

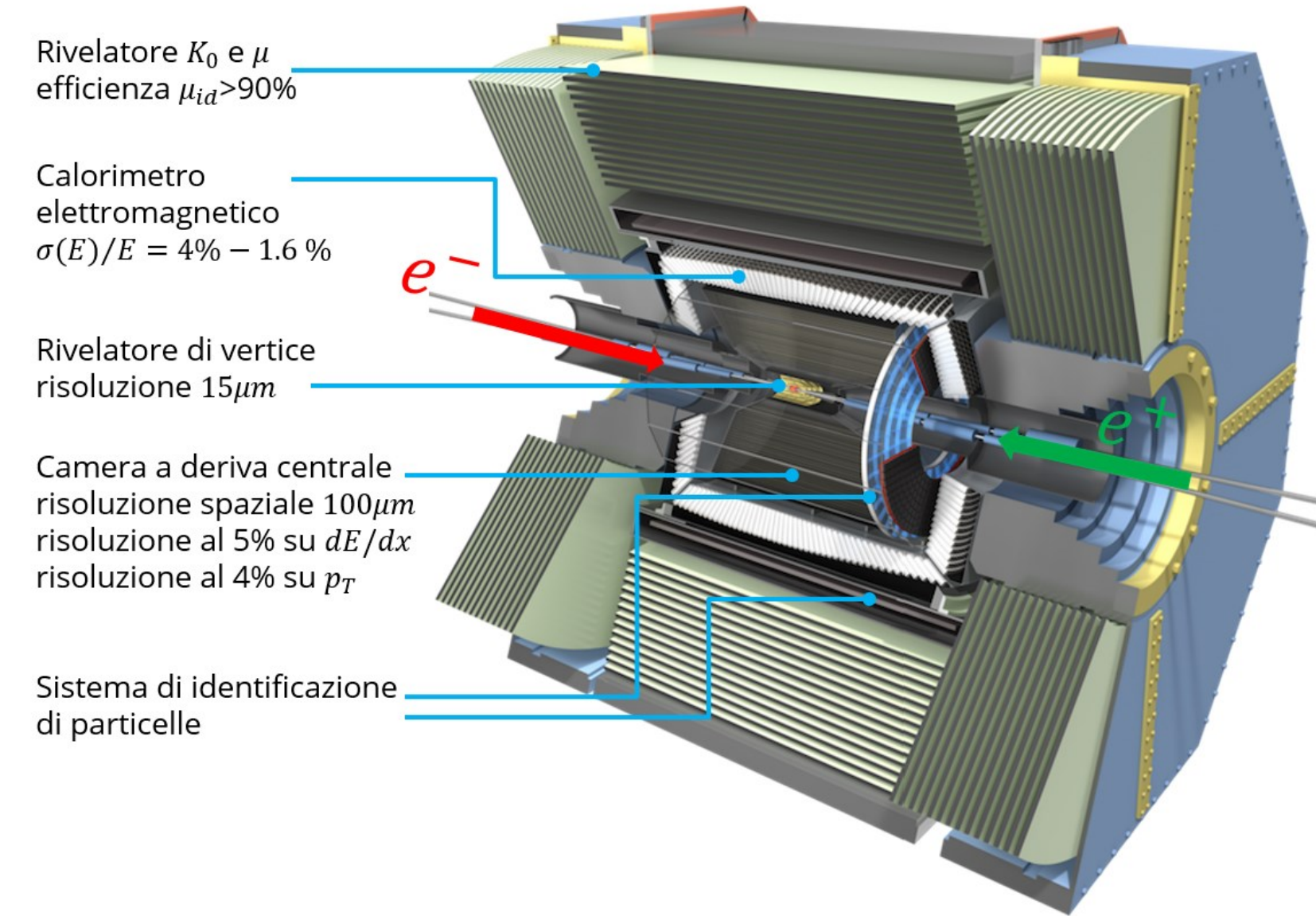
BELLE II LA FISICA DEL TAU

INTRODUZIONE

Belle II è un rivelatore di particelle sito all'acceleratore SuperKEKB (Giappone), dove fasci di e^- (**7GeV**) ed e^+ (**4GeV**) collidono principalmente con una energia nel centro di massa $\sqrt{s}$ = **10.58GeV**. L'acceleratore ha raggiunto la massima luminosità mondiale $\mathcal{L} = 5.1 \cdot 10^{34} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$, e dal 2018 Belle II ha raccolto **575fb⁻¹** di dati.

