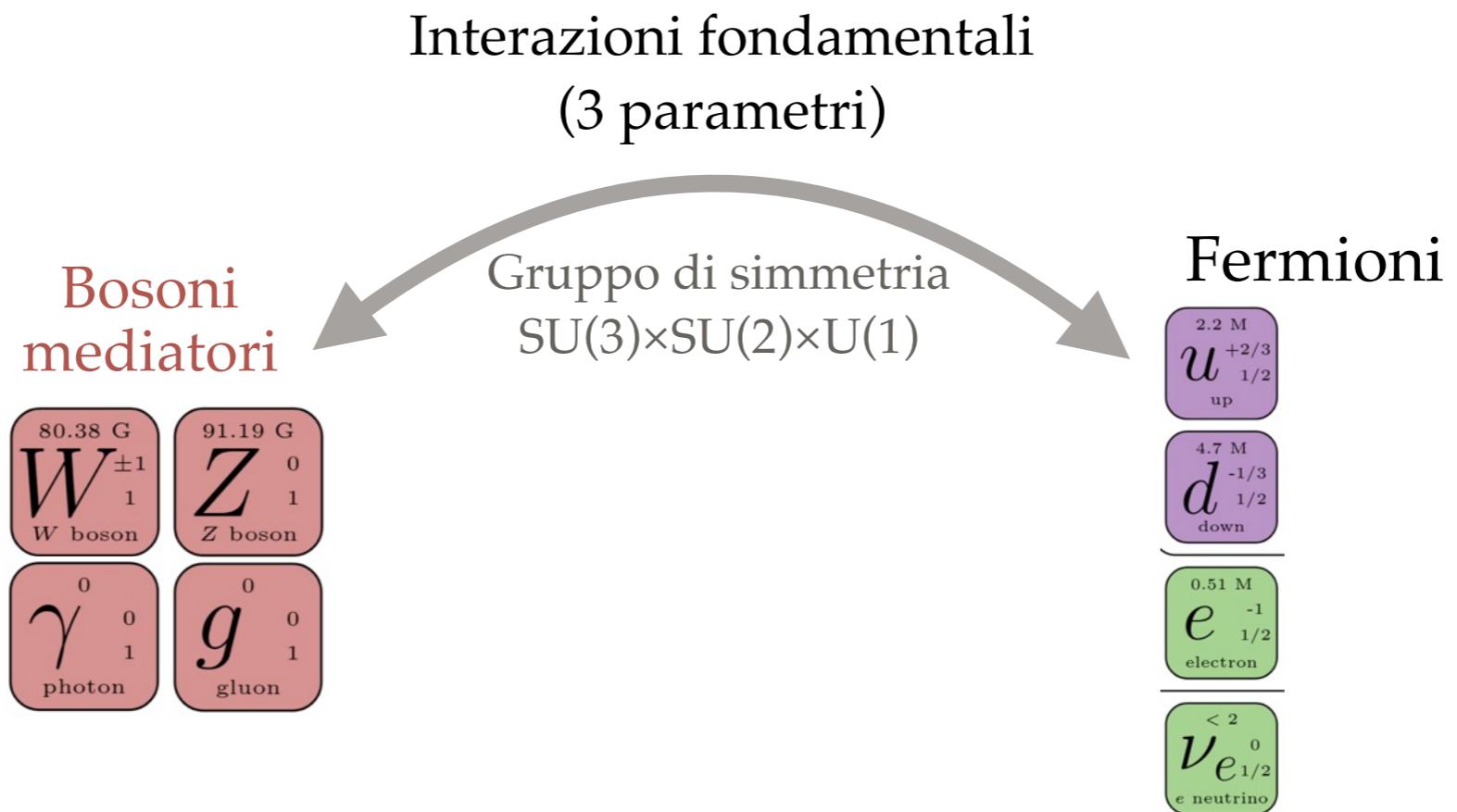




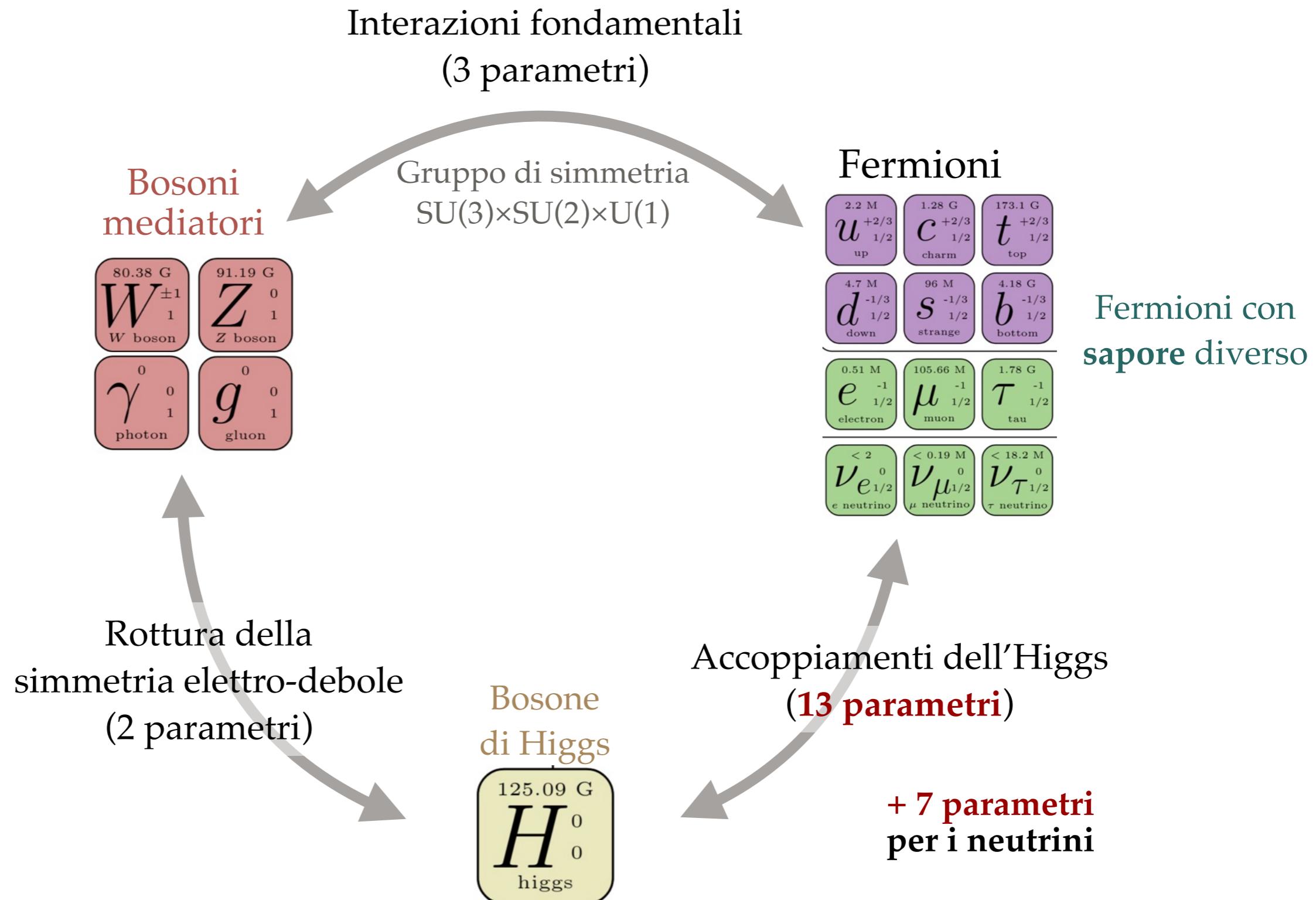
# Fisica del sapore a LHCb

*Presentazione delle  
attività di tesi triennali*

# Il Modello Standard



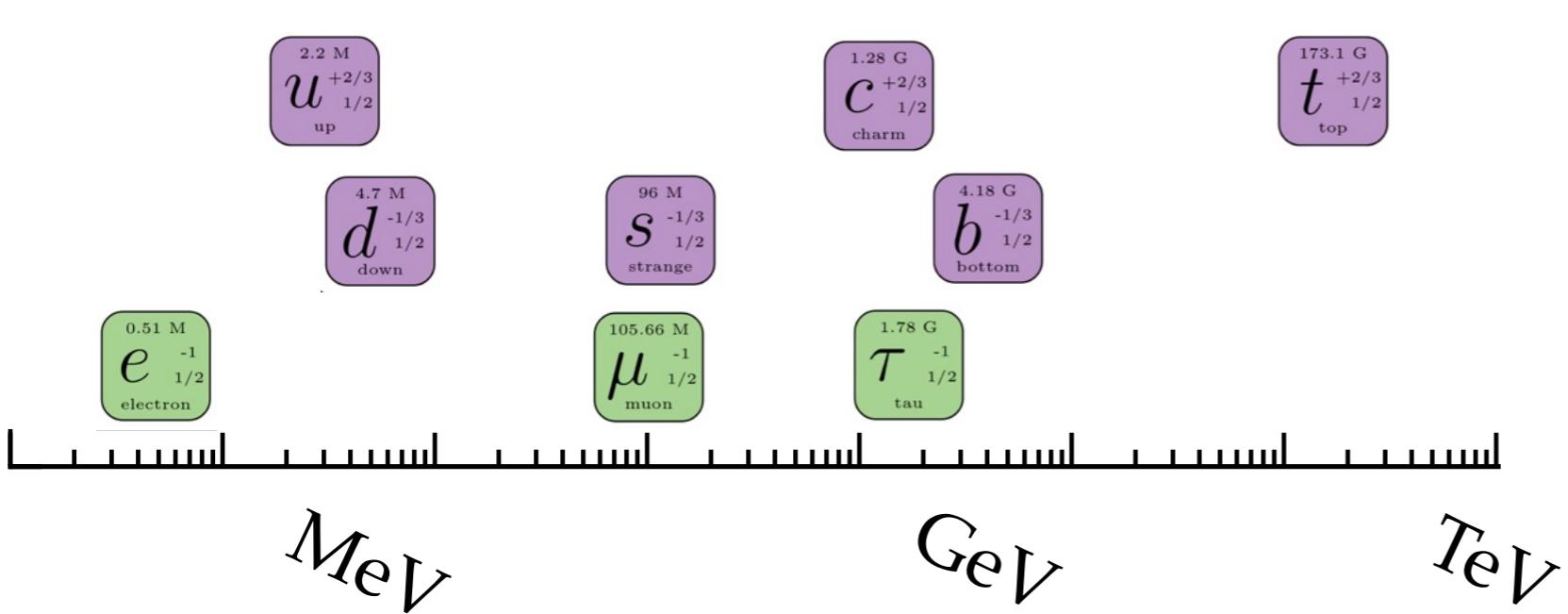
