

# Alla frontiera dell'alta intensità: l'esperimento Belle II

Stefano Moneta

[stefano.moneta@pg.infn.it](mailto:stefano.moneta@pg.infn.it)

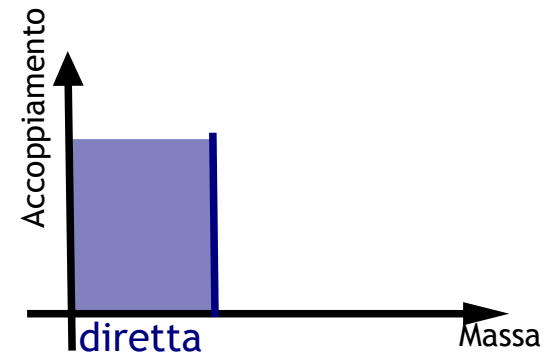
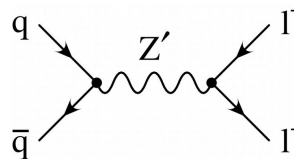


Istituto Nazionale di Fisica Nucleare



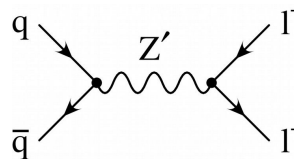
# Ricerca di nuova fisica

- Ricerca diretta: produzione di nuove particelle
  - Richiede energie pari alle masse della nuova fisica → **frontiera dell'energia**
  - CMS, ATLAS @ LHC

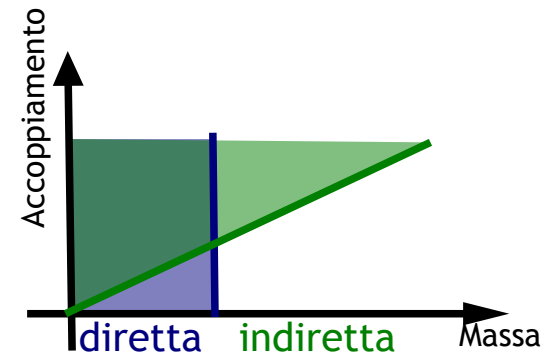
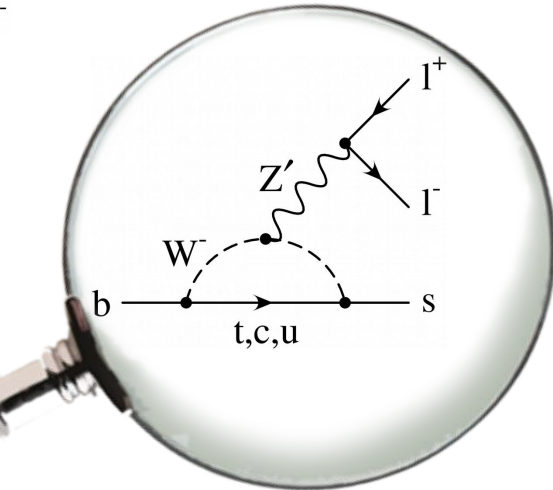


# Ricerca di nuova fisica

- Ricerca diretta: produzione di nuove particelle
  - Richiede energie pari alle masse della nuova fisica → **frontiera dell'energia**
  - CMS, ATLAS @ LHC

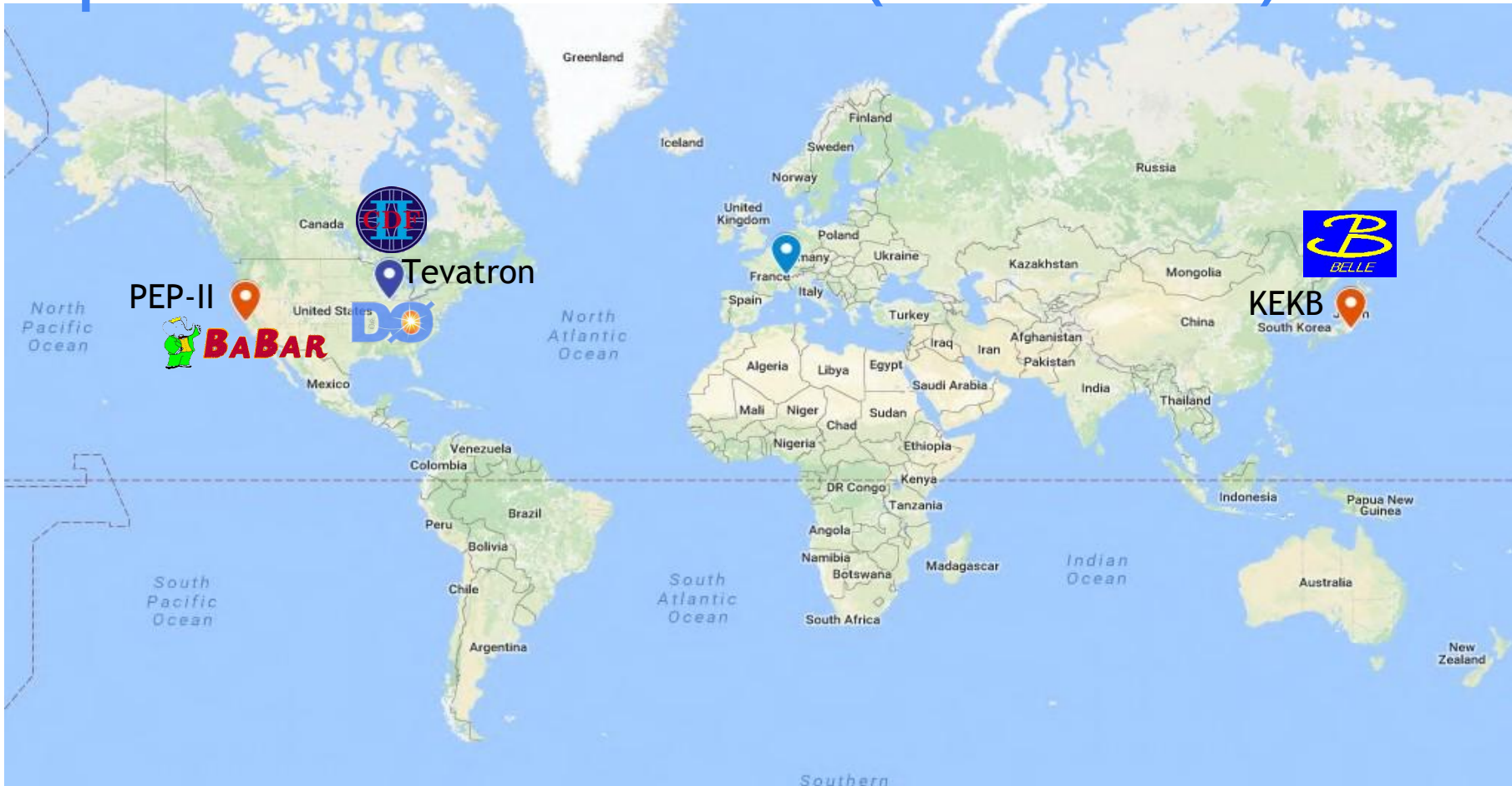


- Ricerca indiretta: contributi di nuove particelle all'interno di processi noti
  - Misure di precisione: richiedono molti eventi per scovare piccole differenze rispetto al Modello Standard
  - Belle II, LHCb, NA62, g-2, ...

