

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

Elisa Manoni

elisa.manoni@pg.infn.it





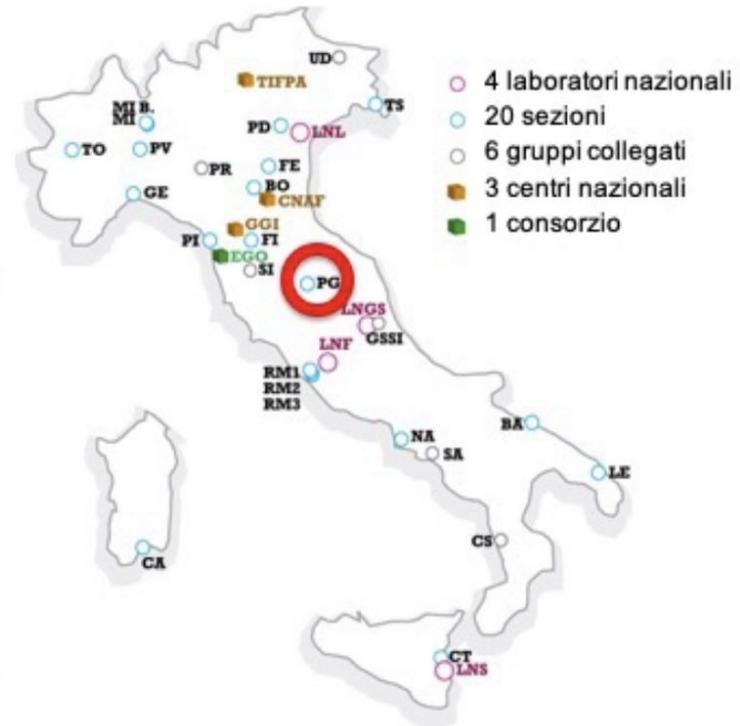
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

Breve introduzione:

*Come molte delle attività discusse oggi, la ricerca nell'ambito dell'esperimento Belle II è svolta in sinergia con l' **Istituto Nazionale di Fisica Nucleare***

(Slide da P. Cenci, Direttrice INFN
Sezione di Perugia)

- L'INFN svolge **attività di ricerca, teorica e sperimentale**, nei campi della **fisica subnucleare, nucleare e astroparticellare** nel contesto di collaborazioni internazionali in ambiti di elevata competizione
- Opera **in stretta collaborazione e sinergia con il mondo universitario italiano**, sulla base di consolidati rapporti pluridecennali
- Sviluppa **tecnologie e strumenti di ricerca d'avanguardia**, sia nei propri laboratori sia in collaborazione con il mondo dell'industria, e favorisce l'innovazione promuovendo il **trasferimento delle proprie conoscenze e tecnologie** al mondo produttivo e alla società
- E' fortemente presente sul territorio nazionale



Le linee di ricerca dell'INFN



- **Fisica delle particelle con acceleratori:** Commissione Scientifica Nazionale 1
- **Fisica delle astroparticelle, delle onde gravitazionali e della fisica fondamentale:** Commissione Scientifica Nazionale 2
- **Fisica Nucleare:** Commissione Scientifica Nazionale 3
- **Fisica Teorica:** Commissione Scientifica Nazionale 4
- **Alta tecnologia:** Commissione Scientifica Nazionale 5): ricerca e sviluppo di tecnologie avanzate e loro applicazioni nella ricerca INFN e in ambiti diversi
- **Calcolo scientifico:** Commissione Calcolo e Reti (Big Data, Intelligenza Artificiale, etc)

⇒ l'attività di ricerca della Sezione INFN di Perugia include **tutte** queste linee di ricerca



Il gruppo Belle II di Perugia



Claudia Cecchi
(capogruppo)
Professoressa
associata



Elisa Manoni
Ricercatrice INFN



**Maurizio
Biasini**
Professore
associato



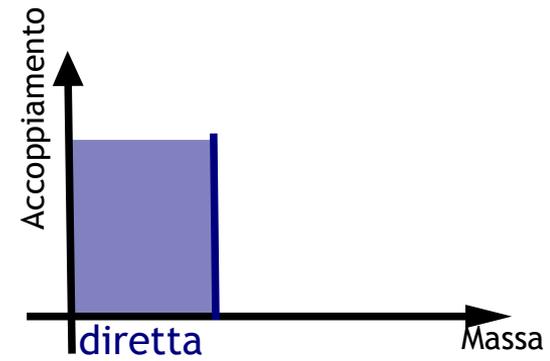
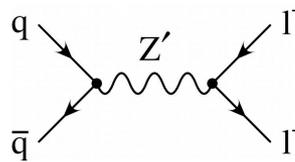
Roberta Volpe
Ricercatrice UniPG



Stefano Moneta
Assegnista di
ricerca

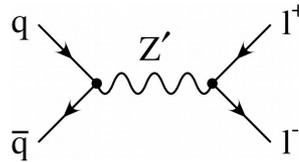
Ricerca di nuova fisica

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

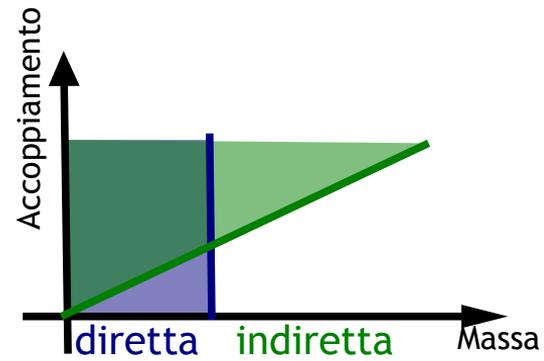
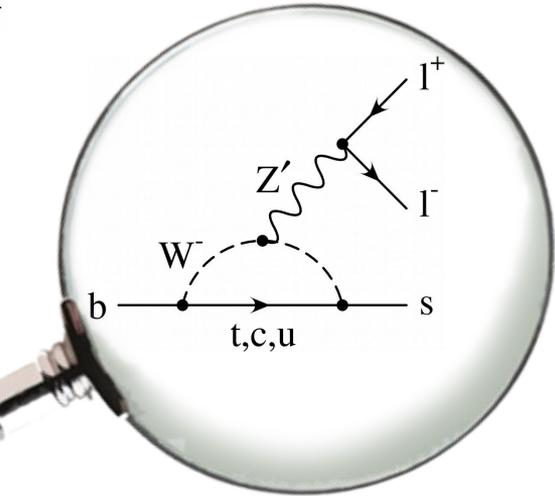


