

CMS Masterclass 2022



Dr. Alberto Bragagnolo^{1,2} e Dr. Andrea Gozzelino³ (CMS Collaboration)

15 Marzo 2022

¹Università degli Studi di Padova

²INFN Sezione di Padova

³INFN Laboratori Nazionali Legnaro

Introduzione

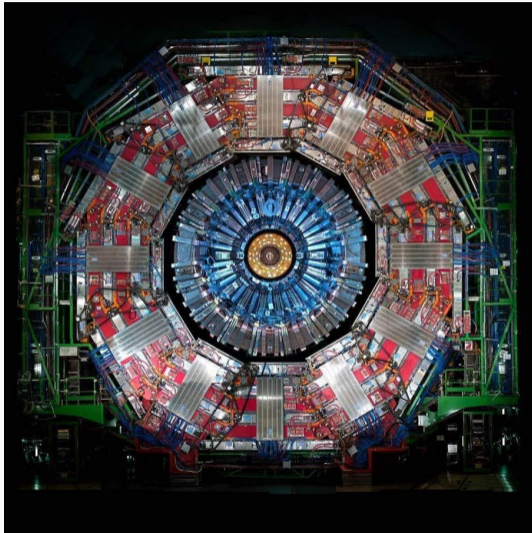
OBIETTIVO

- Utilizzare dati raccolti dall'esperimento CMS al fine di **studiare eventi W/Z/H** (bosoni W^+ , W^- , Z e di Higgs)

STRUMENTI A VOSTRA DISPOSIZIONE

- **event display CMS**: interfaccia grafica che permette di visualizzare tridimensionalmente collisioni LHC
- **CIMA**: piattaforma online per la raccolta dei risultati

L'esperienza CMS

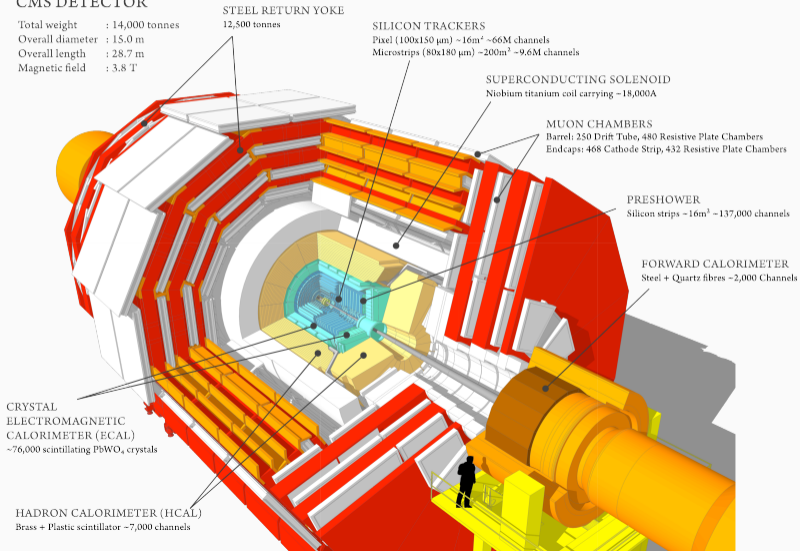


- rivelatore “tuttofare” presso l’LHC
- si trova in una caverna 100m sottoterra
- pesa il doppio della Torre Eiffel
- il magnete superconduttore è il più potente mai costruito
 - 100 000 volte più potente del campo magnetico terrestre
 - raffreddato $-268.5\text{ }^{\circ}\text{C}$
- capace di *fotografare* più di 40 milioni di collisioni al secondo
- una delle più grandi collaborazioni scientifiche internazionali della storia (≈ 4000 collaboratori da ≈ 40 paesi)
- ha (co)scoperto il bosone di Higgs, quotidianamente studia le costanti della natura, cerca dimensioni extra e materia oscura