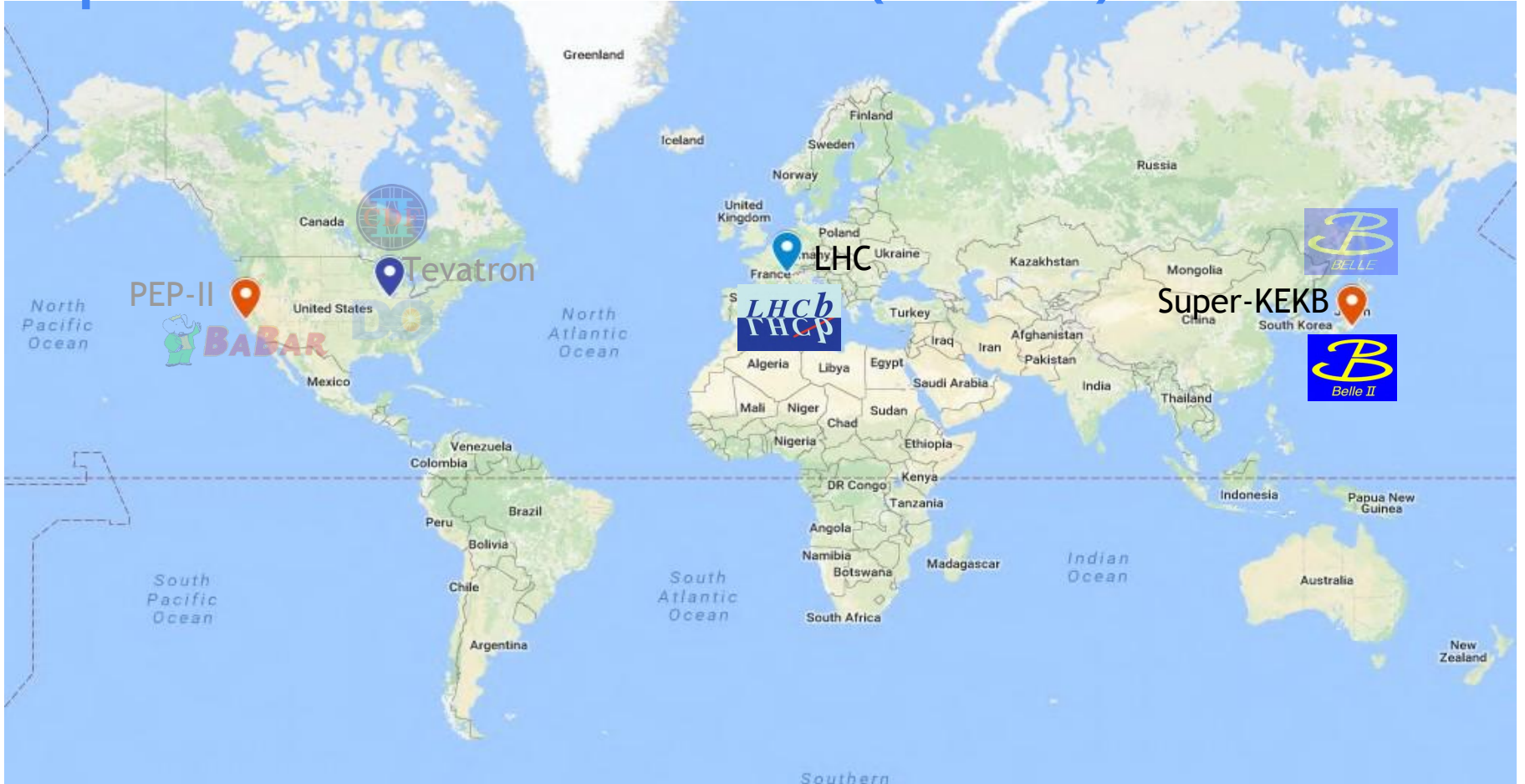


**I mesoni  $B$  offrono possibilità di esplorare nuova fisica**

# Esperimenti di fisica dei $B$ (2000 - 2010)

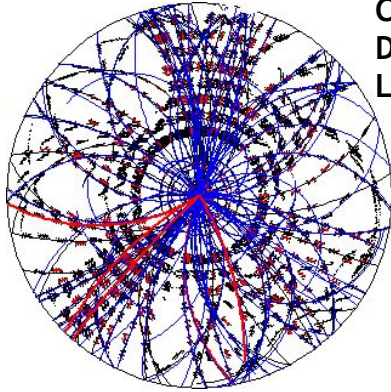


# Esperimenti di fisica dei $B$ ( $> 2010$ )



# Come si producono mesoni $B$ ?

Collisore  
adronico:  
 $p\bar{p}$ ,  $pp$



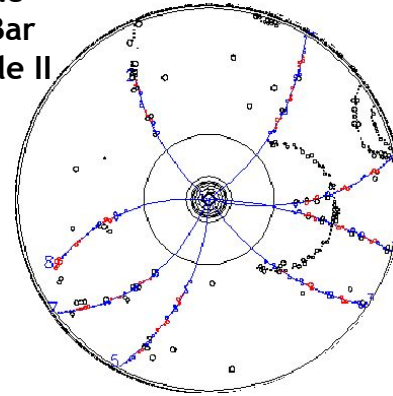
CDF  
DO  
LHCb



Interazione **forte** dei quark/gluoni nei  
protoni

- ✓ Alto rate di eventi
- ✓ Produzione di tutti i tipi di adroni- $B$
- ✗ Cinematica iniziale ignota
- ✗ Molti eventi di pile-up

Belle  
BaBar  
Belle II



$B$ -factory:  
 $e^+e^-$

Interazione **elettromagnetica** tra  
particelle elementari

- ✓ Cinematica iniziale nota
- ✓ Puri eventi  $BB$  dalla risonanza  $Y(4S)$ ,  
senza tracce aggiuntive
- ✗ Basso rate di collisioni utili
- ✗ Solo  $B^0B^0$ ,  $B^+B^-$



Belle II

# *B*-factory

A stylized illustration of the Belle II facility, showing a large building with a grid of windows and several tall, cylindrical structures emitting particle tracks. The text 'B FACTORY' is visible on the building's facade.  
**B** FACTORY



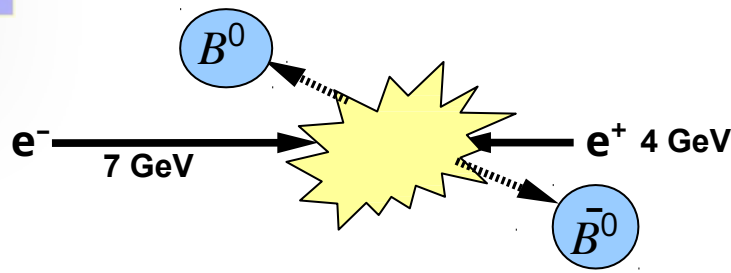
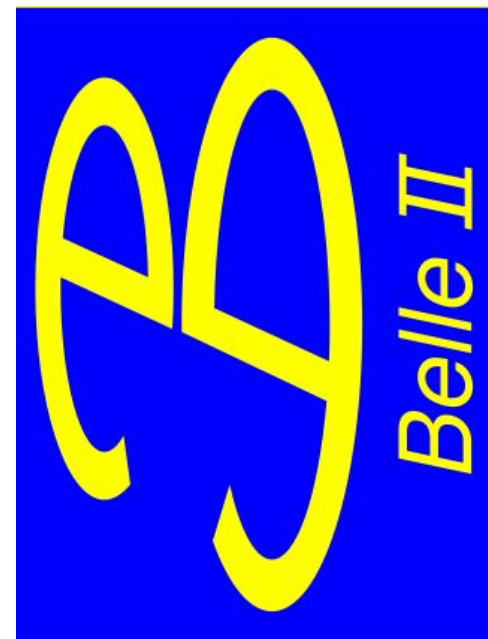
*Belle II indaga principalmente i quark beauty, che sono, ovviamente, "Belli"*



Ma ci sono altri punti di vista...