Belle II rientra nella categoria degli esperimenti alle *B-factory*, ma data l'alta sezione d'urto di produzione di coppie tau $\sigma_{\tau\tau} \sim 1\text{nb}$, può essere considerata anche una **τ -factory**

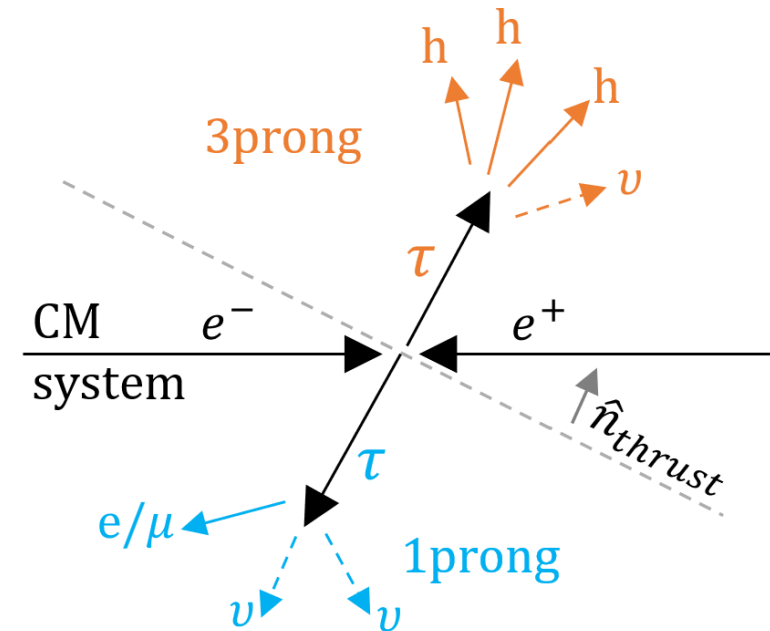
La precisa **conoscenza delle condizioni iniziali** di interazione, la produzione di **eventi a bassa molteplicità** ed un **rivelatore ermetico** permettono una **completa ricostruzione** degli eventi, anche con energia mancante nello stato finale a causa della presenza di neutrini. Laboratorio d'eccellenza sia per **segnali rari** indici di nuova fisica, sia per **studi di precisione**



MOTIVAZIONI

Test delle interazioni elettrodeboli dello SM per la ricerca di **nuova fisica**, come la violazione del sapore leptonic (**LFV**) e la violazione della universalità del sapore leptonic (**LFU**). Possibilità di studiare gli effetti della **QCD a bassa energia** (scala del GeV)

STRATEGIA DI ANALISI



Eventi collineari nel centro di massa (CM). Ciascuna coppia si divide in un **lato segnale** e **lato tag**, con topologia **1prong** (una traccia carica) o **3prong** (3 tracce cariche).

I due emisferi sono individuati tramite il piano perpendicolare al **vettore di Thrust** con il quale si ricostruisce la **direzione di volo del tau**

$$T = \max_{\hat{n}_T} \left(\frac{\sum_i |p_i^* \cdot \hat{n}_T|}{\sum_i |p_i^*|} \right)$$

CANALI LFV

Segnali di fisica oltre lo SM, attraverso decadimenti LFV. Nello SM tali processi hanno **branching ratio** $\mathcal{B}$ dell'ordine di 10^{-50} , al di sotto della sensibilità degli esperimenti attuali e futuri. Qualsiasi evidenza in questi canali darebbe una chiara indicazione di fisica nuova

Canali con **assenza di neutrini**: la massa invariante dei prodotti di decadimento **coincide** con la massa del tau; e la loro energia con metà dell'energia totale nel sistema del CM. Molte analisi studiano candidati di segnale in un **piano 2D dato da M_{inv} e $\Delta E = E_{inv}^* - \sqrt{s}/2$** per diminuire la presenza di fondo.

