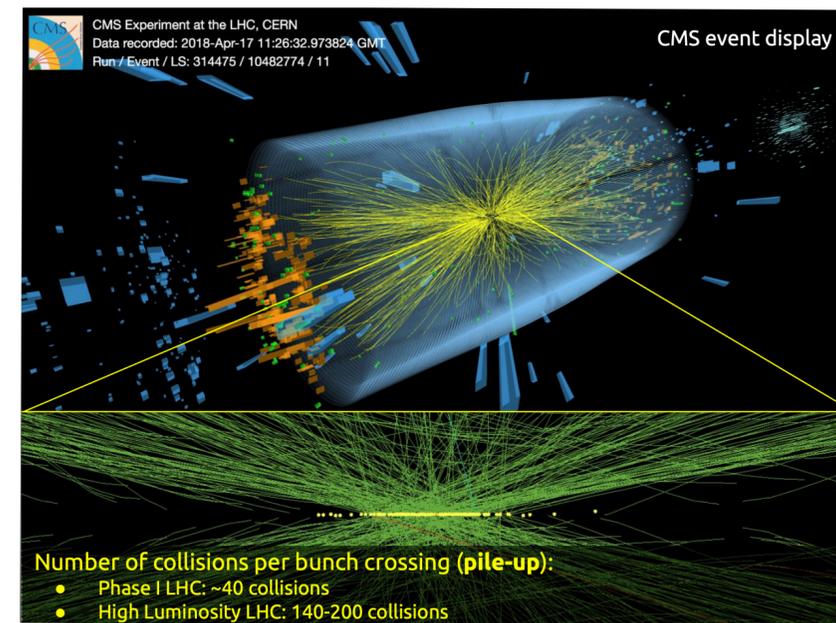
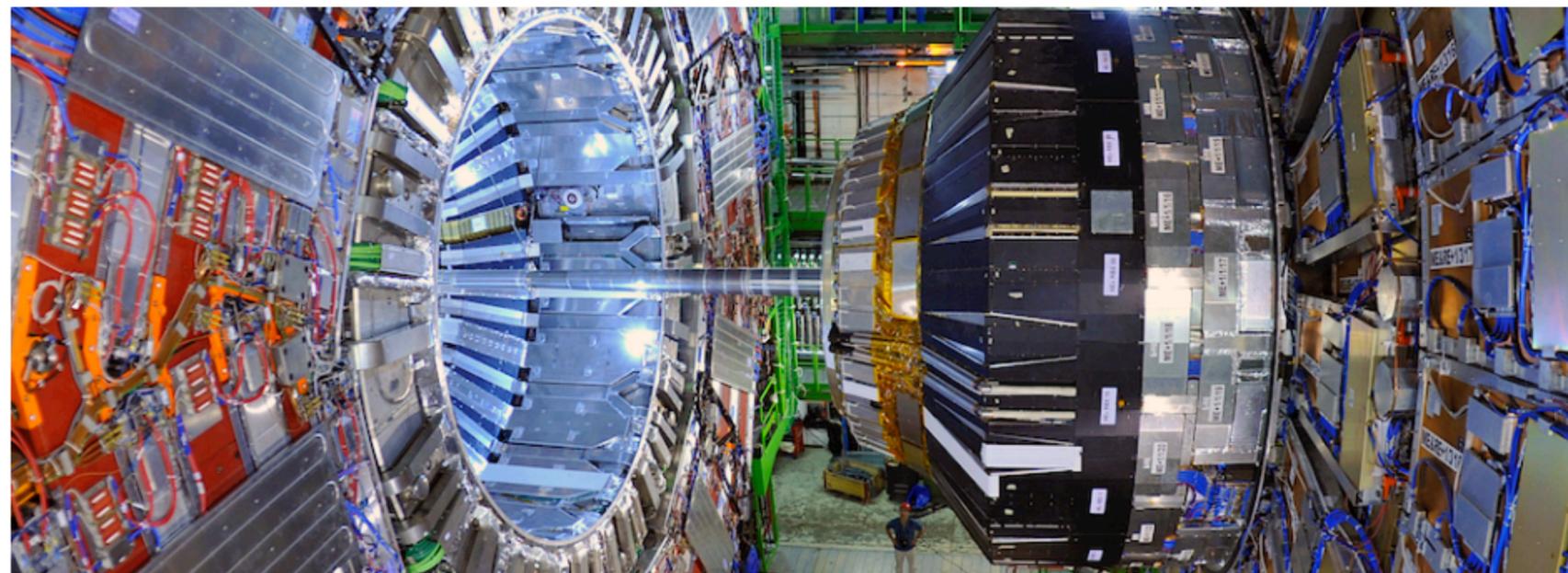


Fisica ai collider di particelle

Proposte di tesi legate all'esperimento CMS

Contesto sperimentale:

- Fisica elettro-debole e ricerche di nuova fisica
- R&D di apparati di misura
- Applicazione di tecniche di IA/ML

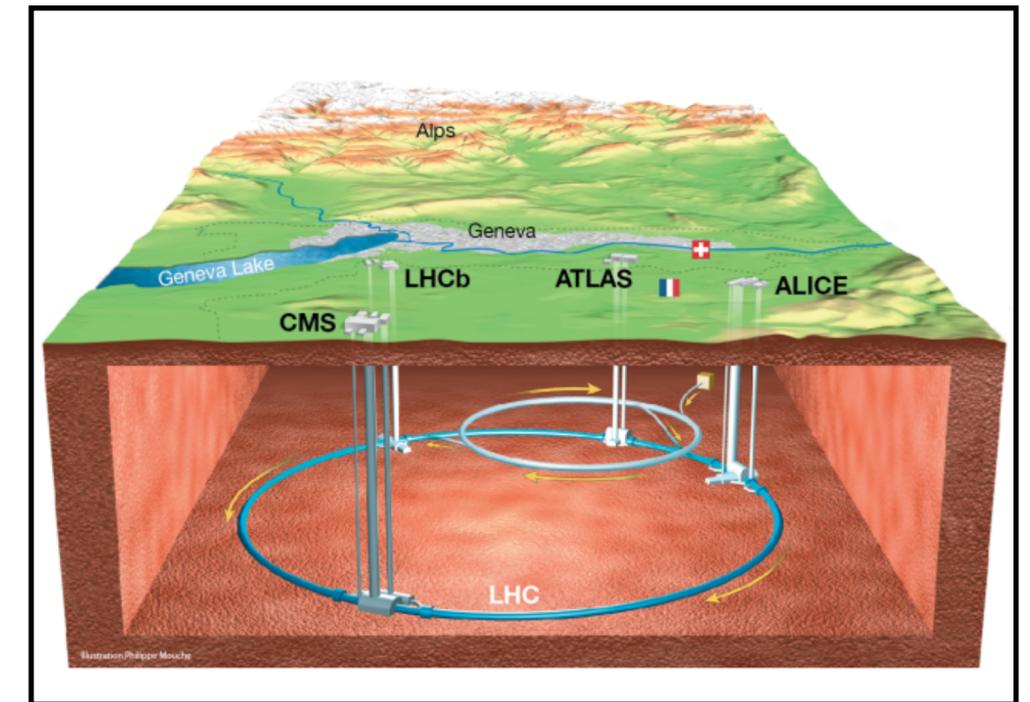


Il Large Hadron Collider (LHC)

- **LHC** é un collider **protone-protone** attualmente operante a $E_{CM} = 13.6 \text{ TeV}$

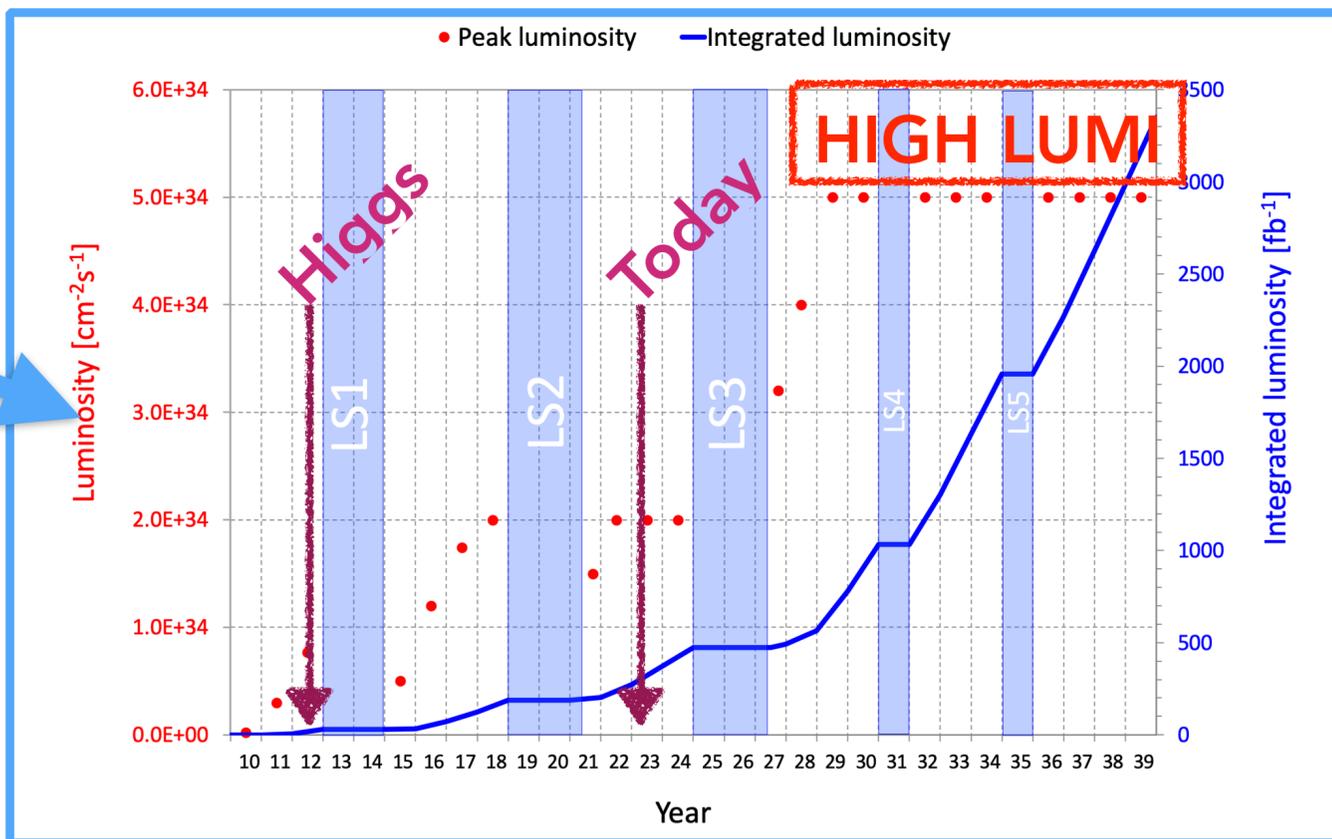
- LHC é in funzione da **13 anni**
- LHC rimarrà in funzione per altri **~15 anni**
- Ad oggi il **10%** di tutti i dati che LHC fornirà sono stati acquisiti

- **LHC** rimarrà la macchina di riferimento per “high-energy-physics” fino all fine della sua vita



- **Evoluzione di LHC vs tempo:**

- Aumento dell'**energia** E_{CM} da 7 TeV a 14 TeV
- Aumento dell'**intensità** delle collisioni (luminosità) da $1 \times 10^{33} \text{ cm}^2/\text{s}$ a $5 \times 10^{34} \text{ cm}^2/\text{s}$

