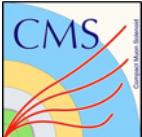


L'esperimento CMS a LHC e HL- LHC

ALESSANDRO ROSSI

ALESSANDRO.ROSSI2@UNIPG.IT



LHC @ CERN



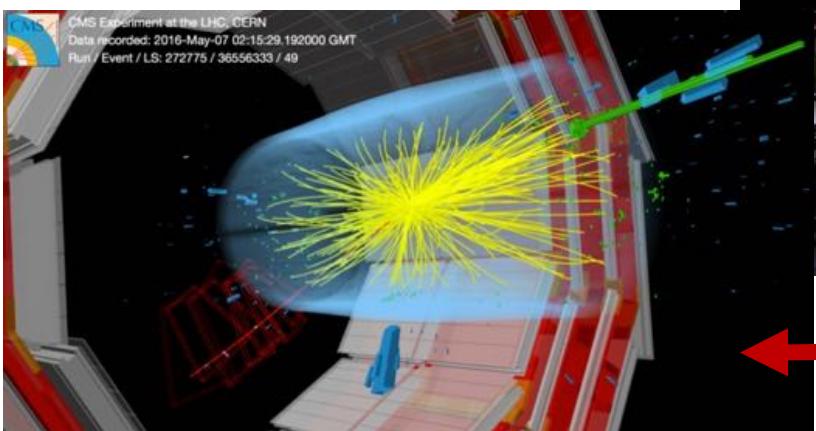
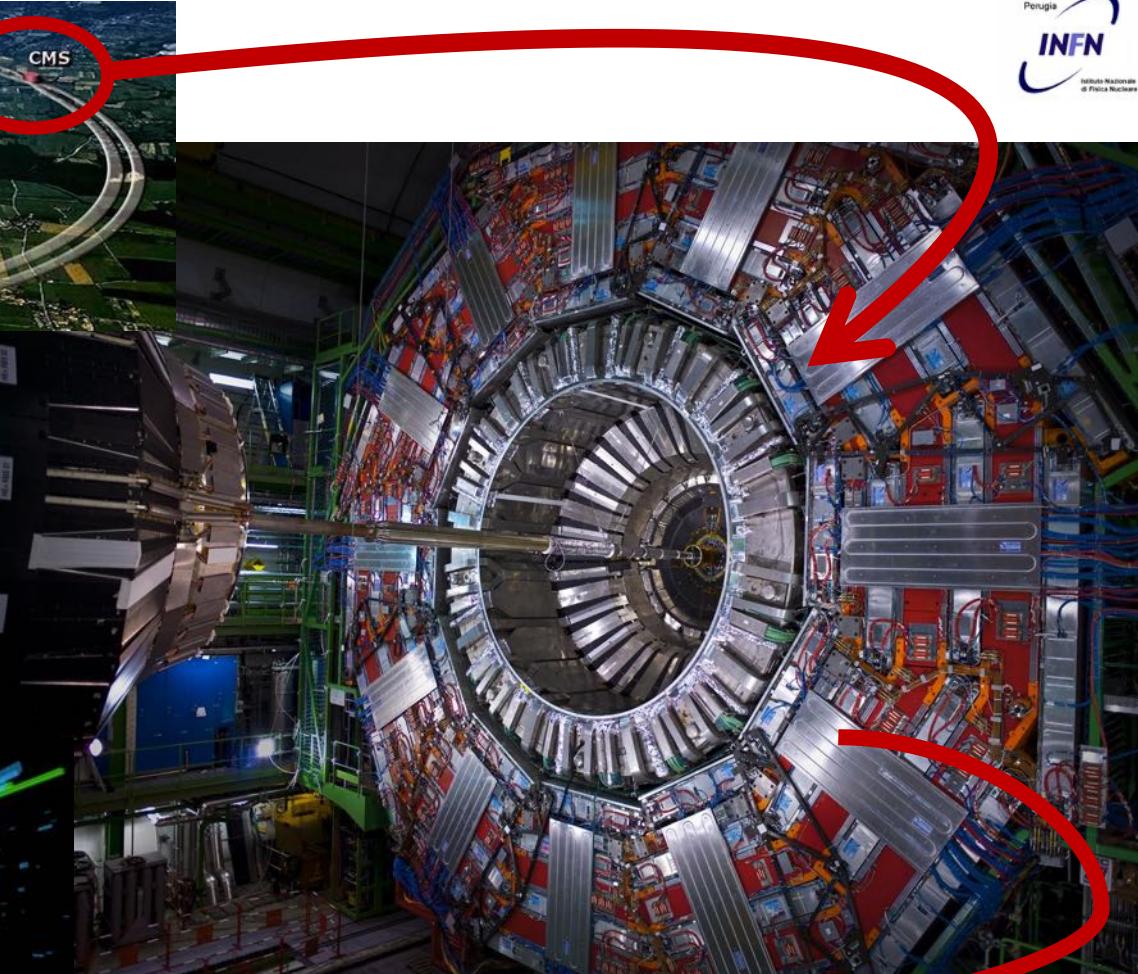
- Collider protoni-protoni @ 13TeV

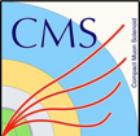


Compact Muon Solenoid (CMS)



- 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
 - Ciangottini, Turrioni, Ajmal, Ascioti, Carrivale, Tedeschi, Della Penna
 - Ricercatori CNR
 - Moscatelli

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

CONTATTI:

livio.fano@unipg.it

alessandro.rossi2@unipg.it

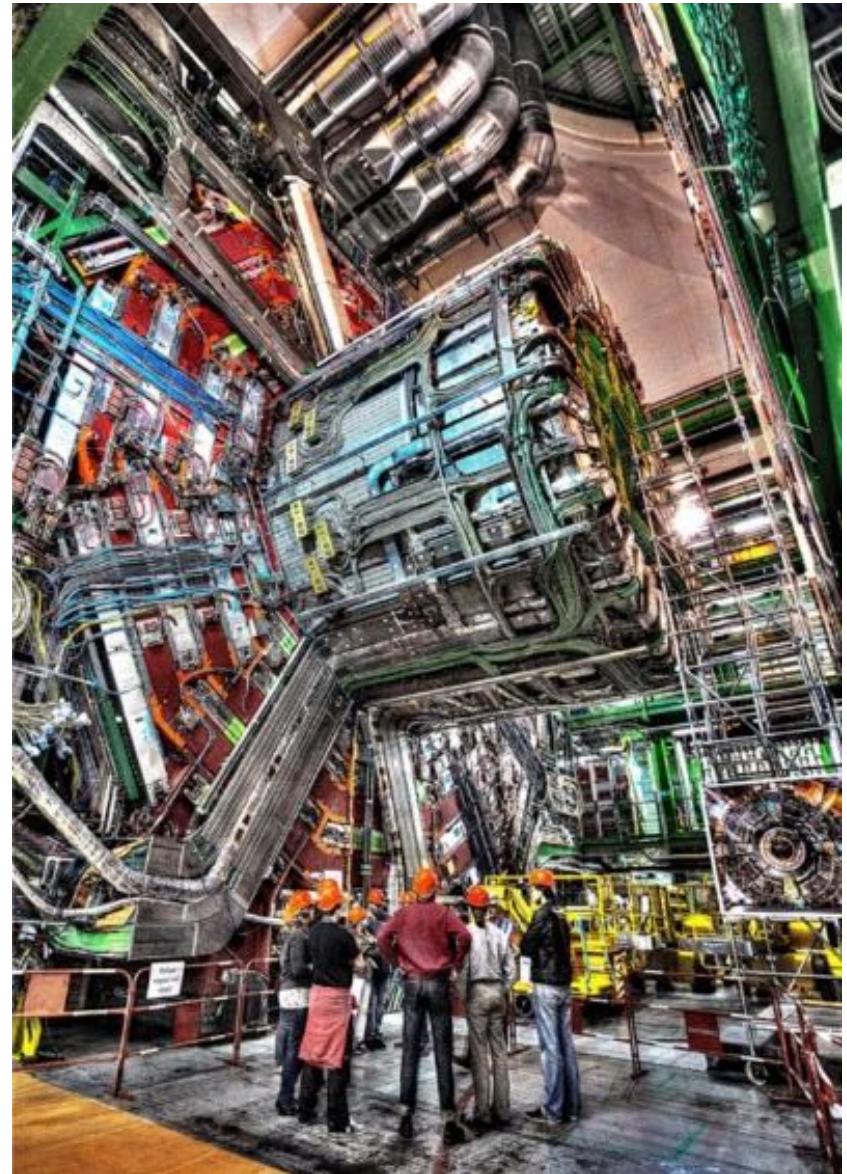
attilio.santocchia@unipg.it

valentina.mariani@unipg.it

moscatelli@iom.cnr.it

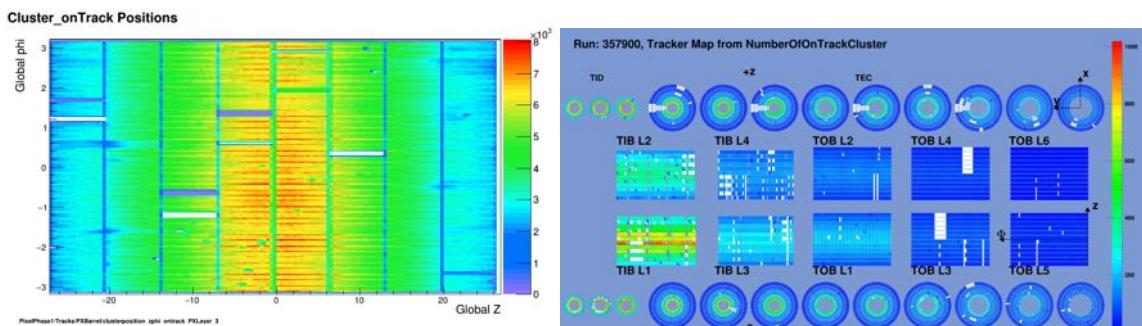
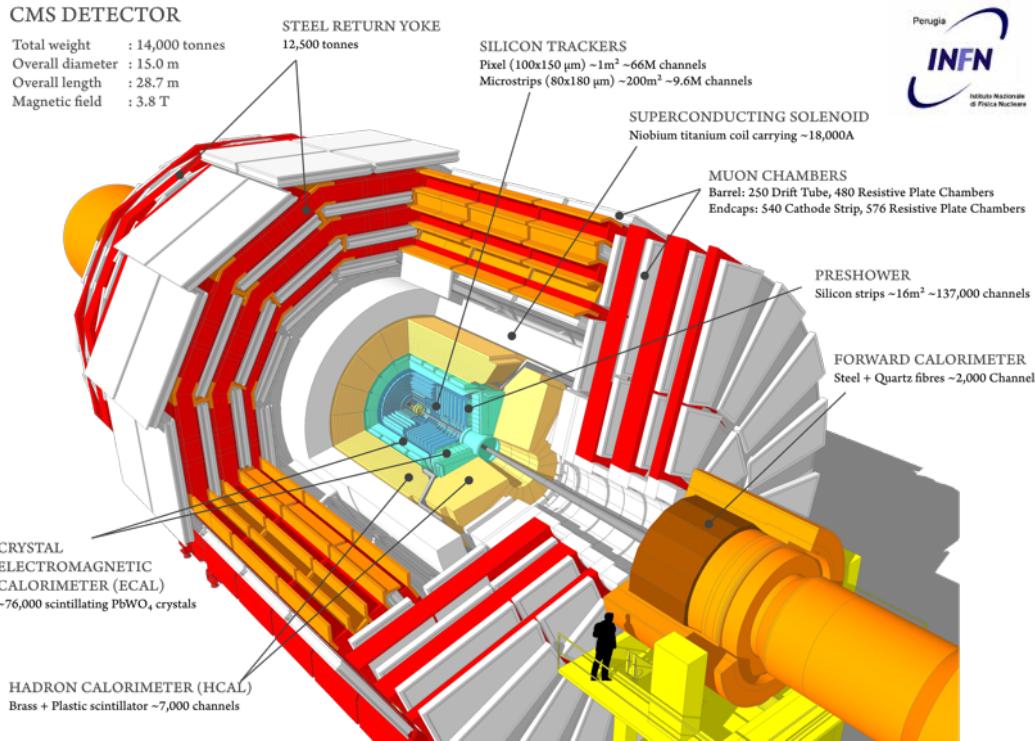
Cosa facciamo?