RICERCA DI $\tau^- \rightarrow e^\mp \ell^\pm \ell^-$

Studio preliminare

Analisi basata su **428fb⁻¹** (393milioni di coppie)

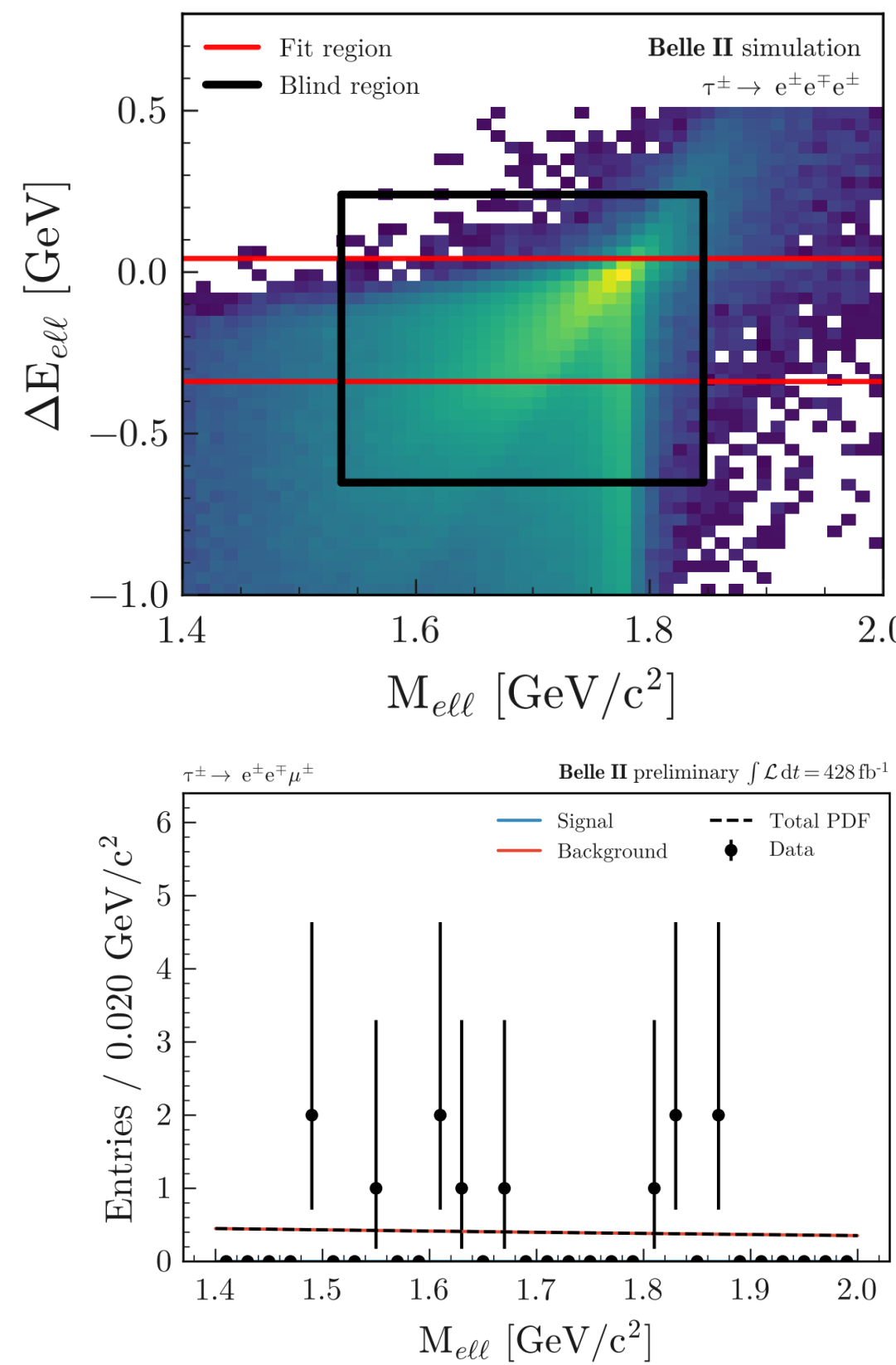
Stati finali considerati:
 $e^- e^+ \mu^+, e^- e^+ e^-, e^- \mu^+ \mu^-$ (singola violazione)
 $e^+ \mu^- \mu^-, e^- e^- \mu^+$ (doppia violazione)