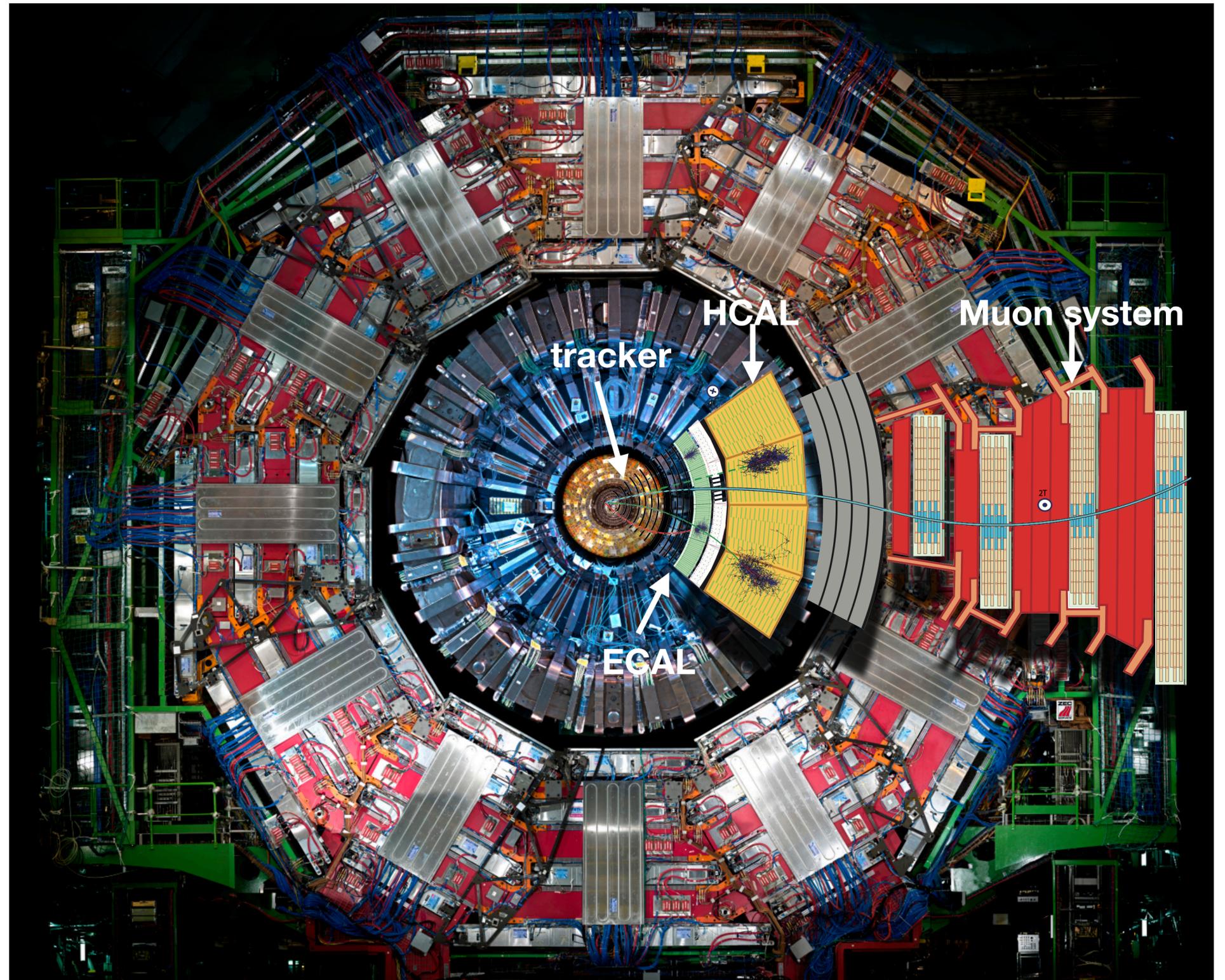


Compact Muon Solenoid (CMS)

- **Esperimento CMS:**

- CMS é un detector di “**general purpose**” cioè copre ~ tutta la fisica di LHC
- Il cuore di CMS é un **potente magnete super-conduttore**
- **Obiettivo:** misurare posizione, carica, ed energia di ogni particella prodotta
- **Struttura a strati** necessaria, sfruttando **tecnologie diverse**, per caratterizzare gli eventi di collisione

- **Inner tracker:** pixel + strip
- **Calorimetri:** ECAL + HCAL
- **Outer tracker:** muon system



Obiettivi dell'esperimento CMS

- **Scopo generale:** sondare la fisica delle interazioni fondamentali alla scala del TeV con elevata precisione

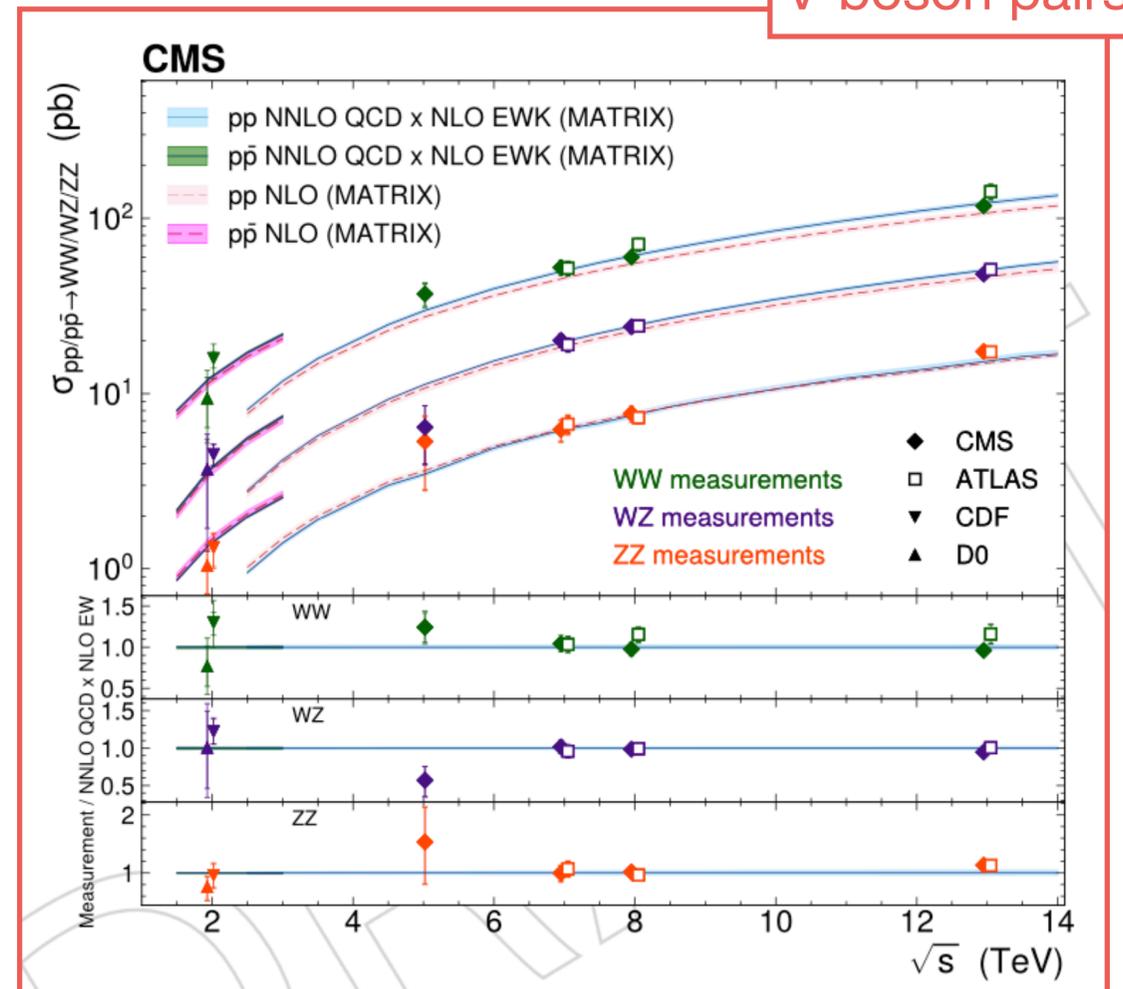
- **Ricerca di nuovi fenomeni:**

- **Ricerche dirette:** osservazione diretta di nuove risonanze \Leftrightarrow particelle \Leftrightarrow interazioni
- **Ricerche indirette:** osservare deviazioni dalle predizioni del modello standard

- **Misure di precisione:**

- Processi elettro-deboli rari
- Fisica del quark top
- Proprietà e gli accoppiamenti del bosone di Higgs
- Misure di precisione della massa di H, W, e top quark
- Fisica del flavour: decadimenti rari di particelle con b-quark
- Fisica delle collisioni con ioni pesanti

V-boson pairs

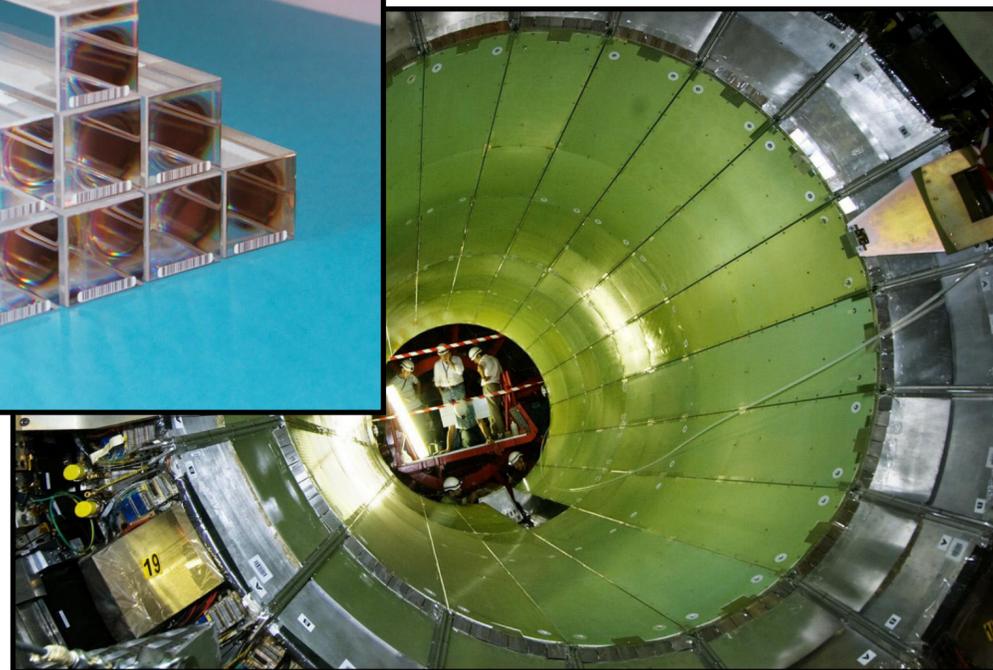
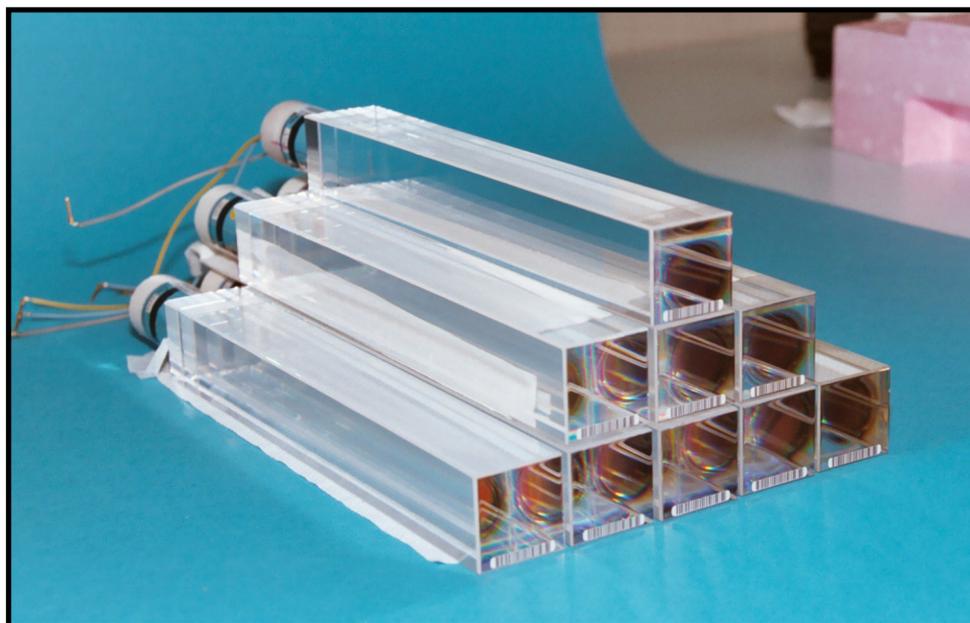


Proposte di tesi sui dati attuali → Run2 e Run3

Progetti legati a ECAL

- **ECAL** é composto da **75848 cristalli** scintillanti di PbWO_4

- é un calorimetro **omogeneo**
- é in grado di fermare **elettroni** e **fotoni**
- **converte** l'energia di elettroni e fotoni in **luce** di **scintillazione**
- **obiettivo**: misurare energia e posizione di e/γ



Correzione della perdita di trasparenza

- L'esposizione alla radiazione **danneggia i cristalli**
- **Proposta**: predire perdita di trasparenza con ML per applicazioni al trigger di CMS in Run3
- Regressione basata su **feed-forward NN** o con **Long-Short-Term Memory (LSTM)**

Riduzione rumore e ricostruzione immagini

- Usare **Graph-Neural-Networks (GNN)** per raggruppare singoli depositi di energia
- Stima e sottrazione del rumore intrinseco di ogni canale

Contatti: andrea.massironi@mib.infn.it simone.gennai@mib.infn.it
alessio.ghezzi@unimib.it

Progetti legati a ECAL

- **ECAL** é composto da **75848 cristalli** scintillanti di PbWO_4

- é un calorimetro **omogeneo**
- é in grado di fermare **elettroni** e **fotoni**
- **converte** l'energia di elettroni e fotoni in **luce** di **scintillazione**
- **obiettivo:** misurare energia e posizione

