Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU
Ministero dell'Università e della Ricerca
Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
INFN Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

Particle physics & Machine Learning, an example: the MIDDLE Project

Marco Vanadia

11/2/2026

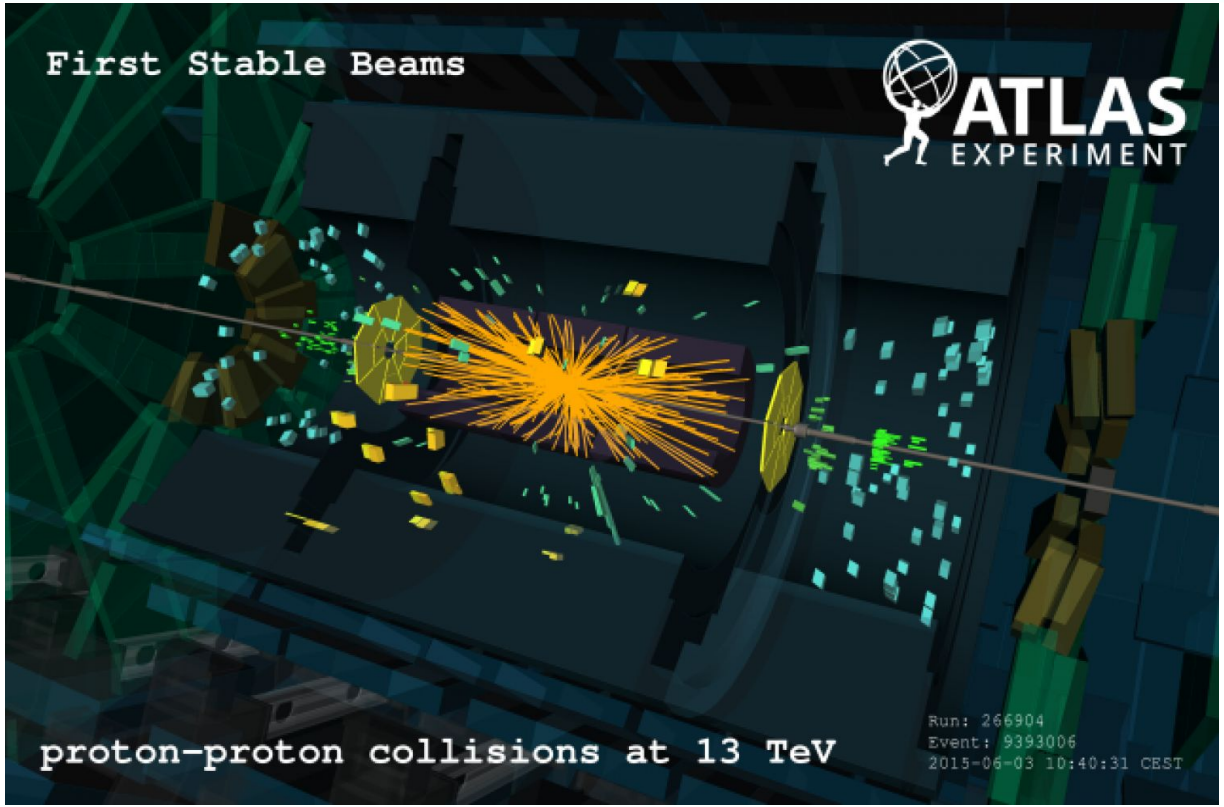
Dipartimento di Fisica

di Roma Tor Vergata

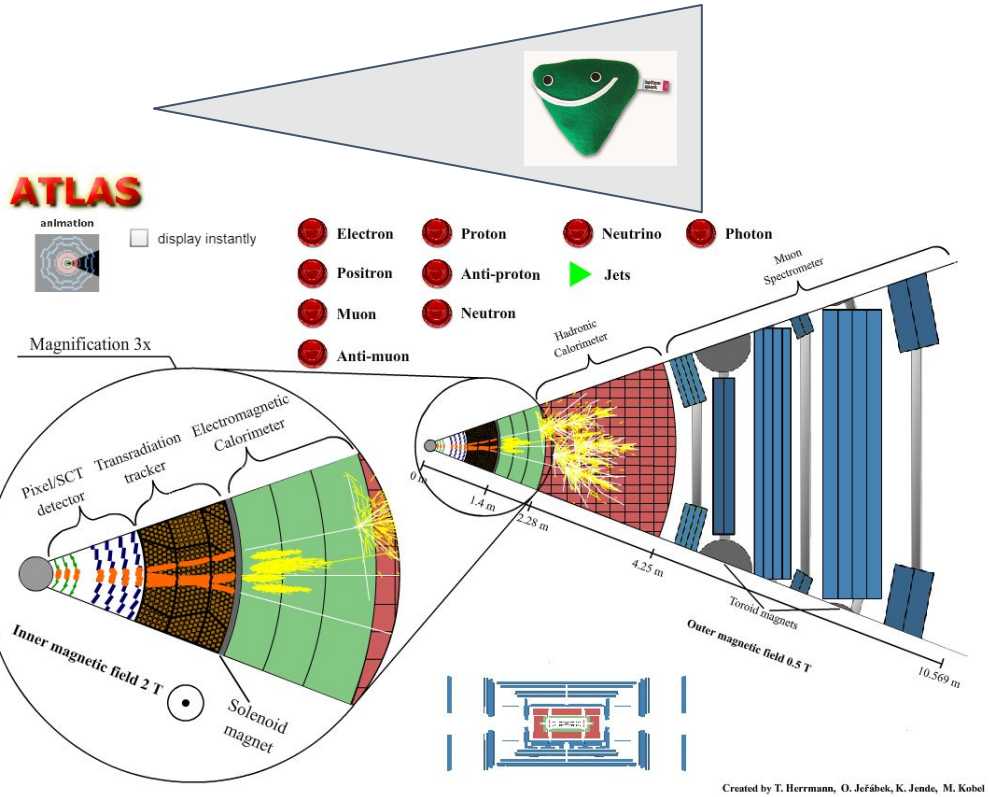
ATLAS Masterclass Girls