Lato tag: metodo **untagged** (senza richiesta sulla topologia)

Lato segnale: combinazione di e e due ℓ , con carica totale ± 1 e giacenti nello stesso emisfero

Fondo proveniente da processi SM:
 $ee \rightarrow q\bar{q}; ee \rightarrow b\bar{b}; ee \rightarrow \ell\ell(\gamma); ee \rightarrow hh$; processo a 4 leptoni. Discriminato con **boosted decision tree** (BDT) allenato direttamente su campioni di fondo dei dati

Strategia: studiare segnale e fondo nel piano ($M_{e\ell\ell}, \Delta E_{e\ell\ell}$) ed estrarre $\mathcal{B}(\tau \rightarrow e\ell\ell)$ da un fit alla distribuzione totale, funzione di $M_{e\ell\ell}$



Nessun eccesso significativo. Sono stati calcolati i **limiti superiori al 90% CL su $\mathcal{B}$** per i cinque canali, che rappresentano i **limiti più stringenti** ad oggi:

$$\mathcal{B}(\tau^- \rightarrow e^\mp \ell^\pm \ell^-) \text{ nel range } 1.4 \text{ e } 2.4 \times 10^{-8}$$

RICERCA DI $\tau^- \rightarrow \ell^- K_S^0$

Studio preliminare

Prima analisi LFV basata su dataset combinato di Belle II (**428fb⁻¹**) e Belle (**980fb⁻¹**)

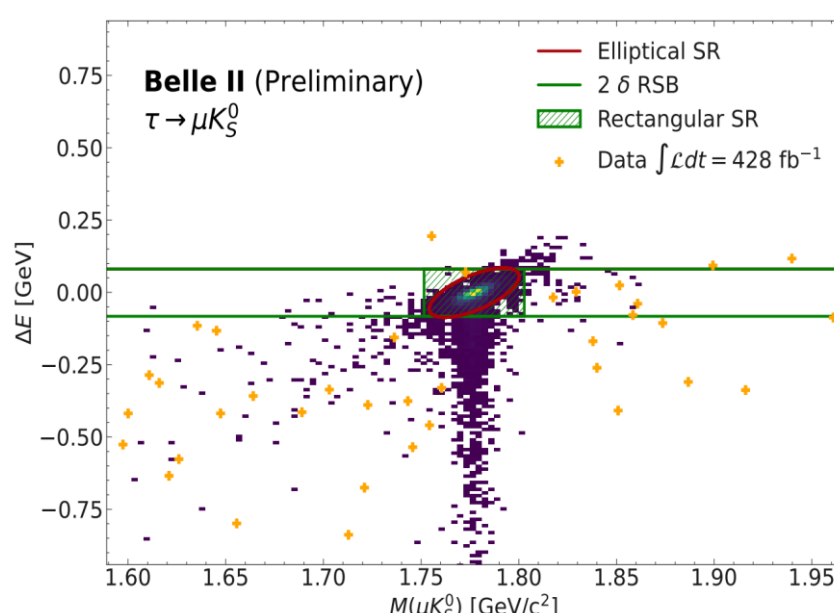
Stati finali considerati: $e^- K_S^0, \mu^- K_S^0$

Lato tag: topologia **1prong**

Lato segnale: combinazione di ℓ e un candidato K_S^0 , ricostruito da $\pi^+ \pi^-$