Correzione della perdita di trasparenza

- L'esposizione alla luce

peggiora i cristalli

*trasparenza con ML
Run3*

ad NN o con

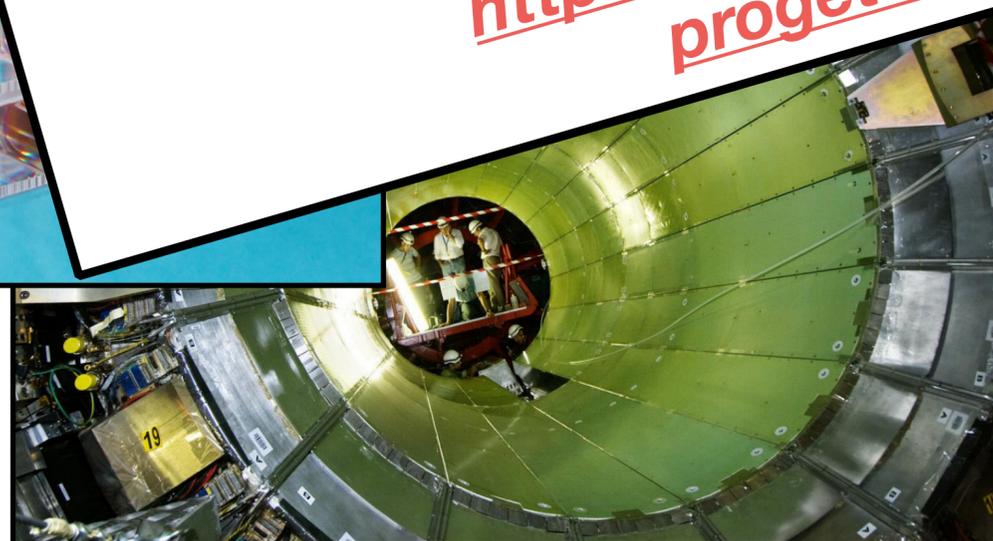
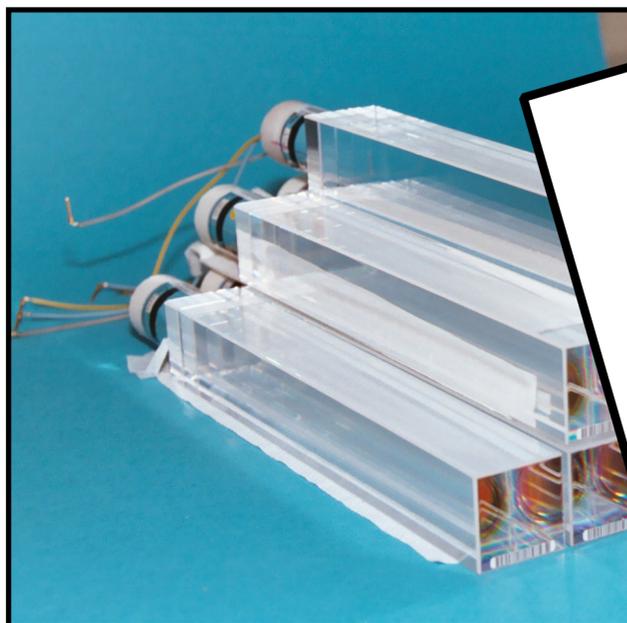
Progetto di tesi triennale proposto all' INFN
Disponibile per chi é interessato ad applicare
Se selezionato tra i progetti vincitori, garantisce 1 mese di
stage al CERN finanziato dall'ente
https://web.infn.it/csn1/images/docs/progetti_triennali_2024.pdf

rumore e ricostruzione immagini

• *usare Graph-Neural-Networks (GNN) per raggruppare singoli depositi di energia*

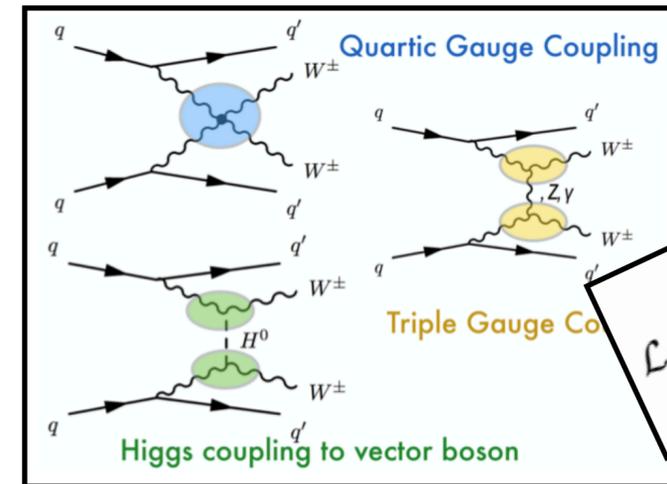
- Stima e sottrazione del rumore intrinseco di ogni canale

Contatti: andrea.massironi@mib.infn.it simone.gennai@mib.infn.it
alessio.ghezzi@unimib.it



Studio di processi elettro-deboli rari

- **Scopo:** studio di processi elettro-deboli rari
- **Misure di precisione** di sezioni d'urto differenziali
- **Ricerche indirette** di nuova fisica in **effective field theory**
- **Test** indipendente del **meccanismo di Higgs**



$$\mathcal{L}_{\text{SMEFT}} = \mathcal{L}_{\text{SM}} + \sum_i \frac{c_i}{\Lambda^2} O_i^{(6)} + \frac{c_i}{\Lambda^4} O_i^{(8)} + \dots$$

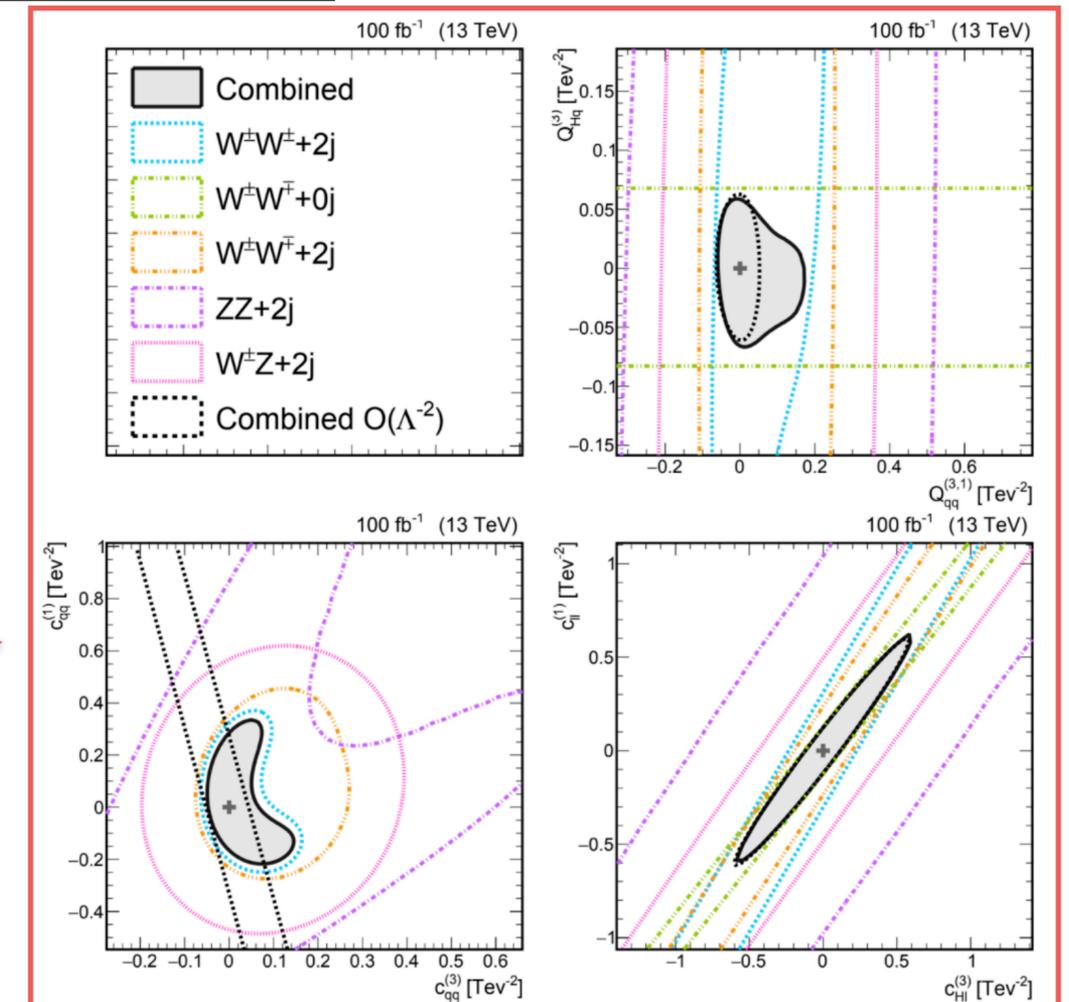
Processi d'interesse:

- Produzione di W e Z attraverso fusione di bosoni vettori
- Scattering elettro-debole tra bosoni vettori

Aree di lavoro e sviluppo:

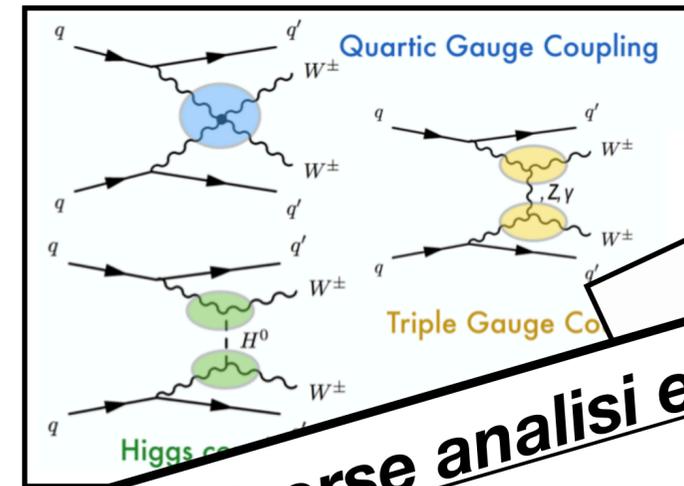
- Uso di **ML** per migliorare **reiezione** e **stima** dei fondi
- **Fit globale** di effective field theory e sezioni d'urto
- **Simulazioni** e **modellizzazione** dei processi d'interesse

Contatti: pietro.govoni@unimib.it raffaele.gerosa@unimib.it
andrea.massironi@mib.infn.it marco.paganoni@unimib.it



Studio di processi elettro-deboli rari

- **Scopo:** studio di processi elettro-deboli rari
- **Misure di precisione** di sezioni d'urto differenziali
- **Ricerche indirette** di nuova fisica in **effective field theory**
- **Test** indipendente del **meccanismo di Higgs**



$$c_{SM} + \sum_i \frac{c_i}{\Lambda^2} O_i^{(6)} + \frac{c_i}{\Lambda^4} O_i^{(8)} + \dots$$

Processi d'interesse:

- Produzione di W e Z attraverso fusione di q
- Scattering elettro-debole $qq \rightarrow qq$

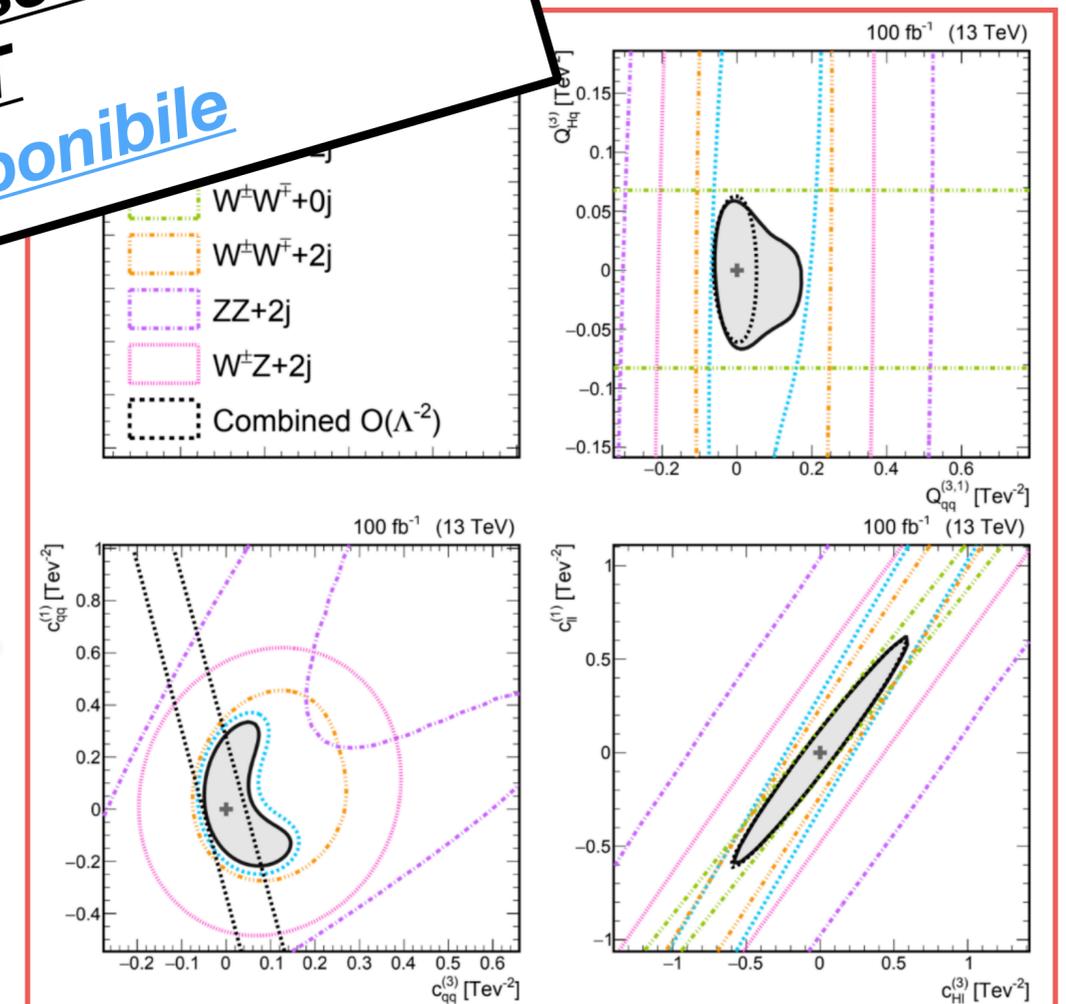
Il gruppo di Milano Bicocca è coinvolto in diverse analisi ed è leader ricerche e fit globali in EFT