μiddle PRIN 2022

PROJECT 20223N7F8K, PNRR M4.C2.1.1,
D.D. n. 104 2/2/2022, CUP I53D23000820006

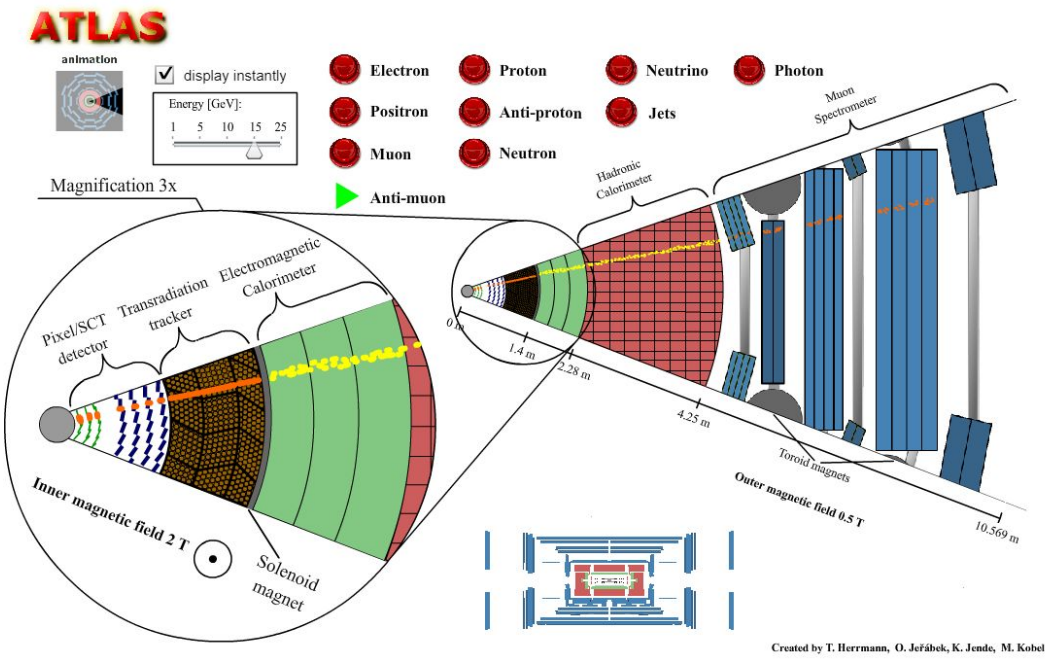


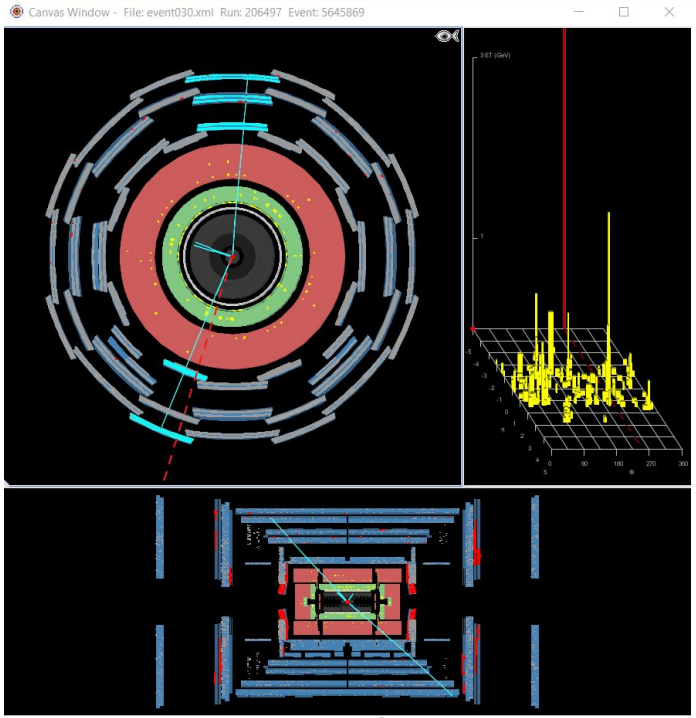
Ho 40 milioni di scontri di protoni al secondo, ognuno dei quali produce migliaia di particelle…
Ma a me alcune particelle interessano di più delle altre , come il simpatico (e pesante) **quark b**, chamato anche **beauty 0**



