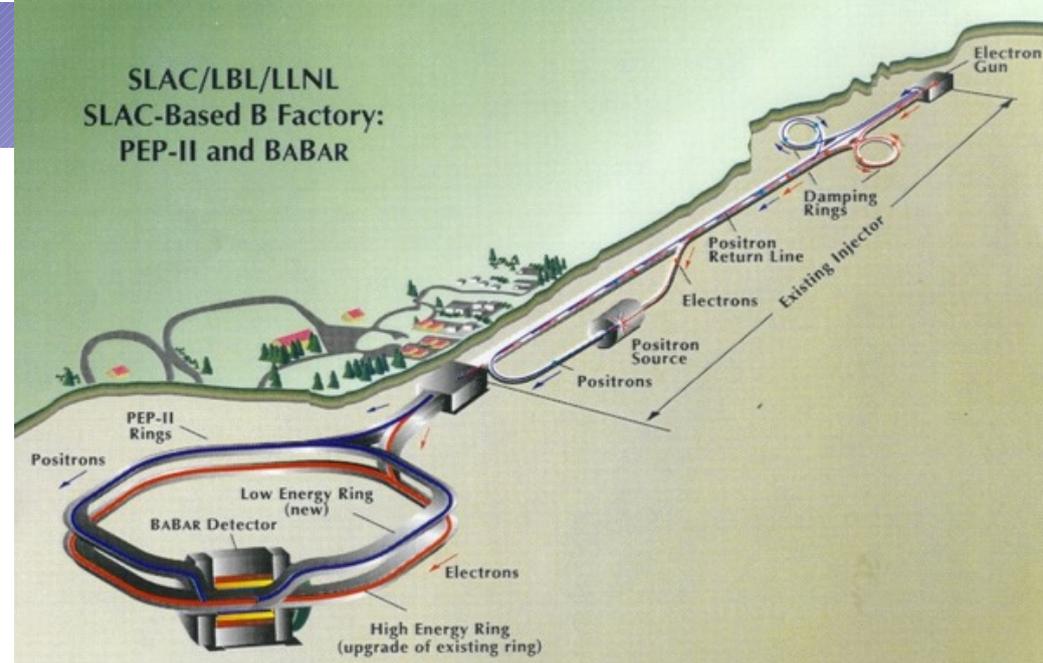
Marcello Rotondo

I.N.F.N. Padova



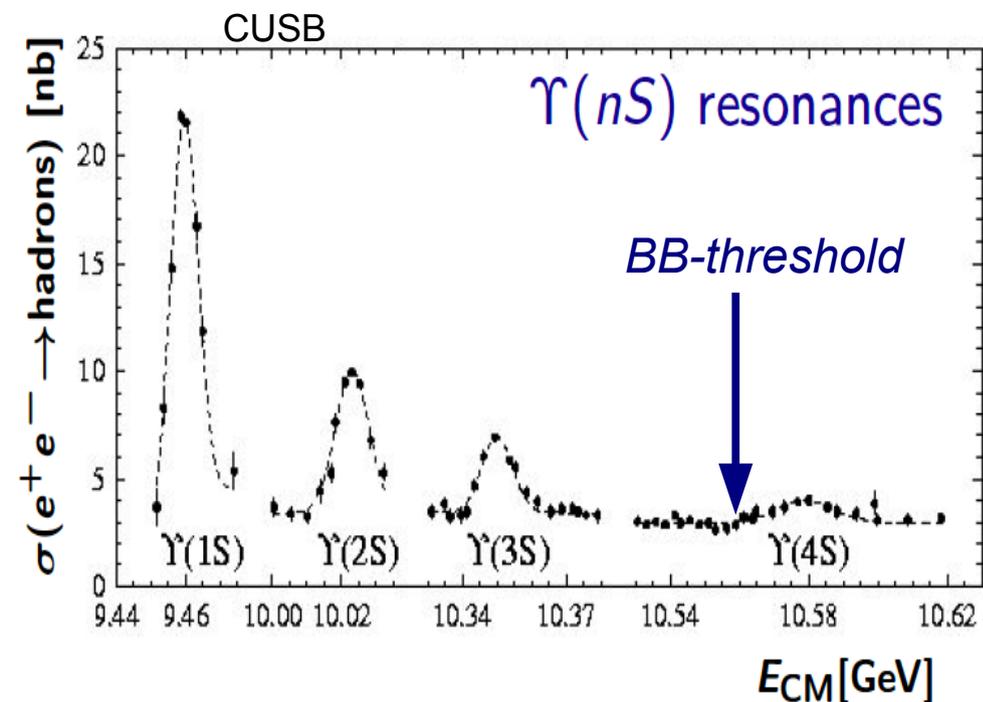
PEP-II / BaBar

- PEP-II: collisore e^+e^-
- Fasci con energie asimmetriche:
 - $\sqrt{s} \sim 10.5 \text{ GeV}$
- Ottimizzato per lo studio della violazione di CP nei decadimenti dei mesoni B provenienti da $\Upsilon(4S) \rightarrow BB$

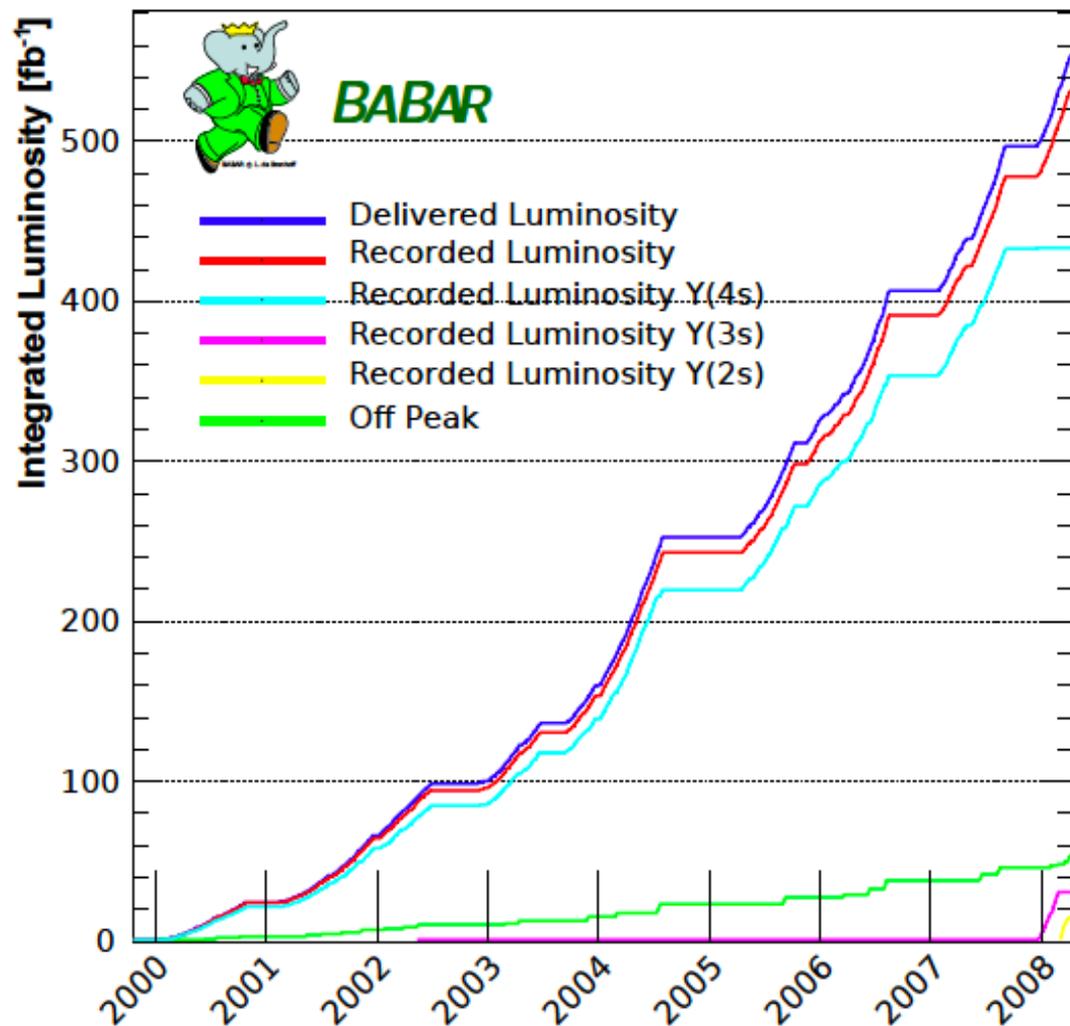


- Ambiente molto pulito
- Bassa molteplicità di tracce e di neutri
- Rivelatore ermetico
- Eccellente tracking e PID
- Ottima ricostruzione dei K_S dei π^0

Dataset: 1999-2008



	Luminosità fb^{-1}	Eventi
$\Upsilon(4S)$	424	$471 \cdot 10^6$
$\Upsilon(3S)$	28	$121 \cdot 10^6$
$\Upsilon(2S)$	14	$99 \cdot 10^6$
off-peak	48	
$e^+e^- \rightarrow c\bar{c}$		$\sim 650 \cdot 10^6$
$e^+e^- \rightarrow \tau^+\tau^-$		$\sim 450 \cdot 10^6$



Programma di fisica ampio e variegato:

- fisica del B/D, τ , spettroscopia, ISR, $\gamma\gamma$...