Più di uno stage di tesi triennale è disponibile

Aree di lavoro:

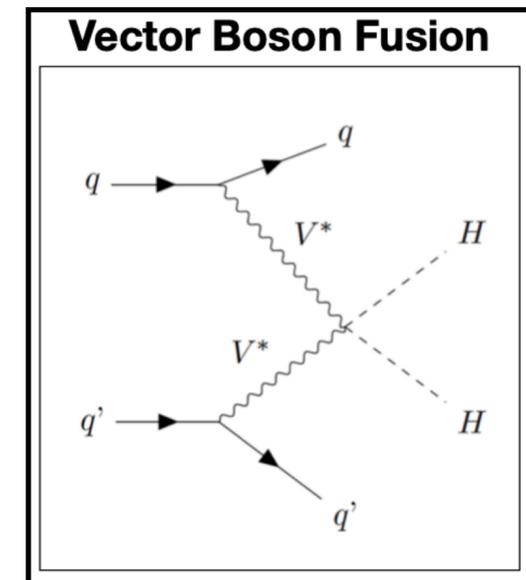
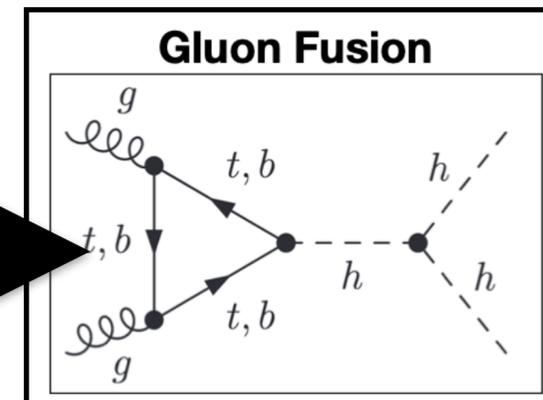
- Uso di **ML** per **selezione** e **stima** dei fondi
- **Fit globale** di effective field theory e sezioni d'urto
- **Simulazioni** e **modellizzazione** dei processi d'interesse

Contatti: pietro.govoni@unimib.it raffaele.gerosa@unimib.it
andrea.massironi@mib.infn.it marco.paganoni@unimib.it



Misura dell'auto-interazione del bosone di Higgs

- **Scopo:** osservare un'interazione ancora ignota nel modello standard
- Possibili **anomalie** → accesso diretto a **nuova fisica**
- **Higgs self-coupling** ad **LHC** \Leftrightarrow produzione non-risonante di **coppie di bosoni di Higgs (HH)**



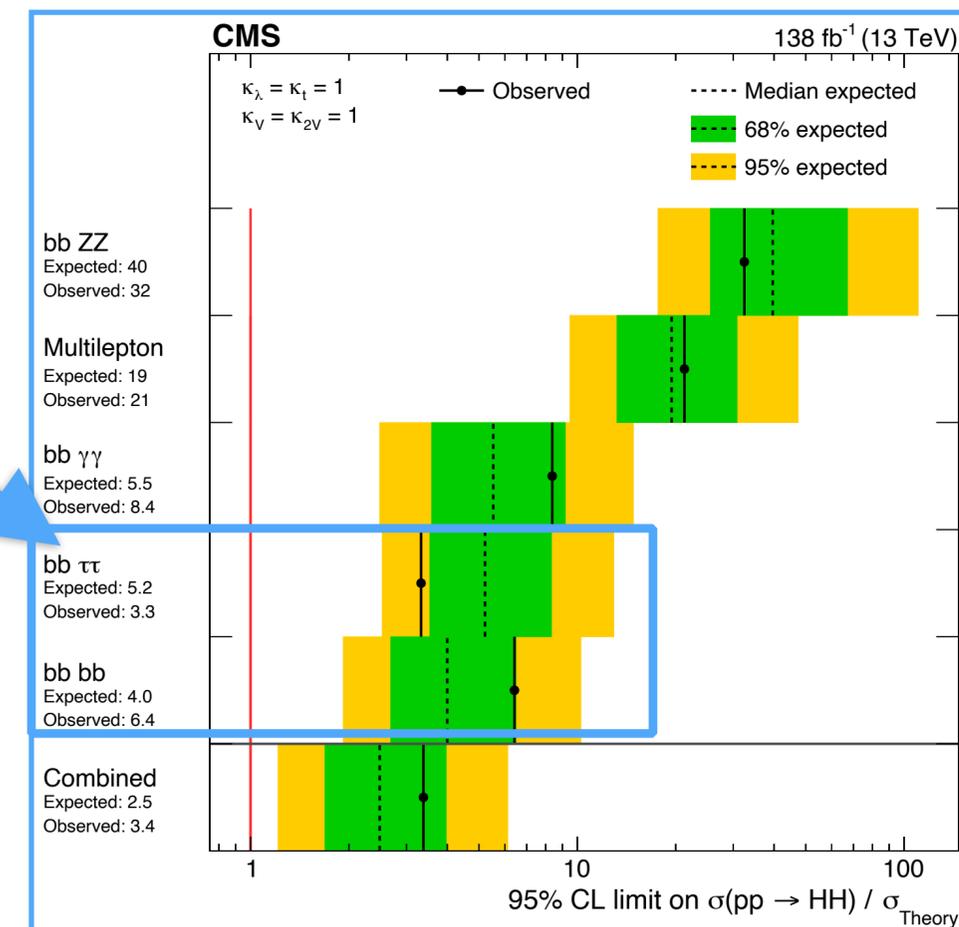
Stati finali d'interesse:

- Processo HH **estremamente raro**
- Maggiore **sensibilità** \Leftrightarrow **decadimenti** più **probabili**
- MIB attiva in **HH** \rightarrow **4b** e **HH** \rightarrow **bb** $\tau^\pm \tau^\mp$

Aree di lavoro e sviluppo:

- Usare **ML** per migliorare **aspetti cruciali** dell'analisi: **reiezione** dei fondi, **massa** dell'Higgs, **stima data-driven** dei fondi, etc.
- Studiare impatto di **nuovi trigger** sviluppati per Run3

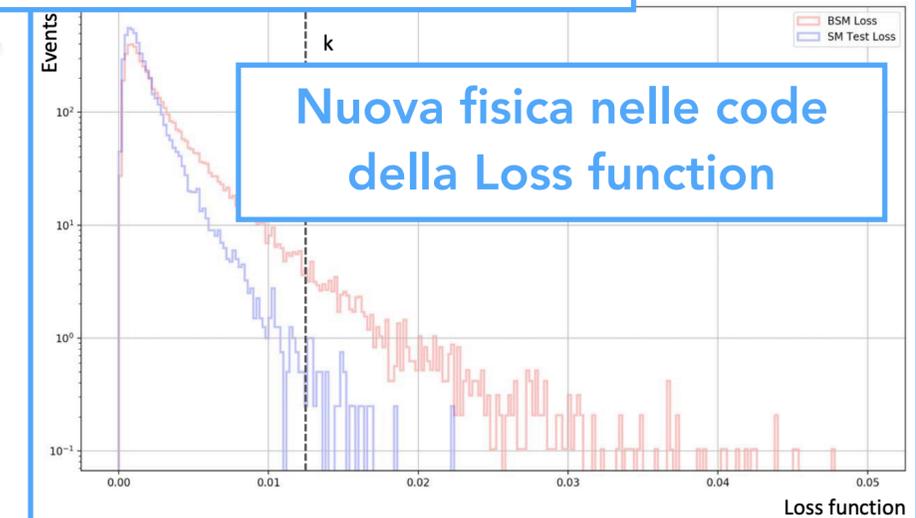
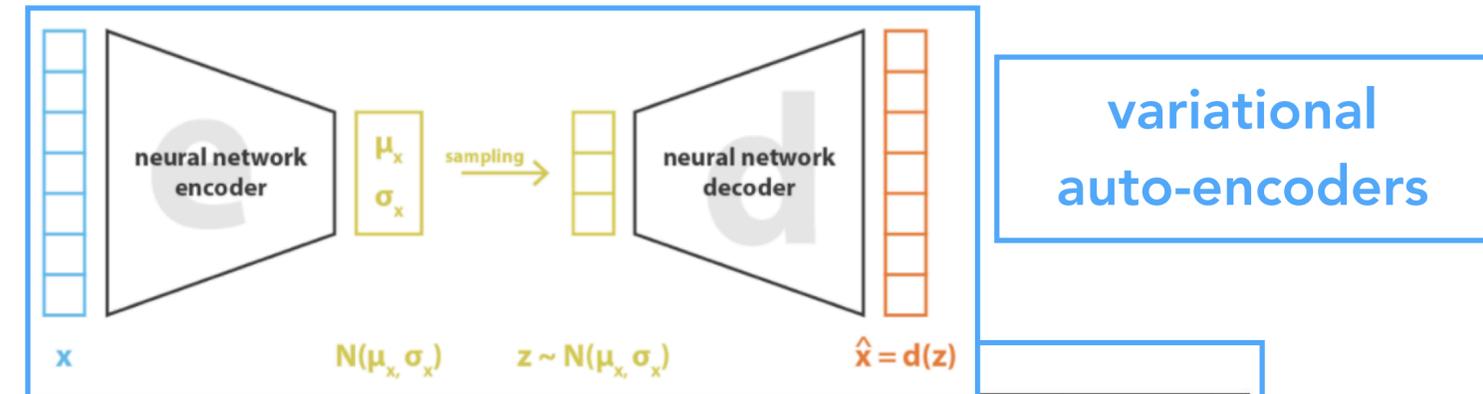
Contatti: simone.gennai@mib.infn.it raffaele.gerosa@unimib.it
mauro.dinardo@unimib.it



Applicazioni di Machine Learning

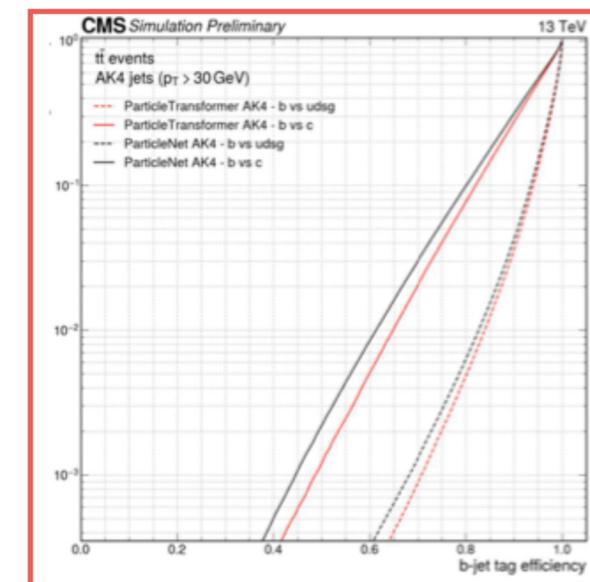
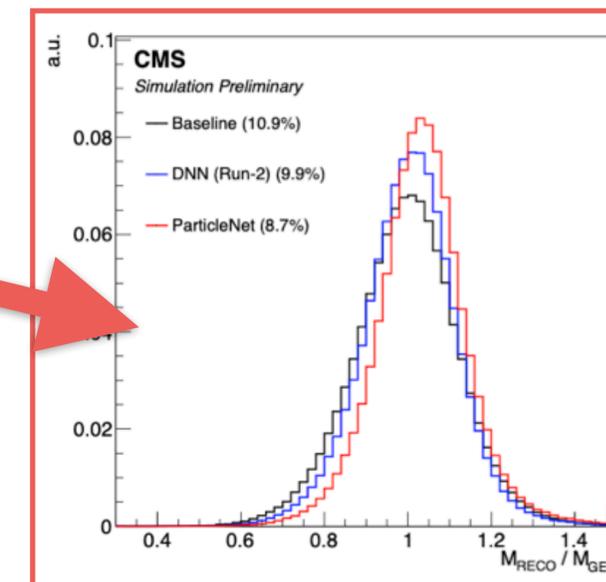
Ricerca di segnali anomali

- Nuova fisica può essere parametrizzata ad LHC in effective field theory (EFT)
- Operatori EFT modificano la cinematica di un processo
- Cercare EFT \Leftrightarrow cercare anomalie nei dati ad alta energia



