



CMS

Analisi Dati

Andrea.Massironi@mib.infn.it

- Uno dei 4 esperimenti lungo LHC

CMS DETECTOR

Total weight : 14,000 tonnes
Overall diameter : 15.0 m
Overall length : 28.7 m
Magnetic field : 3.8 T

STEEL RETURN YOKE
12,500 tonnes

SILICON TRACKERS
Pixel (100x150 μm) - 1m² - 66M channels
Microstrips (80x180 μm) - 200m² - 9.6M channels

SUPERCONDUCTING SOLENOID
Niobium titanium coil carrying -18,000A

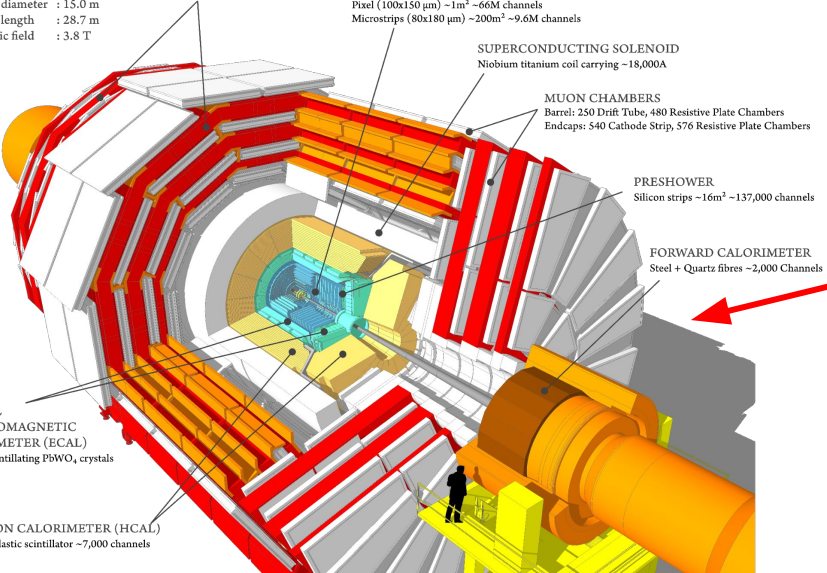
MUON CHAMBERS
Barrel: 250 Drift Tube, 480 Resistive Plate Chambers
Endcaps: 540 Cathode Strip, 576 Resistive Plate Chambers

PRESHOWER
Silicon strips -16m² -137,000 channels

FORWARD CALORIMETER
Steel + Quartz fibres -2,000 Channels

CRYSTAL ELECTROMAGNETIC CALORIMETER (ECAL)
~76,000 scintillating PbWO₄ crystals

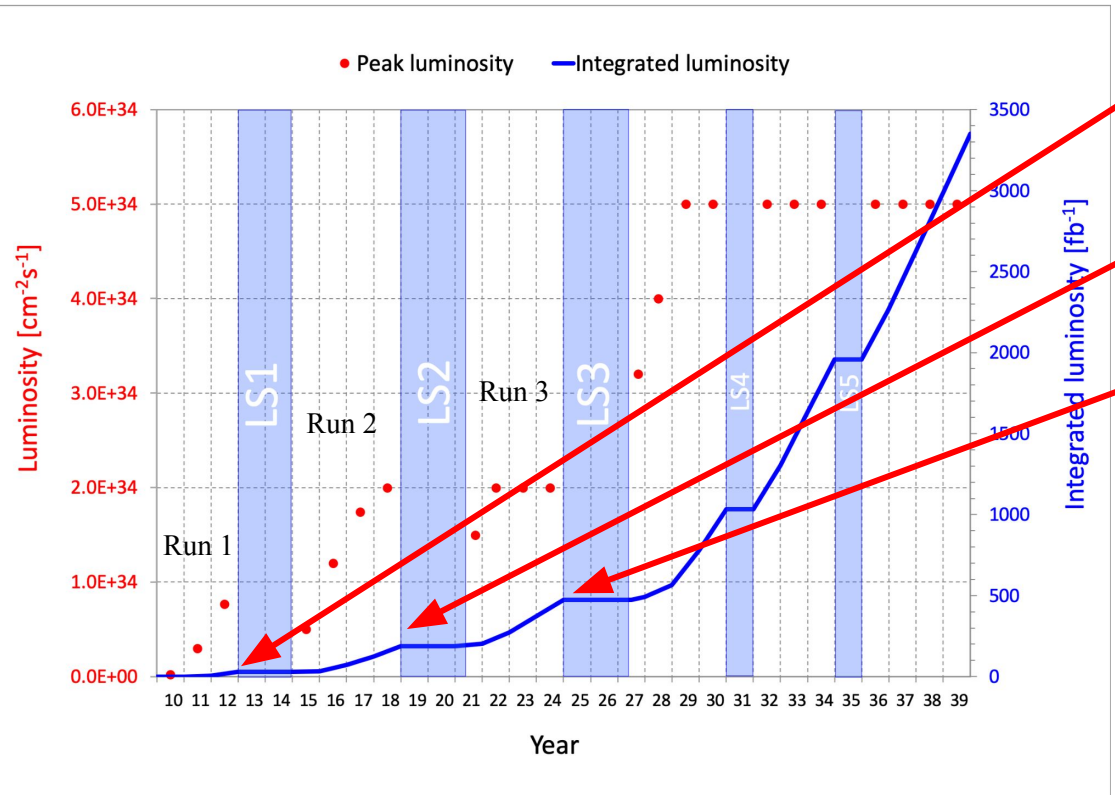
HADRON CALORIMETER (HCAL)
Brass + Plastic scintillator -7,000 channels