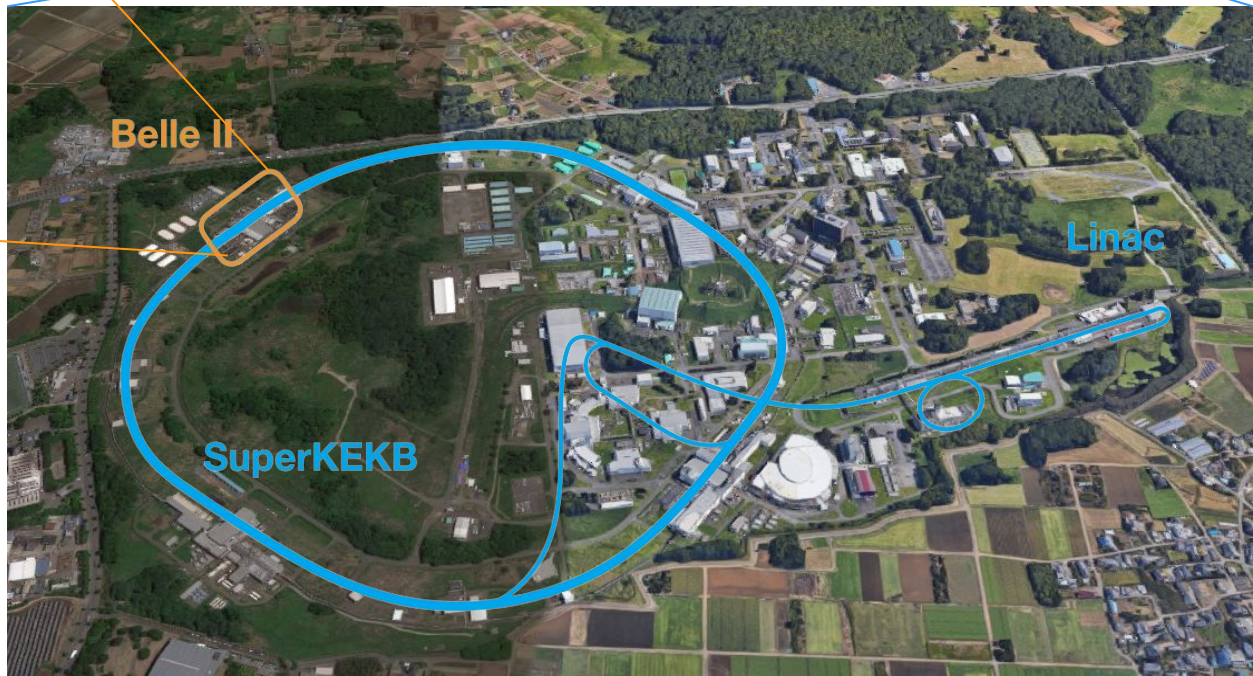
*... i  $B$  sono prodotti da  $e^- + e^+$  che collidono con energie **asimmetriche** ...*



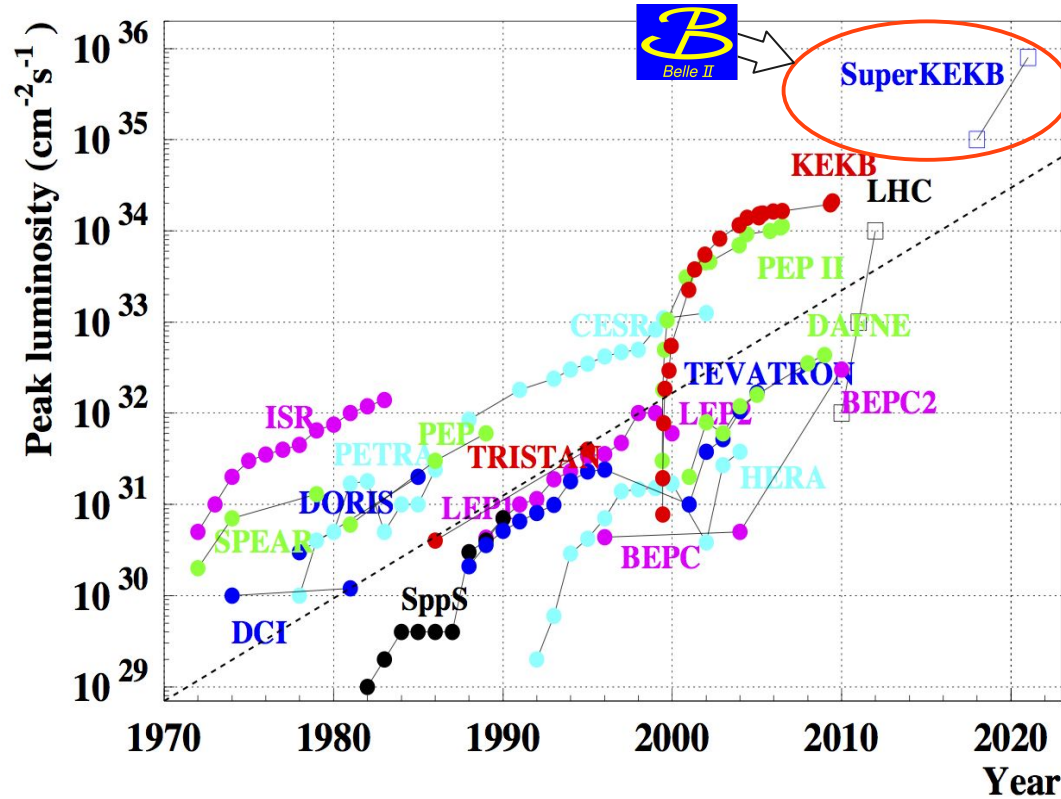


- **Tsukuba**, prefettura di Ibaraki (~1 ora da Tokyo)
- Principale acceleratore di particelle in Giappone



