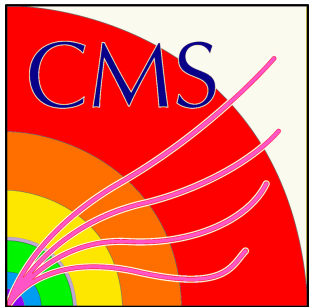
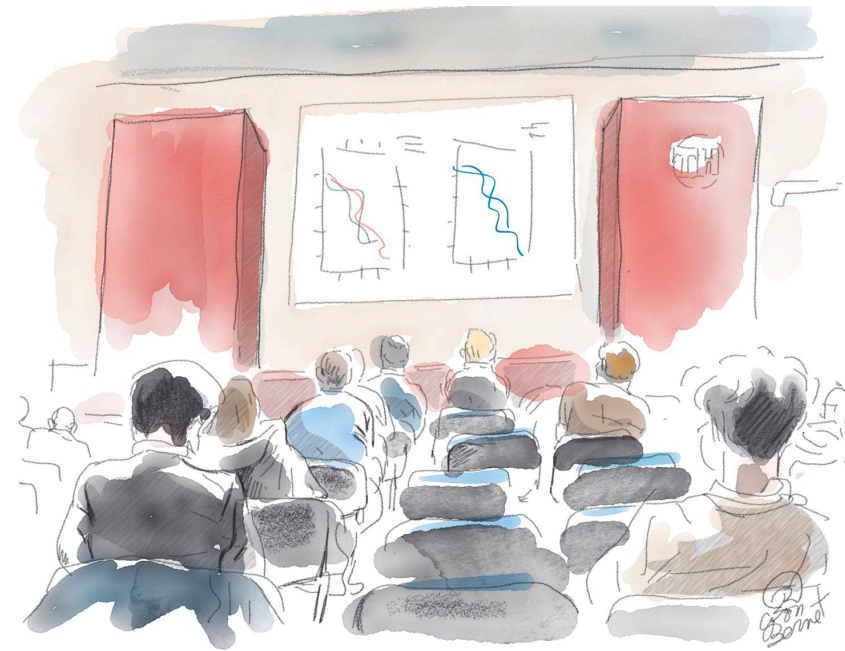


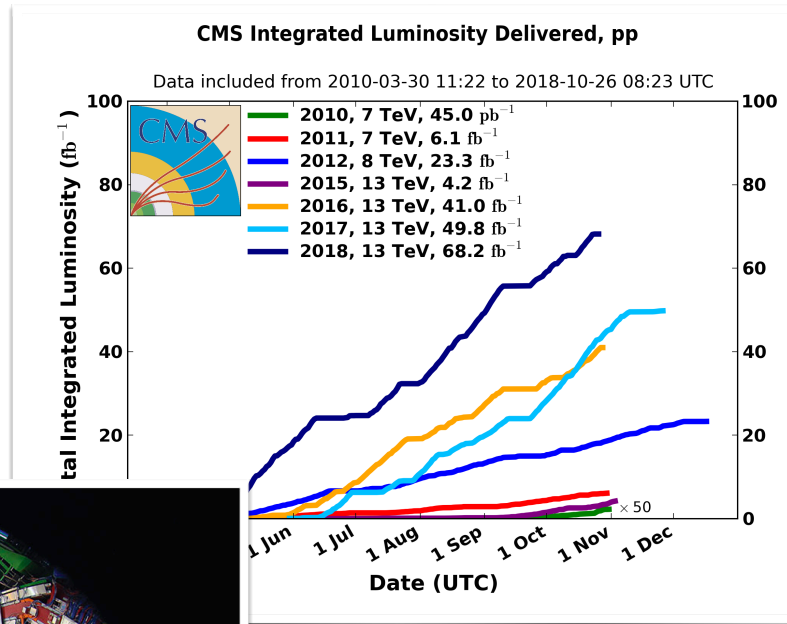
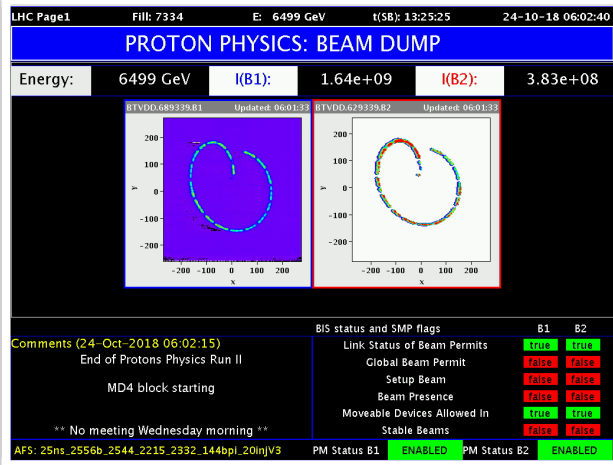
LHC → HL-LHC

La fase di alta luminosità di LHC



Livio Fanò per CMS Perugia

LHC e CMS - Stato dell'arte



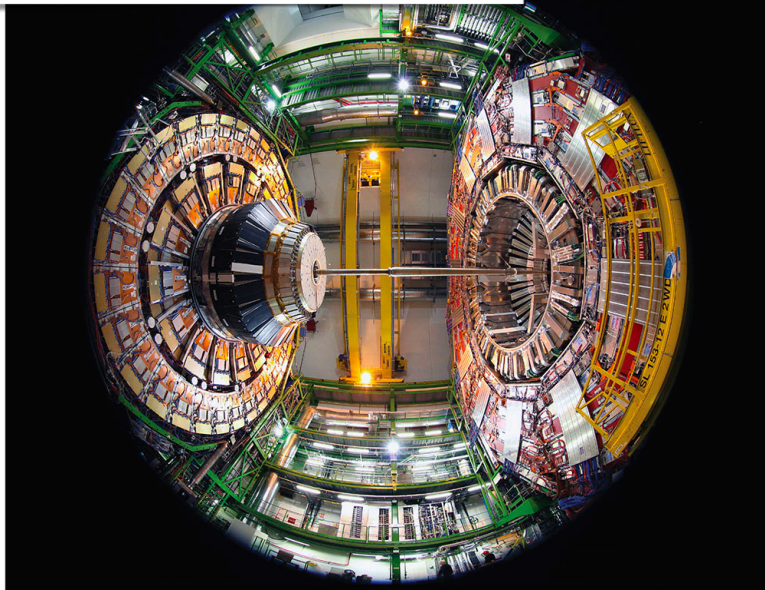
Il Run 2 di LHC conclude un periodo estremamente proficuo di presa dati sperimentale

Più di 150 fb⁻¹ di collisioni pp a 13TeV

LHC ha dimostrato di essere un progetto di successo, pienamente operativo con prestazioni oltre le aspettative

E' ragionevole pensare di poter spingere la macchina oltre le prestazioni di disegno, evitando un upgrade sostanziale ma estendendone sensibilmente il potenziale di scoperta.

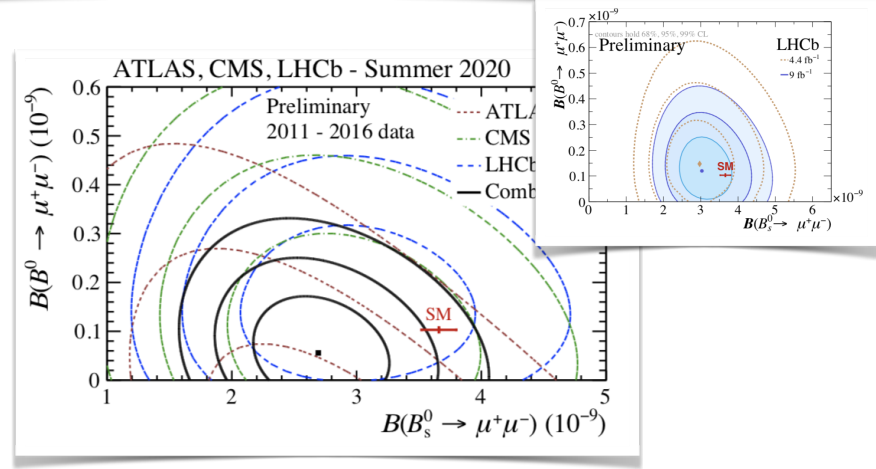
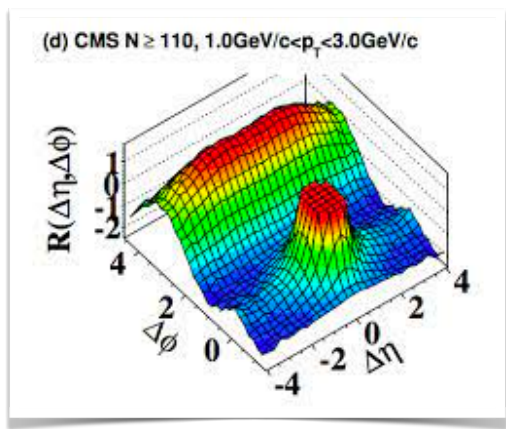
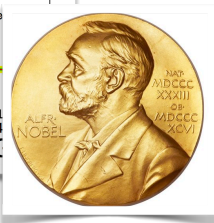
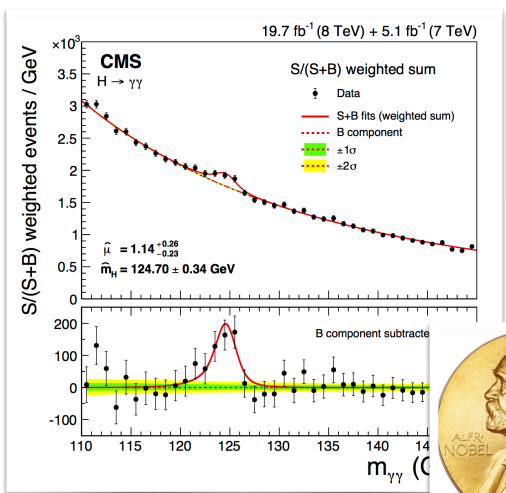
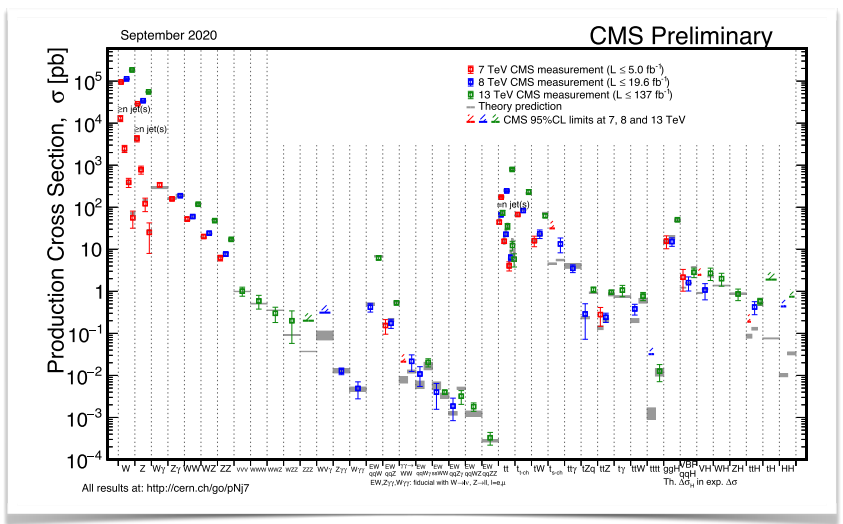
Discuterò qui la fase di alta luminosità di LHC (HL-LHC)