- Una grande macchina fotografica tridimensionale
- **Identificazione** di diverse particelle: elettroni, fotoni, muoni, leptoni τ , jets, neutrini (?), ...

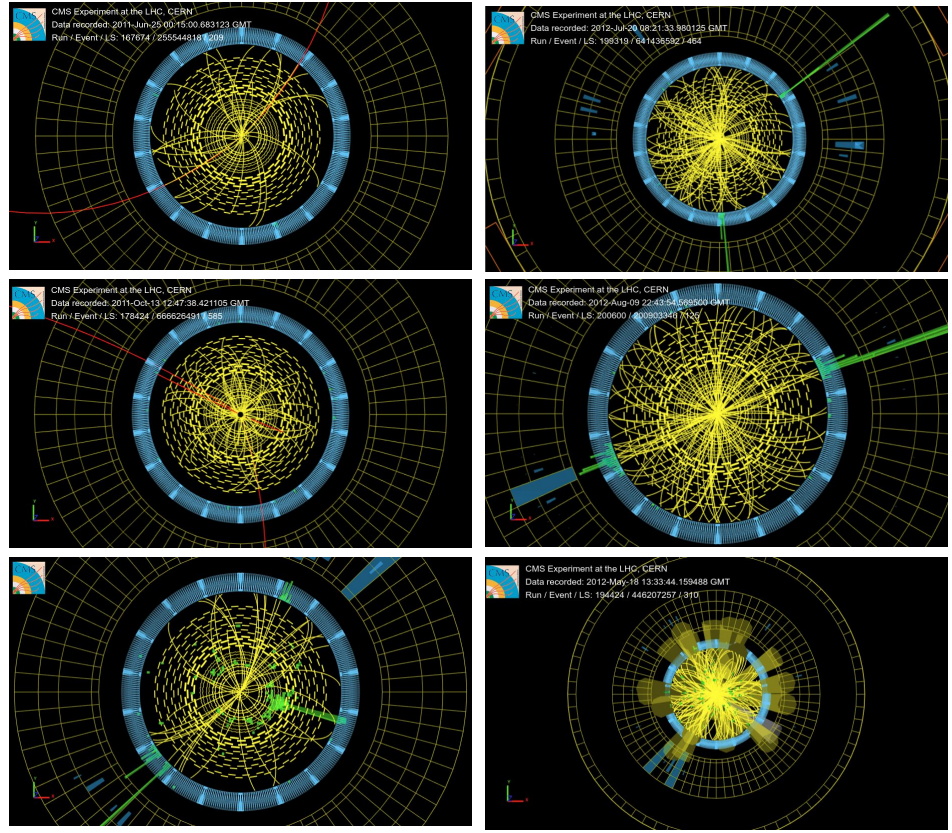
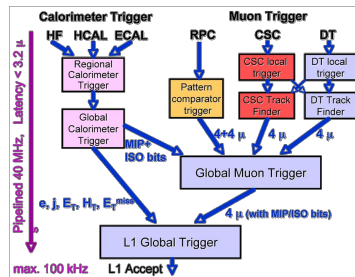


- Informazioni di diverse particelle combinate per eseguire un' **analisi**
- **Misure** di proprietà di particelle note, ricerca di **nuova fisica**, misure di **precisione**, ...