Identificazione e calibrazione di particelle e jet adronici

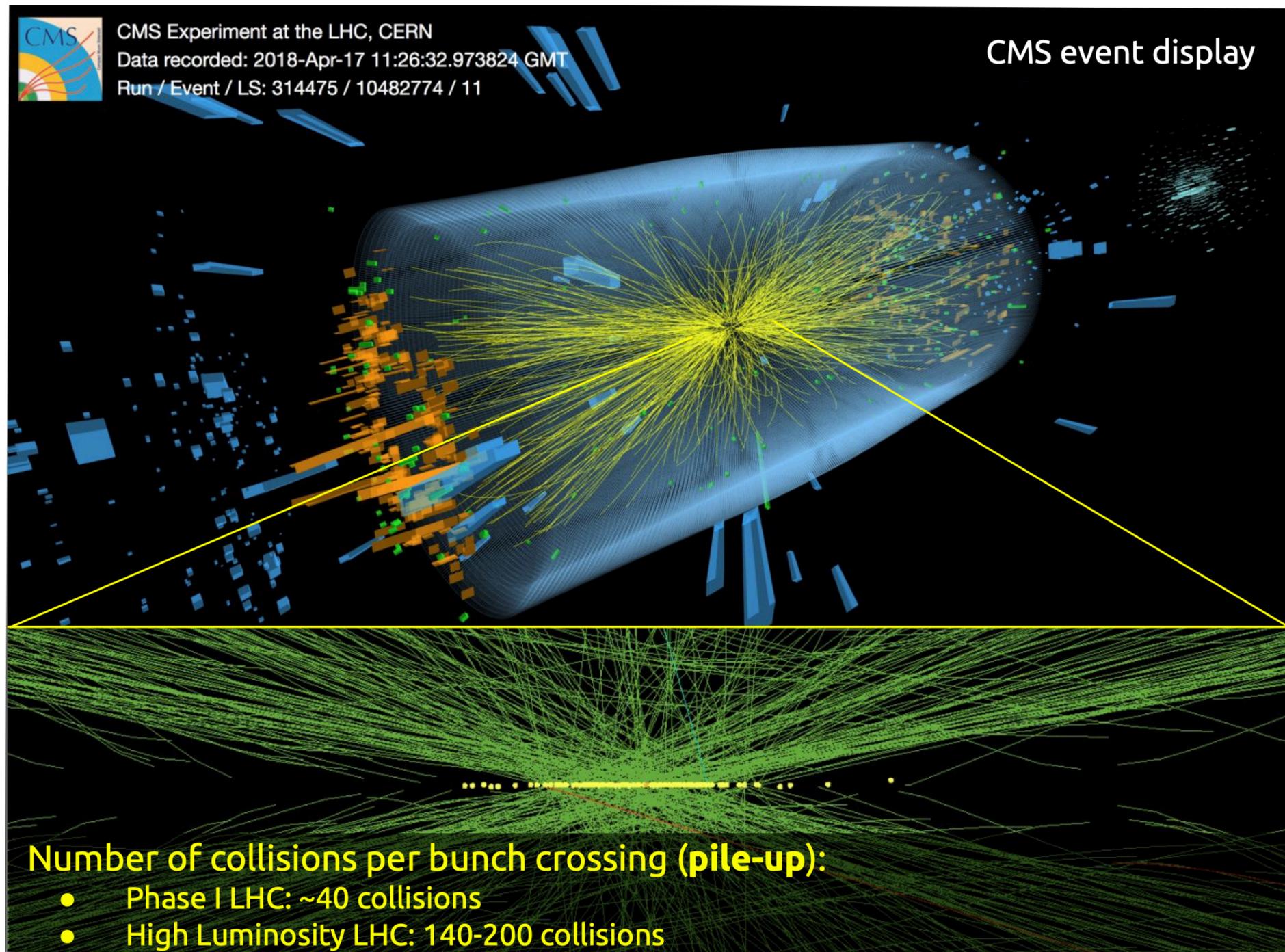
- **Scopo:** identificare sapore dei jet, ricostruire τ -adronici, calibrazione energetica di leptoni e jet adronici, etc ..
- **Implementazione:** permutation invariant transformer network
- **Nuovi sviluppi:**
 - Usare i dati per minimizzare il bias legato all'uso di eventi simulati nella fase di training
 - Stimare dai dati correzioni per efficienza ed risoluzione



Contatti: simone.gennai@mib.infn.it raffaele.gerosa@unimib.it pietro.govoni@unimib.it

Proposte di tesi legate agli sviluppi per HL-LHC

Le sfide di High Lumi LHC

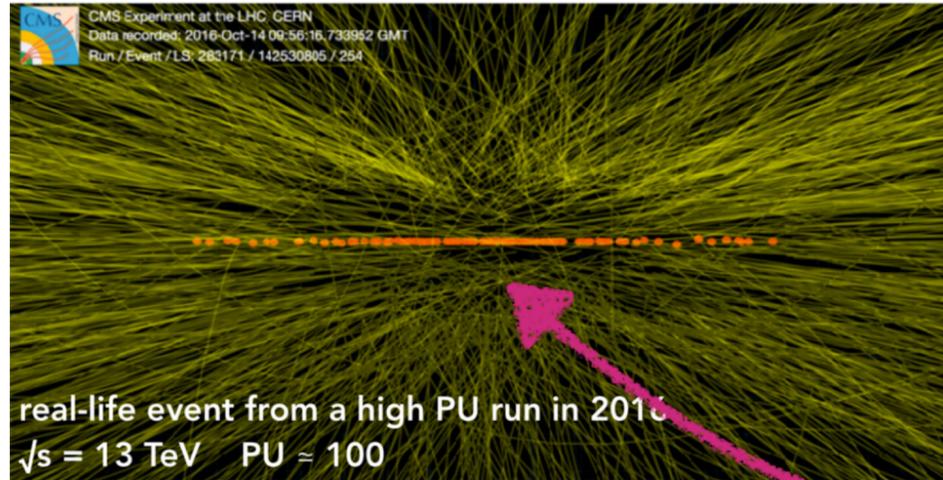


- **HL-LHC:** 3x intensità (luminosità) dell collisioni
- **In-time pileup:** N_{protoni} che collidono in un medesimo bunch crossing
- **Intensità delle collisioni** \Leftrightarrow **in-time pileup**
- Pileup @ HL-LHC: 150-200
- Alto pileup \Leftrightarrow **alta radiazione**

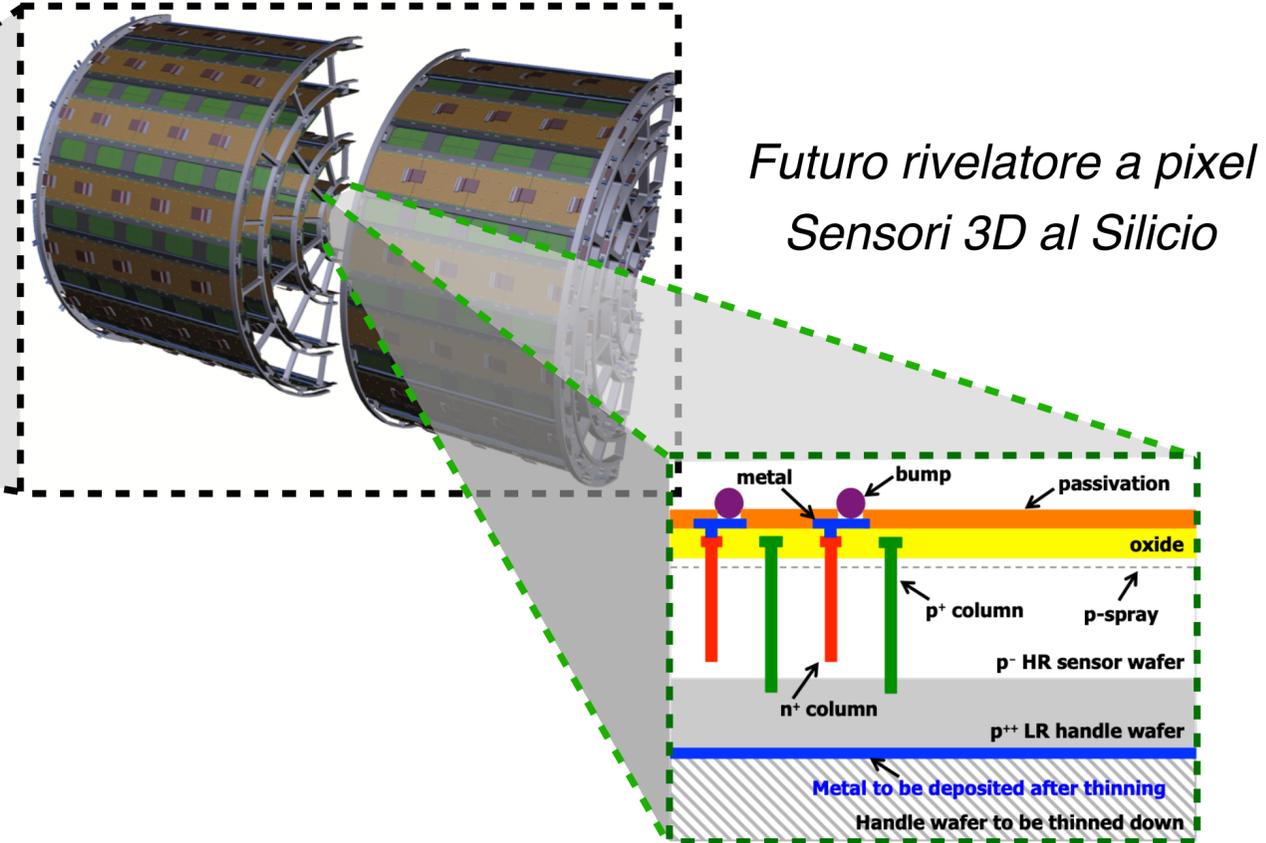
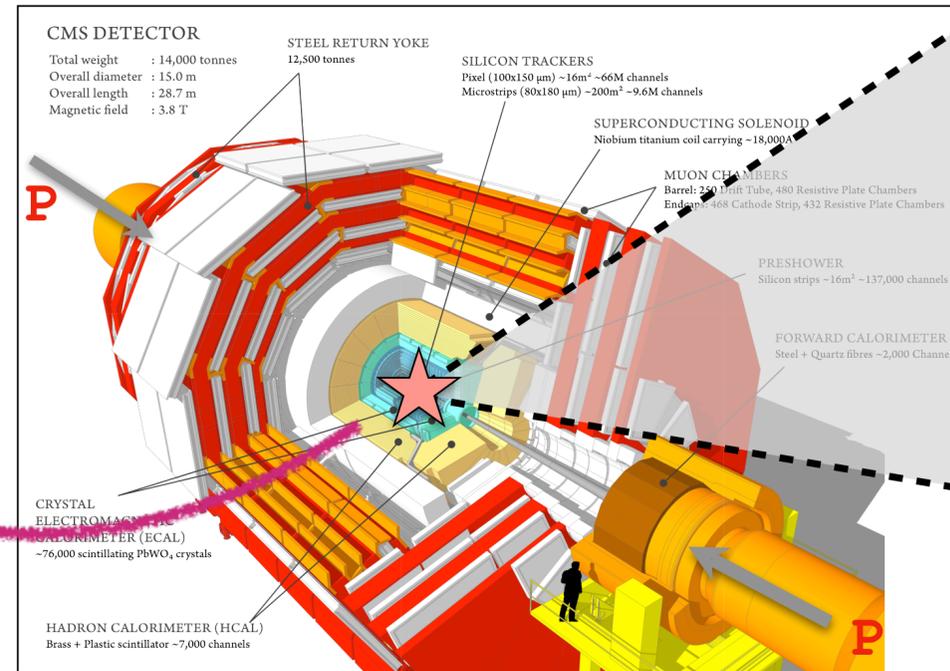


Necessità di nuovi detector più robusti e performanti !!