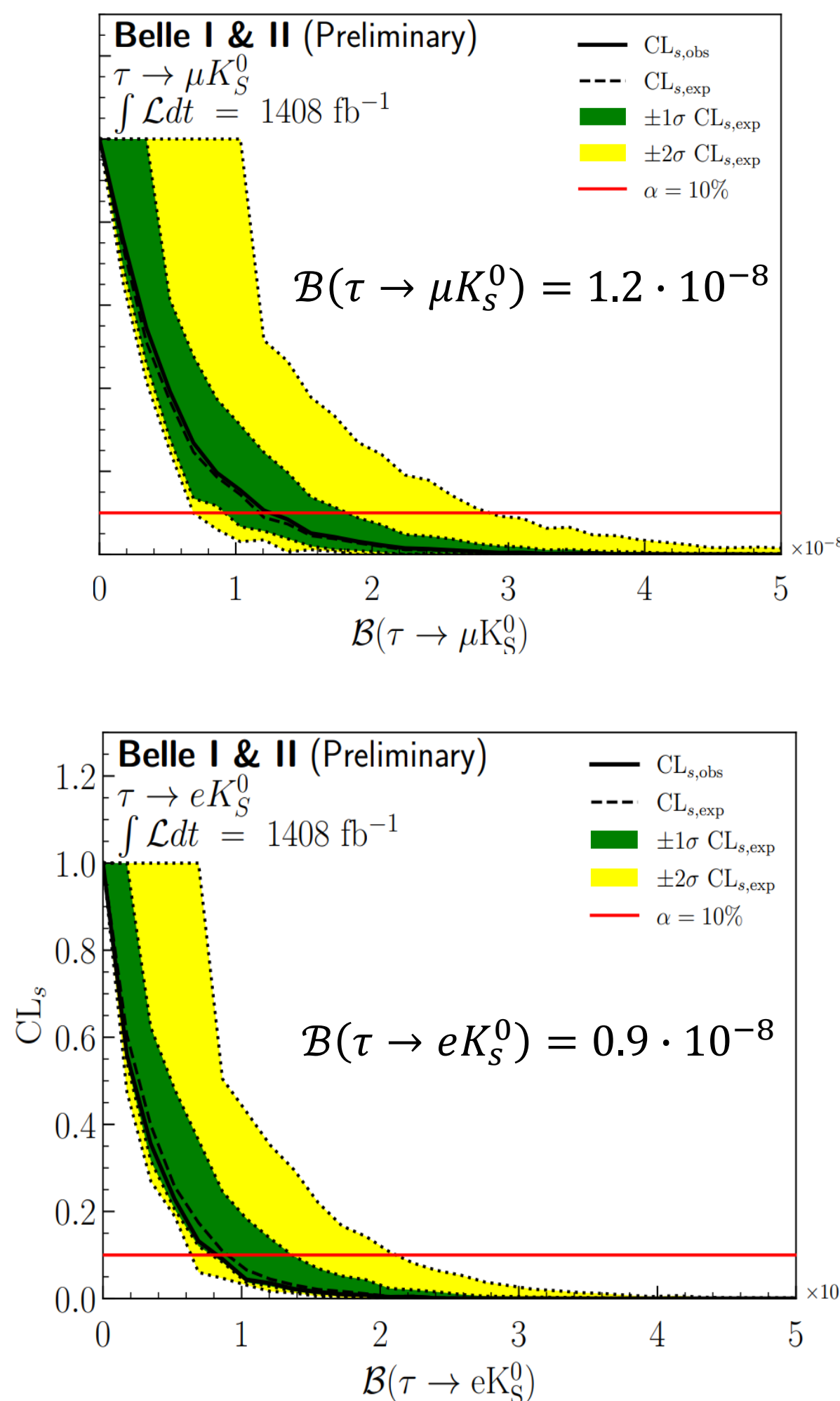
Fondo dominante $ee \rightarrow q\bar{q}$ discriminato con BDT

Strategia: segnale e fondo studiati nel piano ($M_{\ell K_S^0}, \Delta E_{\ell K_S^0}$) con definizione di regione di segnale (SR) e una regione laterale (RSB).



Misura di $\mathcal{B}(\tau \rightarrow K_S^0 \ell)$ tramite il conteggio di eventi trovati nella SR, in cui il fondo atteso è stimato da un fit alla forma del fondo nelle RSB.

Nessun eccesso significativo. Nelle figura sotto sono riportati i **limiti superiori al 90% CL su $\mathcal{B}$** risultando nei **limiti più stringenti** ad oggi ottenuti per i canali considerati