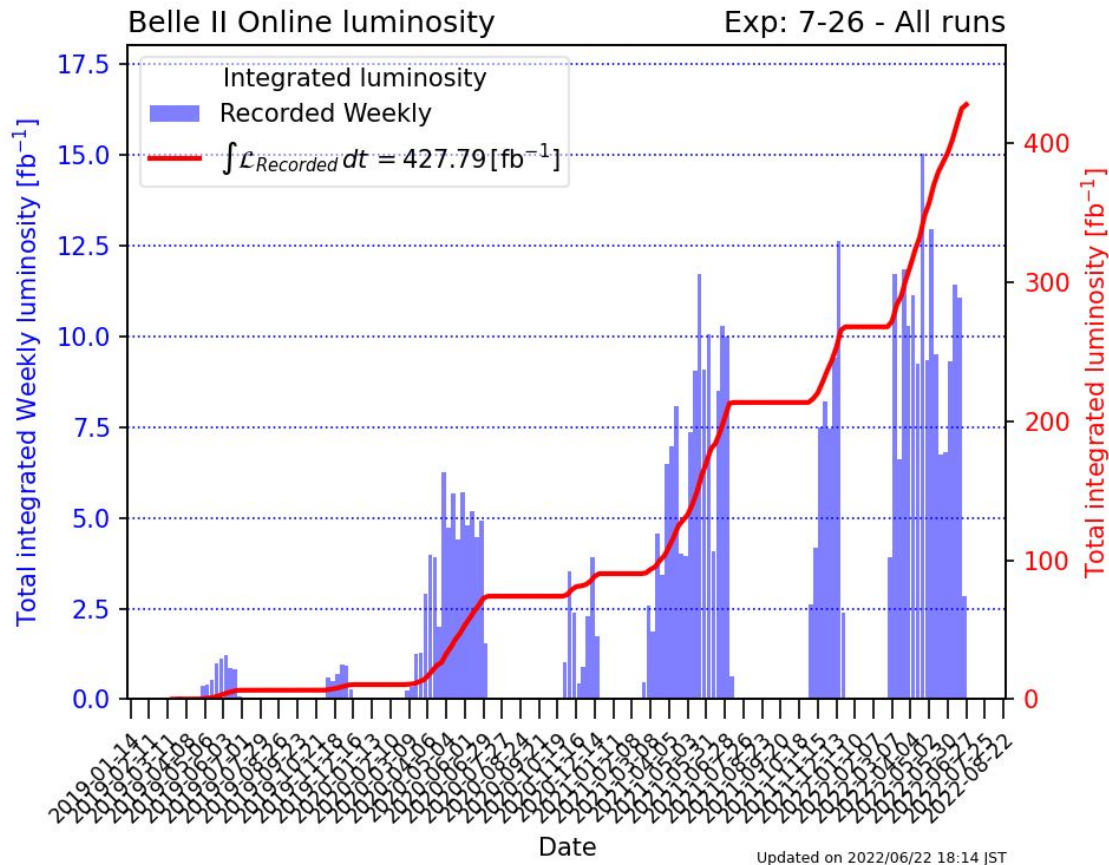


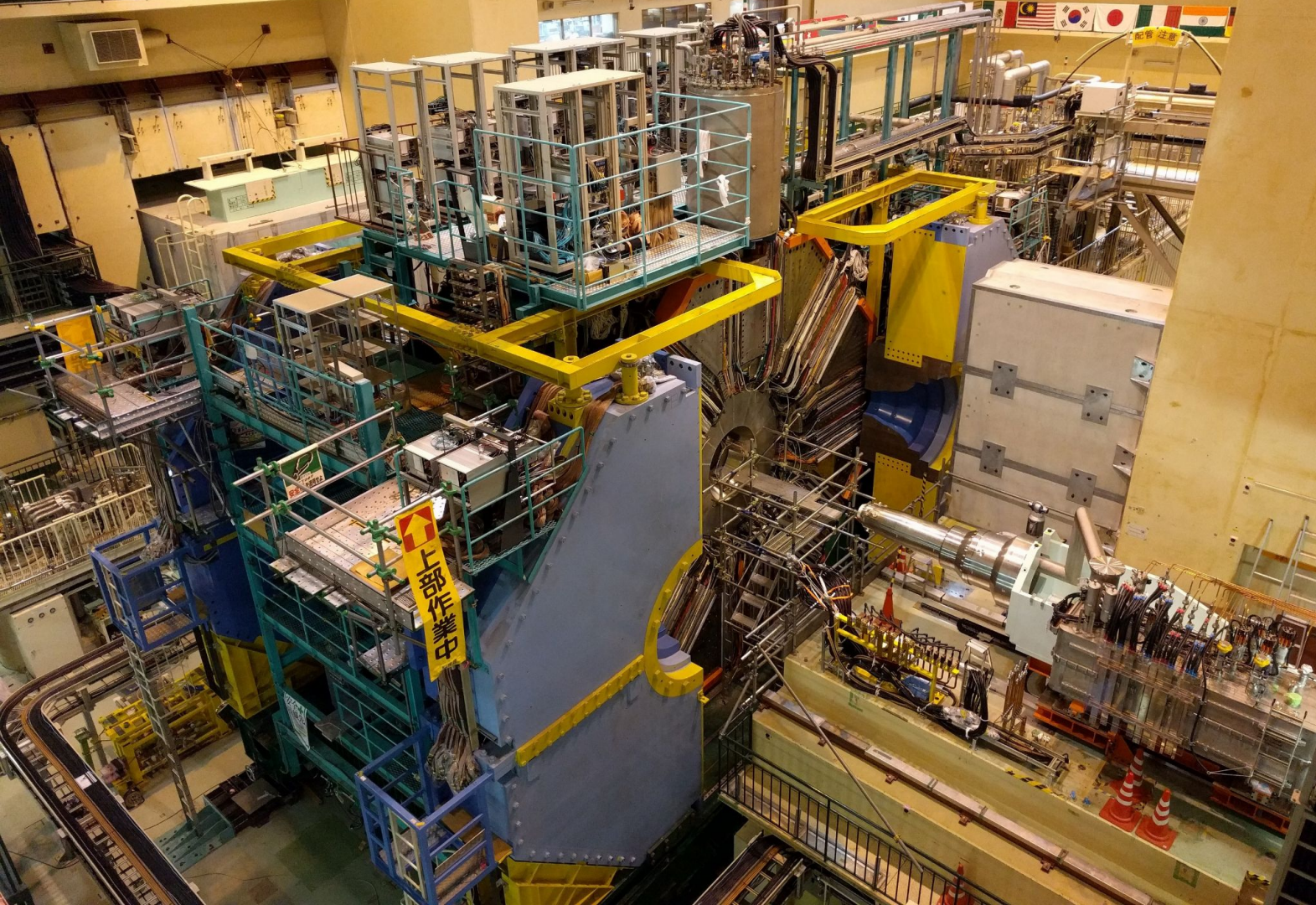
# La nuova frontiera dell'intensità



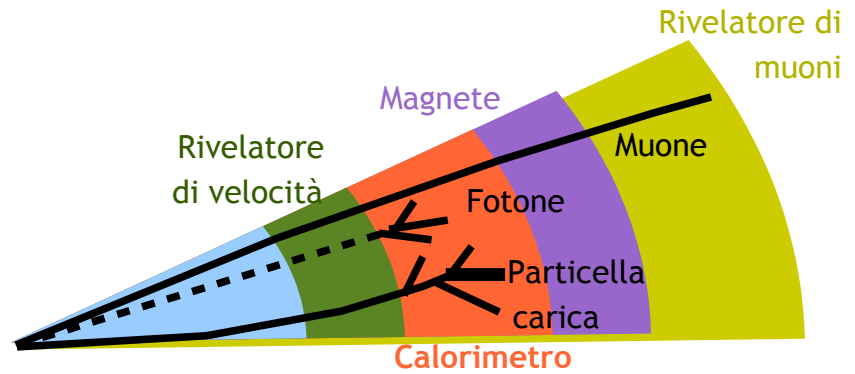


- Prima **presa dati** conclusa in estate **2022**
- > **400 milioni di eventi *BB***
- **Record mondiale di luminosità!**  
 $5 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
- Riaccensione nel 2024, dopo parziale **upgrade** del rivelatore

