

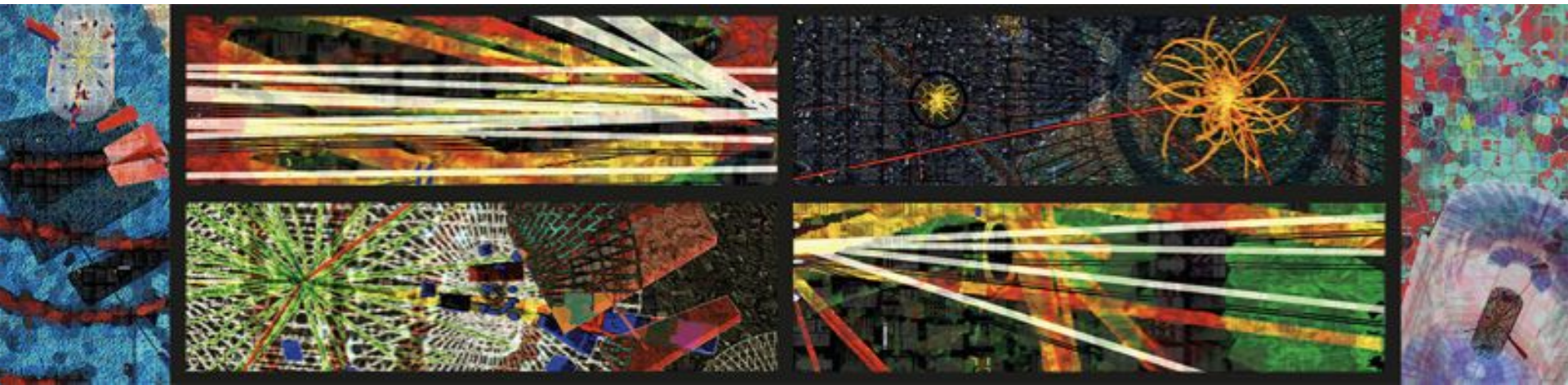
Fisica agli acceleratori: gli apparati di misura e l'intelligenza artificiale

Presentazione delle attività di tesi magistrali

Dipartimento di Fisica G. Occhialini

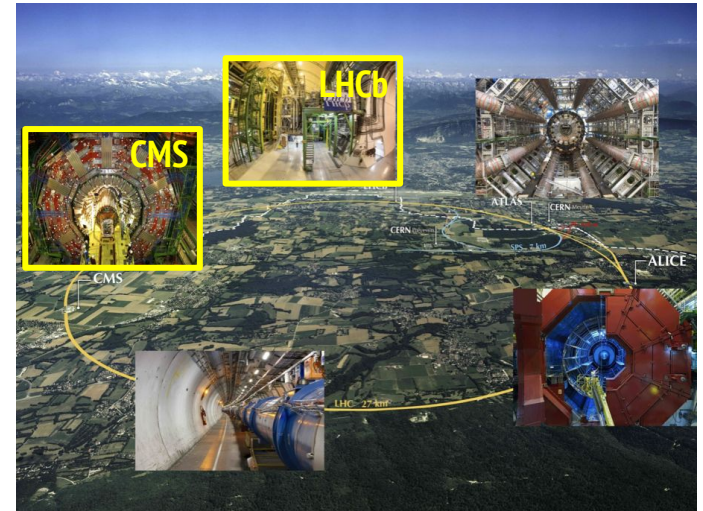
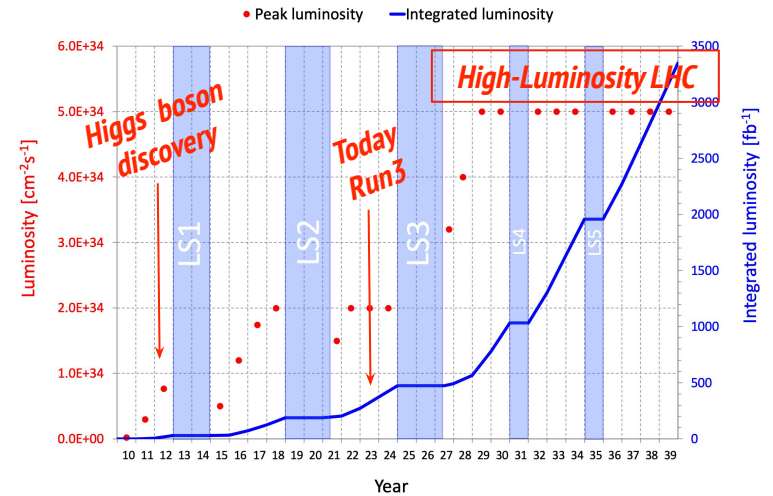
Martina Malberti - martina.malberti@mib.infn.it

INFN Milano Bicocca



Il Large Hadron Collider al CERN

- Progetto trentennale entrato in funzione nel 2008
- Solo < 10% dei dati previsti sono stati acquisiti finora
 - c'è ancora molto da esplorare!
 - più dati per **ricerca di eventi rari e misure di precisione**
- **Acceleratore ed esperimenti sono in continua evoluzione**
 - tecniche di analisi sempre più raffinate
 - previsti upgrade degli esperimenti per la fase di alta luminosità
- A Milano-Bicocca sono rappresentate le collaborazioni **CMS** e **LHCb**

