

Misure di violazione di CP dipendente dal tempo a Belle II

Cecilia Antonioli, per la collaborazione Belle II Italia

cecilia.antonioli@pd.infn.it

Università di Padova, INFN Padova

4 Aprile 2024, Firenze - IFAE



1. Motivazioni

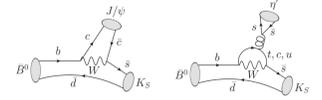
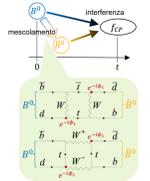
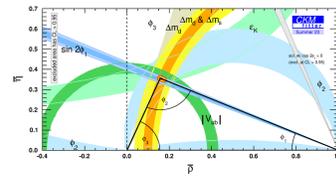
- Nel Modello Standard (MS) la violazione di CP (CPV) ha origine dalla fase complessa irriducibile della matrice V_{CKM} di Cabibbo-Kobayashi-Maskawa.
- Dalla condizione di unitarietà di V_{CKM} abbiamo la relazione

$$V_{ud}V_{ub}^* + V_{cd}V_{cb}^* + V_{td}V_{tb}^* = 0$$

che definisce nel piano complesso il Triangolo dell'Unitarietà (TU).

- Le misure di CPV prodotta nell'interferenza tra i decadimenti con e senza mescolamento dei mesoni B neutri permettono di vincolare i valori degli angoli del TU. Per esempio, l'angolo ϕ_1/β può essere misurato con precisione nel decadimento $B^0 \rightarrow J/\psi K_S^0$ (diagramma ad "albero").
- L'angolo ϕ_1/β può essere misurato anche nel decadimento $B^0 \rightarrow \eta' K_S^0$ (diagramma a "pinguino"). Eventuali discrepanze rispetto al canale $J/\psi K_S^0$ indicherebbero la presenza di una nuova sorgente di CPV nei loop.

<http://ckmfitter.in2p3.fr/>

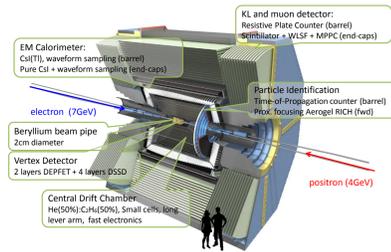


2. Belle II

Belle II è un esperimento di fisica delle particelle che impiega rivelatori di ultima generazione per studiare gli eventi prodotti nelle collisioni e^+e^- all'acceleratore SuperKEKB, in Giappone.

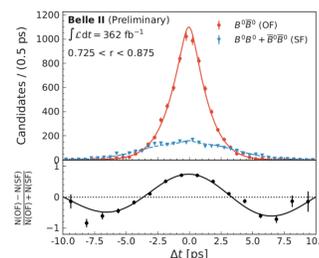
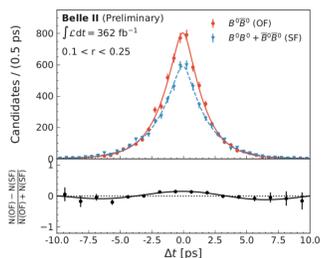
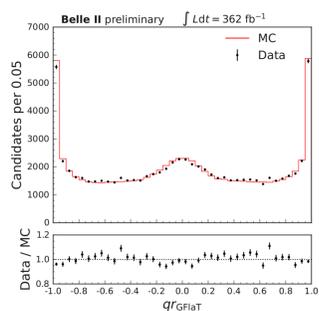
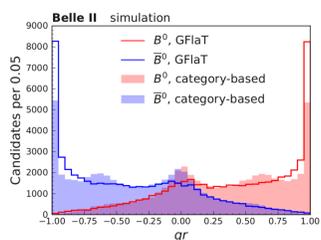
- Fasci con energie asimmetriche
- $\sqrt{s} = 10.58$ GeV
- $\beta\gamma = 0.29$
- Record: $\mathcal{L}_{\text{peak}} = 4.71 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
- Run1 (2019-2022): $\mathcal{L}_{\text{int}} = 424 \text{ fb}^{-1}$ (362 fb^{-1} @ $\Upsilon(4S)$)
- $N(B\bar{B}) = 387 \times 10^6$ (@ $\Upsilon(4S)$)
- Run2: la raccolta dati è ripresa il 15 Febbraio 2024