# Il Modello Standard



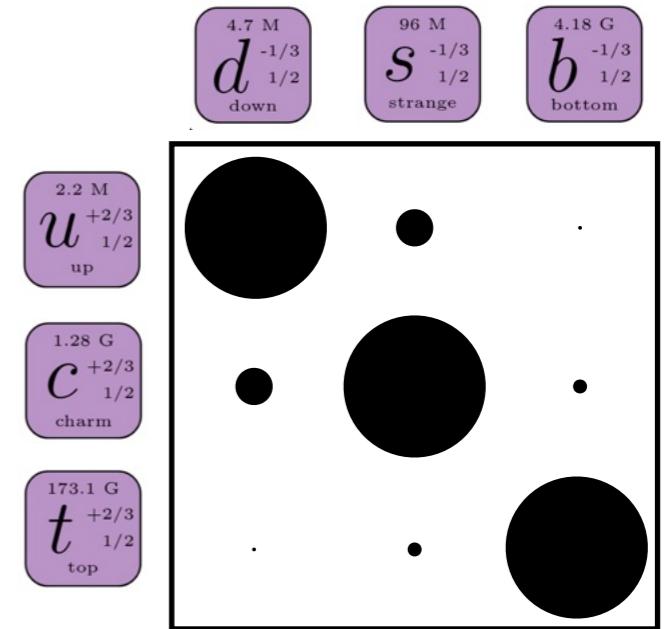
# Il mistero del sapore

i 13 parametri del sapore hanno un pattern suggestivo

Masse dei fermioni



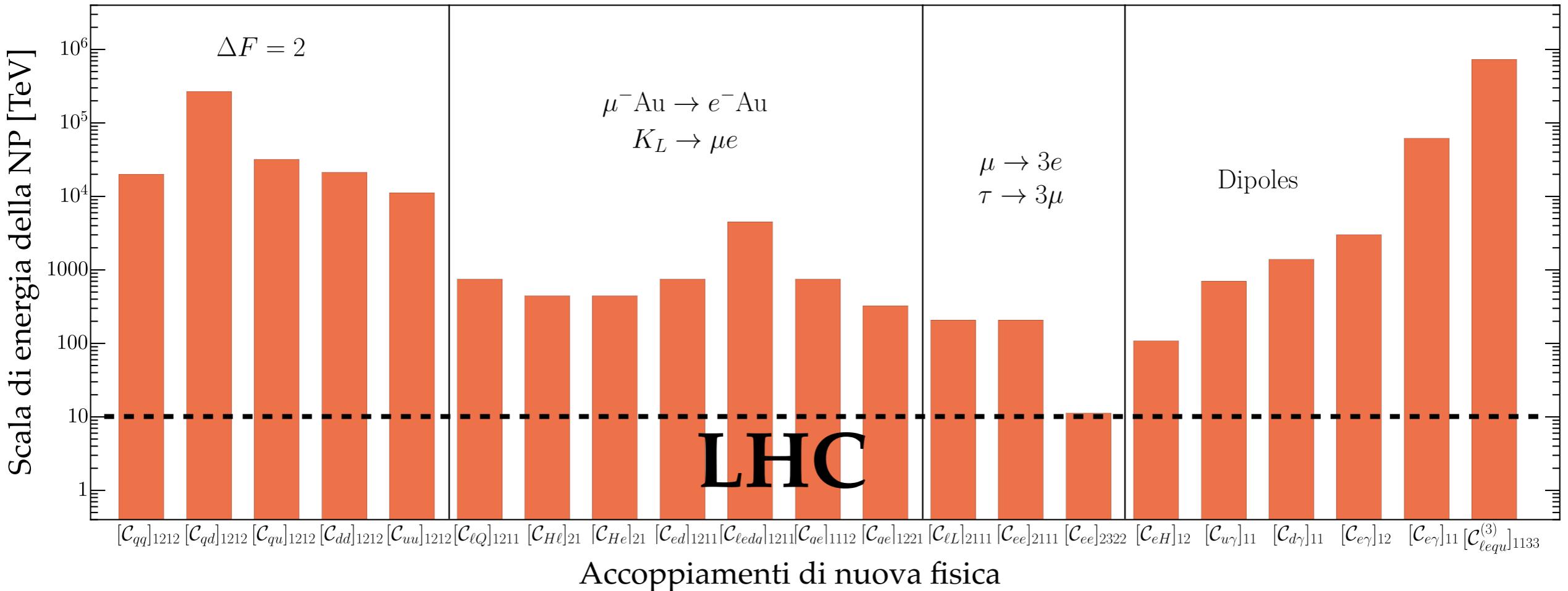
Mixing dei quark