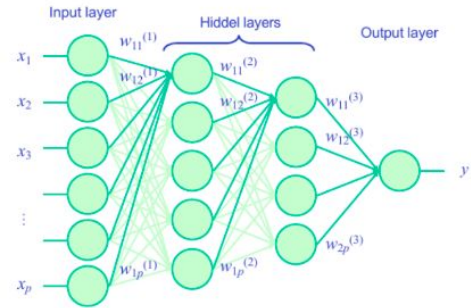
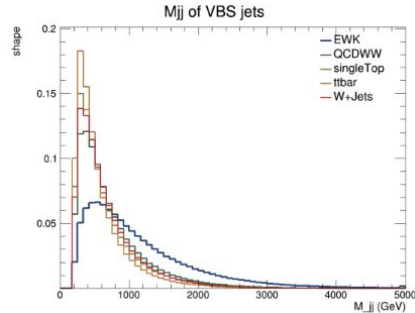
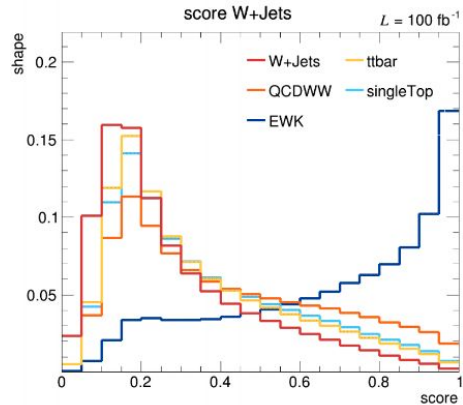
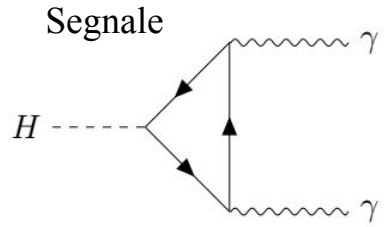
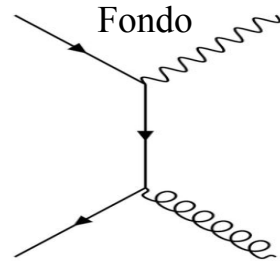


- **Run 1:** con questi dati abbiamo scoperto il bosone di Higgs
 - ~ 24/fb
- **Run 2:** da 8 TeV a 13 TeV
 - ~ 137/fb
 - E con questi?
- Nel 2022 inizieremo di nuovo a prendere dati! → **Run 3**
 - + ~ 200/fb

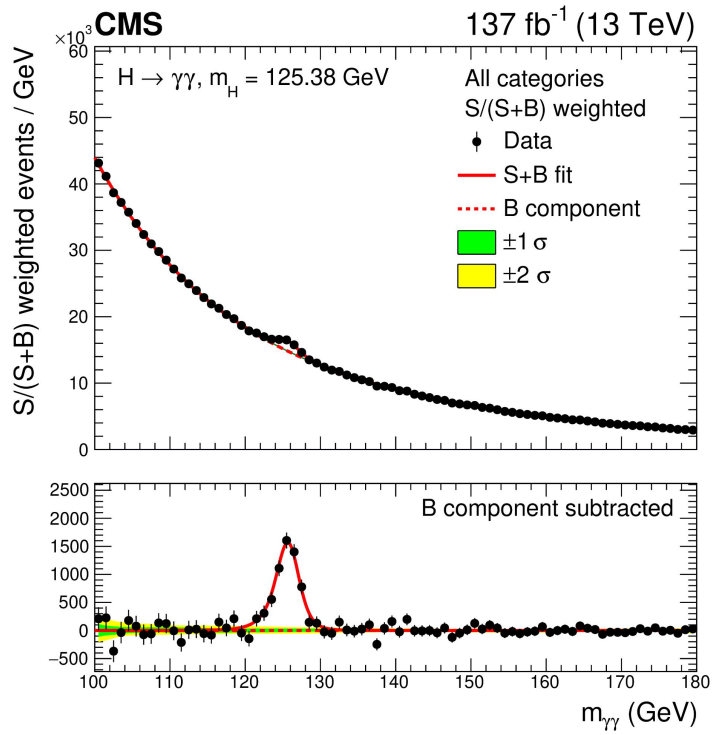
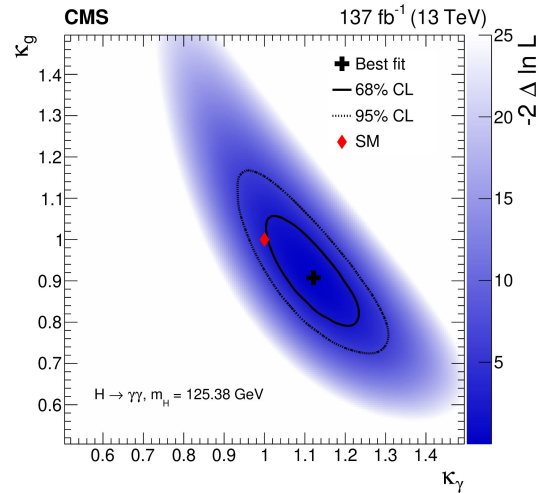
- Selezionare gli eventi interessanti:
trigger
 - **40 milioni** di eventi al secondo
 - Sistema di trigger hardware → **100.000** eventi al secondo
 - Sistema di trigger software → **1000** eventi al secondo salvati e che possono essere analizzati con calma
- Automatizzazione e selezione rapida degli eventi



