

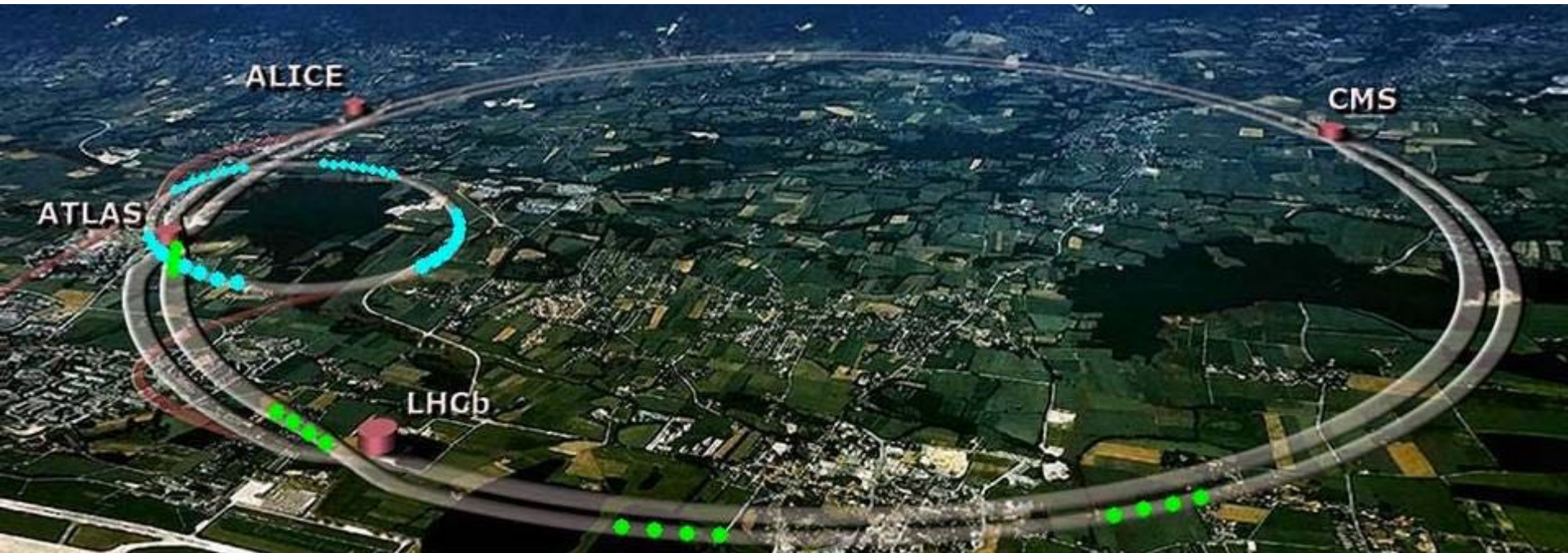


# L'esperimento CMS a LHC e HL- LHC

---

ALESSANDRO ROSSI

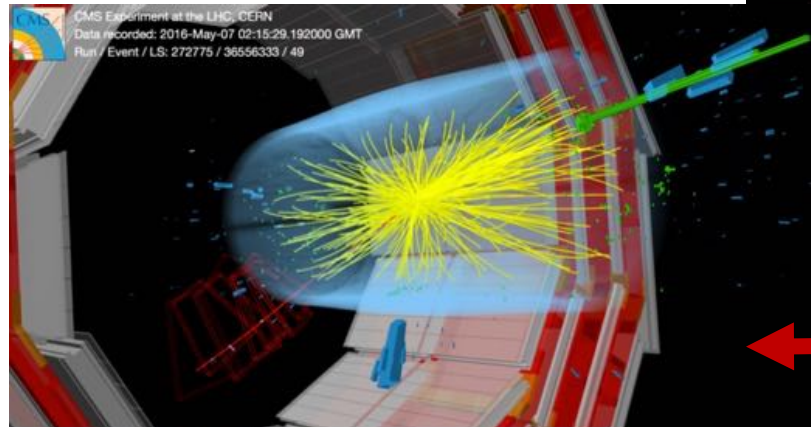
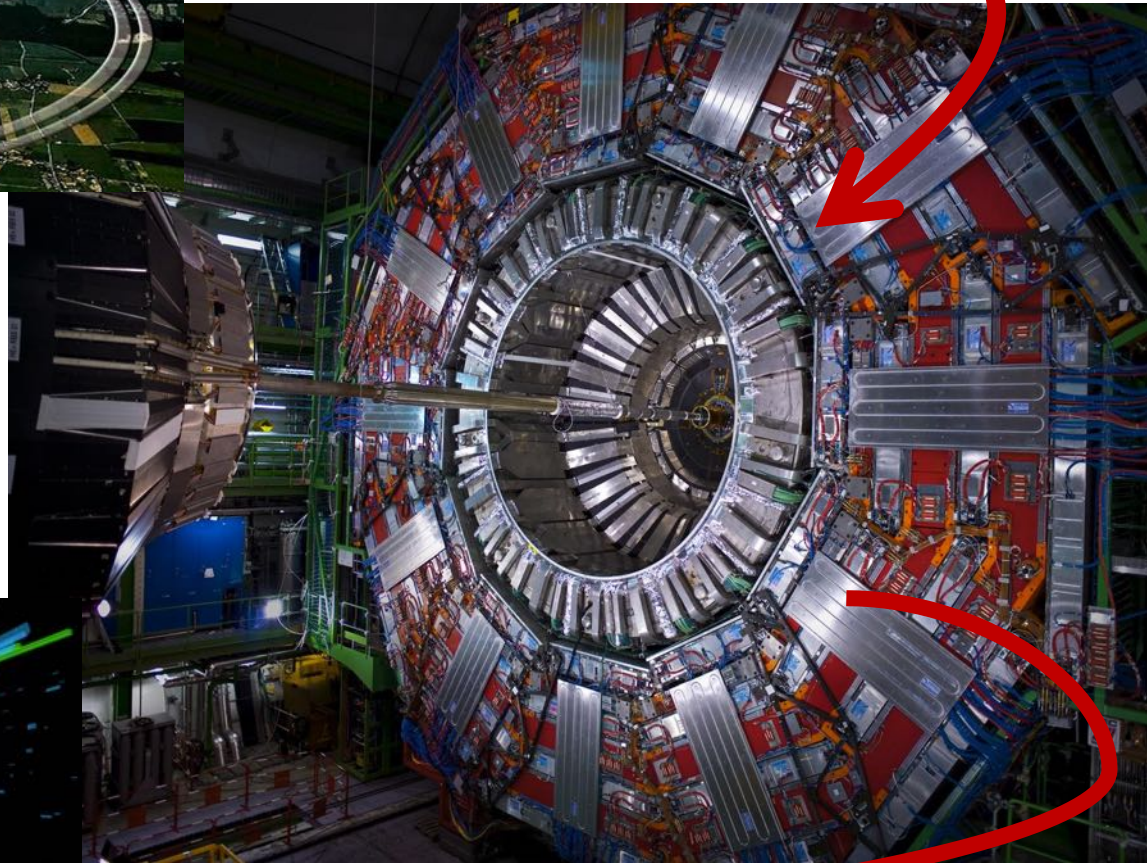
ALESSANDRO.ROSSI2@UNIPG.IT