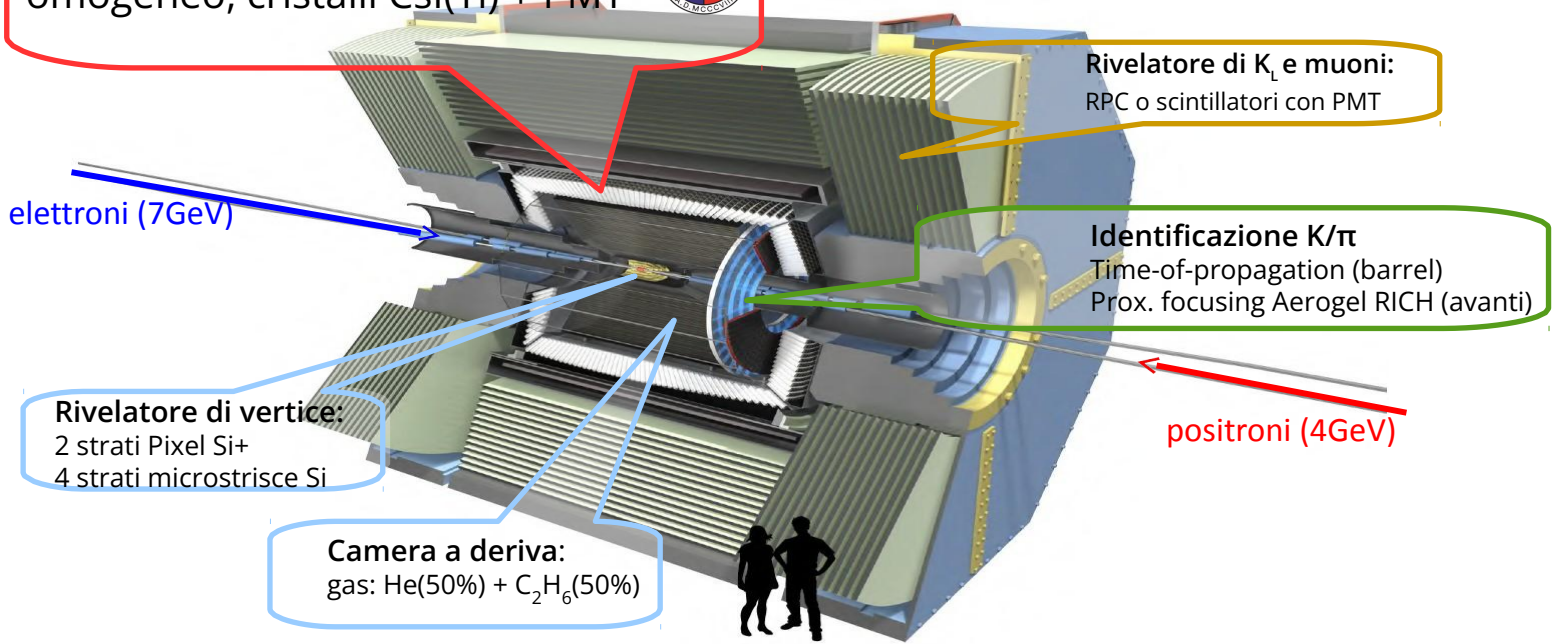




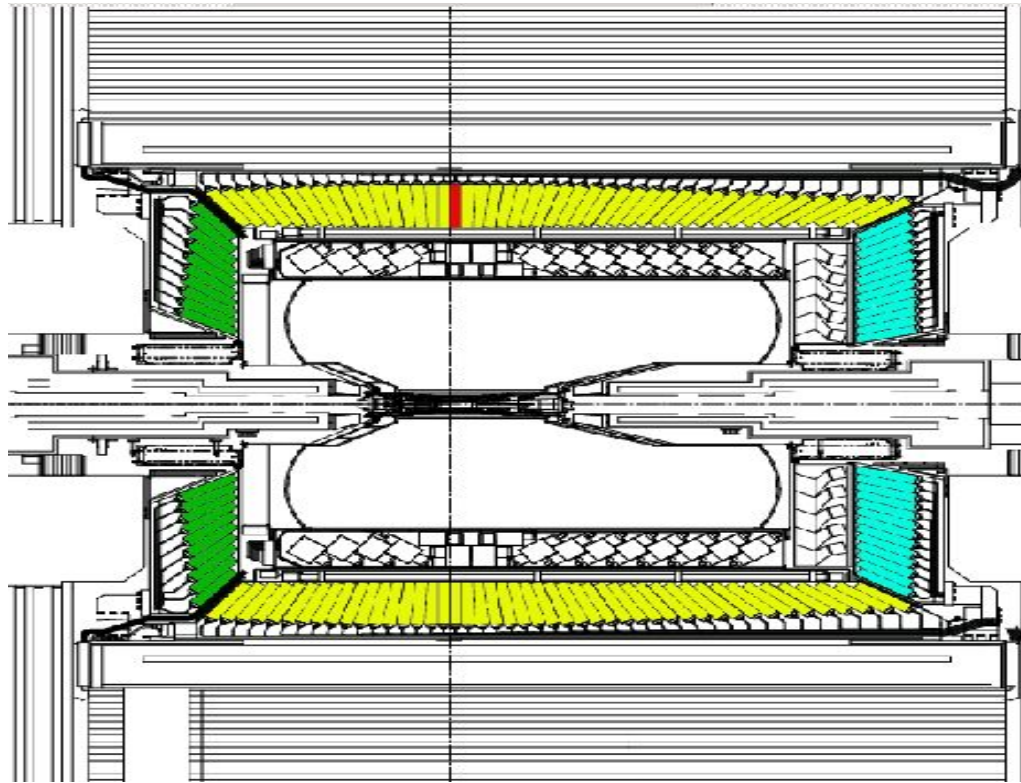
# Belle II: il rivelatore



**Calorimetro elettromagnetico omogeneo, cristalli CsI(Tl) + PMT**

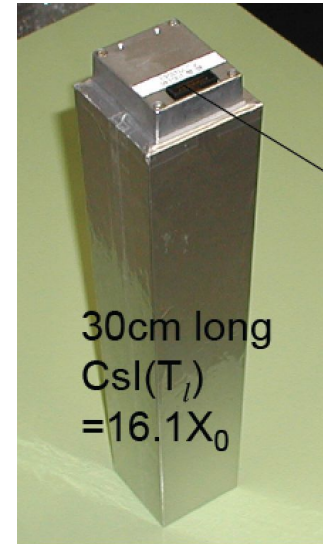


# Il Calorimetro Elettromagnetico



Fondamentale per la fisica dei  $B$ :

- Ricostruisce i  $\pi^0$   $\rightarrow$  abbondanti nei decadimenti dei  $B$
- Misura l'energia totale dell'evento (ermeticit )