Outline

- Strategie per la ricerca di Nuova Fisica alle B-Factories:
 - Ricerche indirette:
 - Studio delle proprietà dei mesoni B/D: BF, cinematica dei decadimenti, ...
 - Ricerca di nuove sorgenti di violazione di CP
 - \Rightarrow misure di precisione da confrontare con le predizioni del SM
 - Ricerche dirette
 - Nuove particelle di bassa massa (\sim qualche GeV/c^2) prodotti nelle collisioni e^+e^- oppure nei decadimenti dei mesoni B

Outline

- Strategie per la ricerca di Nuova Fisica alle B-Factories:
 - Ricerche indirette:
 - Studio della dinamica dei decadimenti
 - Ricerca di nuove particelle e interazioni
 - Ricerche indirette:
 - Asimmetria di CP nel mixing $B^0\bar{B}^0$
 - Ricerche dirette
 - Particelle a lunga vita media
 - Dark Photon
 - Higgs leggero in $c\bar{c}$
 - Ricerche dirette:
 - Nuova fisica in $e^+e^- \rightarrow c\bar{c}$ (e $b\bar{b}$) prodotti
 - Ricerca di nuovi mesoni B

$$A_{CP}(B^0)$$

Asimmetria di CP nel mixing
 B^0 - \bar{B}^0 usando eventi dileptonici

PRL 114, 081801(2015)

Misura di $A_{CP}(B^0)$

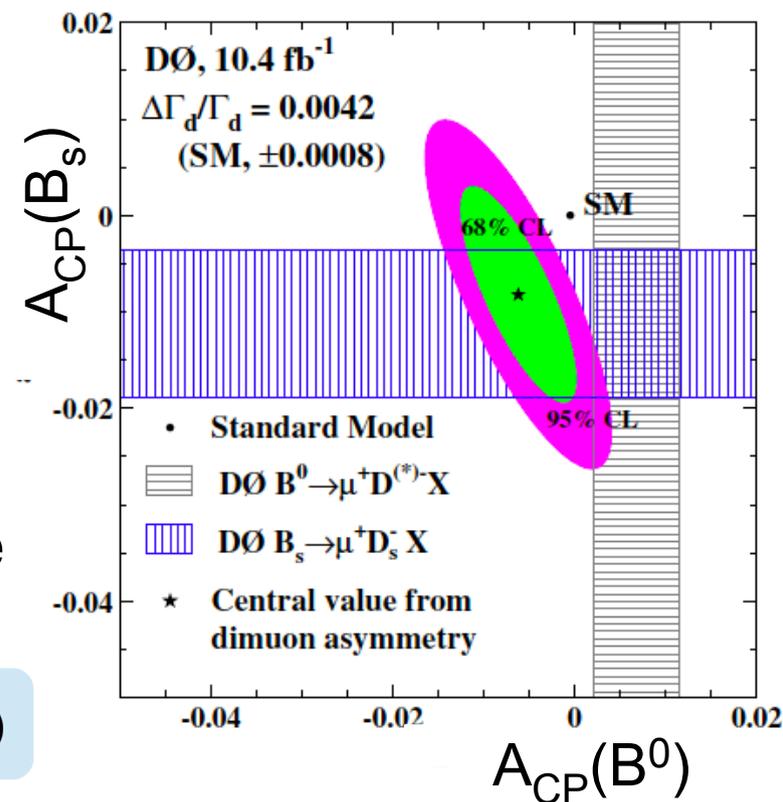
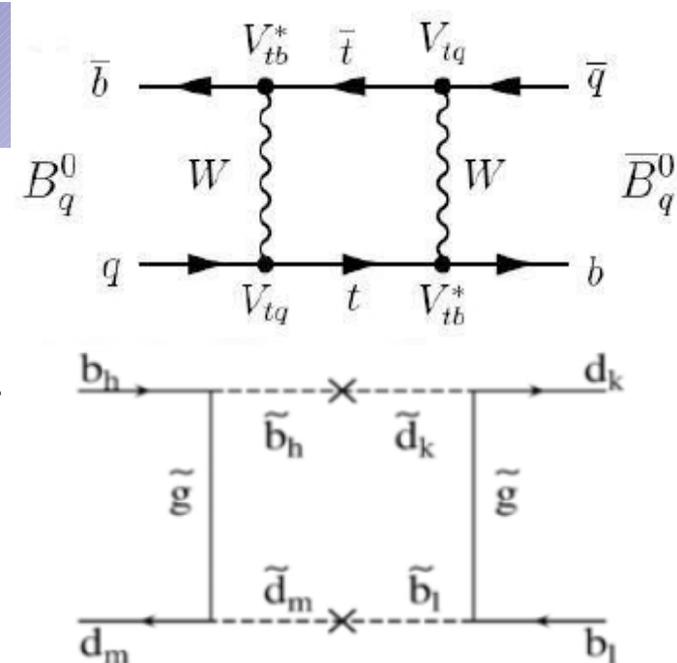
- L'asimmetria di CP nei B^0 è data da

$$A_{CP} = \frac{\mathcal{P}(\bar{B}^0 \rightarrow B^0)(t) - \mathcal{P}(B^0 \rightarrow \bar{B}^0)(t)}{\mathcal{P}(\bar{B}^0 \rightarrow B^0)(t) + \mathcal{P}(B^0 \rightarrow \bar{B}^0)(t)} = \frac{1 - |q/p|^4}{1 + |q/p|^4}$$

$$|B_{L/H}\rangle = p|B^0\rangle \pm q|\bar{B}^0\rangle$$

- Lo SM predice un valore molto piccolo per A_{CP} ($\sim 10^{-4}$)
 - La presenza di effetti di nuova fisica può dare contributi anche del $\sim\%$: una misura non-nulla potrebbe indicare contributi non-SM
- DØ ha misurato in modo inclusivo l'asimmetria $A_{CP}(B^0)$ e $A_{CP}(B_s)$ e ha osservato una deviazione di 3σ rispetto alle predizioni

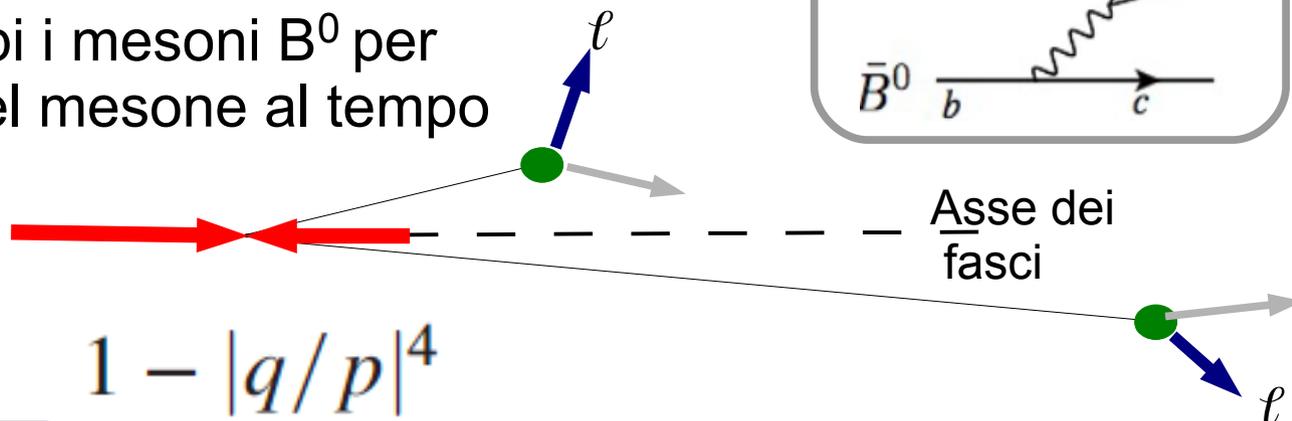
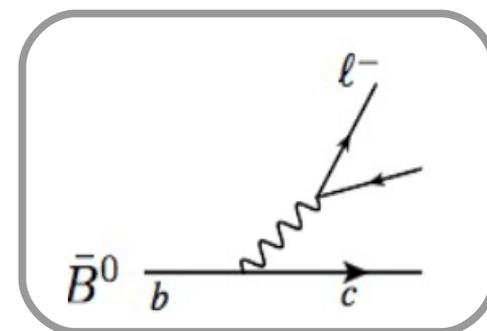
PRD89,012002(2014)



Strategia di analisi

- Strategia di analisi: $\Upsilon(4S) \rightarrow B^0 \bar{B}^0$ I due B evolvono in modo coerente

- Usare i leptoni provenienti dai decadimenti semileptonici di entrambi i mesoni B^0 per determinare il flavour del mesone al tempo di decadimento



$$A_{CP} = \frac{\mathcal{P}_{\ell\ell}^{++} - \mathcal{P}_{\ell\ell}^{--}}{\mathcal{P}_{\ell\ell}^{++} + \mathcal{P}_{\ell\ell}^{--}} = \frac{1 - |q/p|^4}{1 + |q/p|^4}$$

- $\ell^+ \ell^+$: oscillazione $\bar{B}^0 \rightarrow B^0$
- $\ell^- \ell^-$: oscillazione $B^0 \rightarrow \bar{B}^0$
- $\ell^+ \ell^-$: no-mixing

- Combinazioni $ee, e\mu, \mu e, \mu\mu$ (ordinate in base all'energia)
- Fit al χ^2 del segnale integrato nel tempo (A_{CP} non dipende dal tempo)

Determinazione dell'asimmetria

- Fit al χ^2 del segnale time-integrato (A_{CP} non dipende dal tempo)

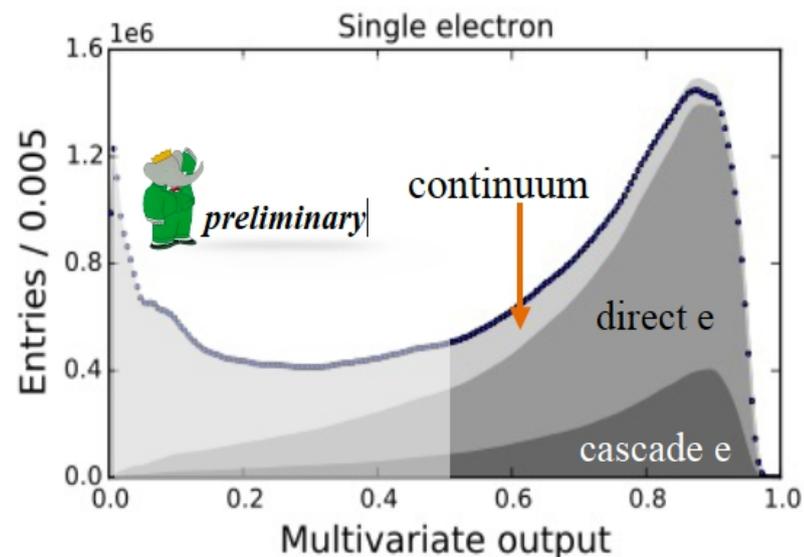
Detector efficiency charge asymmetries

$$N_{\ell_1\ell_2}^{\pm\pm} = \frac{1}{2} N_{\ell_1\ell_2}^0 (1 \pm a_{\ell_1} \pm a_{\ell_2} \pm A_{CP}) \chi_d^{\ell_1\ell_2}$$