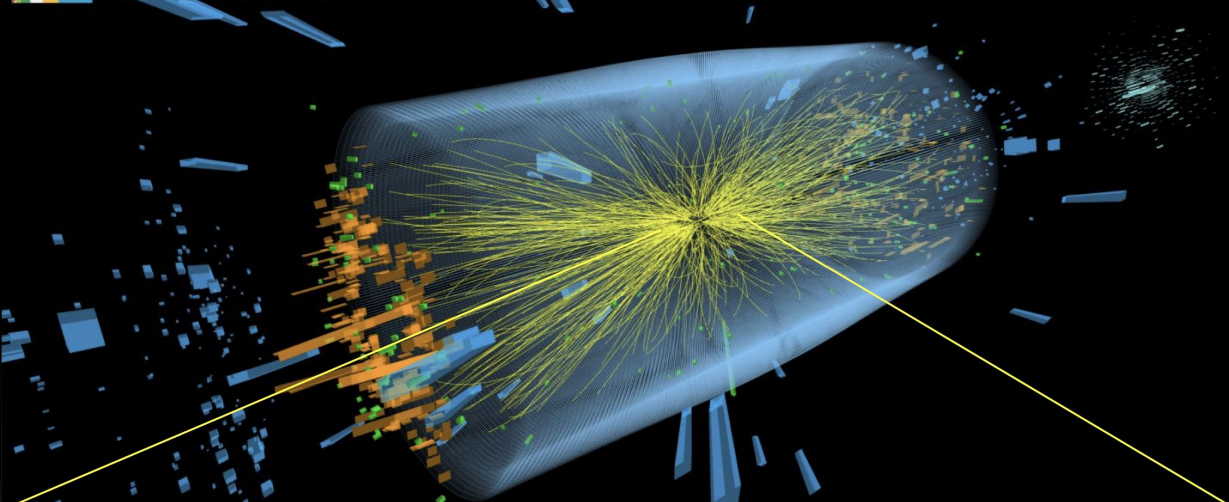


Le sfide di High Lumi LHC

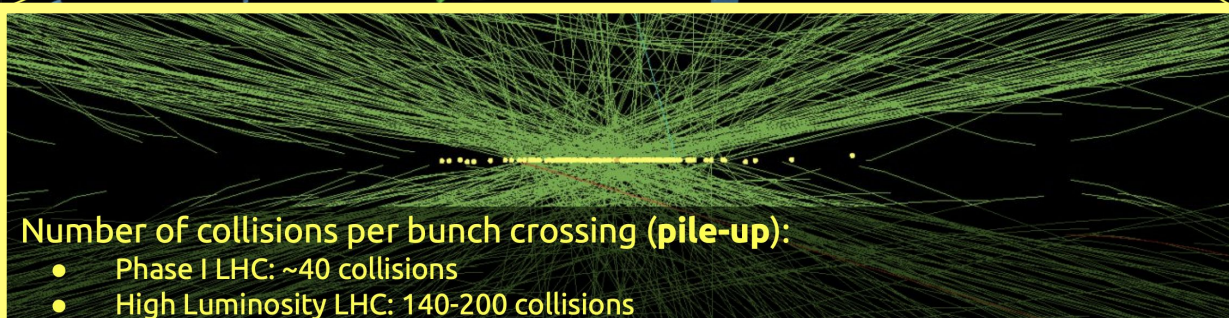


CMS Experiment at the LHC, CERN
Data recorded: 2018-Apr-17 11:26:32.973824 GMT
Run / Event / LS: 314475 / 10482774 / 11

CMS event display



- **Livelli estremi di pileup**
 - condizionano la capacità di CMS di ricostruire gli eventi
- **Altissimi livelli di radiazione**
 - una minaccia per i rivelatori



Number of collisions per bunch crossing (**pile-up**):

- Phase I LHC: ~40 collisions
- High Luminosity LHC: 140-200 collisions

Necessità di nuovi rivelatori e nuovi metodi!