Il quark b, come tutti i quark, è molto timido, e si nasconde molto velocemente… si protegge all'interno di particelle chiamate adroni, e si scherma dietro uno sciame di particelle (chiamato jet). Come faccio a trovare questo quark dentro il mio evento?

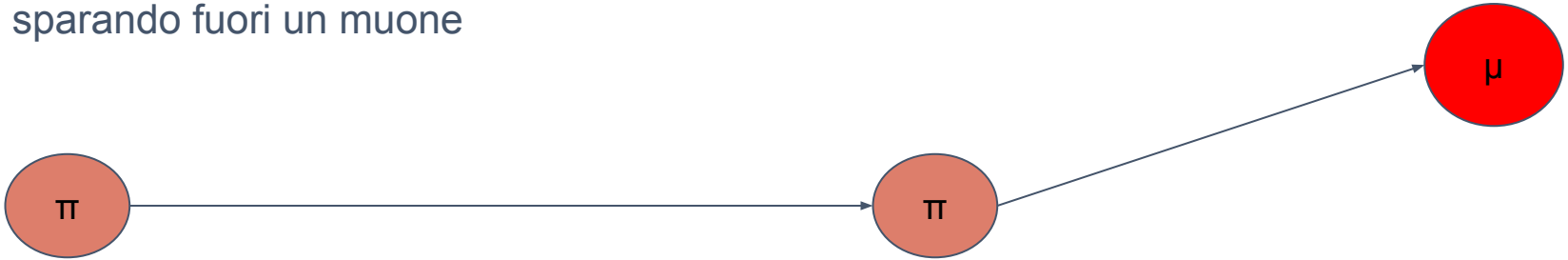
Una possibilità è di studiare le proprietà di questo sciame di particelle: quelli che nascondo i quark b hanno alcune proprietà speciali. Una di queste è che spesso nascondono muoni al loro interno…



