

# Fisica dei decadimenti charmless del mesone Ba Belle II

Sebastiano Raiz  
INFN ed Università di Trieste  
per la collaborazione Belle II

106° Congresso Nazionale SIF  
14-18 settembre 2020

# Decadimenti *charmless* del $B$ per superare il Modello Standard

Modello Standard (MS): solo 20 parametri offrono predizioni precisissime su migliaia di processi di fisica delle particelle dall'eV al TeV.

- Domande aperte:**
- Materia oscura
  - Asimmetria materia-antimateria
  - ...

Estensione del MS a  $> 10$  TeV è obiettivo primario della fisica delle particelle.

Interazioni deboli dei quark pesanti: potentissime per **testare MS e sue estensioni**.

Confronto tra misure e predizioni ad *alta precisione* sensibile a particelle non-MS fino a  $O(100)$  TeV).

## Decadimenti *charmless* del $B$

$$(B^0 \rightarrow K^+ \pi^-, B^+ \rightarrow \rho^+ \rho^0 \dots)$$

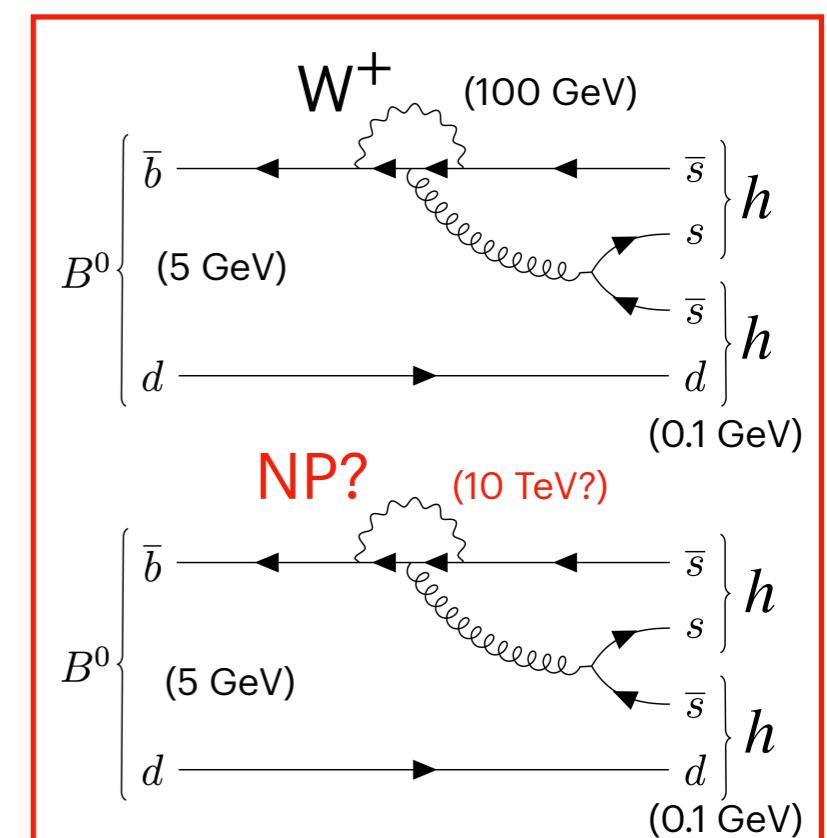
$$|V_{ub}| \ll |V_{cb}|$$

$\Rightarrow$  Rari: BF  $\lesssim 10^{-5}$

$\Rightarrow$  Sensibili a fisica non-MS attraverso misure di  $\alpha$ ,  $\beta$ , e violazione di CP diretta

## Ulteriori sfide:

- $\Rightarrow$  stati finali indistinguibili dai fondi più comuni;
- $\Rightarrow$  predizioni complicate da QCD non perturbativa.



**Mesone  $B$ :** contiene quark  $b$ , partner massivo ed a vita media lunga del quark  $d$  che forma la materia nucleare.

# Decadimenti charmless a Belle II

SuperKEKB:  $\approx 1000$  coppie  $B\bar{B}$  al secondo in collisioni  $e^+e^-$  a 10 GeV.

> 50 miliardi di  $B\bar{B}$  (40x campione attuale) in 10 anni

- Produzione in soglia ad energia nota
- Evoluzione coerente di  $B^0\bar{B}^0$

⇒ Basso fondo e condizioni uniche per stati finali con  $\gamma, \pi^0, \nu$ .