Effective mixing probability
 $N(B^+B^-)/N(B^0\bar{B}^0)$

$$N_{\ell_1\ell_2}^{\pm\mp} = \frac{1}{2} N_{\ell_1\ell_2}^0 (1 \pm a_{\ell_1} \mp a_{\ell_2}) (1 - \chi_d^{\ell_1\ell_2} + r_B)$$

- Campione di single-lepton per l'asimmetria di carica dell'efficienza di ricostruzione
- Varie sorgenti di fondo considerate:
 - Continuo: $ee \rightarrow f\bar{f}$ ($f=u,d,s,c,e,\mu,\tau$)
 - Cascade: $B \rightarrow X \rightarrow \ell Y$
 - Mis-identificazione dei leptoni



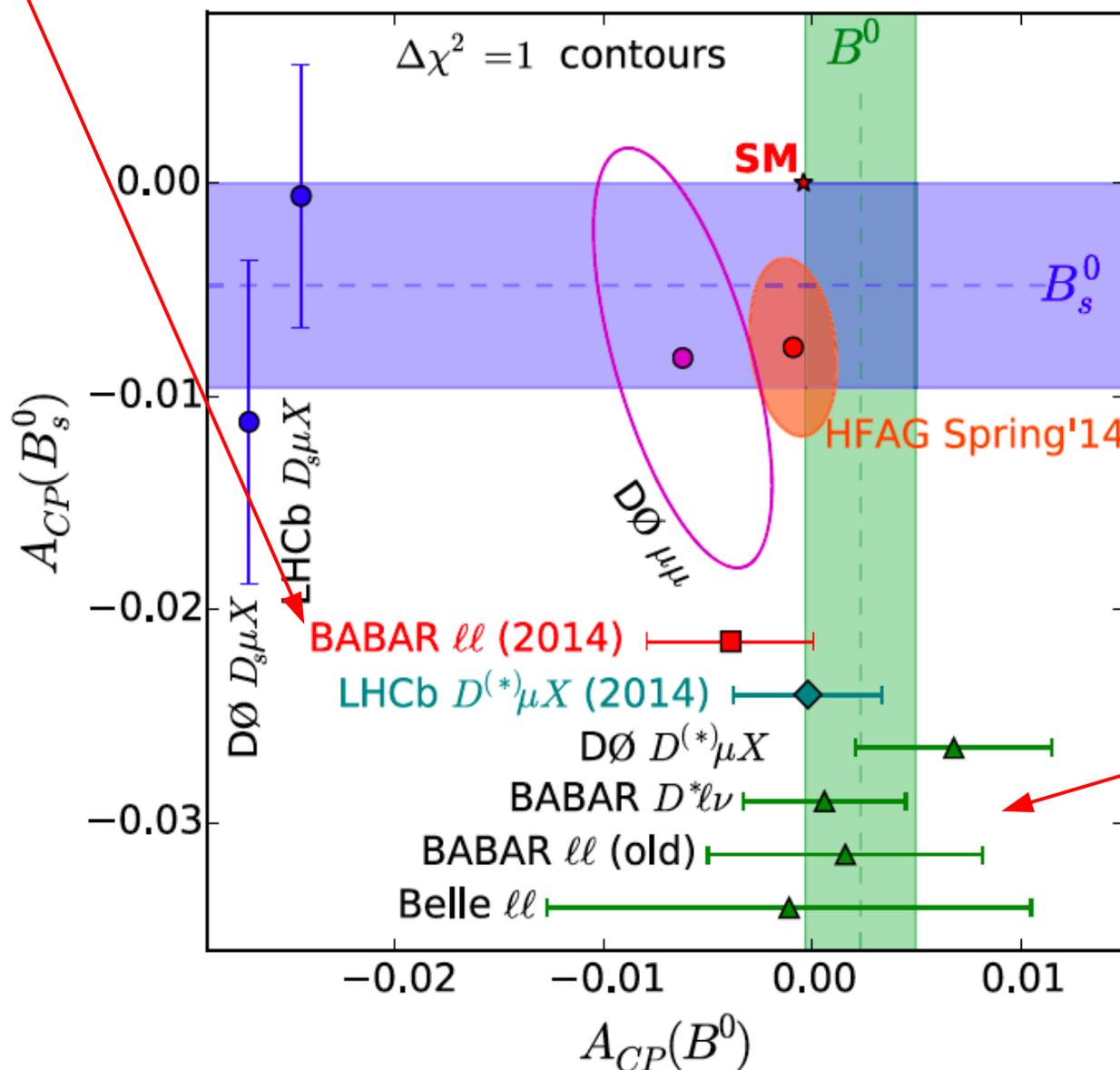
Risultati



$$A_{CP} = (-3.9 \pm 3.5 \pm 1.9) \times 10^{-3}$$

PRL114,081801(2015)

Tra le misure più precise:
Compatibile con SM



HFAG-2014

$$A_{CP}(B^0_s) = (-7.7 \pm 4.2) \times 10^{-3}$$

$$A_{CP}(B^0) = (-0.9 \pm 2.1) \times 10^{-3}$$

Ricostruzione parziale
 $B \rightarrow D^* \ell \nu$ e tag con kaoni

$$A_{CP} = (0.6 \pm 1.7^{+3.8}_{-3.2}) \times 10^{-3}$$

PRL110,011801(2013)





Ricerca di Dark Photons A'
con $A' \rightarrow e^+e^- / \mu^+\mu^-$

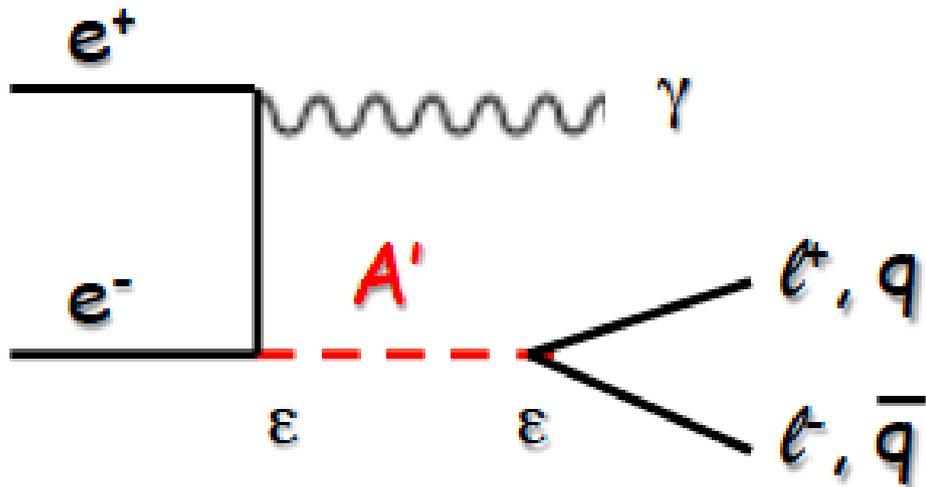
PRL 113, 201801(2014)

Introduzione

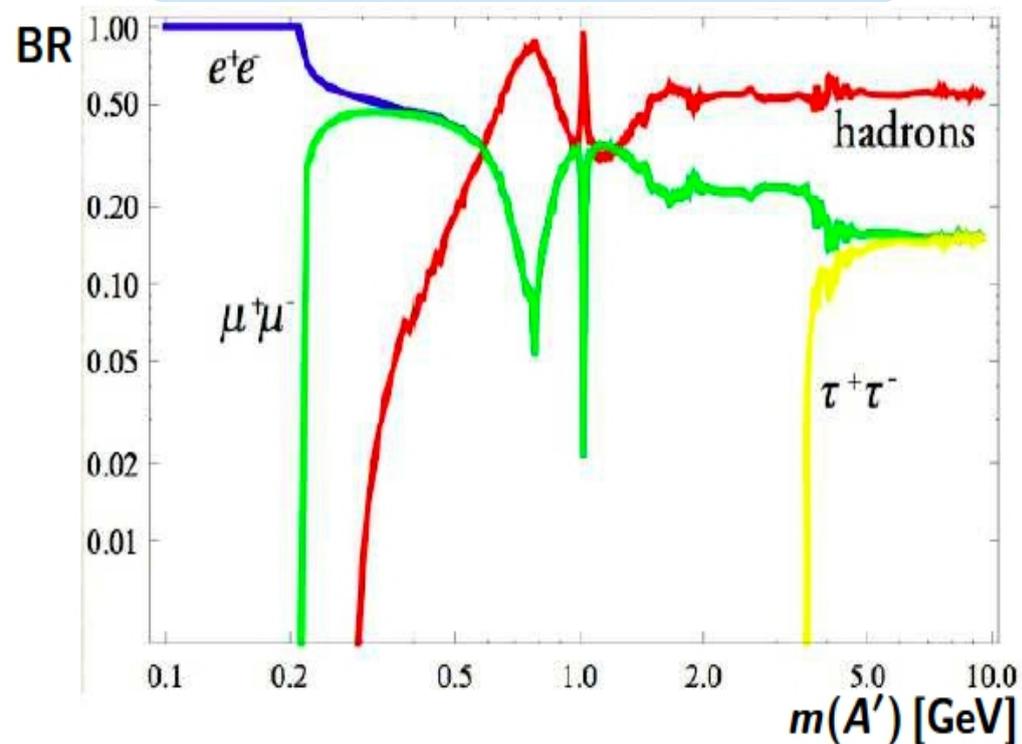
- Varie osservazioni astrofisiche (Pamela, AMS) hanno suggerito la possibilità di scenari con particelle leggere (\sim GeV) come possibili sorgenti di Dark Matter
- Uno scenario interessante è quello che prevede l'esistenza di un Dark Photon (nuova simmetria U(1)) che si accoppia al SM

attraverso
$$\Delta\mathcal{L} = \frac{\epsilon}{2} F^{Y,\mu\nu} F'_{\mu\nu}$$

- Dark photon A' prodotto in una collisione e^+e^-
- Sezione d'urto ridotta di ϵ^2 ($\epsilon=10^{-5}$ \lesssim 10^{-2}):