- 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



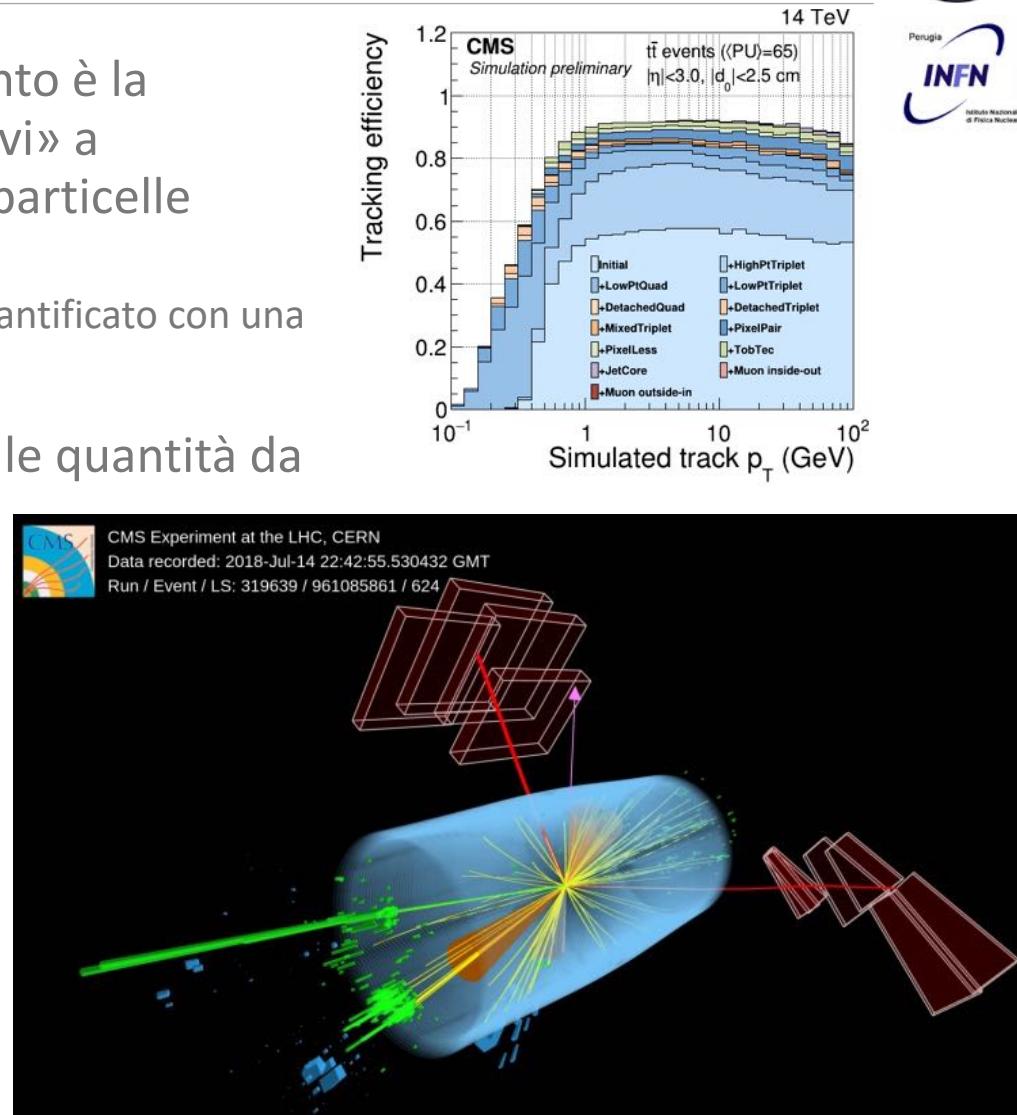
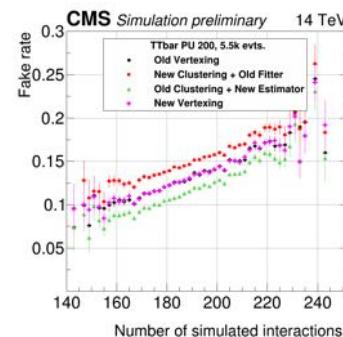
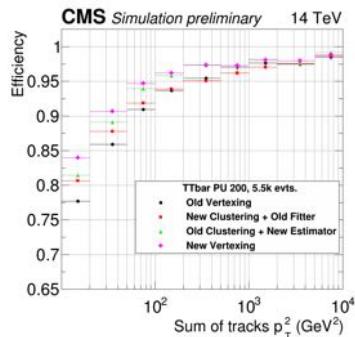
Operations and Reconstruction

- 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



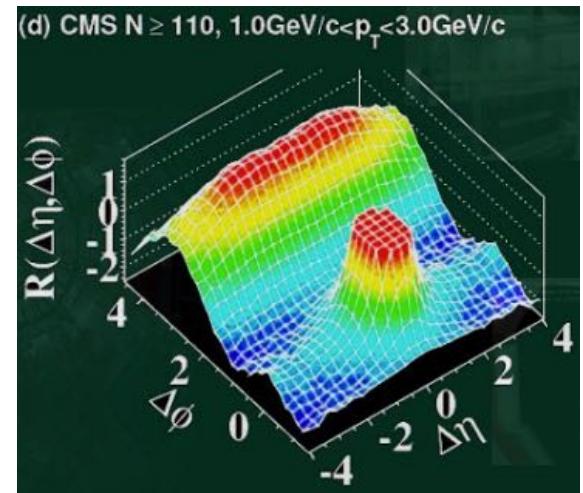
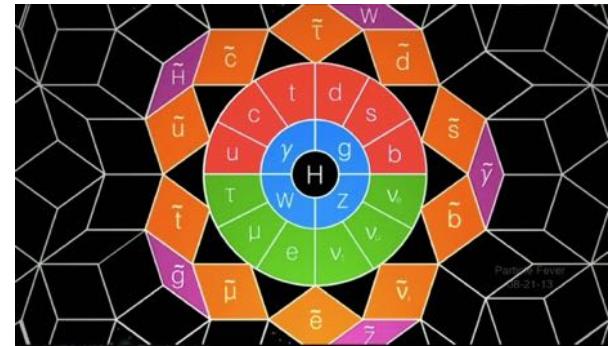
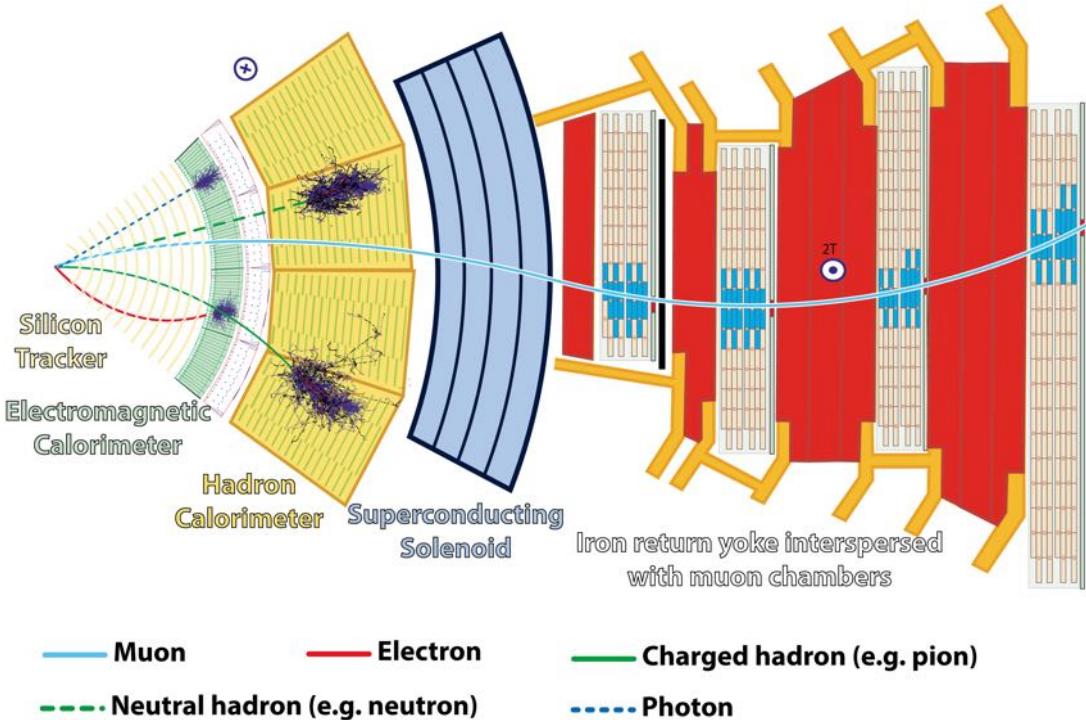
Operations and Reconstruction

- Molto importante per l'esperimento è la conoscenza di «quanto siamo bravi» a ricostruire quello che le 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