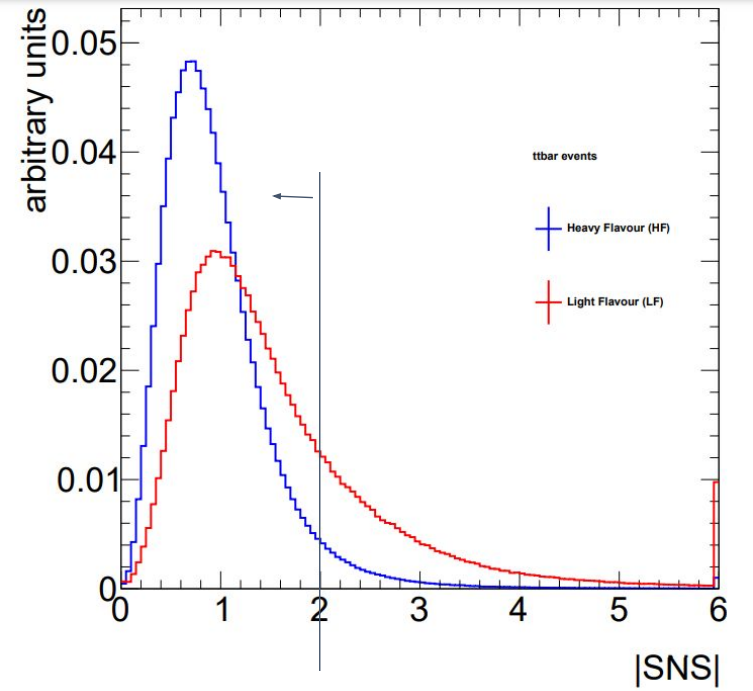


I muoni lasciano un segnale inconfondibile nel mio rivelatore… ma come faccio a essere sicuro se provengono da un quark b o da un'altra particella?

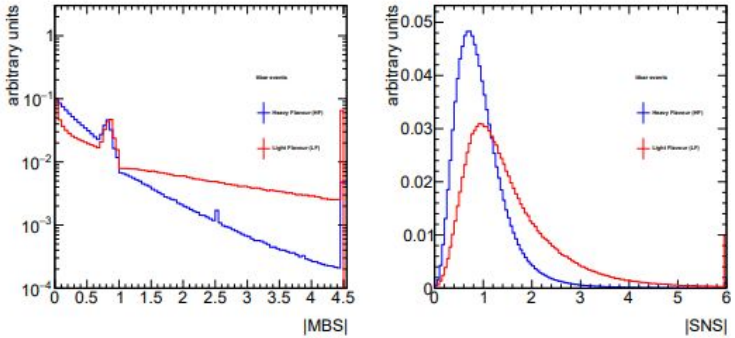
Questo è un muone associato al quark b… il quark b viene prodotto dalla collisione, cammina un po' (fino a qualche millimetro) e poi si trasforma in altre particelle, a volte sparando fuori un muone

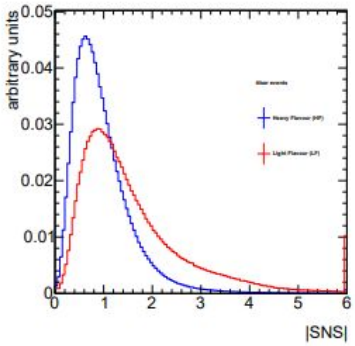


Ci sono altre particelle che fanno una cosa simile, come il pione, che però cammina per metri prima di sparare fuori il muone… posso usare questa differenza per identificare solo i muoni che interessano a me!