Ricerca di nuova fisica

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

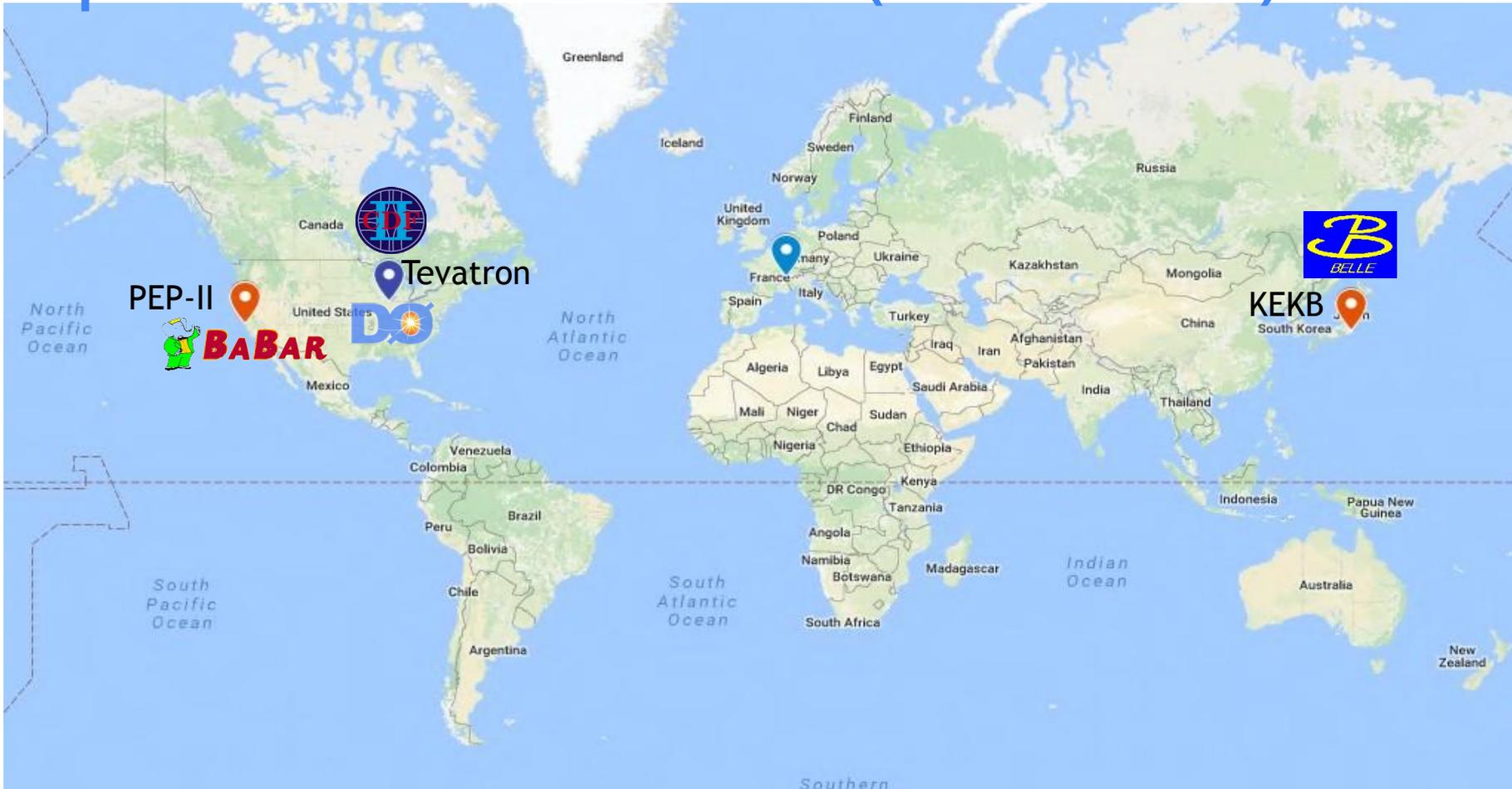


- Ricerca indiretta: contributi di nuove particelle all'interno di processi noti
 - Misure di precisione: richiedono molti eventi per scovare piccole differenze rispetto al Modello Standard
 - Belle II, LHCb, NA62, g-2, ...

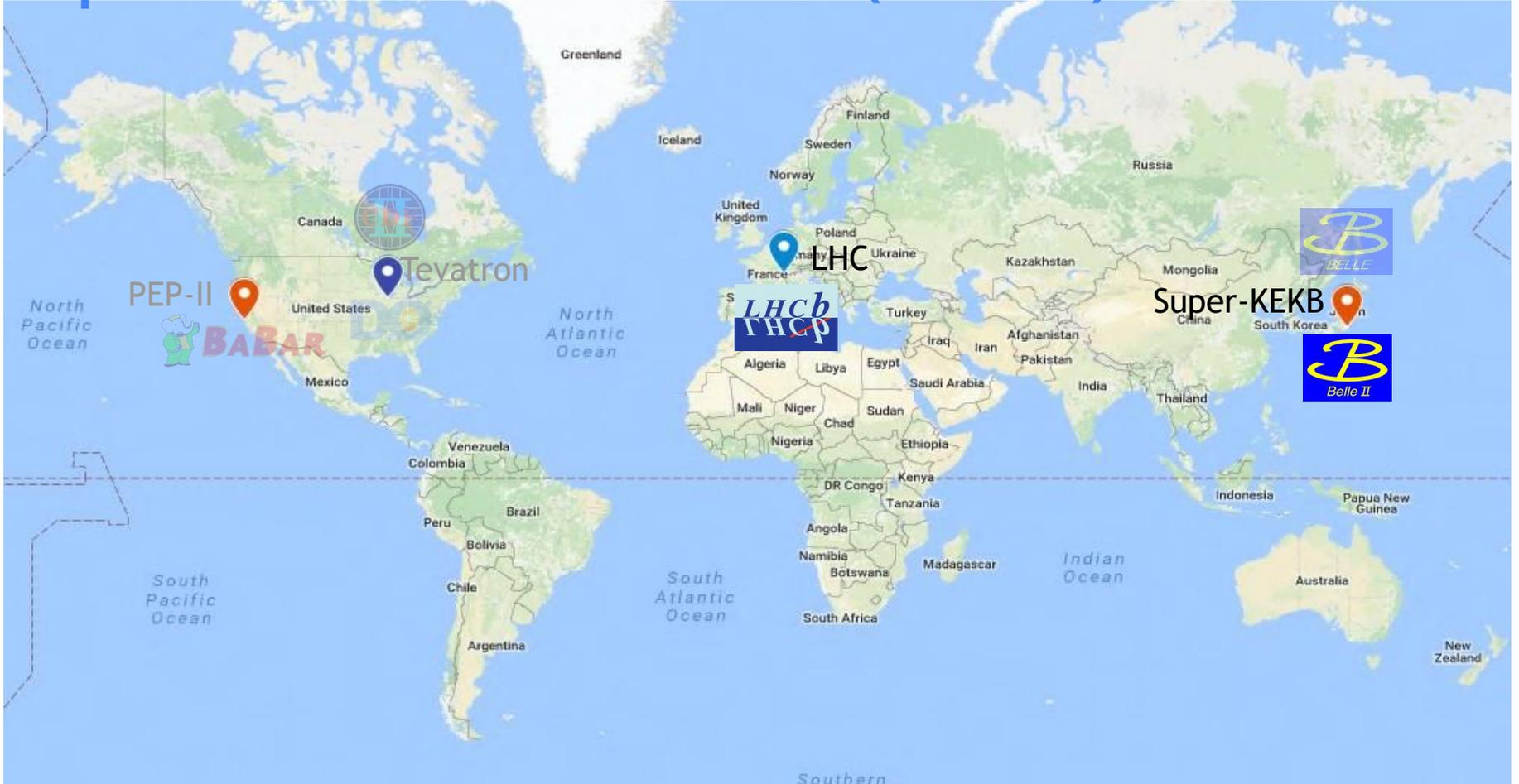


I mesoni B offrono possibilità di esplorare nuova fisica

Esperimenti di fisica dei B (2000 - 2010)

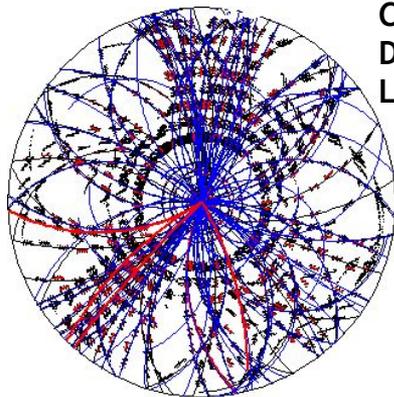


Esperimenti di fisica dei B (> 2010)



Come si producono mesoni B ?

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



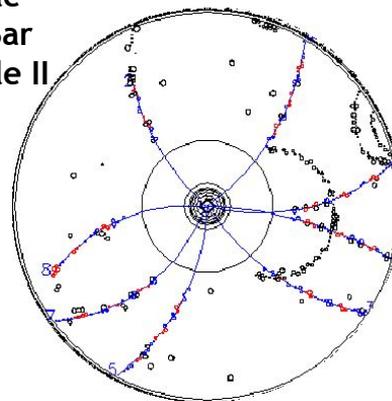
CDF
DO
LHCb



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^-

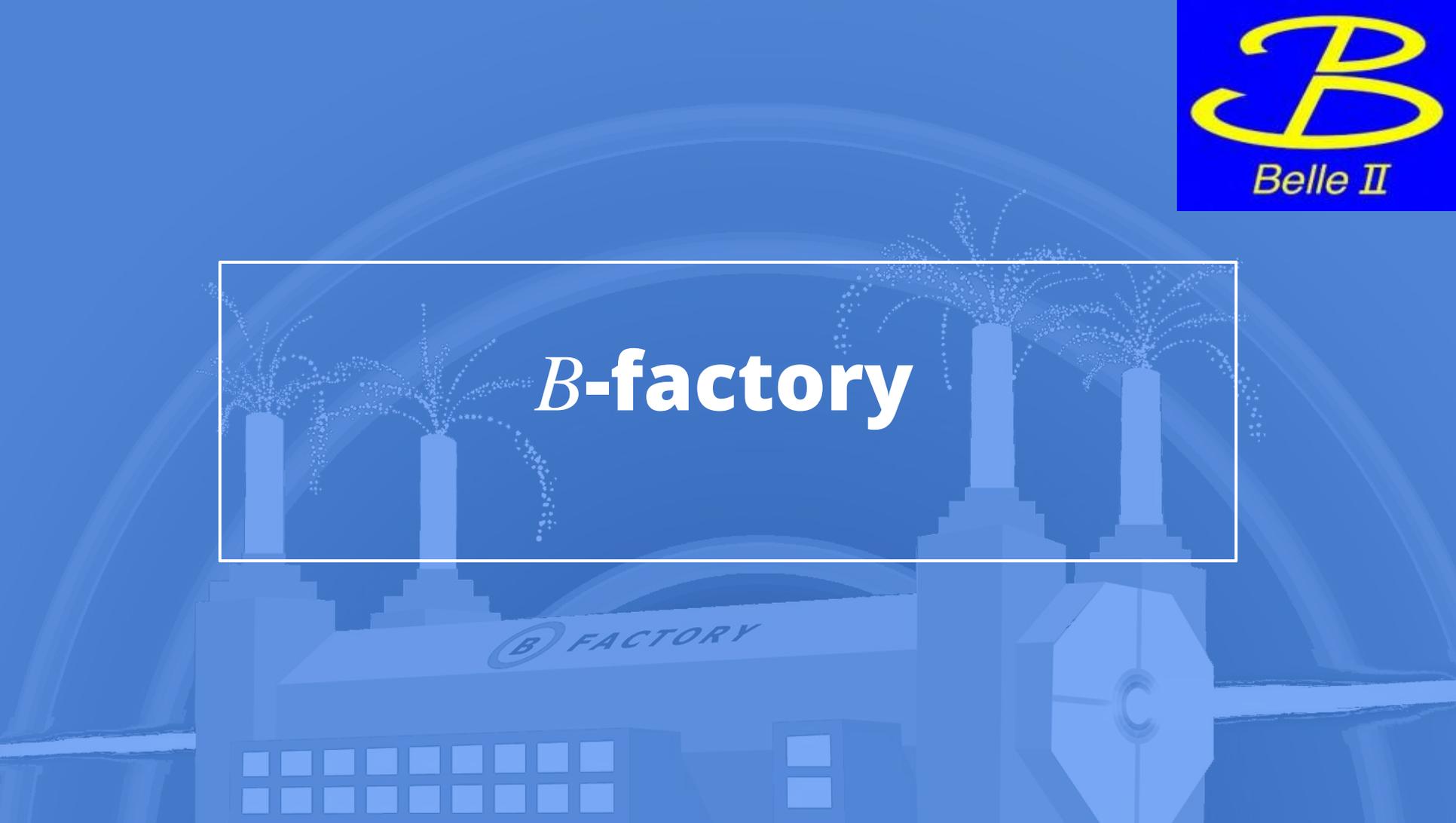
Interazione **elettromagnetica** tra particelle elementari