Il rivelatore CMS



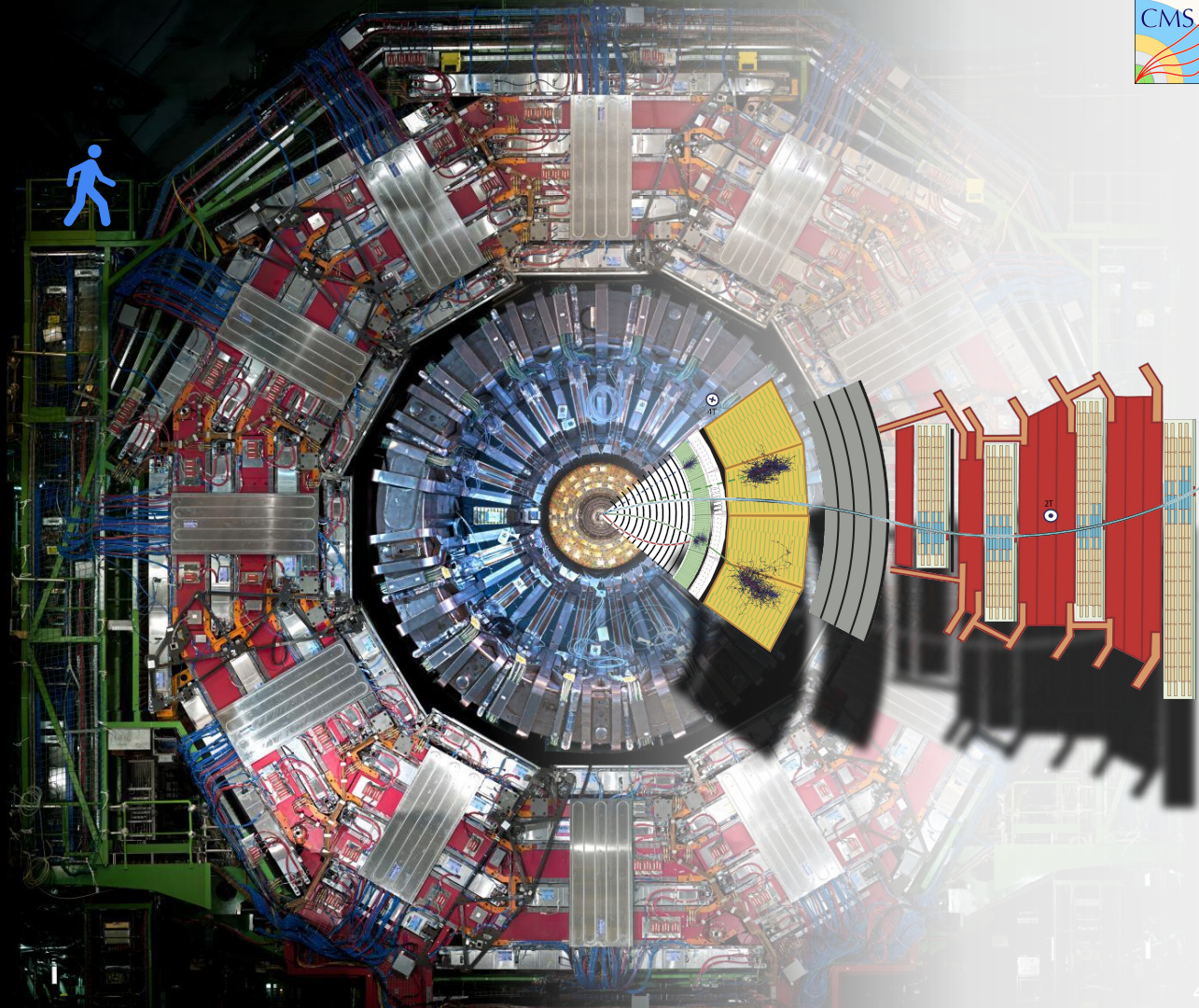
General purpose

Potente magnete e struttura a strati per misurare il quadri-momento delle particelle

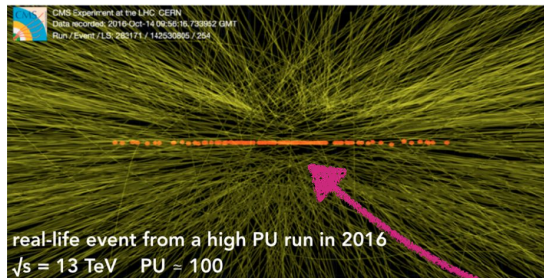
Inner tracking: Pixels+Strips

Calorimetri: ECAL+HCAL

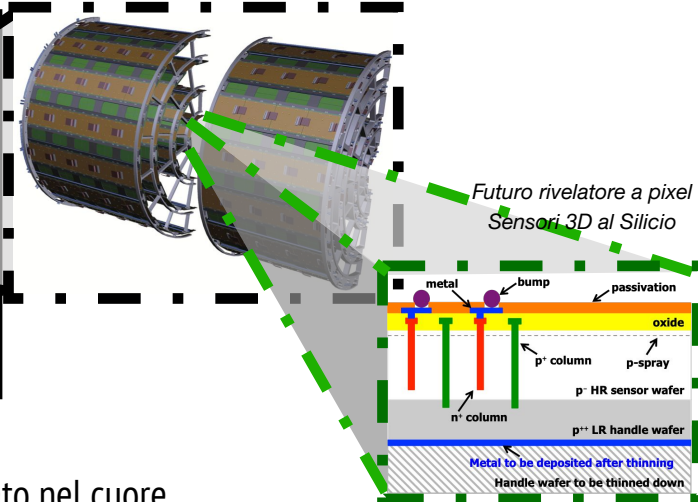
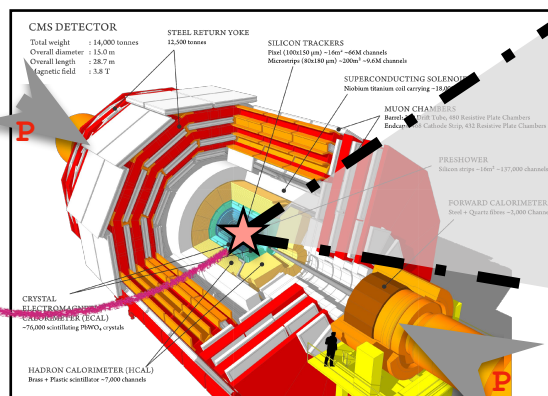
Outer tracking: Muon system



