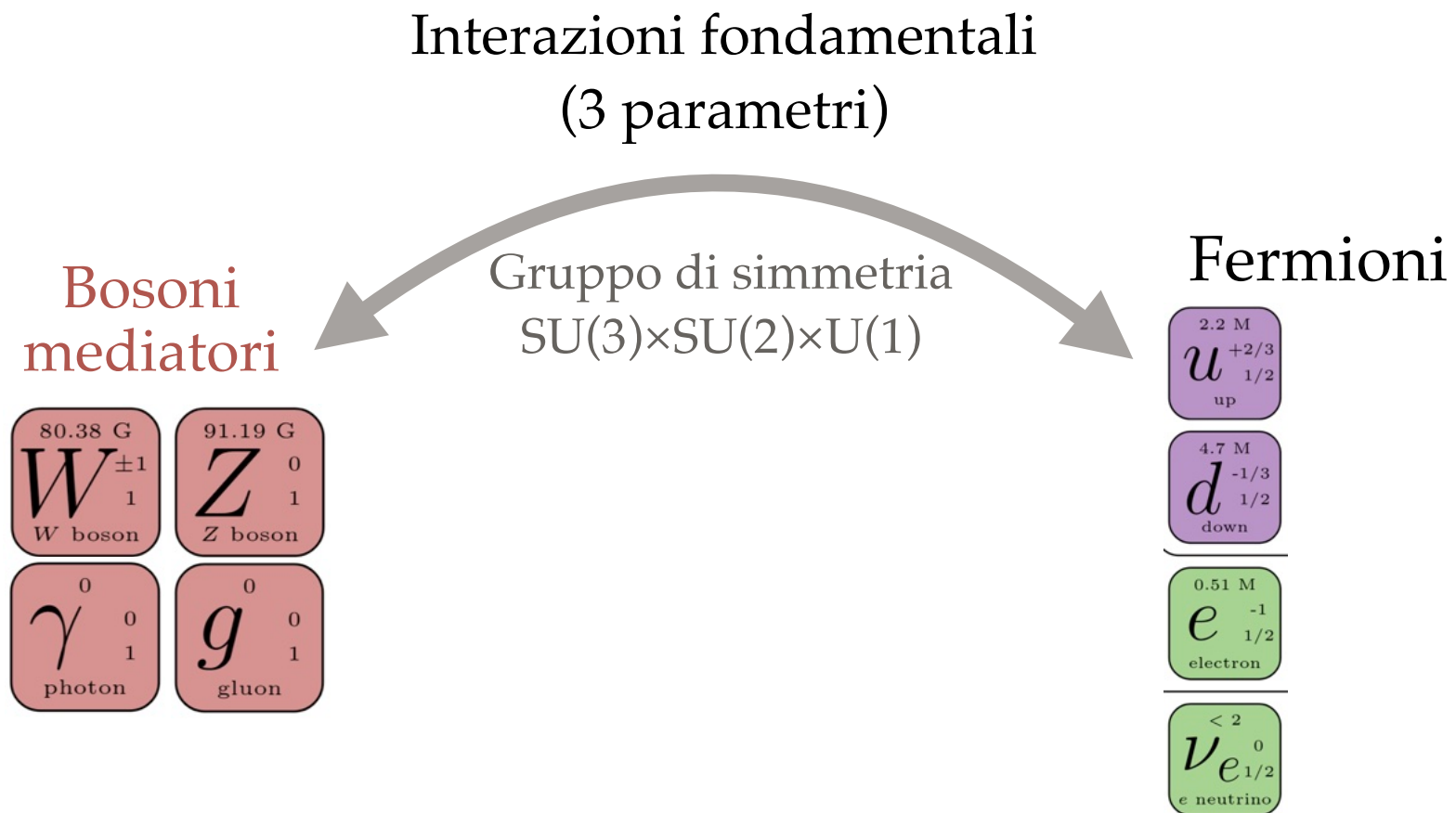




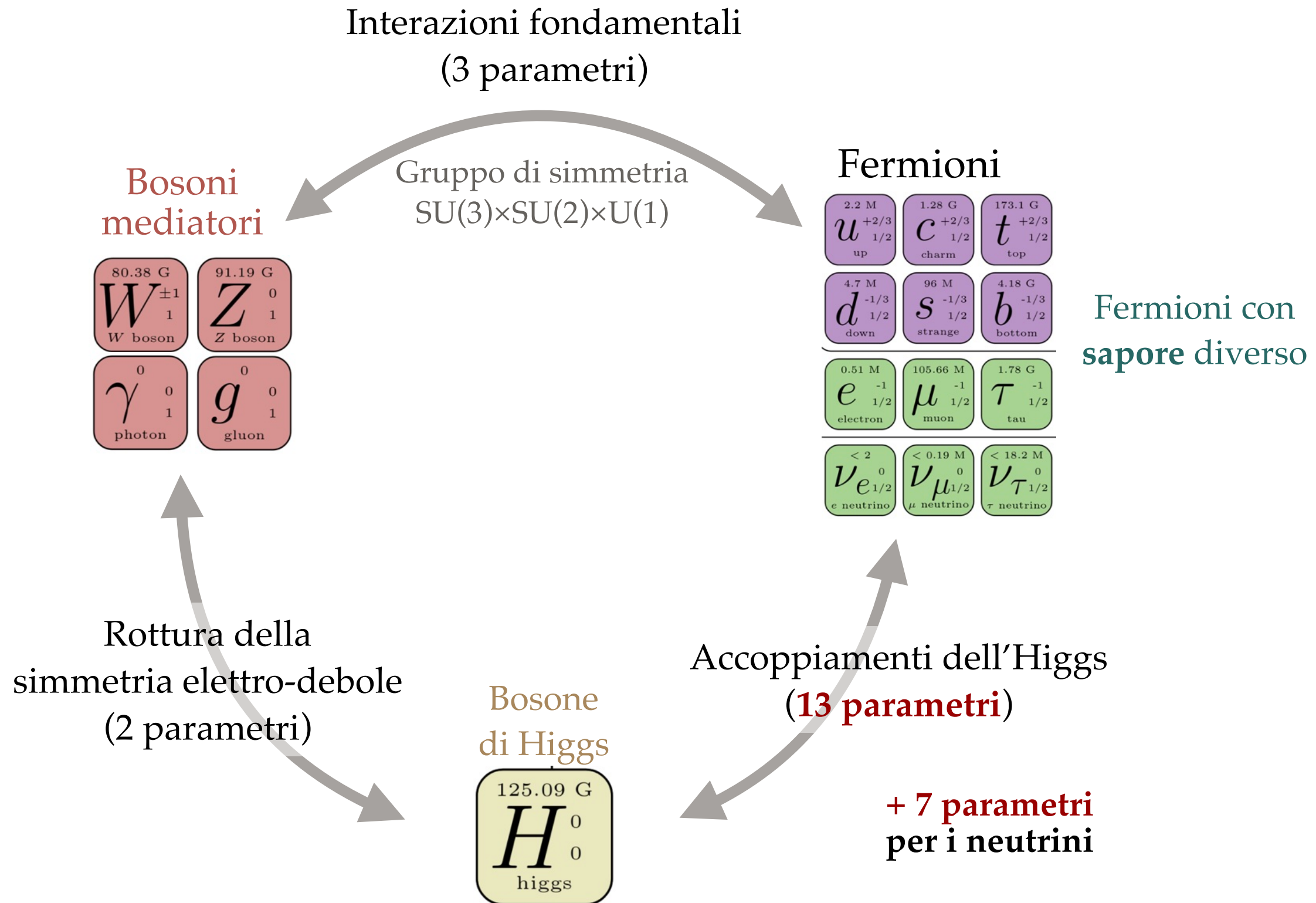
Fisica del sapore a LHCb

*Presentazione delle
attività di tesi triennali*

Il Modello Standard



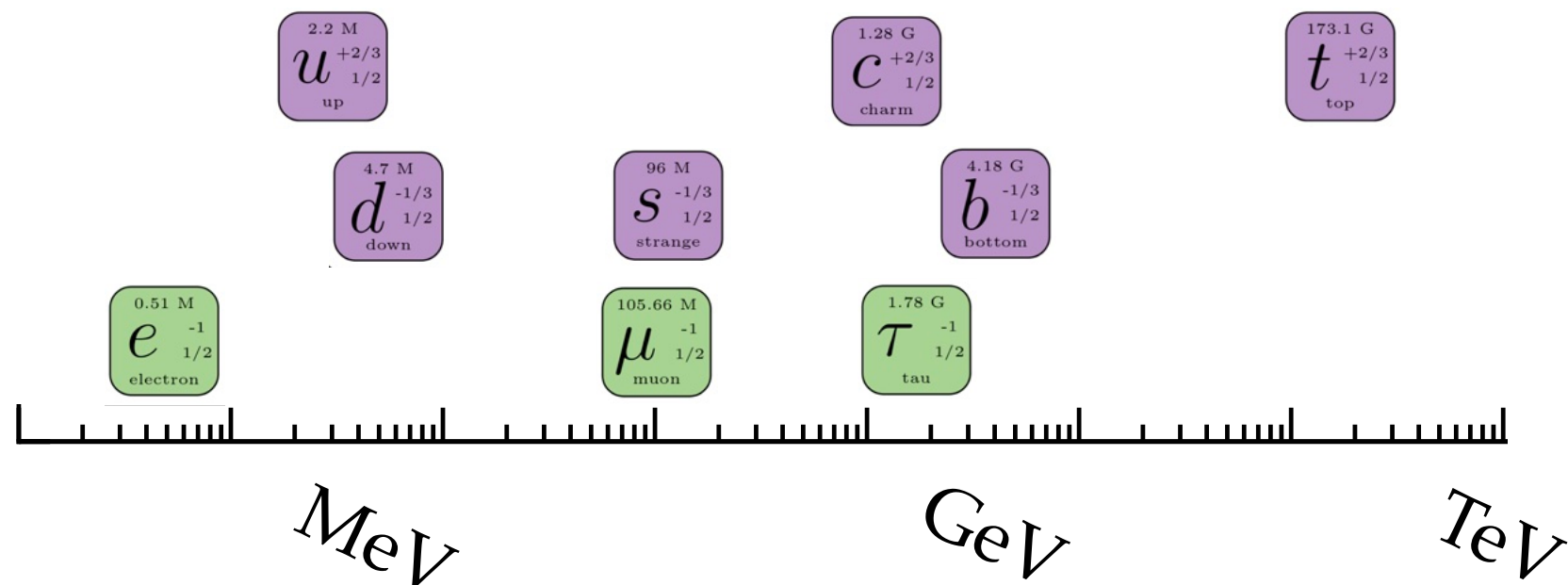
