



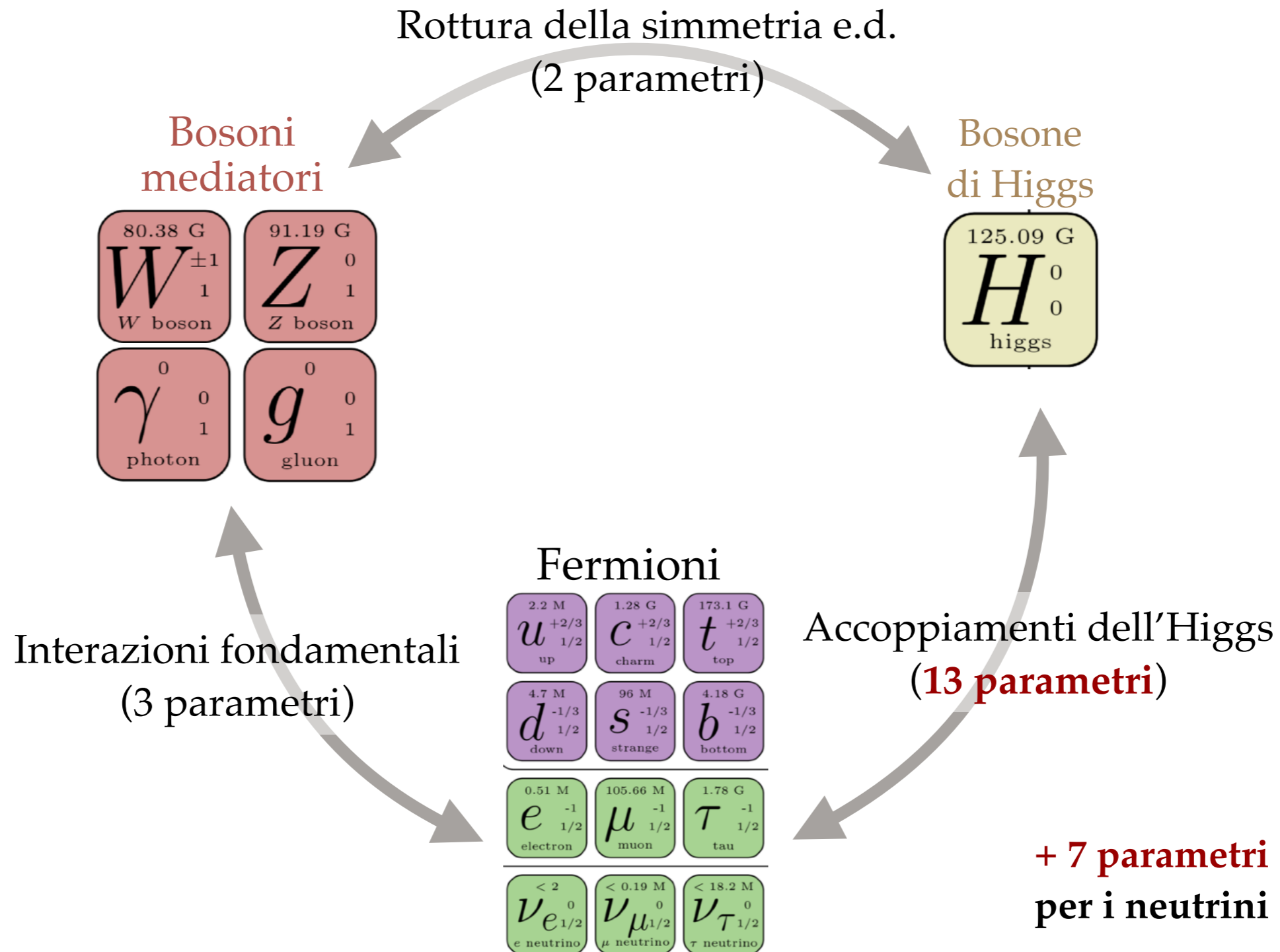
Fisica del sapore a LHC + *fisica con fasci di muoni*

23 Gennaio 2024

*Presentazione delle
attività di tesi triennali*

martino.borsato@unimib.it

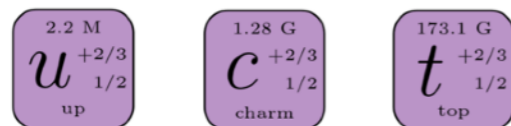
Il Modello Standard



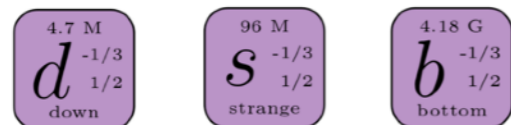
Il settore del sapore

Accoppiamenti dell'Higgs (13 parametri)