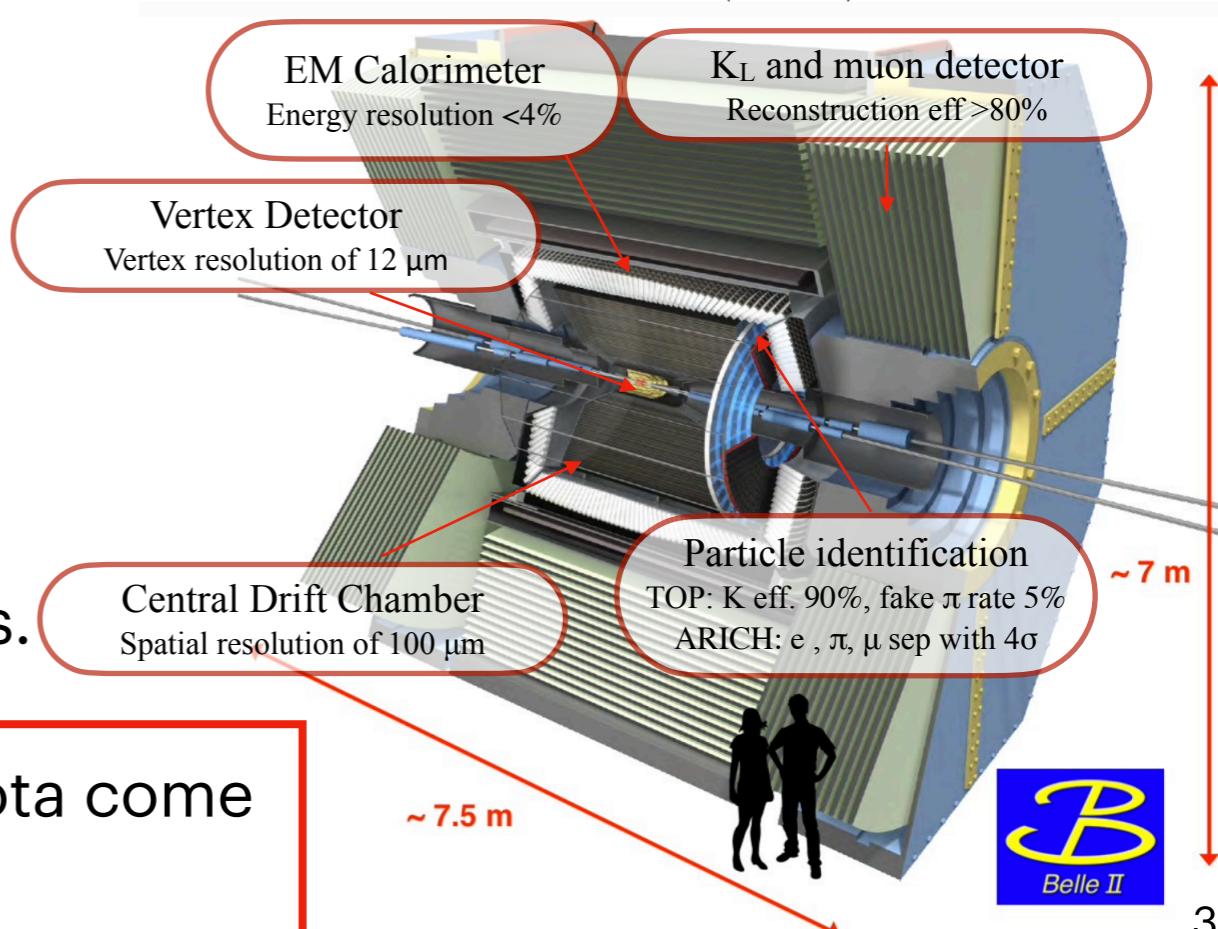
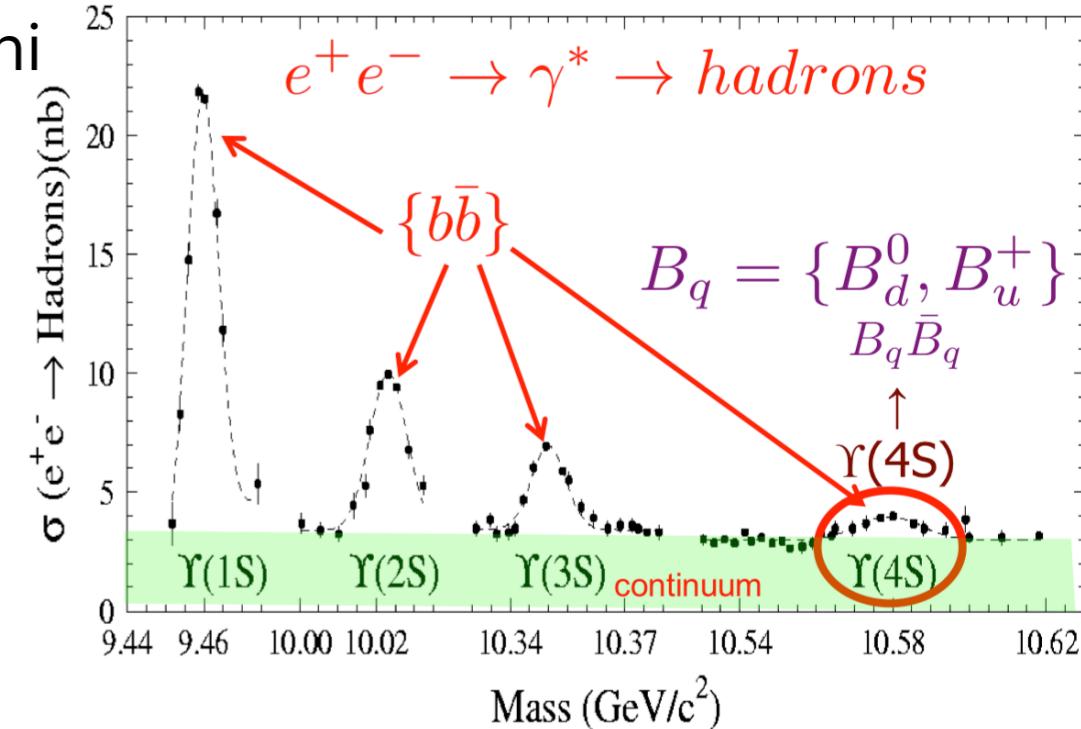
SuperKEKB e Belle II oggi:

- ✓ Record di luminosità  $e^+e^-$ :  $2.4 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ;
- ✓ raccolte  $\sim 80M$  coppie  $B\bar{B}$ ;

Belle II ha ruolo chiave nei charmless perché accede a tutti gli stati finali (carichi, neutri) in maniera unificata e consistente.

Oggi: prima misura a Belle II di rapporti di ramificazione e asimmetrie CP nei  $B$  charmless.

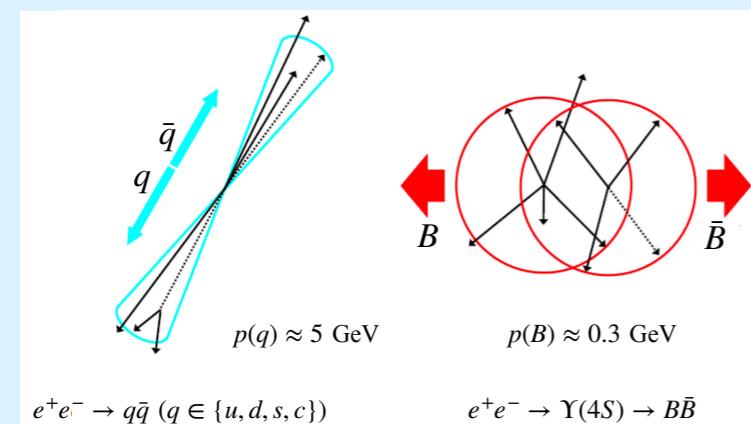
Fase iniziale dell'esperimento: usare fisica nota come referenza per validare il detector.



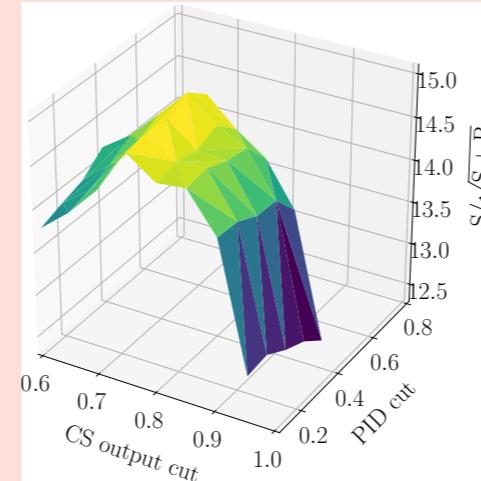
# Panorama dell'analisi

Misure di  $\mathcal{B}$  e  $\mathcal{A}_{CP}$  di  $B^0 \rightarrow K^+ \pi^-$ ,  $B^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ ,  $B^+ \rightarrow K^+ \pi^0$ ,  $B^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$ ,  $B^+ \rightarrow K_S^0 \pi^+$ ,  $B^0 \rightarrow K_S^0 \pi^0$ ,  $B^+ \rightarrow K^+ \pi^- \pi^+$  e  $B^+ \rightarrow K^+ K^- K^+$ .

Soppressione del fondo di quark leggeri



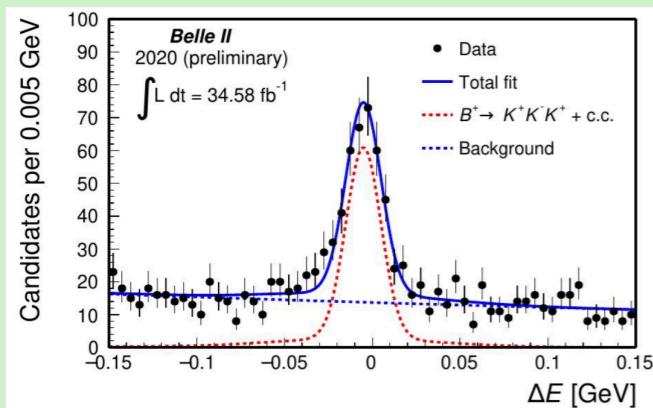
Ottimizzazione della selezione



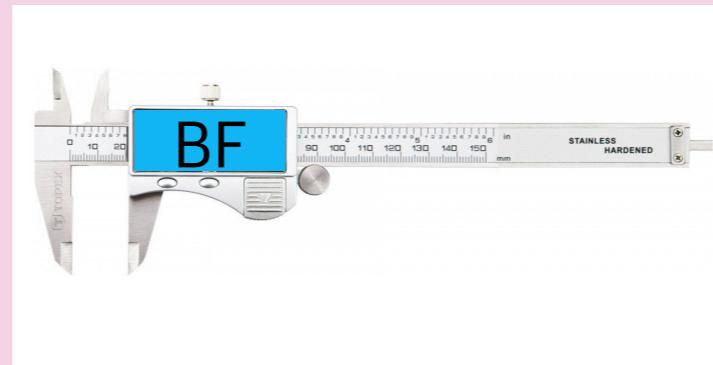
Misura dell'efficienza

$$\varepsilon = \frac{N(\text{passed})}{N(\text{generated})}$$

Estrazione del segnale  
 $\Delta E$  = differenza tra energia del  $B$  e quella di fascio