Qual è l'origine del sapore fermionico?

# Il sapore della nuova fisica

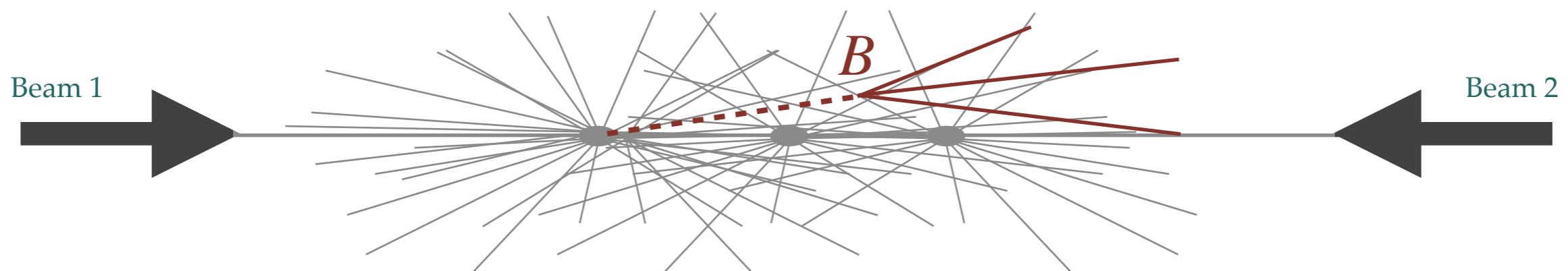
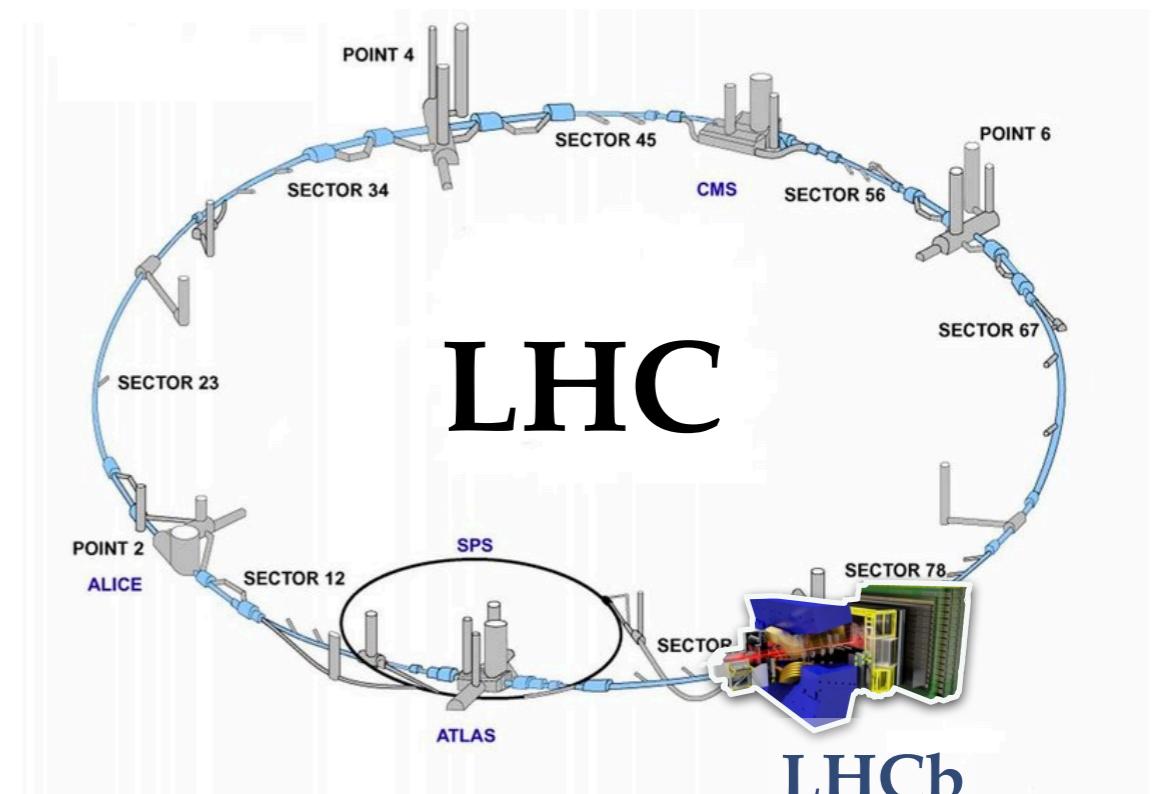
PRL 132, 151802 (2024)



La nuova fisica ad alta energia  
ha lo stesso sapore?