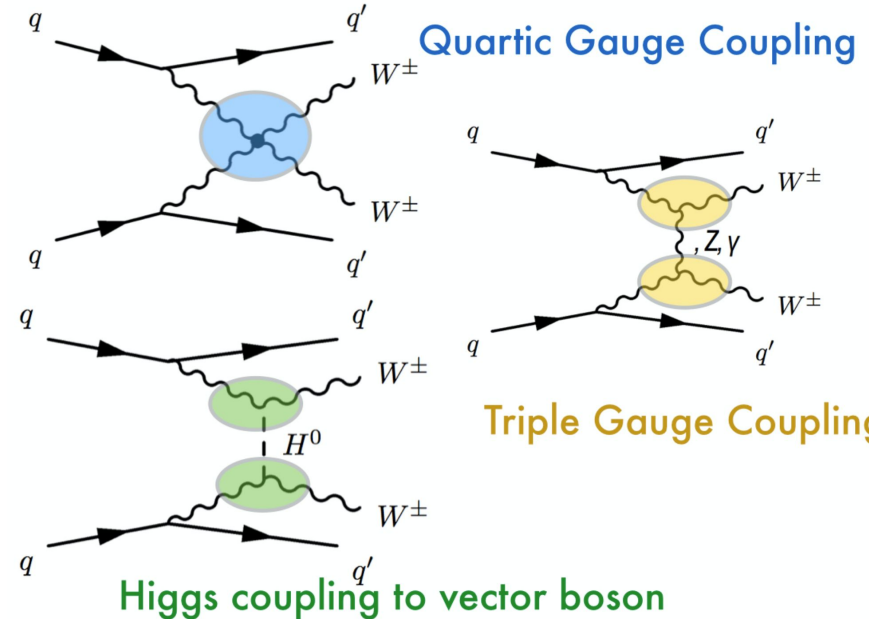
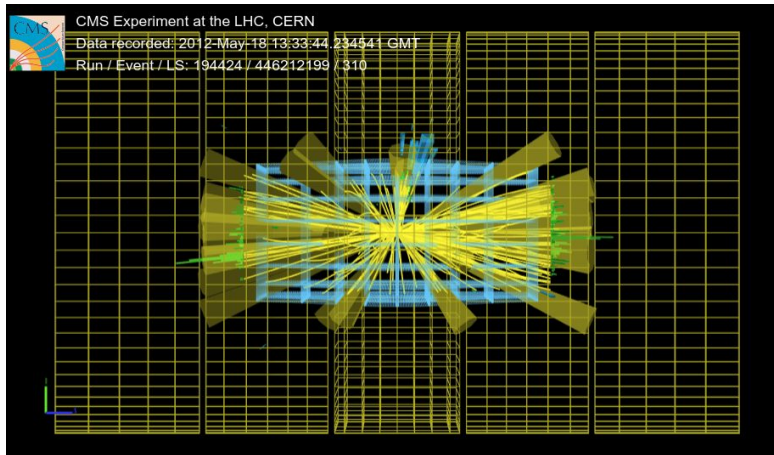
- Selezionare gli eventi interessanti: trigger
- **Analizzare** gli eventi
 - **Identificare** lo stato finale
 - Definire le **selezioni** migliori per isolare il segnale
 - Applicare algoritmi avanzati, **Machine Learning**, Deep Neural Network, BDT, ...