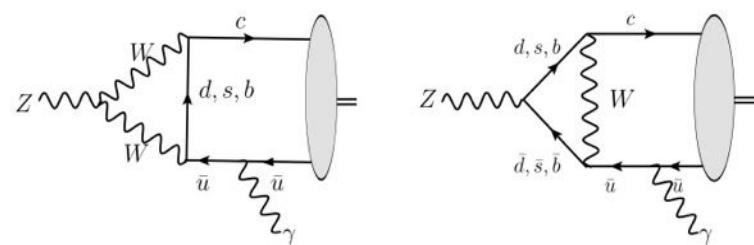
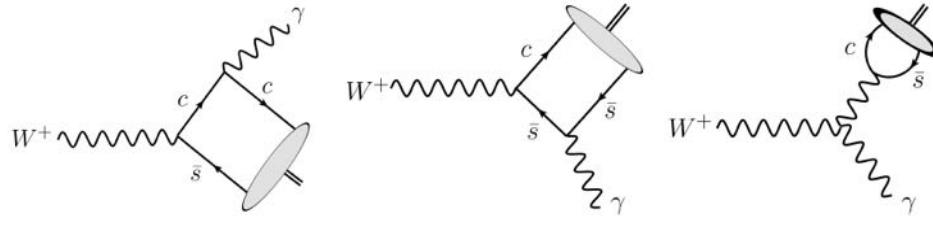
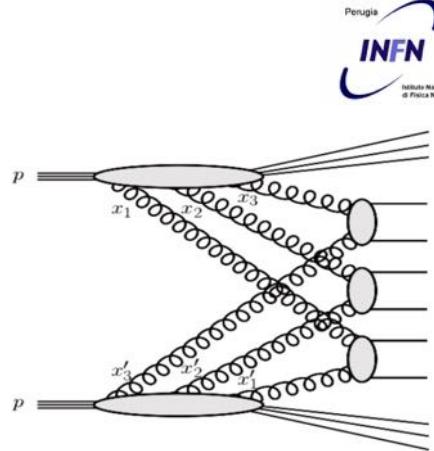
Analisi Dati

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



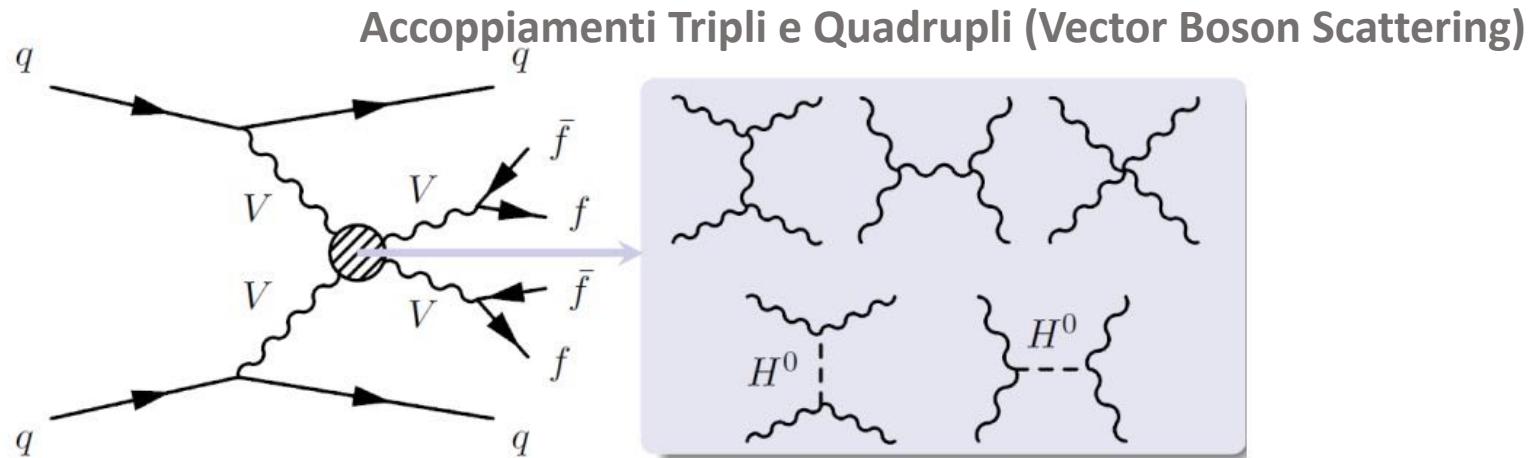
Analisi Dati

- LHC è il laboratorio perfetto per lo studio della QCD
 - 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 segnali e fondo
- Misure di Precisione del Modello Standard
 - Caratterizzazione $W^\pm \rightarrow D_s^\pm \gamma$ e/o $Z \rightarrow D_0 \gamma$
 - Grande produzione di Z e W in CMS
 - Possono essere studiati i decadimenti molto rari
 - Si usano i decadimenti rari per testare il Modello Standard e valutare possibili sue estensioni



Analisi Dati

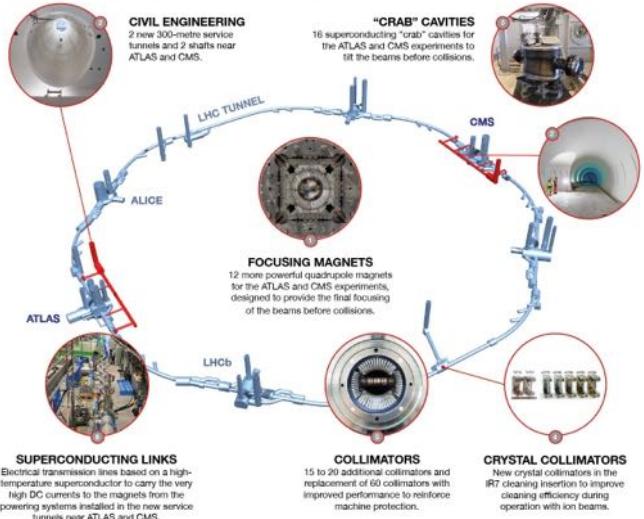
- Ricerca di Nuova Fisica
 - Studio dei processi di Vector Boson Scattering
 - Sonda per i processi elettrodebolli alla scala del TeV
 - Processo direttamente collegato al meccanismo di rottura spontanea di simmetria e quindi al campo di Higgs
 - Sensibile a contributi di Nuova Fisica
 - Approccio Model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



- 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'accelleratore
 - ...ma anche nei rivelatori degli esperimenti

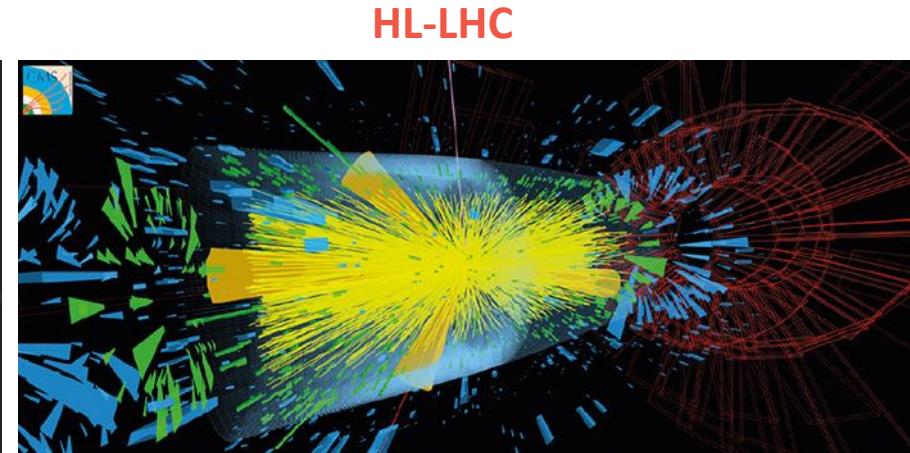
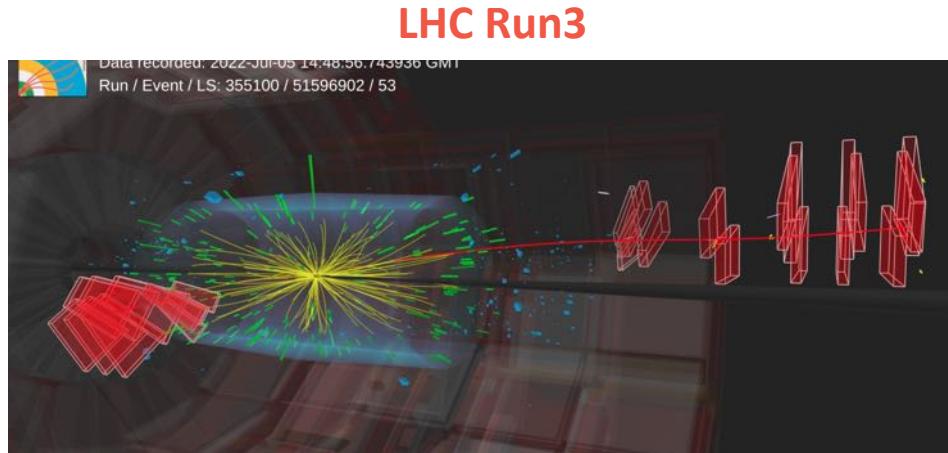