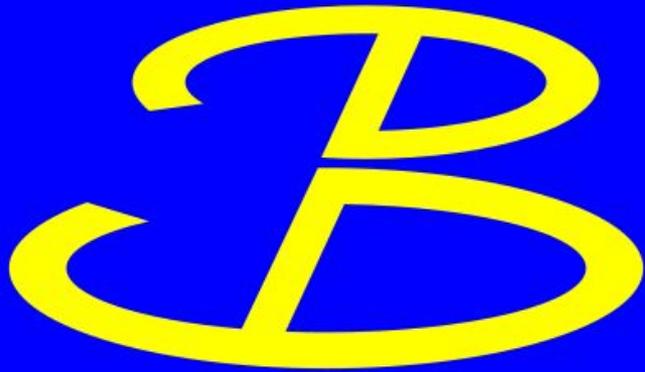
- ✓ Cinematica iniziale nota
- ✓ Puri eventi BB dalla risonanza $Y(4S)$, senza tracce aggiuntive
- ✗ Basso rate di collisioni utili
- ✗ Solo $B^0\bar{B}^0$, B^+B^-



Belle II

B-factory

A stylized illustration of the Belle II facility in shades of blue. It features a large building with a grid of windows, several tall vertical structures with particle tracks emanating from them, and a large octagonal detector component on the right. The text 'B FACTORY' is visible on the building's facade.
B FACTORY



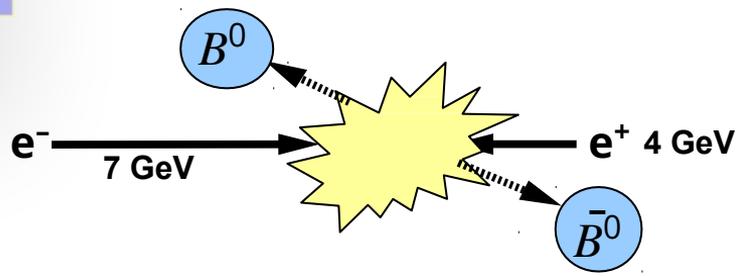
Belle II

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

Ma ci sono altri punti di vista...



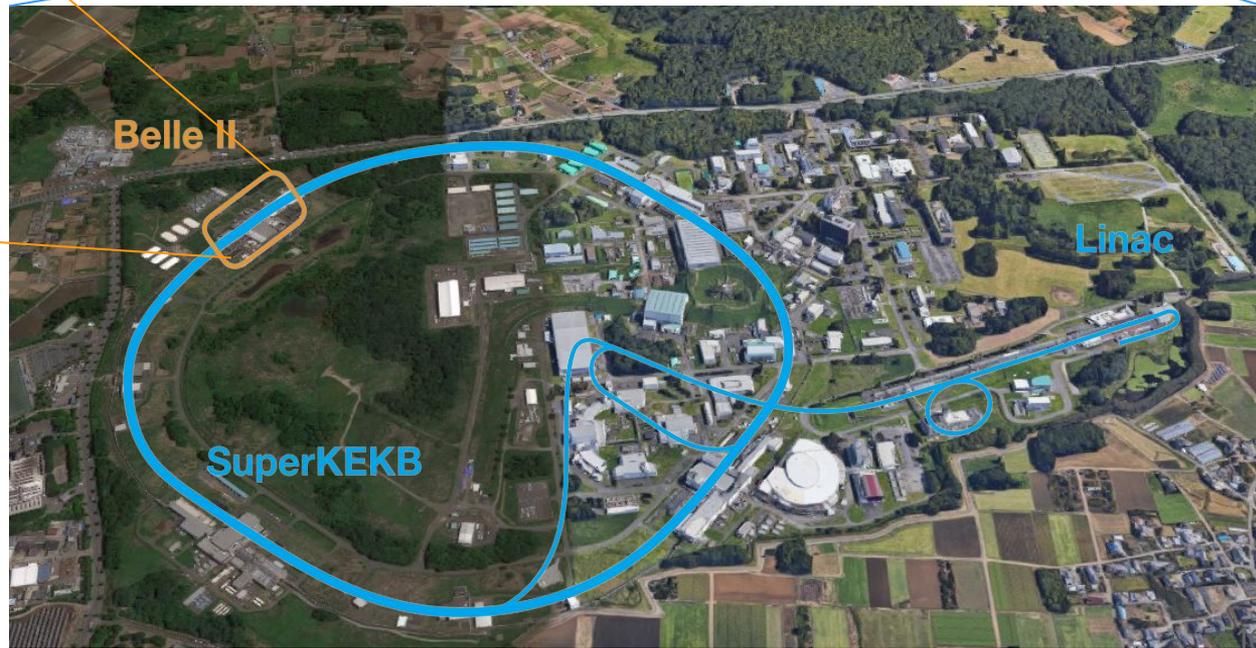
*... i B sono prodotti da $e^- + e^+$
che collidono con energie
asimmetriche ...*