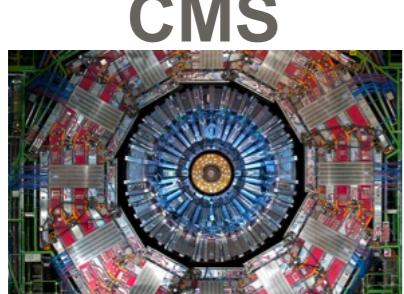
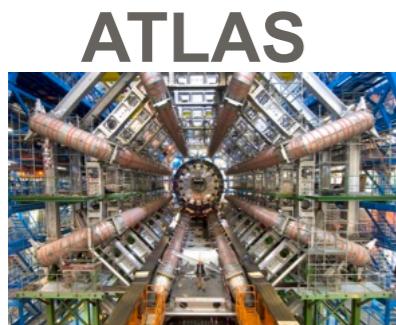
# Fisica del sapore a LHC

- 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



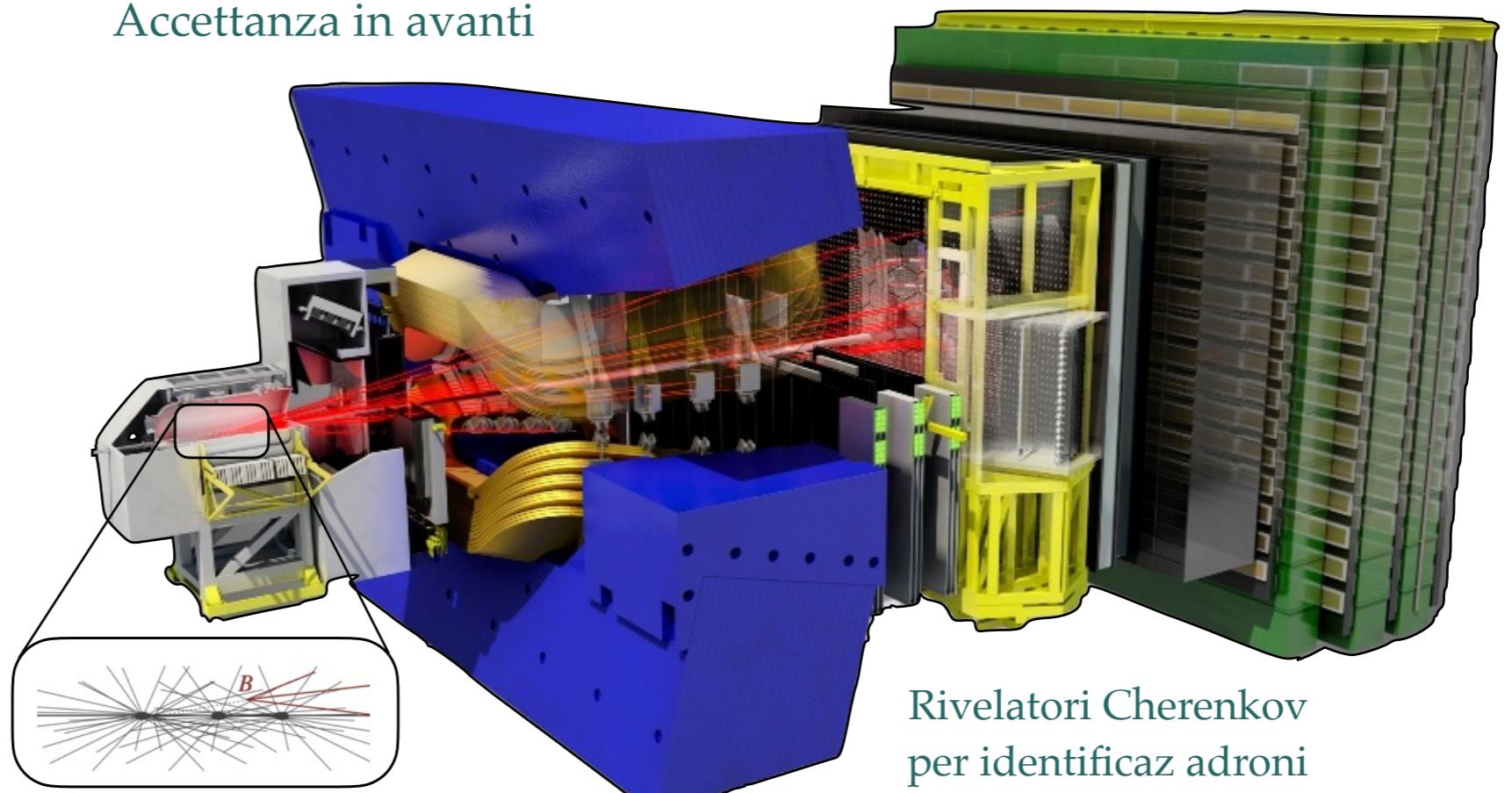
# L'esperimento LHCb

**LHCb**



design dedicato alla fisica del sapore

Accettanza in avanti



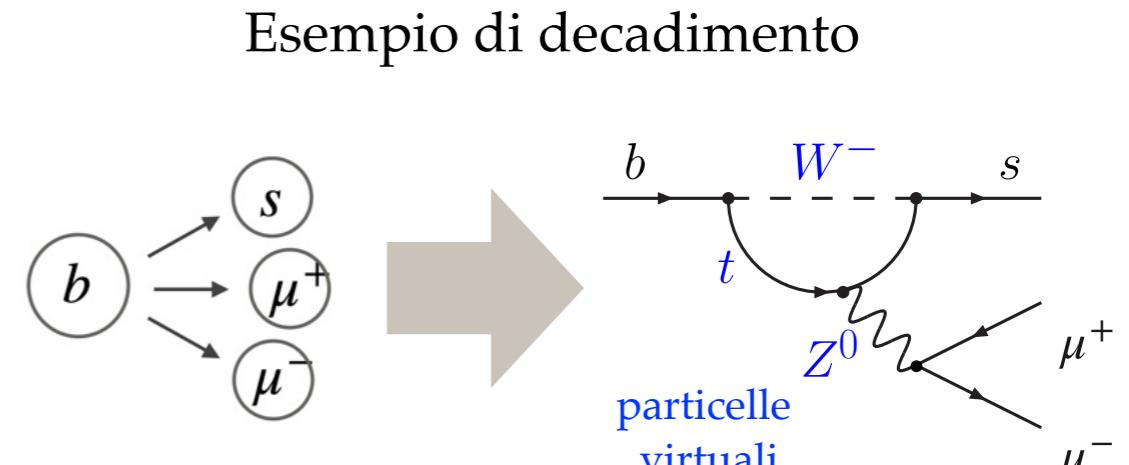
Identificazione dei  
vertici di decadimento

→ Dataset gigantesco di adroni beauty e charm

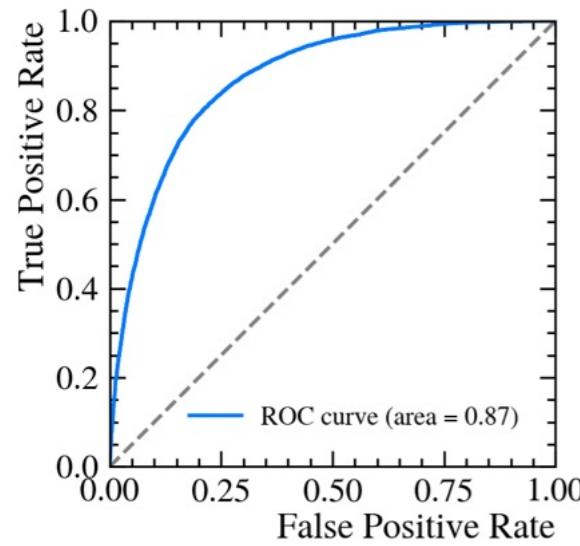