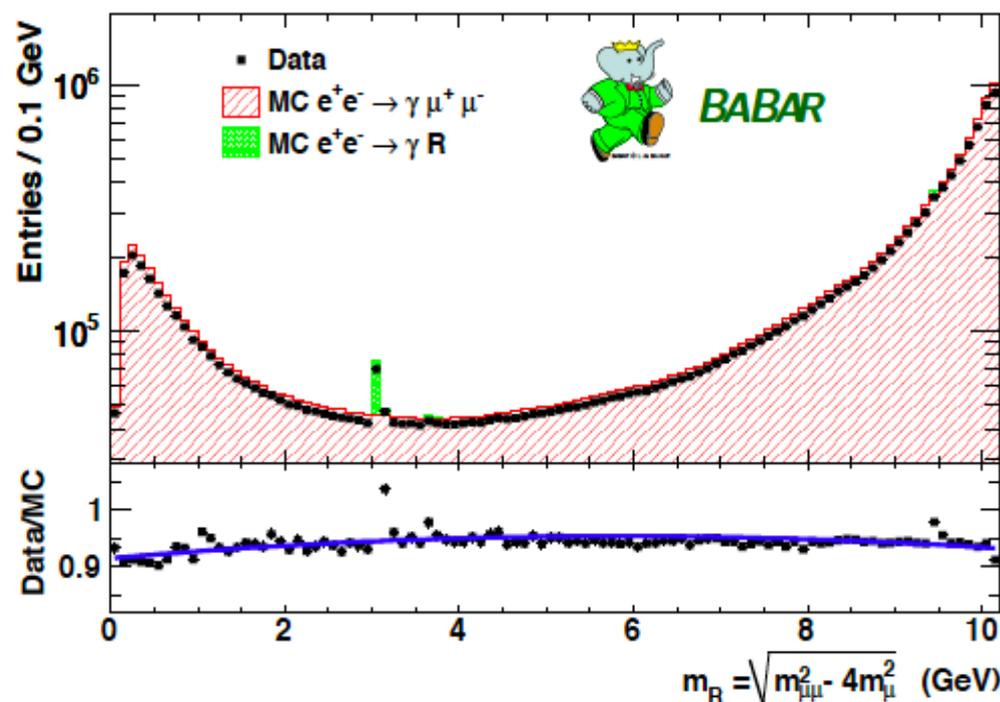
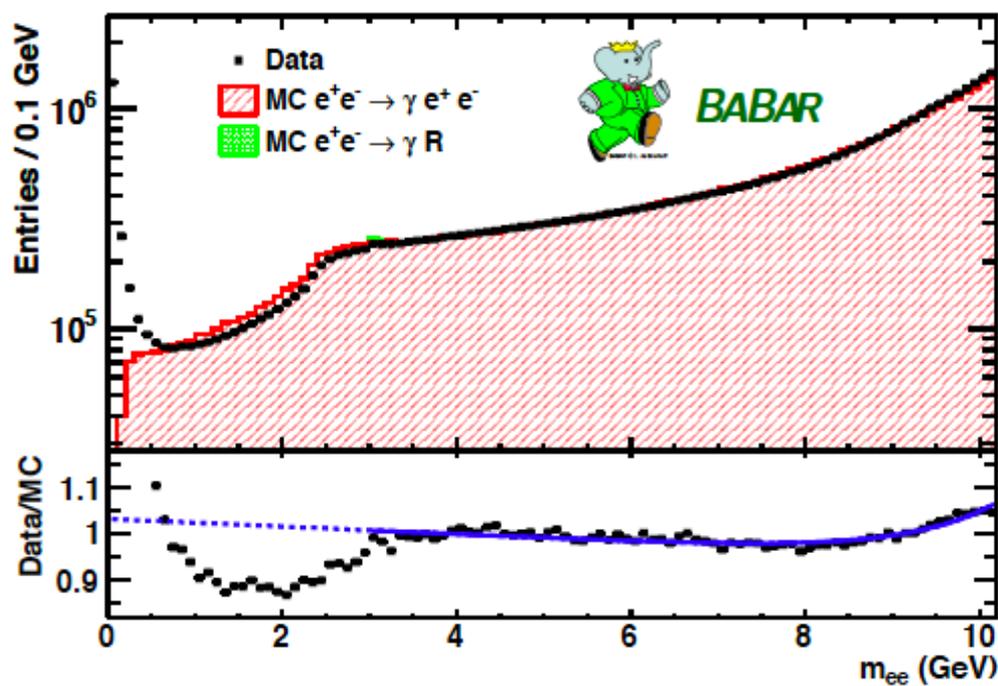


Batell et al. PRD79,115008(2009)



Selezione

- Ricerca nel canale $e^+e^- \rightarrow \gamma A' \rightarrow \gamma \ell^+\ell^-$
- Selezione: u fotone di buona qualità e una coppia di leptoni
 - Fondi da Bhabha, di-muons e gamma-gamma ridotti con tagli cinematici e NN
 - Efficienze molto alte: 15% per e^+e^- e 35% per $\mu^+\mu^-$

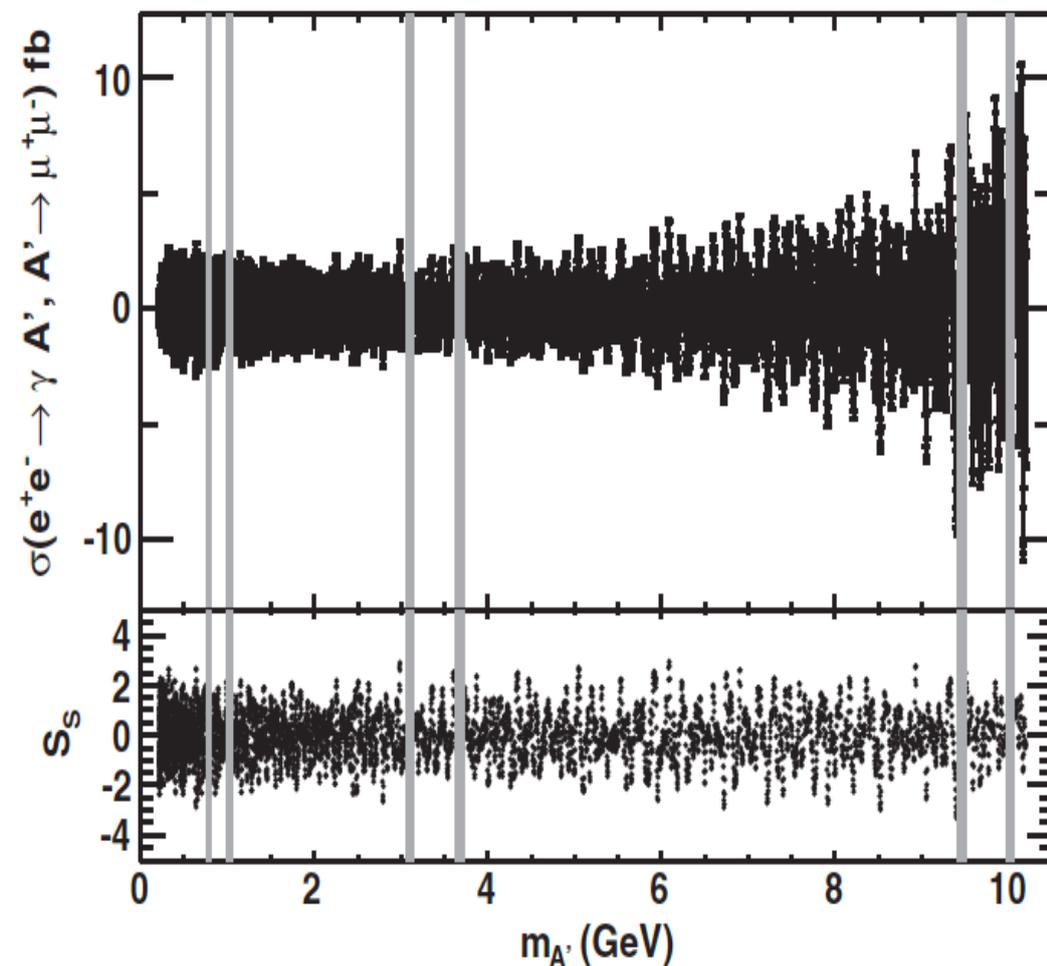
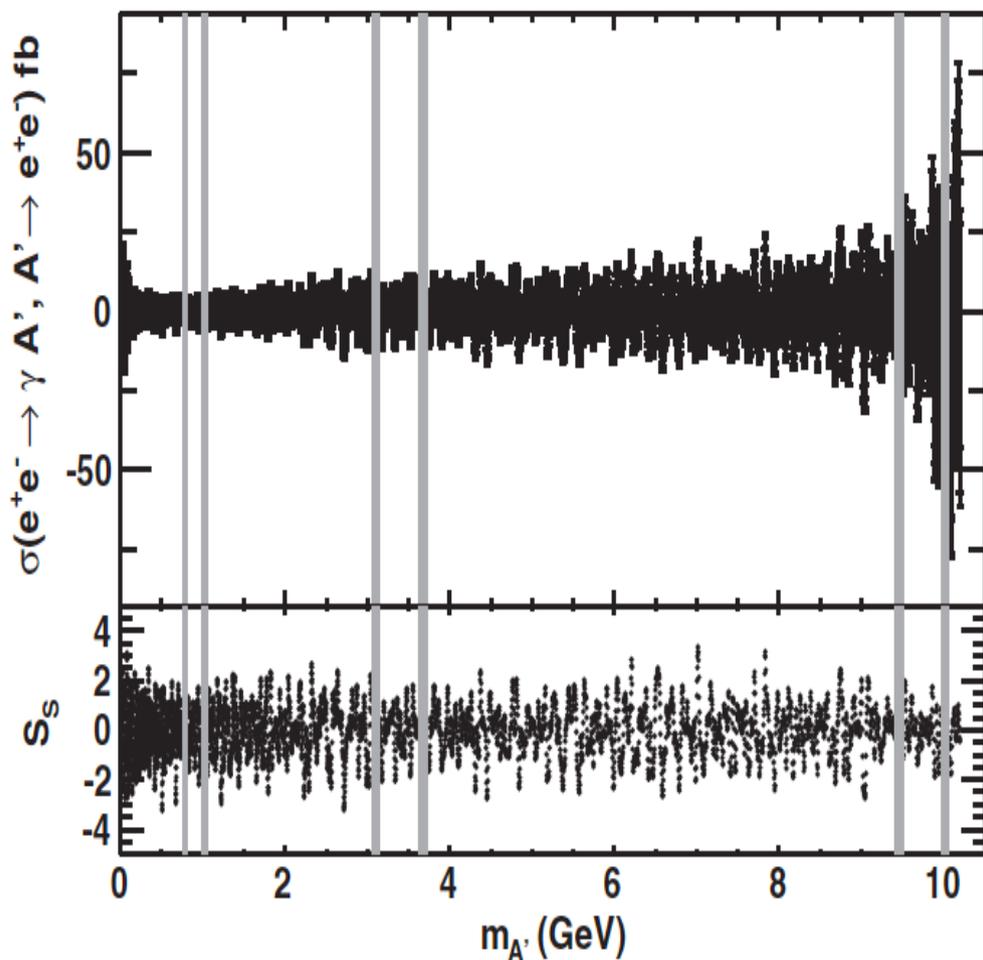


Generatore di Bhabha: BHWIDE

Misura della sezione d'urto



- Scan della massa dei dileptoni $\ell^+\ell^-$ con step di $\frac{1}{2}$ della risoluzione in massa
- Risonanze note escluse nello scan: ω , ρ , J/ψ , $\psi(2S)$, ...