Il Modello Standard



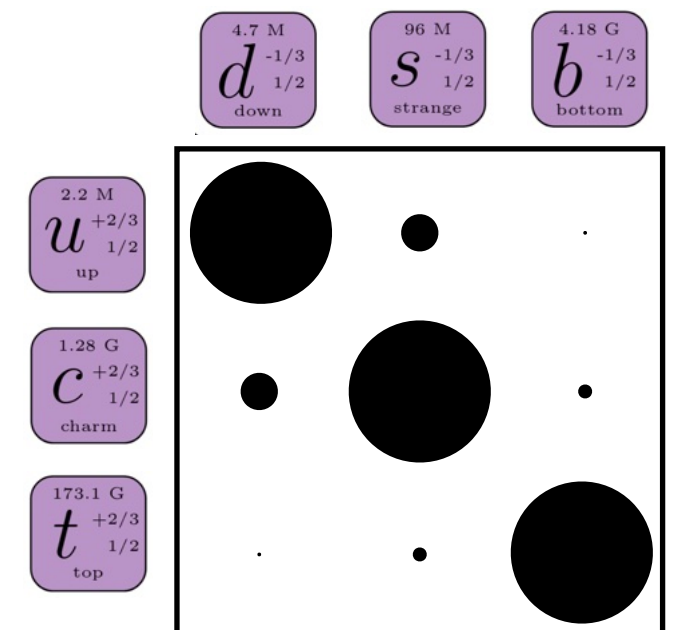
Il mistero del sapore

i 13 parametri del sapore hanno un pattern suggestivo

Masse dei fermioni



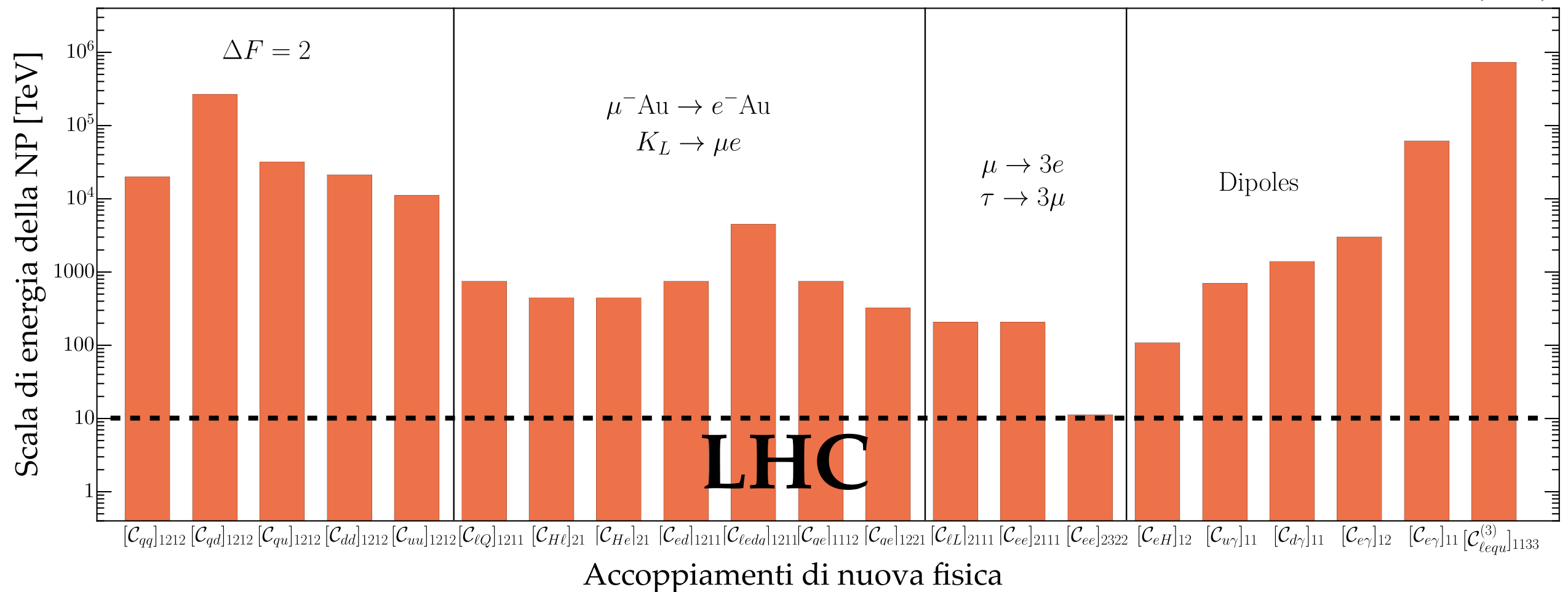
Mixing dei quark