Upgrade of the CMS pixel detector



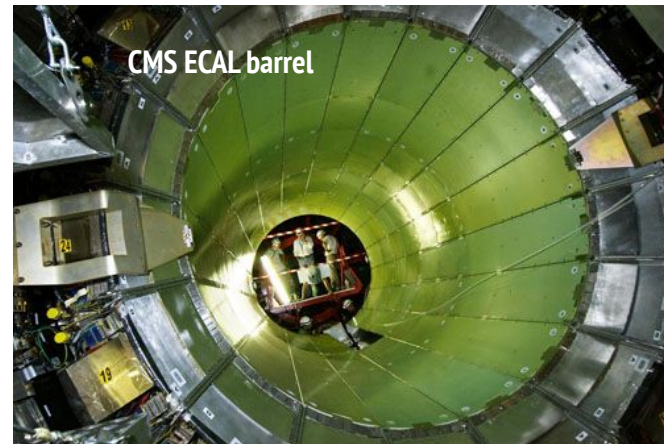
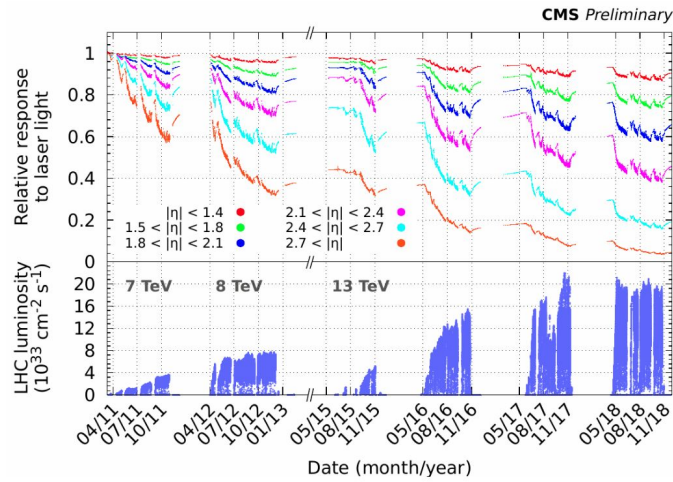
Fino a 200 collisioni per evento ad HL-LHC



- Per la fase di alta luminosità, necessario sostituire il **rivelatore a pixel**, situato nel cuore dell'esperimento, con uno nuovo caratterizzato da:
 - **granularità più fine (x6)**
 - **maggiore resistenza alle radiazioni (x10)**
- **R&D dei sensori** e sviluppo del **software** per pilotare e calibrare il rivelatore
 - **caratterizzazione dei prototipi con test su fascio** (FNAL, CERN) e **simulazioni**

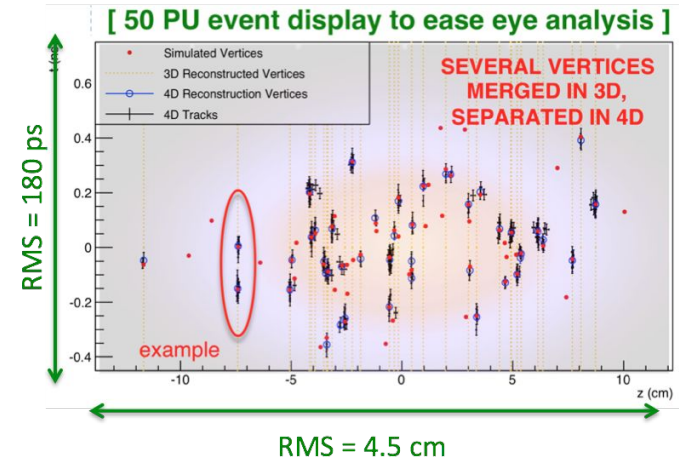
Il calorimetro elettromagnetico (ECAL) di CMS

- ECAL è composto da ~70K cristalli scintillanti
 - misura di energia tramite misura della luce di scintillazione
- Studi su dati e simulazioni Run3
 - **predizioni della perdita di trasparenza con tecniche di Machine Learning**
 - studi di **clustering e riduzione del rumore** con ML (CNN, GNN)
 - **energy regression** con adversarial NN
 - ottimizzazione della local reconstruction rispetto al pileup



MIP Timing Detector (MTD)

- Un **rivelatore completamente nuovo** dedicato alla **misura del tempo** di arrivo delle particelle con una **precisione di 30-40 ps**
- Idea alla base: sfruttare la dimensione temporale per mitigare effetti del pileup nella ricostruzione degli eventi
 - **ricostruzione 4D** → **un cambio di paradigma!**



Attività nei laboratori UniMiB e CERN

- **Sviluppo e costruzione del Barrel Timing Layer**
- **Caratterizzazione di sensori e ASICs**, system tests, studio delle prestazioni dei moduli in laboratorio e con fasci di particelle
- Sviluppo di interfacce software per **detector control e data acquisition**
- Utilizzo del **timing per ottimizzazione della ricostruzione** di eventi con tecniche ML (applicazione in BSM searches e misure Higgs)



Il rivelatore sarà
realizzato in U2!