Belle II Detector



4. Nuovo Flavor Tagger GFlaT

- GFlaT è un nuovo algoritmo che utilizza una graph-neural-network (GNN) dinamica per combinare le informazioni di tutte le particelle cariche non associate al decadimento $B_{\text{sig}} \rightarrow f_{\text{CP}}$.
- GFlaT migliora il flavor tagging considerando anche le relazioni tra le particelle nello stato finale (novità rispetto alla precedente versione del flavor tagger basato sulle singole categorie).
- Il metodo restituisce il sapore q_{tag} moltiplicato per un fattore di diluizione $r \in [0, 1]$ ($r = 1$ per un sapore perfettamente determinato, $r = 0$ se non è possibile distinguere tra B^0 e \bar{B}^0).
- Il nuovo algoritmo è stato validato usando un set di dati corrispondente a 362 fb^{-1} e selezionando eventi $B_{\text{sig}} \rightarrow D^{(*)-}\pi^+$ in cui il sapore è determinato dalla carica del pione.



Category-based: $\epsilon_{\text{tag}}^{\text{eff}} = (31.68 \pm 0.45 \text{ (stat)})\%$

GFlaT: $\epsilon_{\text{tag}}^{\text{eff}} = (37.40 \pm 0.43 \text{ (stat)} \pm 0.36 \text{ (syst)})\%$

⇒ Incremento relativo del 18% del set di dati per le misure di CPV

arXiv:2402.17260

7. Conclusioni

- Belle II ha prodotto i primi risultati per le misure di CPV dipendente dal tempo. Questi risultati sono in accordo con le medie mondiali attuali e con le previsioni del MS.
- Il nuovo flavor tagger basato su GNN permetterà di ottenere misure più precise di CPV grazie alla più alta efficienza effettiva di tagging.

3. Analisi

- $e^+e^- \rightarrow \Upsilon(4S) \rightarrow B^0\bar{B}^0$
- Grazie alla correlazione quantistica, il tagging del sapore di uno dei mesoni (B_{tag}) al momento del suo decadimento determina il sapore dell'altro mesone (B_{sig}) allo stesso istante.
- Definendo $\Delta t = t_{\text{CP}} - t_{\text{tag}}$, il tasso di decadimento per $B_{\text{sig}} \rightarrow f_{\text{CP}}$ è dato da

$$\mathcal{P}(\Delta t, q_{\text{tag}}) = \frac{e^{-|\Delta t|/\tau_{B^0}}}{4\tau_{B^0}} [1 + q_{\text{tag}} \mathcal{A}_{\text{CP}}(\Delta t)]$$

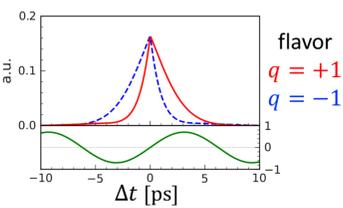
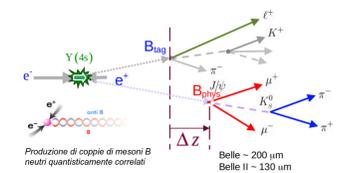
dove $q_{\text{tag}} = +1$ per B^0 , -1 per \bar{B}^0 .

- \mathcal{A}_{CP} è l'asimmetria di CP dipendente dal tempo

$$\mathcal{A}_{\text{CP}}(\Delta t) = \frac{\Gamma(\bar{B}^0 \rightarrow f_{\text{CP}}) - \Gamma(B^0 \rightarrow f_{\text{CP}})}{\Gamma(\bar{B}^0 \rightarrow f_{\text{CP}}) + \Gamma(B^0 \rightarrow f_{\text{CP}})} = S \sin(\Delta m_d \Delta t) - C \cos(\Delta m_d \Delta t)$$

- S : violazione di CP indotta dal mescolamento, C : violazione diretta di CP. Il MS prevede $S = -\eta_{\text{CP}} \sin 2\phi_1$ e $C = 0$ (η_{CP} autovalore di CP).