30cm long  
CsI(Tl)  
=16.1X<sub>0</sub>

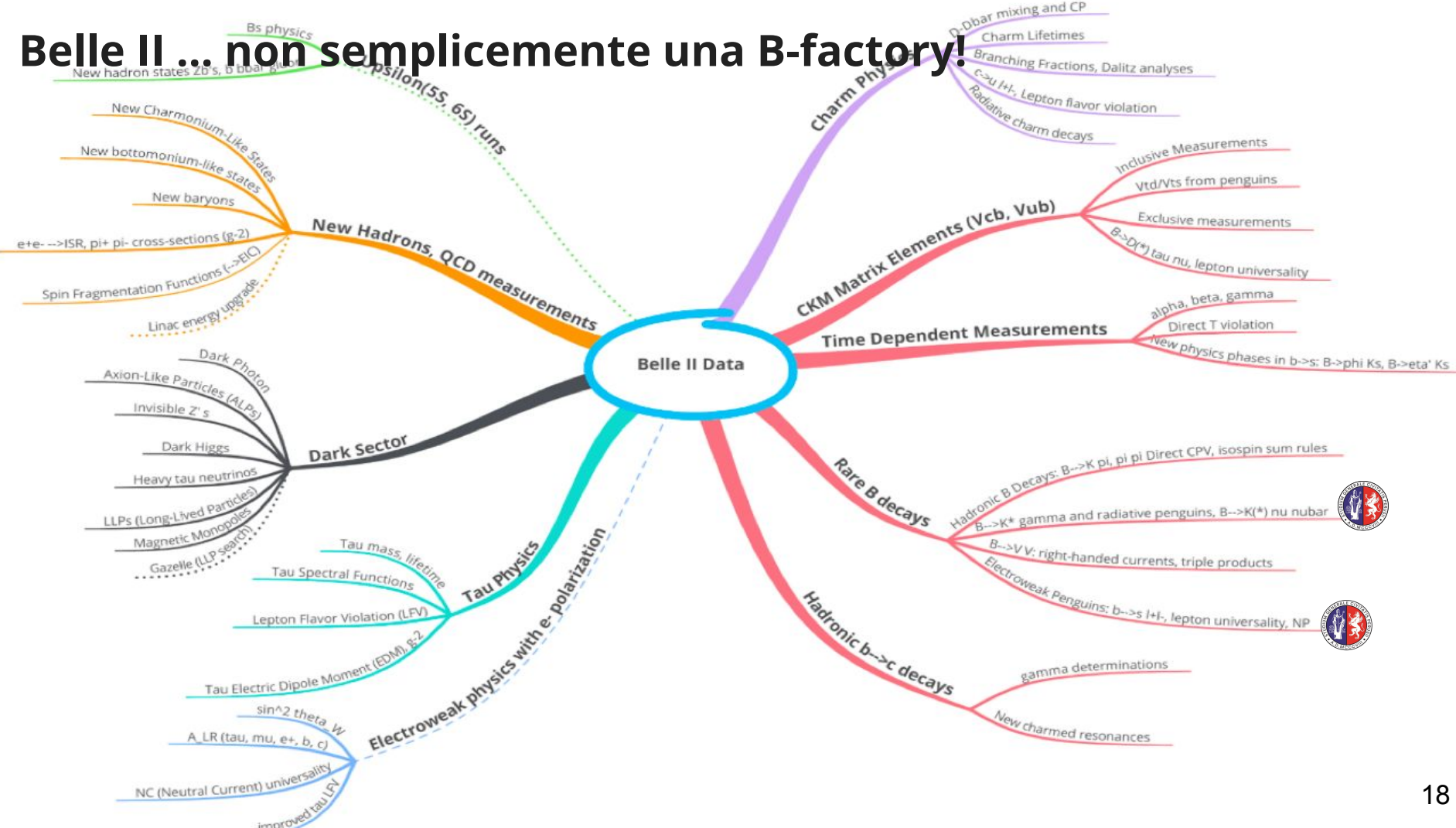
- CsI (Tl)
- 8736 cristalli



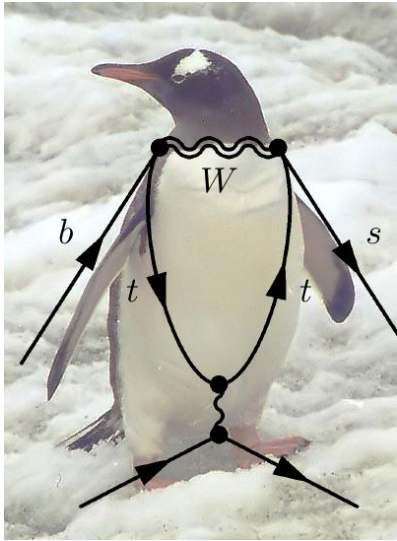
# La fisica a Belle II



# Belle II ... non semplicemente una B-factory!



# Ricerca di “pinguini”



# KNOW YOUR PENGUINS



ADELIE

NEAR THREATENED



AFRICAN

ENDANGERED



CHINSTRAP

LEAST CONCERNED



EMPEROR

NEAR THREATENED



ERECT-CRESTED

ENDANGERED



FIORDLAND

VULNERABLE



GALAPAGOS

ENDANGERED



GENTOO

NEAR THREATENED



HUMBOLDT

VULNERABLE



KING

LEAST CONCERNED



LITTLE/BLUE/FAIRY

LEAST CONCERNED



MACARONI

VULNERABLE



MAGELLANIC

NEAR THREATENED



NORTHERN  
ROCKHOPPER

ENDANGERED



SOUTHERN  
ROCKHOPPER

VULNERABLE



ROYAL

NEAR THREATENED



SNARES

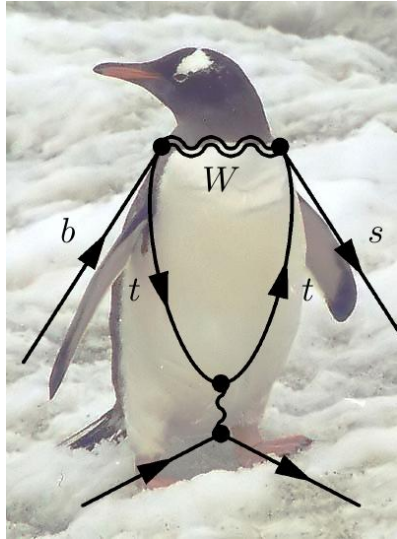
VULNERABLE



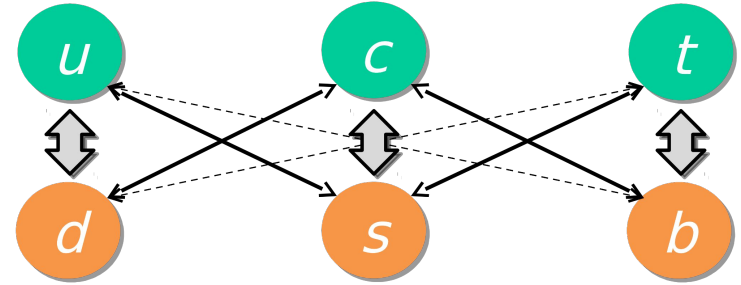
YELLOW-EYED

ENDANGERED

# Decadimenti rari dei $B$

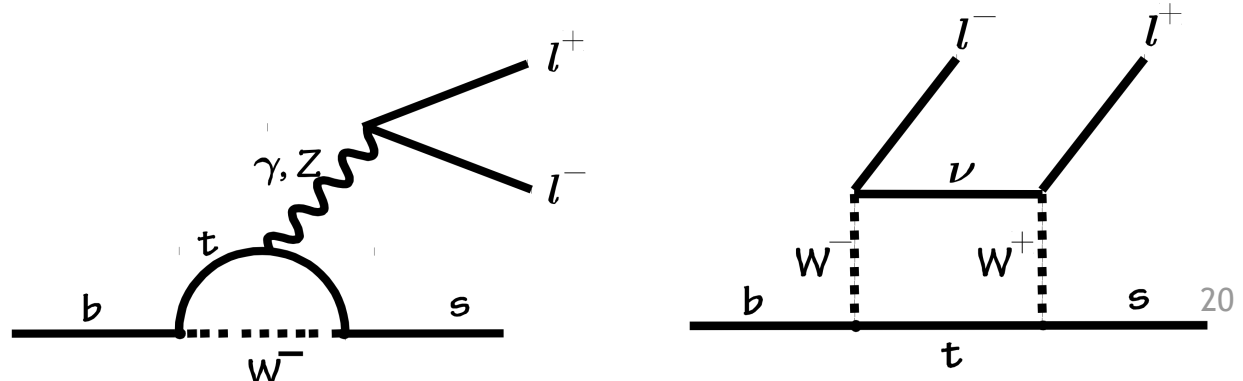


## Transizioni $b \rightarrow s$



Cambio di "sapore" ma stessa carica elettrica

- Avviene solo tramite loop intermedi con particelle virtuali  $\rightarrow$  **soppresso nel Modello Standard**
- Anomalie in questi processo possono indicare **nuova fisica**



# La collaborazione Belle II



Belle II general  
meeting,  
febbraio 2023

# Possibilità di tesi: analisi dati

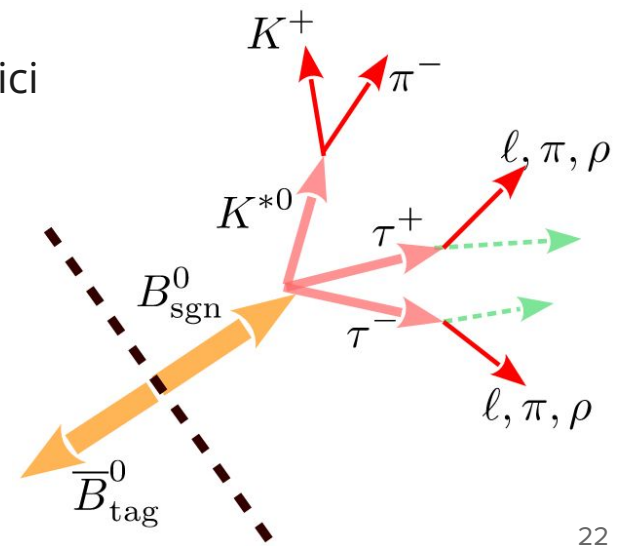
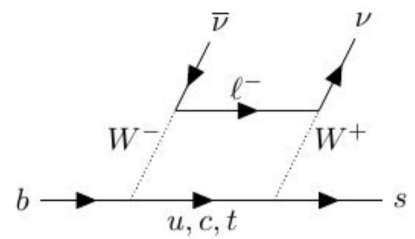
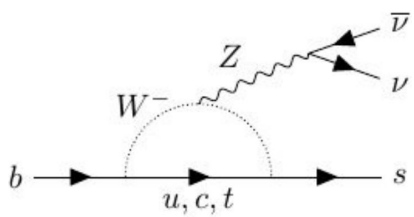
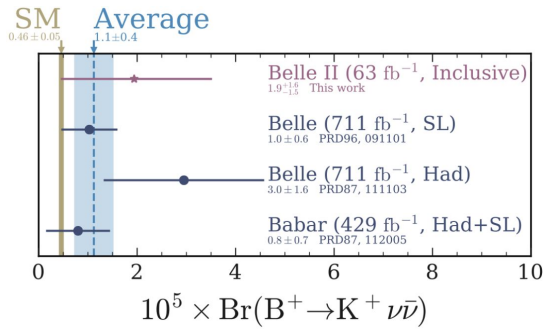


- Ricerca di decadimenti a “pinguino” dei  $B$

- $B^+ \rightarrow K^+ \nu \bar{\nu}$
- $B^+ \rightarrow K^+ \tau \tau$

- Analisi connesse a performance

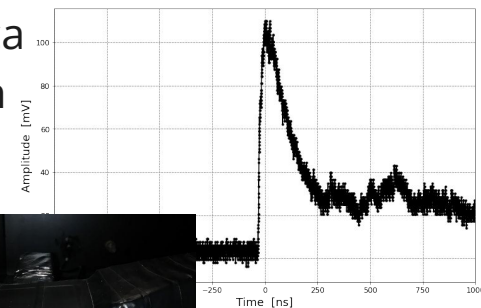
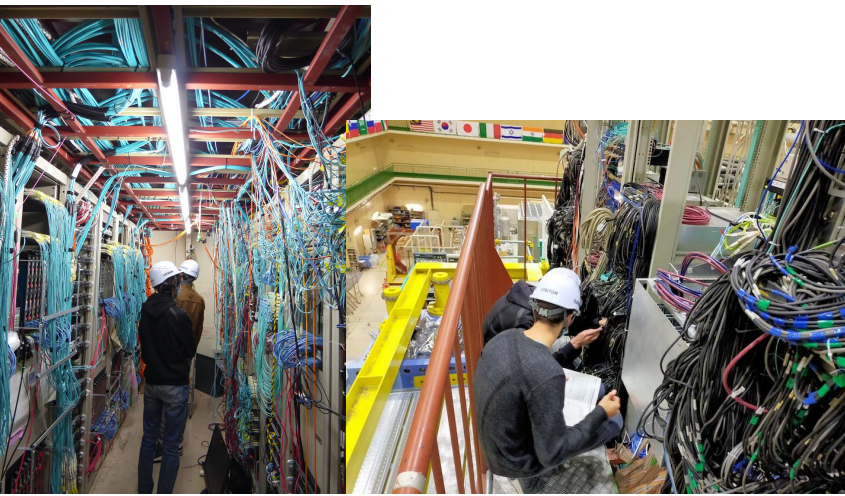
- Conteggio dei  $B$
- Ricostruzione e “tagging” di  $B$  adronici e semileptonici
- Selezione di  $\pi^0$  e particelle neutre