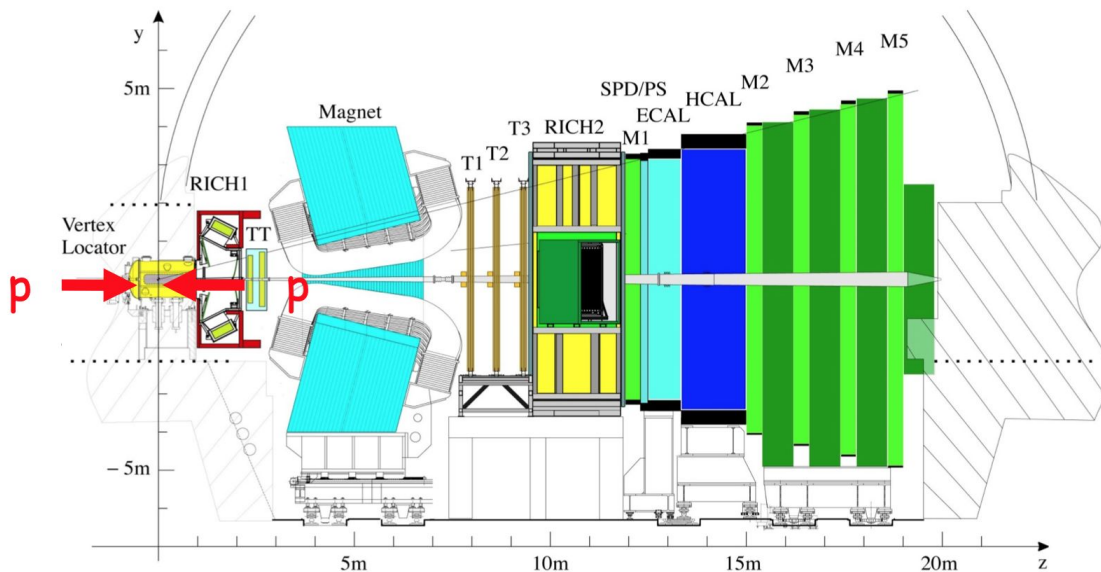
LHCb: spettrometro in avanti a LHC

Ricerca di nuova fisica tramite studi di violazione di CP e decadimenti rari nel settore dei b e c-quarks

Rivelatore di vertici e sistema di tracciamento interno/esterno

Calorimetri: EM+HAD

Rivelatori Cherenkov: particle ID



Programma di presa-dati e di upgrades del rivelatore di LHCb

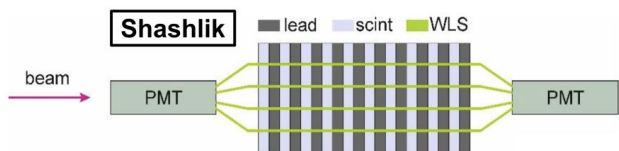
←R&D su rivelatore

Luminosità integrata

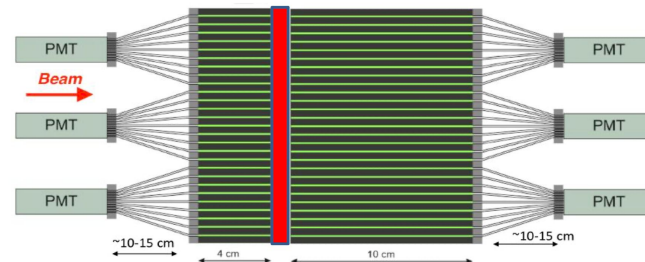


LHCb: upgrade del calorimetro elettromagnetico

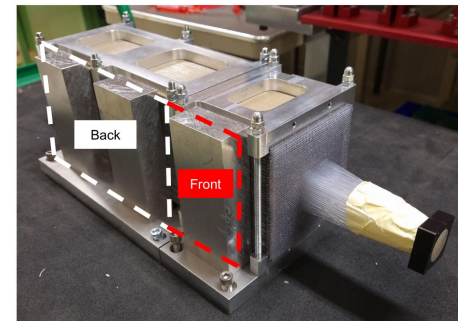
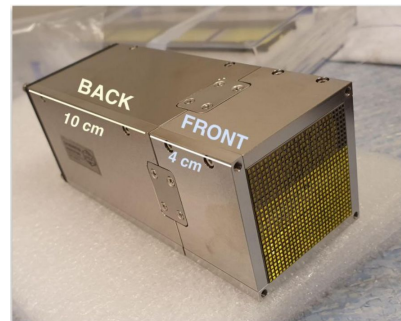
Current: SHASHLIK



New: SPACAL

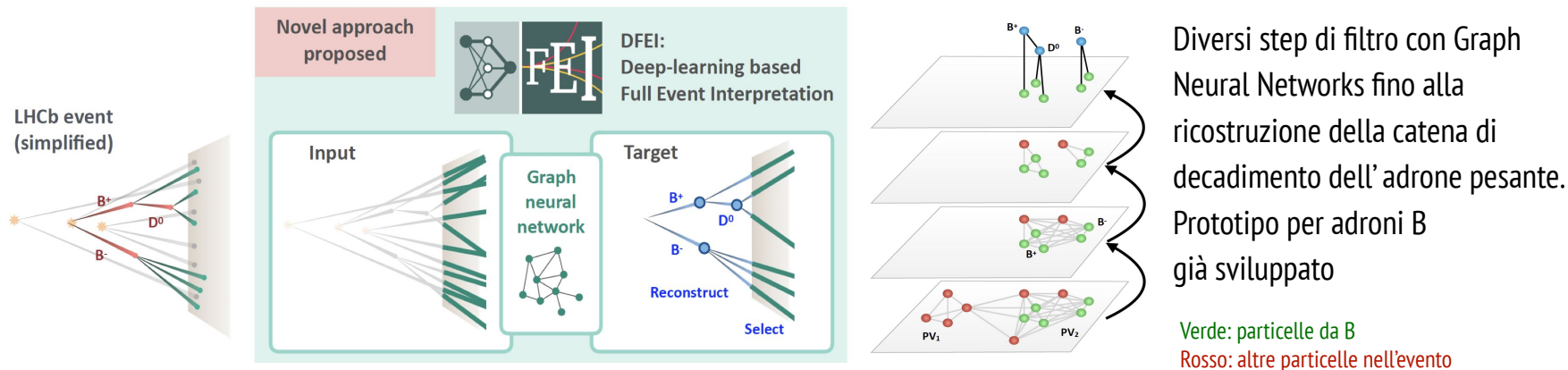


- Attualmente basato su tecnologia SHASHLIK, dovrà subire modifiche sostanziali in vista della fase Hi-Lumi di LHC
- Tecnologia SPACAL: combina assorbitori densi (Tungsteno, Piombo) con fibre di materiali scintillanti (GAGG, Polistirene)
 - resistenza a danno da radiazione fino a 1 MGy grazie a scintillatori inorganici (GAGG)
 - maggiore granularità e ottime risoluzioni temporali
- Studio e ottimizzazione delle performance di diversi prototipi in test su fascio, analisi dati sperimentali raccolti a CERN, DESY, e confronto/ottimizzazione con simulazioni Monte Carlo
- Studio delle prestazioni Particle Identification (PID) per un calorimetro elettromagnetico basato su tecnologia SPACAL