- Selezionare gli eventi interessanti: trigger
- Analizzare gli eventi
- Eseguire un'analisi statistica del risultato

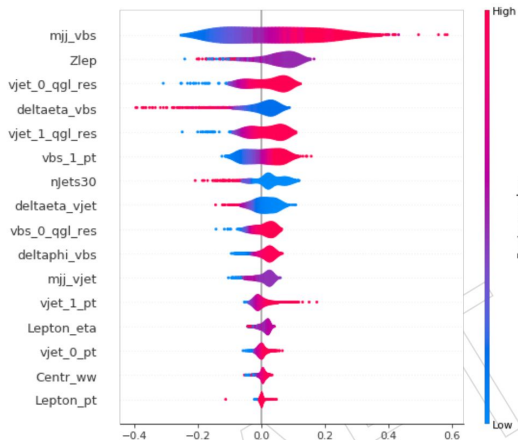


- Misura della **sezione d'urto elettrodebole**
 - Uno dei processi più **rari** ad LHC
 - Sensibile a **nuova fisica** anche nel settore di Higgs
 - Chiave di accesso unica al settore elettrodebole del modello standard

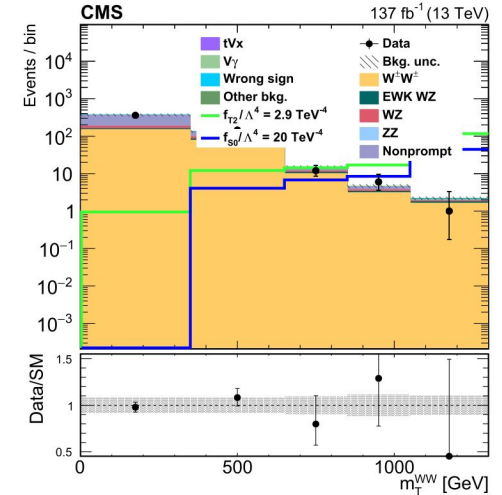


Vector Boson Scattering (VBS)

- Ricerca di deviazioni attraverso un modello **Effective Field Theory (EFT)**
- Necessità di analisi dati avanzata per ricostruire gli eventi e separare segnale dai fondi
- **Machine Learning** per identificare il segnale e scartare i fondi

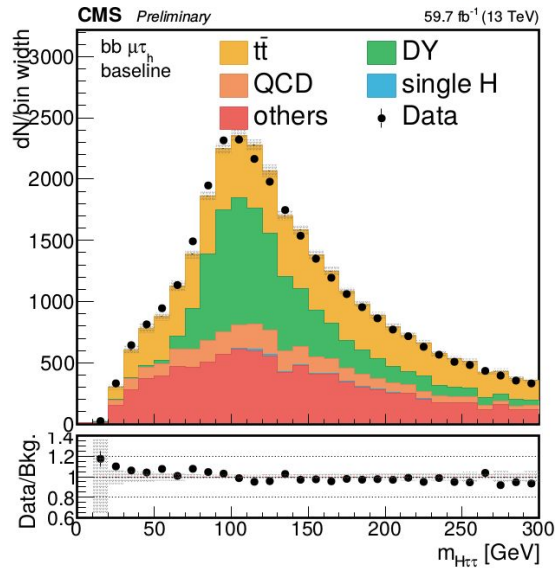
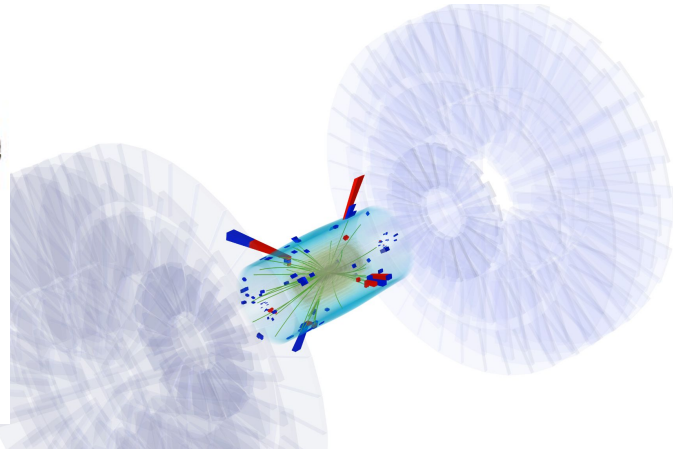
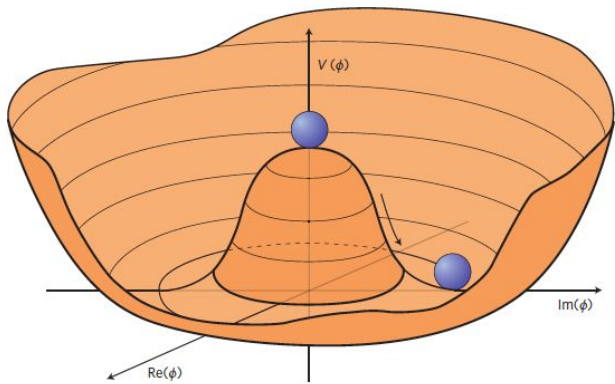
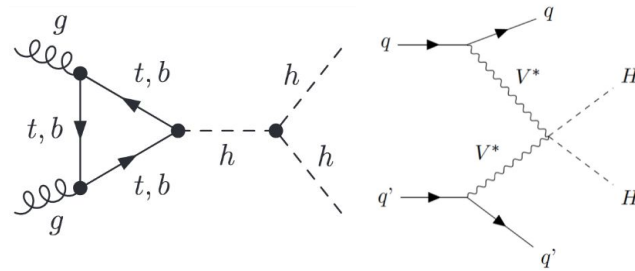