- Collider protoni-protoni @ 13TeV



- CMS osserva e misura il risultato di interazioni fondamentali





# Gruppo di CMS



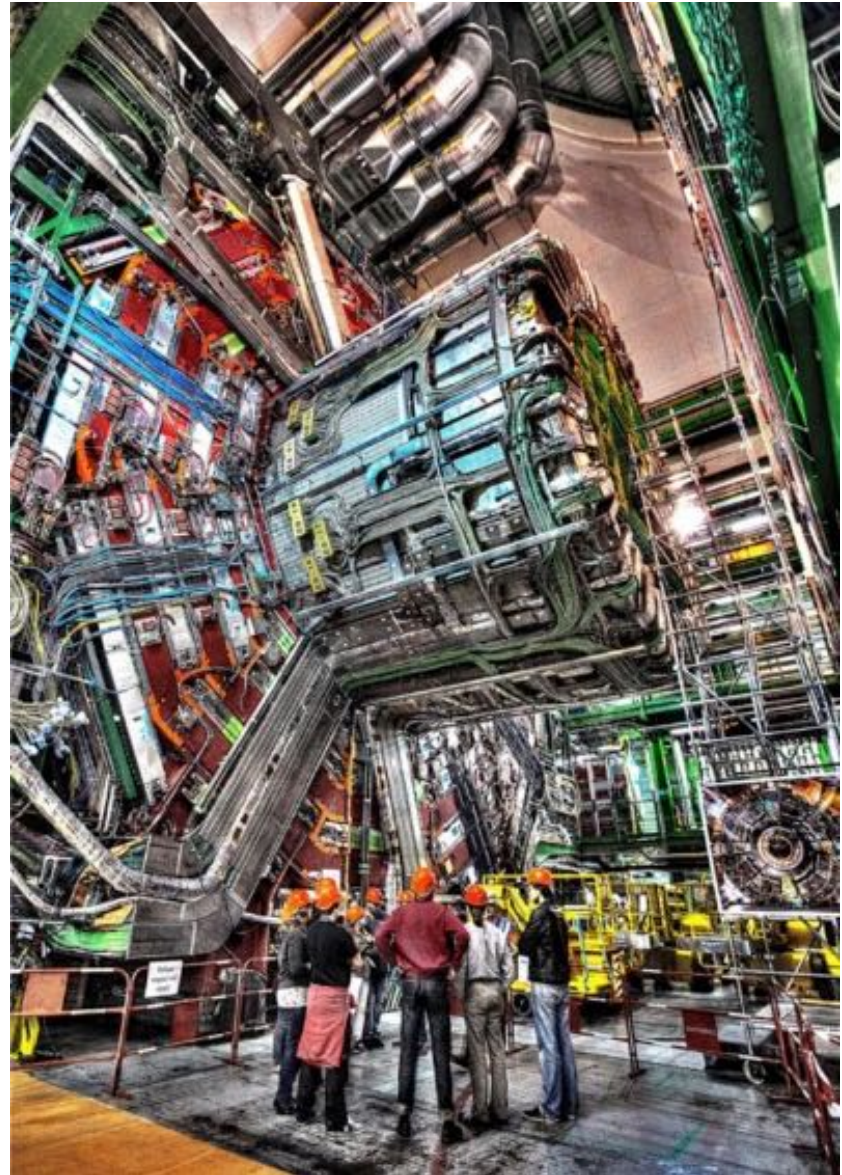
- Chi siamo?
  - Docenti UniPG
    - Baldinelli, Fanò, Mariani, Passeri, Placidi, Rossi, Santocchia
  - Ricercatori INFN
    - Bilei, Menichelli, Morozzi, Panella, Spiga
  - PostDoc e Dottorandi
    - Asenov, Bianchi, Ciangottini, Presilla, Turrioni, Ajmal, Ascioti, Carrivale, Magherini, Piccinelli, Tedeschi
  - Ricercatori CNR
    - Moscatelli

Gruppo interdisciplinare: Fisica,  
Ingegneria Meccanica, Ingegneria  
Elettronica, Calcolo Scientifico

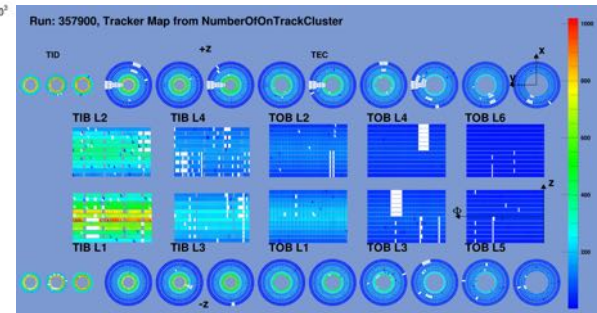
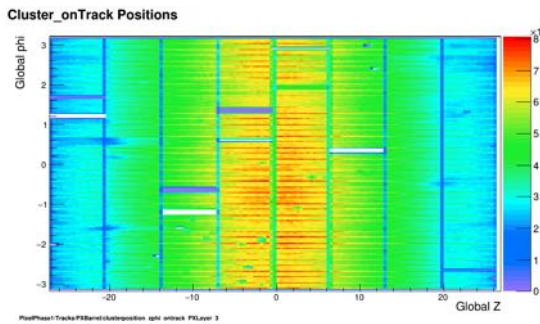
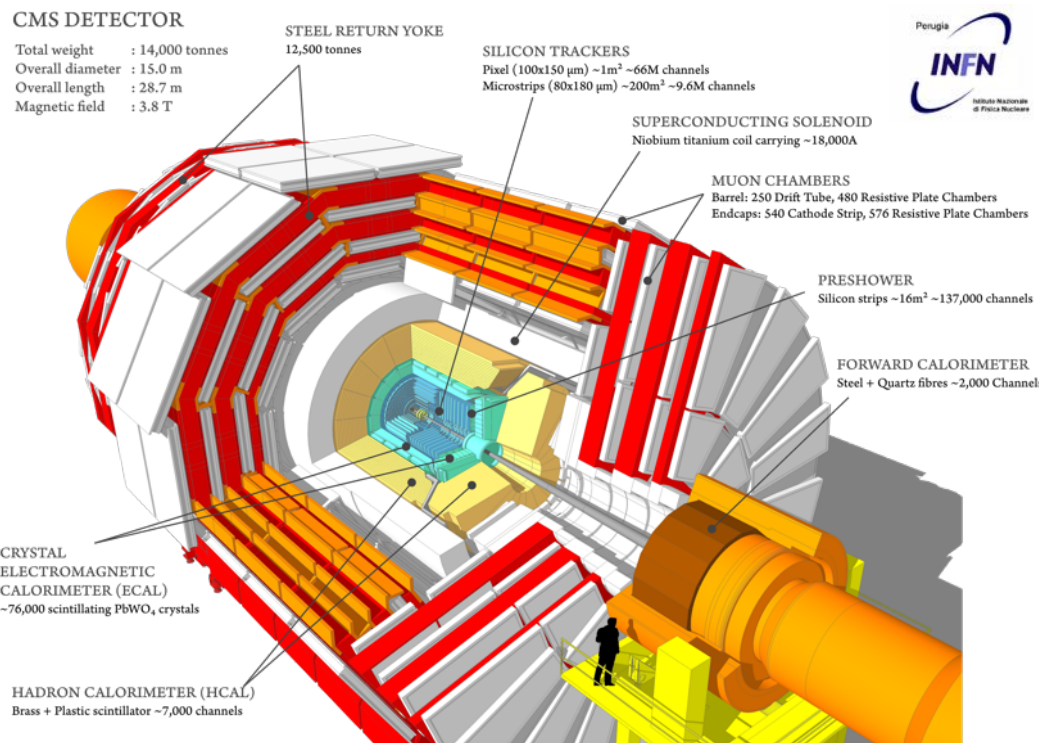
## CONTATTI:

[livio.fano@unipg.it](mailto:livio.fano@unipg.it)  
[alessandro.rossi2@unipg.it](mailto:alessandro.rossi2@unipg.it)  
[attilio.santocchia@unipg.it](mailto:attilio.santocchia@unipg.it)  
[valentina.mariani@unipg.it](mailto:valentina.mariani@unipg.it)  
[moscatelli@iom.cnr.it](mailto:moscatelli@iom.cnr.it)