NEW TECHNOLOGIES FOR THE HIGH-LUMINOSITY LHC



HL-LHC @ CERN

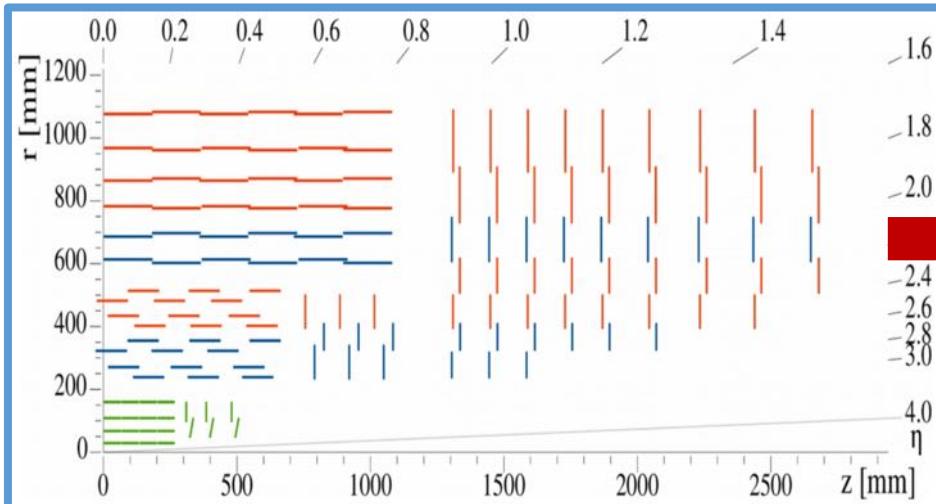
- Aumentare la luminosità significa aumentare il numero di protoni che interagiscono ogni volta che i fasci vengono fatti collidere
 - Oggi: ~44 interazioni ogni 25ns
 - HL-LHC: ~200 interazioni ogni 25ns



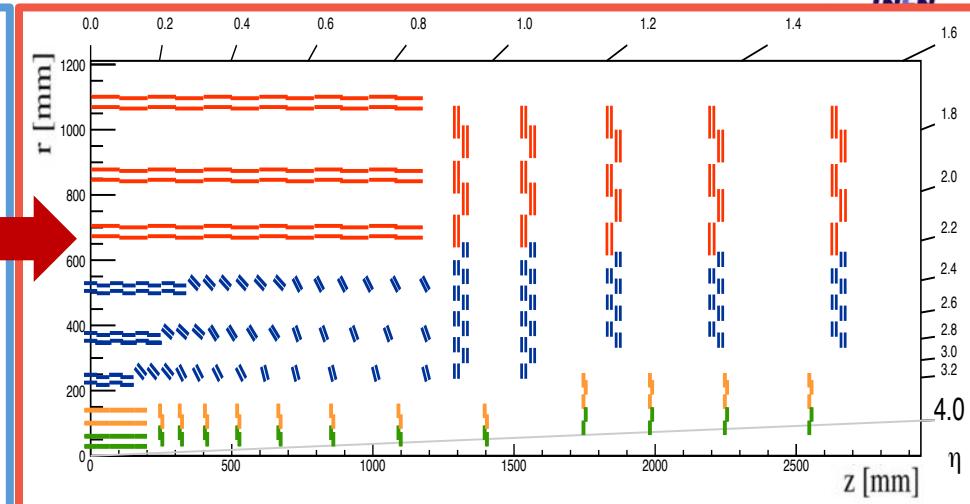
- I rivelatori che compongono CMS vanno aggiornati e in alcuni casi totalmente sostituiti
 - Il tracciatore va completamente rifatto!

Costruzione

CMS Phase-1 Tracker



CMS Phase-2 Tracker



- Rivelatori a stato solido
 - Microstrip (rosso)
 - Microstrip+MacroPixel (blu)
 - Pixel (verde/giallo)
- Perugia è uno dei centri di assemblaggio dei singoli moduli dell'Outer Tracker

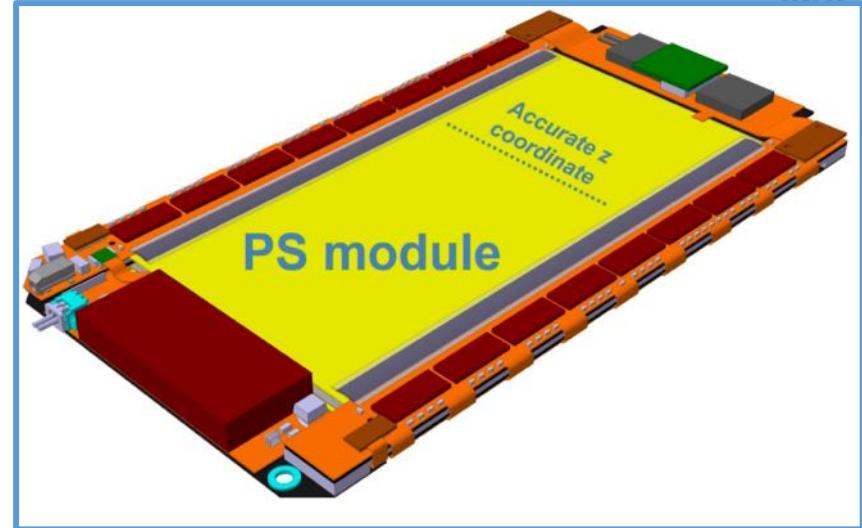
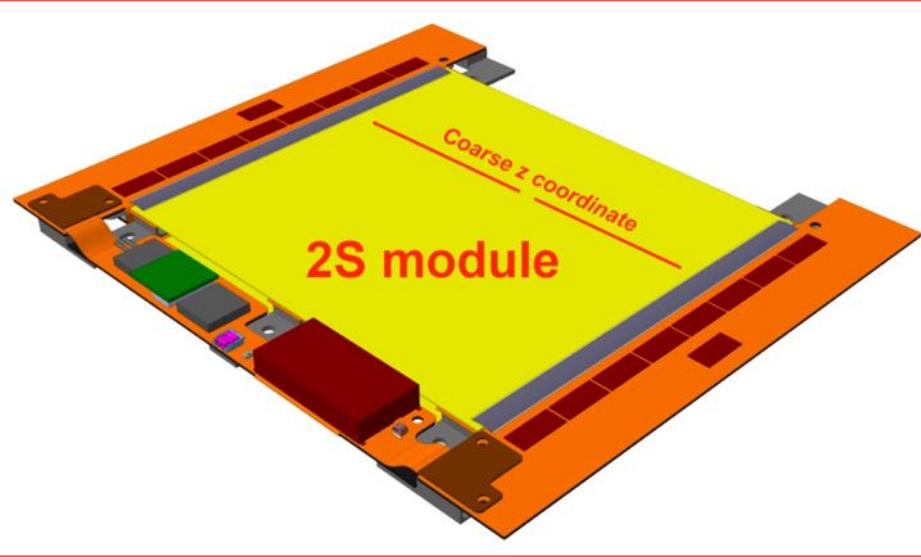