# La fisica dei quark *beauty* e *charm*

## ○ Decadimenti di quark pesanti beauty e charm

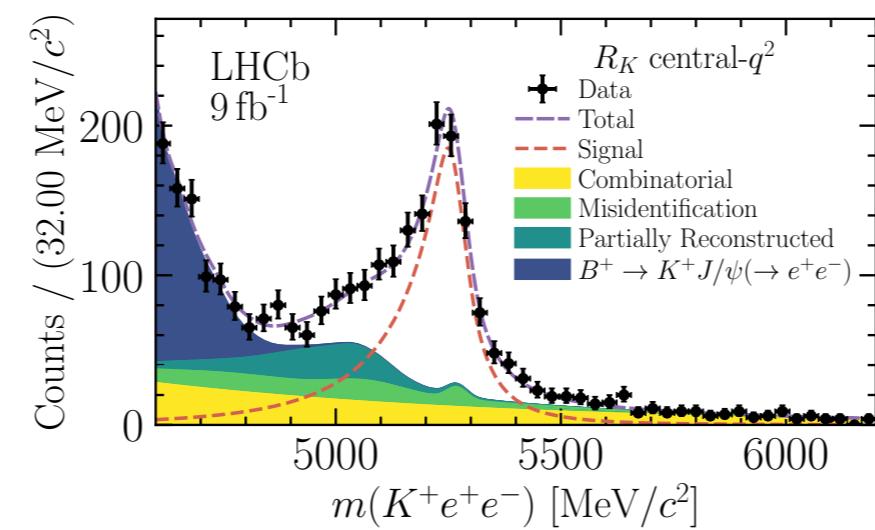
- Misura di parametri fondamentali del MS
- Test delle simmetrie della teoria
- *Stress-test* di consistenza della teoria
- Anomalie → fisica oltre il Modello Standard?



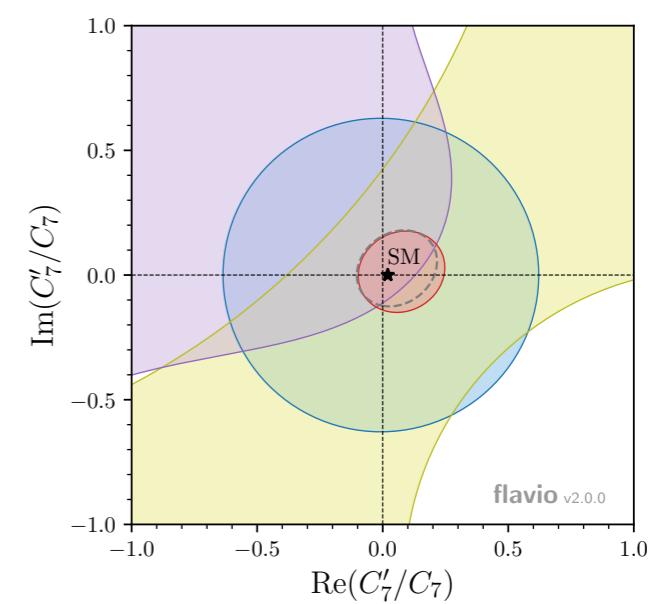
Classificazione con ML  
*Online e Offline*



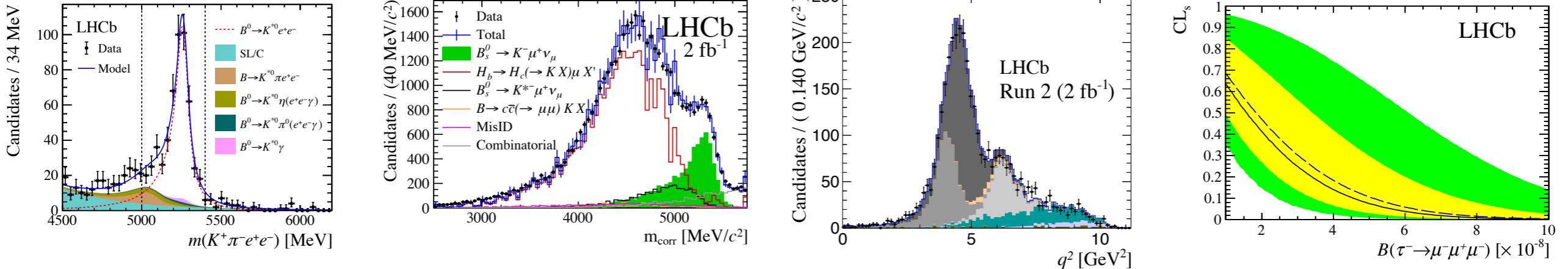
Studio della composizione del campione  
Sottrazione statistica del fondo con fit