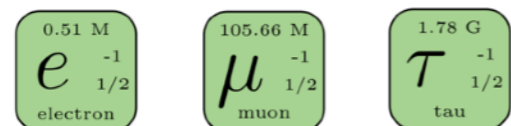
Masse dei fermioni



$$m_u \ll m_c \ll m_t$$



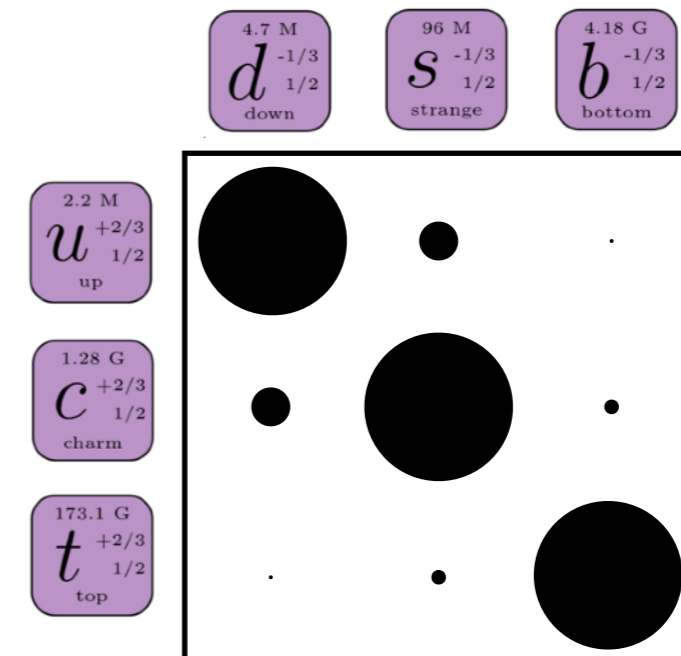
$$m_d \ll m_s \ll m_b$$



$$m_e \ll m_\mu \ll m_\tau$$

- ❖ Strano pattern di masse dei fermioni

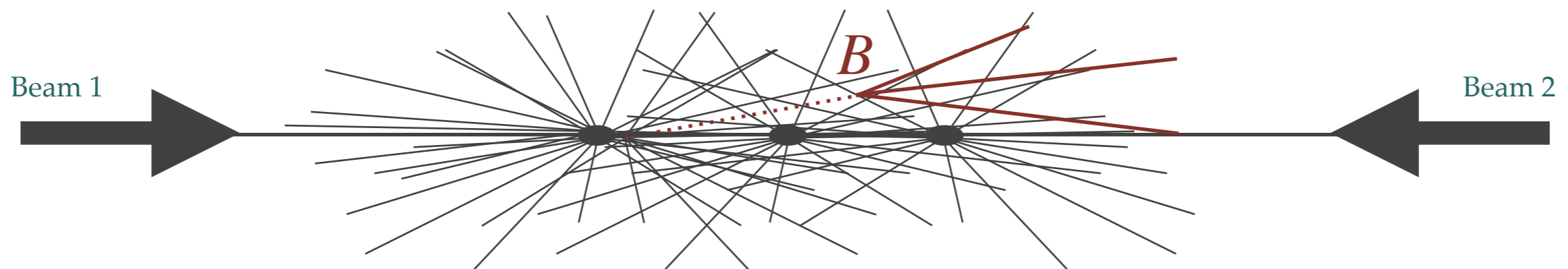
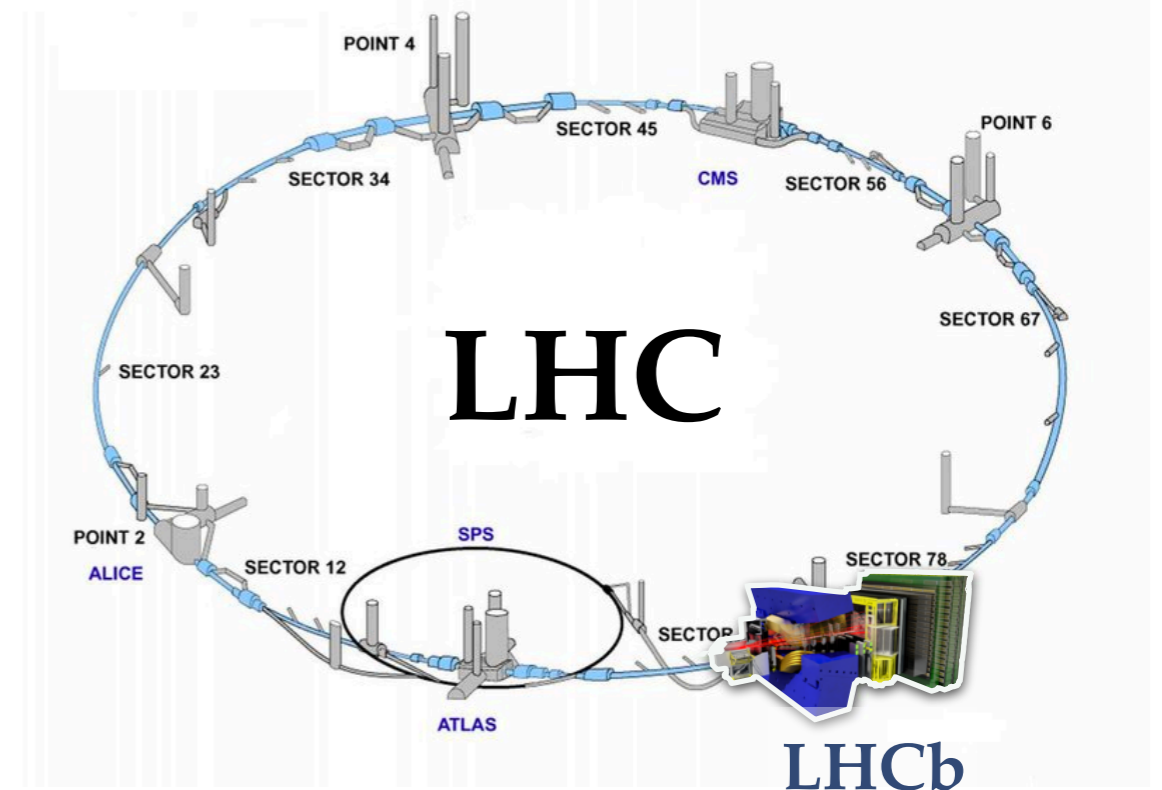
Mescolamento dei quark



- Transizioni di sapore gerarchiche (matrice CKM)
- Unica fonte di asimmetria materia-antimateria nel MS

Fisica del sapore a LHC

- Collisioni di protoni con energia 13 TeV a 40 MHz
- Quark b pesa solo 5 GeV
→ 10 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