Outer Tracker



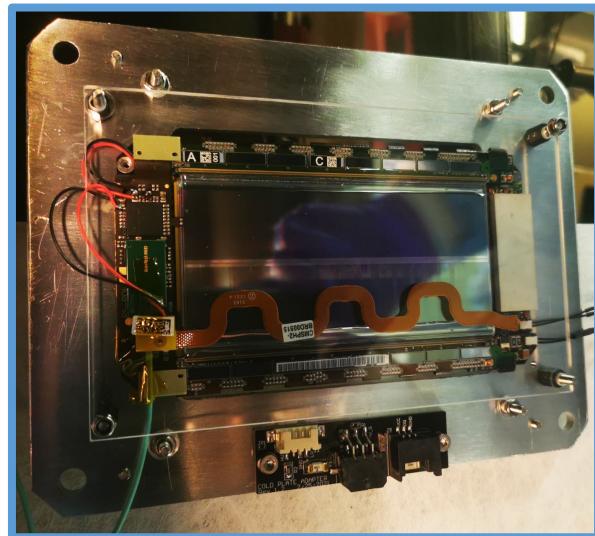
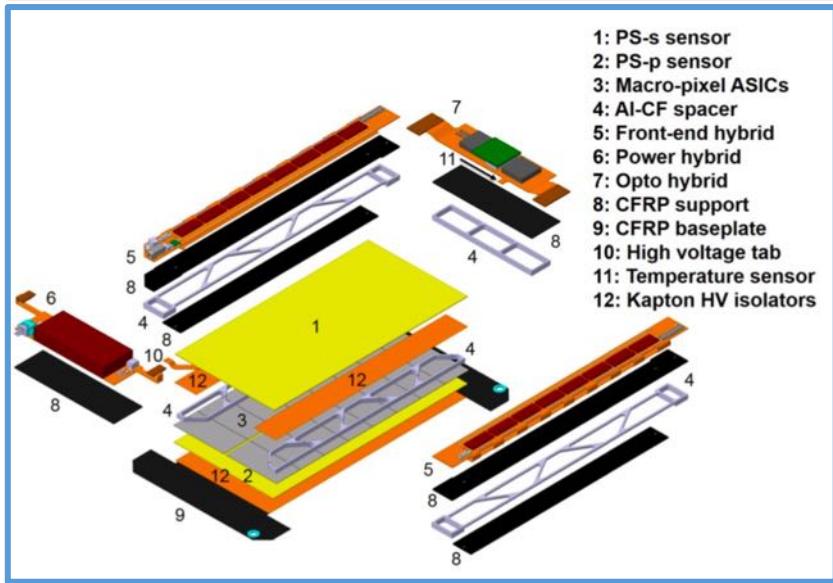
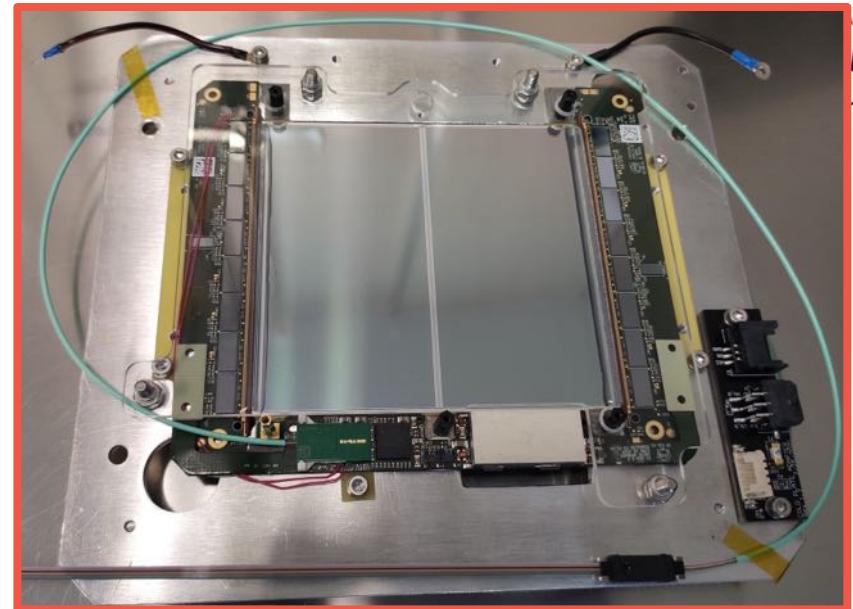
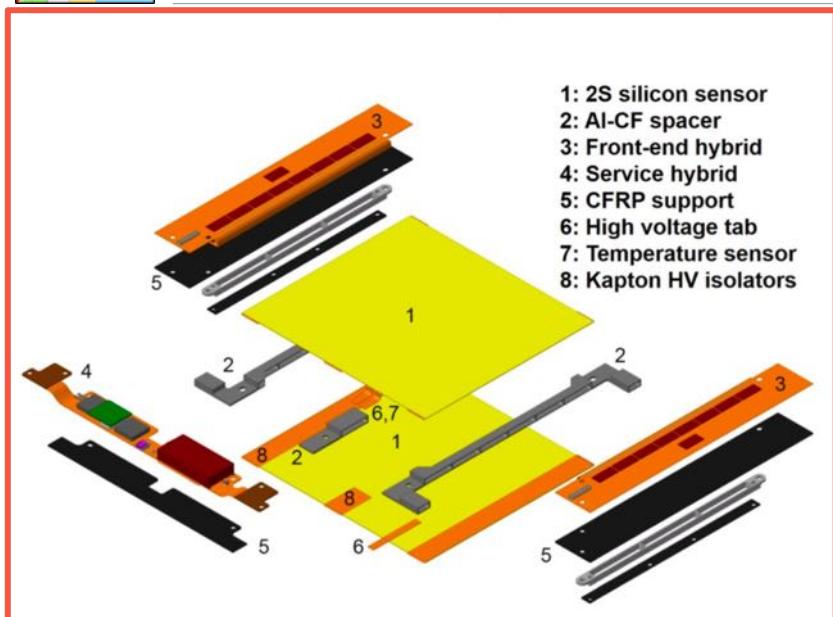
Inner Tracker