LHC e CMS - Stato dell'arte

Risultati da Run1 and Run-2 (fino al 2018)

- 1 premio Nobel (scoperta dell'Higgs)
- Nuove risonanze e stati legati
- Osservazione di accoppiamenti rari
- QGP in small system
- ...tensioni e sospetti...(LFUV)
- More than 1000 publication from 2008!



High Luminosity - Motivazioni

Il Modello Standard sembra funzionare impeccabilmente:
nessuna evidenza diretta di nuova fisica

Alcune domande rimangono aperte:

Asimmetria materia/antimateria

Cose “oscure” (materia e energia)

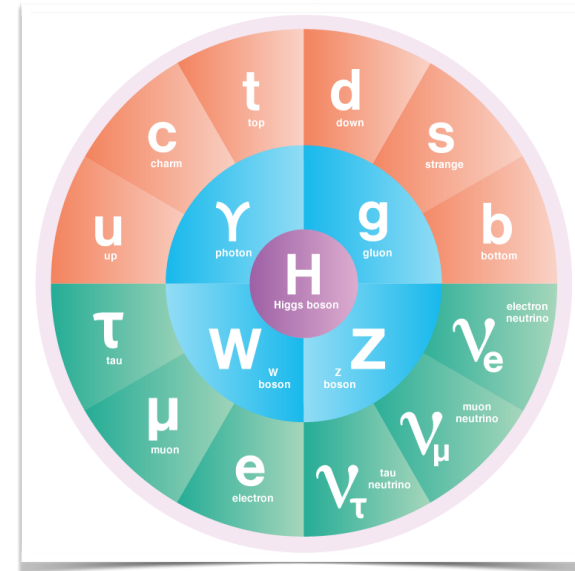
Gerarchia (consistenza dello SM alla scala di Planck)

...

Inoltre, diverse considerazioni portano a ritenere la scala del TeV come frontiera per l'osservazione di nuovi fenomeni

L'esplorazione del settore EW è quindi decisamente avanzata ed LHC è la macchina più potente a disposizione oggi.

Il Run-3 e il futuro aggiornamento di “alta luminosità” sarà possibile approfondire l'esplorazione ed estendere lo spazio delle fasi soprattutto attraverso le reazioni maggiormente sensibili a contributi di nuova fisica, necessariamente rare



High Luminosity - Motivazioni

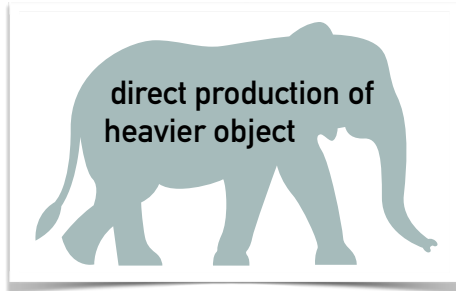
Pensare di arrivare ad una luminosità integrata di **3 ab⁻¹@14 TeV** permetterebbe quindi di approfondire la struttura delle interazioni fondamentali attraverso:

Lo studio dettagliato del bosone di Higgs e la caratterizzazione del suo potenziale (sensibile a NP)

La misura di processi (EW) rari (sensibile a NP)

La ricerca diretta di nuovi fenomeni alla scala del TeV

NP = new physics



couplings

Figure 1. The total expected $\pm 1\sigma$ uncertainty in S1 (with Run 2 systematic uncertainties) and S2 (with YR18 systematic uncertainties) in the per-decay-mode signal strength parameters for 300 fb⁻¹ (left) and 3000 fb⁻¹ (right). The statistical-only component of the uncertainty is also shown. Reproduced with permission from [18].

differential x-sec

3rd generation coupling

Higgs self_i coupling

$V(\Phi) = m^2 \Phi^\dagger \Phi + \lambda (\Phi^\dagger \Phi)^2$

+ ...

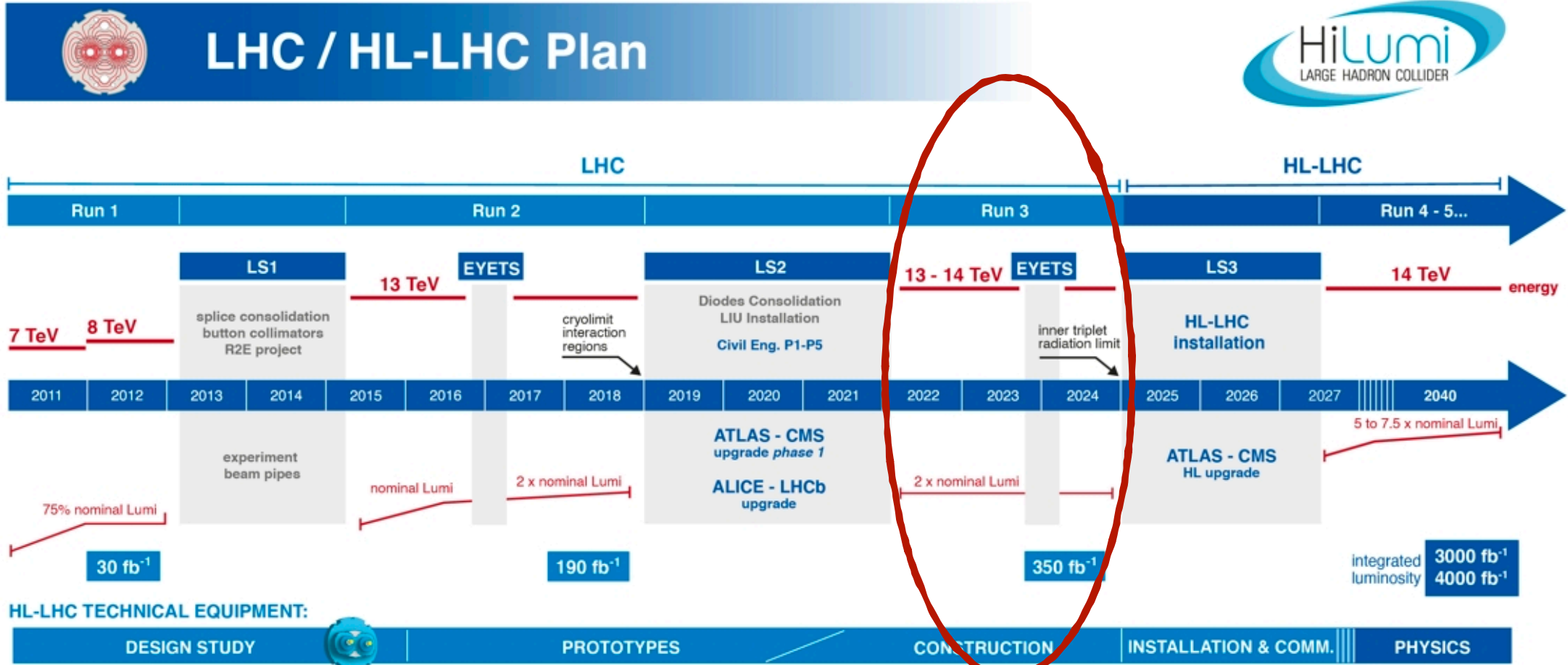
W mass

top mass

VBS

+ ...