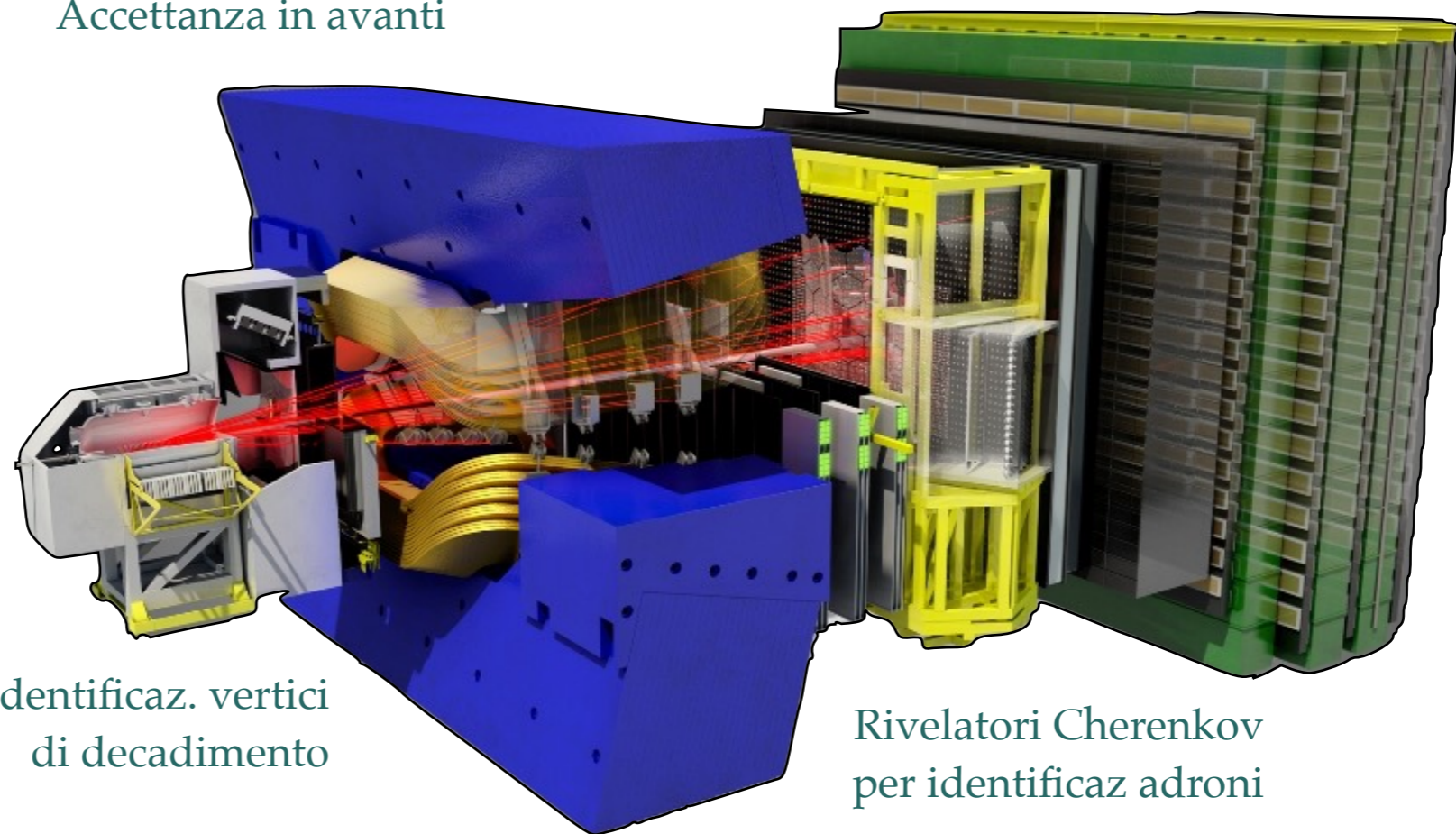
ATLAS



CMS



ALICE



→ Più grande dataset al mondo di adroni beauty e charm

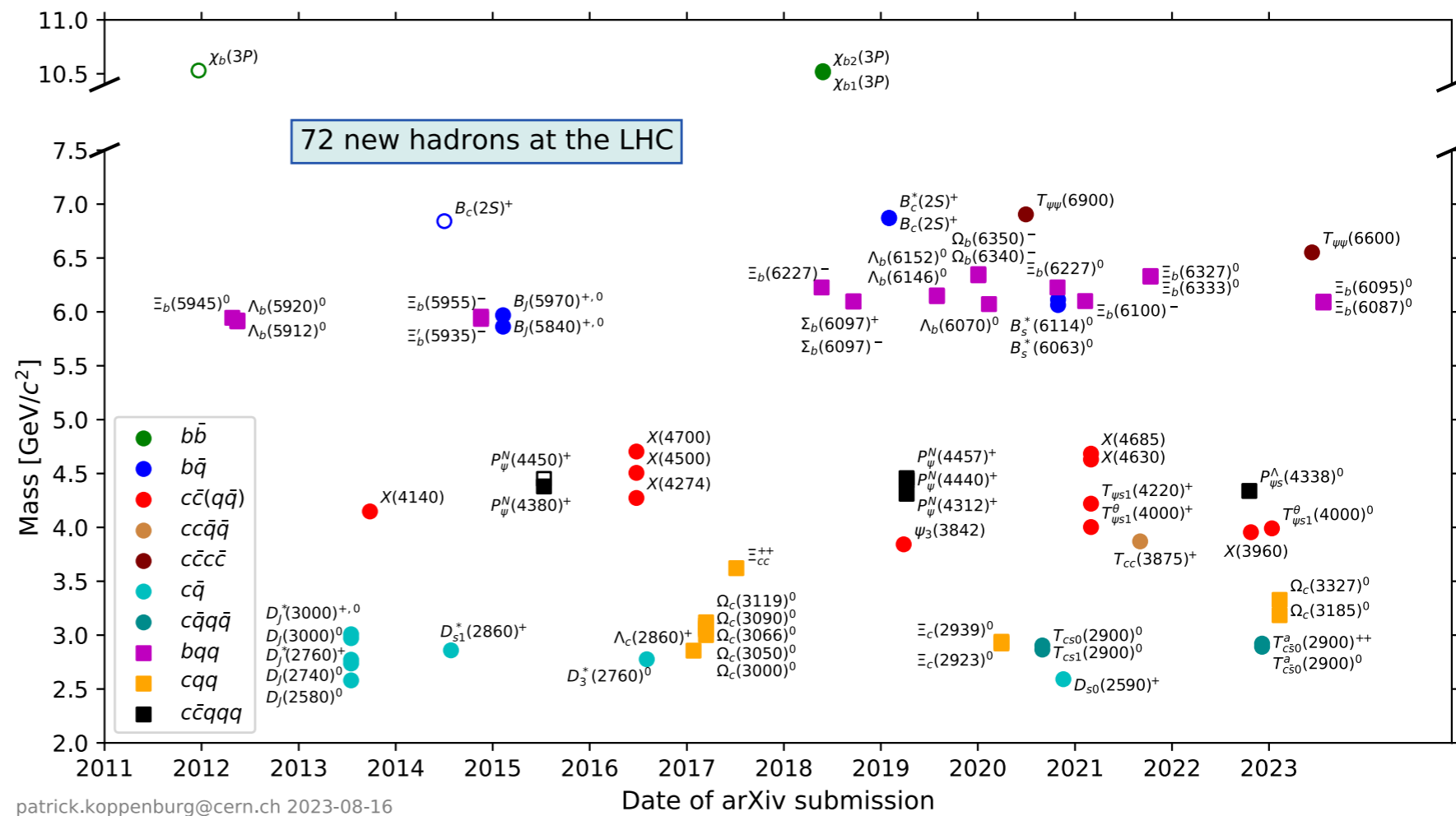
Adroni a LHC

- I quark b e c formano stati legati con altri quark
- Un grande zoo di adroni composti di 2, 3, 4, 5 quarks
- Studio di risonanze, spin, numeri quantici (MQ)
- Sii il primo ad osservare una nuova particella

Proposta di tesi:

Fun with particles! Ricerca di nuovi adroni e determinazione dei loro numeri quantici

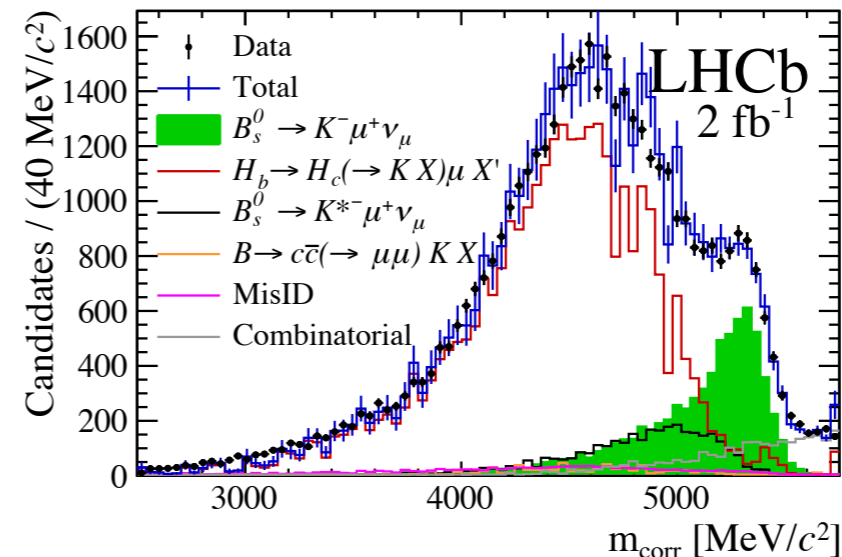
72 adroni scoperti a LHC di cui 64 a LHCb



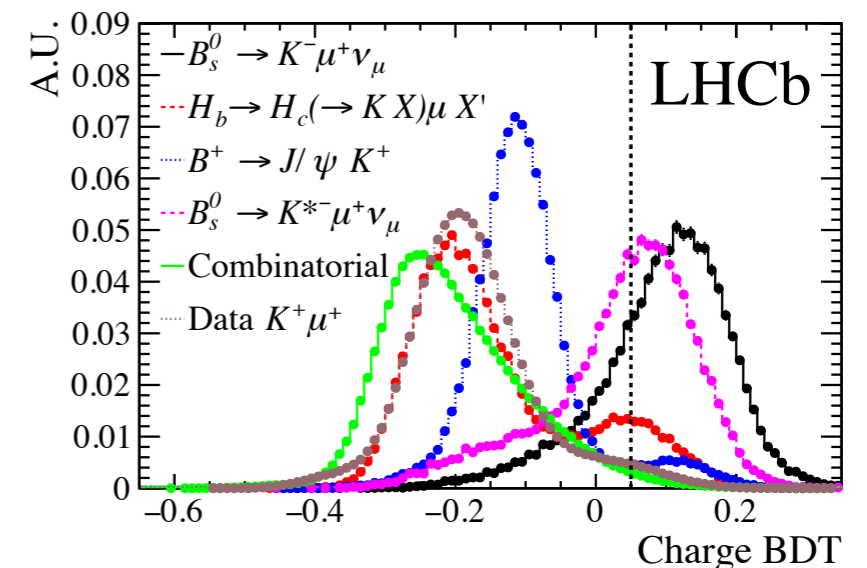
Transizioni del quark beauty (b)

1. Misura della transizione $b \rightarrow u$
(usando $B_s \rightarrow K\mu\nu$)
2. Struttura del mesone ($b\bar{u}$)
(usando $B \rightarrow \mu\nu\gamma$)
3. Test di universalità leptonica
 $b \rightarrow c\nu\tau = b \rightarrow c\nu\mu$?