Costruzione



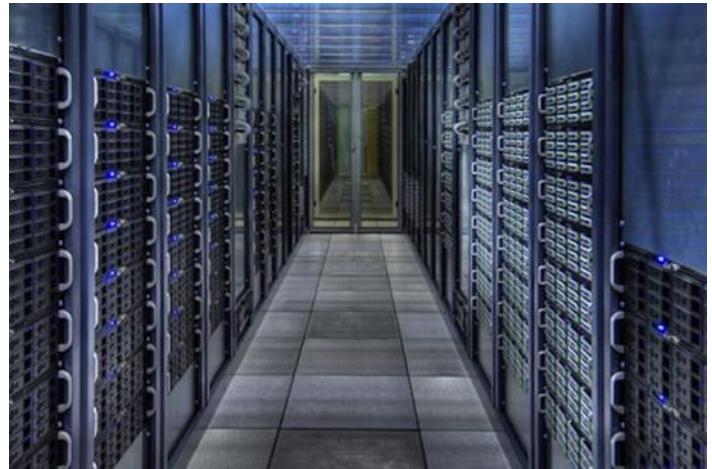
- Two types of modules:
 - 2S Modules (Strip-Strip)
 - 2 different spacings : 1.8mm & 4mm
 - 2 micro strip sensors with $5\text{cm} \times 90\mu\text{m}$ strips
 - Sensor dimensions are $10\text{cm} \times 10\text{cm}$
 - two columns of 1016 strips
 - PS Modules (Pixel-Strip)
 - 3 different spacings : 1.6mm & 2.6mm & 4mm
 - One strip sensor: $2.5\text{cm} \times 100\mu\text{m}$ strips
 - One macro Pixel sensor : $1.5\text{mm} \times 100\mu\text{m}$ pixels
 - Sensor dimensions $5\text{cm} \times 10\text{ cm}$
 - two columns of 960 strips
 - 32x960 pixels

Costruzione



Computing

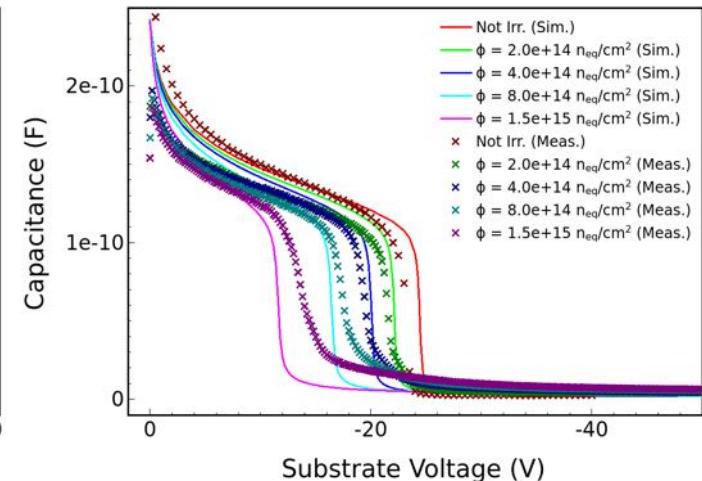
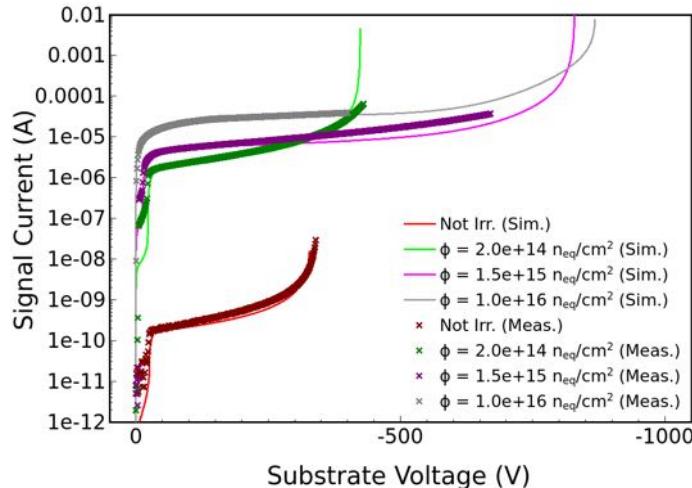
- Attività di ricerca e sviluppo nel settore Data e Computing Science
 - Big Data
 - Cloud
 - Machine Learning and AI per l'analisi dei dati



R&D Rivelatori

- 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

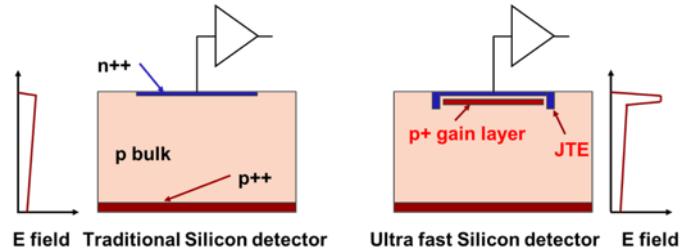


Massey model. Temperature **300 K**. Electrical contact area **1mm²**

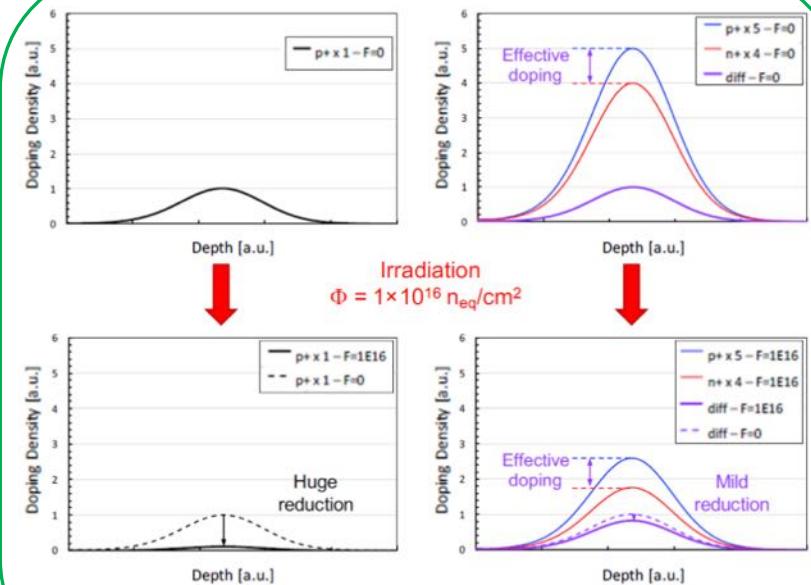
R&D Rivelatori

- Simulazione del danno da radiazione: LGAD innovativi

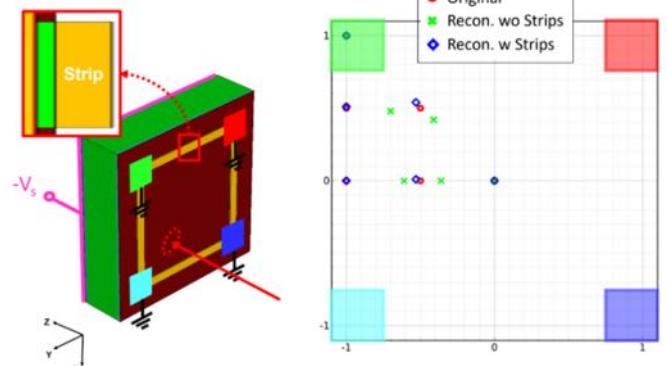
Standard vs Low Gain Avalanche Diodes



Compensati



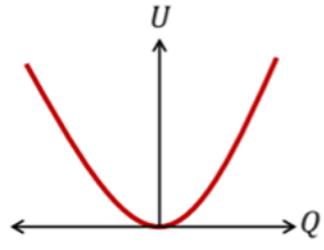
DC-RSD



R&D New Technologies

○ Negative Capacitance

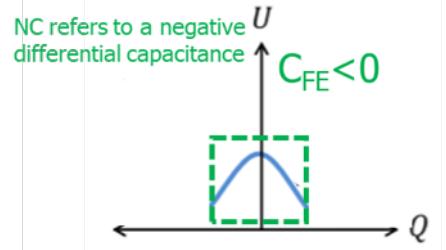
Typical capacitor



$$U = \frac{Q_c^2}{2C}$$

$$C = \frac{dQ}{dV}$$

Negative capacitor



Landau theory of ferroelectrics [2,3]