Qual è l'origine del sapore fermionico?

Il sapore della nuova fisica

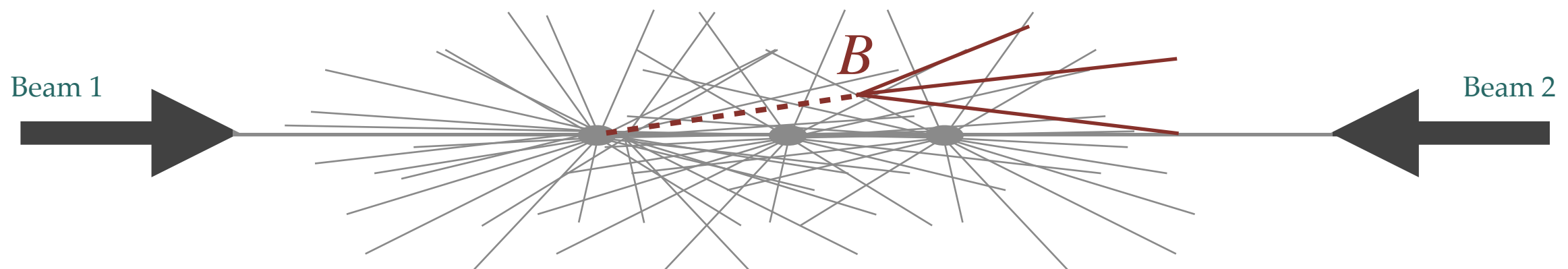
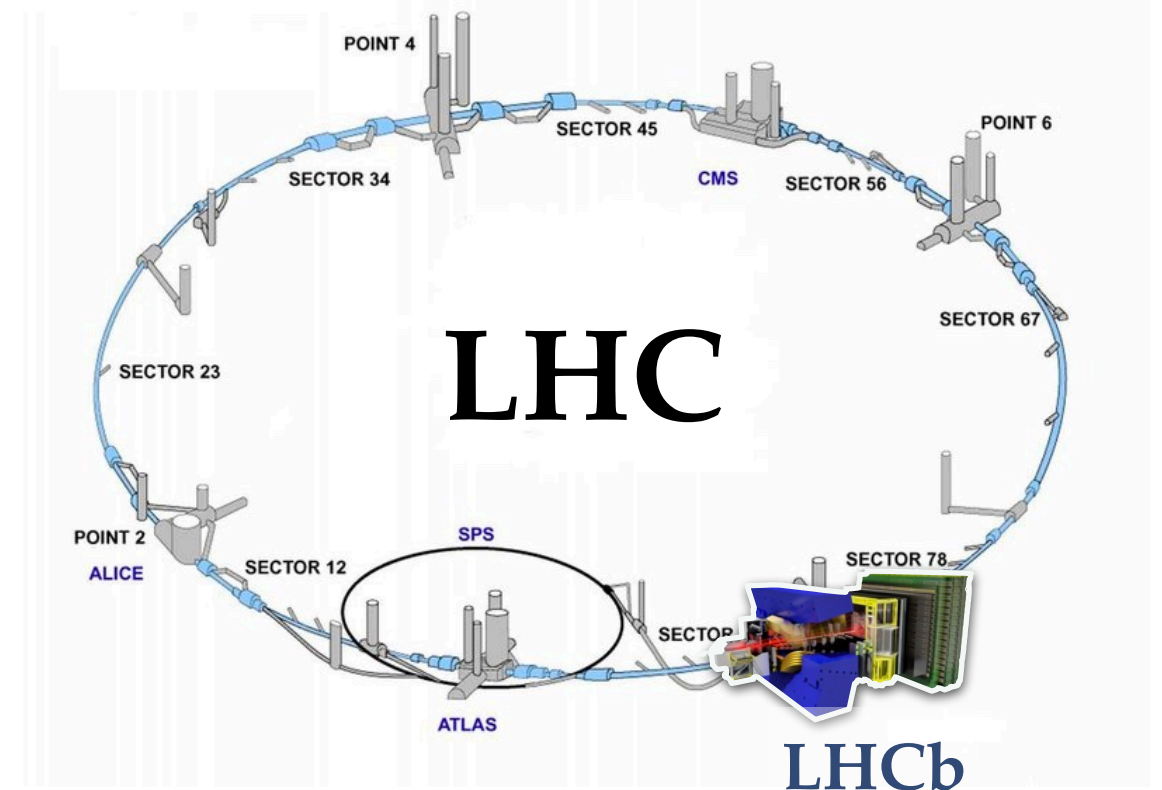
PRL 132, 151802 (2024)



La nuova fisica ad alta energia
ha lo stesso sapore?