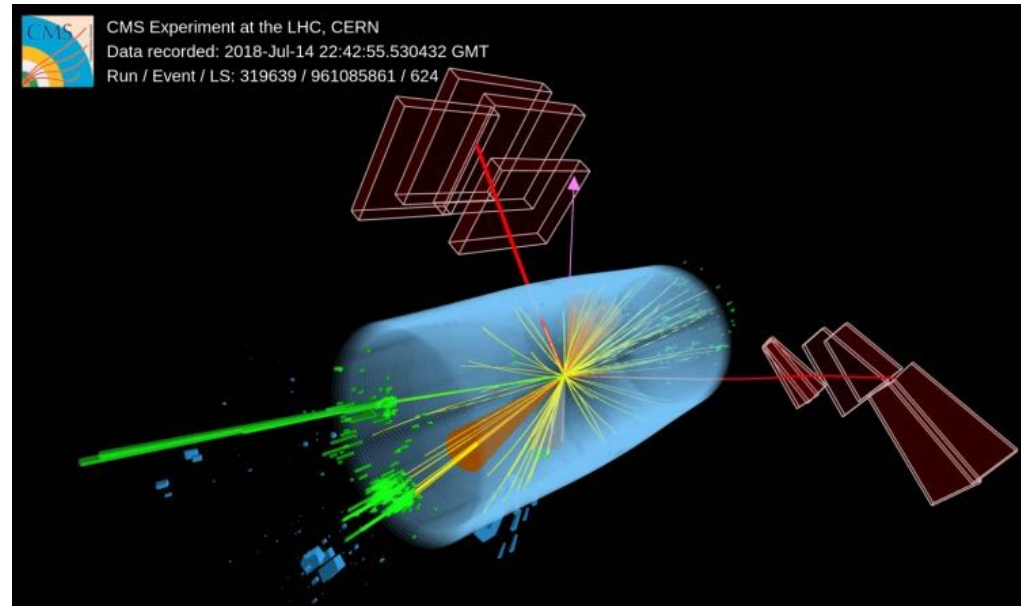
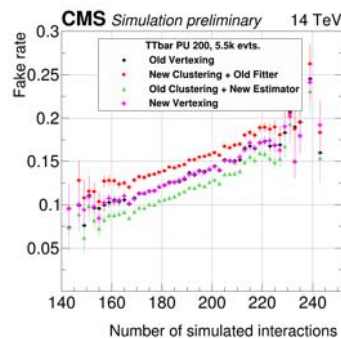
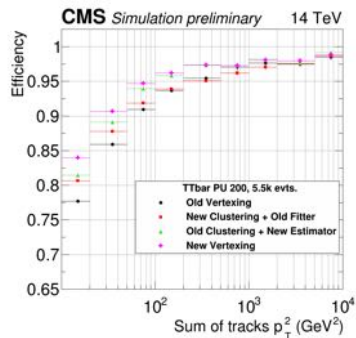
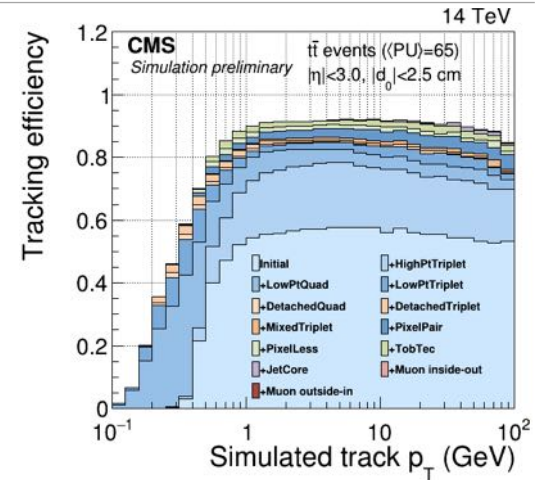
- Vengono seguite tutte le varie fasi legate all'esperimento:
  - Operazioni del detector
  - Ricostruzione eventi
  - Analisi dai dati
  - Costruzione nuovi rivelatori
  - Calcolo scientifico
  - R&D per nuovi rivelatori



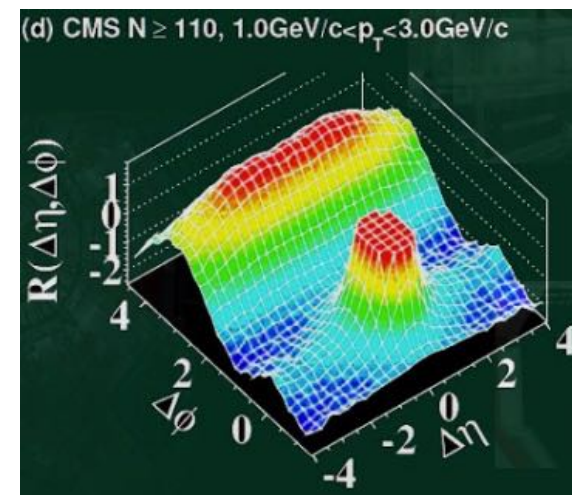
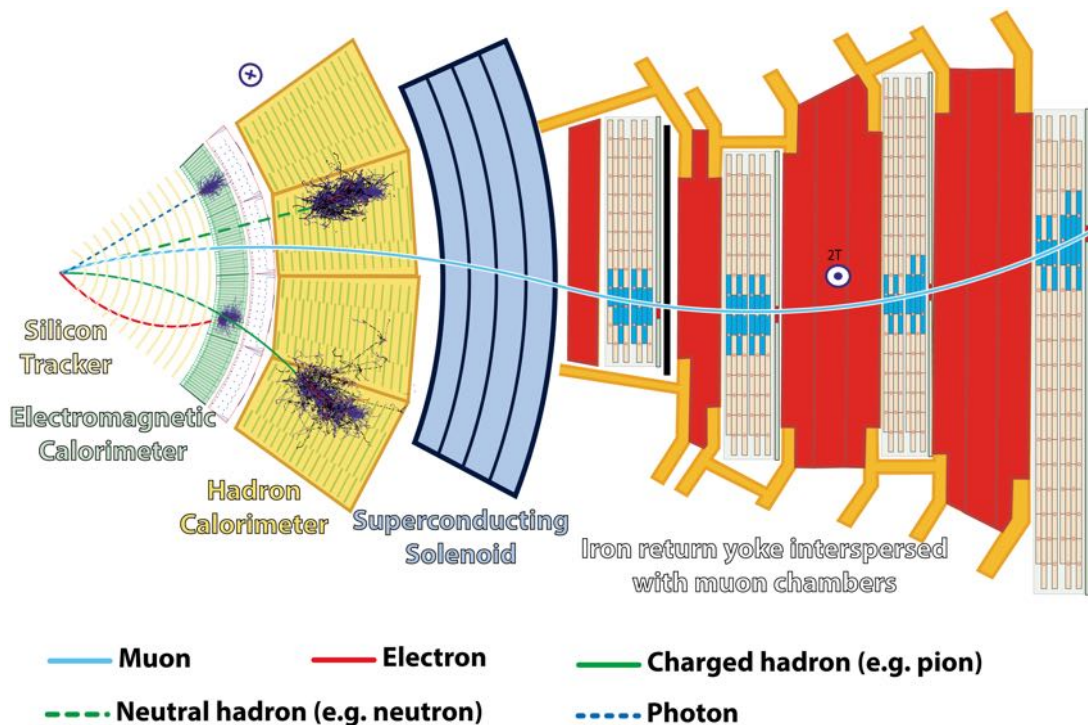
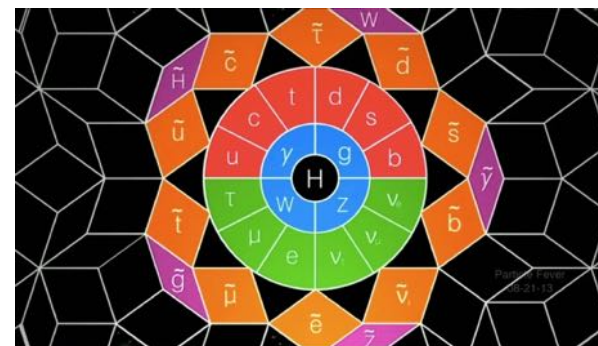
- Il gruppo di Perugia ha partecipato alla costruzione del sistema tracciante dell'esperimento
- Per questo motivo siamo storicamente legati a questo particolare sotto-rivelatore
- Attività legate al detector:
  - Funzionamento durante la presa dati
  - Controllo della qualità dei dati raccolti