L'upgrade del tracciatore a pixel di silicio



Fino a 200 protoni
interagenti per evento



*Futuro rivelatore a pixel
Sensori 3D al Silicio*

- Sostituire il rivelatore a pixel, situato nel cuore dell'esperimento, con uno a granularità più fine (x6) e più resistente alle radiazioni (x10)
- R&D dei sensori e nello sviluppo del software per pilotarlo e calibrarlo
- Caratterizzazione dei prototipi con test su fascio e simulazioni

Contatti: simone.gennai@mib.infn.it mauro.dinardo@unimib.it paolo.dini@mib.infn.it sandra.malvezzi@mib.infn.it

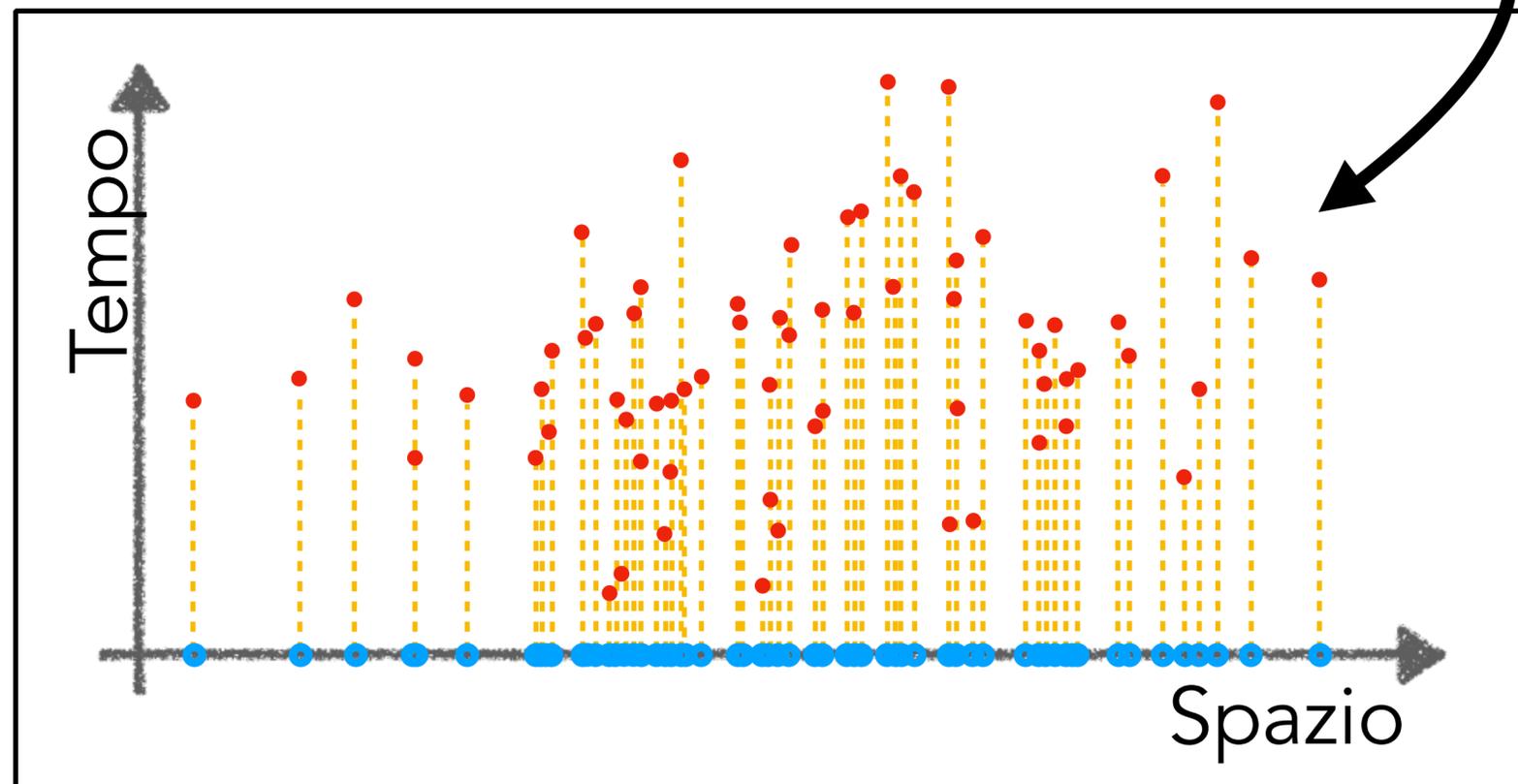
Il Mip Timing Detector di CMS (MTD)

Contatti: tommaso.tabarelli@unimib.it federico.deguio@unimib.it alessio.ghezzi@unimib.it andrea.benaglia@mib.infn.it
martina.malberty@mib.infn.it marco.paganoni@unimib.it marco.lucchini@unimib.it

- **Misure temporali → cambio di paradigma**

- **Scopo:** attribuire un tempo ad ogni particelle carica
- **Conseguenze:** mitigazione del pileup sulla fisica poiché permette la **ricostruzione 4D dei vertici**

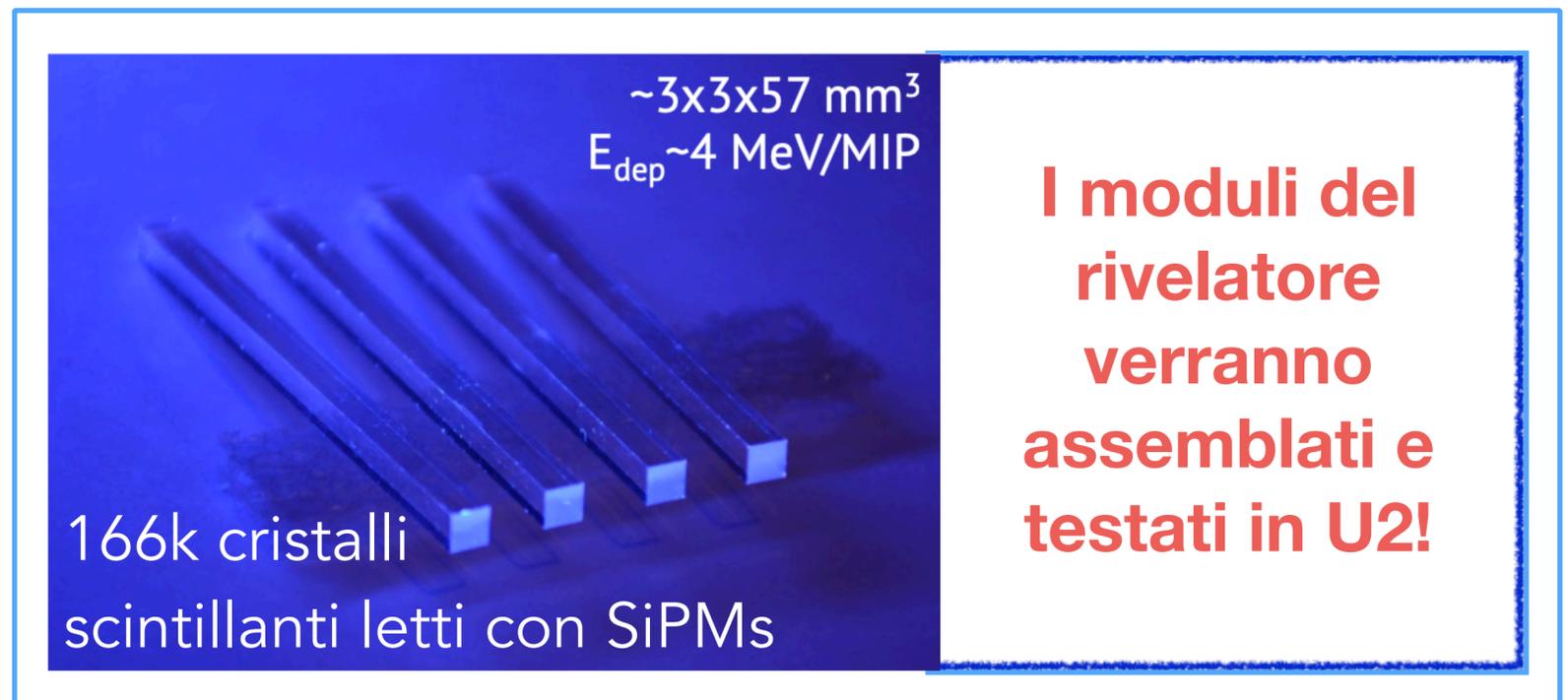
- Nuovo detector per cui Bicocca é driving player



- **Nuove possibilità permesse da MTD:**

- Tempo di ciascuna traccia con $\sigma_t \sim 30$ ps
- Migliore **associazione traccia vertice** → implicazione su **performance del detector** → risoluzione energetica di jet adronici, isolamento dei leptoni, etc.

- **Possibilità di lavoro:** simulazione del sistema, analisi dati di test beam, sviluppo software DAQ, etc.



Il Mip Timing Detector di CMS (MTD)

Contatti: tommaso.tabarelli@unimib.it federico.deguio@unimib.it alessio.ghezzi@unimib.it andrea.benaglia@mib.infn.it
martina.malberty@mib.infn.it marco.paganoni@unimib.it marco.lucchini@unimib.it

- **Misure temporali → cambio di paradigma**

- **Scopo:** attribuire un tempo ad ogni particelle carica
- **Conseguenze:** mitigazione del pileup sulla fisica poiché permette la ricostruzione 4D dei vertici

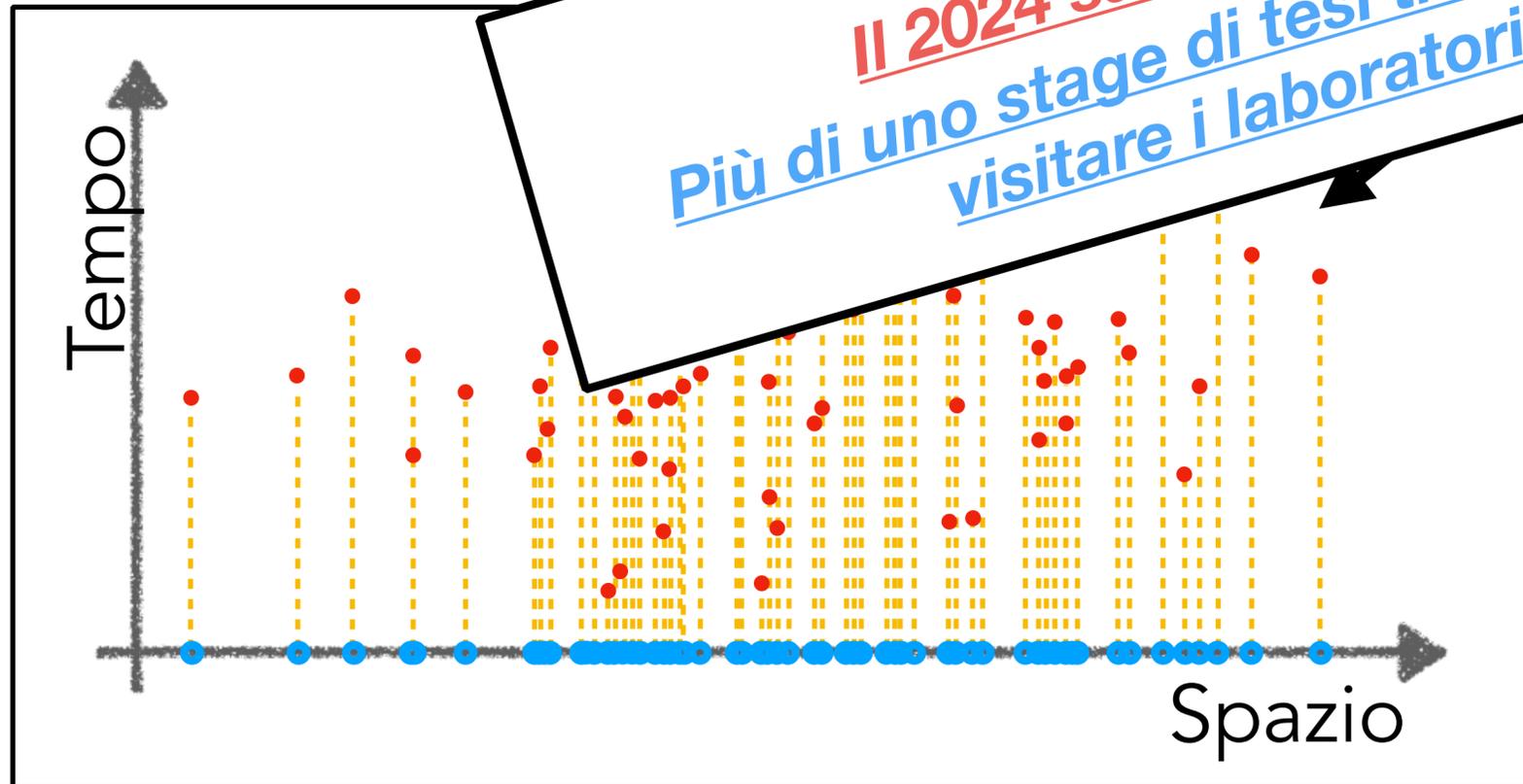
- **Nuovo detector per cui Bicep**

- **Nuove possibilità per MTD:**

- Tempo ~ 30 ps → implicazione ricostruzione momento dei leptoni, etc.

L'assemblaggio di MTD é imminente
Il 2024 sarà un anno cruciale per il progetto
Più di uno stage di tesi triennale é disponibile e se volete visitare i laboratori chiedete ai referenti!

Lavoro: simulazione del sistema, analisi test beam, sviluppo software DAQ, etc.