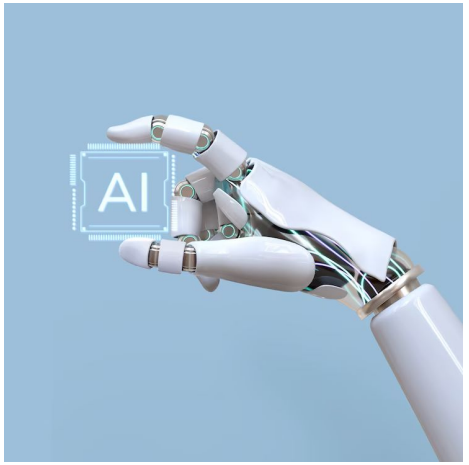


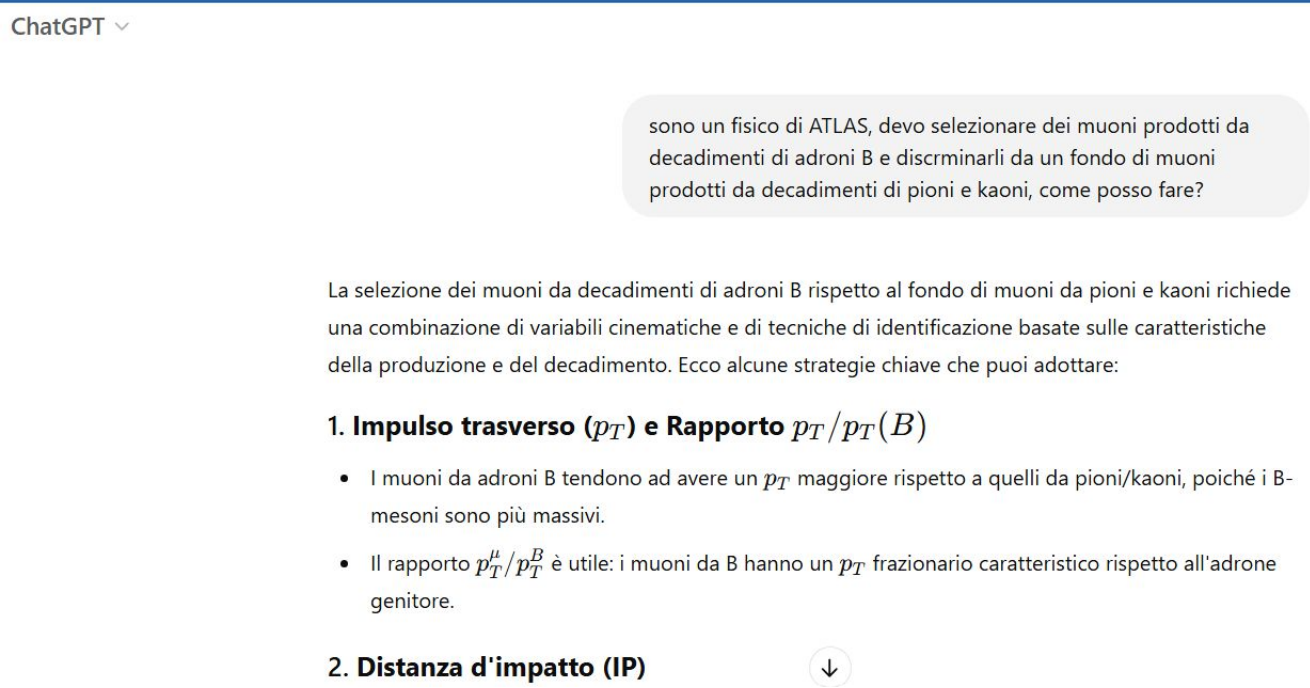
Quello che succede in pratica è che io misuro alcune proprietà della traccia del muone, e queste proprietà sono diverse per i muoni che mi interessano.
Qui c'è l'esempio di una proprietà confrontata per i muoni che mi interessano (segnale) e quelli che non mi interessano (fondo).
Posso ad esempio selezionare tutti i muoni che hanno una misura minore di 2, ma purtroppo così facendo a volte mi sbaglio, e a volte mi perdo muoni interessanti…





Idea: posso usare tante proprietà dei muoni invece di una solo per cercare di fare meglio… Ma quando inizio a usare tante proprietà, più di 3-4, inizia a diventare un sacco di lavoro trovare la selezione giusta da fare, chi mi può aiutare?





Purtroppo in realtà le cose sono più complicate di così, e mi tocca usare un po' di programmazione per scrivere dei software che possano davvero fare la selezione…

Primo passo: preparo un'intelligenza artificiale…

```
def create_model_NN1(input_shape): #simple basic model for testing purposes
  model = Sequential()
  model.add(LSTM(128, input_shape=(input_shape,1)))
  model.add(Dense(32, activation='relu', input_shape=(input_shape,)))
  model.add(Dense(5, activation='relu', input_shape=(input_shape,)))
  model.add(Dense(1, activation='sigmoid'))
  model.compile(loss='binary_crossentropy', optimizer='adam', weighted_metrics=['accuracy'])
  # simple early stopping
  es = EarlyStopping(monitor='val_loss', mode='min', verbose=1, patience=5)
  return model,es
```