- Nessuna evidenza di segnale

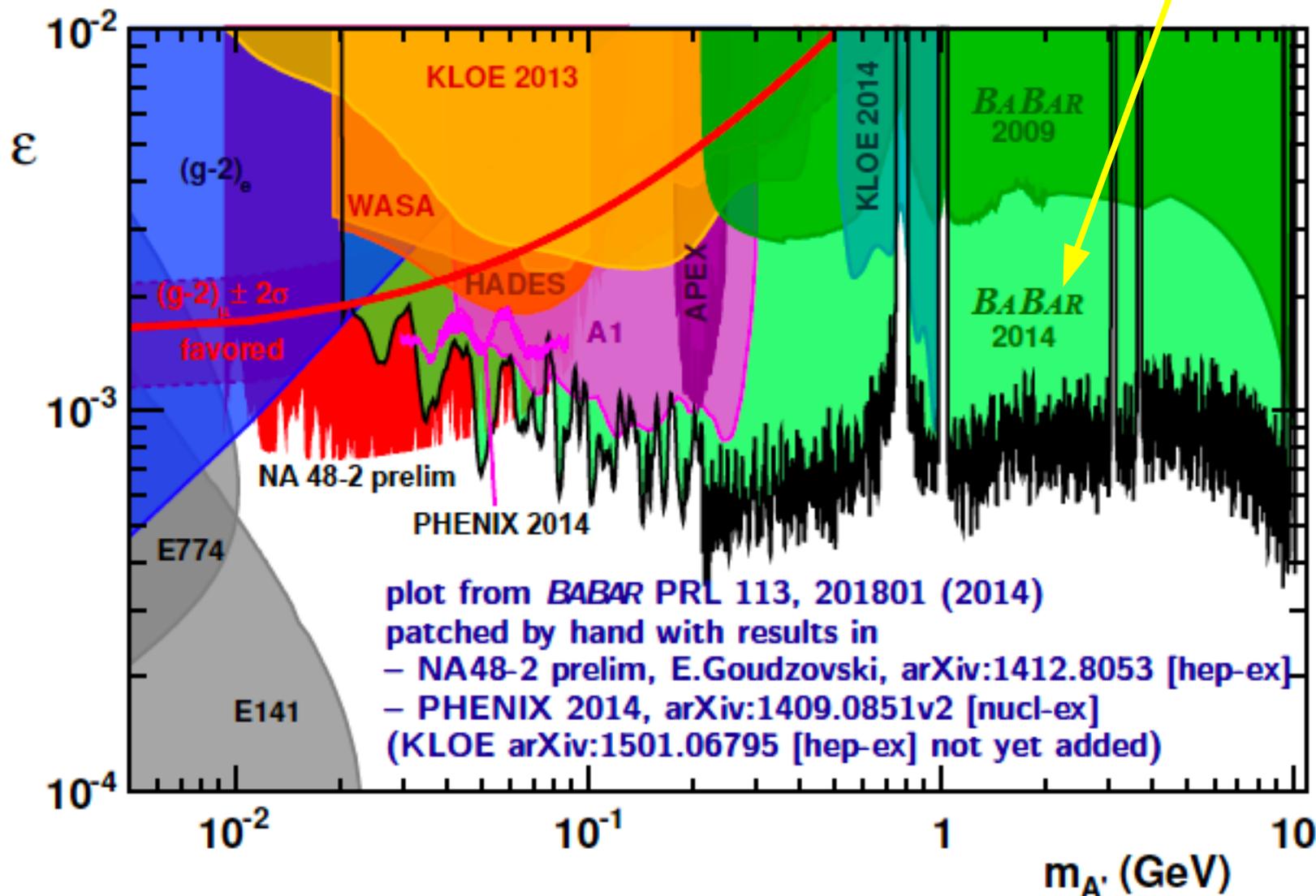
U.L. sul "Dark Photon"

- Combinando $\mu\mu$ ed ee
- Assumendo $B(A' \rightarrow \ell^+\ell^-)$ da Batell (2009)

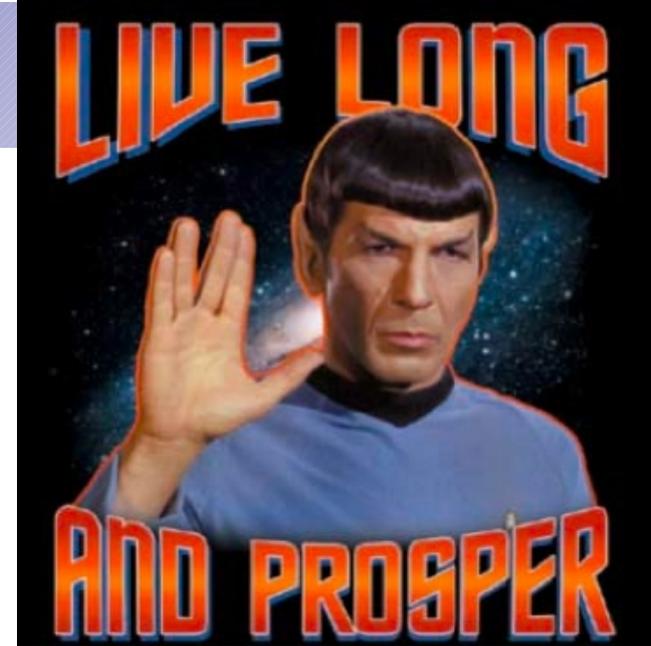
PRL113,201801(2014)



A' decade prompt



A.Lusiani @La Thuile2015



Ricerca di particelle a lunga vita
media in collisioni e^+e^-

ArXiv:1502.025880

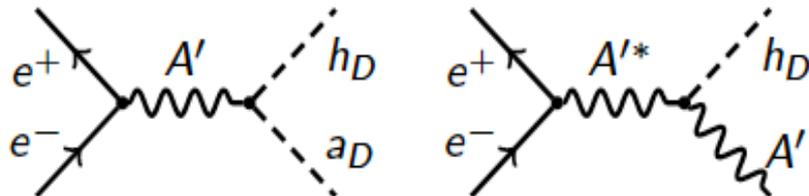
Sottomesso a PRL

Introduzione

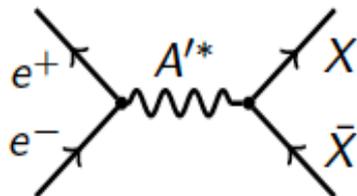
- Molti modelli di Nuova Fisica predicono l'esistenza di particelle a lunga vita media
 - Tipicamente gli stati di massa più bassa di un “dark-sector” (con accoppiamenti deboli con il settore SM)
- Molte ricerche effettuate per masse $m \ll \text{GeV}$ e $m \gg 10 \text{ GeV}$
 - Poche ricerche nel range $\sim \text{GeV}$: territorio delle B-Factories