Misure BF e asimmetrie CP



Sistematiche

Operation	$\varepsilon(B^+ \rightarrow K^+ K^- K^+)$	$\varepsilon(B^+ \rightarrow K^+ \pi^- \pi^+)$
Reconstruction	0.780	0.692
Pre-selection	0.749	0.664
$M_{bc}$ and $\Delta E$ requirements	0.710	0.636
PID requirement	0.435	0.507
CS requirement	0.323	0.290
Charm vetoes	0.290	0.250

# Selezione

Dati: 38M di coppie  $B\bar{B}$  raccolti tra 2019 e 2020.

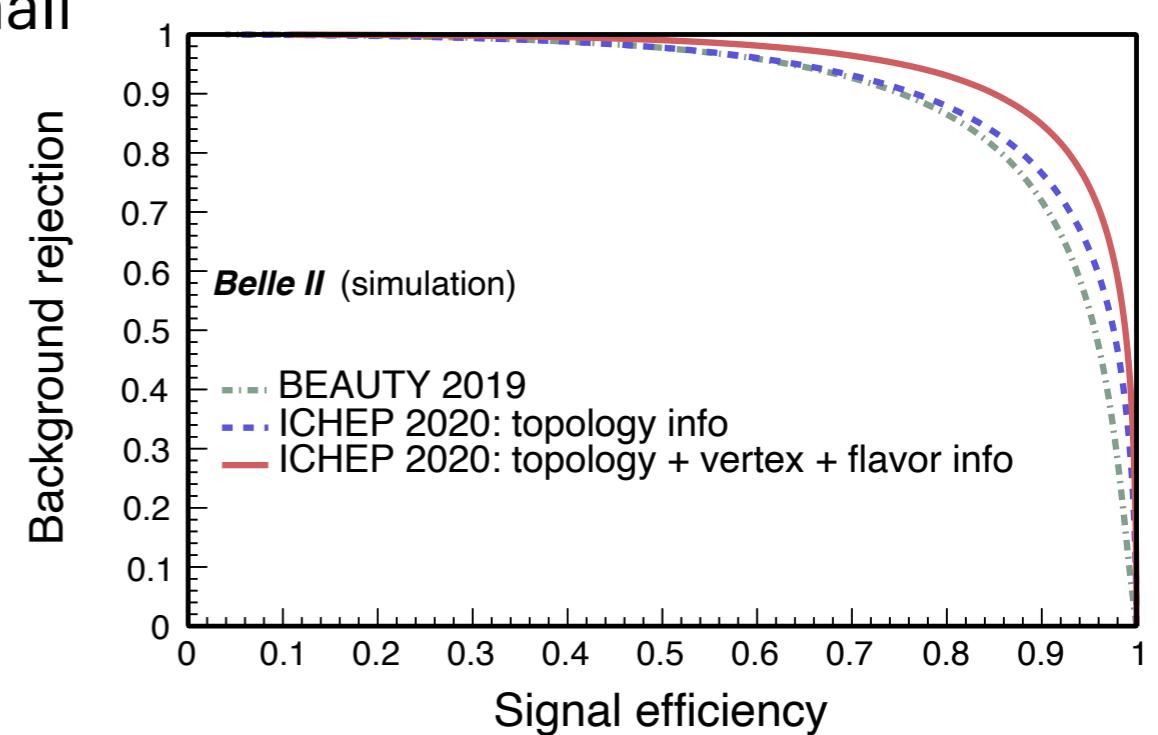
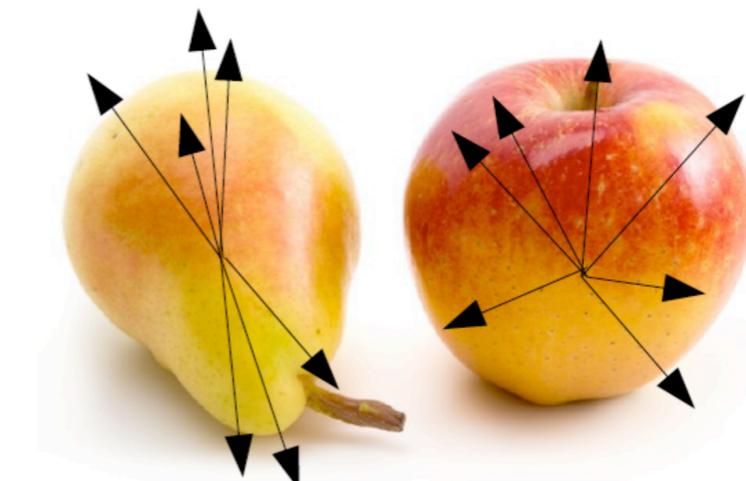
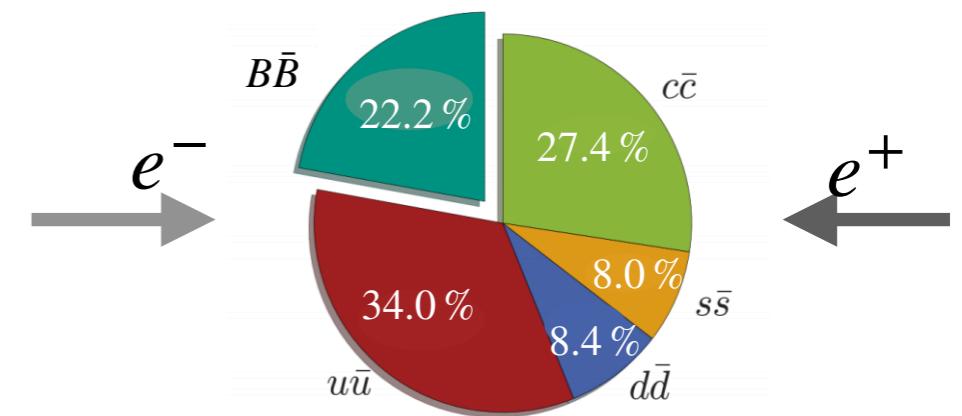
**Sfida:** escludere il fondo dominato da coppie di quark leggeri (continuum).

Combino 40 variabili sensibili a differenze topologiche, cinematiche, dinamiche in un discriminante non lineare che massimizza  $S/\sqrt{S+B}$ .