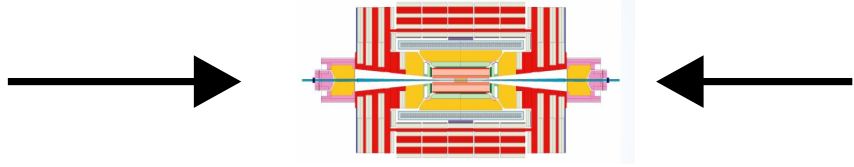
High Luminosity - Piani



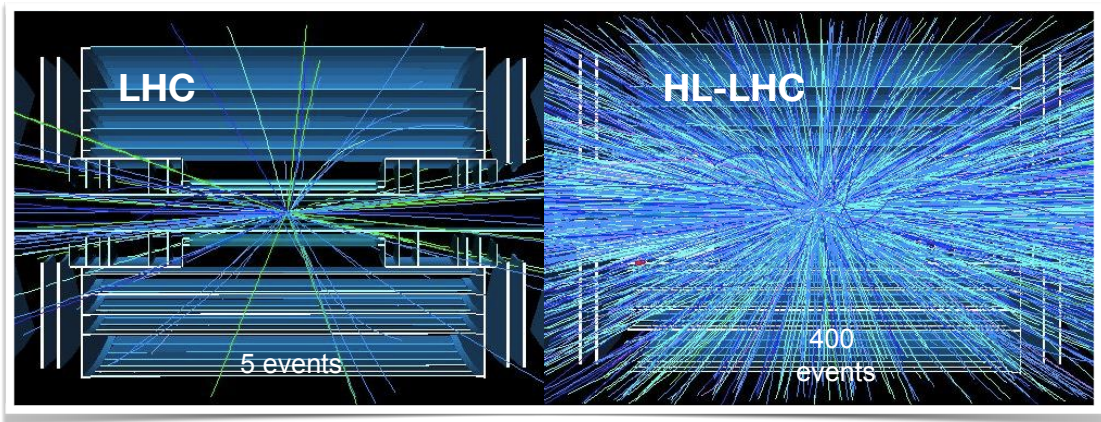
Oggi
(2022-2024)

Domani
(2027-2040)

High Luminosity - Un mondo ostile

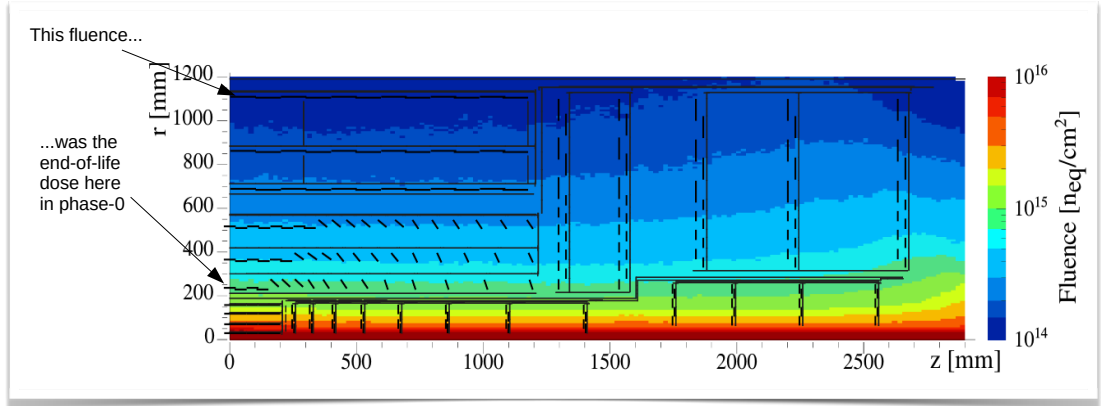


Con alta luminosità la frequenza di collisione pp aumenta, aumenta il Pile-Up (fino a 400 collisioni per x-bunch)



Gli strati più interni saranno esposti a fluenze molto elevate, fino a 10^{16} 1 MeV neutroni-equivalenti/s*cm²

Anche gli strati esterni in avanti saranno esposti fino a 10^{16} 1 MeV neutroni-equivalenti/s*cm²



Il sistema di ricostruzione delle traiettorie (il tracker) è più interno, sarà quindi maggiormente esposto

Le condizioni ambientali vincolano le prestazioni richieste al detector

High Luminosity - Un mondo ostile e quindi un nuovo CMS

200-400 collisioni: danno da radiazione e controllo del combinatorio:

Nuovo tracker, timing layer 3D->4D, calorimetro endcap, muoni in avanti, nuovo DAQ

Goal:

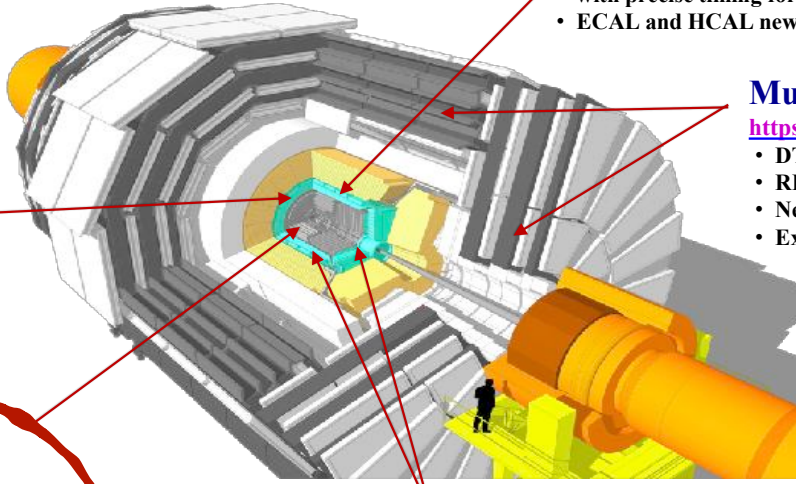
+alta precisione ed efficienza nella ricostruzione degli "oggetti fisici"

+controllo del pile-up, anche con alta precisione nella misura temporale dei segnali

+maggiore accettazione

+alta granularità

Technical proposal CERN-LHCC-2015-010 <https://cds.cern.ch/record/2020886>
Scope Document CERN-LHCC-2015-019 <https://cds.cern.ch/record/2055167/files/LHCC-G-165.pdf>



L1-Trigger/HLT/DAQ
<https://cds.cern.ch/record/2283192>
<https://cds.cern.ch/record/2283193>

- Tracks in L1-Trigger at 40 MHz
- PFlow-like selection 750 kHz output
- HLT output 7.5 kHz

Calorimeter Endcap
<https://cds.cern.ch/record/2293646>

- 3D showers and precise timing
- Si, Scint+SiPM in Pb/W-SS

Tracker
<https://cds.cern.ch/record/2272264>

- Si-Strip and Pixels increased granularity
- Design for tracking in L1-Trigger
- Extended coverage to $\eta \approx 3.8$

Barrel Calorimeters
<https://cds.cern.ch/record/2283187>

- ECAL crystal granularity readout at 40 MHz with precise timing for e/γ at 30 GeV
- ECAL and HCAL new Back-End boards

Muon systems
<https://cds.cern.ch/record/2283189>

- DT & CSC new FE/BE readout
- RPC back-end electronics
- New GEM/RPC $1.6 < \eta < 2.4$
- Extended coverage to $\eta \approx 3$

Beam Radiation Instr. and Luminosity, and Common Systems and Infrastructure
<https://cds.cern.ch/record/2020886>

MIP Timing Detector
<https://cds.cern.ch/record/2296612>

Precision timing with:

- Barrel layer: Crystals + SiPMs
- Endcap layer: Low Gain Avalanche Diodes

High Luminosity - Un nuovo modello di raccolta, distribuzione e analisi dati

I big data sostanzialmente nascono con LHC

Le struttura operativa di WLCG garantisce la raccolta, conservazione, distribuzione ed analisi tra 50-70 PB di dati per anno prodotti da LHC

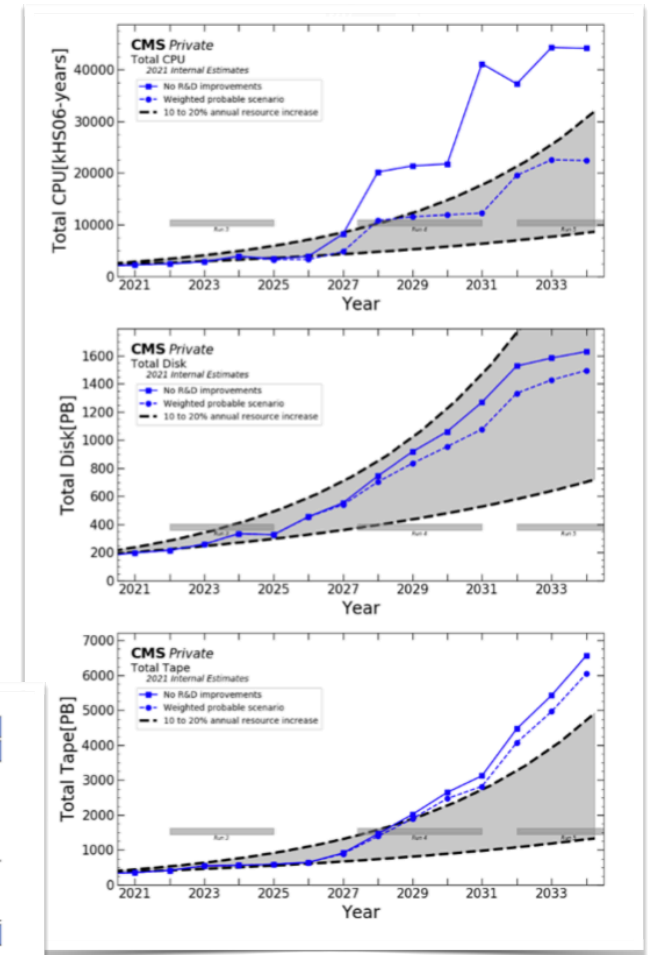
Il potenziale di misura durante HL-LHC sarà dunque limitato da quanto efficacemente le risorse di calcolo potranno essere sfruttate

R&D intenso lato computing e software:

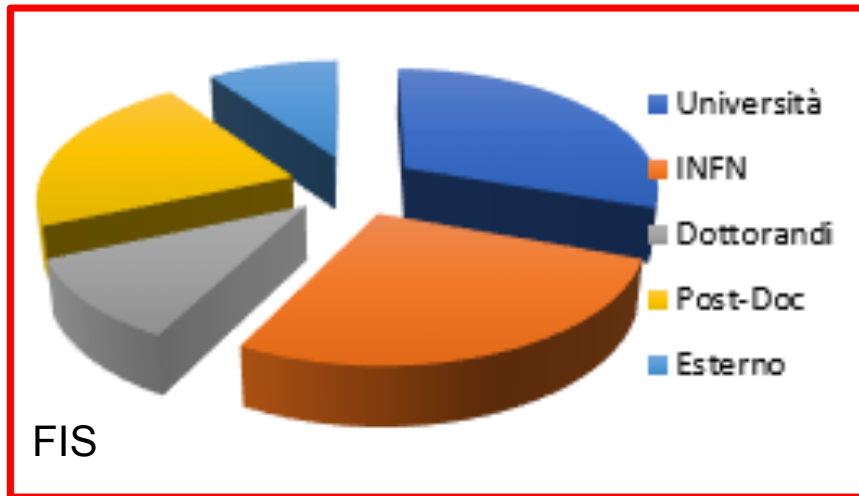
- +“brute force” non è più un approccio vincente
- +cambio di paradigma sostanziale, dal GRID al CLOUD
- +provisioning dinamico, architetture eterogenee e intelligenza nella gestione delle risorse
- +nuove strutture di linguaggio per l’analisi

(Vedi contributo di Daniele di ieri)

Parameter	Run 4 ('27-'30)	Run 5 ('32-'34)
<i>Common</i>		
LHC Energy [TeV]	14	
Average PU	140	200
Integrated luminosity / year [fb^{-1}]	270 (135 in '27)	350
Livetime pp / year [$\text{s}/10^6$]	6 (3 in '27)	8
Livetime HI / year [$\text{s}/10^6$]	1.2	-
Yearly capacity evolution under flat budget for disk, CPU, and tape (hardware replacement included)	$+15 \pm 5\%$	
<i>CMS-Specific</i>		
Prompt HLT Rate [kHz]	5	7.5
Collected events / year (10^9)	33	66
MC events / year (10^9)	79	100



High Luminosity - Il ruolo di Perugia



	FIS	ING
Università	2.6	3.2
INFN	2.45	0.3
Dottorandi	2.9	0.8
Post-Doc	3.5	0.85
Esterno	0.9	0.9
FTE	12.35	6.05

- +Attività analisi ~300 1/fb e HL-LHC
- +Computing model per HL-LHC
- +Attività costruzione Tracker di CMS Phase-2 per HL-LHC:
 - +Sensori e danno da radiazione
 - +Costruzione tracker: moduli PS e 2S e simulazioni termiche
 - +Attività di sviluppo del powering (cabling e QA)

Nota: nessun dettaglio tecnico sulle attività mostrate verrà discusso per essere veloce, veloce, velocissimo.

High Luminosity - Analisi

QCD

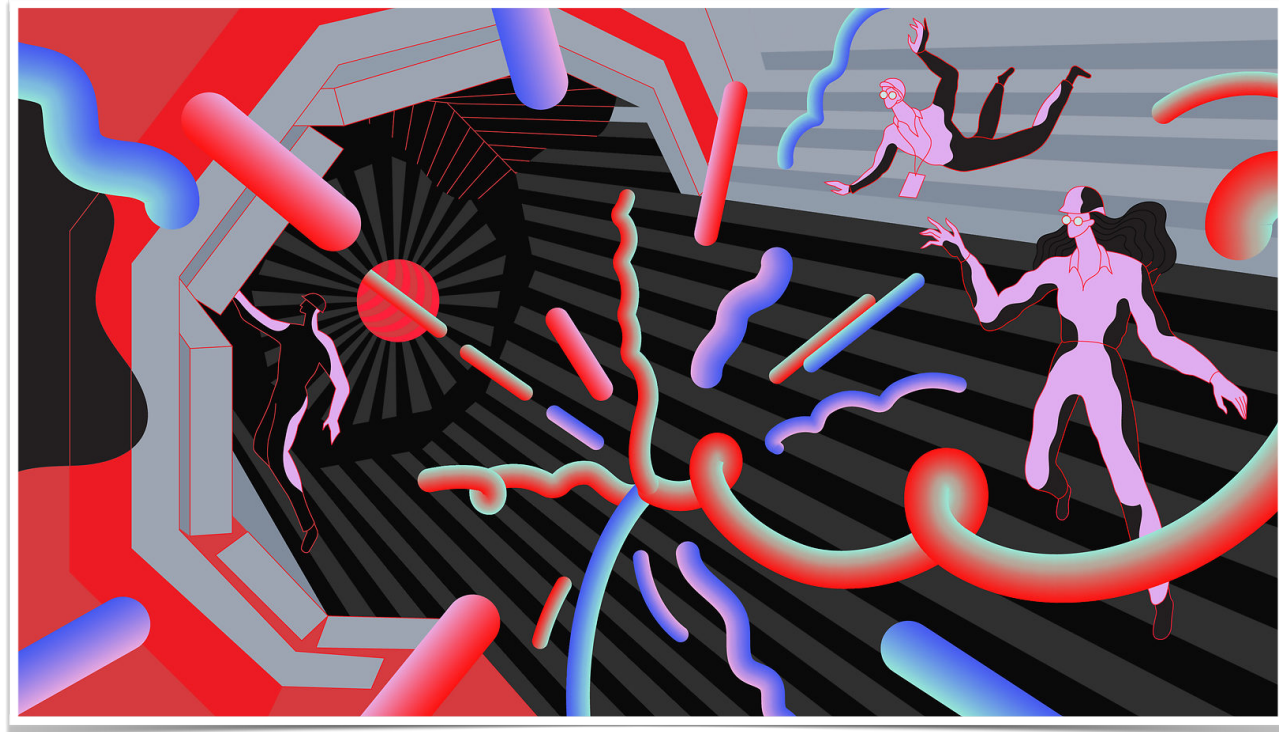
Studio dell'interazione protone-protone. Dall'underlying event alle multiparton interactions (anche in dinamica dura)

NP Search

EW Vector Boson Scattering

Effective Field Theory and Unitarity in Vector Boson Scattering

Heavy neutrinos



Ricostruzione del segnale:

Realizzazione del workflow di misura di efficienza di ricostruzione delle tracce

Sviluppo di algoritmi innovativi per il tracking Phase-2 di CMS

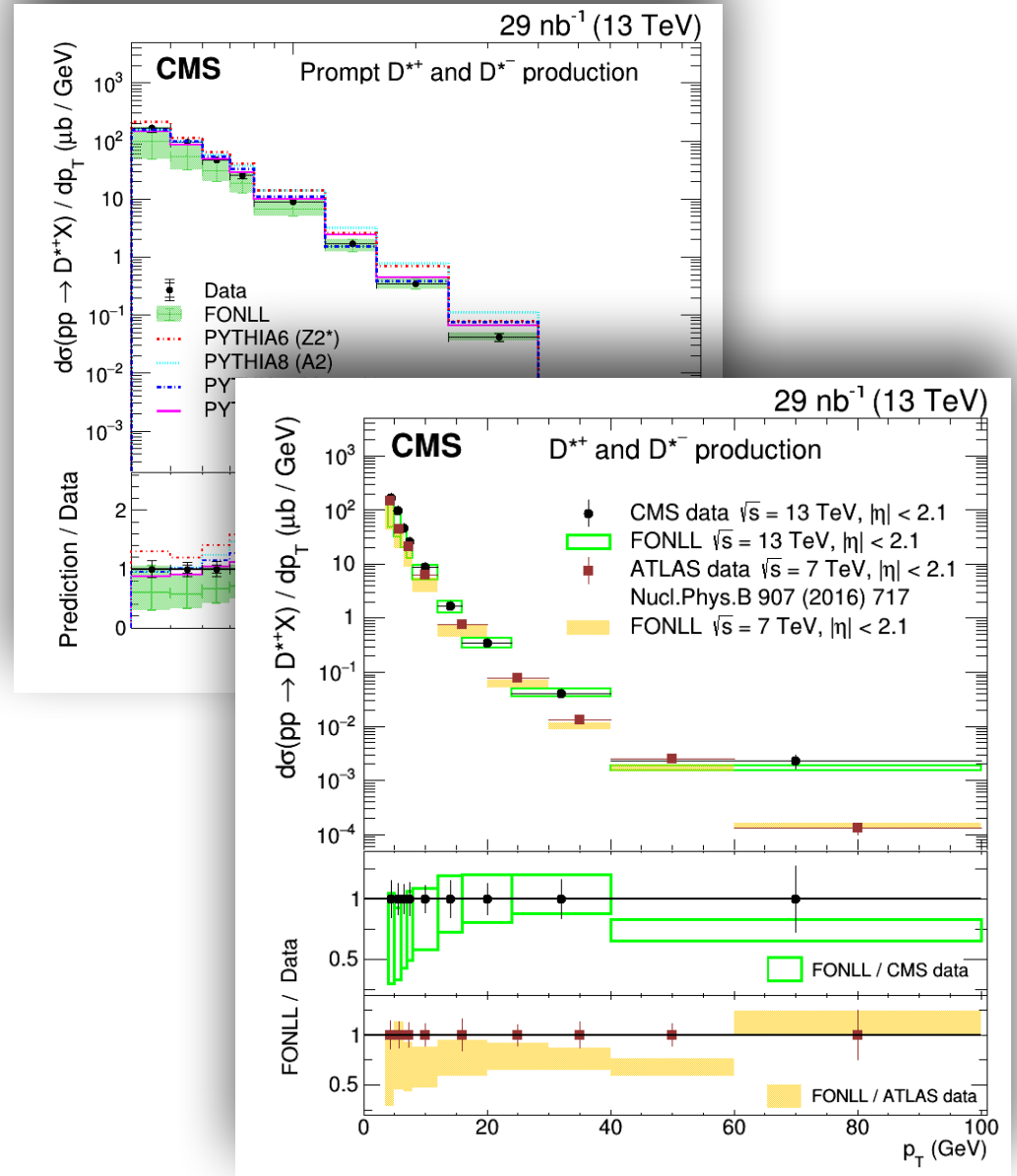
High Luminosity - Analisi

Stato Open Charm:

Prima misura di sezione d'urto di produzione di open charm in CMS.
(collaborazione PG - MI - DESY)

Estensione in collaborazione con DESY:

Analizzare tutti i dati del Run2 per misura doppio differenziale e applicazione alla misura del contributo da scattering partonico triplo



High Luminosity - Analisi

VBS in same sign WW con tau adronico

VBS in ZVJJ semileptonico

Primo tentativo di inclusione del τ_h

Working group

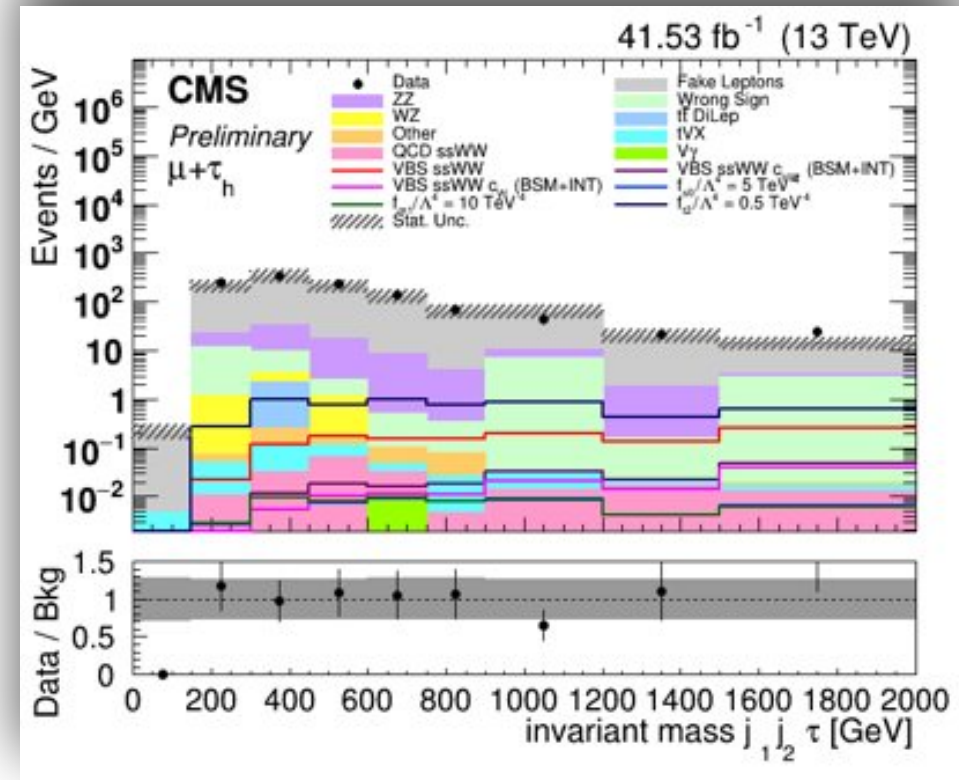
PG – LIP nel gruppo generale VBS

PD-Paris-PG

Tecniche di ML per la separazione segnale vs fake objects e segnale SM vs EFT

(studio di operatori dimensione 6 e dimensione 8)

Benchmark per analysis facility e RDF model (attività simifellow)



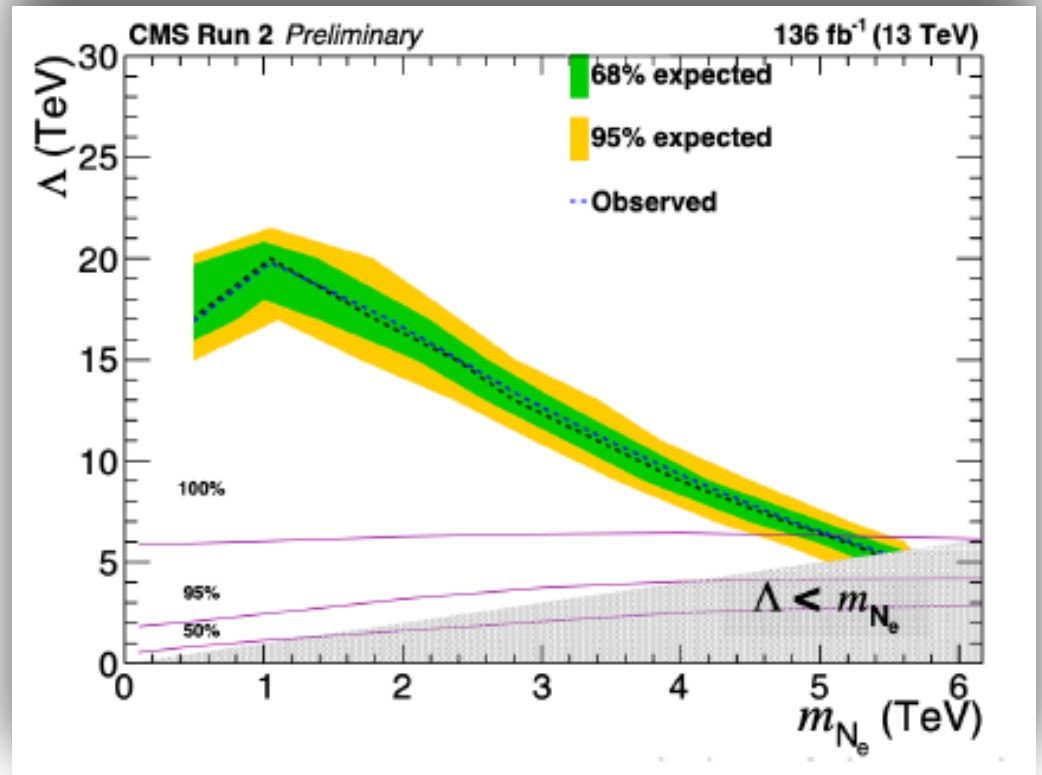
High Luminosity - Analisi

Ricerca di Neutrini pesanti

Ricerca di neutrini di Majorana in modelli compositi (segnatura con 2 leptoni e 2 quark)

Full Run-2 - nessuna evidenza ;)

Analisi in finalizzazione - target PLB (2022)



High Luminosity - Sviluppo analysis facility per il post-grid

R&D verso Run 3 e oltre (HL-LHC)

AF at INFN - Main features

Extending the DODAS project toward the building of a CMS analysis facility at INFN:

- Highly based on **services composition model**
 - Extendible and customizable
 - Adaptive and changeable over time (new technologies, no lock-in)
 - User-driven and requirement-driven
- Focus on **nanoAOD** based workflows (not exclusively)
- Facilitate **Python ecosystem** exploitation in our environment
- Support exploitation of **Machine Learning pipelines**
 - By transparently enabling the usage specialized hardware (SSD, NVMe, GPU, FPGA)
- Targeting CMS but not CMS specific



Also integrated with the **INFN-Cloud** (the national federated Cloud infrastructure) and **fully exportable** on other infrastructures

INFN - Technical Overview

Service composition:
It represents a simple atomic service (that acts like a "LEGO brick")



JupyterHub/Jupyter (+ Spark) on K8s cluster
HTCondor on K8s (containerized experiment software deployed on worker nodes)
Access to HTCondor via Jupyter or HTCondor client

Proxy cache:

XRootD cache server at CNAF

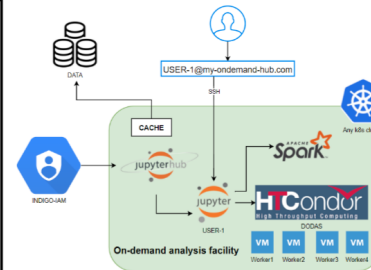
Local cache

Indigo-based authentication via Indigo-IAM

Using Indigo-IAM CMS instance <https://cms-auth.web.cern.ch/>

Pipeline transformation service + Posix exploration + Test the workflow

- Automate
 - Autoscaling based on custom metrics of HTCondor Worker Nodes:
 - Generic approach (<https://github.com/Cloud-PC/prometheus-hpa>)
 - Any metric coming from HTCondor can be used