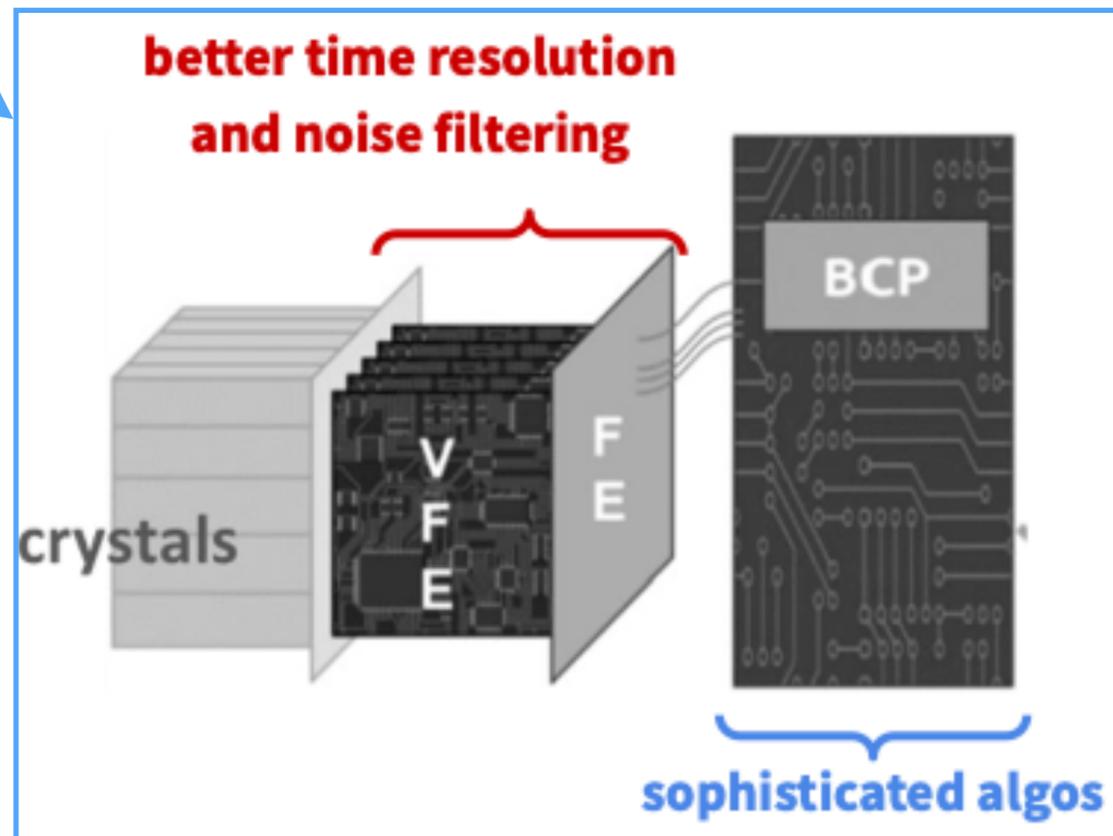
$\sim 3 \times 3 \times 57 \text{ mm}^3$
 $E_{\text{dep}} \sim 4 \text{ MeV/MIP}$

I moduli del rivelatore verranno assemblati e testati in U2!

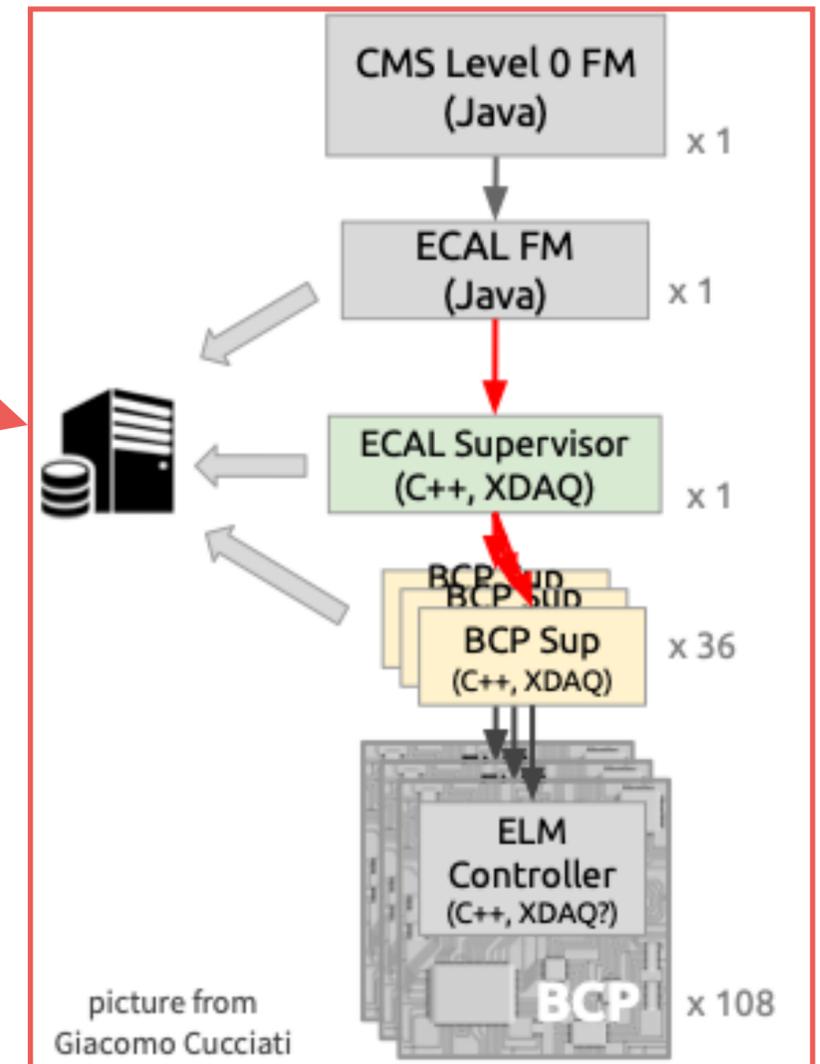
166k cristalli scintillanti letti con SiPMs

L'upgrade dell'elettronica di ECAL

- Durante **HL-LHC** ci sarà **più radiazione** e la necessità di **aumentare la frequenza di trigger**
 - **L'elettronica** di ECAL verrà totalmente **sostituita**
 - Il **software di DAQ** verrà **riscritto**



- **DAQ** verrà riscritto nel 2024-25
- Ad **oggi** solo le **classi base** fornite dal team di XDAQ sono pronte
- Biennio cruciale per il progetto

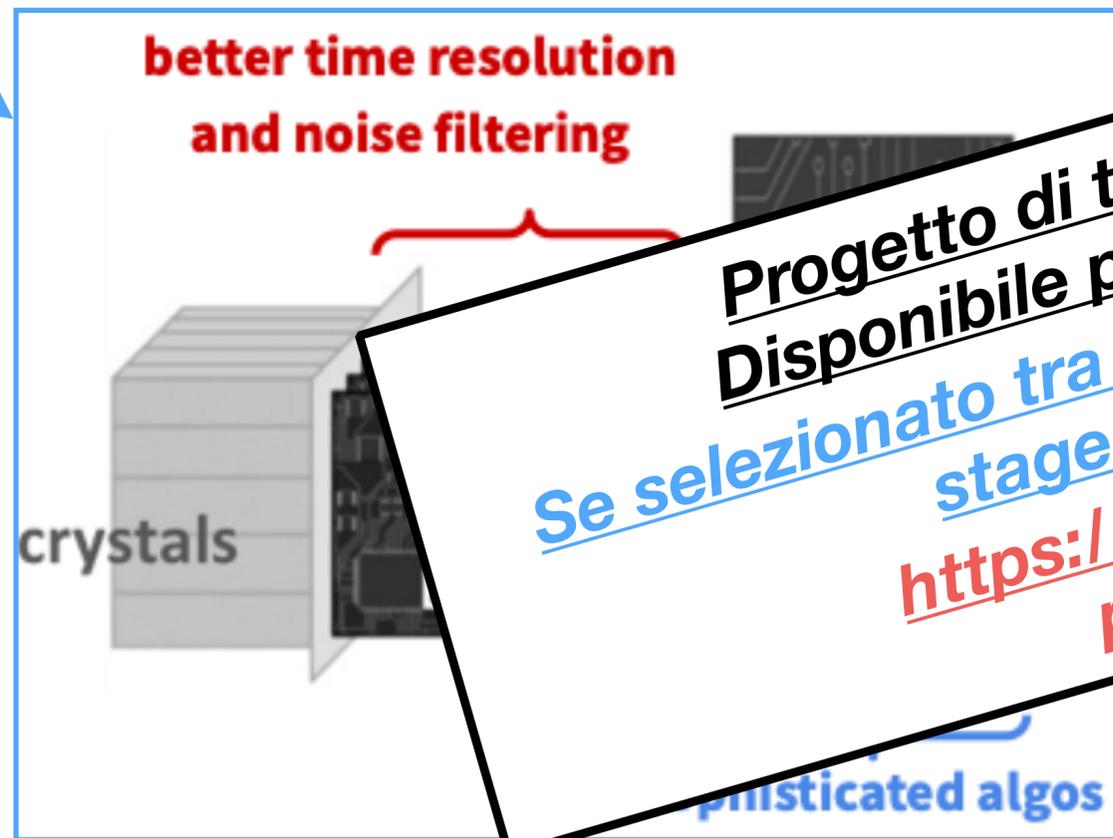


- **Prototipi finali** verranno testati prossimamente al CERN sia in **laboratorio** che su **test beam**

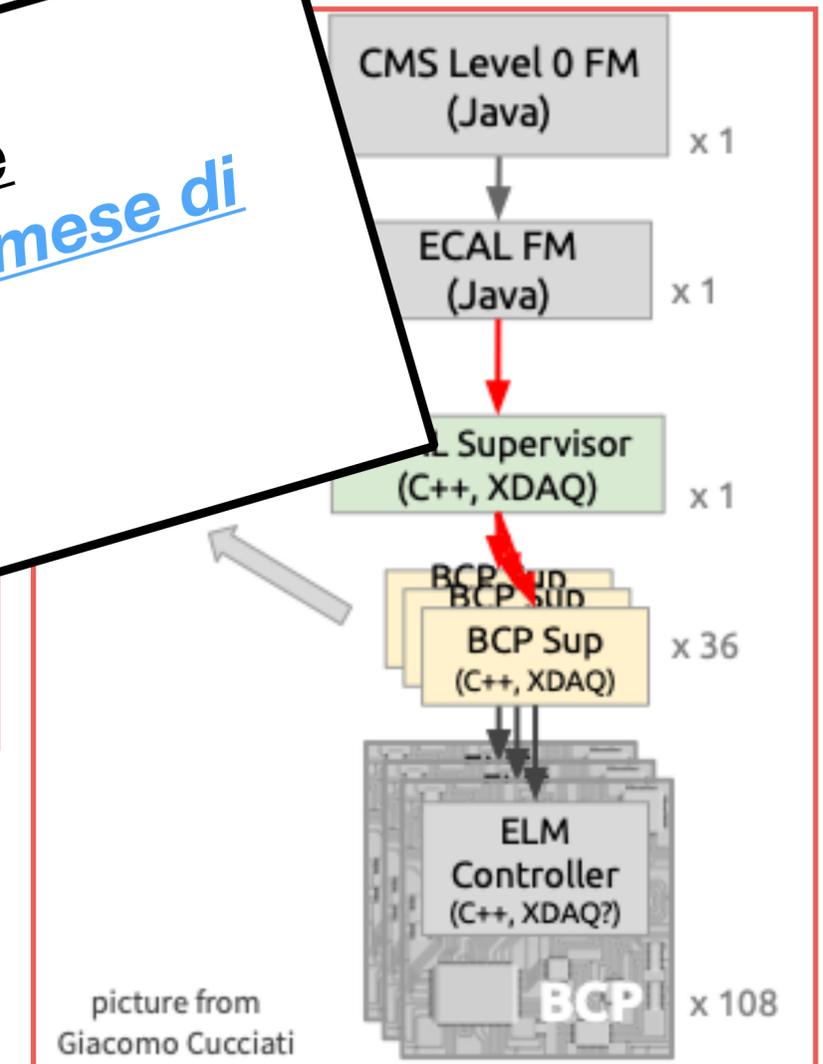
Contatti: pietro.govoni@unimib.it raffaele.gerosa@unimib.it

L'upgrade dell'elettronica di ECAL

- Durante **HL-LHC** ci sarà **più radiazione** e la necessità di **aumentare la frequenza di trigger**
 - L'**elettronica** di ECAL verrà totalmente **sostituita**
 - Il **software di DAQ** verrà **riscritto**



Progetto di tesi triennale proposto all' INFN
Disponibile per chi è interessato ad applicare
Se selezionato tra i progetti vincitori, garantisce 1 mese di stage al CERN finanziato dall'ente
https://web.infn.it/csn1/images/docs/progetti_triennali_2024.pdf



- **Prototipi finali** verranno testati prossimamente al CERN sia in **laboratorio** che su **test beam**

Contatti: pietro.govoni@unimib.it raffaele.gerosa@unimib.it

Trigger online: ML su FPGA

Contatti: simone.gennai@mib.infn.it mauro.dinardo@unimib.it paolo.dini@mib.infn.it francesco.brivio@mib.infn.it

Un cluster di FPGA sarà installato a Milano nel corso del 2024!