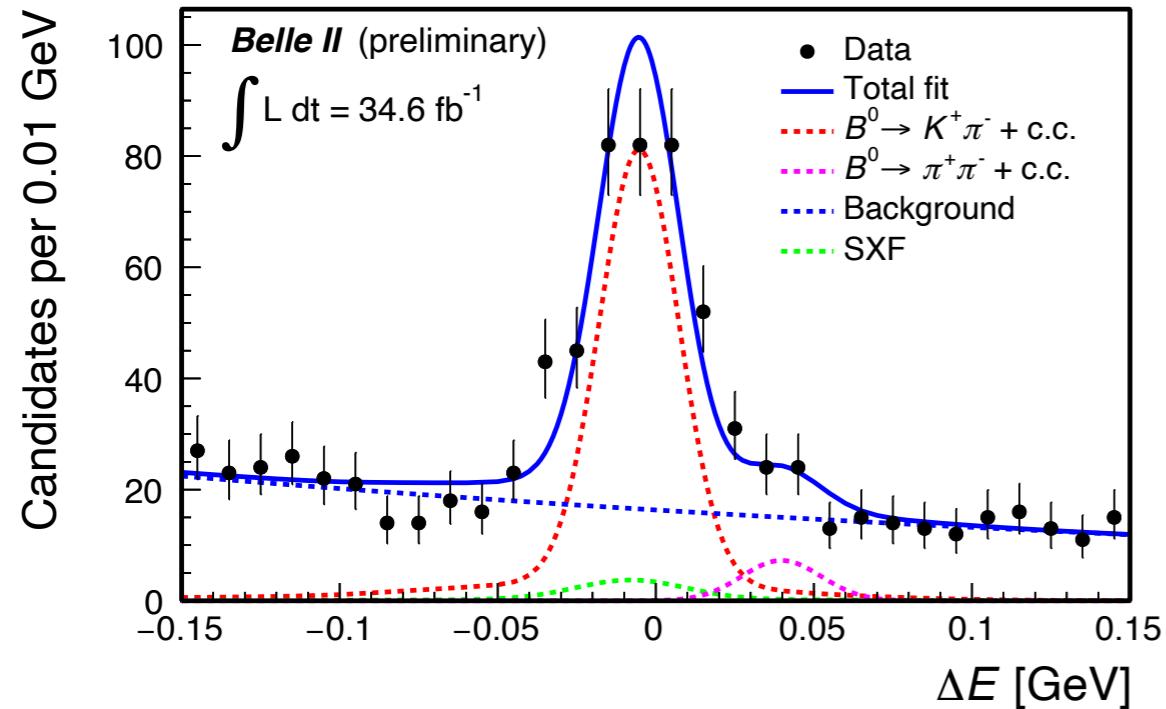
Ottimizzo selezione usando dati simulati e canali di controllo.

Efficienza di selezione CS: 35 - 79%

Soppressione del fondo  $q\bar{q}$ : 96 - 99%



# Due corpi: $B^0 \rightarrow K^+ \pi^-$ , $B^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$



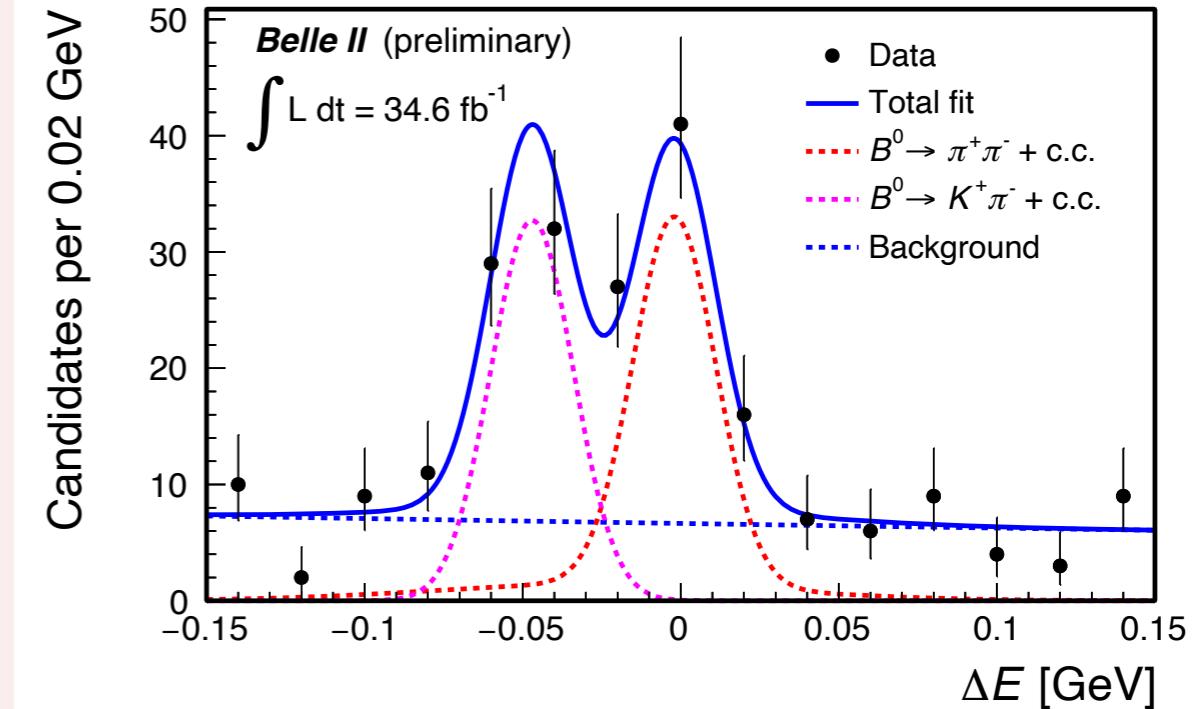
$B^0 \rightarrow K^+ \pi^-$

$N_{\text{sig}}$   $289^{+22}_{-21}$

$\mathcal{B}$  [ $10^{-6}$ ]  $18.9 \pm 1.4(\text{stat}) \pm 1.0(\text{syst})$

PDG

$\mathcal{B}$  [ $10^{-6}$ ]  $19.6 \pm 0.5$



$B^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$

$N_{\text{sig}}$   $61^{+11}_{-10}$

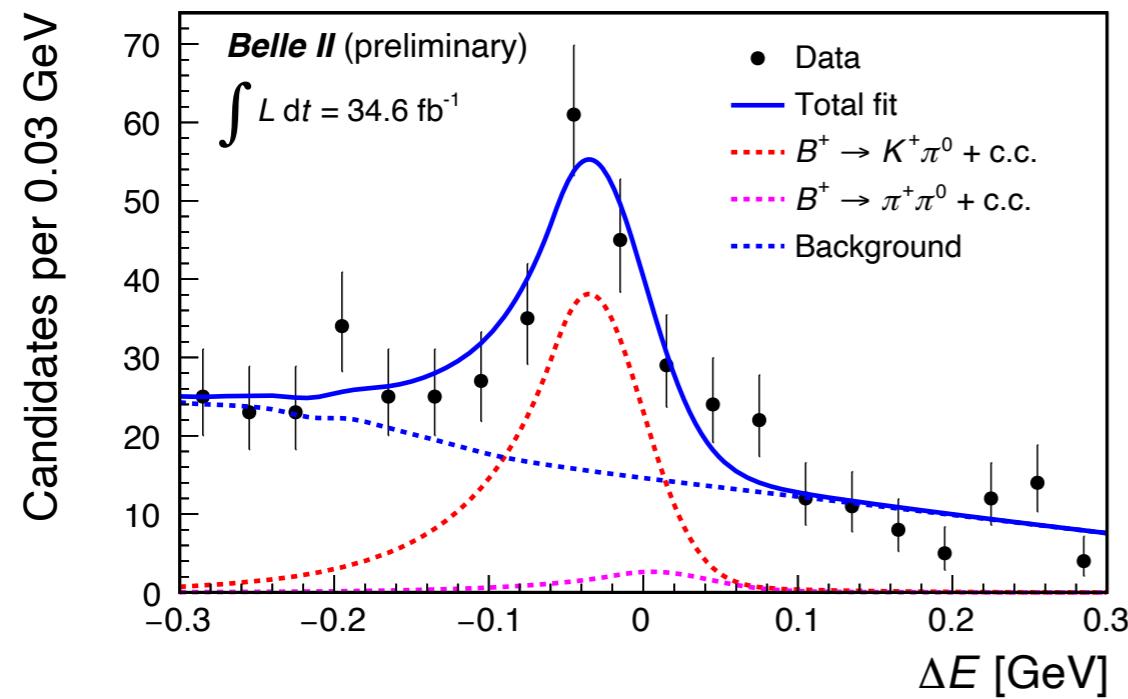
$\mathcal{B}$  [ $10^{-6}$ ]  $5.6^{+1.0}_{-0.9}(\text{stat}) \pm 0.3(\text{syst})$