DFEI (Deep Full Event Interpretation)

Uso di **Deep Learning** per un trigger inclusivo ad LHCb in Run3 e a HL-LHC



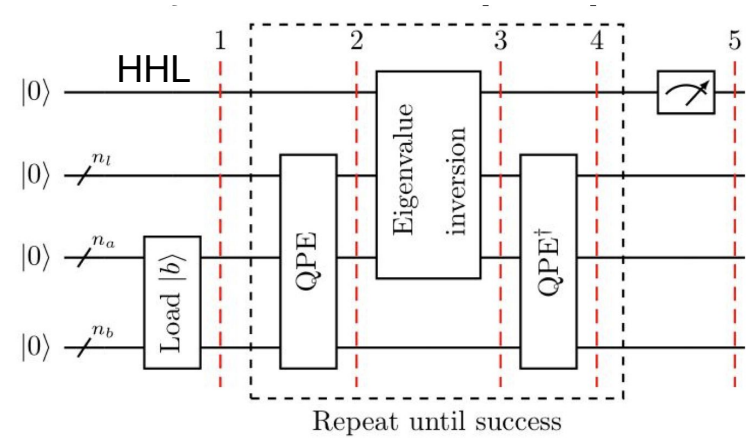
Proposta di tesi: sviluppo e test di **Graph Neural Networks** per la ricostruzione e selezione di decadimenti di adroni pesanti ad LHC. Selezione delle particelle neutre. Estensione agli adroni charmati. Applicazioni offline. Validazione sui dati.

Sviluppo di algoritmi quantistici per il tracciamento di particelle

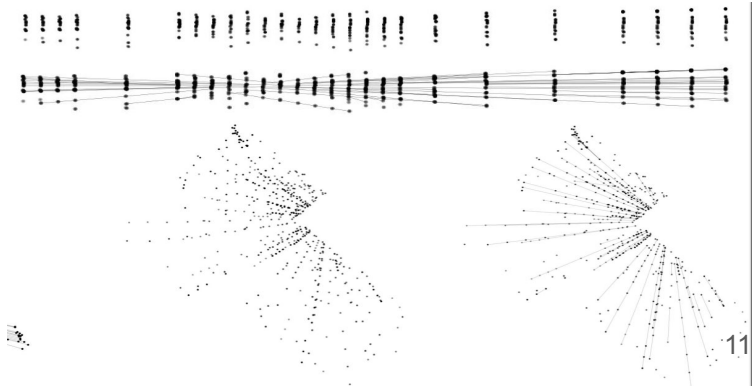
L'Algoritmo Quantistico per i Sistemi Lineari ([HHL](#)) è teoricamente esponenzialmente più veloce dei metodi classici ($O(\log N)$ vs $O(N)$)

Una implementazione di HHL ha avuto successo nel ricostruire tracce nel LHCb VELO (500 hits) ma l'implementazione di HHL in [Qiskit](#) vanifica i vantaggi teorici

Proposta di Tesi: lavorare in collaborazione con il gruppo LHCb di Maastricht (NL) per studiare come migliorare la simulazione dell'Hamiltoniana in HHL e/o applicare l'algoritmo ad altre parti del tracciamento di LHCb



LHCb VELO Simulation



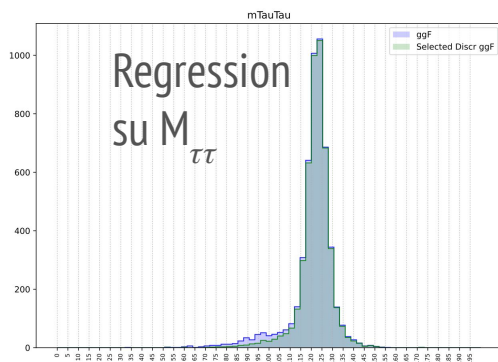
Applicazioni e ML su GPU/FPGA

Un cluster di FPGA sarà disponibile @UniMiB entro la fine dell'anno!

Sviluppo e test di algoritmi di trigger su FPGA per HL-LHC



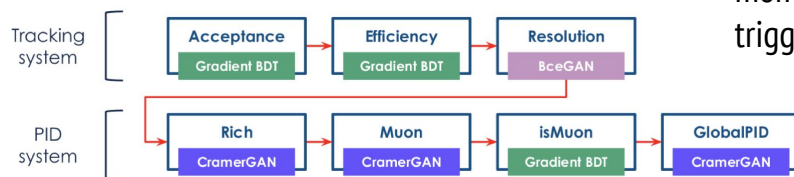
- Esempio: selezionare coppie di τ combinando soglie in p_T e massa invariante **già a L1!**
- Applicazioni nella ricerca del decadimento $HH \rightarrow b\bar{b}\tau\tau$



Ultra-fast simulation for high energy events



- ML per la simulazione di eventi. Per esempio: **Generative Adversarial Networks (GANs)** su GPU
 - possibile generare grandi quantità di eventi, cruciale per HL-LHC