Studio della composizione del campione



Classificazione con Machine Learning



Proposta di tesi:

Applicazioni di ML per la misura dell'elemento di matrice CKM V_{ub} dal decadimento $B_s \rightarrow K\mu\nu$

Proposta di tesi:

Composizione del campione di decadimenti semileptonici
 $B_s \rightarrow K\mu\nu$

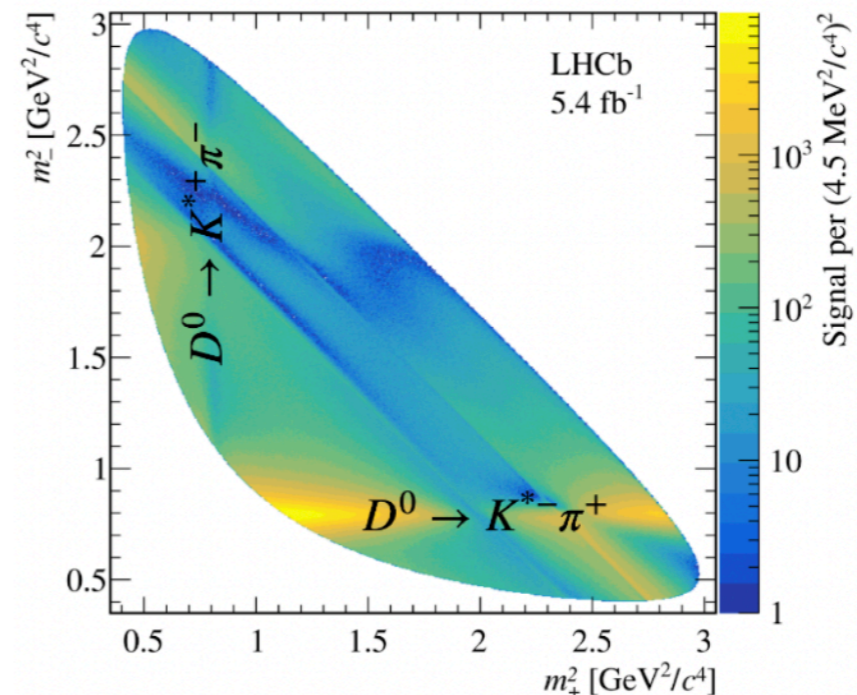
Proposta di tesi:

Studio di variabili angolari per test di universalità leptonica nei mesoni B con leptoni τ e μ

Transizioni del quark charm (c)

1. Violazione CP nel charm ($\sim 10^{-4}$)
(usando $D^0 \rightarrow K_S \pi^+ \pi^-$)
2. Transizioni rare $c \rightarrow u\gamma$
(usando $D^0 \rightarrow V\gamma$)
3. Ricerca di fotoni oscuri
(usando $D^* \rightarrow D^0 \gamma$)

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



Analisi su GPU
con TensorFlow



Proposta di tesi:

Studio dell'efficienza di ricostruzione di $D^0 \rightarrow K_S \pi^+ \pi^-$ con simulazione e ML

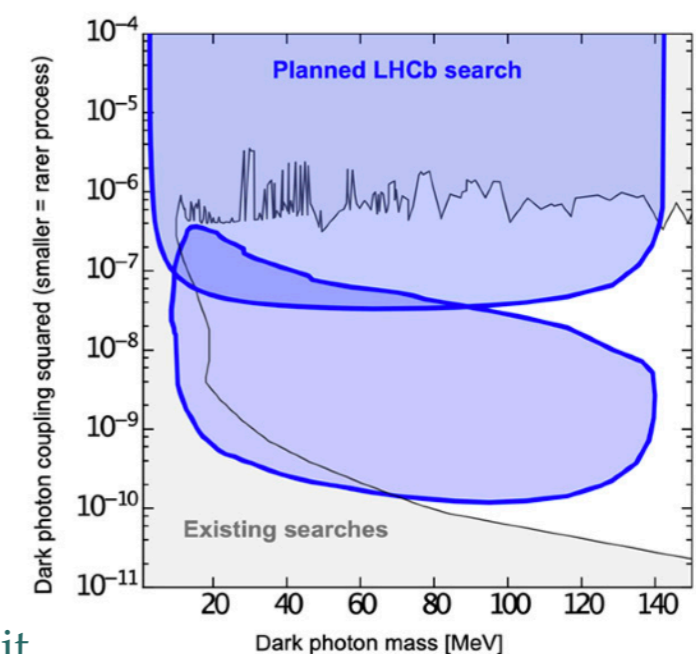
Proposta di tesi:

Studio della selezione online basata su ML per selezionare fotoni oscuri di bassa massa

Proposta di tesi:

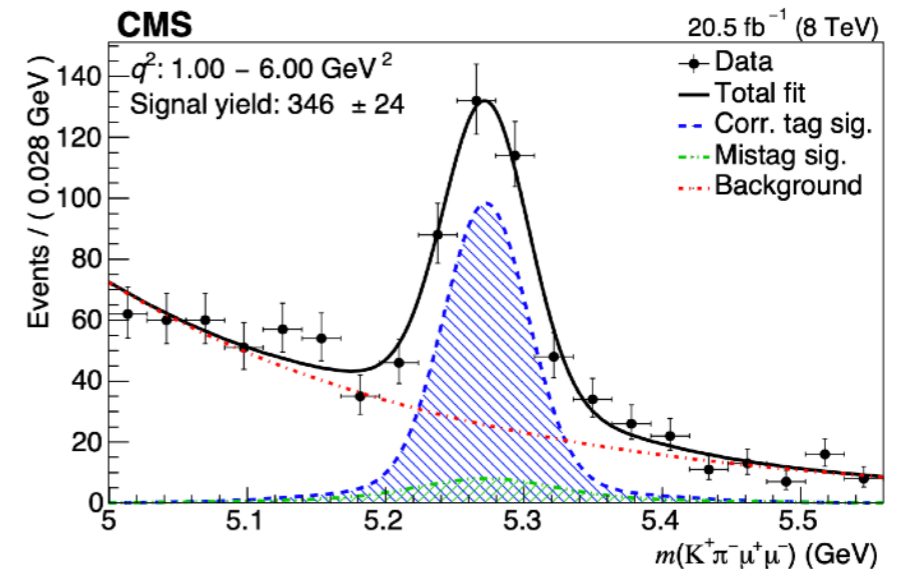
Studio delle componenti del decadimento $D^0 \rightarrow K_S \pi^+ \pi^-$ con fit basato su TensorFlow