PDG

$\mathcal{B}$  [ $10^{-6}$ ]  $5.12 \pm 0.19$

Due tracce: validazione tracciatura e identificazione adroni carichi.

# Due corpi: $B^+ \rightarrow K^+\pi^0$ , $B^+ \rightarrow \pi^+\pi^0$



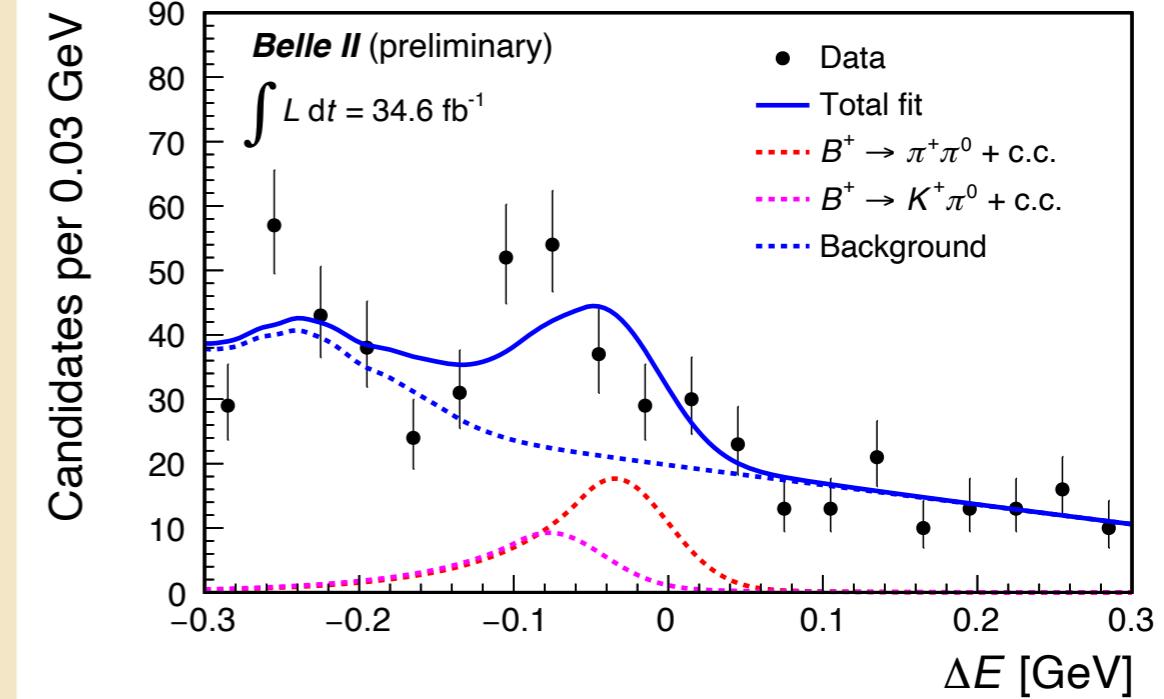
$B^+ \rightarrow K^+\pi^0$

$N_{\text{sig}}$   $144^{+25}_{-24}$

$\mathcal{B} [10^{-6}]$   $12.7^{+2.2}_{-2.1}(\text{stat}) \pm 1.1(\text{syst})$

PDG

$\mathcal{B} [10^{-6}]$   $12.9 \pm 0.5$



$B^+ \rightarrow \pi^+\pi^0$

$N_{\text{sig}}$   $68 \pm 27$

**Prima ricostruzione nei dati di Belle II!**

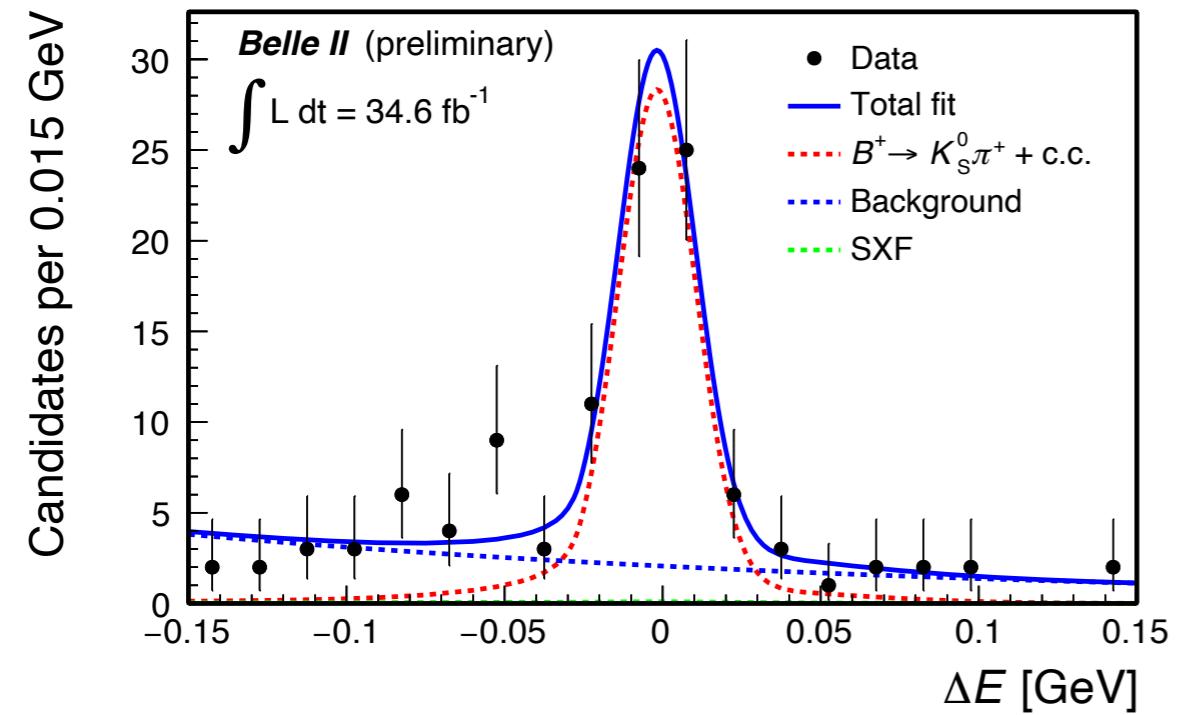
$\mathcal{B} [10^{-6}]$   $5.7 \pm 2.3(\text{stat}) \pm 0.5(\text{syst})$

PDG

$\mathcal{B} [10^{-6}]$   $5.5 \pm 0.4$

Validazione ricostruzione  $\pi^0$ .