Fisica del sapore a LHC

- Collisioni di protoni con energia 13 TeV a 40 MHz
- Quark b pesa solo 5 GeV
→ 5 milioni al secondo
- Molto difficili da identificare e misurare con precisione
- Uno dei 4 grandi detector di LHC ha un design dedicato: **LHCb**



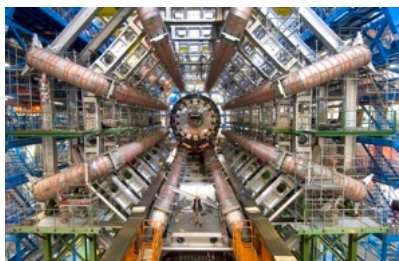
L'esperimento LHCb

LHCb

design dedicato alla fisica del sapore

Accettanza in avanti

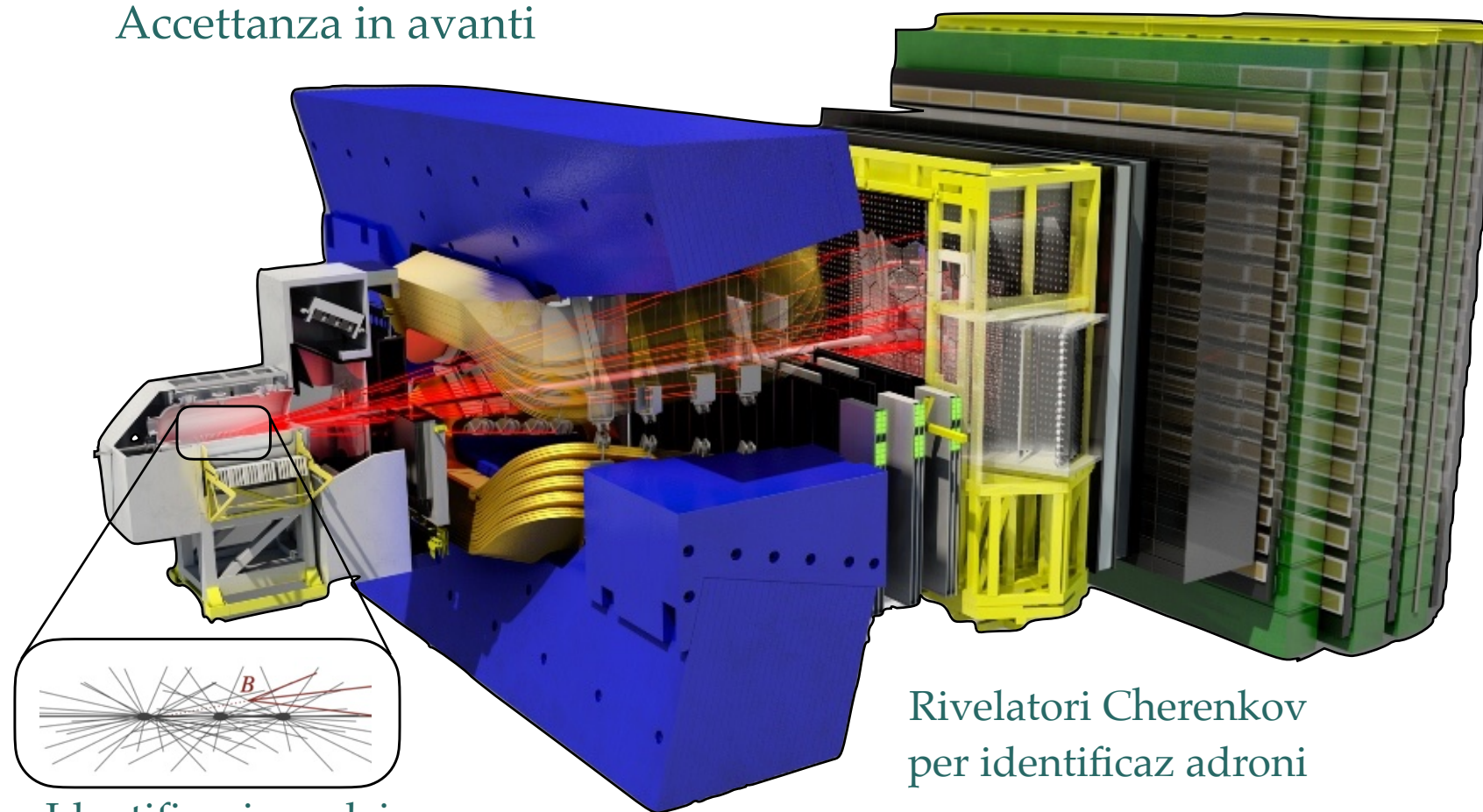
ATLAS



CMS



ALICE



Identificazione dei
vertici di decadimento

Rivelatori Cherenkov
per identificaz adroni

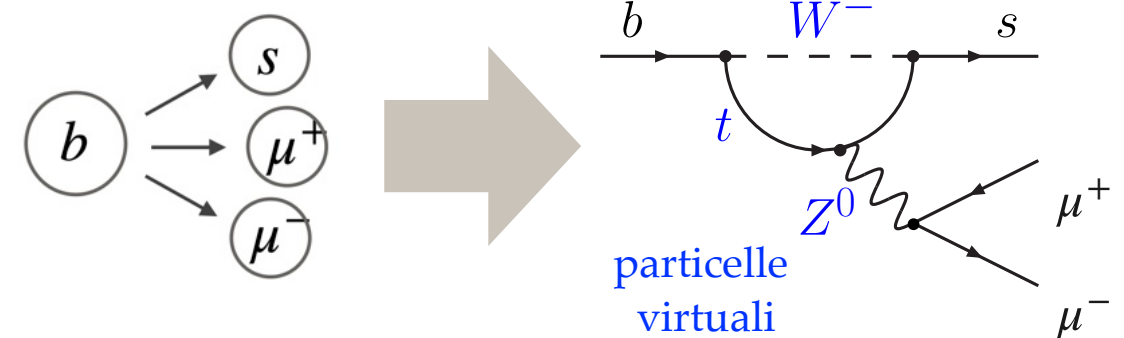
→ Dataset gigantesco di adroni beauty e charm

La fisica dei quark *beauty* e *charm*

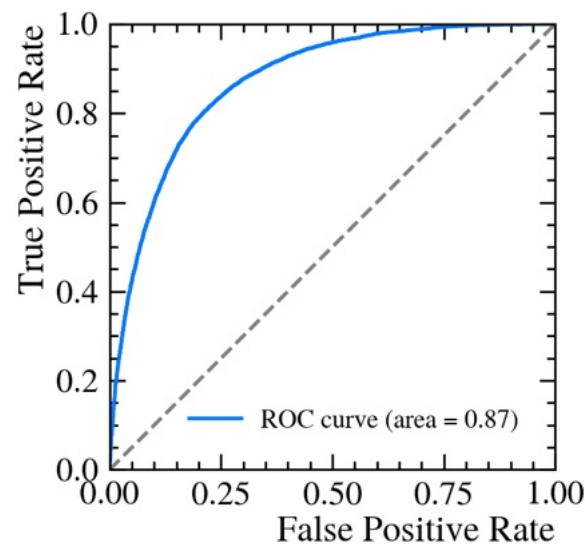
● Decadimenti di quark pesanti beauty e charm

- Misura di parametri fondamentali del MS
- Test delle simmetrie della teoria
- *Stress-test* di consistenza della teoria
- Anomalie → fisica oltre il Modello Standard?