- Bicocca coordina una **rete mondiale di analisi sperimentali + previsioni teoriche su VBS**
- Tesi sperimentali o fenomenologiche assegnate in passato sull'argomento:
 - <https://sites.google.com/unimib.it/govoni-tesi/>



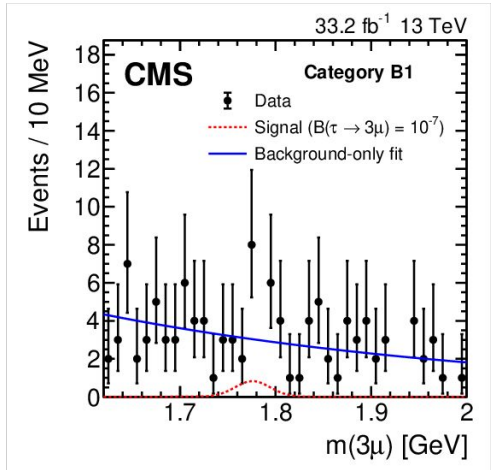
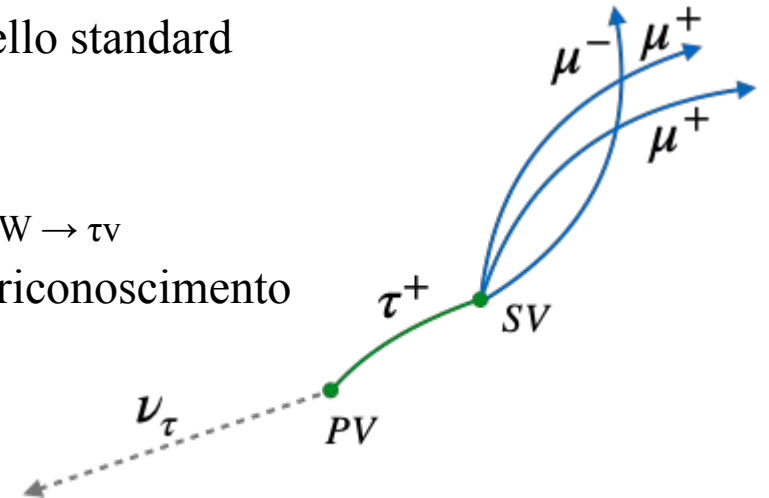
Produzione di coppie di bosoni di Higgs, HH

- Tassello mancante del Modello Standard
- Come interagisce il **bosone di Higgs** con se stesso? **HHH**
 - Alla base del potenziale di Higgs
- Analisi in **HH** → **bbττ**
 - Piccola sezione d'urto (1/1000 rispetto a produzione singola di Higgs), alto branching ratio e buon rapporto segnale / fondo
 - Deep Neural Network per discriminare segnale dal fondo