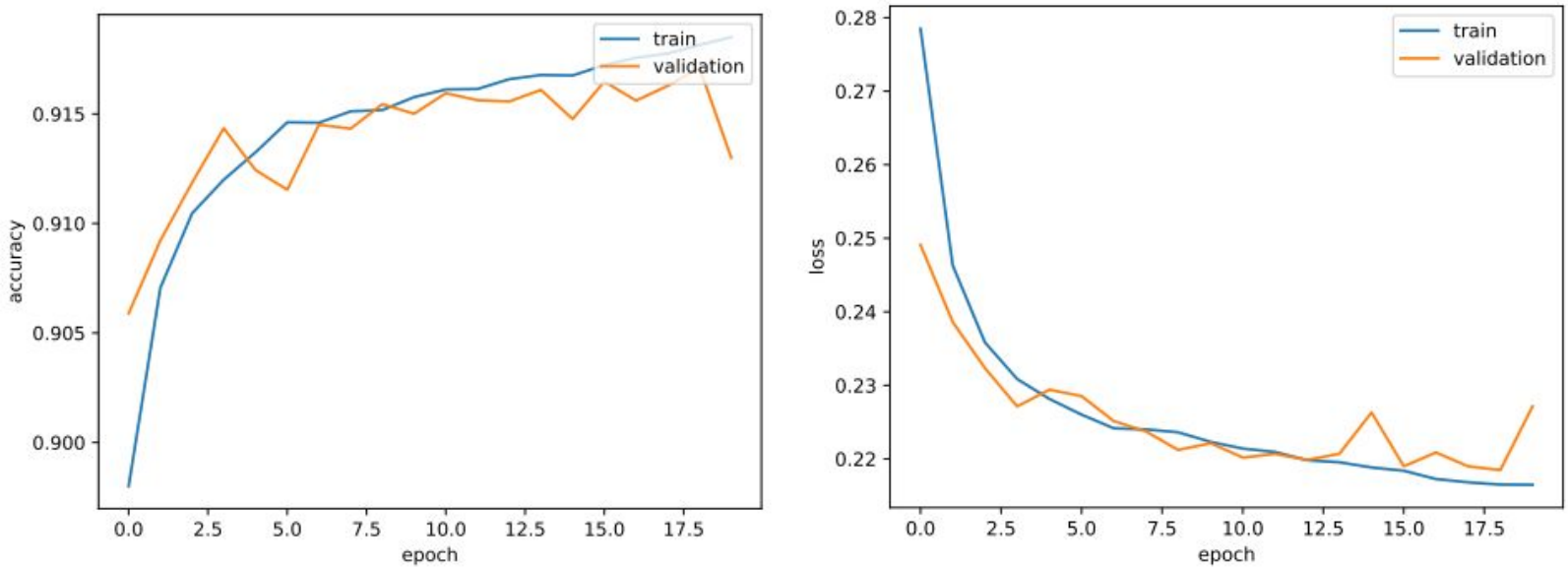
Come faccio? Beh, devo imparare un po' di programmazione (python, C++...), studiare un po'... e posso sempre chiedere una mano a ChatGPT per iniziare a scrivere il codice che mi serve! (Ma se non ho studiato non riuscirò comunque ad andare molto lontano…)

Secondo passo: alleno l'intelligenza artificiale

Beh, non funziona proprio così… quello che faccio è creare delle **simulazioni** di muoni del segnale (quelli che mi interessano) e di quelli del fondo (che non mi interessano), e li uso per **addestrare** il mio algoritmo, che impara a distinguerli.