Ricerca di fotoni oscuri

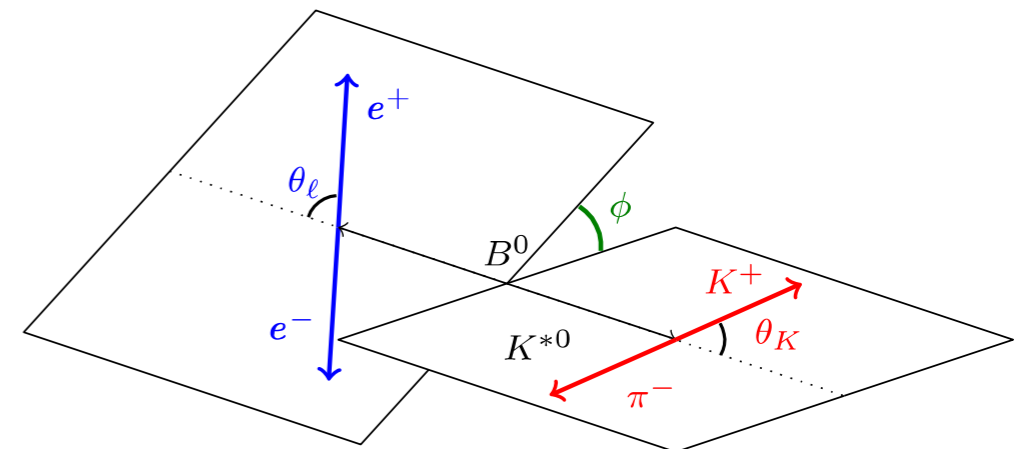


Decadimenti rari

- Transizioni proibite $\tau \rightarrow \mu$
(ricerca di $\tau \rightarrow \mu\mu\mu$ a LHCb)
- Transizioni rare $b \rightarrow s$
 - Studio angolare di $b \rightarrow s\mu^+\mu^-$ a CMS
 - Studio angolare di $b \rightarrow se^+e^-$ a LHCb



Identificazione del segnale
usando algoritmi di ML



Analisi angolari multidimensionali

Proposta di tesi:

Search for Flavour Changing
Neutral Current decays of B0
mesons with ML techniques



Contatti: M. Dinardo, P. Dini, S. Malvezzi, D. Pedrini

Proposta di tesi:

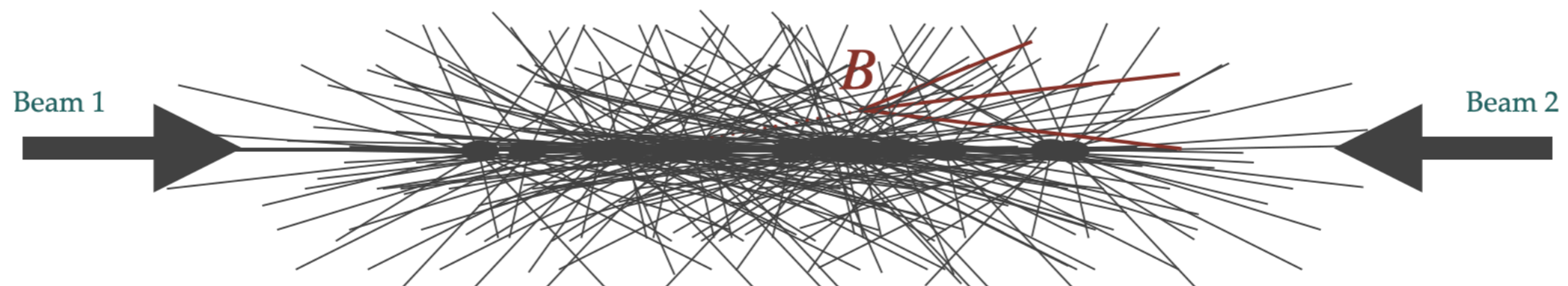
Study of the performance of the
upgraded LHCb using the
benchmark $B^0 \rightarrow K^*ee$ decay



Contatti: M. Borsato, M. Calvi, M. Martinelli

LHCb upgrade

- Scopo: collezionare dati più rapidamente
 - Fattore $\times 5$ nel 2024 e $\times 50$ nel 2033
 - Necessari più granularità, **timing**, resistenza alla radiazione, high-performance computing, tecniche di analisi avanzate
- Il gruppo LHCb@Bicocca si occupa di:
 - Upgrade del calorimetro elettromagnetico \rightarrow *prossima slide*
 - Studio del design dei rivelatori "RICH" a luce Cherenkov
 - Analisi globale della collisione basata su Deep Learning (Progetto DFEI)



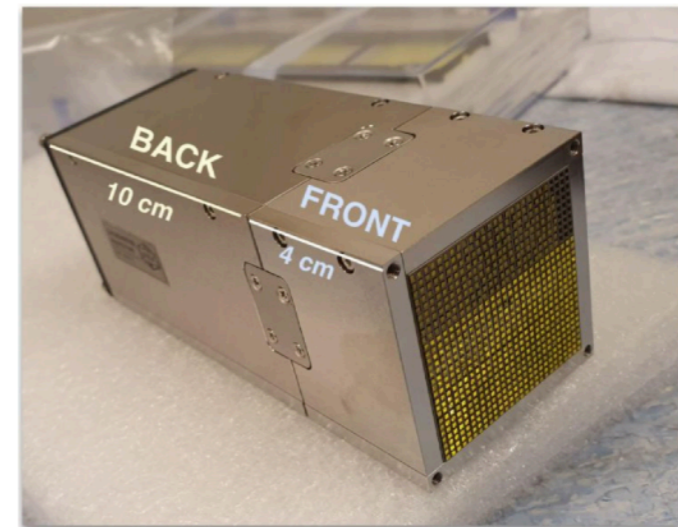
Upgrade del calorimetro elettromagnetico