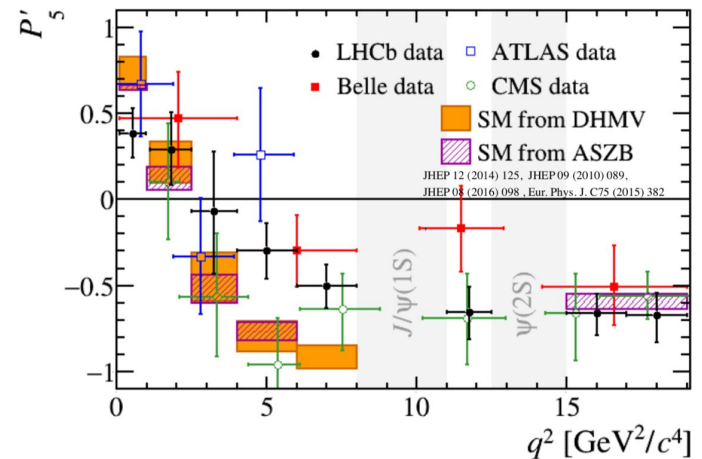
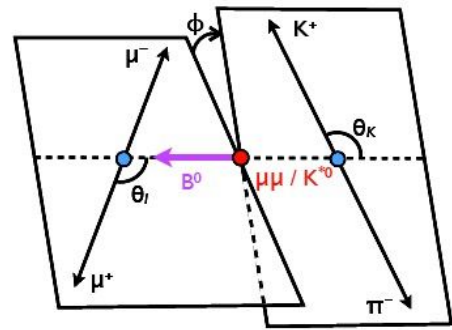
Nuova fisica: $\tau \rightarrow 3 \mu$

- Violazione del **numero leptonico**
- Evento molto **raro** secondo modelli oltre il modello standard (BSM)
- Necessita' di molti molti molti dati
 - Utilizzo di risonanze adroniche (e.g. $D_s \rightarrow \tau \nu$) a LHC e $W \rightarrow \tau \nu$
- Impiego di tecniche di analisi multivariate per il riconoscimento del segnale

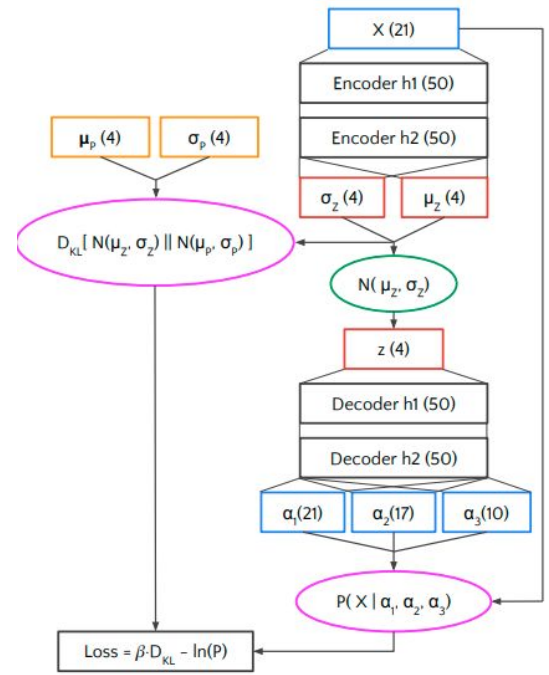
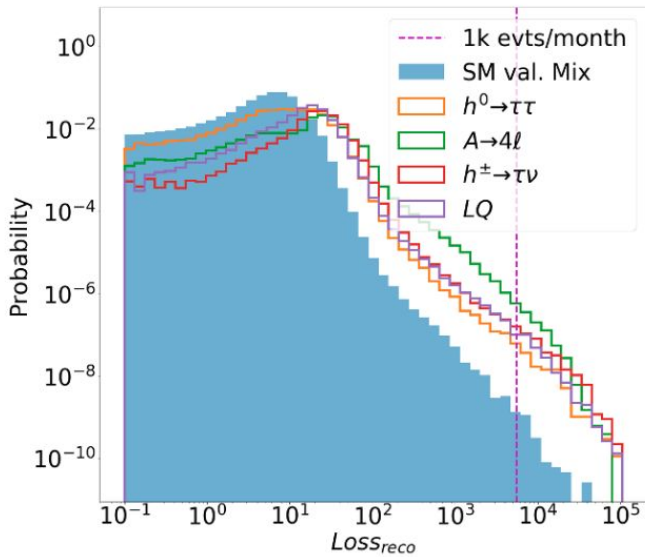


Analisi angolare del decadimento $B^0 \rightarrow K^{*0} \mu^+ \mu^-$

- Flavour Changing Neutral Current (**Violazione del sapore** con correnti neutre) con **cambiamento di sapore** ($b \rightarrow s$)
- Analisi in funzione degli **angoli di decadimento** e della **massa** permette il confronto con predizioni del SM affette da ridotte incertezze teoriche \rightarrow **indagine indiretta di nuova fisica**
- "tensione" con lo SM misurata da LHCb (Run I+ 2016: 3.3 sigma global su P'_5) \rightarrow la misura di CMS sara' **fondamentale** per chiarire lo scenario sperimentale
- **Tecniche avanzate di analisi**: BDT, Deep Neural Network, fit 4-dim multi-threaded ad alta statistica
- Uso computazionale di **GPU** per la parametrizzazione 3-dim dell'efficienza e del fondo combinatorio