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





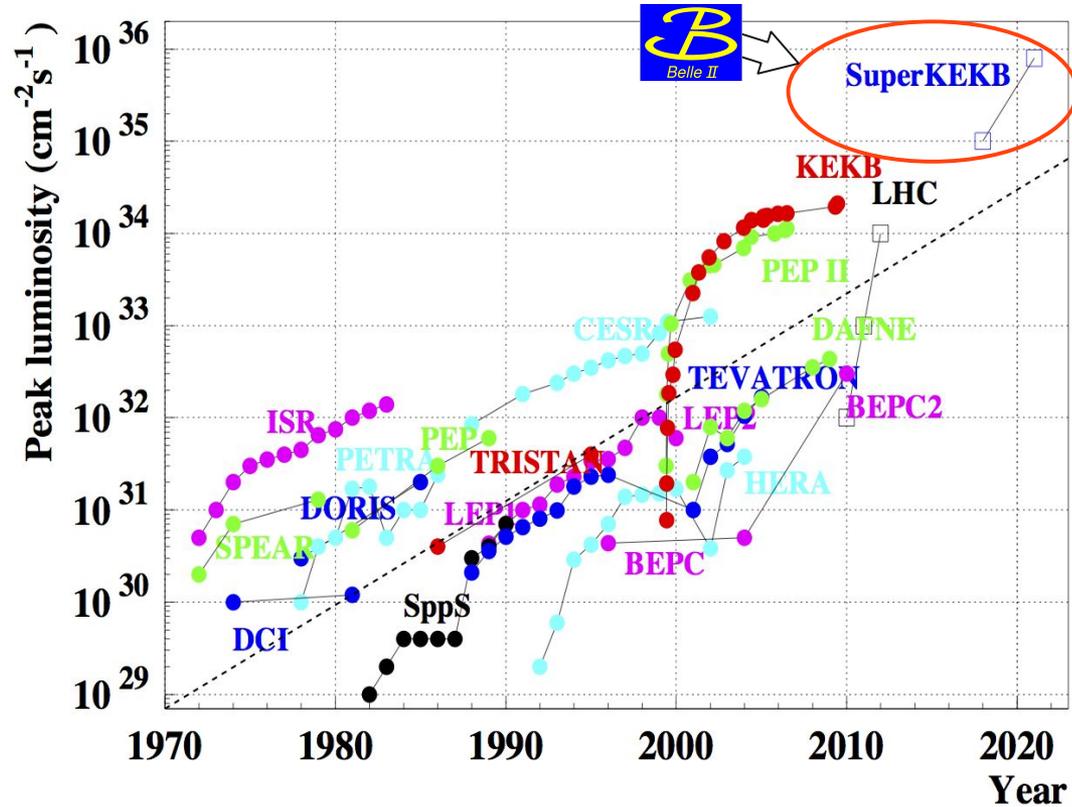
La collaborazione Belle II



Belle II general meeting, febbraio 2024

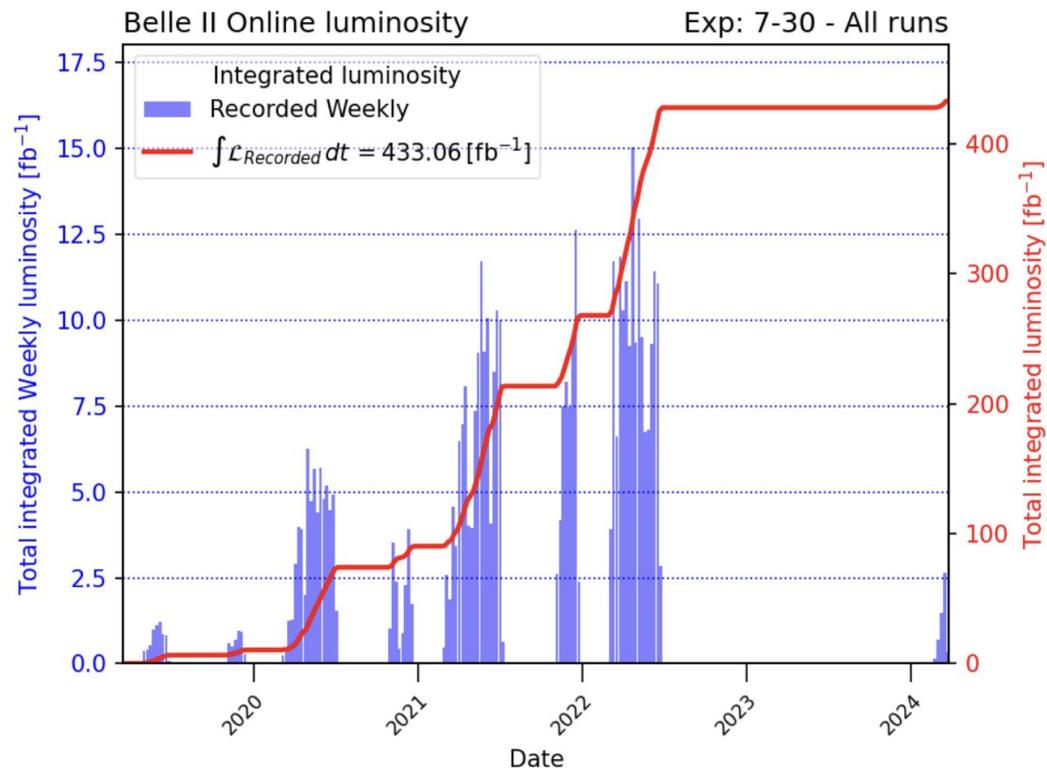
28 countries/regions, 125 institutes, ~ 1200 active members

La nuova frontiera dell'intensità





- **Run 1:** prima presa dati conclusa in estate 2022
- > 400 milioni di eventi BB
- **Record mondiale di luminosità:**
 $4.7 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
- **Run 2:** riaccensione il 20 febbraio 2024, dopo parziale **upgrade** del rivelatore e dell'acceleratore
- Target di luminosità istantanea $\sim 2 \times 10^{35} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$