- 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



Proposta di tesi:
Studio delle performance di diversi prototipi in test su fascio

Proposta di tesi:
Ottimizzazione delle performance con simulazioni Monte Carlo

Progetto di tesi triennale finanziato dall'INFN che permette di avere uno stage rimborsato di 1 mese al CERN (Progetto "CERN-10" a [questo link](#))

Proposta di tesi:
Studio delle prestazioni Particle Identification (PID) per SPACAL

Perché fare una tesi in LHCb?



LHCb@Bicocca

- Fisica dei collider, adroni, sapore dei quark
- Simmetrie del MS e teorie oltre il MS
- Analisi statistica e Machine Learning
- Programmazione in python e/o C++
- Sviluppo detector di ultima generazione
- Un gruppo internazionale e in crescita

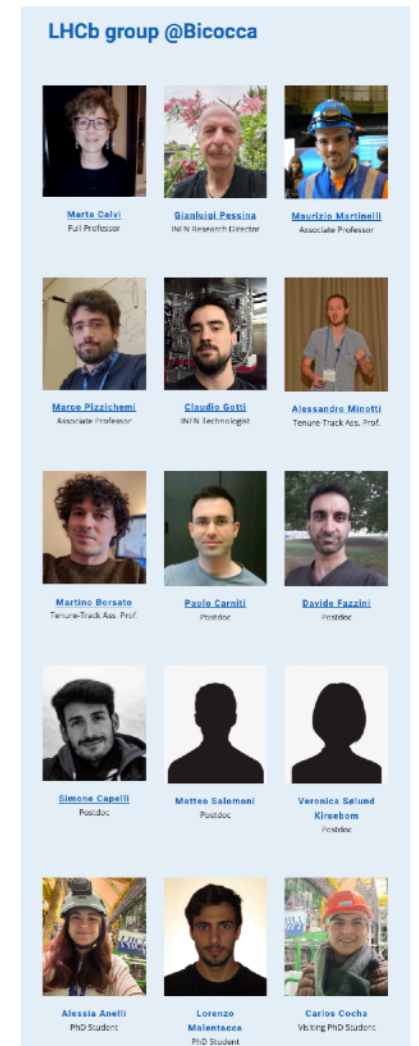
Contatti:

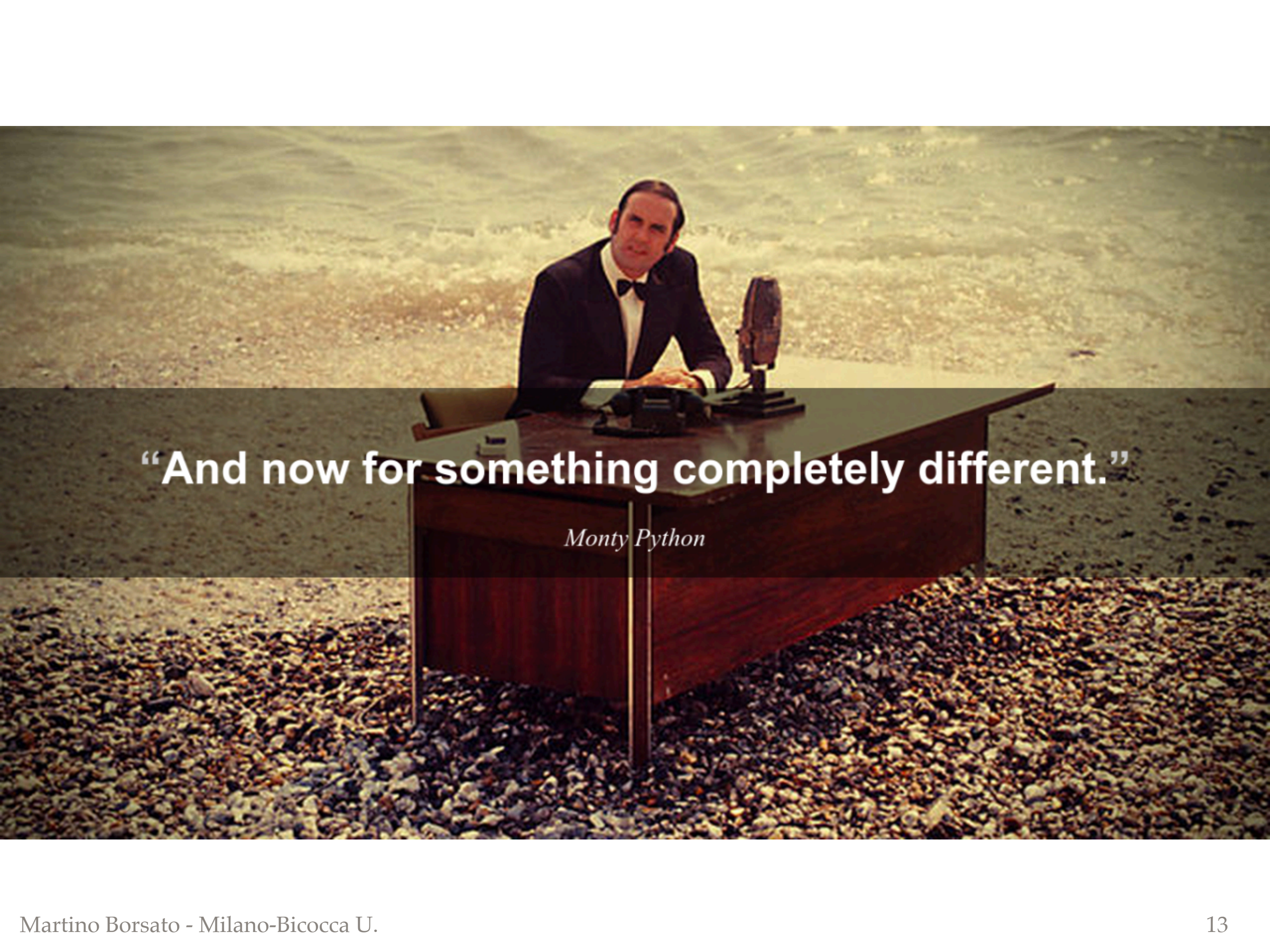
marta.calvi@unimib.it

maurizio.martinelli@unimib.it

martino.borsato@unimib.it

marco.pizzichemi@unimib.it



A man in a dark tuxedo and bow tie sits behind a wooden desk on a beach. The desk is cluttered with a typewriter and a vintage microphone. The background shows the ocean waves crashing onto the shore. The scene is lit with a warm, golden light, suggesting sunset or sunrise.

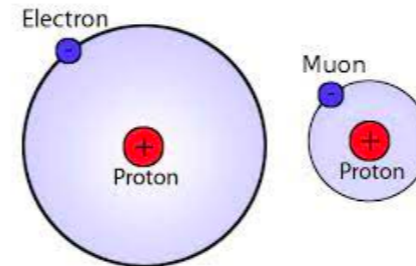
“And now for something completely different.”

Monty Python

Fisica con fasci di muoni

- I fasci di muoni permettono:
 - **Misura del raggio del protone** con atomi muonici (progetto FAMU)
 - **Neutrino factory**: neutrini muonici ed elettronici da $\mu \rightarrow e\nu_e\nu_\mu$
 - **Muon collider**: Higgs factory o esplorazione della frontiera dell'energia

Atomi muonici



MICE: Muon Ionisation Cooling Experiment



International
MUON Collider
Collaboration

Proposta di tesi:
Studio della diagnostica di fascio per il dimostratore del muon collider

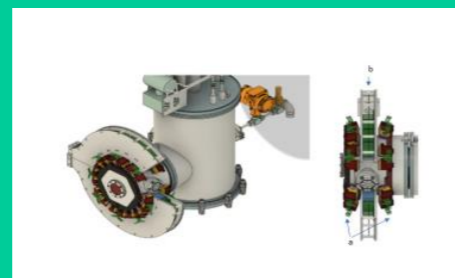
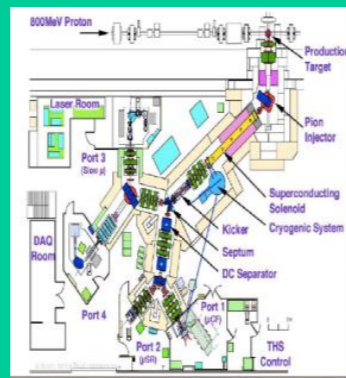
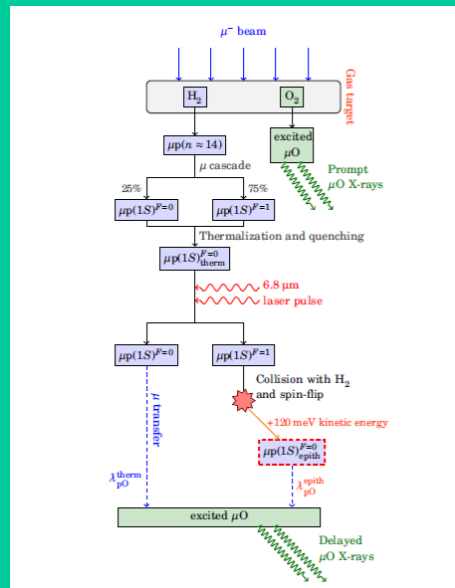
Proposta di tesi:
Costruzione Sistema di time of flight (TOF) con risoluzione ~50 ps

Proposta di tesi:
Atomi muonici: test in laboratorio, sviluppo modelli teorici, analisi dei dati

+ dettagli in backup slide

BACKUP

FAMU - fisica degli atomi muonici



- The proton radius is extremely hard to measure with high precision and good control of systematics
- FAMU will realize a spectroscopic measurement of the hyperfine splitting (hfs) in the 1S state of muonic hydrogen, providing crucial informations on proton structure and muon-nucleon interaction
- The method is outlined in the figure:
- Experimental requirements:
 - ❑ An intense pulsed muon beam (RIKEN-RAL) → beam hodoscope for its characterization developed at MIB
 - ❑ detection of X-rays ~ 100 keV (LaBr3:Ce crystals with SiPM readout developed at MIB)
 - ❑ An intense tunable MIR laser with $\lambda \sim 6785$ nm and a linewidth ~ 0.07 nm

Possible arguments for a master thesis:

- Laboratory tests of 1" LaBr3:Ce read by SiPM arrays
- Study at CNAO beam facility of the performances of a fiber-SiPM beam hodoscope
- Laboratory study of MIR detectors and characterization of specialty fibers for MIR light transport
- Theoretical models for modelling the transfer rates in μp interactions
- Analysis of data collected at RAL for measurement of the proton Zemach radius

Bibliography:

1. R.Pohl et al. *Science* 353, 669 (2016)
2. A.Adamczack et al, *JINST* 11, P05007 (2016); C. Pizzolotto et al., *Eur.Phys.J.A* 56 (2020) 7, 185
3. M. Bonesini et al. *JINST* 12, C03035 (2017)
4. E. Mocchiutti et al, *Phys. Lett.A* 384 (2020) 126667
5. M. Bonesini et al., *Condens. Mat.* 8 (2023) 4,99
6. M. Stoilov et al. *Phys. Rev. A* (2023) 3,032823