# Possibilità di tesi: calorimetro EM



- Studio di upgrade per il calorimetro elettromagnetico
  - Misure in laboratorio su cristalli diversi e fotorivelatori innovativi (APD, SiPM)
  - Implementazione del software per la simulazione e ricostruzione
- Attività di monitoring e manutenzione del calorimetro
  - Studi dei fondi-macchina e loro impatto sulle misure di fisica
  - Sostituzione e riparazione dei moduli durante lo shut-down



# Il gruppo Belle II di Perugia



**Claudia Cecchi**  
(capogruppo)  
Professoressa  
associata



**Elisa Manoni**  
(convener fisica)  
Ricercatrice INFN



**Maurizio Biasini**  
Professore  
associato



**Roberta Volpe**  
Ricercatrice UniPG



**Stefano Moneta**  
Dottorando



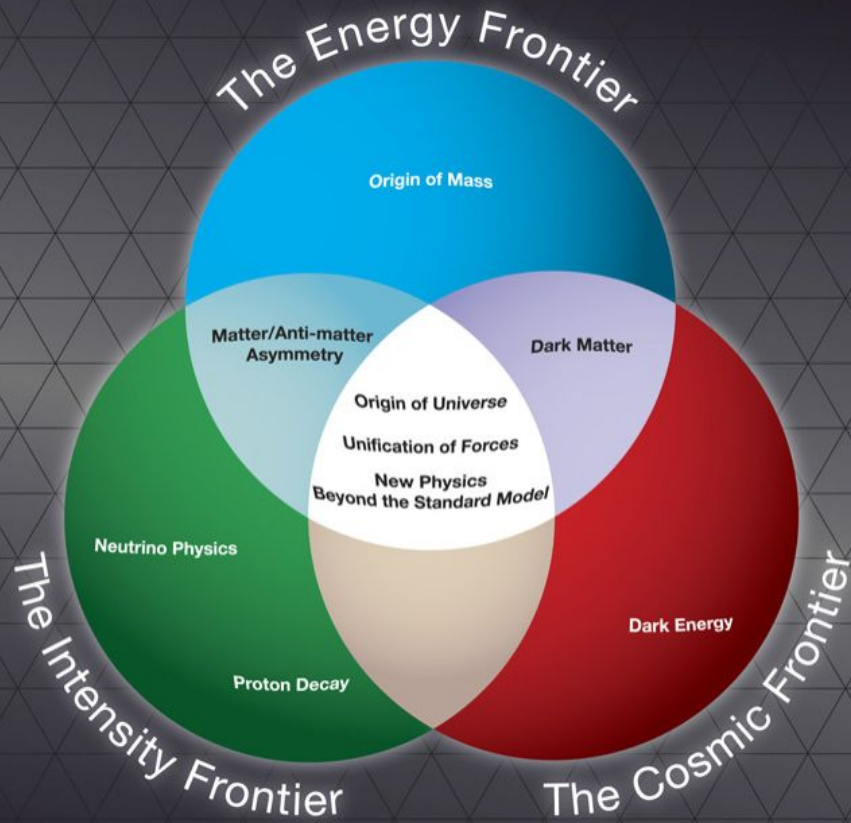
**Esplorare  
oltre...**



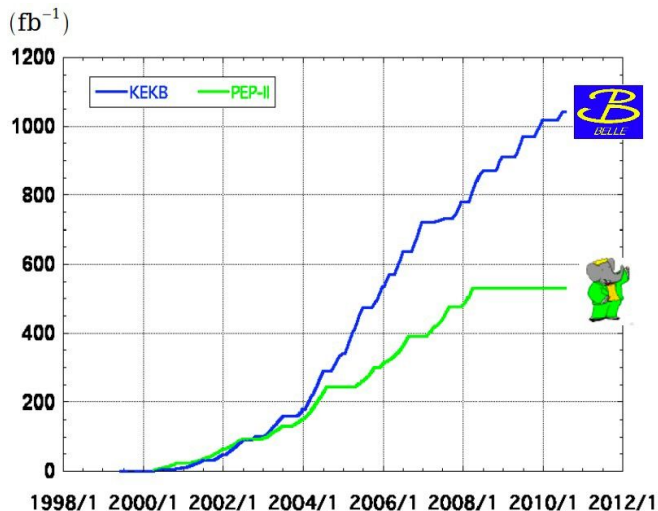


# Backup



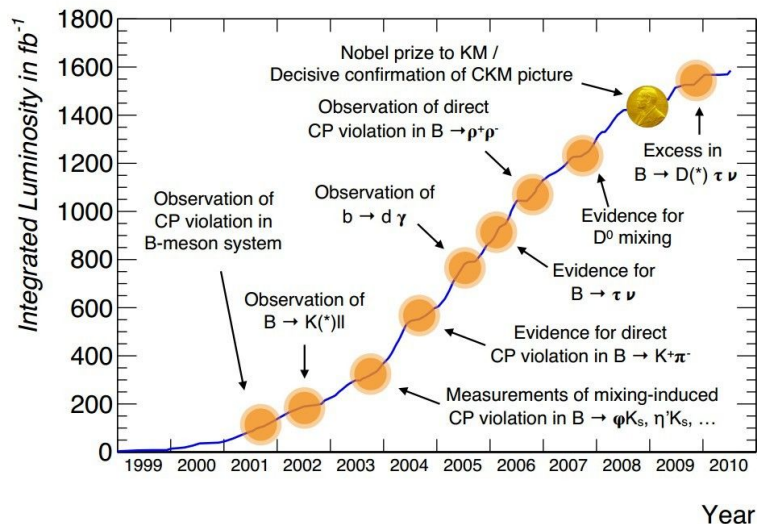


# Fisica alle B-factories



**> 1 ab<sup>-1</sup>**  
**On resonance:**  
 Y(5S): 121 fb<sup>-1</sup>  
 Y(4S): 711 fb<sup>-1</sup>  
 Y(3S): 3 fb<sup>-1</sup>  
 Y(2S): 25 fb<sup>-1</sup>  
 Y(1S): 6 fb<sup>-1</sup>  
**Off reson./scan:**  
 ~ 100 fb<sup>-1</sup>

**~ 550 fb<sup>-1</sup>**  
**On resonance:**  
 Y(4S): 433 fb<sup>-1</sup>  
 Y(3S): 30 fb<sup>-1</sup>  
 Y(2S): 14 fb<sup>-1</sup>  
**Off resonance:**  
 ~ 54 fb<sup>-1</sup>