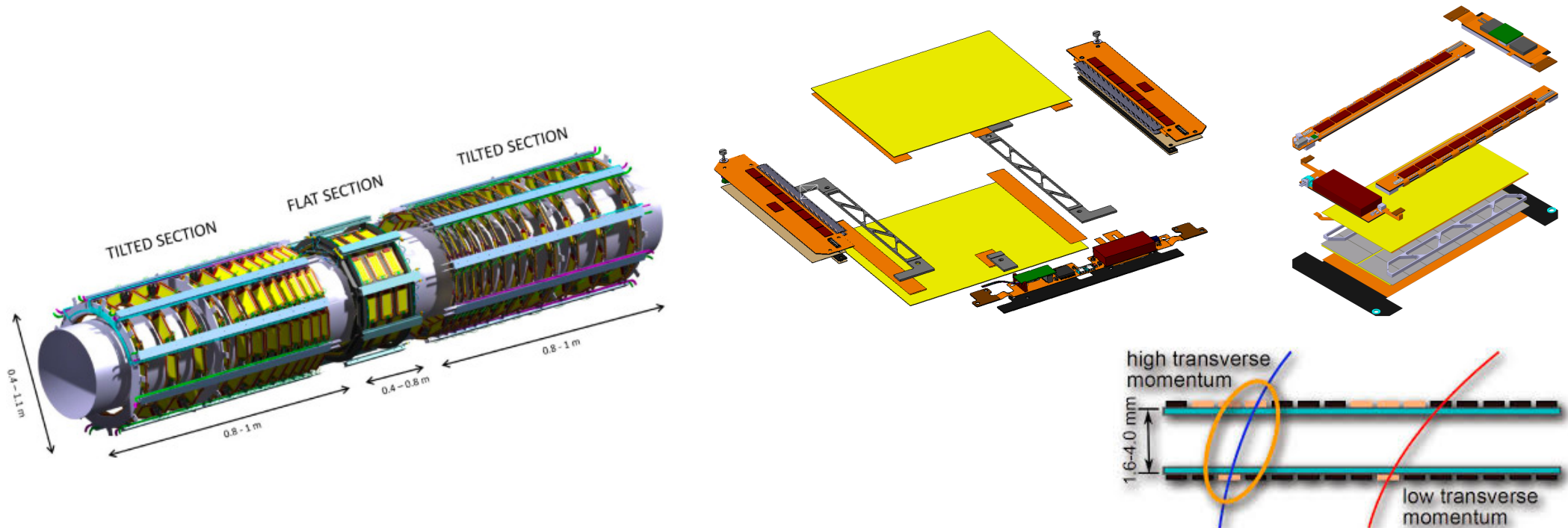


Avviata l'attività di sviluppo di un modello di **Analysis Facility** per il "post-grid"

- Abilita/facilita l'uso di NanoAOD (essenziale per HL-LHC)
- Spinta all'uso di strumenti standard (sostenibilità)
- Ottimizzare il throughput nel processing dei dati in fase di analisi

Interfaccia ad alto livello dichiarativa per l'analisi dati - primo esercizio di porting di un'analisi completa (VBS in same sign WW)

High Luminosity - Sviluppo e costruzione del tracker di CMS di HL



Il tracciatore di Fase2 di CMS sarà composto da 2 diverse tipologie di moduli (sempre basati su rivelatori a stato solido)

- Moduli 2S: composti da 2 sensori a microstrip di silicio
- Moduli PS: composti da un sensore a micro strip di silicio e un sensore a pixel di silicio

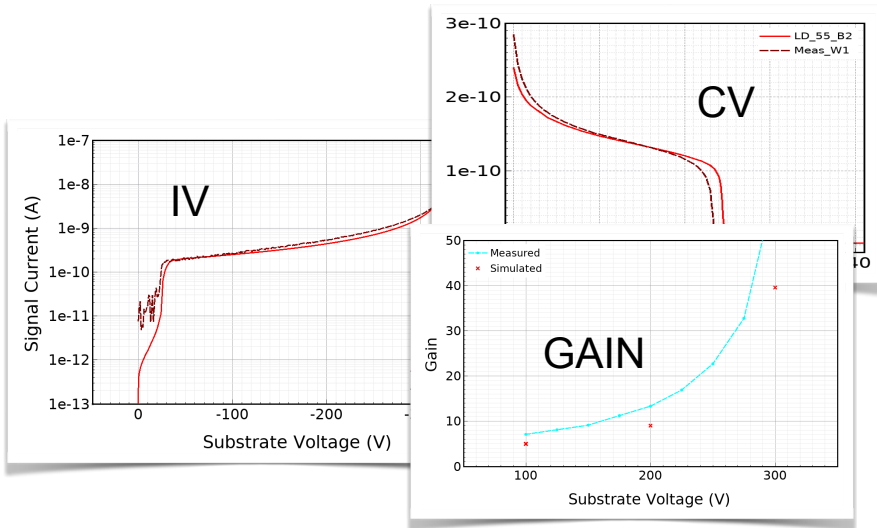
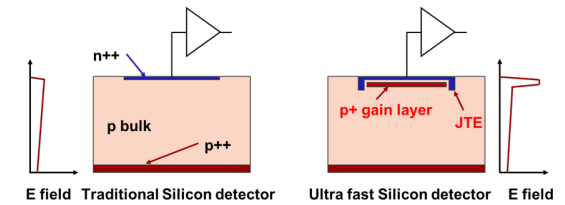
I due sensori sono accoppiati e letti da una elettronica comune in modo da poter effettuare una selezione sulla curvatura (energia) della particella

High Luminosity - Sviluppo e costruzione del tracker di CMS di HL

Sensori

Process Quality Control - Perugia è uno dei centri per la qualità del processo di fabbricazione su tutti i batches dei sensori previsti per il tracciatore di Fase-2. Setup di Perugia efficiente e veloce per qualificare il processo

Simulazione del danno da radiazione: Standard vs Low Gain Avalanche Diodes



Perugia model

- +surface and bulk (new) damage modelling
- +n and p-type bulk
- +fluence up to $2.2 \cdot 10^{16}$ eq. neutrons

- Sviluppo del modello e applicazione a LGAD e 3D

High Luminosity - Sviluppo e costruzione del tracker di CMS di HL

Moduli

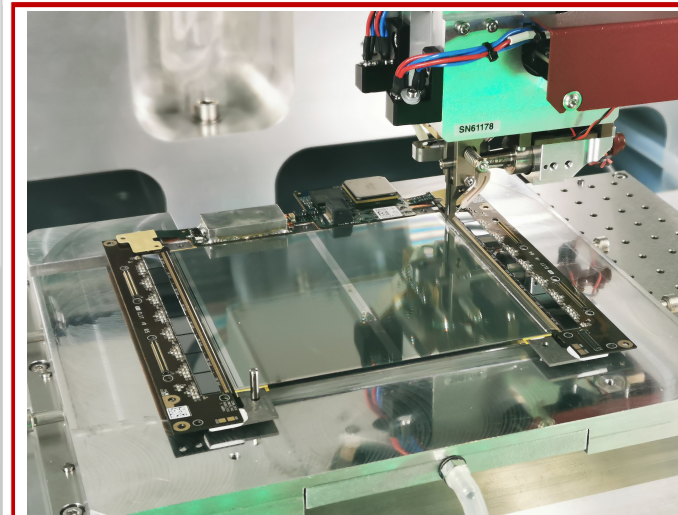
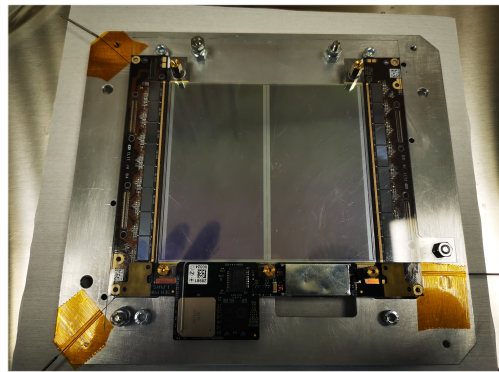
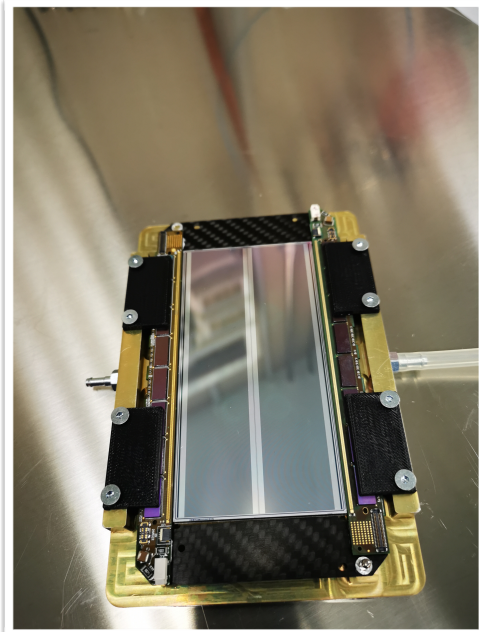
Perugia partecipa alla costruzione sia di moduli 2S che PS

Alta precisione meccanica necessaria

Shift minori di 50 μ m e rotazioni minori di 400 μ rad richieste!