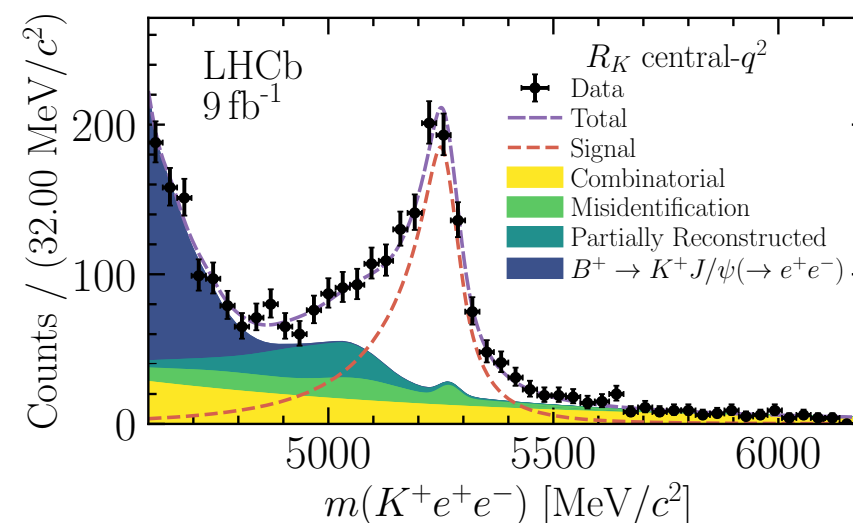
Esempio di decadimento



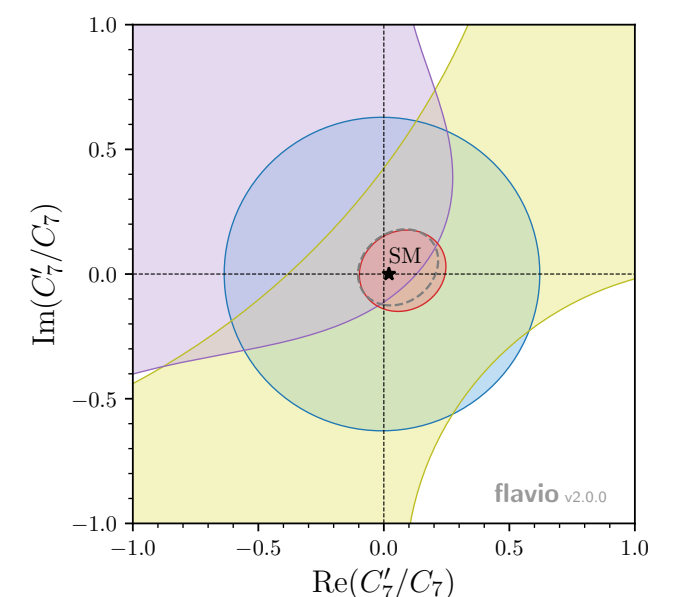
Classificazione con ML *Online e Offline*



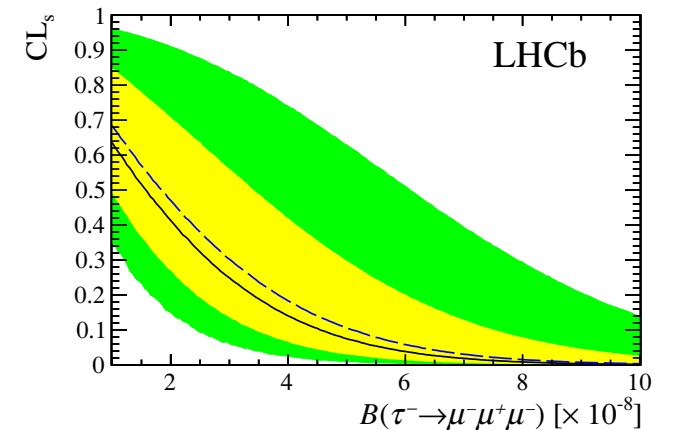
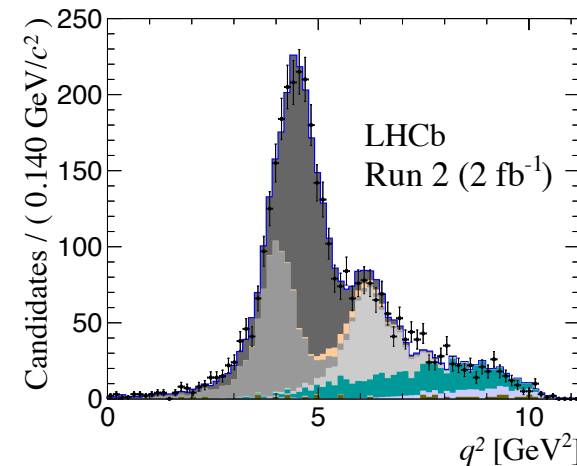
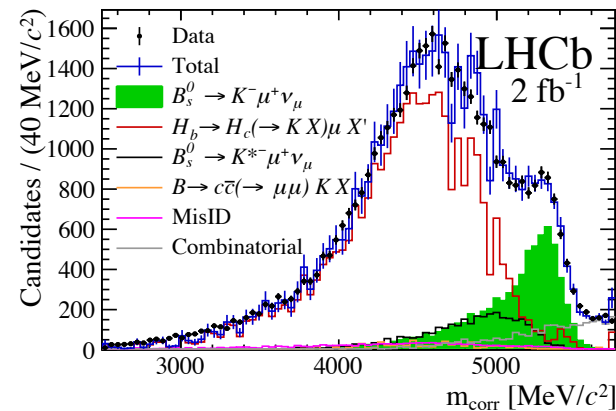
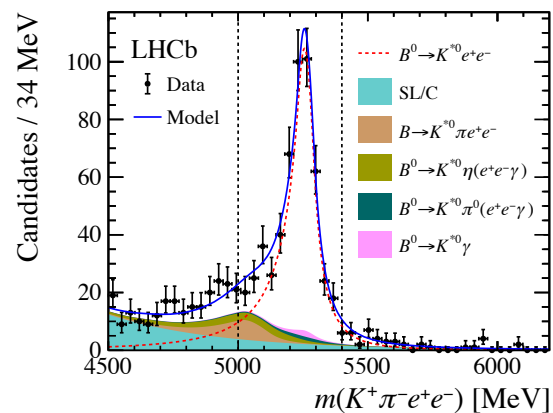
Studio della composizione del campione Sottrazione statistica del fondo con fit