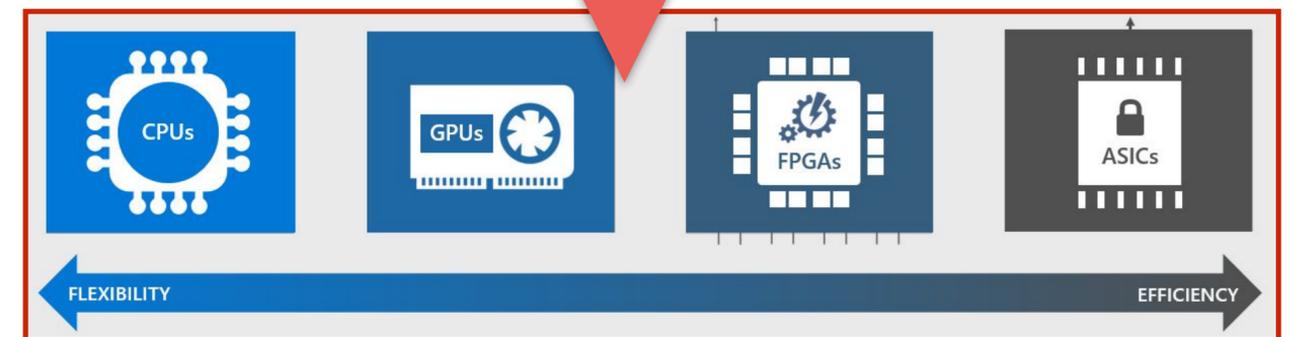
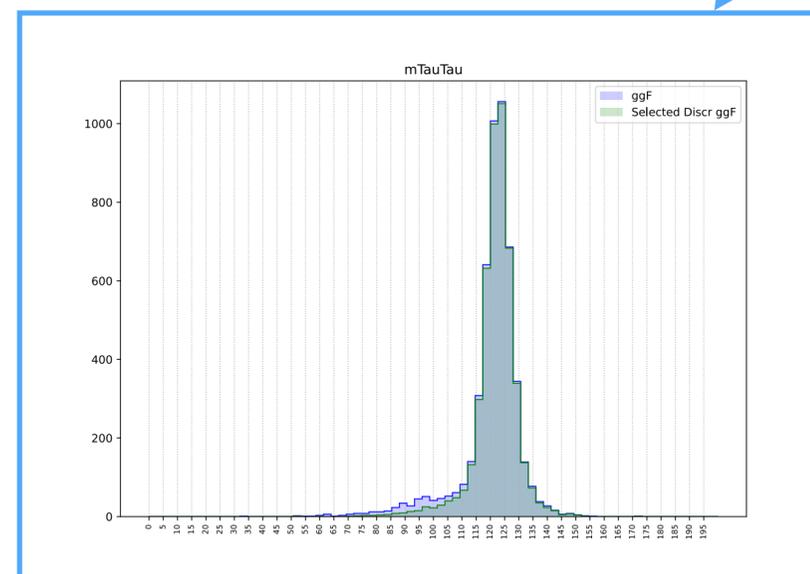
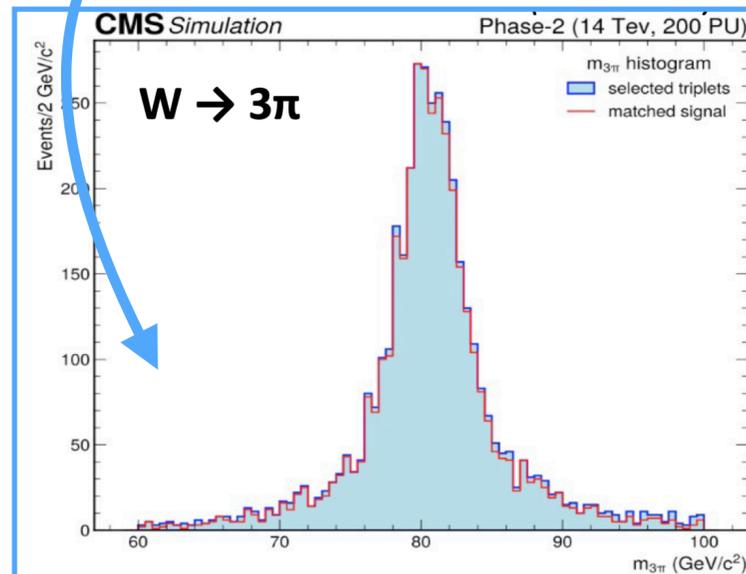
Sviluppo e test di algoritmi di trigger su FPGA per HL-LHC

• Progetti di lavoro:

- Trigger di level-1 dedicati per $H \rightarrow \tau\tau$
- Trigger di level-1 dedicati per $HH \rightarrow bb\tau\tau$
- Ricerca del decadimento raro $W^\pm \rightarrow 3\pi$
 - Sviluppare selezione dei candidati online su FPGA

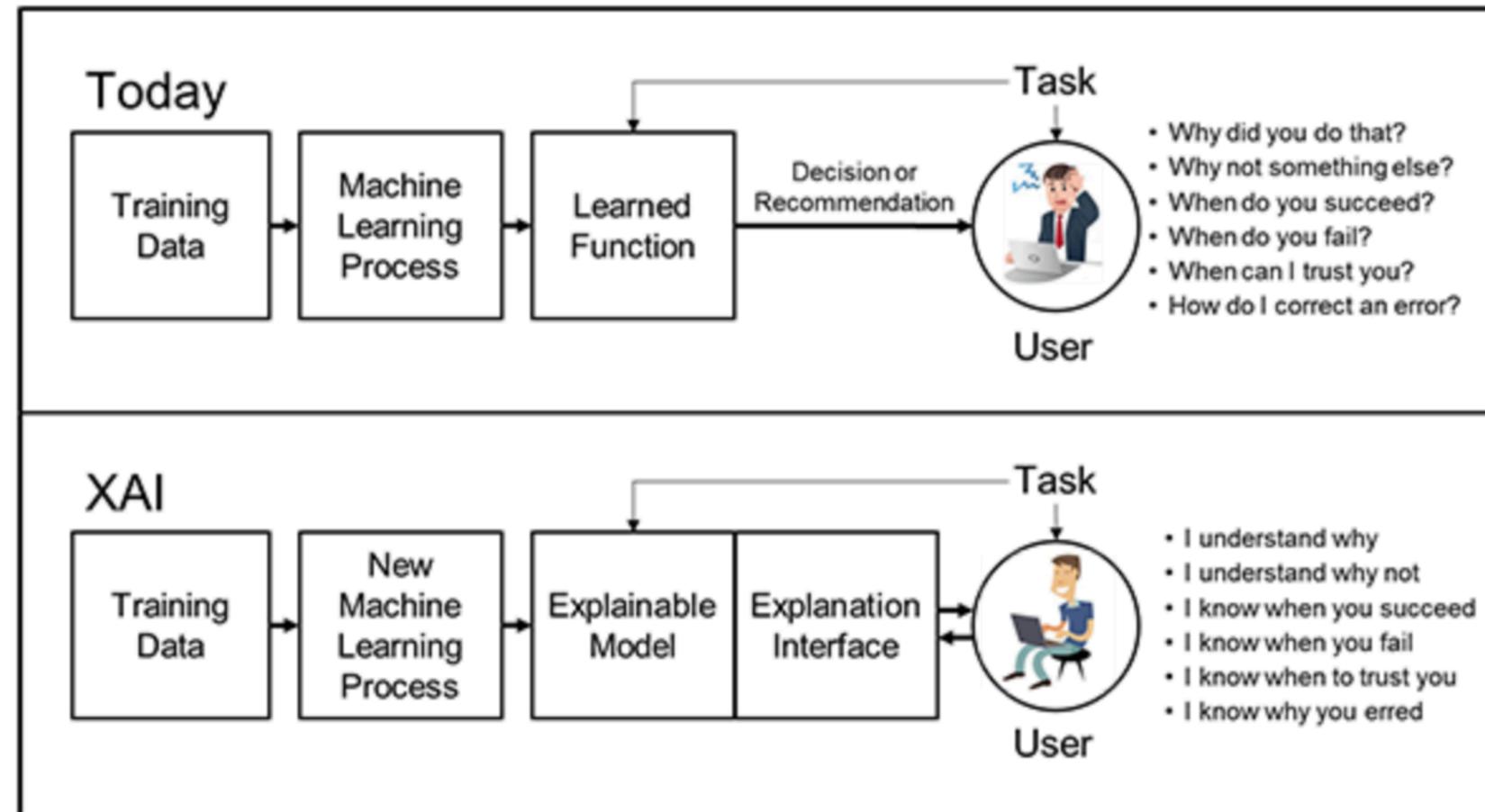
Simulazione ultra-veloce per fisica delle alte energie

- Usare **ML** per generare eventi simulati → Generative Adversarial Networks (**GANs**)
- Avere a disposizione un grande quantità di eventi simulati é cruciale per la fisica di HL-LHC
- **FPGA** sono device **costosi** ma **molto veloci**



AI/ML esplicativa (XAI)

- Sinergia tra **diagnostica medica** e **HEP** per sviluppare **modelli AI** che siano "**spiegabili**"
 - **Spiegare** cosa ha portato un algoritmo di ML a prendere una **decisione**
 - **Obiettivo**: maggiore **trasparenza** nella risposta, identificazione di possibili **bias** nel training dataset
 - **Evitare** di utilizzare un algoritmo di ML come una **black box**
 - Fra le **applicazioni**: diagnostica di tumori, etc ...



Contatti: simone.gennai@mib.infn.it pietro.govoni@unimib.it

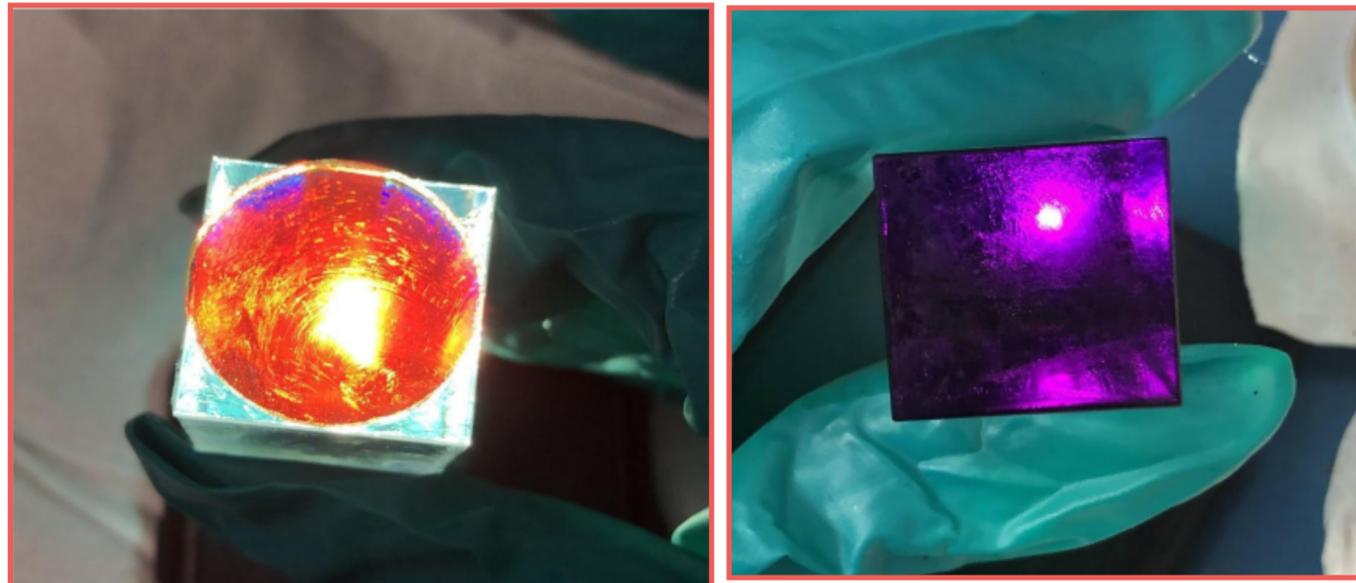
Proposte di tesi legate al post-LHC

Future Colliders

- **Cosa ci sarà dopo LHC?**
 - **Obiettivo-1:** aprire una nuova frontiera sulle misure di precisione del modello standard
 - **Obiettivo-2:** raggiungere energie più alte di quelle di LHC

Opzioni in discussione

- Collider e^+e^- con $E_{CM} \sim 250$ GeV e $L = 100$ km
- Collider pp con $E_{CM} \leq 100$ TeV e $L = 100$ km
- Collider $\mu^+\mu^-$ con $E_{CM} \sim 10$ TeV



Milano Bicocca → calorimetro a cristalli per e^+e^-

- Necessità di una **nuova generazione** di detector di particelle
- Possibile nuovo detector: **calorimetro ad alta risoluzione 6D**
 - Misura posizione, energia, tempo, e tipo di particella
- **Stage di tesi** permette di lavorare su:
 - **Cristalli** scintillanti
 - Foto-moltiplicatori al silicio **SiPM**
 - **Misure** in laboratorio, test su **fascio**, **simulazioni**

Contatti: marco.lucchini@unimib.it andrea.benaglia@mib.infn.it

Perché fare una tesi in CMS / Future Collider ?

- Una tesi in CMS permette di sviluppare “**competenze strategiche e specifiche**”

- Conoscenza e uso di **avanzati sistemi di misura**
- **Approfondire conoscenza** in fisica delle interazioni fondamentali
- **Manipolazione di “Big Data”** e loro **interpretazione** statistica
- **Programmazione avanzata** su dispositivi eterogenei
- **Simulazione e modellizzazione** dei fenomeni
- Applicazioni di **machine learning** per risolvere problemi
- Possibilità di lavoro in una grande **collaborazione internazionale**

- **Proposte** del gruppo **CMS** di **Bicocca** sono all’**avanguardia** in CMS
- **Referenti** di Bicocca ricoprono ruoli di **leadership** nei rispettivi **progetti**

Se vi interessa qualche progetto scriveteci così da potervi dare più informazioni!

<https://www.fisica.unimib.it/it/ricerca/fisica-delle-particelle-e-delle-astroparticelle>