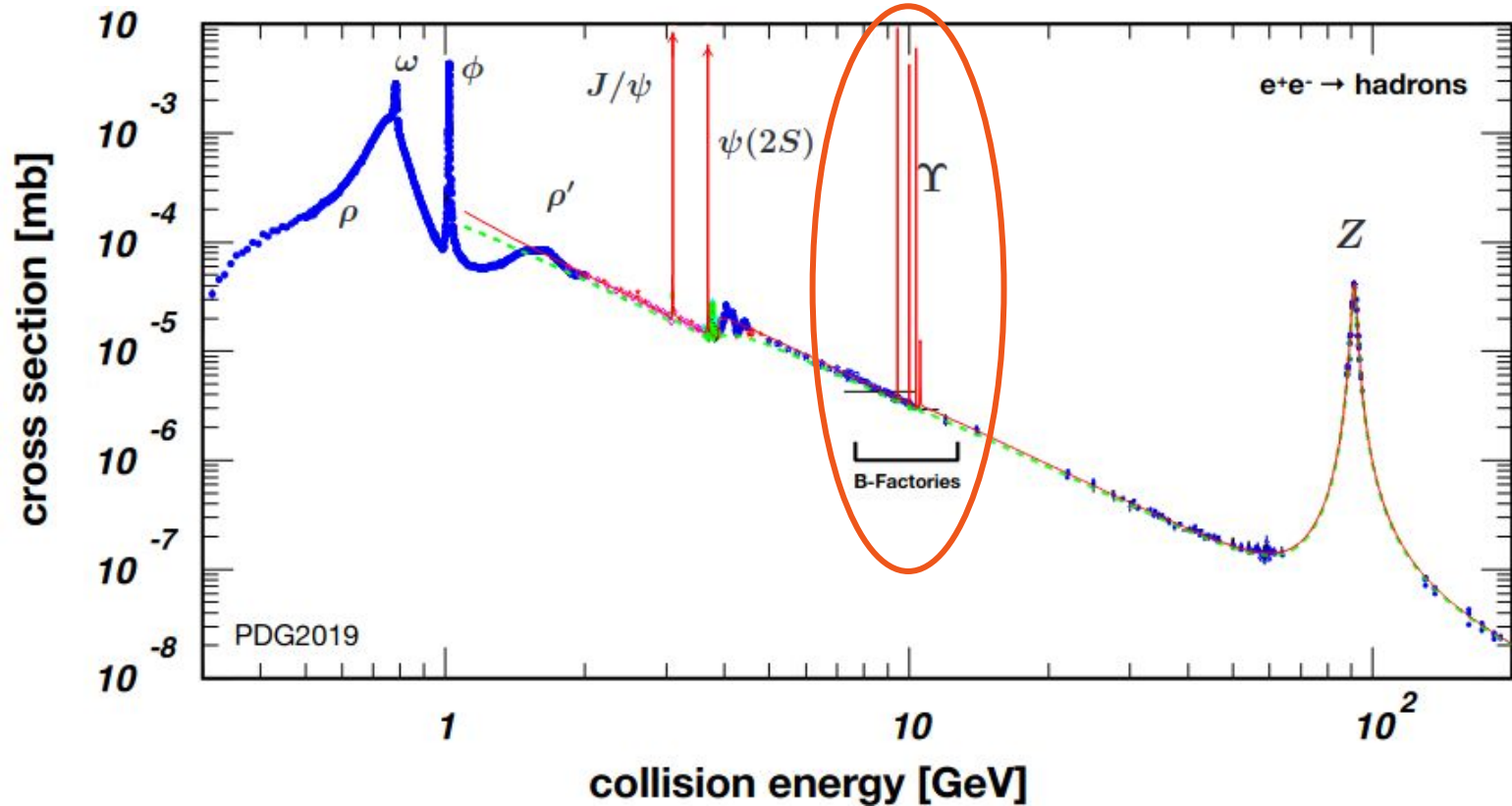


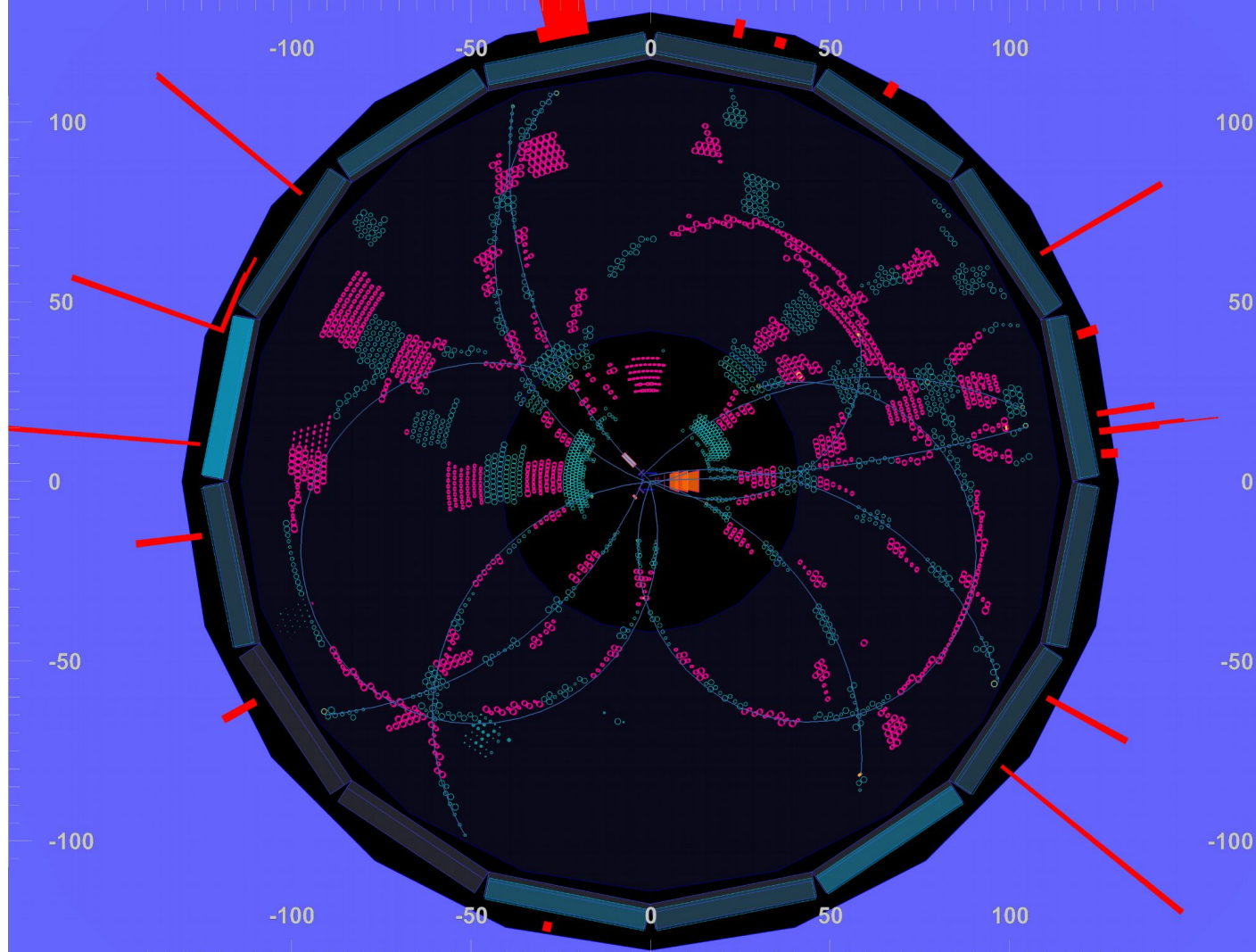
## B-factory di 1<sup>a</sup> generazione (2000-2010):

- Belle + BaBar → 1.5 ab<sup>-1</sup>
- Fondamentale conferma del meccanismo CKM
- Ancora nessuna evidenza di fisica oltre il MS...

# B Factory

$$M(Y(4S)) = 10.58 \text{ GeV}/c^2$$





# Confronto con LHCb

Property	LHCb	Belle II
$\sigma_{b\bar{b}}$ (nb)	$\sim 150,000$	$\sim 1$
$\int L dt$ ( $\text{fb}^{-1}$ ) by $\sim 2024$	$\sim 25$	$\sim 50,000$
Background level	Very high	Low
Typical efficiency	Low	High
$\pi^0, K_S$ reconstruction	Inefficient	Efficient
Initial state	Not well known	Well known
Decay-time resolution	Excellent	Very good
Collision spot size	Large	Tiny
Heavy bottom hadrons	$B_S, B_C, b$ -baryons	Partly $B_S$
$\tau$ physics capability	Limited	Excellent
B-flavor tagging efficiency	3.5 - 6%	36%