Estrazione dei parametri di interesse  
e confronto con previsioni teoriche



# Alcune analisi di Bicocca@LHCb



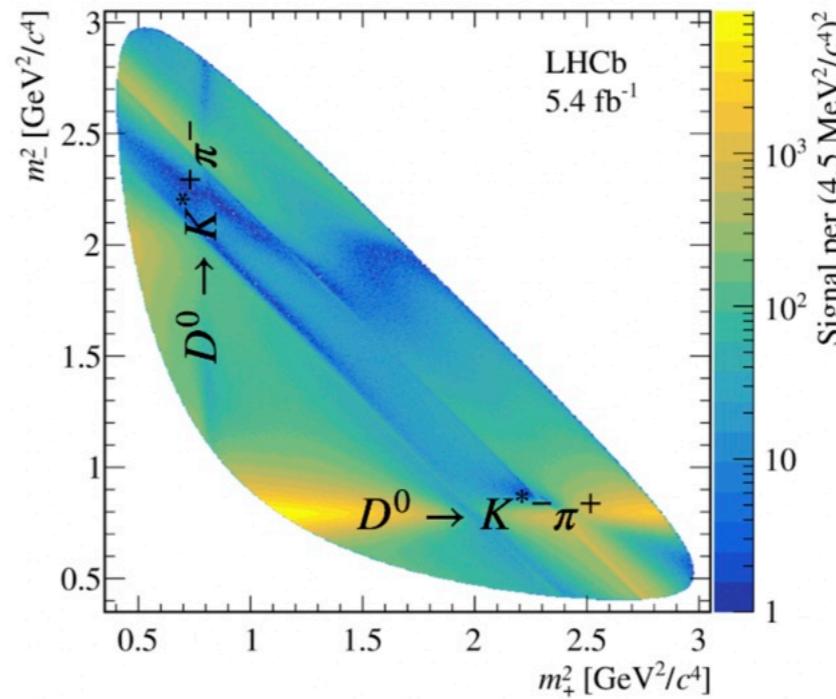
1. Misura del parametro fondamentale  $V_{ub}$
2. Studio della struttura del mesone ( $b\bar{u}$ )
3. Test di universalità leptonica
4. Violazione del sapore leptonico
5. Asimmetrie tra materia e antimateria  
(violazione CP)

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% → 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  $D^0 \rightarrow V\gamma$

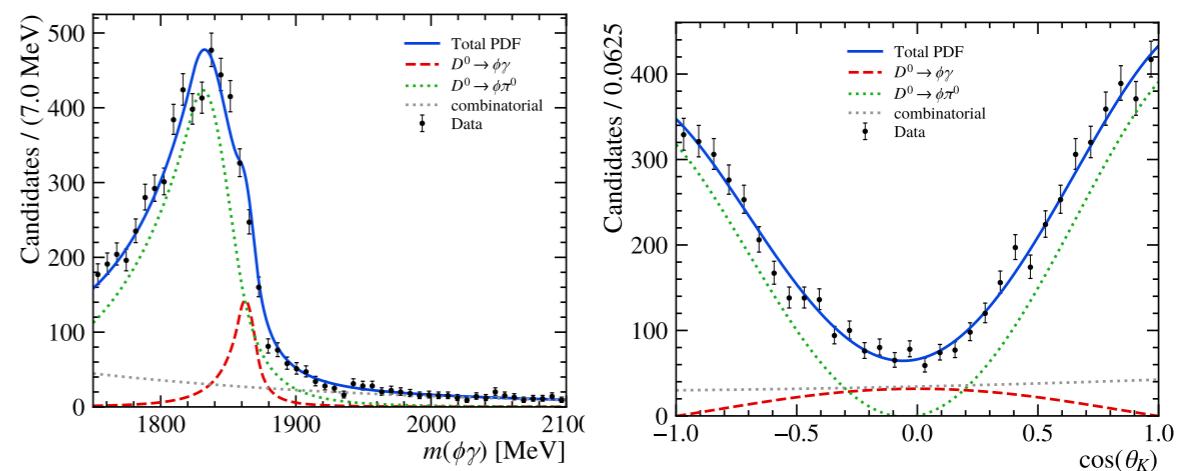
Sample dati gigantesco ( $\sim 10^6$ )  
con interferenze quantistiche