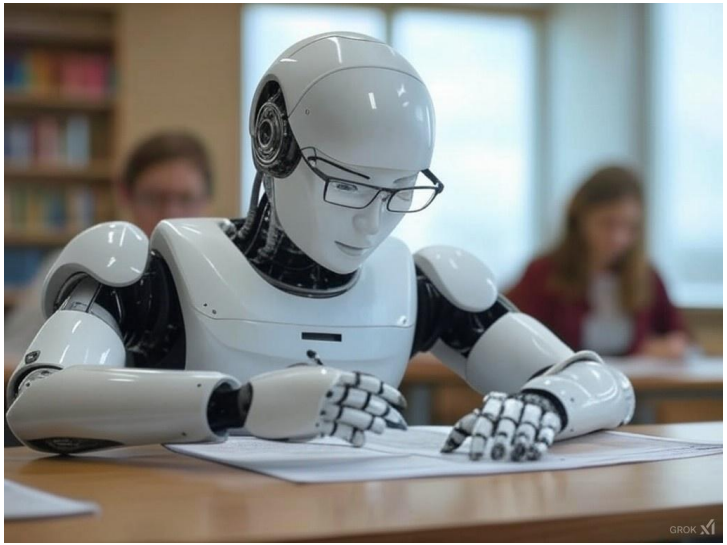
Perché simulazioni? Perché così sono sicuro di quali sono i muoni **giusti** e quali **sbagliati**…

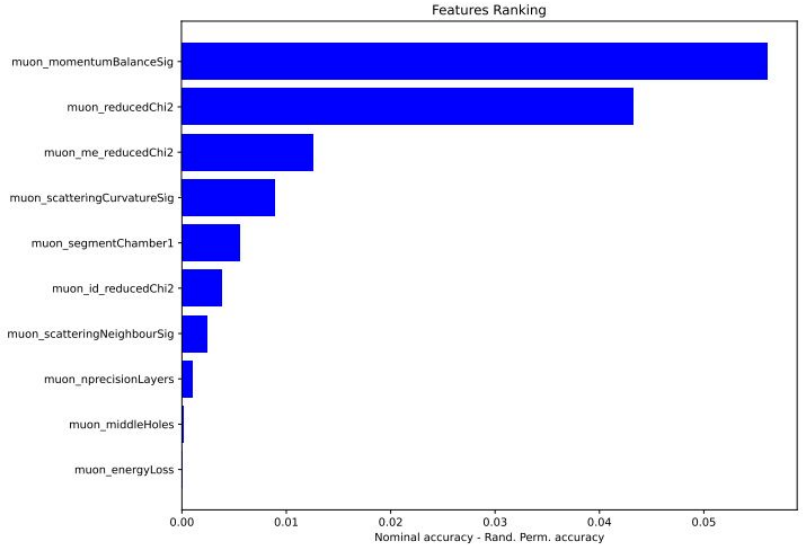
Terzo passo: come sta andando l'allenamento?



Mentre avviene l'allenamento, devo controllare alcuni parametri, che mi dicono se il mio algoritmo sta diventanto sempre più bravo…

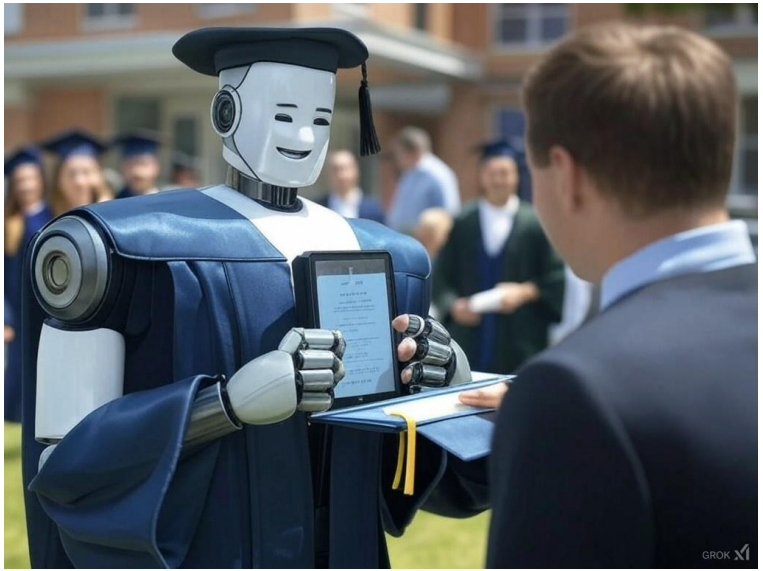
Quarto passo: cosa ha imparato l'algoritmo?