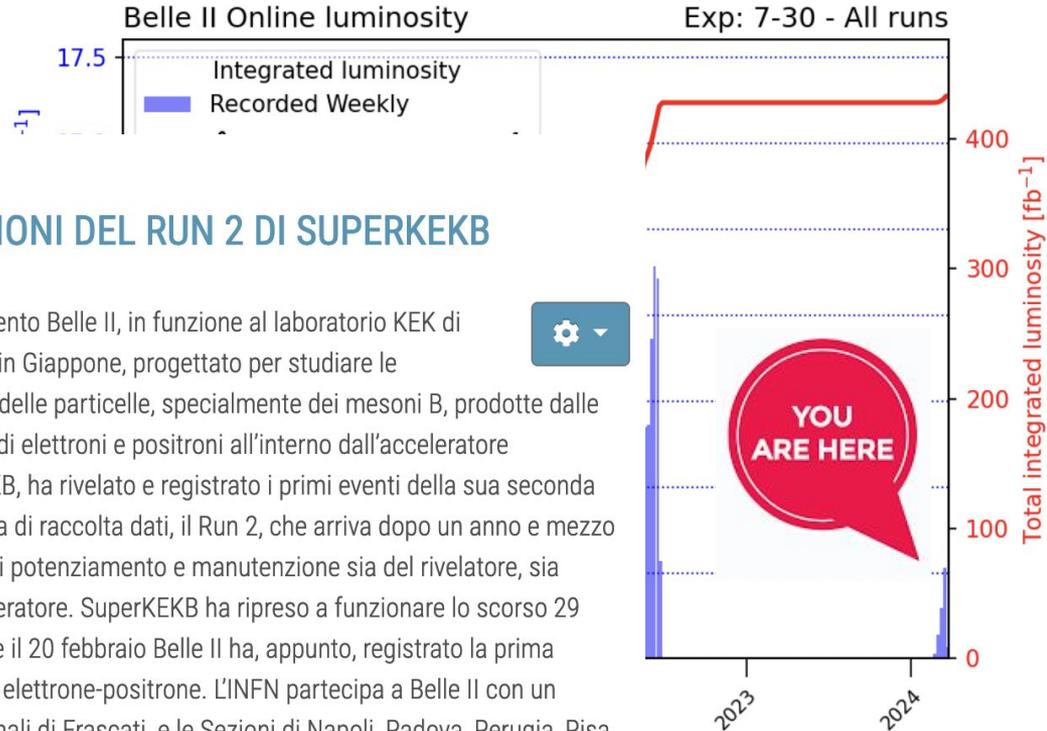
21 FEBBRAIO 2024

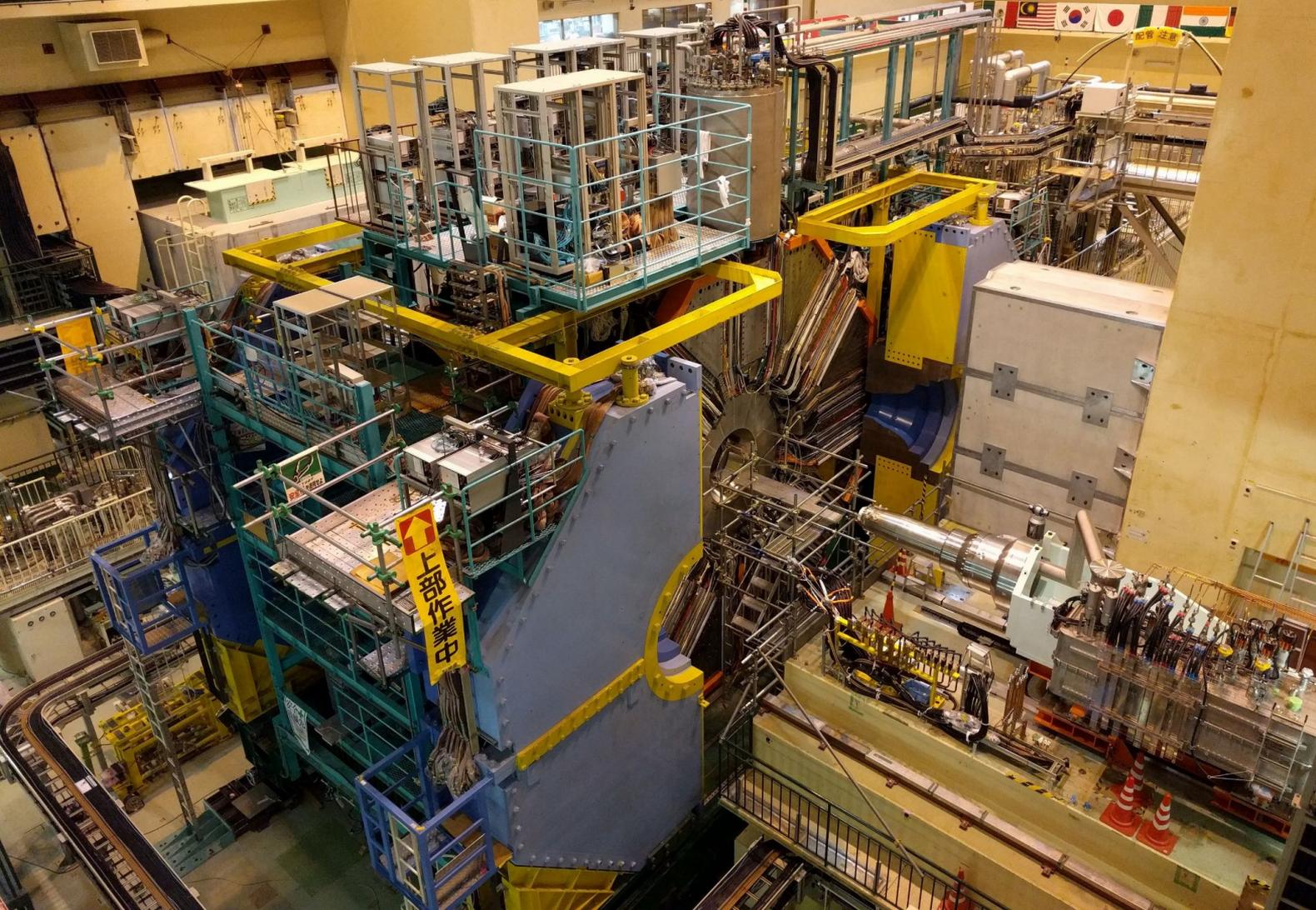
GIAPPONE: BELLE II OSSERVA LE PRIME COLLISIONI DEL RUN 2 DI SUPERKEKB



L'esperimento Belle II, in funzione al laboratorio KEK di Tsukuba, in Giappone, progettato per studiare le proprietà delle particelle, specialmente dei mesoni B, prodotte dalle collisioni di elettroni e positroni all'interno dall'acceleratore SuperKEKB, ha rivelato e registrato i primi eventi della sua seconda campagna di raccolta dati, il Run 2, che arriva dopo un anno e mezzo di lavori di potenziamento e manutenzione sia del rivelatore, sia dell'acceleratore. SuperKEKB ha ripreso a funzionare lo scorso 29 gennaio, e il 20 febbraio Belle II ha, appunto, registrato la prima collisione elettrone-positrone. L'INFN partecipa a Belle II con un

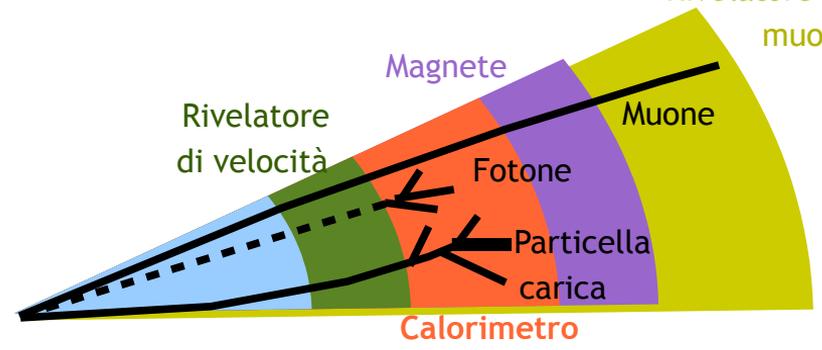
gruppo di circa 70 ricercatori e ricercatrici di 8 strutture: i Laboratori Nazionali di Frascati, e le Sezioni di Napoli, Padova, Perugia, Pisa, Roma Tre, Torino e Trieste.





Belle II: il rivelatore

Rivelatore di muoni



Calorimetro elettromagnetico omogeneo, 8736 cristalli di CsI(Tl) + PMT



elettroni (7GeV)

Rivelatore di K_L e muoni:
RPC o scintillatori con PMT

Identificazione K/π
Time-of-propagation (barrel)
Prox. focusing Aerogel RICH (avanti)

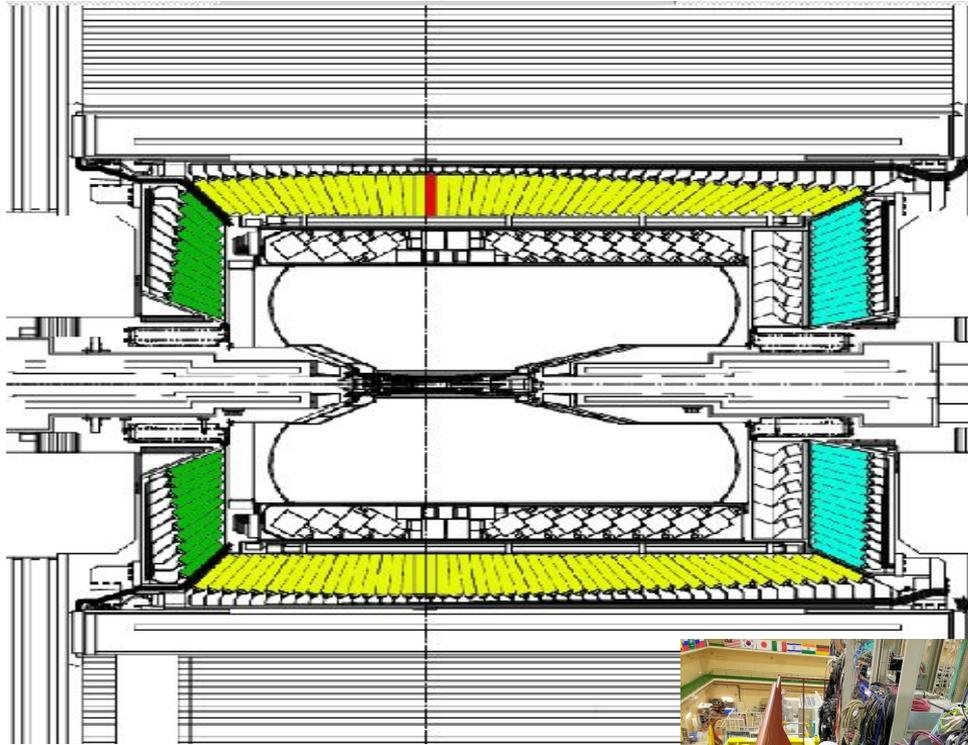
positroni (4GeV)

Rivelatore di vertice:
2 strati Pixel Si+
4 strati microstrisce Si

Camera a deriva:
gas: He(50%) + C₂H₆(50%)

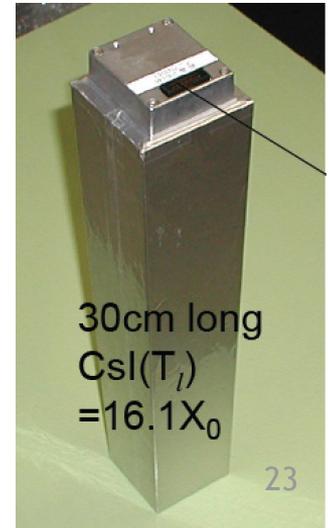
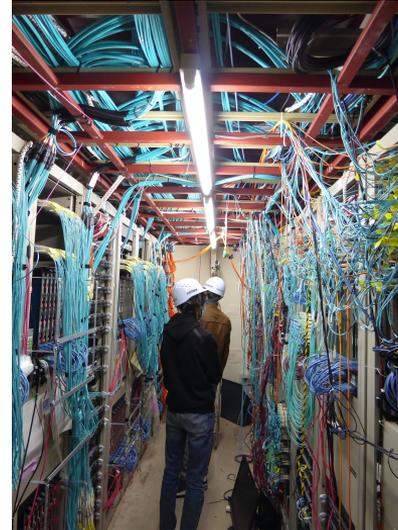


Il Calorimetro Elettromagnetico



Fondamentale per la fisica dei B :