Vector Portal Model

Schuster, Toro, Yavin, arXiv:0910.1602

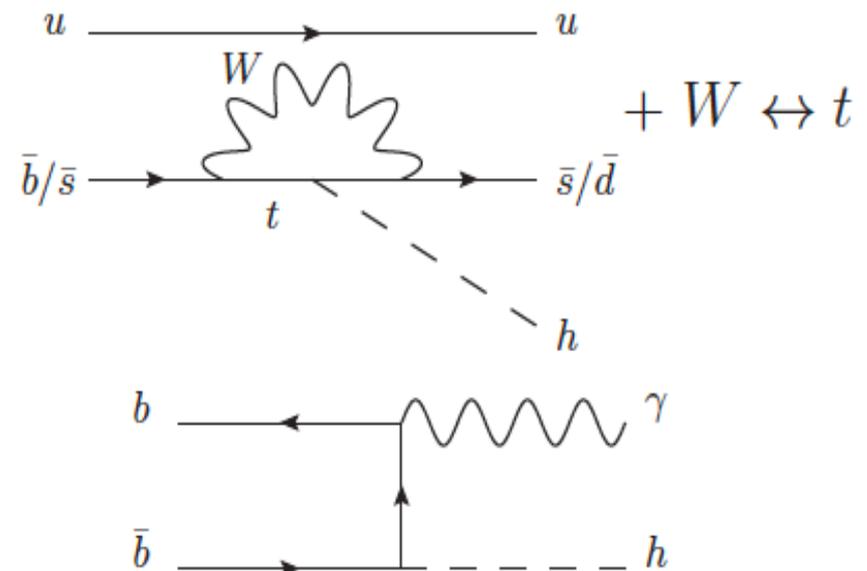


Essig, Schuster, Toro, arXiv:0903.3941



Higgs Portal Model

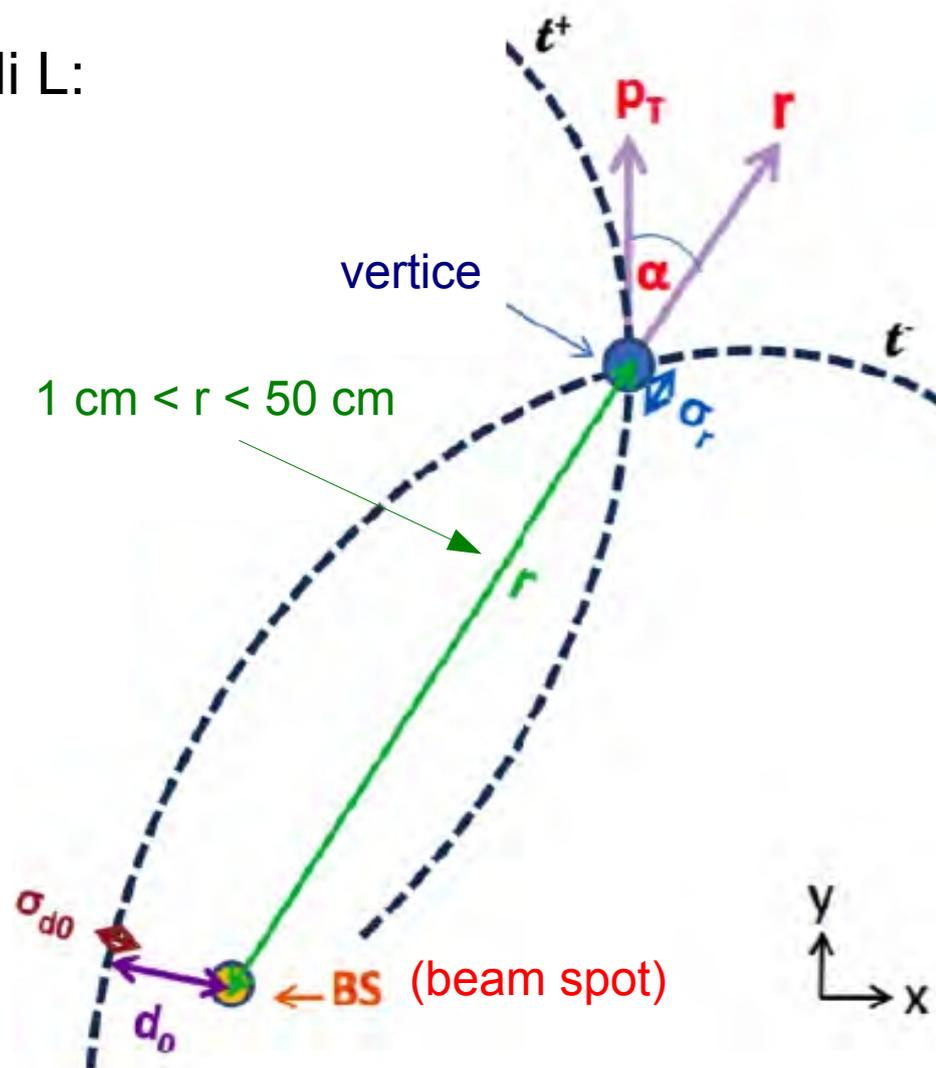
Clarke, Foot, Volkas, arXiv:1310.8042



Selezione dei candidati

- Eventi del tipo: $e^+e^- \rightarrow LX$ (L=particella con vita media lunga)
 - Selezione generica di V0 con vertici lontani dall'interazione primaria
- Vertici di coppie di tracce di carica opposta: $L \rightarrow ee, \mu\mu, e\mu, \pi\pi, KK, \pi K$
- Selezione dei prodotti di decadimento di L:

- Track $d_0 > 3\sigma$
- Vertex $\chi^2 < 10$
- $r > 1 \text{ cm}, \sigma_r < 0.2 \text{ cm}$
- No hits before the vertex
- K_s e Λ rimosse con richieste di massa
- Vertici sulla beam-pipe e sul detector sono rimossi



Determinazione degli yields



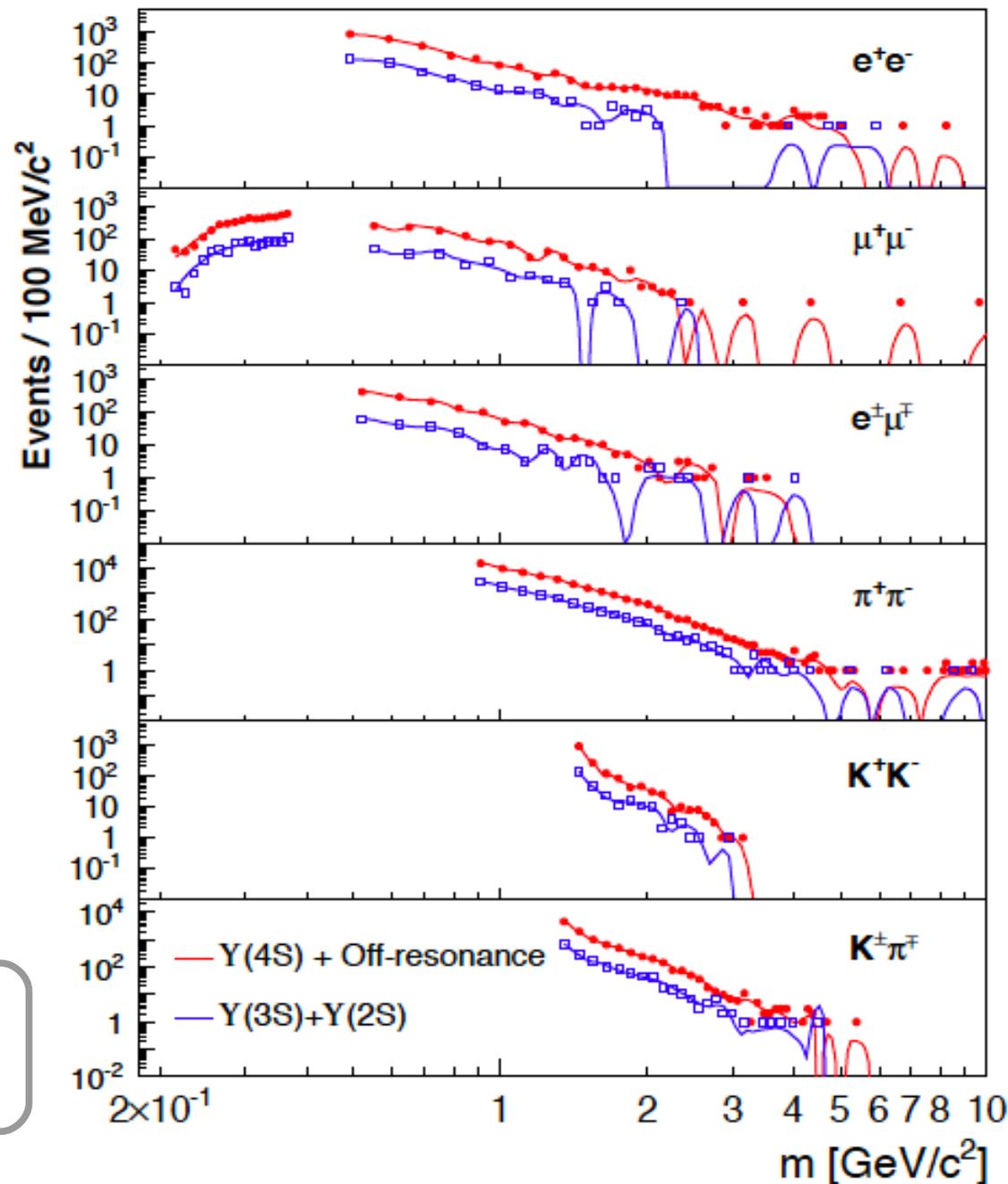
BABAR
preliminary

- Ricerca di picchi di massa sul fondo stimato, in step di 2 MeV
- Per ogni punto viene determinata la significanza del segnale

$$S = \text{sign}[N(s)] \sqrt{2 \log \left(\frac{L(s+b)}{L(b)} \right)}$$

↑
Ratio of maximum likelihood values for fits with signal+ background and background-only hypotheses