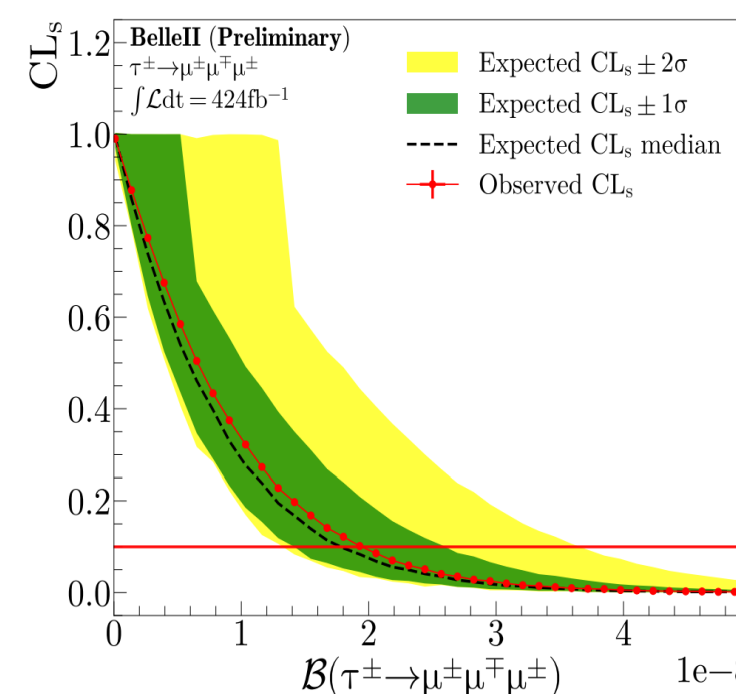


RICERCA DI $\tau \rightarrow \mu\mu\mu$

Pubblicata su: *JHEP* 09 (2024) 062

Precedente risultato in questo **golden channel LFV**

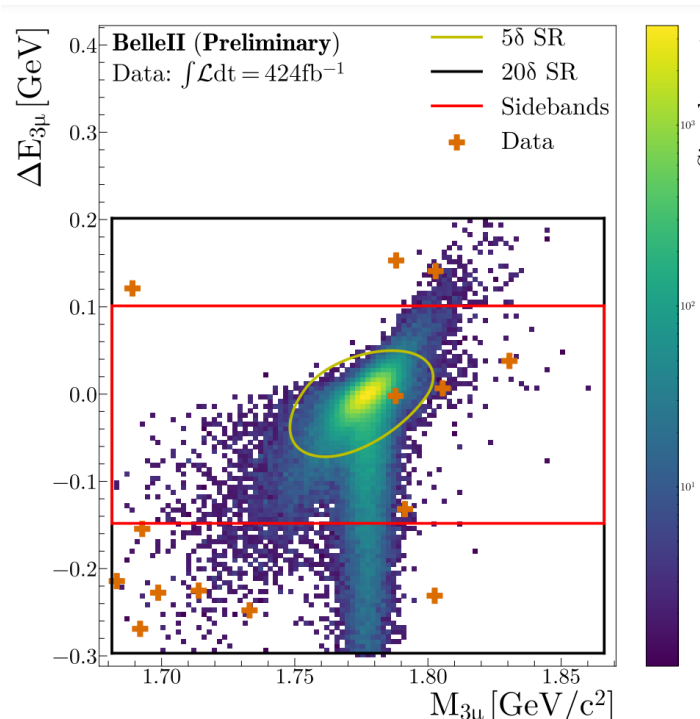
Analisi svolta con **424fb⁻¹**, utilizzando metodo **untagged**. Studio nel piano 2D con BDT per riduzione del fondo



$\mathcal{B}(\tau \rightarrow \mu\mu\mu)$ calcolato con metodo di conteggio.

Un evento trovato nella regione di segnale, il corrispondente limite superiore al 90% CL è $\mathcal{B}(\tau \rightarrow \mu\mu\mu) < 2.1 \cdot 10^{-9}$