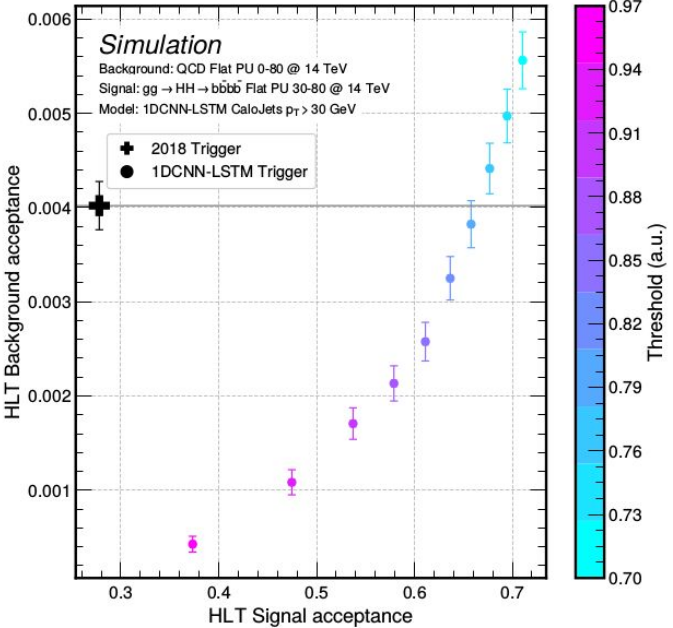
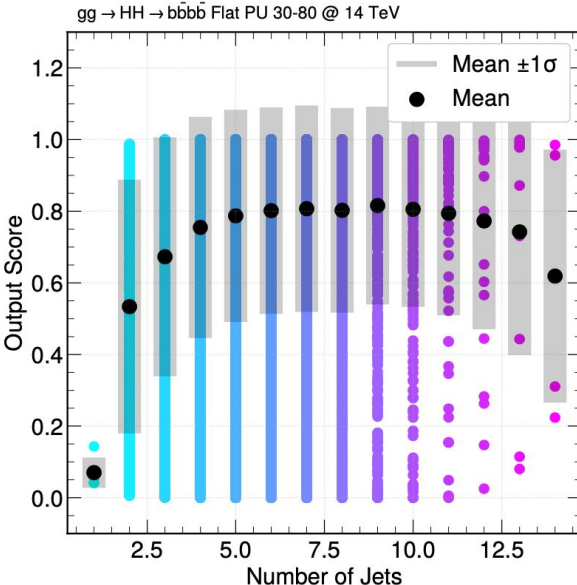


- **Nuovi approcci** per selezionare gli eventi interessanti a CMS
- **Unsupervised deep learning** → ricerca di deviazioni dal modello standard senza avere dei priori sul tipo di nuova fisica
 - Machine Learning
 - Variational AutoEncoders



[https://doi.org/10.1007/JHEP05\(2019\)036](https://doi.org/10.1007/JHEP05(2019)036)

- Tecniche di **XAI** possono aiutare a comprendere come un Rete Neurale (Neural Network) selezioni gli eventi e aumentare così la fiducia nell'applicazione di algoritmi altamente non lineare anche a livello di **trigger**



Come contattarci per tesi magistrali

- VBS
 - pietro.govoni@unimib.it, andrea.massironi@mib.infn.it, marco.paganoni@unimib.it
- unsupervised machine learning
 - simone.gennai@mib.infn.it, pietro.govoni@unimib.it, andrea.massironi@mib.infn.it
- $\tau \rightarrow 3 \mu$
 - mauro.dinardo@unimib.it, luca.guzzi@mib.infn.it, luigi.moroni@mib.infn.it,
sandra.malvezzi@mib.infn.it, dario.menasce@mib.infn.it
- $B^0 \rightarrow K^{*0} \mu^+ \mu^-$
 - mauro.dinardo@unimib.it, paolo.dini@mib.infn.it, luigi.moroni@mib.infn.it,
sandra.malvezzi@mib.infn.it, daniele.pedrini@mib.infn.it, dario.menasce@mib.infn.it
- $HH \rightarrow bb \tau\tau$
 - mauro.dinardo@unimib.it, francesco.brivio@mib.infn.it, davide.zuolo@mib.infn.it,
sandra.malvezzi@mib.infn.it, simone.gennai@mib.infn.it