- Fondo principale: tracce random e interazioni con il rivelatore

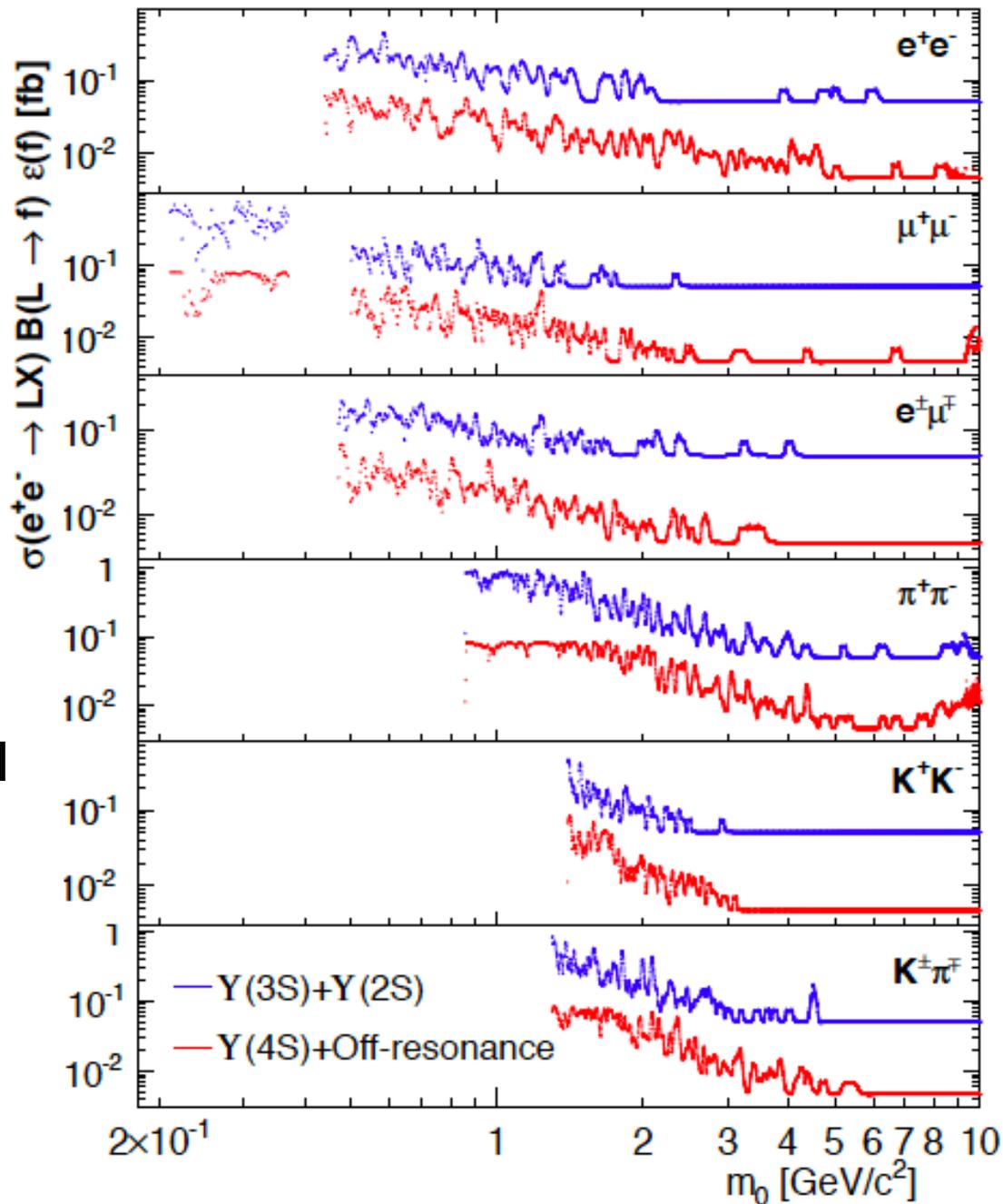
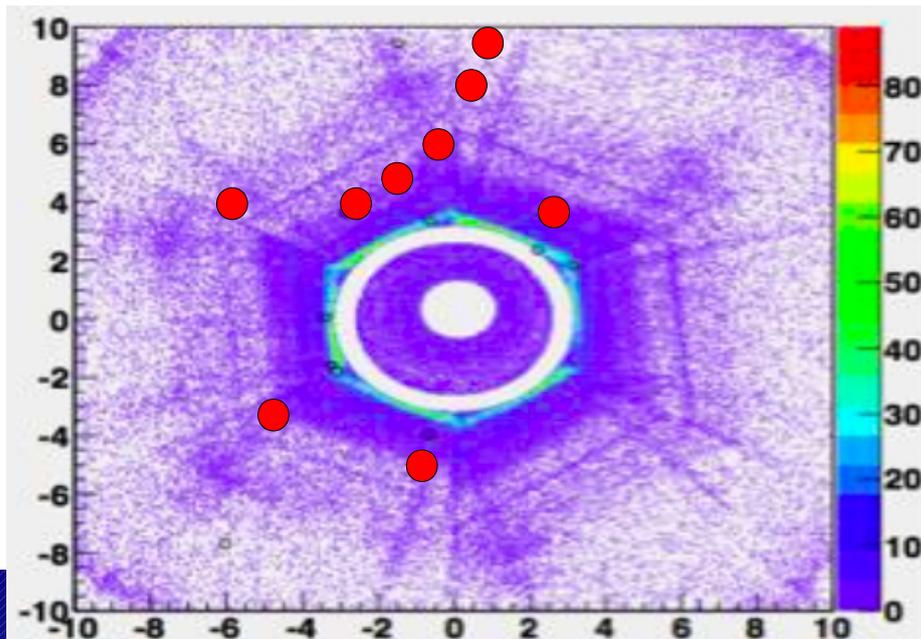




- Model-independent upper-limits (90% CL) su

$$\sigma(e^+e^- \rightarrow LX) \cdot B(L \rightarrow f) \cdot \epsilon(f)$$

- I punti con significanza più alta
 - $m(\mu\mu)=0.212$ GeV; $S=4.7\sigma$
 - $m(\mu\mu)=1.240$ GeV; $S=4.2\sigma$
 - Più del 50% dei vertici sono dentro o vicino al materiale del rivelatore



Nessuna evidenza di segnale!

Limiti per il modello BG (inflatone)

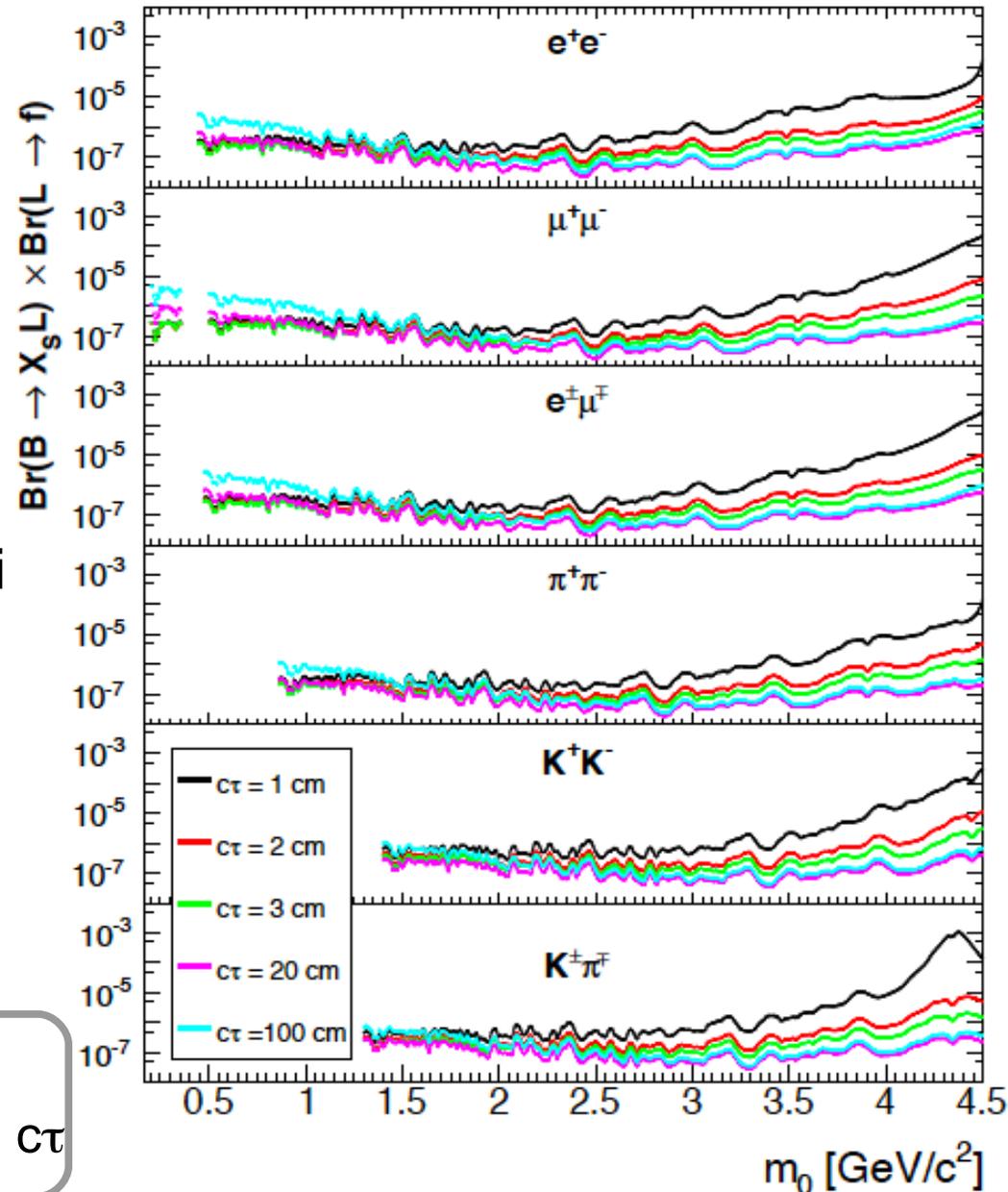


BABAR
preliminary

- Il modello di Nuova Fisica di Bezrukov-Gobunov
 - JHEP1307,140(2013)
- predice l'esistenza di particelle a lunga vita media nel decadimento dei mesoni B: $B \rightarrow XsL$
- Regioni significative dello spazio dei parametri del modello di inflatone di Bezrukov e Gobunov vengono esclusi

ArXiv:1502.02580

Nel materiale supplementare $\varepsilon(f)$ è stata tabulata in funzione della massa, del Pt e di $c\tau$



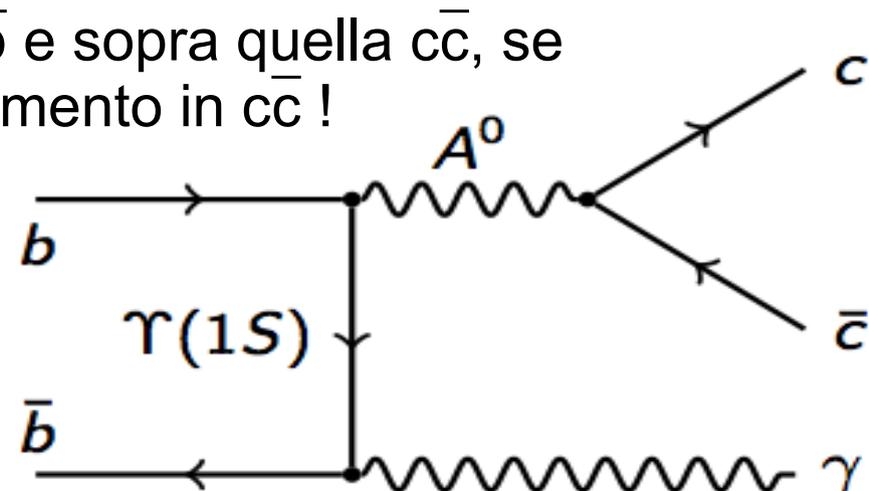


Ricerca di Higgs leggero che
decade in $c\bar{c}$ nel
decadimento della $Y(1S)$

ArXiv:1502.06019

Introduzione e motivazione

- BaBar ha effettuato numerose ricerche di Higgs leggero
 - $\mu^+\mu^-$ PRL103,081803, PRD87,031102(R)
 - $\tau^+\tau^-$ PRL103,181801, PRD88,071102(R)
 - Invisibile PRL107,021804
 - gg & $s\bar{s}$ PRD88,031701(R)
- Nessuna evidenza fino ad ora: limiti molto stretti per svariati modelli di nuova fisica
- Continuare sulla stessa linea:
 - Sotto la soglia di produzione $b\bar{b}$ e sopra quella $c\bar{c}$, se $\tan\beta \sim 1$ allora domina il decadimento in $c\bar{c}$!