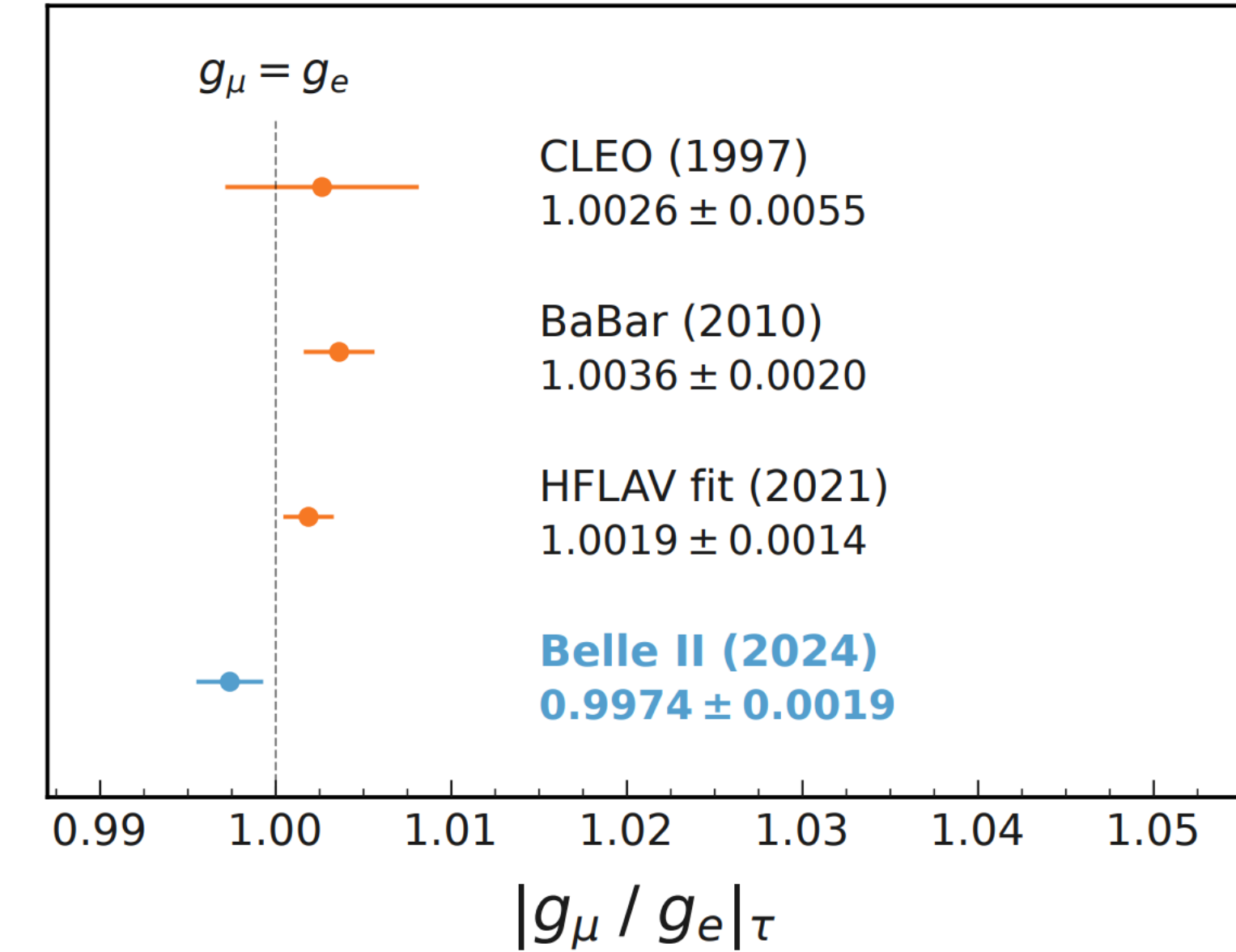
Risultato più stringente nel canale considerato



TEST DELLO SM

Nel settore del τ , un test che si può formulare per verificare l'**universalità di sapore leptonic** è misura di $R_\mu = \frac{\mathcal{B}(\tau \rightarrow \mu\nu\mu\nu)}{\mathcal{B}(\tau \rightarrow e\nu e\nu)}$, che si riflette sui parametri di accoppiamento ($g_e/g_\mu \propto \sqrt{R_\mu}$ (unitario nello SM))