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

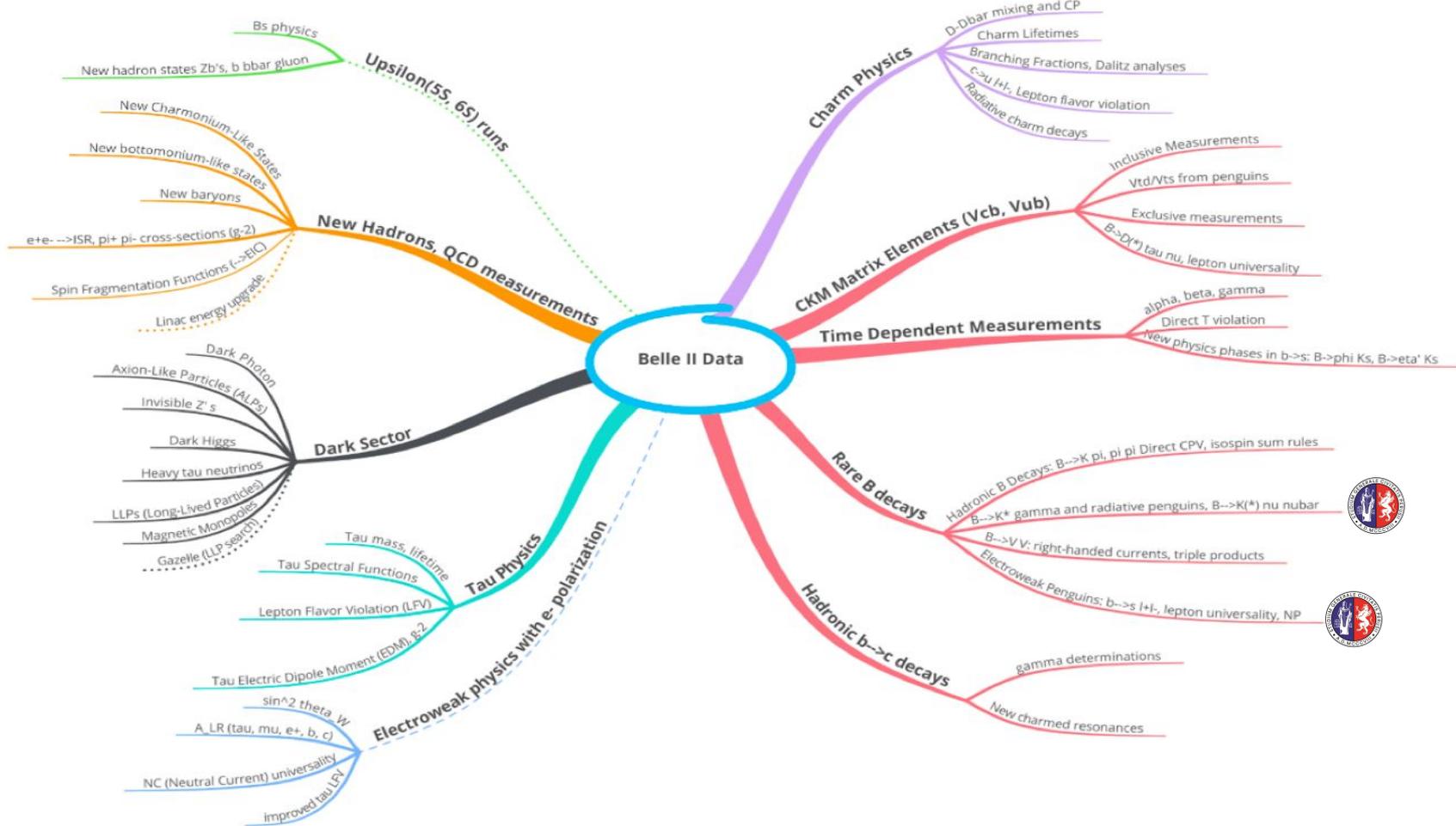


30cm long
 $Csl(Tl)$
 $=16.1X_0$

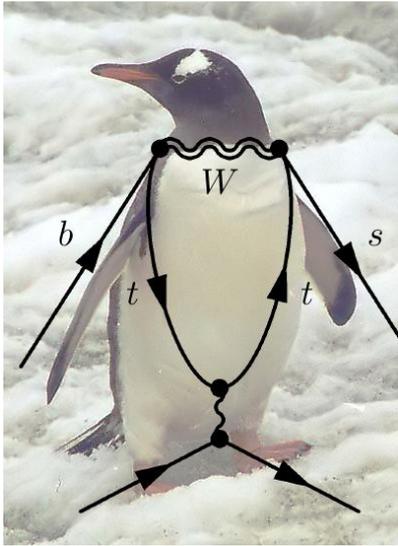
La fisica a Belle II



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

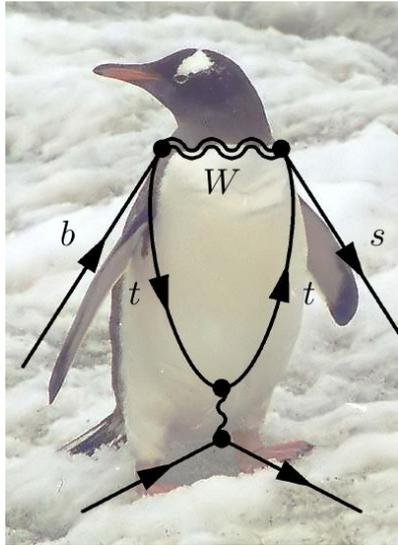
VULNERABLE



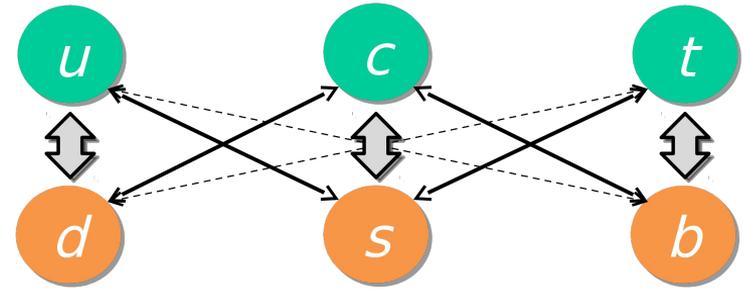
YELLOW-EYED

ENDANGERED

Decadimenti rari dei B

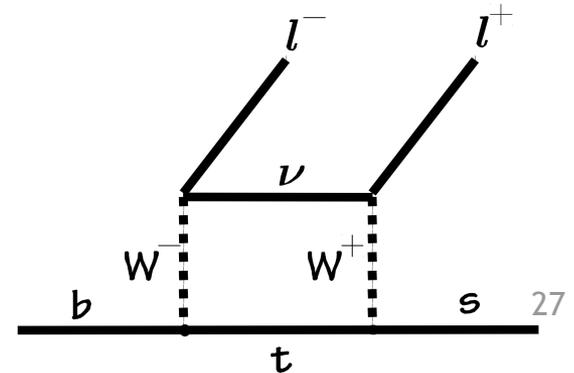
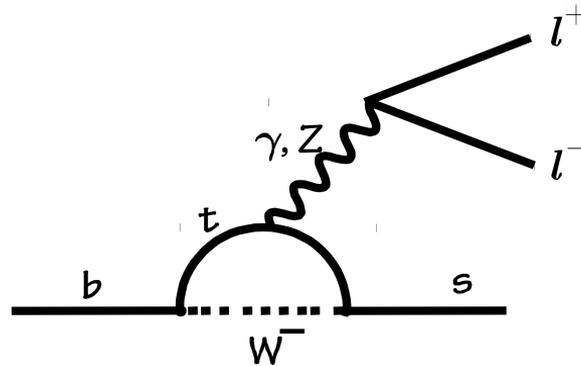


Transizioni $b \rightarrow s$



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**



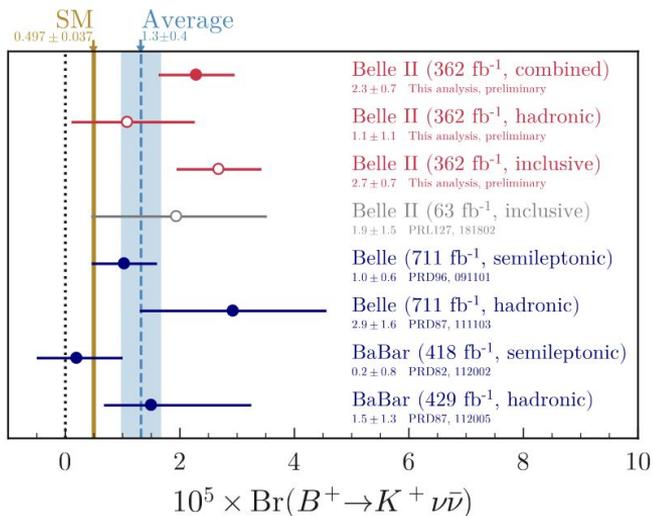
Decadimenti rari dei B



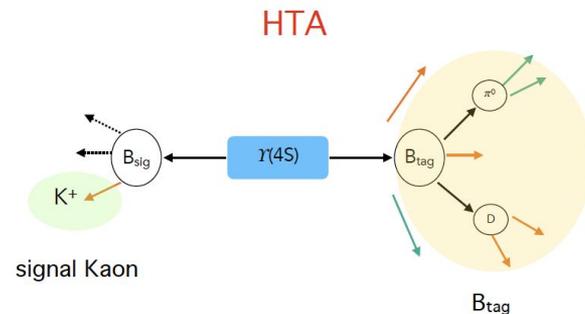
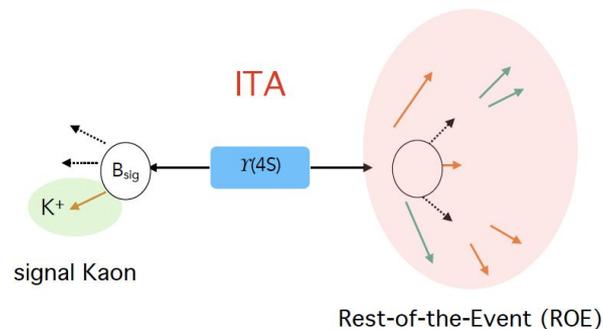
Evidence for $B^+ \rightarrow K^+ \nu \bar{\nu}$ Decays

Adamczyk , L. Aggarwal , H. Ahmed , H. Aihara , N. Akopov , A. A. Asner , H. Atmacan , T. Aushev , V. Aushev , M. Aversano , V. Babı

likelihood fit. Our inclusive and hadronic analyses yield consistent results for the $B^+ \rightarrow K^+ \nu \bar{\nu}$ branching fraction of $[2.7 \pm 0.5(\text{stat}) \pm 0.5(\text{syst})] \times 10^{-5}$ and $[1.1^{+0.9}_{-0.8}(\text{stat})^{+0.8}_{-0.5}(\text{syst})] \times 10^{-5}$, respectively. Combining the results, we determine the branching fraction of the decay $B^+ \rightarrow K^+ \nu \bar{\nu}$ to be $[2.3 \pm 0.5(\text{stat})^{+0.5}_{-0.4}(\text{syst})] \times 10^{-5}$, providing the first evidence for this decay at 3.5 standard deviations. The combined result is 2.7 standard deviations above the standard model expectation.