# Due corpi: $B^+ \rightarrow K^0\pi^+$ , $B^0 \rightarrow K^0\pi^0$



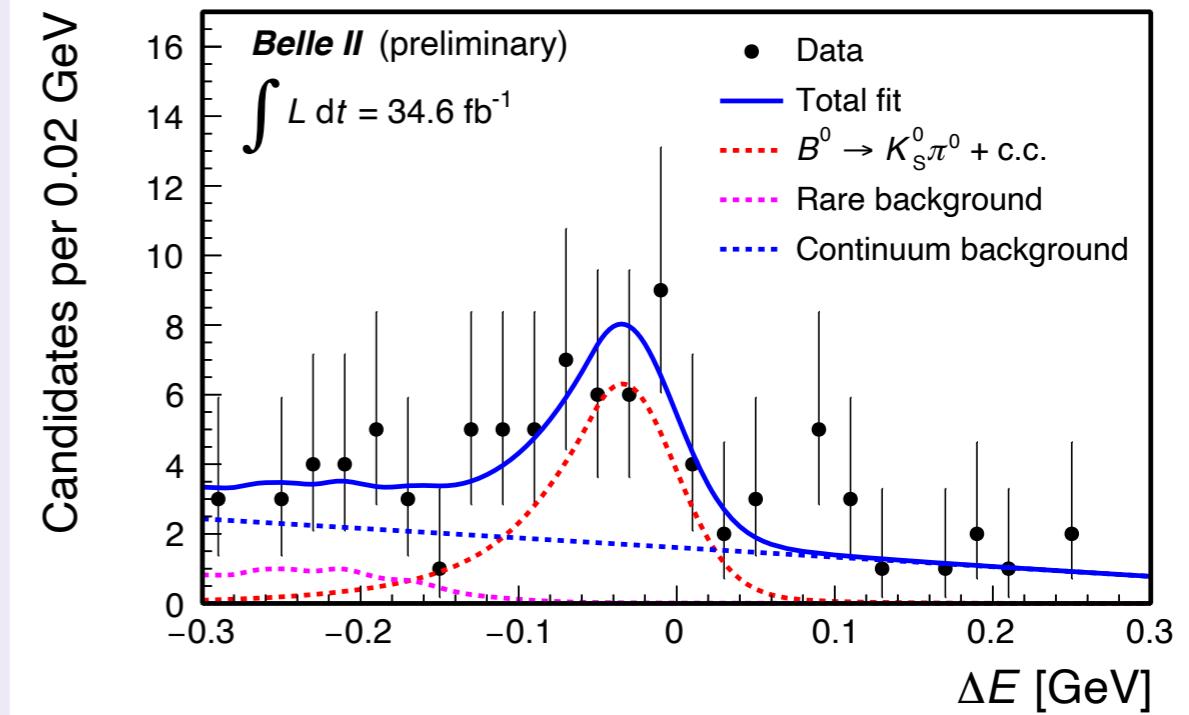
$B^+ \rightarrow K^0\pi^+$

$N_{\text{sig}}(B^+ \rightarrow K_S^0\pi^+)$   $65^{+10}_{-9}$

$\mathcal{B} [10^{-6}]$   $21.8^{+3.3}_{-3.0}(\text{stat}) \pm 2.9(\text{syst})$

PDG

$\mathcal{B} [10^{-6}]$   $23.7 \pm 0.8$



$B^0 \rightarrow K^0\pi^0$

$N_{\text{sig}}(B^0 \rightarrow K_S^0\pi^0)$   $35 \pm 9$

**Prima ricostruzione nei dati di Belle II!**

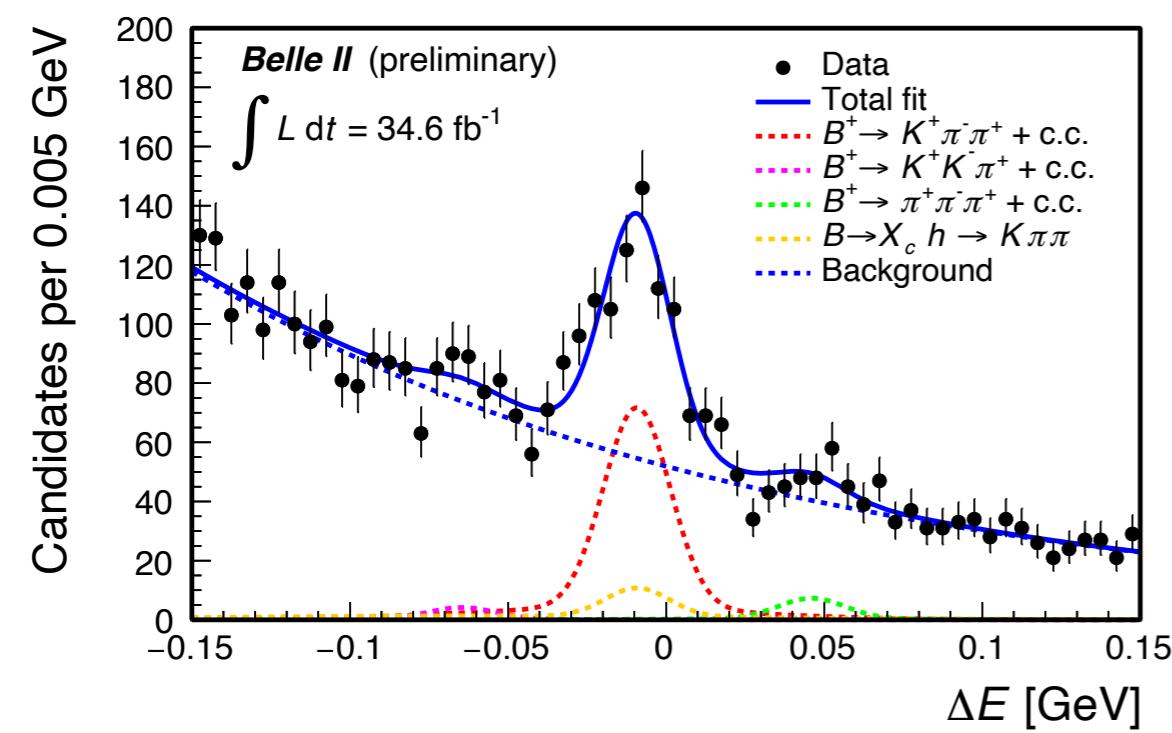
$\mathcal{B} [10^{-6}]$   $10.9^{+2.9}_{-2.6}(\text{stat}) \pm 1.6(\text{syst})$

PDG

$\mathcal{B} [10^{-6}]$   $9.9 \pm 0.5$

Validare ricostruzione  $K_S^0$ .