Sviluppo di un testbed di FPGA per la ricostruzione di tracce con **RETINA**



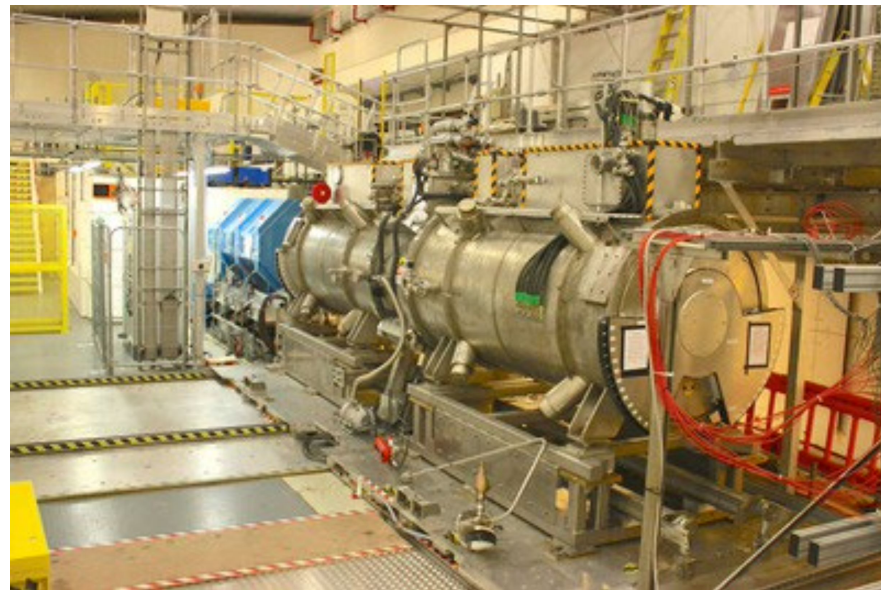
- algoritmo RETINA permette di tracciare particelle in real time, già utilizzato per il clustering nel VELO LHCb
- Possibile ricostruire le tracce di particelle a lunga vita media che decadono fuori dal VELO e che al momento non sono ricostruite nel trigger a GPU di LHCb

Muon Collider R&D (MuCool)

- I **fasci di muoni** offrono interessanti possibilità:
 - **Neutrino factory:** fasci intensi ($\mu \rightarrow e \nu_e \nu_\mu$) con uguale frazione di ν_e, ν_μ
 - **Higgs factory:** grande accoppiamento con l'Higgs
 - **Colliders:** sonda di precisione delle interazioni fondamentali

Contributo di INFN-MIB

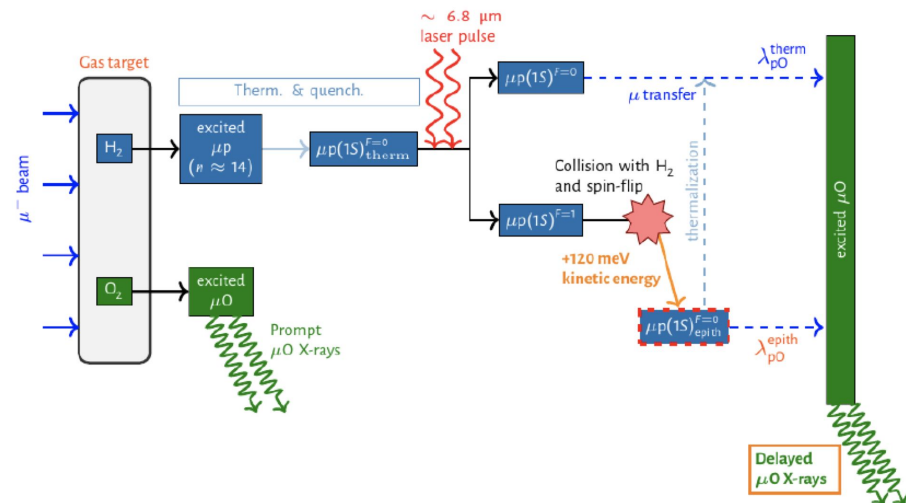
- Costruzione Sistema di time of flight (TOF) con risoluzione ~ 50 ps
- Studio della diagnostica di fascio per il dimostratore del muon collider



<http://mice.iit.edu>

FAMU (Fisica degli atomi muonici)

- Obiettivo: misura di precisione del raggio di Zemach del protone
 - la misura si inserisce nella problematica del “Proton radius puzzle” in cui le misure con elettroni davano valori con notevoli discrepanze con quelli con muoni
- **FAMU**: misura spettroscopica della struttura iperfine dello stato 1S dell'idrogeno muonico (rel. precision: 10^{-5})
 - Fascio di muoni intenso e pulsato (RIKEN-RAL, Oxford)
 - Sistema per rivelazione di raggi X (100 KeV)
 - MIR Laser ($\lambda \sim 6785$ nm, linewidth ~ 0.07 nm)



Possibili argomenti di tesi

- Sviluppo di un rivelatore di fascio basato su fibre scintillanti e SiPM
- Sviluppi di rivelatori di raggi X basati su cristalli di LaBr3 letti da SiPM
- Caratterizzazione di fibre ottiche/rivelatori nel MIR
- Modelli teorici per modellizzare transfer rate