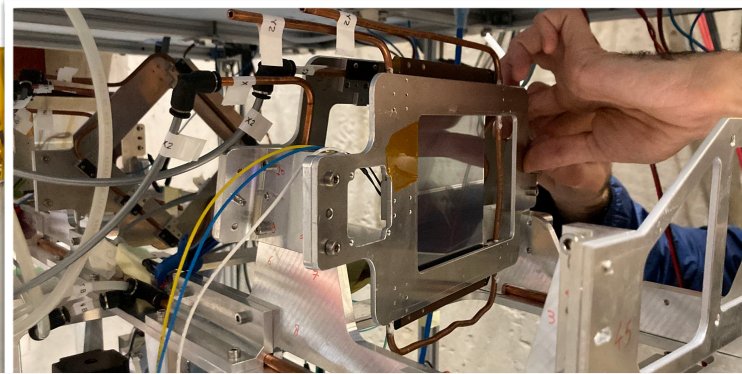
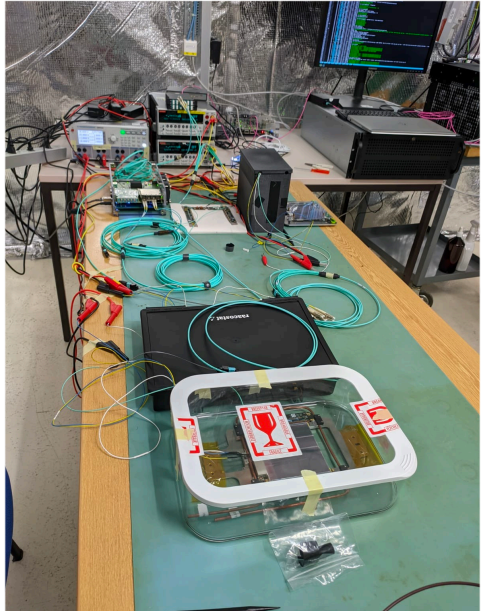
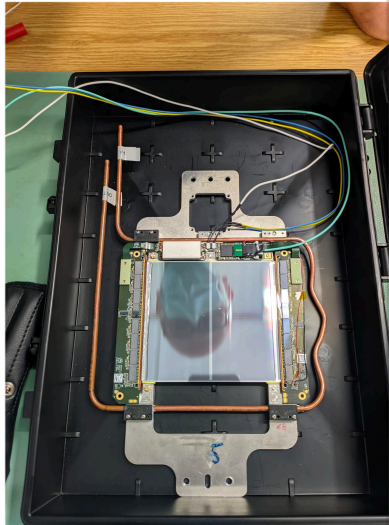
Attualmente la procedura di costruzione è in fase di ottimizzazione

Primi rivelatori finali da fine del 2021

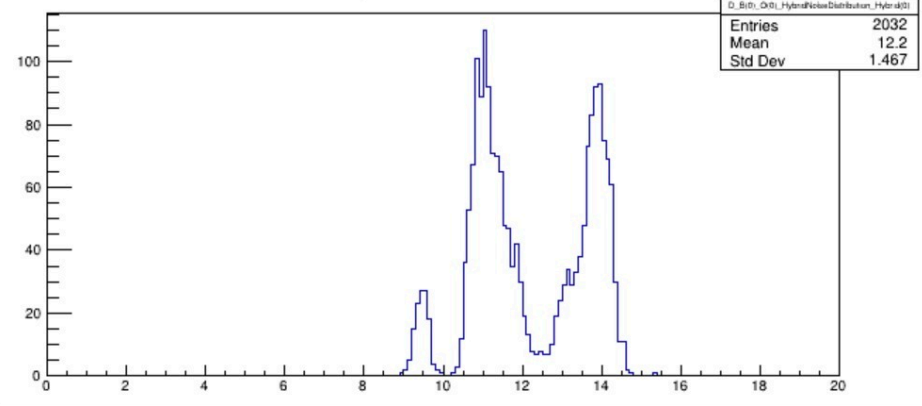


Connessione del
sensore con
l'elettronica di lettura

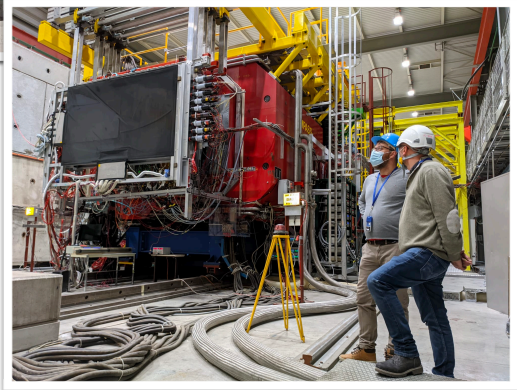
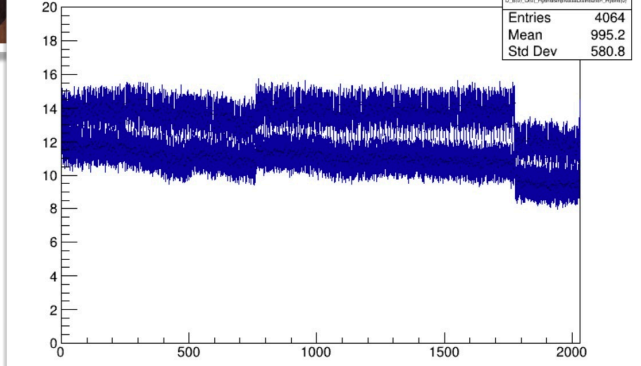
High Luminosity - CMS/MUonE test beam



D_B(0)_O(0)_Hybrid Noise Distribution_Hybrid(0)

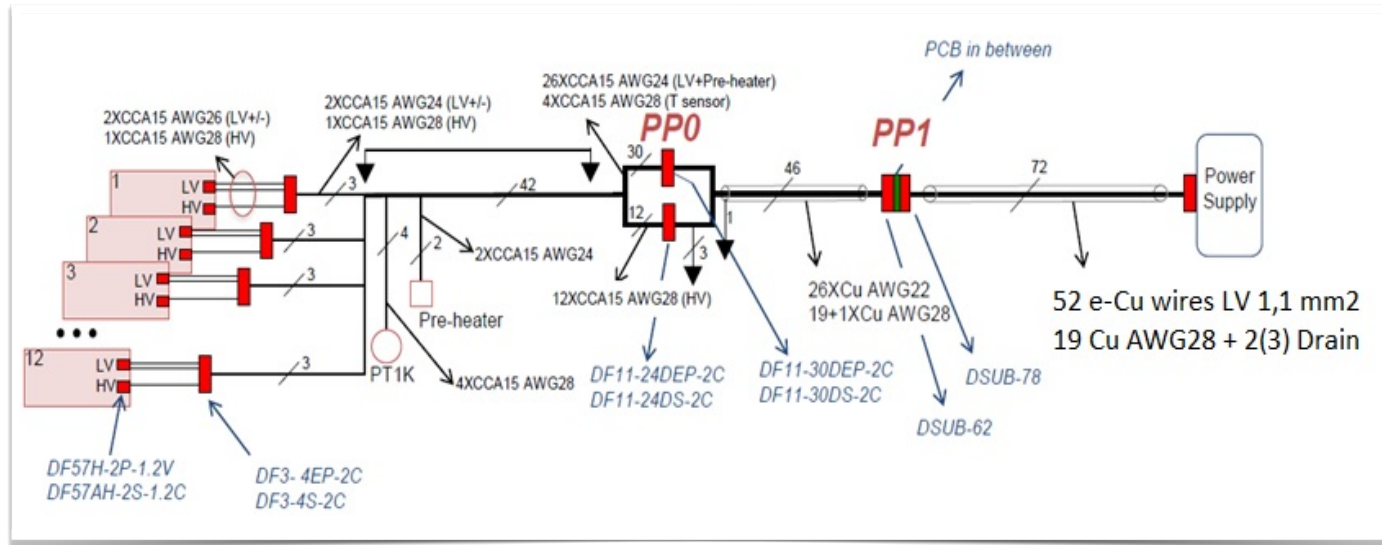


D_B(0)_O(0)_Hybrid Strip Noise_Hybrid(0)



High Luminosity - Sviluppo e costruzione del tracker di CMS di HL

Power System



Prototipi di cavi (2 tipologie su 3 la terza tipologia è ancora in fase di produzione)

- Test eseguiti: resistenza e isolamento su cavi CCA (da PP0 a modulo) e da PP1 a PP0 (solo resistenza).
- Eseguiti test termici su cavi CCA
- In fase di definizione i test meccanici e di resistenza alle radiazioni