# Tre corpi: $B^+ \rightarrow K^+\pi^-\pi^+$ , $B^+ \rightarrow K^+K^-K^+$



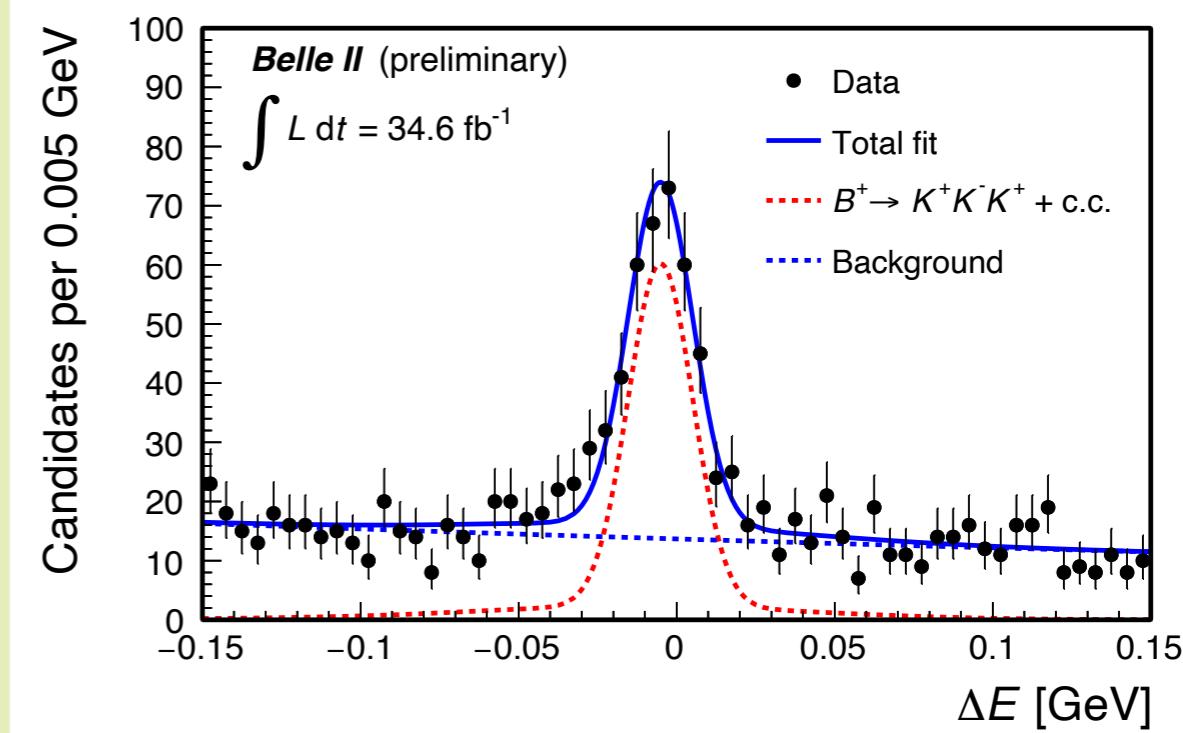
$B^+ \rightarrow K^+\pi^-\pi^+$

$N_{\text{sig}}$   $449 \pm 37$

$\mathcal{B} [10^{-6}]$   $48.0 \pm 3.8(\text{stat}) \pm 3.3(\text{syst})$

PDG

$\mathcal{B} [10^{-6}]$   $51.0 \pm 2.9$



$B^+ \rightarrow K^+K^-K^+$

$N_{\text{sig}}$   $359 \pm 25$

$\mathcal{B} [10^{-6}]$   $32.0 \pm 2.2(\text{stat}) \pm 1.4(\text{syst})$

PDG

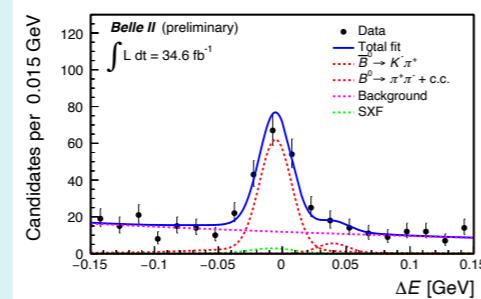
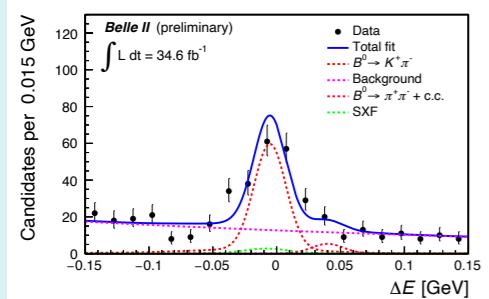
$\mathcal{B} [10^{-6}]$   $34.0 \pm 1.4$

Validazione gestione peaking backgrounds.

# Violazione diretta della simmetria carica-parità

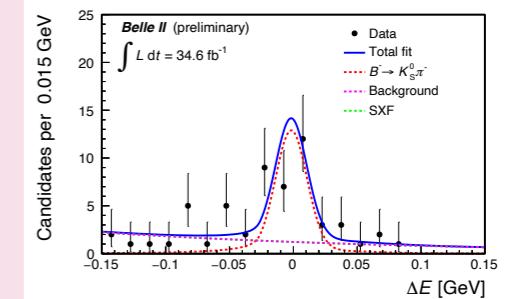
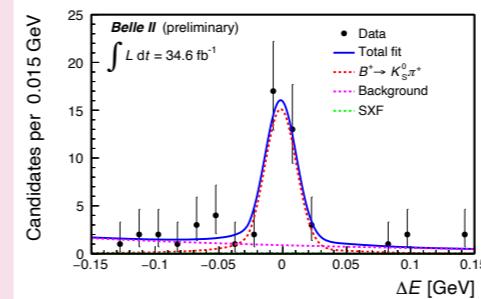
Misuro asimmetrie di carica.

$$B^0 \rightarrow K^+ \pi^-$$



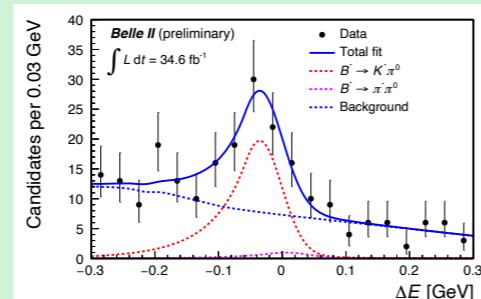
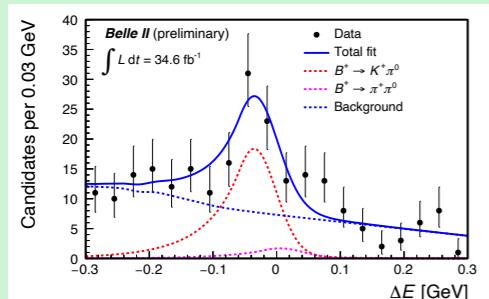
$$\mathcal{A}_{CP} = 0.030 \pm 0.064(\text{stat}) \pm 0.008(\text{syst})$$

$$B^+ \rightarrow K_S^0 \pi^+$$



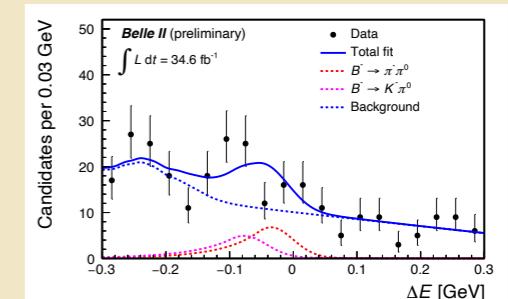
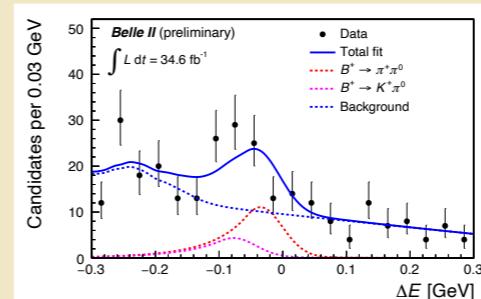
$$\mathcal{A}_{CP} = -0.072^{+0.109}_{-0.114}(\text{stat}) \pm 0.024(\text{syst})$$