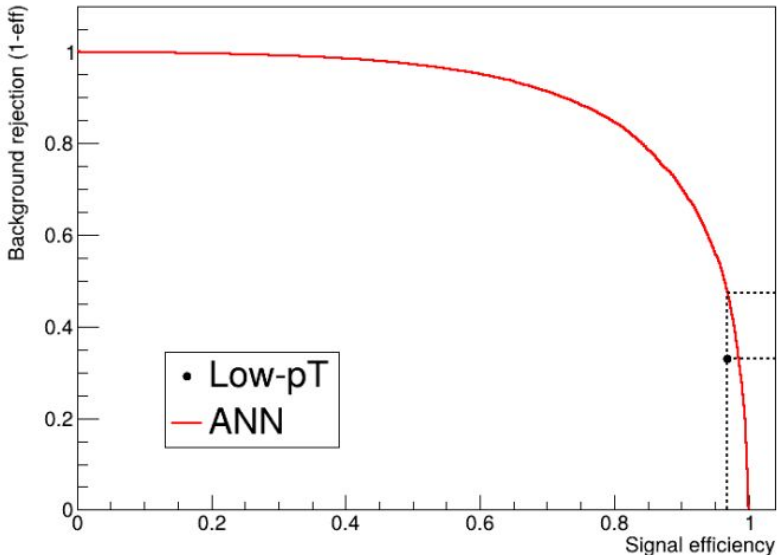




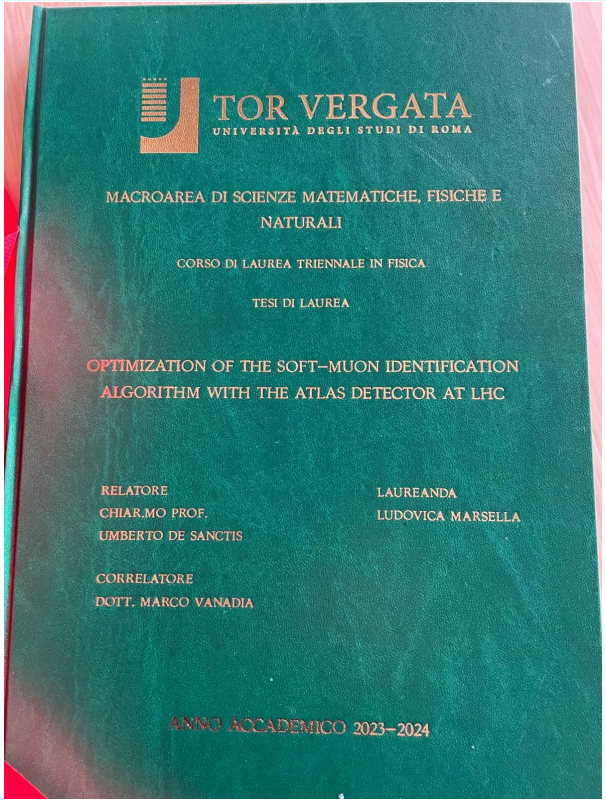
Devo capire se l'allenamento ha dato i suoi frutti e vedere cosa ha imparato l'algoritmo: ad esempio, posso controllare quali proprietà del muone sono importante per selezionare i muoni giusti

Un algoritmo molto intelligente…





E se ho fatto tutto bene, posso controllare quante volte l'algoritmo si sbaglia a selezionare i muoni… e di solito scopro che più bravo di me a scegliere quelli giusti.



TOR VERGATA
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA

MACROAREA DI SCIENZE MATEMATICHE, FISICHE E NATURALI

CORSO DI LAUREA TRIENNALE IN FISICA

TESI DI LAUREA

OPTIMIZATION OF THE SOFT–MUON IDENTIFICATION ALGORITHM WITH THE ATLAS DETECTOR AT LHC

RELATORE
CHIAR.MO PROF.
UMBERTO DE SANCTIS

CORRELATORE
DOTT. MARCO VANADIA

LAUREANDA
LUDOVICA MARSELLA

ANNO ACCADEMICO 2023–2024

Questo progetto ha permesso di assumere tre ricercatori che stanno lavorando duramente (a Roma e Bologna), e a una brillante studentessa di laurearsi con lode, sviluppando nuovi algoritmi di AI per identificare sempre meglio i muoni che ci interessano…

Gli algoritmi di machine learning saranno sempre di più parte della nostra vita, e dobbiamo imparare ad usarli come strumenti utili, e a conoscerne pregi e limiti.