- Molto importante per l'esperimento è la conoscenza di «quanto siamo bravi» a ricostruire quello che fanno le particelle all'interno del nostro detector
  - «quanto siamo bravi» è solitamente quantificato con una efficienza (ma non solo...)
- Per quanto riguarda il tracciatore le quantità da misurare sono principalmente:
  - Efficienza di ricostruzione delle tracce
  - Efficienza di ricostruzione vertici di interazione/decadimento

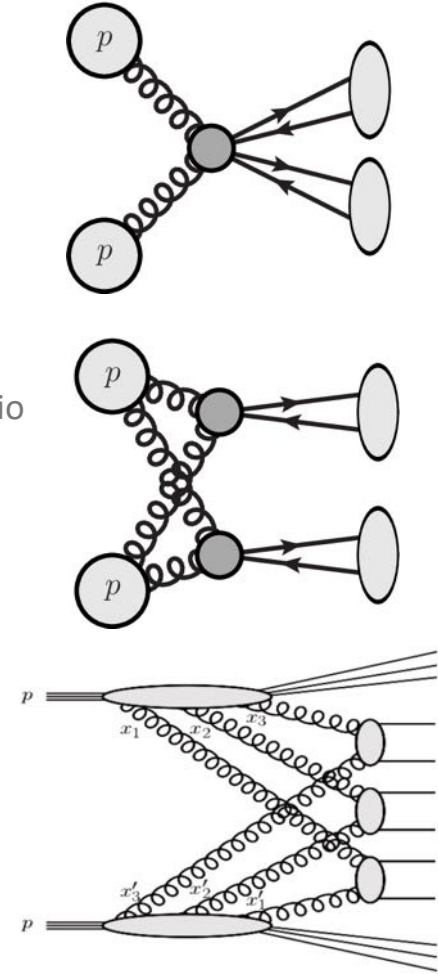


- Diversi argomenti:
  - QCD e interazioni partoniche multiple
  - Ricerca di Nuova Fisica

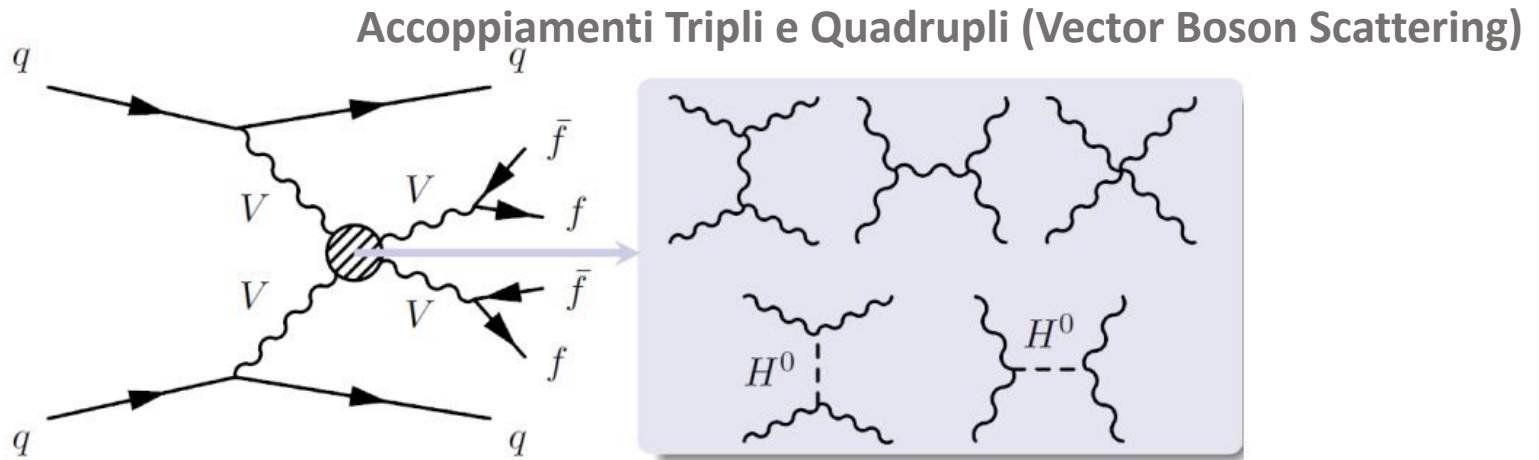




- LHC è il laboratorio perfetto per lo studio della QCD
  - Fisica a bassa energia -> studio della sezione d'urto di produzione di mesoni charm
    - Prima misura eseguita da collisioni pp in CMS
    - Misura complessa in ambiente adronico
    - Importanti input per il tuning di generazione MC
    - **Prospettive:** valutare la produzione di singolo e doppio charm come sonda per lo studio del Double Parton Scattering
  - Triple parton scattering
    - Processo ancora più complesso da studiare rispetto al DPS
    - Può dare informazioni aggiuntive sulla correlazione dei partoni all'interno dei protoni
    - **Prospettive:** implementazione di metodi di Machine Learning per migliorare la separazione tra segnale e fondo



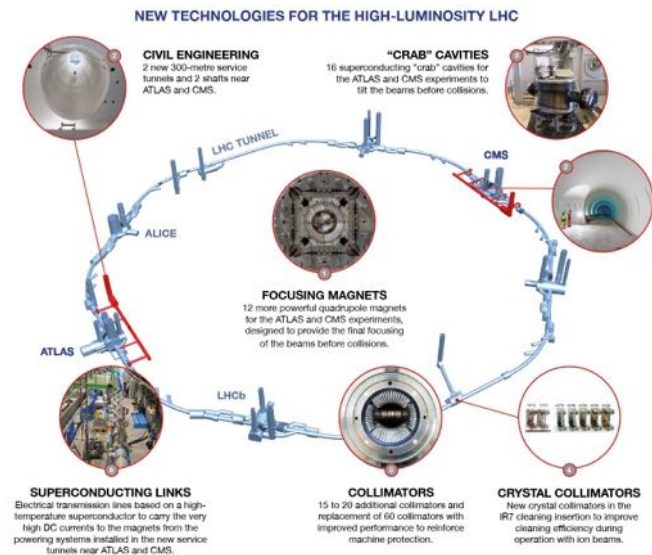
- Ricerca di Nuova Fisica
  - Studio dei processi di Vector Boson Scattering
    - Sonda per i processi elettrodeboli alla scala del TeV
    - Processo direttamente collegato al meccanismo di rottura spontanea di simmetria e quindi al campo di Higgs
    - Sensibile a contributi di Nuova Fisica
    - Approccio Model Independent attraverso teorie effettive
    - **Prospettive:** analisi con i primi dati del Run3



**Produzione e scambio di Higgs (Vector Boson Fusion)**

# HL-LHC @ CERN

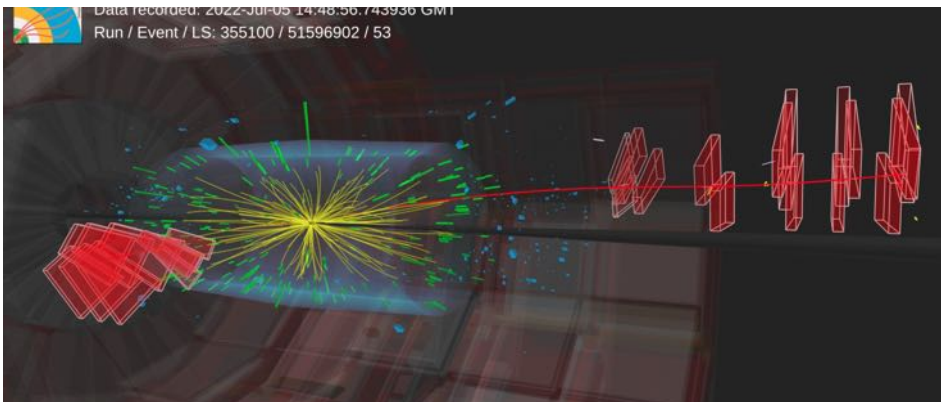
- Il futuro prossimo di LHC è praticamente domani
  - High-Luminosity LHC : aumentare la luminosità della macchina, avere un maggior numero di collisioni all'interno degli esperimenti (più dati in meno tempo!)
  - Necessari interventi importanti sull'acceleratore
  - ...ma anche nei rivelatori degli esperimenti