Analisi su GPU  
con TensorFlow

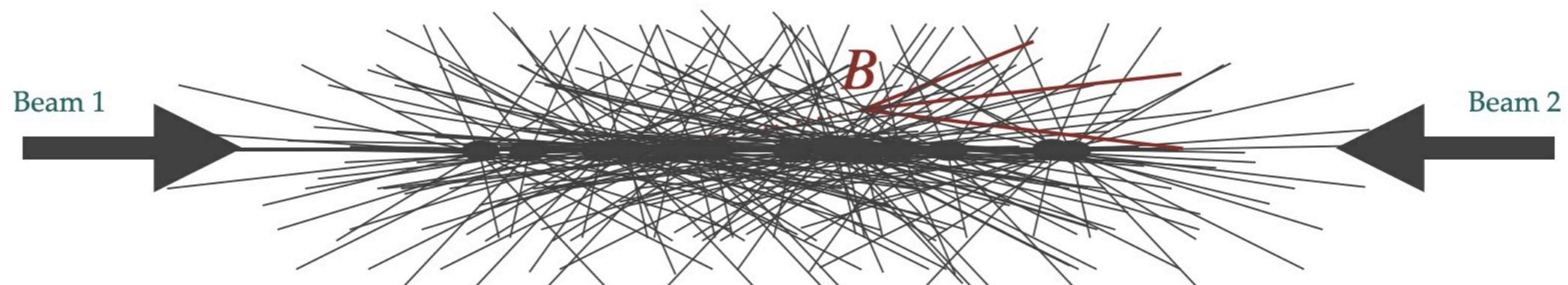
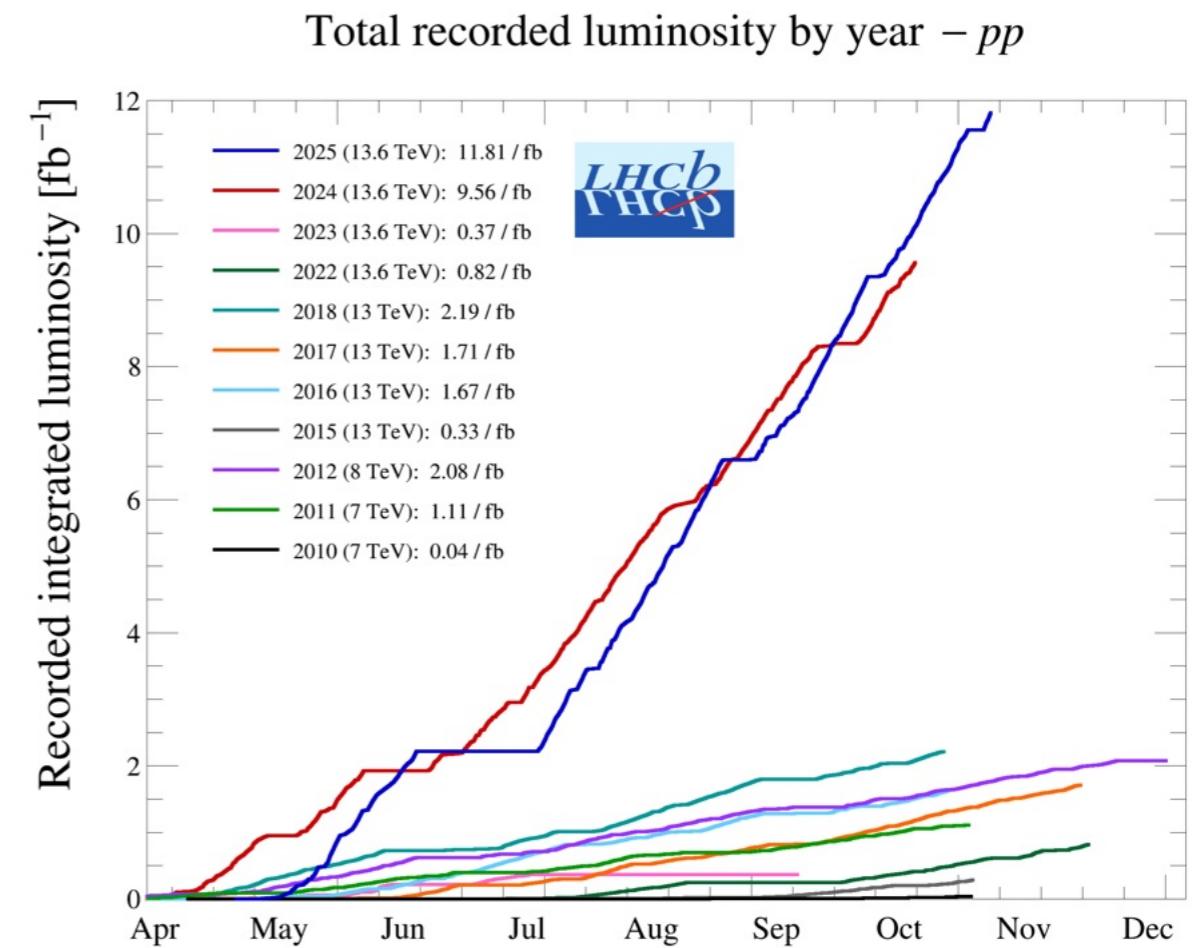