Analisi

- Analisi della catena di decadimento $e^+e^- \rightarrow \Upsilon(2S)$

- $\Upsilon(2S) \rightarrow \pi^+\pi^-\Upsilon(1S)$
- $\Upsilon(1S) \rightarrow \gamma A^0$ (con $A^0 \rightarrow c\bar{c}$)

- Segnale: $\gamma + \pi^+\pi^- +$ mesone D

$$m_{\Upsilon(1S)}^2 = m_{\Upsilon(2S),PDG}^2 + m_{\pi\pi}^2 - 2m_{\Upsilon(2S),PDG} E_{\pi\pi}$$

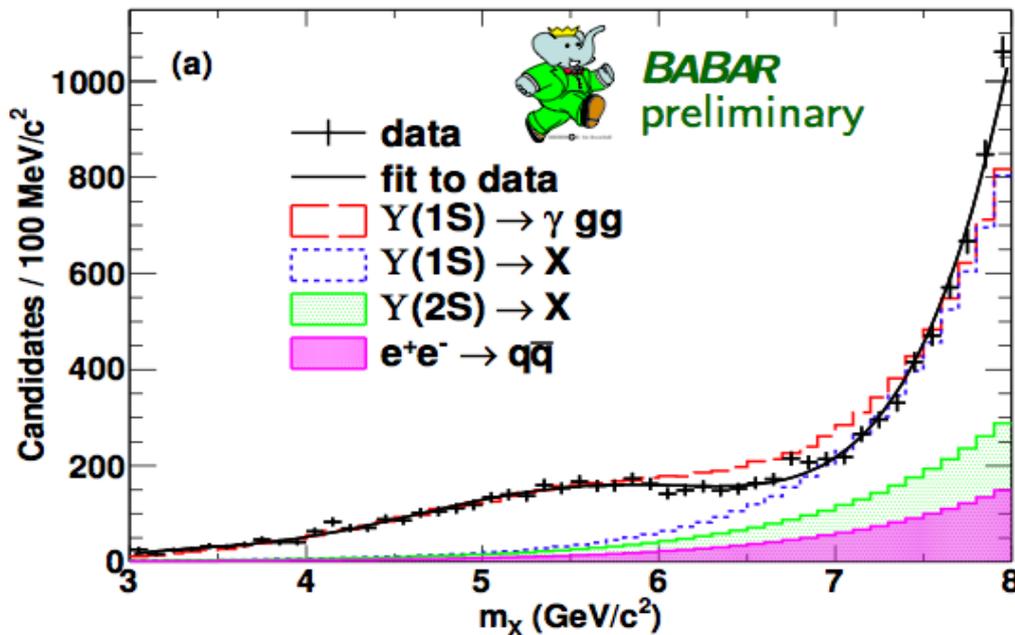
$$m_{A^0}^2 = (P_{e^+e^-} - P_{\pi^+\pi^-} - P_{\gamma})^2$$

$$(98.3 \pm 0.9) \cdot 10^6 \Upsilon(2S)$$

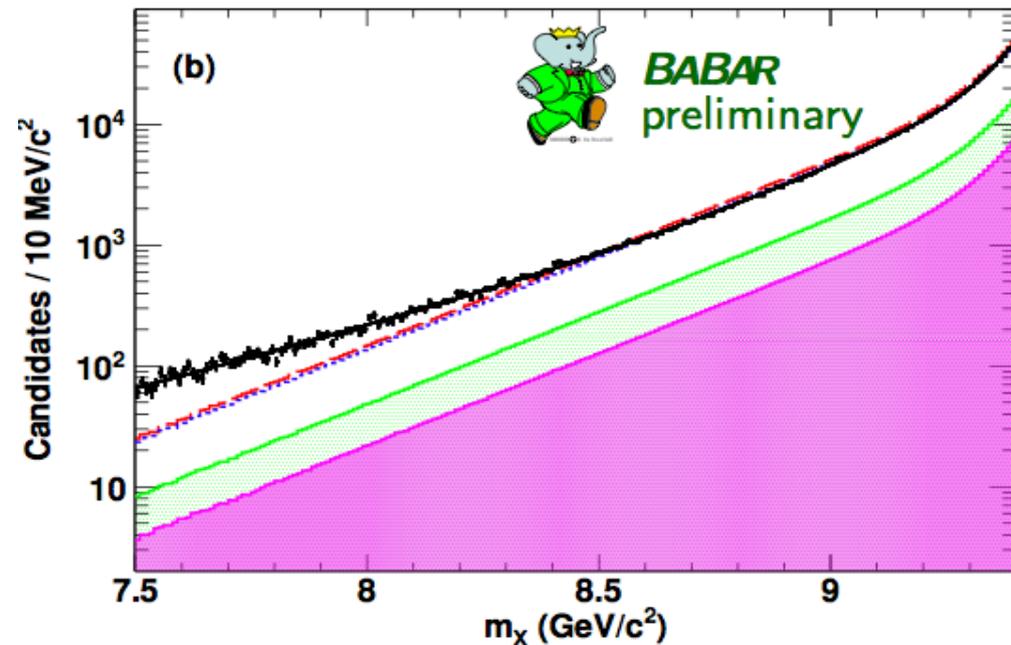
$$(17.5 \pm 0.3) \cdot 10^6 \Upsilon(1S)$$

$$\text{Via } \Upsilon(2S) \rightarrow \pi^+\pi^-\Upsilon(1S)$$

D ricostruito in vari modi di decadimento



Fotone di alta energia

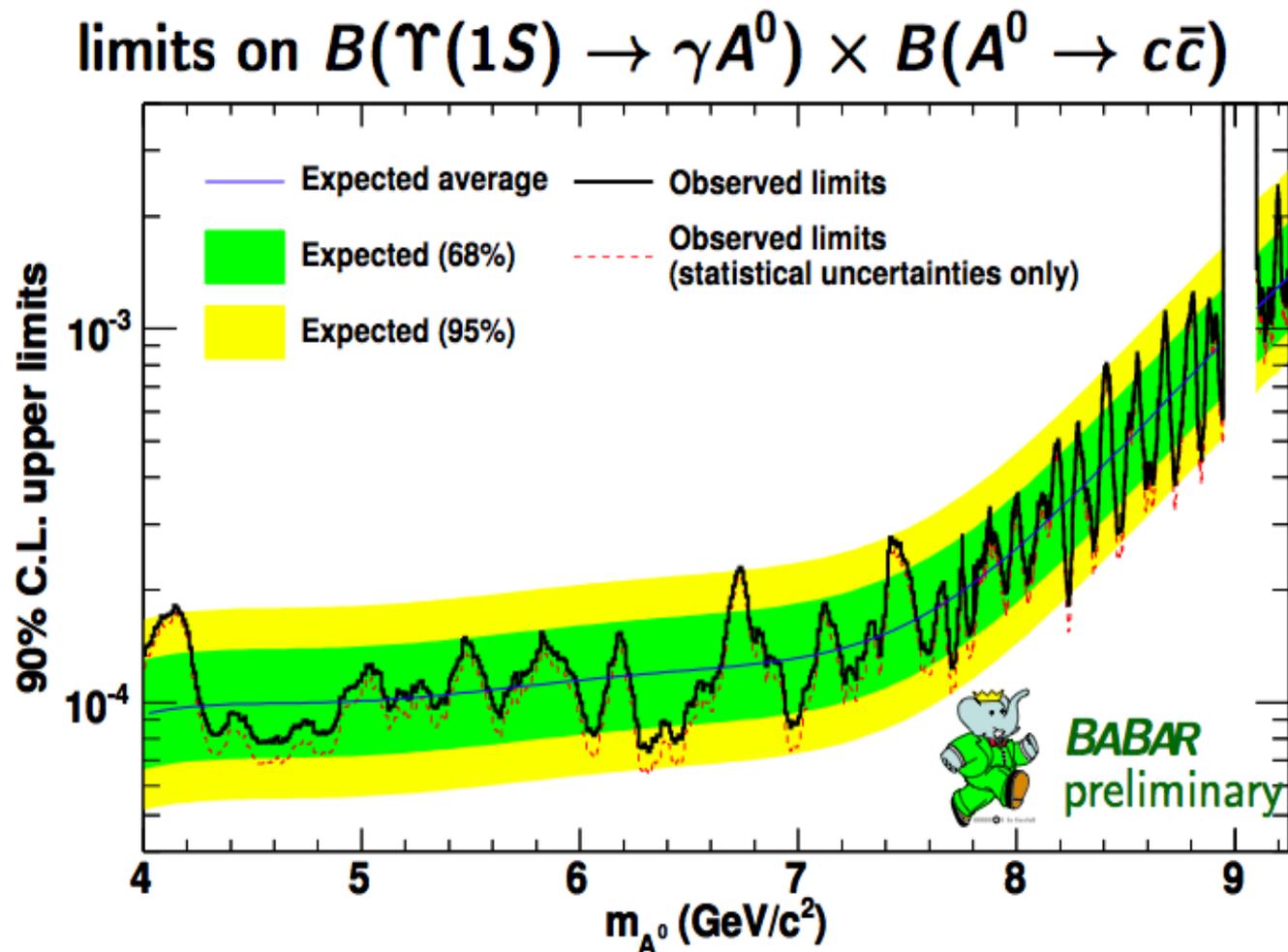


Fotone di bassa energia

Risultati

- Scan della massa con segnale+fondo: intervallo di 10MeV a bassa massa e 2MeV ad alta massa
- Nessuna evidenza di segnale
- Massimi eccessi
 - 2.3σ (bassa massa)
 - 2.0σ (alta massa)

ArXiv:1502.06019
Sottomesso a PRD-RC



Conclusioni

- Le B-factories si sono rivelate dei laboratori eccezionali
 - ricerca di nuova fisica sia attraverso metodi indiretti che in modo diretto attraverso la ricerca di materia leggera non-SM
- Belle-II migliorerà di molto (1-2 ordini di grandezza) i limiti su tutte le analisi presentate qui
 - Presa dati attesa per il 2017 !
- Molte di queste ricerche accessibili a LHCb
 - Mancano pochi mesi all'inizio di Run2 !