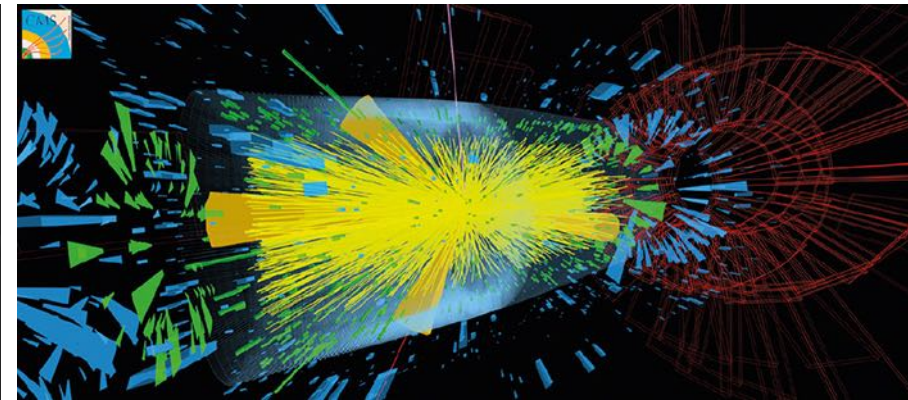
# HL-LHC @ CERN

- Aumentare la luminosità significa aumentare il numero di protoni che interagiscono ogni volta che i fasci vengono fatti collidere
  - Oggi:  $\sim 44$  interazioni ogni 25ns
  - HL-LHC:  $\sim 200$  interazioni ogni 25ns

LHC Run3

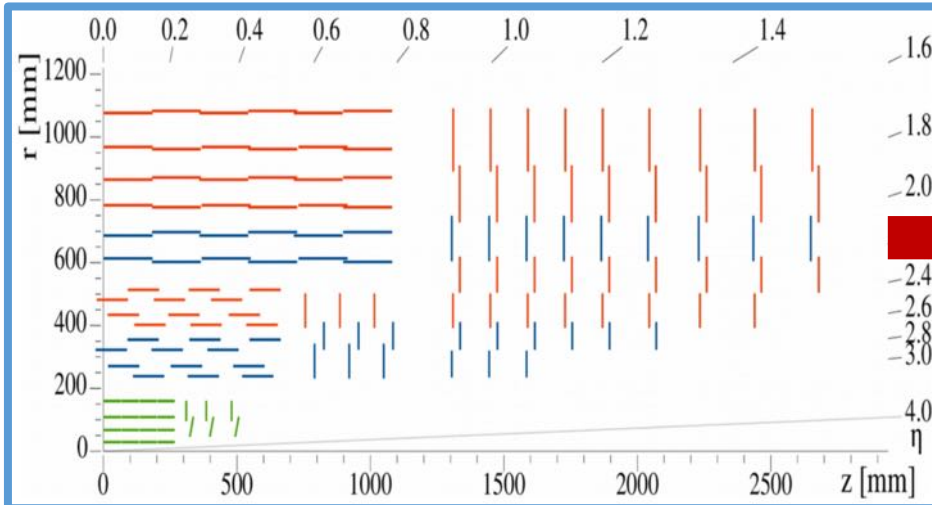


HL-LHC

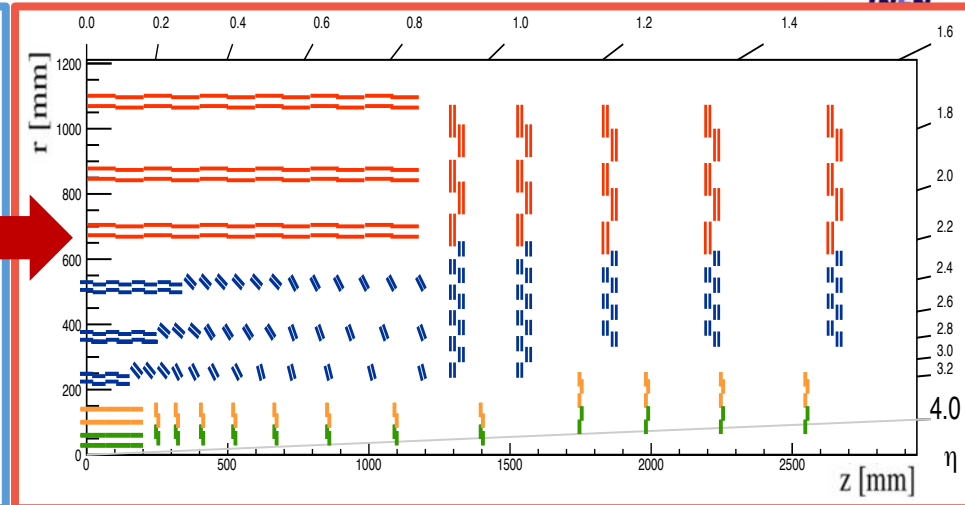


- I rivelatori che compongono CMS vanno aggiornati e in alcuni casi totalmente sostituiti
  - Il tracciatore va completamente rifatto!

CMS Phase-1 Tracker

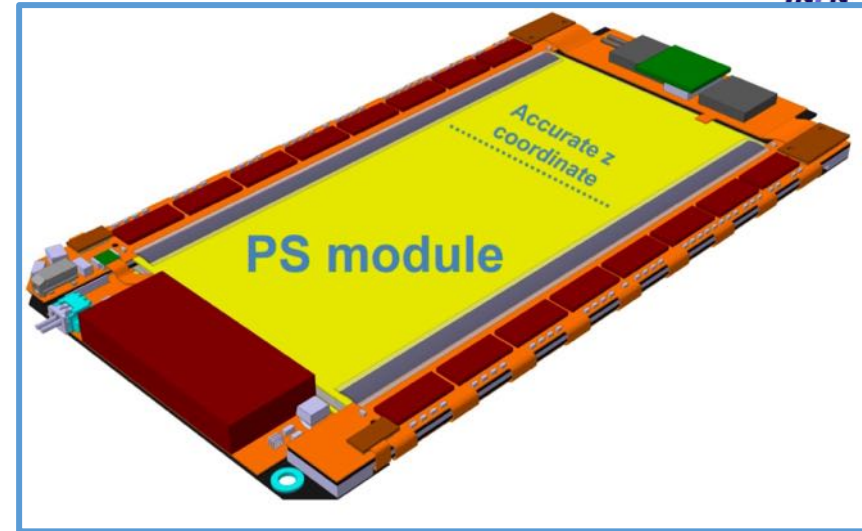
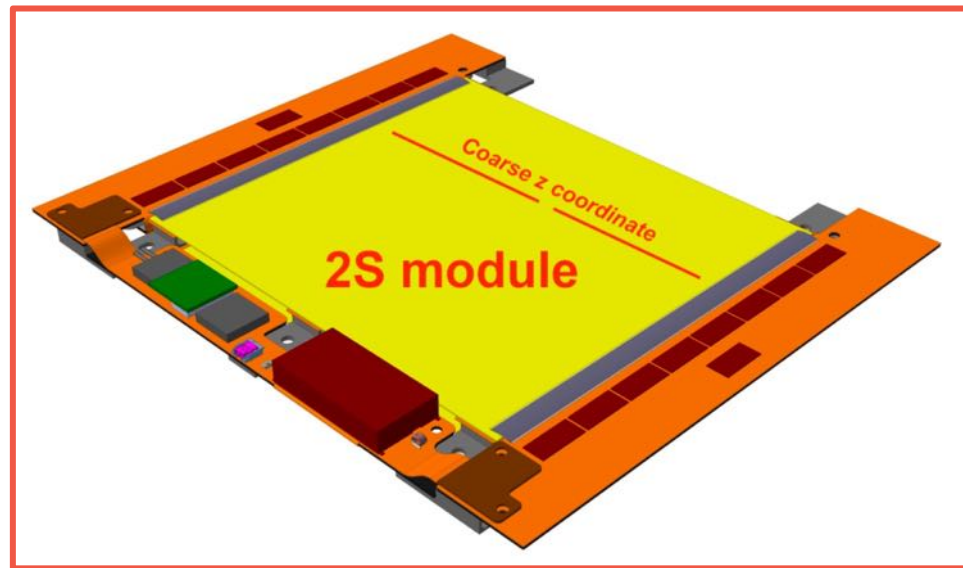