Sottomesso a rivista a Novembre 2023, accettato da PRD [[2311.14647](https://arxiv.org/abs/2311.14647)]





- **Ricerca dei decadimenti $B \rightarrow K^{(*)}\nu\nu$ con tag semileptonico**
 - aggiunta di canali $b \rightarrow s\nu\nu$
 - studio con tag alternativo a quelli inclusivo ed adronico

- **Analisi connesse a performance/tecniche di ricostruzione**
 - **Conteggio di coppie BB** (normalizzazione nelle misure di branching ratio del B)
 - **Studio delle performance ed ottimizzazione di “tagging” semileptonico**

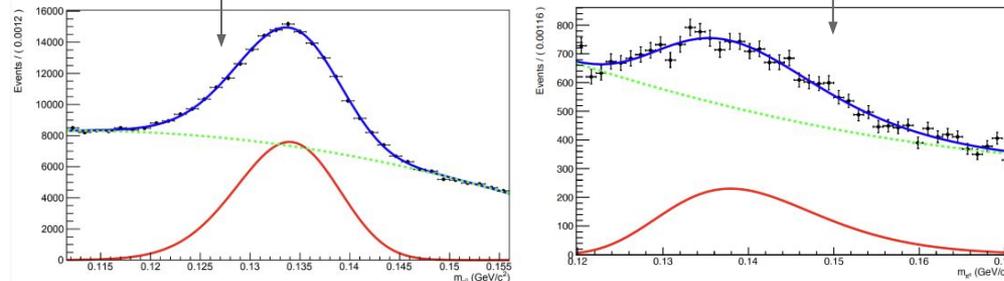
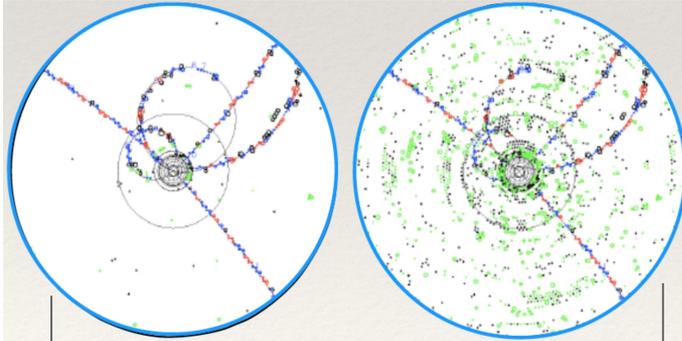
$$\mathcal{B}(B \rightarrow XYZ) = \frac{N_{sig}}{N_{B\bar{B}} \times \epsilon}$$

Verso Run 3



- **Run3** previsto dopo il 2028, target di luminosita' istantanea $6 \times 10^{35} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
> luminosita' \Rightarrow + dati 😊😊😊, + "fondo macchina" 😞🤖

condizioni di fondo macchina
nominali condizioni di fondo macchina
3X nominali



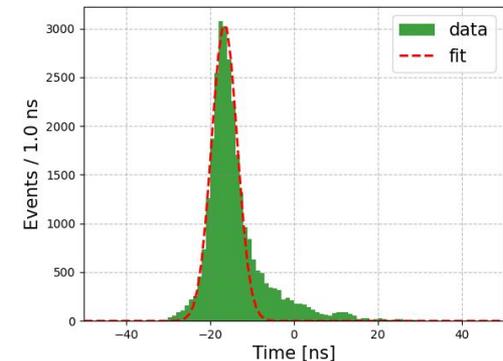
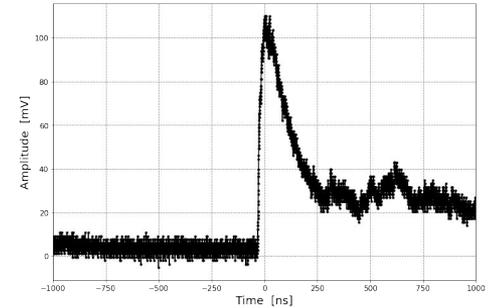
Massa ricostruita del π^0

- Necessario studiare
 - le performance del rivelatore in scenari a piu' alta luminosita' \rightarrow upgrade del rivelatore
 - l'impatto nella ricostruzione di oggetti fisici \rightarrow ottimizzazione degli algoritmi di ricostruzione

Possibilità di tesi: calorimetro EM



- **Studio di upgrade per il calorimetro elettromagnetico**
 - **Misure in laboratorio** su cristalli diversi e fotorivelatori innovativi (SiPM) per misure di tempo
 - Sviluppo di **software per lo studio della ricostruzione di π^0 e particelle neutre**, al variare della luminosità (e del “fondo macchina”)
- Attività di monitoring nel run corrente
 - **Studi dei fondi-macchina e loro impatto sulle misure di fisica**

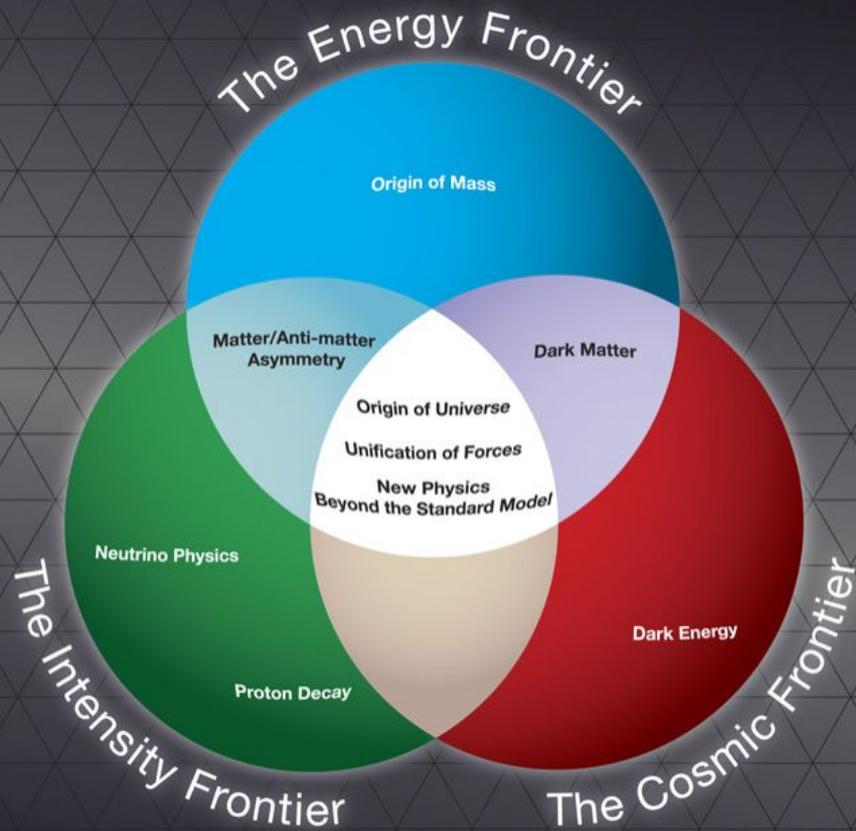


**Esplorare
oltre...**

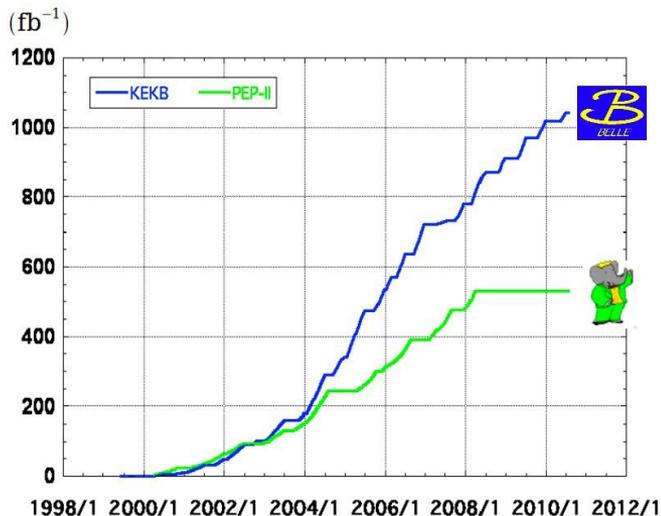


Backup



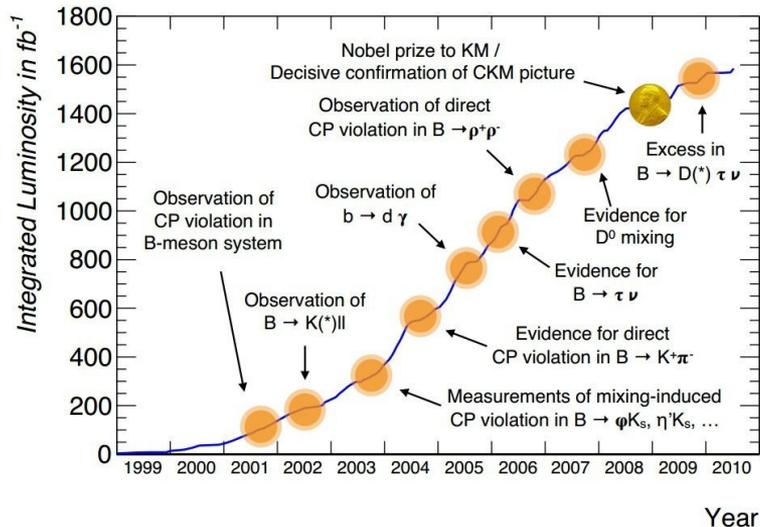


Fisica alle B-factories



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

~ 550 fb⁻¹
On resonance:
 Y(4S): 433 fb⁻¹
 Y(3S): 30 fb⁻¹
 Y(2S): 14 fb⁻¹
Off resonance:
 ~ 54 fb⁻¹