$$B^+ \rightarrow K^+ \pi^0$$



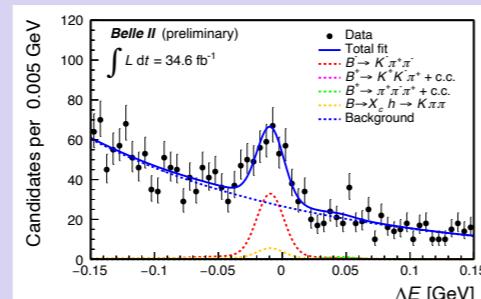
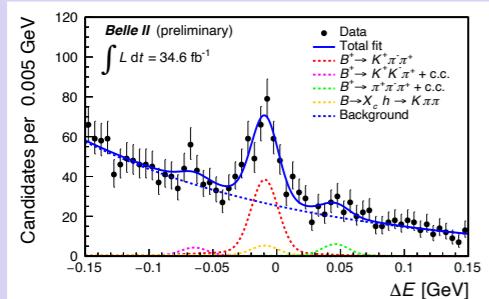
$$\mathcal{A}_{CP} = 0.052^{+0.121}_{-0.119}(\text{stat}) \pm 0.022(\text{syst})$$

$$B^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$$



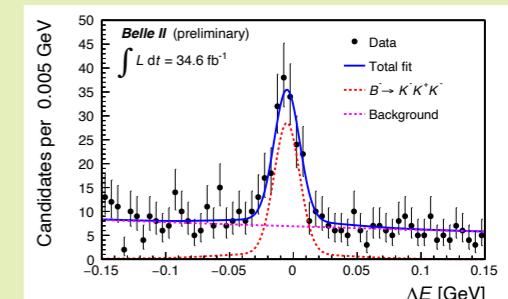
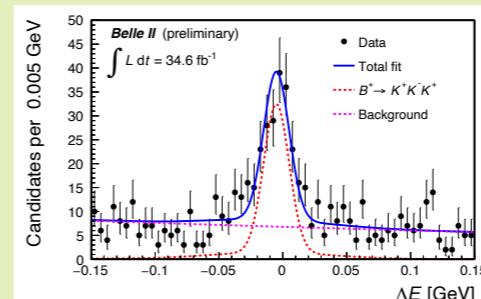
$$\mathcal{A}_{CP} = -0.268^{+0.249}_{-0.322}(\text{stat}) \pm 0.123(\text{syst})$$

$$B^+ \rightarrow K^+ \pi^- \pi^+$$



$$\mathcal{A}_{CP} = -0.063 \pm 0.081(\text{stat}) \pm 0.023(\text{syst})$$

$$B^+ \rightarrow K^+ K^- K^+$$



$$\mathcal{A}_{CP} = -0.049 \pm 0.063(\text{stat}) \pm 0.022(\text{syst})$$

Studio approfondito asimmetrie strumentali usando  $D^+ \rightarrow K_S^0 \pi^+$  e  $D^0 \rightarrow K^- \pi^+$ .

# Sommario

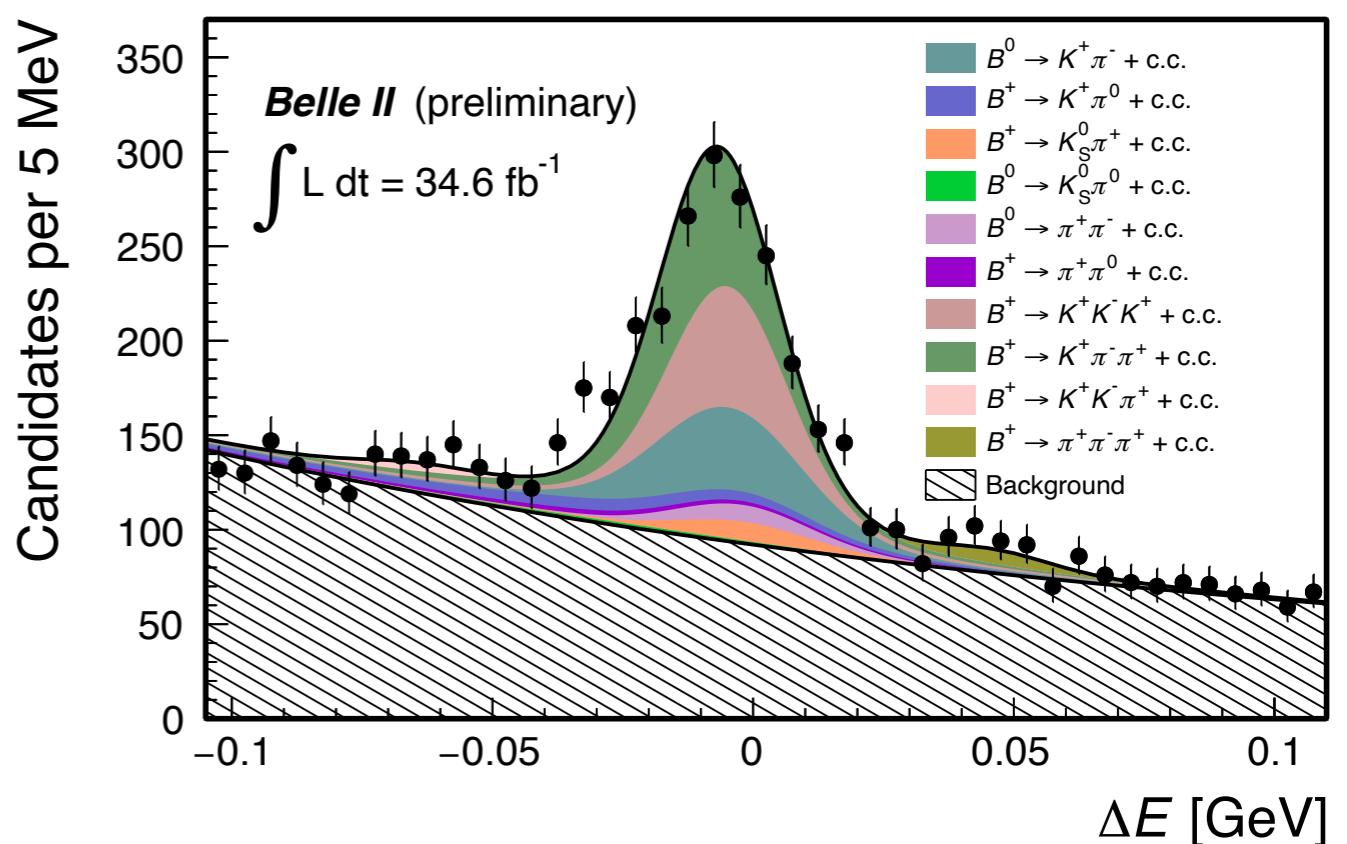
La fisica del sapore è fondamentale nella ricerca di estensioni del Modello Standard.

Decadimenti charmless del  $B$  hanno ruolo essenziale. Belle II è esperimento ideale per studiarli in condizioni di basso fondo.

Oggi: prime misure di BF e asimmetrie CP  
di decadimenti charmless in Belle II.

[https://indico.cern.ch/event/868940/contributions/  
3815672/](https://indico.cern.ch/event/868940/contributions/3815672/)

Risultati in accordo con i valori noti, e  
prestazioni confrontabili con le migliori di  
Belle  $\Rightarrow$  Buona comprensione del  
detector e degli strumenti utilizzati.



Belle II pronto a fare la sua parte nella ricerca di fisica non-MS.