CMS Phase-2 Tracker



- Rivelatori a stato solido
    - Microstrip (rosso)
    - Microstrip+MacroPixel (blu)
    - Pixel (verde/giallo)
- } Outer Tracker

} Inner Tracker
- Perugia è uno dei centri di assemblaggio dei singoli moduli dell'Outer Tracker



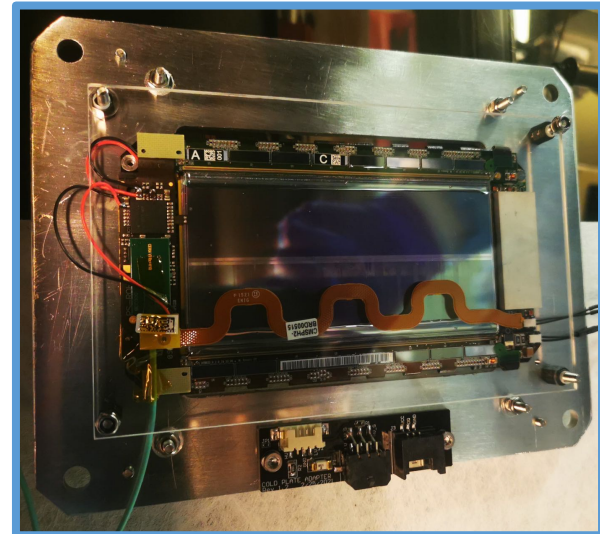
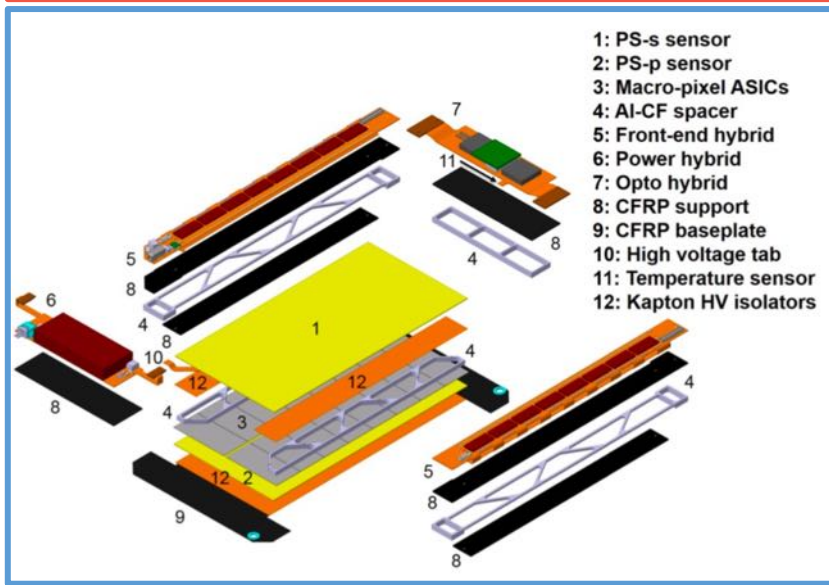
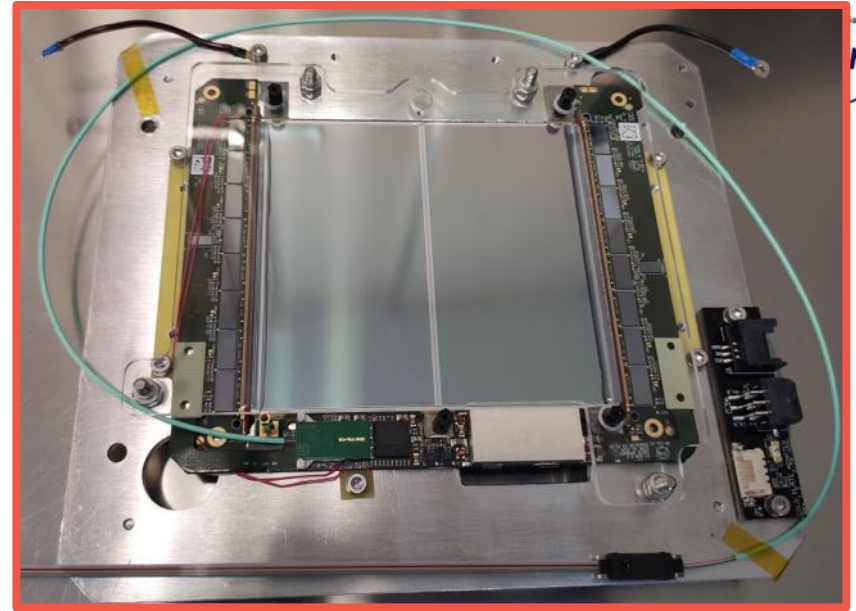
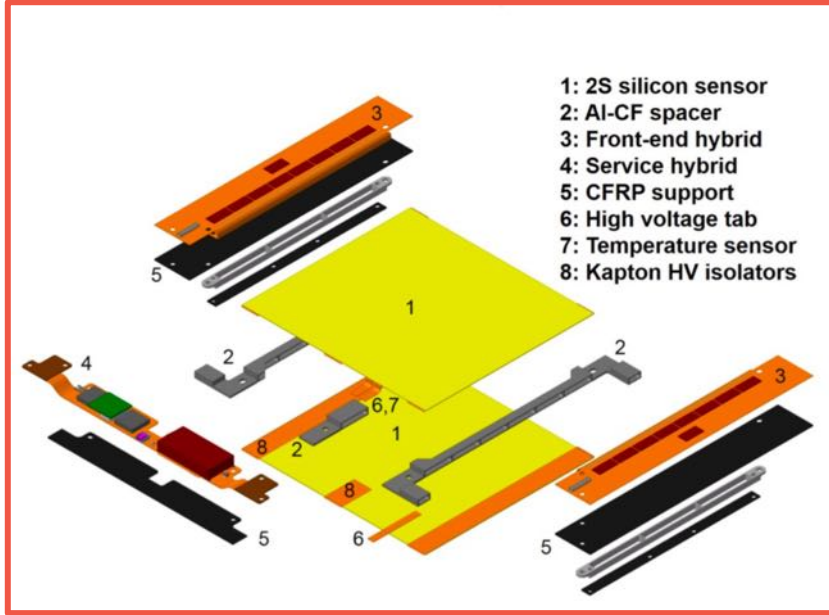
- Two types of modules:

- 2S Modules (Strip-Strip)

- 2 different spacings : 1.8mm & 4mm
- 2 micro strip sensors with 5cm x 90 $\mu$ m strips
- Sensor dimensions are 10cm x 10cm
  - two columns of 1016 strips