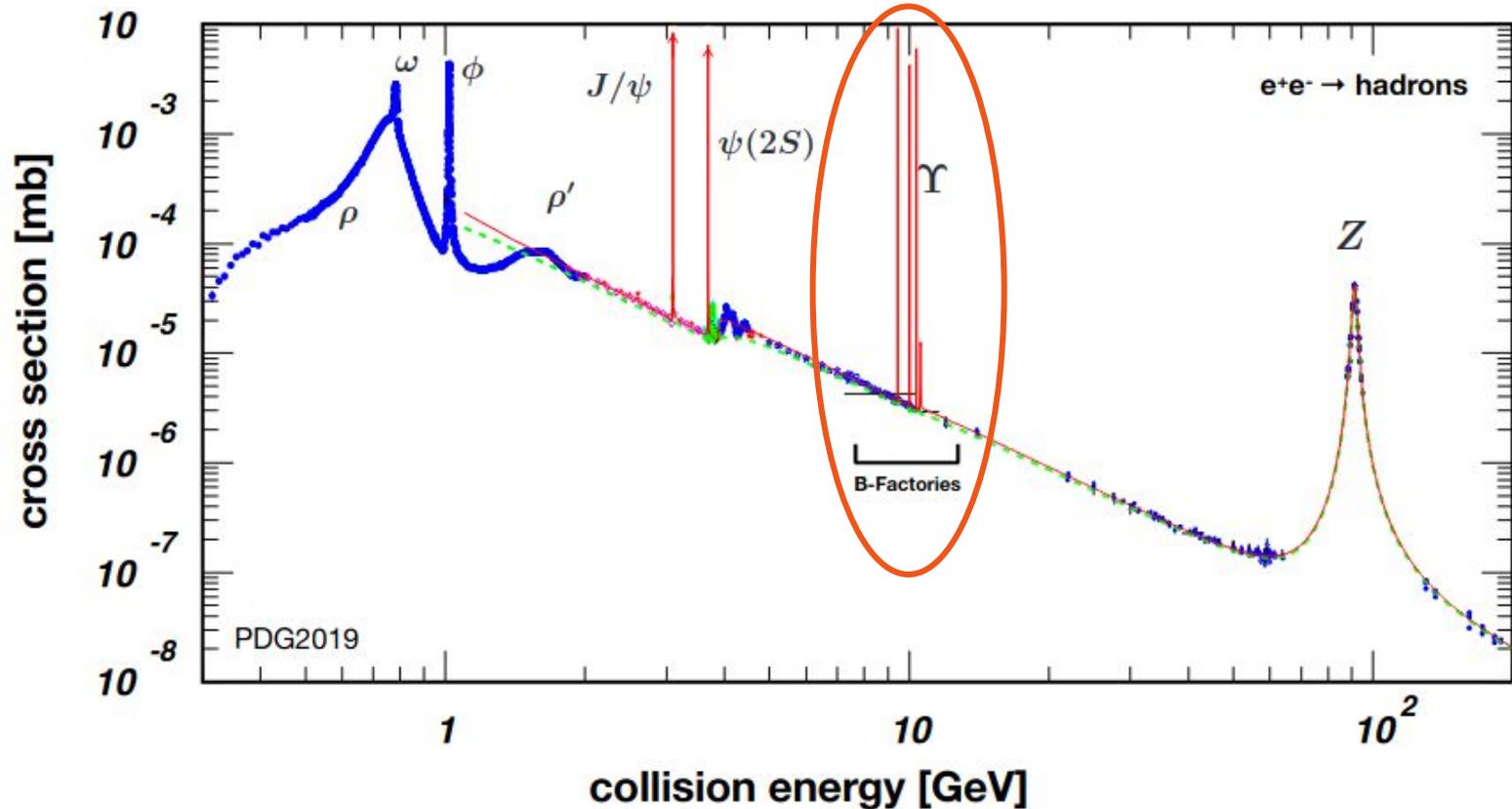


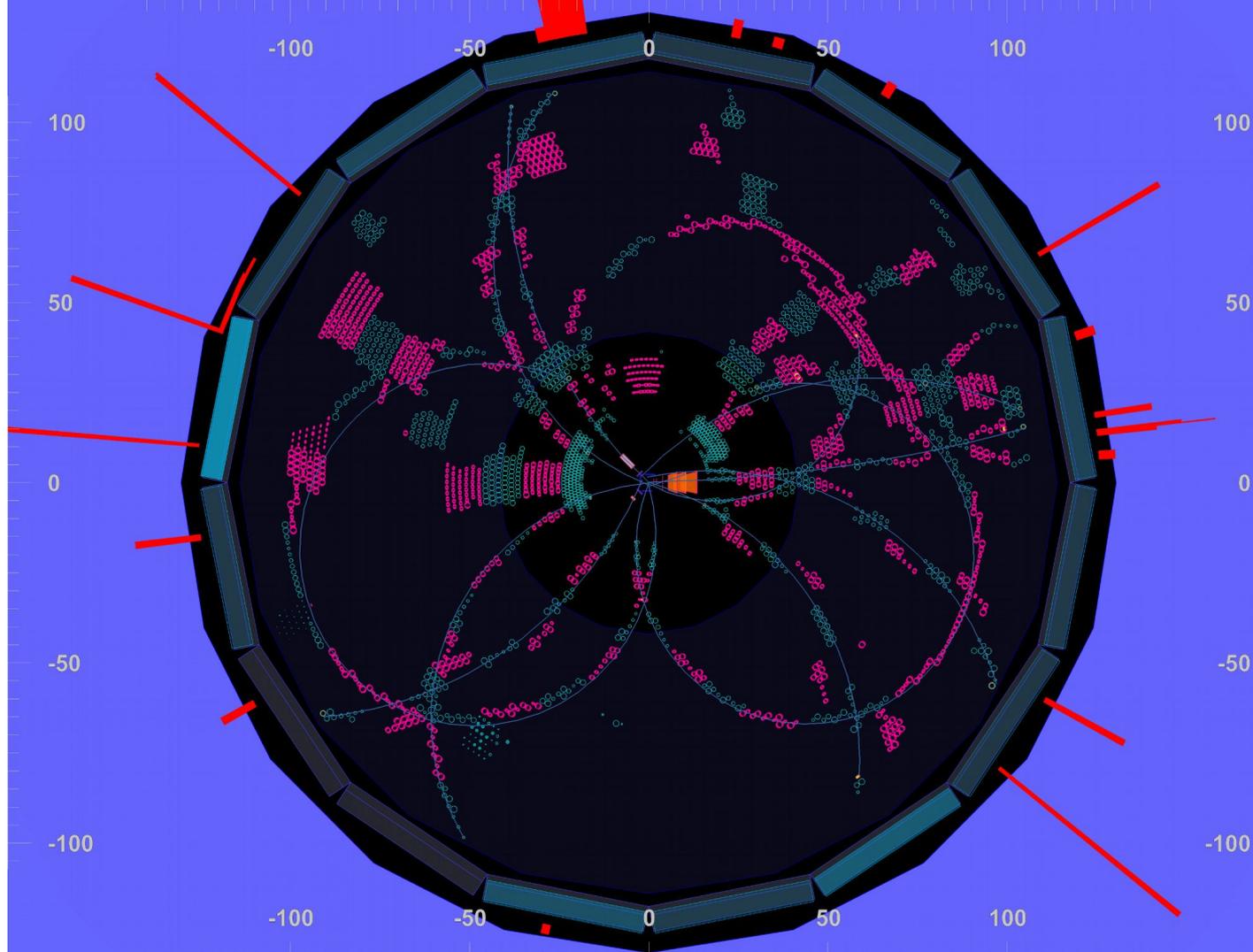
B-factory di 1^a generazione (2000-2010):

- Belle + BaBar → 1.5 ab⁻¹
- 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)	~150,000	~1
$\int L dt$ (fb ⁻¹) by ~2024	~25	~50,000
Background level	Very high	Low
Typical efficiency	Low	High
π^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
τ physics capability	Limited	Excellent
B-flavor tagging efficiency	3.5 - 6%	36%