Fit multidimensionale per  
identificare un segnale debole



# 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

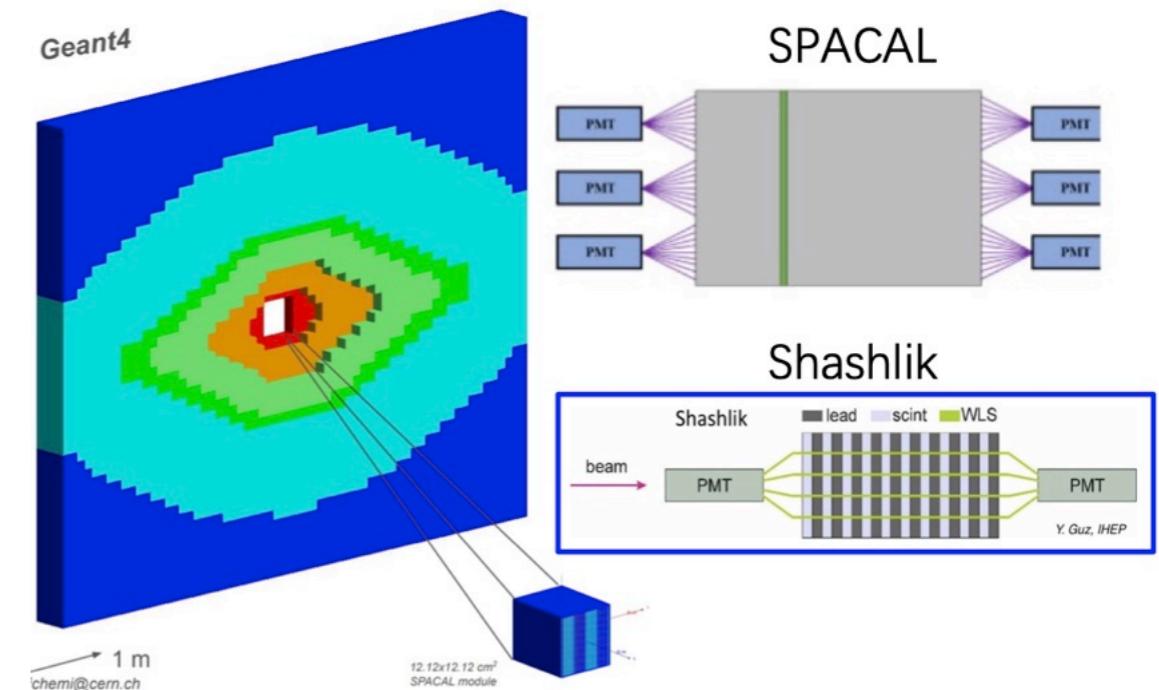


# Upgrade hardware: calorimetro

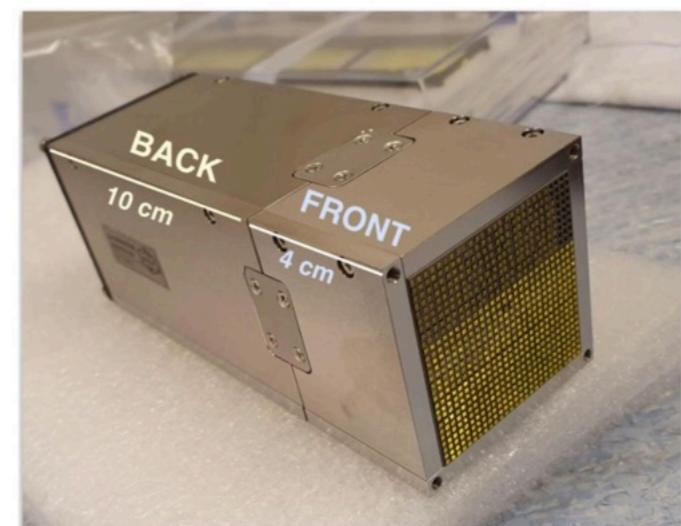
- Nuova tecnologia necessaria
  - Resistenza alla radiazione,  
granularità, **misura di tempo**

## → 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

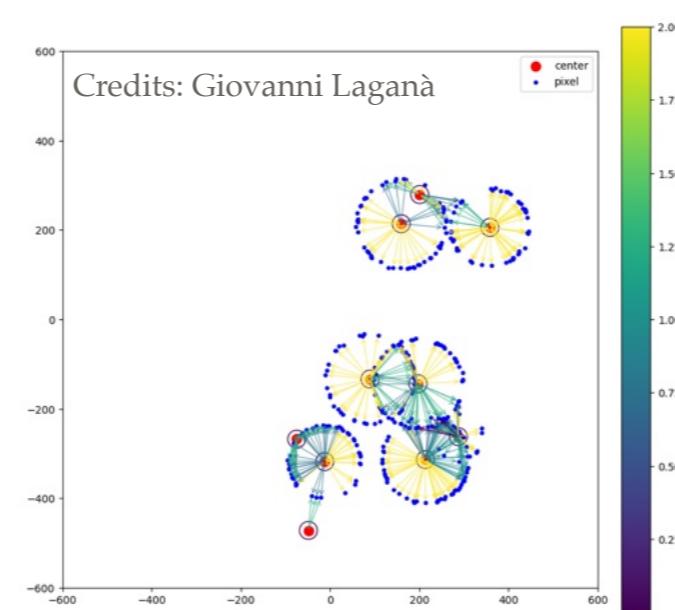
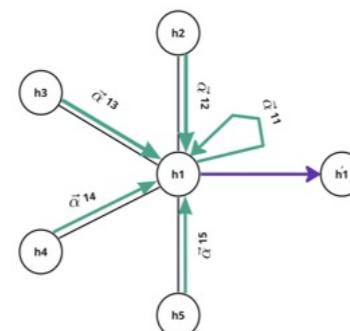
## ○ Studiando varie soluzioni di ML moderno

- Convolutional Neural Networks
- Graph Neural Networks
- Tecniche di ML in real time (EdgeML)

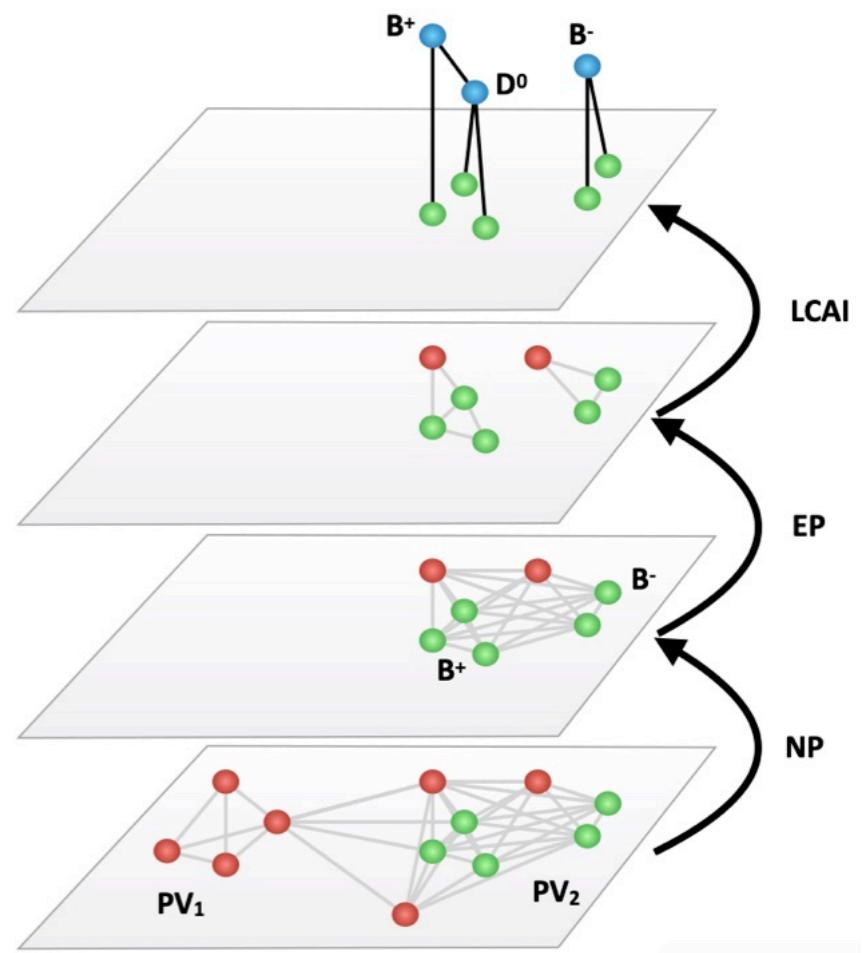
## ○ Progetti di ML avanzato di Bicocca@LHCb:

- 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](mailto:marta.calvi@unimib.it)  
[maurizio.martinelli@unimib.it](mailto:maurizio.martinelli@unimib.it)  
[martino.borsato@unimib.it](mailto:martino.borsato@unimib.it)  
[marco.pizzichemi@unimib.it](mailto: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