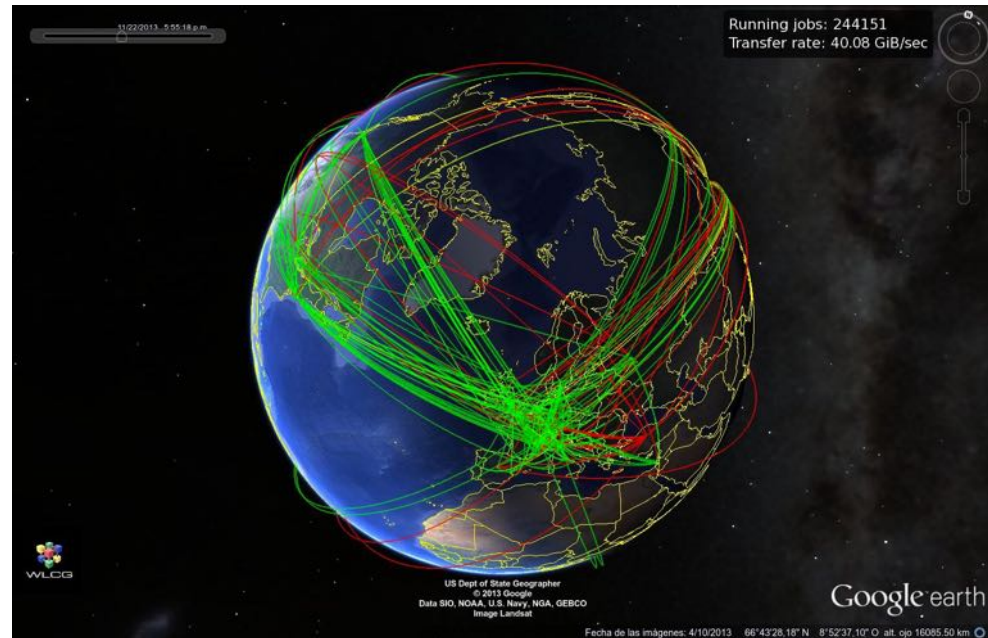
- PS Modules (Pixel-Strip)

- 3 different spacings : 1.6mm & 2.6mm & 4mm
- One strip sensor: 2.5cm x 100 $\mu$ m strips
- One macro Pixel sensor : 1.5mm x 100 $\mu$ m pixels
- Sensor dimensions 5cm x 10 cm
  - two columns of 960 strips
  - 32x960 pixels



# Computing

- Attività di ricerca e sviluppo nel settore Data e Computing Science
  - Big Data
  - Cloud
  - Machine Learning and AI per l'analisi dei dati

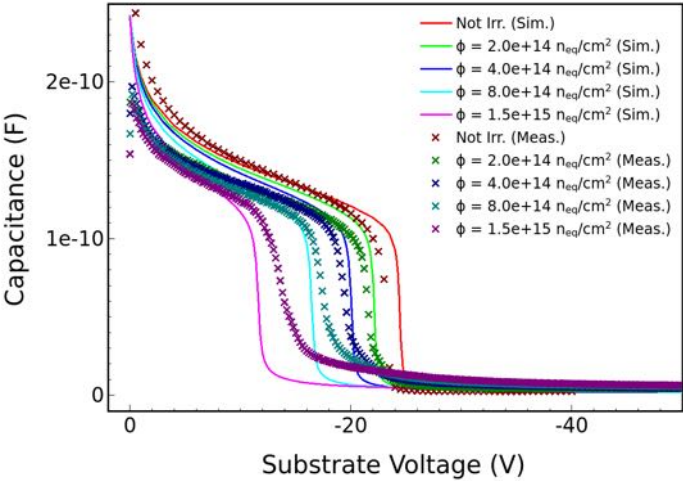
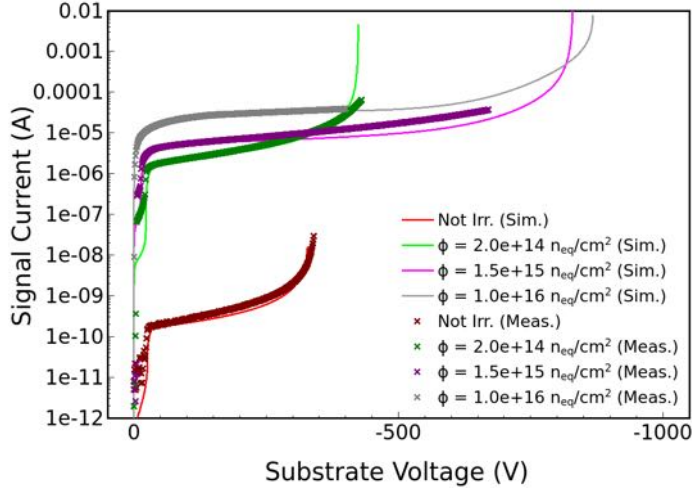




- In parallelo alle attività di costruzione vengono studiate ed analizzate nuove tecnologie e soluzioni per rivelatori al silicio

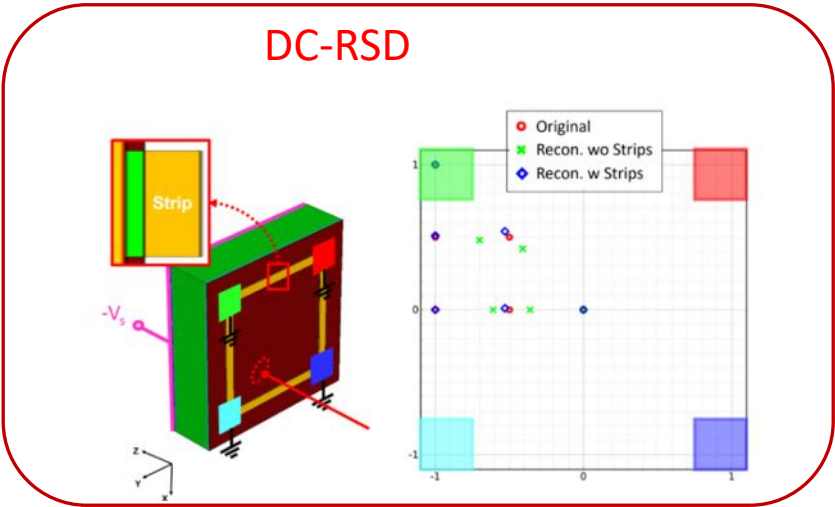
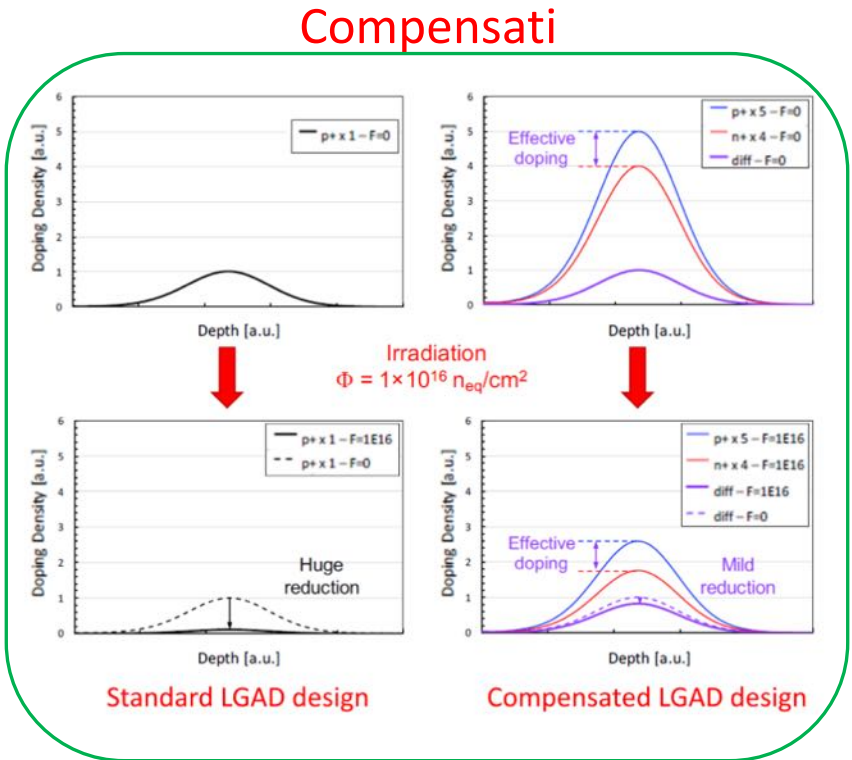
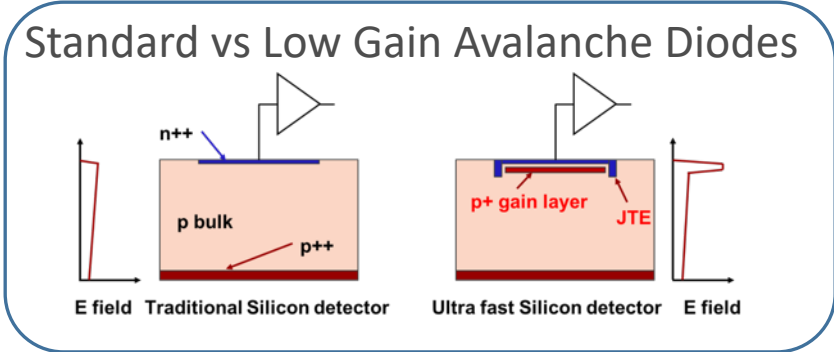
- Simulazione del danno da radiazione: Low Gain Avalanche Diode