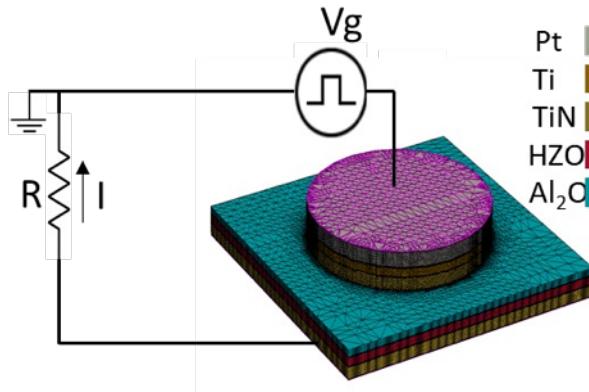
Free energy of a ferroelectric

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{FE} = \alpha Q^2 + \beta Q^4 + \gamma Q^6 - QV_F \\ \rho \frac{dP}{dt} + \frac{dU}{dP} = 0 \end{array} \right.$$

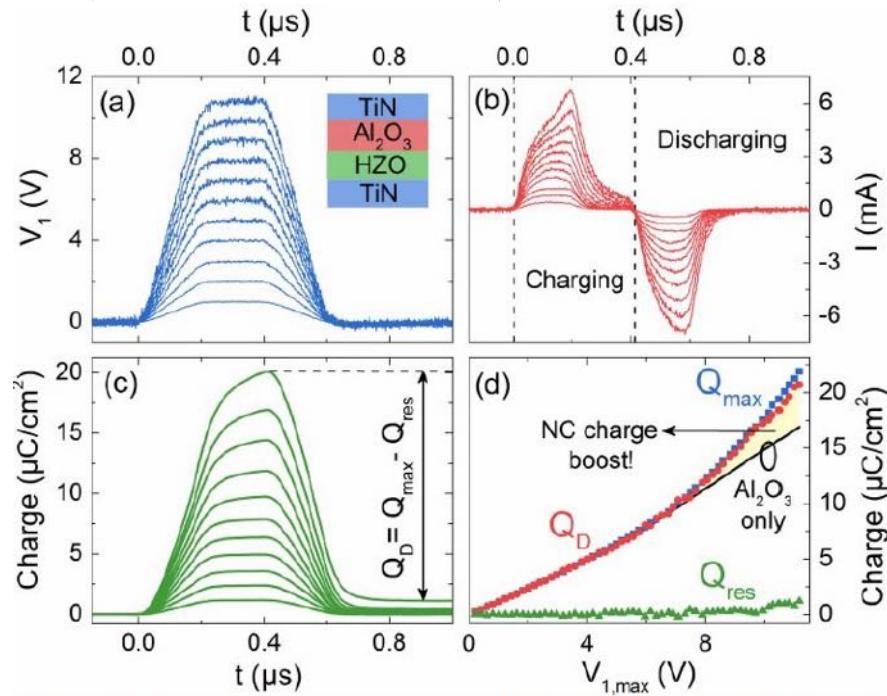
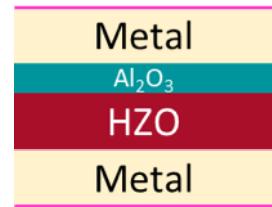


Progetto PRIN PNRR

Metal-Ferroelectric-Insulator-Metal (**MFIM**) structures.



2D section





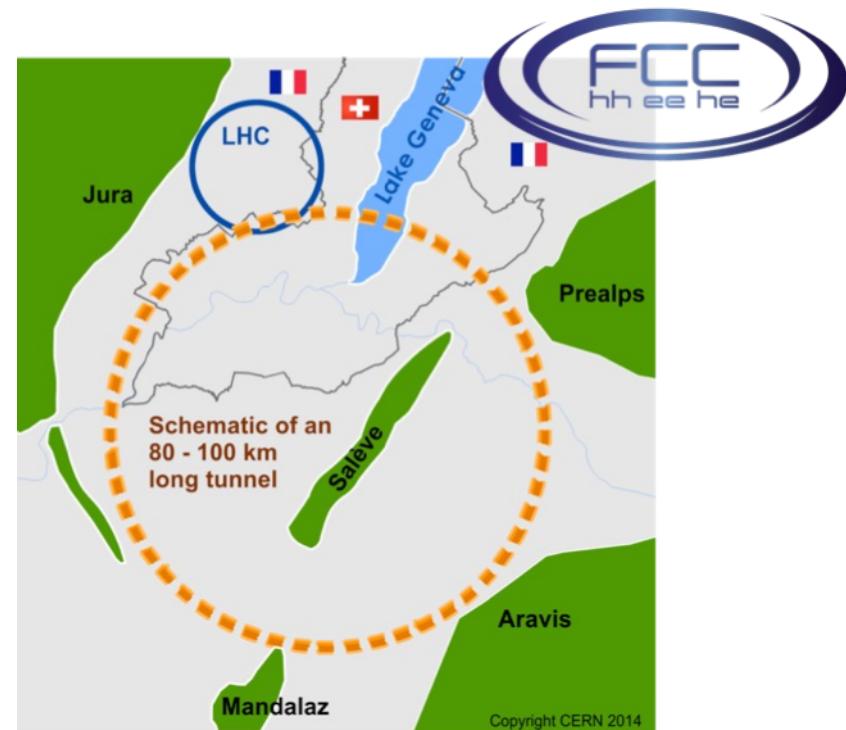
Cosa proponiamo?

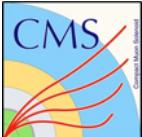


- Tante attività diversificate in questi quattro filoni di diverso livello: tesi triennali, magistrali e di dottorato
- Qualche esempio:
 - Analisi Dati – Contatti: Valentina Mariani
 - Tracking efficiency for slow pion with the D* method (collaboration with Desy group) using Run3 data
 - Triple Parton Scattering: machine learning application for the signal vs background separation
 - VBS in WZ with Z->tau tau
 - Ricerca decadimento $W^\pm \rightarrow D_s^\pm \gamma$
 - Ricerca decadimento $Z \rightarrow D_0 \gamma$
 - 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 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)
 - Negative-capacitance devices

Oltre LHC: Future Circular Collider

- 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 ($pp, p\bar{p}, HH, HH$) consente di ottenere tutto ciò
 - Nuovo tunnel di circa ~91Km
 - 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: Livio Fanò
 - 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
- Attività FCC in collaborazione con Patrizia Azzi, INFN Padova