- Per misurare le asimmetrie S e C si esegue un fit della distribuzione $\mathcal{P}(\Delta t, q_{\text{tag}})$, per questo è necessario ricostruire $B_{\text{sig}} \rightarrow f_{\text{CP}}$, determinare entrambi i vertici dei B^0 ($\Delta t \propto \Delta z$), conoscere il sapore q_{tag} .



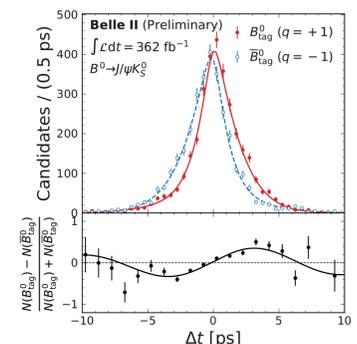
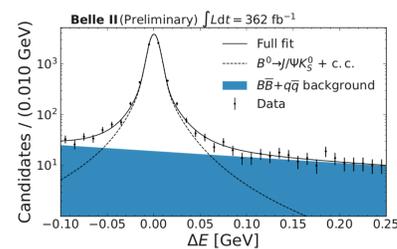
5. TDCPV in $B^0 \rightarrow J/\psi K_S^0$

- Transizione $b \rightarrow c\bar{c}s$ dominata da una singola fase debole.
- Ricostruzione: $J/\psi \rightarrow e^+e^-$ o $J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-$, e $K_S^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$.
- Per separare il segnale dal fondo si utilizza un fit della variabile $\Delta E = E_B^* - \sqrt{s}/2$.
- È stato utilizzato il nuovo flavor tagger GFlaT.

$$S = 0.724 \pm 0.035 \pm 0.014$$

$$C = -0.035 \pm 0.026 \pm 0.013$$

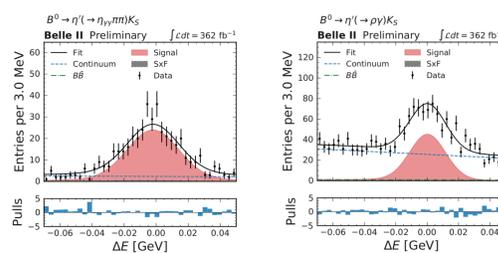
Media mondiale: $S = 0.699 \pm 0.017$ $C = -0.005 \pm 0.015$



arXiv:2402.17260 arXiv:2206.07501

6. TDCPV in $B^0 \rightarrow \eta' K_S^0$

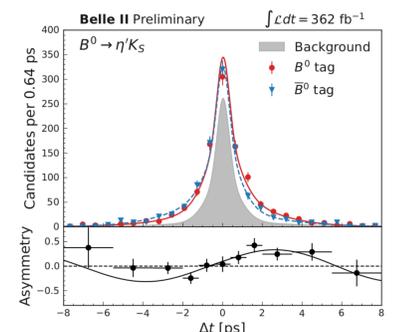
- Transizione $b \rightarrow s\bar{q}q$ dominata da diagrammi a pinguino (soppressi nel MS) con la stessa fase di $b \rightarrow c\bar{c}s$ a meno di minuscole correzioni.
- Ricostruzione: $\eta' \rightarrow \eta(\gamma\gamma)\pi^+\pi^-$ o $\eta' \rightarrow \rho(\pi^+\pi^-)\gamma$, e $K_S^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$.
- Per separare il segnale dal fondo si esegue un fit 3D delle variabili ΔE , $M_{\text{bc}} = (s/4 - p_B^*)^{1/2}$, C_{BDT} (BDT-output per sopprimere il contributo del fondo $q\bar{q}$).
- Risultato ottenuto con la precedente versione del flavor tagger.
- Deviazioni di $S_{\eta' K_S^0}$ da $S_{J/\psi K_S^0}$ indicherebbero la presenza di nuova fisica nei loop.



$$S = 0.67 \pm 0.10 \pm 0.04$$

$$C = -0.19 \pm 0.08 \pm 0.03$$

Media mondiale: $S = 0.63 \pm 0.06$ $C = -0.05 \pm 0.04$



arXiv:2402.03713 arXiv:2206.07501