Pubblicata su: *JHEP* 08 (2024) 205



Analisi fatta con **362fb⁻¹**

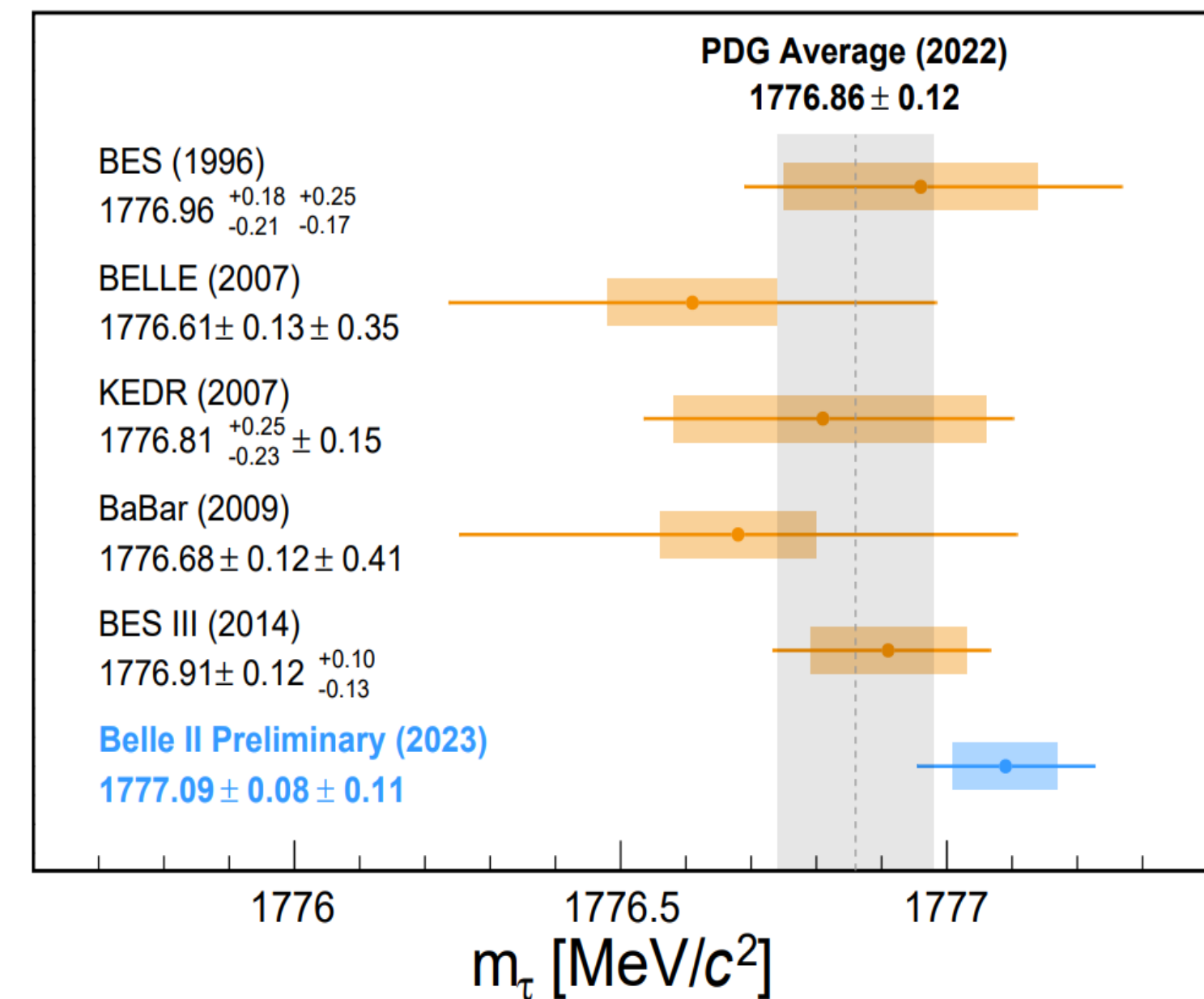
Scelta topologia 1prong x 1prong

L'identificazione di leptoni determina il lato segnale

Consistente con le predizioni SM a 1.4σ , risulta essere il **test LFU più preciso fornito da un singolo esperimento**

La **massa del tau** è un parametro fondamentale dello SM, perché ha conseguenze nei **test di LFU** fra τ e leptoni leggeri. Utile anche per determinare le frazioni di decadimento in leptoni e adroni e la **costante di accoppiamento forte**.

Pubblicata su: *Phys.Rev.D* 108 (2023) 3, 032006



Analisi fatta con **190fb⁻¹**, pari a 175milioni di coppie τ

Scelto canale adronico $\tau^- \rightarrow \pi^- \pi^+ \pi^- \nu_\tau$; usata la tecnica della **pseudo-massa**

Consistente con le misure precedenti, fornisce il risultato **più preciso**