Estrazione dei parametri di interesse e confronto con previsioni teoriche



Alcune analisi di Bicocca@LHCb



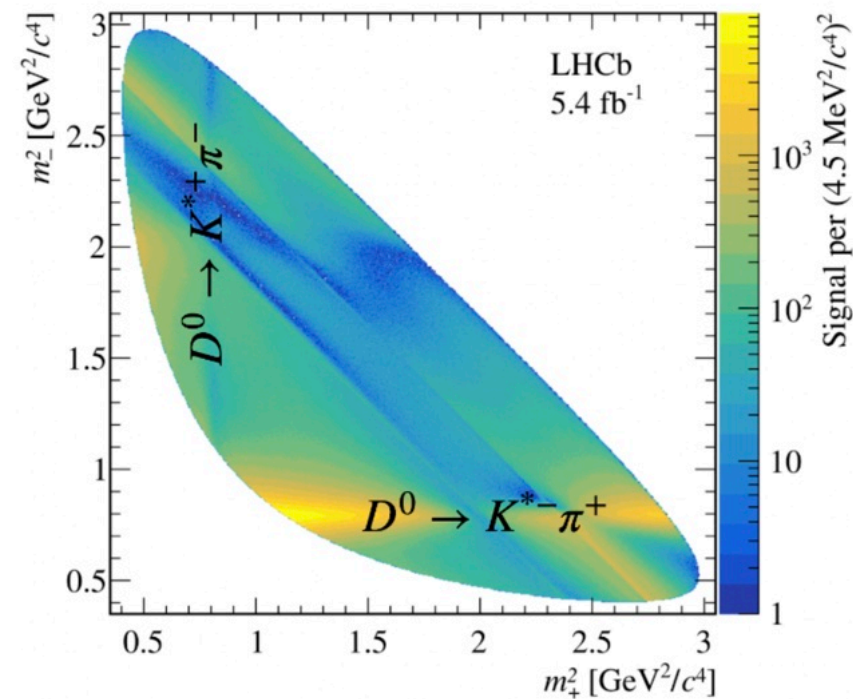
1. Misura del parametro fondamentale V_{ub}
2. Studio della struttura del mesone ($b\bar{u}$)
3. Test di universalità leptonica
4. Violazione del sapore leptonico
5. Asimmetrie tra materia e antimateria (violazione CP)

Le transizioni di sapore sono l'unica fonte conosciuta di asimmetria materia-antimateria

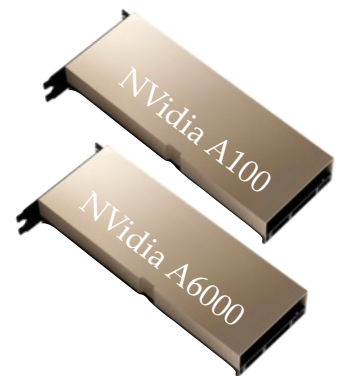
Violazione CP nel charm

- Violazione CP nel quark charm **scoperta da LHCb nel 2019**
- Asimmetria di 0.1% \rightarrow necessario dataset di milioni di decadimenti!
- Avviato ampio programma di analisi di precisione
- Gruppo di Bicocca in prima linea
- Attualmente attivi nelle analisi di:
 - Transizioni a 3 corpi $D^0 \rightarrow K_S \pi \pi$
 - Transizioni radiative rare $D^0 \rightarrow V \gamma$

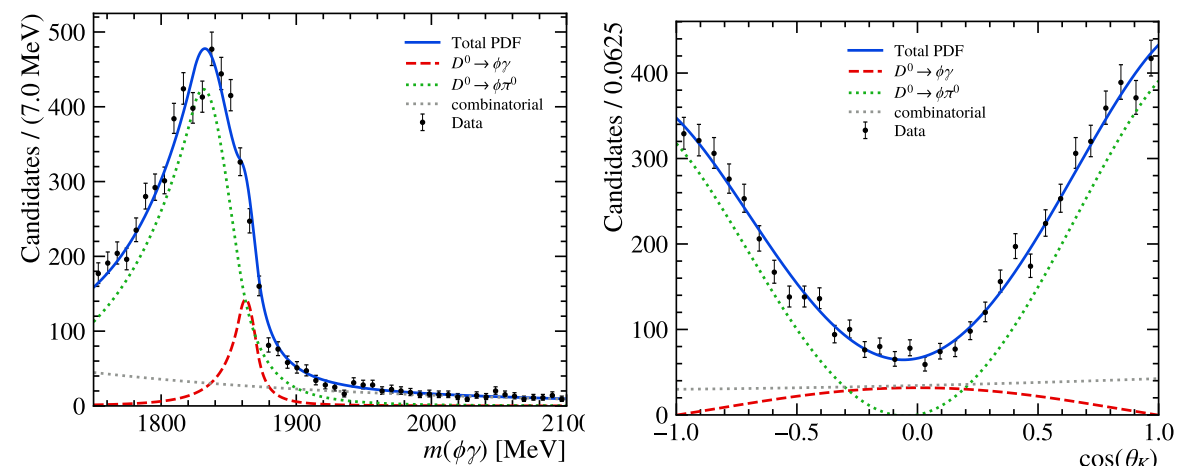
Sample dati gigantesco ($\sim 10^6$)
con interferenze quantistiche