MUonE al CERN

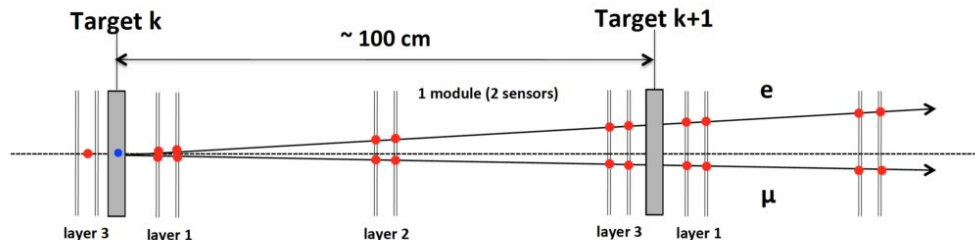
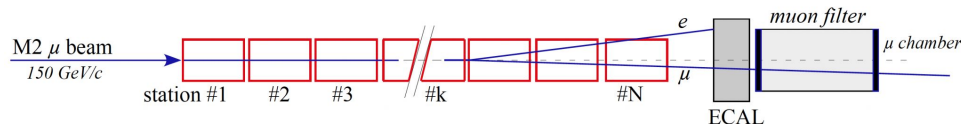
- Ad oggi la misura del momento magnetico anomalo del muone ($g-2$) presenta una discrepanza a $\sim 4\sigma$ rispetto alle previsioni dello SM

- Nuova fisica?
- Sistematiche nella stima teorica? O sperimentale?

$$a_{\mu}^{\text{SM}} = a_{\mu}^{\text{QED}} + a_{\mu}^{\text{EW}} + a_{\mu}^{\text{Hadron}}$$

- Obiettivo: **migliorare la precisione sperimentale** di 4 volte

- Nuovo approccio per misurare a_{μ}^{Had} : **scattering di muoni da 160 GeV su elettroni atomici**



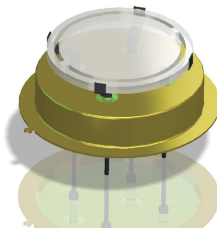
Rivelatore: piani di tracciatori al Si, un calorimetro a cristalli e un filtro a mu

Analisi dati di Test Beam e lavoro di simulazione (dettagli sulla pagina web delle tesi magistrali)

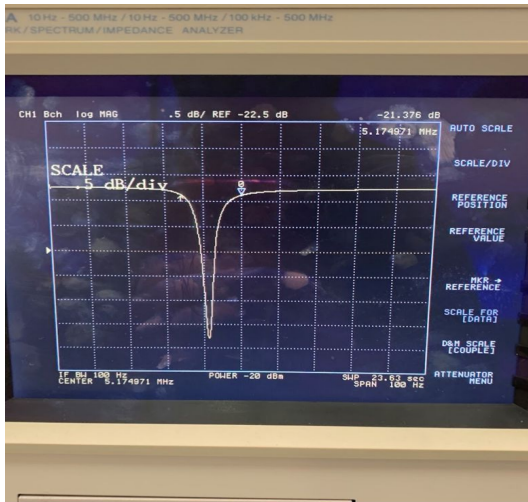
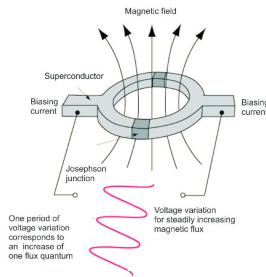
Una parentesi sulle onde gravitazionali: il progetto BAUSCIA

- Sviluppo di un apparato per la rivelazione di **onde gravitazionali ad alta frequenza** (1MHz - 100MHz)
 - cercare onde gravitazionali di origine primordiale indagare la **formazione e composizione dell'universo**
 - banda di frequenza non accessibile con interferometri come LIGO e VIRGO
- Strumento compatto che lavora a **10 mK**:
 - **Cristallo piezoelettrico**: traduce la perturbazione dello spazio-tempo in un segnale elettrico
 - **SQUID** (superconductive quantum interference device): legge il segnale elettrico
- Sviluppo recentemente finanziato nel contesto del progetto **BiCoQ (Centro Bicocca di Cosmologia Quantitativa)**
 - la caratterizzazione di alcuni cristalli è già cominciata

Bulk Acoustic Wave sensor



SQUID



Competenze acquisite

- Competenze specifiche:
 - Rivelatori di particelle sofisticati
 - Fisica delle particelle
 - Approccio ad analisi di fisica
- Ma anche:
 - Manipolazione dei dati
 - Programmazione avanzata (C++, Python)
 - Simulazione/Modellizzazione
 - Machine Learning e Big Data
- Integrazione in una grande collaborazione internazionale

[Pagina web del Dipartimento con argomenti per tesi magistrali e referenti](#)

The screenshot shows the website of the Department of Physics "Giuseppe Occhialini" at Bicocca University. The page is titled "Argomenti per la prova finale della laurea magistrale - Fisica delle Particelle". It features a navigation menu with options like "IL DIPARTIMENTO", "DIDATTICA", "RICERCA", "QUALITÀ", "SERVIZI PER LE AZIENDE", "INTERNAZIONALIZZAZIONE", and "INFN@MIB". The main content area includes a breadcrumb trail: "Home > Didattica > Corsi di studio > Corso di Laurea magistrale in Fisica > Argomenti per la prova finale della laurea magistrale > Argomenti per la prova finale della laurea magistrale - Fisica delle Particelle". A green button labeled "< Corso di Laurea magistrale in Fisica" is visible. The page also lists other exam topics: "Astrofisica" and "Biofisica". A note at the bottom states: "Le tesi magistrali che proponiamo richiedono circa otto mesi di lavoro a tempo pieno." and "Ultimo aggiornamento 12/04/2023, prossimo aggiornamento 12/05/2023".

Non esitate a chiedere!