**Comparison with experimental data, before and after irradiation**



**Massey model. Temperature 300 K. Electrical contact area 1mm<sup>2</sup>**

- Simulazione del danno da radiazione: LGAD innovativi



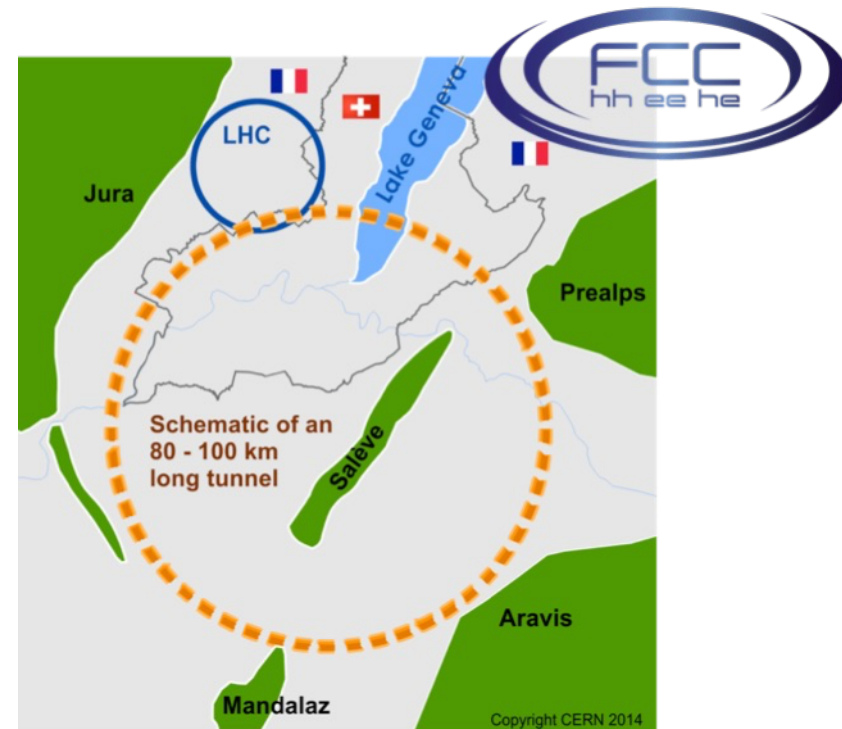


# Cosa proponiamo?



- Tante attività diversificate in questi quattro filoni di diverso livello: tesi triennali, magistrali e di dottorato
- Qualche esempio:
  - **Analisi Dati – Contatti: Valentina Mariani, Matteo Presilla**
    - Tracking efficiency for slow pion with the D\* method (collaboration with Desy group) using Run3 data
    - Open charm cross section measurement with 900 GeV Run3 data (collaboration with Desy group)
    - Triple Parton Scattering: machine learning application for the signal vs background separation
    - VBS in WZ with Z- $\rightarrow$ tau tau
    - VBS ZZ fully-leptonic measurement with dimension-6 EFT
    - LHC EFT wg AREA1 tasks: chi-squared based prototype of SMEFT combination
  - **Costruzione – Contatti: Alessandro Rossi**
    - Realizzazione sistema di test con raggi cosmici per rivelatori del Tracciatore di Fase2 di CMS
    - Costruzione e qualifica dei moduli al silicio per l'upgrade di fase2 del tracciatore al silicio
    - Analisi e simulazioni termiche per il sistema di raffreddamento del nuovo tracciatore
  - **R&D Rivelatori – Contatti: Francesco Moscatelli**
    - Sviluppo di modelli TCAD per per l'analisi del danneggiamento indotto da radiazione ad elevatissime fluenze
    - Campagne di misura e irraggiamento su strutture di test e sensori
  - **R&D Computing – Contatti: Daniele Spiga**
    - Applicazione di tecniche ML/DL all'analisi dei dati dell'infrastruttura di computing distribuita su scala mondiale a CMS
    - Sviluppo e test di strutture High Performance Computing (HPC)

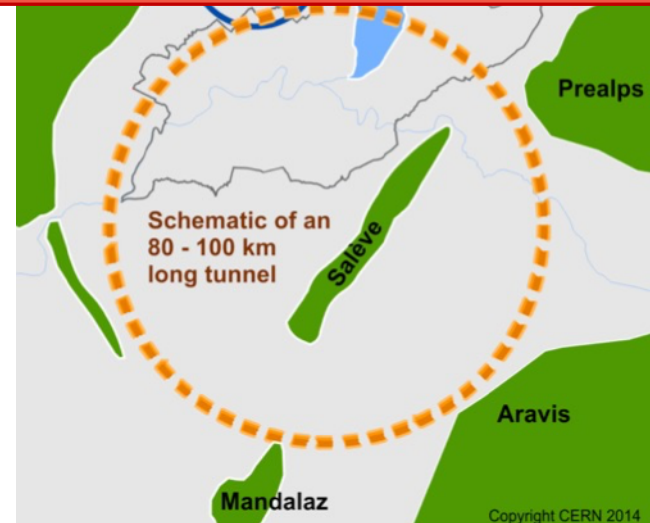
- La comunità di fisica delle alte energie sta già lavorando per progettare e definire quello che verrà dopo HL-LHC
  - Cosa serve: più sensibilità, più precisione, più energia
    - Una combinazione di collisionatori leptonici ( $e^+e^-$ ) e adronici ( $pp, p\bar{p}, H\bar{H}$ ) consente di ottenere tutto ciò
    - Nuovo tunnel di circa  $\sim 91\text{Km}$ 
      - Un unico tunnel per la fase leptonica ed adronica (come successo per LEP e LHC)
    - Target finale: Collisioni  $pp$  a  $100\text{TeV}$ 
      - Tecnologia attualmente non disponibile
    - Primo passo: collisionatore  $e^+e^-$ 
      - Energia variabile tra  $90$  e  $360\text{GeV}$
      - Consente misure ad altissima precisione



- La comunità di fisica delle alte energie sta già lavorando per progettare e definire quello che verrà dopo HL-LHC
  - Cosa serve: più sensibilità, più precisione, più energia
    - Una combinazione di collisionatori leptonici ( $e+e^-$ ) e adronici ( $pp, p\bar{p}, H\bar{H}$ ) consente di ottenere tutto ciò

Recente seminario di Patrizia Azzi presso il nostro dipartimento: [Registrazione Seminario](#)

- Un unico tunnel per la fase leptonica ed adronica (come successo per LEP e LHC)
- Target finale: Collisioni  $pp$  a 100TeV
- Tecnologia attualmente non disponibile
- Primo passo: collisionatore  $e+e^-$ 
  - Energia variabile tra 90 e 360GeV
  - Consente misure ad altissima precisione





# Proposte FCC



- Fenomenologica – Contatti: Matteo Presilla
  - in collaborazione con Patrizia Azzi, INFN Padova
  - Angular analysis for FCC-ee future collider with  $e+e \rightarrow WW$ . Search for Effective Field Theory in angular distributions.
    - State of the art:  
<https://indico.cern.ch/event/1076058/contributions/4525652/attachments/2312556/3935839/Angular%20analysis%20ee%20-%20WW%20final%20states.pdf> (the group has left the work, code and everything to start from here available)
- Studi su ottimizzazione tracciamento a FCC
  - Contatti: Valentina Mariani