Analisi su GPU
con TensorFlow



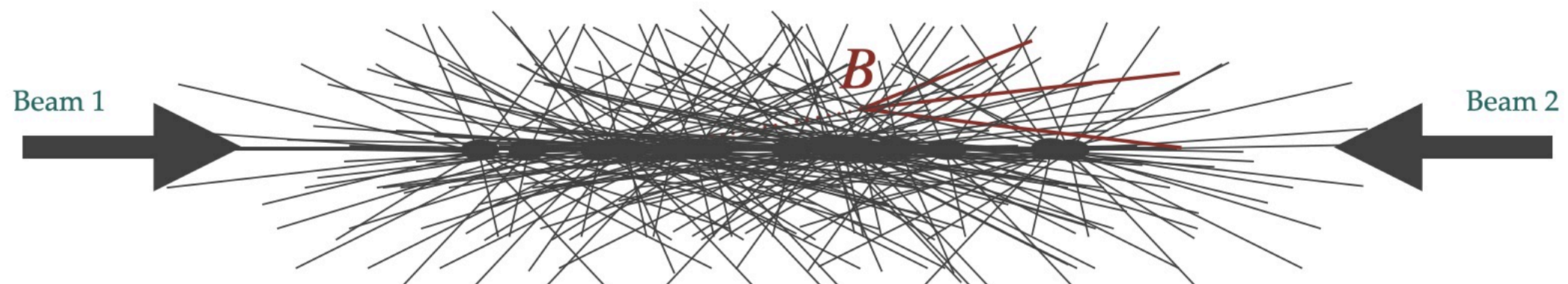
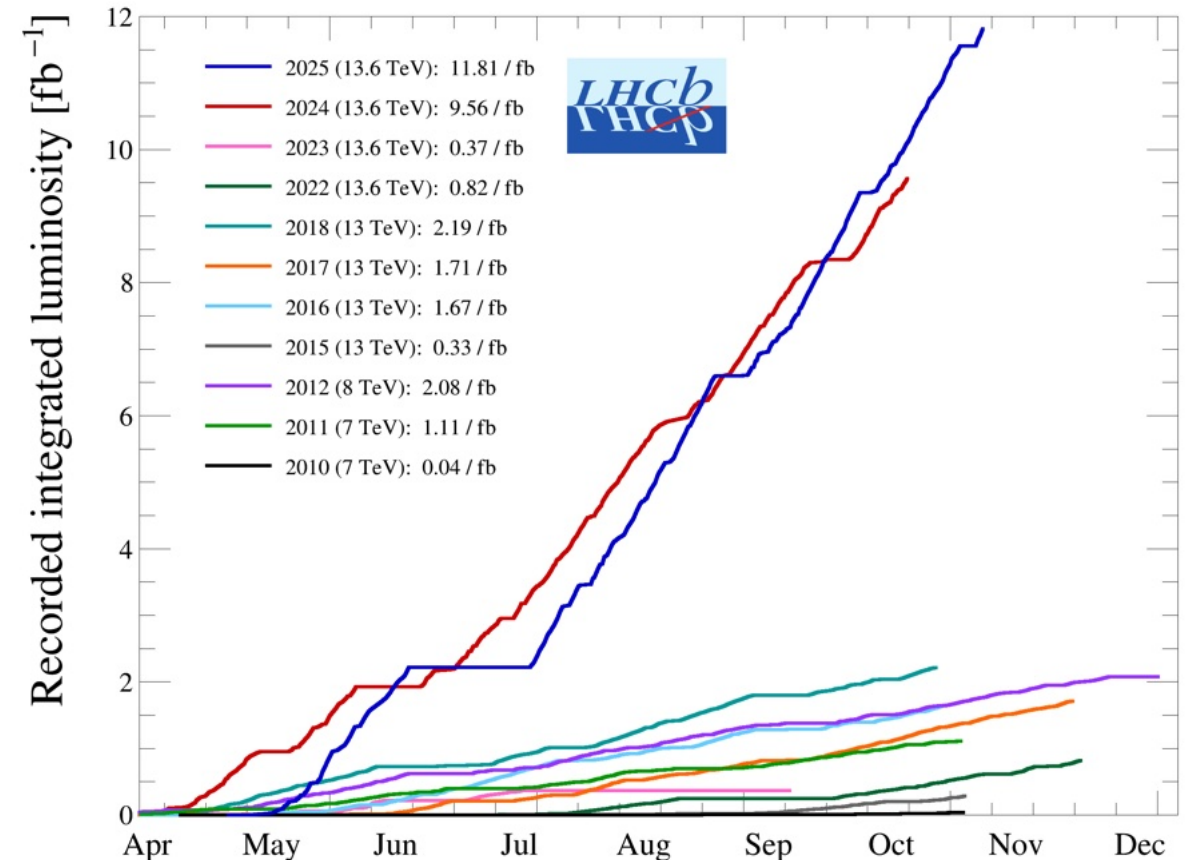
Fit multidimensionale per
identificare un segnale debole



LHCb upgrade 2

- Scopo upgrade: collezionare dati più rapidamente e di qualità migliore
- Primo upgrade completato nel 2022
- Upgrade 2 per il 2033
 - Luminosità più alta di un fattore 10
 - Necessari più granularità, **ps timing**, resistenza alla radiazione, high-performance computing, tecniche di analisi avanzate

Total recorded luminosity by year – pp

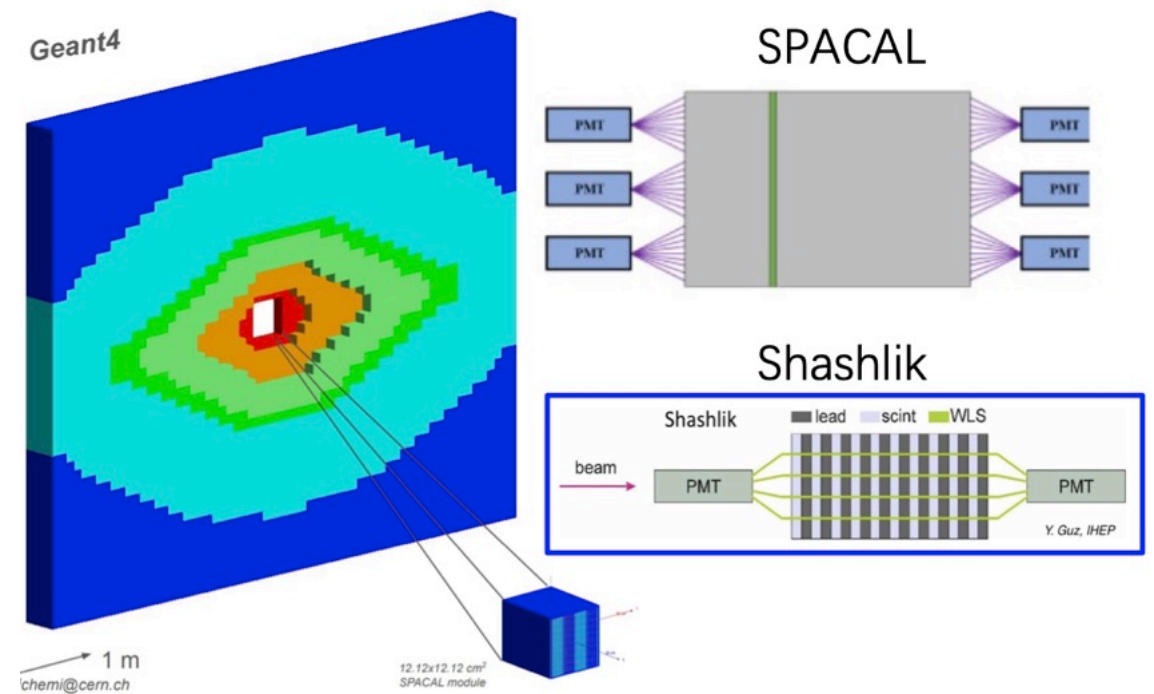


Upgrade hardware: calorimetro

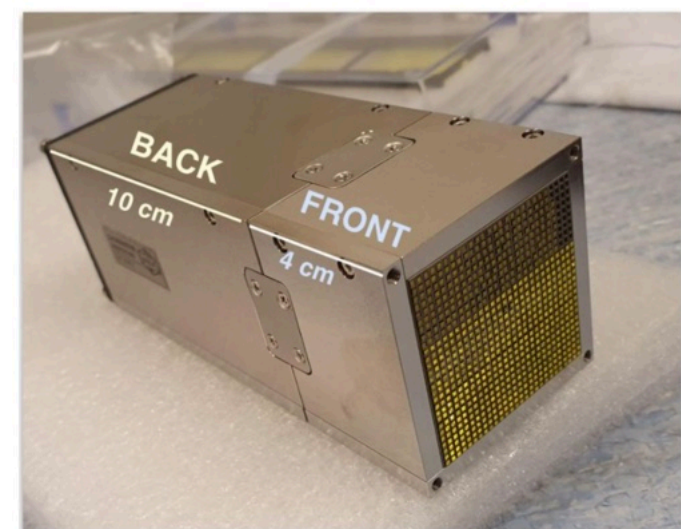
- Nuova tecnologia necessaria
 - Resistenza alla radiazione, granularità, **misura di tempo**