High Luminosity - Sviluppo e costruzione del tracker di CMS di HL

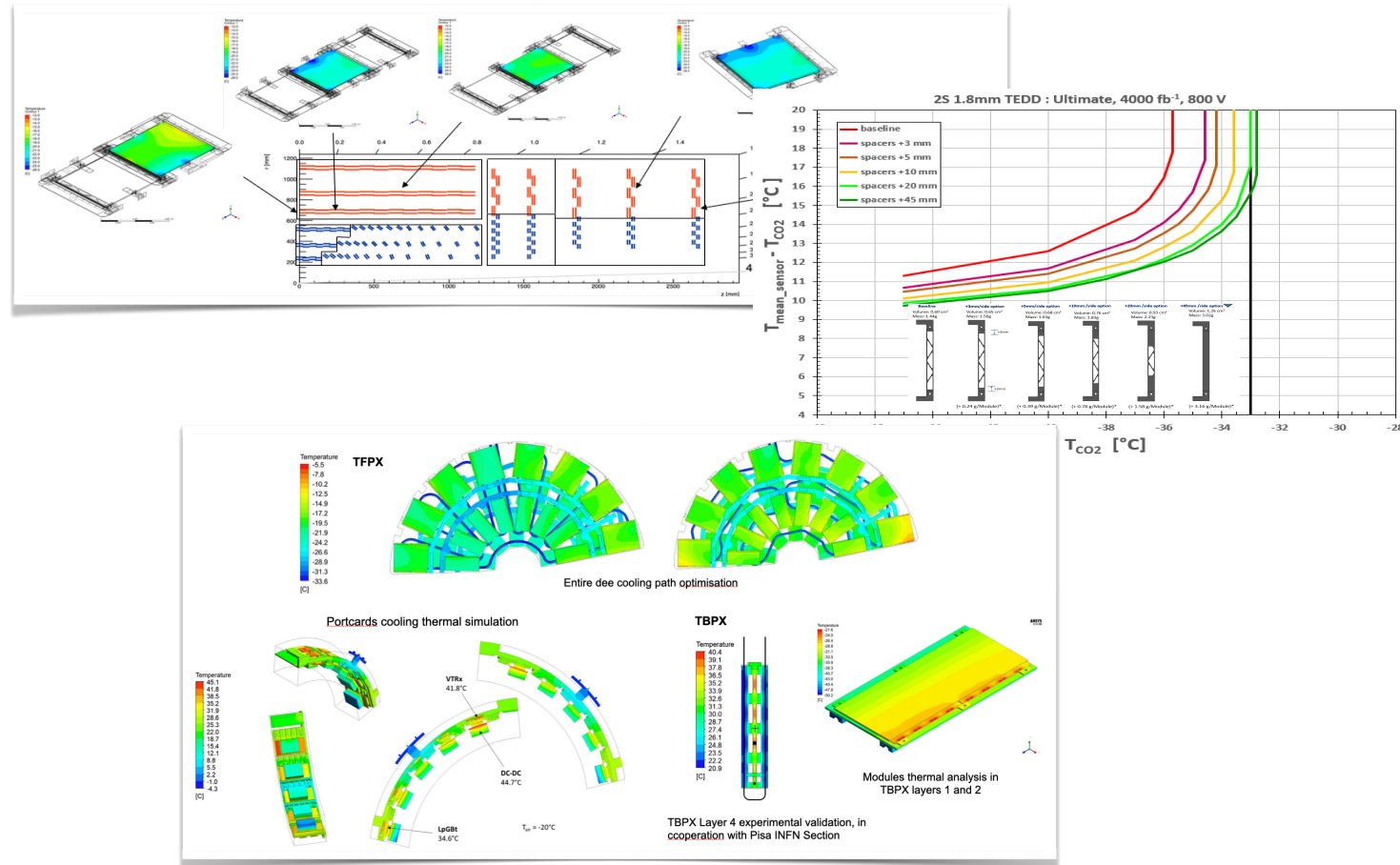
Simulazioni Termiche

Outer Tracker

studio approfondito della dispersione termica, studio e ottimizzazione del disegno e valutazione delle prestazioni. Analisi del thermal runaway

Inner Tracker

ottimizzazione del disegno meccanico in funzione del controllo del thermal runaway



Relazioni nel Piano Triennale, azioni collaborative ed altro...

Ambito di ricerca già attivato: 3

TITOLO: Fisica Sperimentale delle Interazioni Fondamentali

Ambito di ricerca già attivato: 4

TITOLO: Fisica teorica delle Interazioni fondamentali

Ambito di ricerca **nuovo**: 3

TITOLO: Data Science e infrastrutture per Big Data

Relazioni nel Piano Triennale, azioni collaborative ed altro...

Ambito di ricerca già attivato: 3

TITOLO: Fisica Sperimentale delle Interazioni Fondamentali

Ambito di ricerca già attivato: 4

TITOLO: Fisica teorica delle Interazioni fondamentali

Ambiti di collocazione canonici

Ambito di ricerca nuovo: 3

- +disegno e sviluppo di rivelatori di particelle
- +sviluppo dei sistemi di controllo e gestione dei rivelatori (operations)
- +analisi dei dati prodotti ad LHC (e HL-LHC)
- +interpretazione con i modelli fisici (proton structure, EFT e modelli compositi)

Importanti (storiche e non) collaborazioni in UNIPG

- +Ingegneria (meccanica e elettronica)
- +Informatica

Esplorazione con alcune competenze nel territorio (realtà importanti di produzione elettronica e system test) per un nuovo modello di gestione dei processi di costruzione in HEP di larga scala.

L'idea è quella di disaccoppiare disegno e sviluppo da produzione

Forse utile per l'azione UNIPG/PNRR in corso di proposta di un distretto innovativo

Relazioni nel Piano Triennale, azioni collaborative ed altro...

Ambito di ricerca già attivato: 3

TITOLO: Fisica Sperimentale delle Interazioni Fondamentali

Sviluppo dei modelli propri di accesso e analisi dati per LHC e HL-LHC

Ambito di ricerca già attivato: 4

TITOLO: Fisica teorica delle Interazioni fondamentali

Tentativo di costruire un ambito disciplinare congiunto Dipartimento/INFN di “data science” (con Daniele Spiga) - **altamente trasversale**

Ambito di ricerca nuovo: 3

TITOLO: Data Science e infrastrutture per Big Data

Interessante convergenza verso l'azione collaborativa “digitale, industria e spazio”, in particolare per gli aspetti di:

- 1) WP 4_1 - Data Science
- 2) WP 4_4 - Scienza dell'informazione e HPC

Relazioni nel Piano Triennale, azioni collaborative ed altro...

- 1) sforzo per intercettare le necessità locali legate al calcolo attraverso una ricognizione puntuale: 3

- 2) strutturare un'azione progettuale che possa agganciare le opportunità locali, nazionali ed europee 4

- 3) integrare il C_LAB di calcolo: 4
- 4) convergere in una struttura congiunta UNIPG/INFN/CNR

Tecnicamente, a partire dai paradigmi innovativi di gestione delle risorse per i big data sviluppati in ambito HEP, adattandole senza snaturarle alle esigenze locali (ne parleremo più in dettaglio in consulta della ricerca)

Sviluppo dei modelli propri di accesso e analisi dati per LHC e HL-LHC

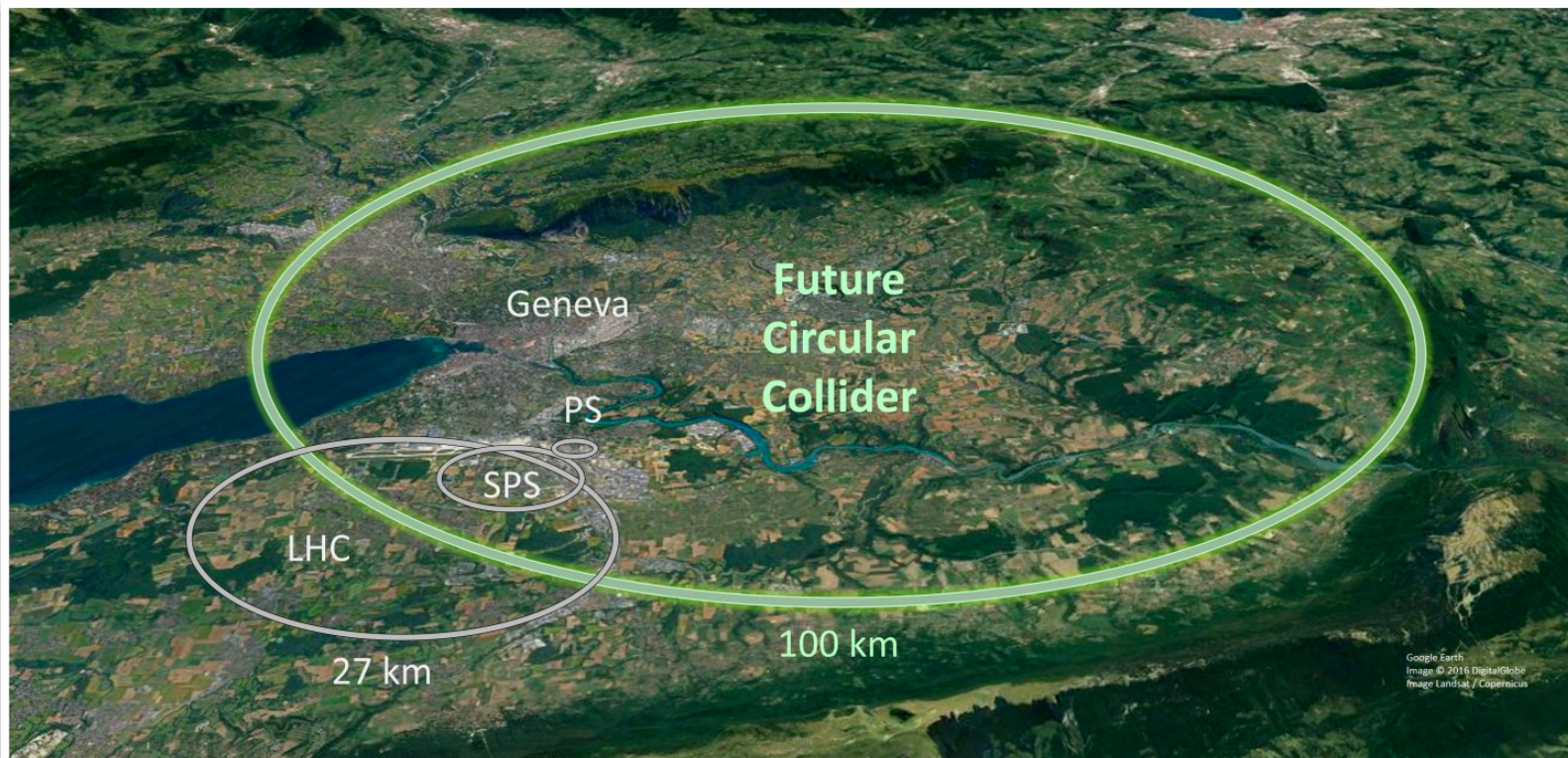
Tentativo di costruire un ambito disciplinare congiunto Dipartimento/INFN di "data science" (con Daniele Spiga)

Interessante convergenza verso l'azione collaborativa "digitale, industria e spazio", in particolare per gli aspetti di:

- 1) WP 4_1 - Data Science
- 2) WP 4_4 -Scienza dell'informazione e HPC**

PNRR - esplorazione della possibilità di partecipare al futuro CN di calcolo (probabilmente INFN/CINECA driven)

Futuro Remoto, post 2040



Nuova infrastruttura che possa estendere sensibilmente la frontiera dell'energia (100 TeV) e caratterizzazione elettrodebole di precisione (5-700 GeV)

Modalità multipla di funzionamento hh, ee e eh

An [FCC conceptual design report](#) was submitted as input to the 2020 [update of the European Strategy for Particle Physics](#). Following adoption of this update by the CERN Council in 2020, CERN was mandated to carry out a technical and financial feasibility study for the FCC to be ready for the next update of the strategy, foreseen for 2027.