➔ Spaghetti Calorimeter (SPACAL)

- Test dei prototipi su fascio
- Ottimizzazione design con simulazione
- Studio delle performance di identificazione delle particelle



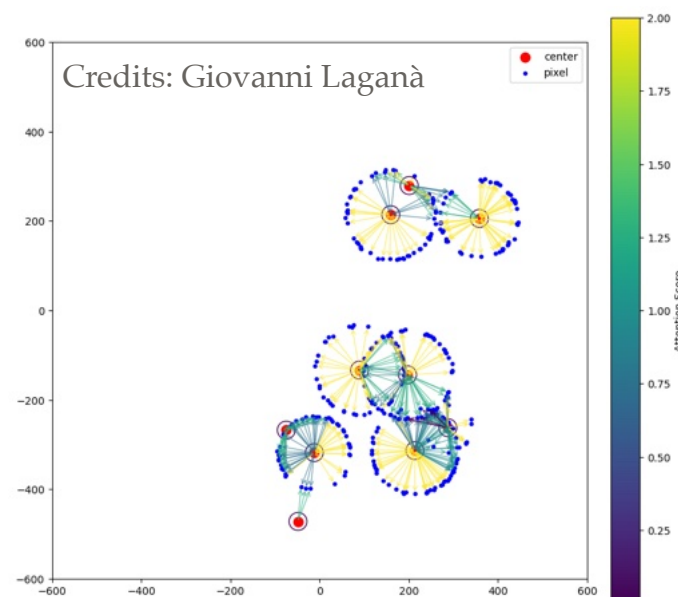
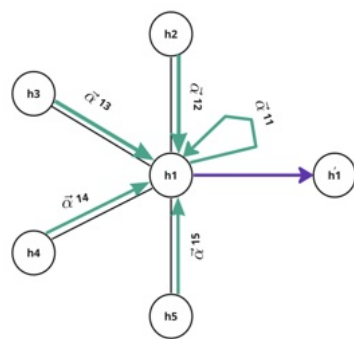
Prototipo di modulo SPACAL



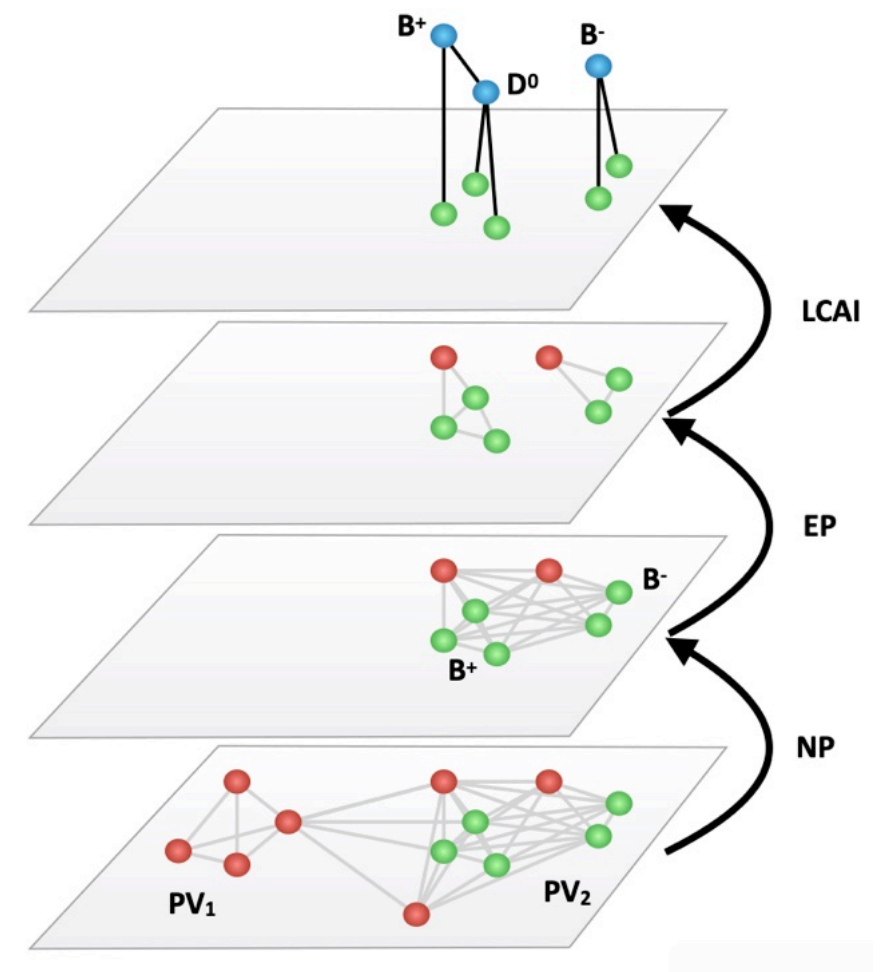
Upgrade software: Machine Learning

- Studiando varie soluzioni di ML moderno
 - Convolutional Neural Networks
 - Graph Neural Networks
 - Tecniche di ML in real time (EdgeML)
- Progetti di ML avanzato di Bicocca@LHCb:
 - Ricostruzione globale dell'evento (DFEI)
 - Identificazione delle particelle cariche con gli anelli di luce Cherenkov (YOLO + GNN)

Anelli Cherenkov con Graph Attention Network



Graph Neural Network per Full Event Interpretation



Perché fare una tesi in LHCb?



Contatti:

marta.calvi@unimib.it

maurizio.martinelli@unimib.it

martino.borsato@unimib.it

marco.pizzichemi@unimib.it

→ venite a trovarci al
quarto piano di U2!

- Fisica delle interazioni fondamentali
- Fisica del sapore, fisica dei collider
- Analisi statistica e Machine Learning
- Programmazione in python e/o C++
- Sviluppo detector di ultima generazione
- Un gruppo che lavora in ambito internazionale ed è in crescita
- *Bonus:* tesi al CERN finanziata da INFN
 - Bando competitivo a livello nazionale che finanzia un mese al CERN
 - Fisica del sapore in LHCb e anche con una simulazione del Future Circular Collider

→ il bando uscirà a breve