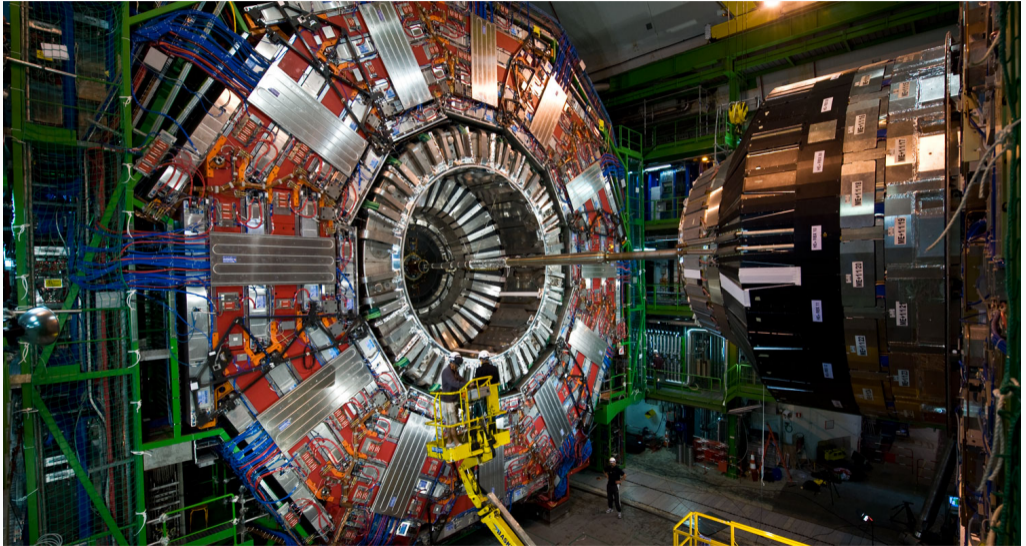
L'esperimento CMS

CMS DETECTOR

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



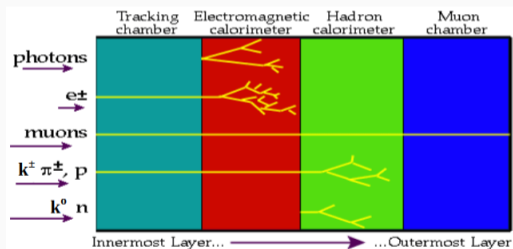
L'esperimento CMS



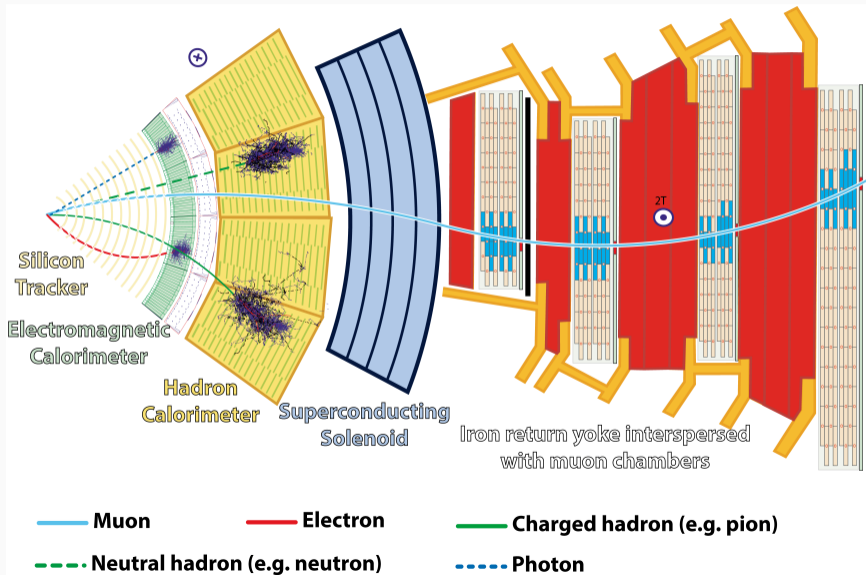
Particelle e rivelatori

Le particelle visibili vengono misurate tramite rivelatori diversi ed identificate dai loro comportamenti caratteristici dovuti al tipo di interazione con la materia:

- Le **particelle cariche** rilasciano un segnale nei rivelatori di traccia
 - *I tracciatori misurano molto precisamente il percorso delle particelle cariche*
- Le **particelle cariche ed i fotoni** rilasciano energia nei calorimetri elettromagnetici
- Gli **adroni** rilasciano energia nei calorimetri adronici
 - *I calorimetri sono rivelatori che misurano l'energia di una particella*
- Infine i **muoni** vengono tracciati dalle camere muoniche
 - *“Solo” i muoni arrivano così lontano*



Particelle e CMS

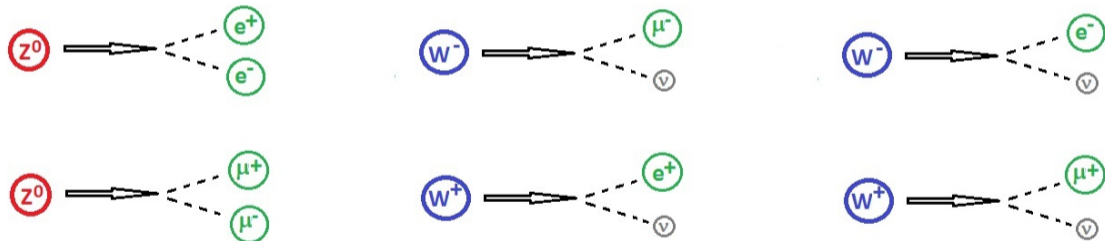


Preparazione agli esercizi

Preparazione agli esercizi

Categorie di particelle da riconoscere nell'esercizio:

1. Candidati bosoni W^+ e W^-
2. Candidati NP (Neutral Particles): bosoni Z^0 o particelle neutre più leggere

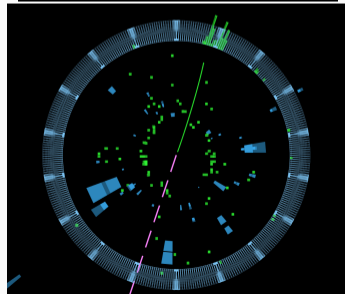
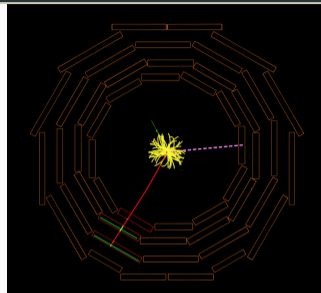


3. Candidati bosoni di Higgs $H \rightarrow Z^0 Z^0$
4. Candidati bosoni di Higgs $H \rightarrow \gamma\gamma$

Eventi candidati bosoni W

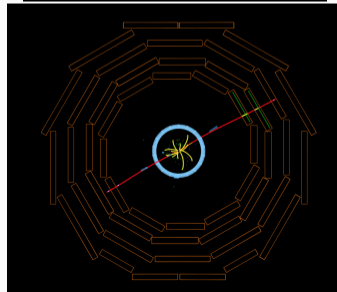
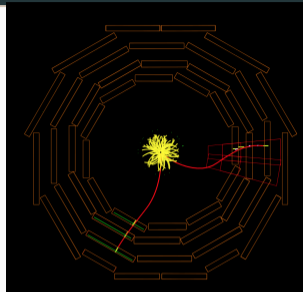
BOSONI W^+ E W^-

- Decadono in muoni o elettroni singoli ed un neutrino ad alta energia non rivelabile (\rightarrow energia mancante E_{miss})
 - $W^+ \rightarrow \mu^+ \nu \rightarrow \mu^+ + E_{\text{miss}}$
 - $W^+ \rightarrow e^+ \nu \rightarrow e^+ + E_{\text{miss}}$
 - $W^- \rightarrow \mu^- \bar{\nu} \rightarrow \mu^- + E_{\text{miss}}$
 - $W^- \rightarrow e^- \bar{\nu} \rightarrow e^- + E_{\text{miss}}$
- Una traccia rossa che produce un segnale nei rivelatori a muoni corrisponde ad un **muone**
- Una traccia verde che produce un segnale nel calorimetro elettromagnetico corrisponde ad un **elettrone**
- L'**energia mancante** è indicata con una linea tratteggiata viola
- **La carica si distingue dalla curvatura**
 - senso antiorario \rightarrow carica negativa
 - senso orario \rightarrow carica positiva



PARTICELLE NEUTRE

- **Decadono in coppie di muoni o elettroni**
 - $NP \rightarrow \mu^+ \mu^-$
 - $NP \rightarrow e^+ e^-$
- I prodotti hanno **carica opposta**, quindi una curvatura con opposto segno di rotazione
- Nel caso di Z^0 le tracce sono molto energetiche e quindi quasi dritte
- In questi processi non vengono prodotti neutrini, quindi **non ci aspettiamo energia mancante**
- **La massa invariante di una coppia di tracce si ottiene selezionandole entrambe con il cursore mentre viene tenuto in pressione il tasto “↑ Shift”**

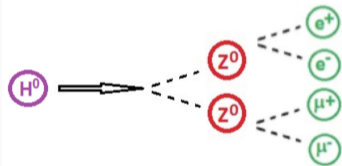


Eventi candidati Higgs

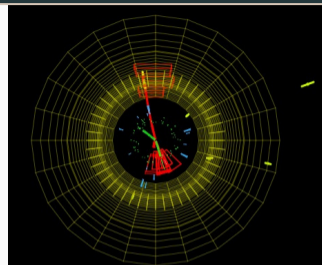
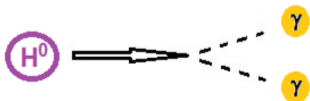
BOSONI DI HIGGS

L'Higgs può decadere in svariati modi, noi ci occuperemo di 2 casi:

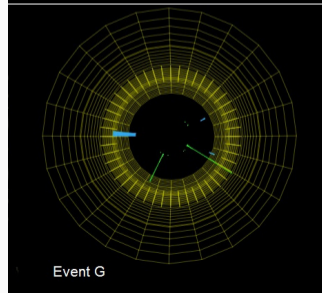
1. $H \rightarrow Z^0 Z^0$: i bosoni Z^0 poi decadono in coppie di muoni o di elettroni per un totale di 4 tracce



2. $H \rightarrow \gamma\gamma$: i fotoni sono neutri e lasciano segnale solo nel calorimetro elettromagnetico



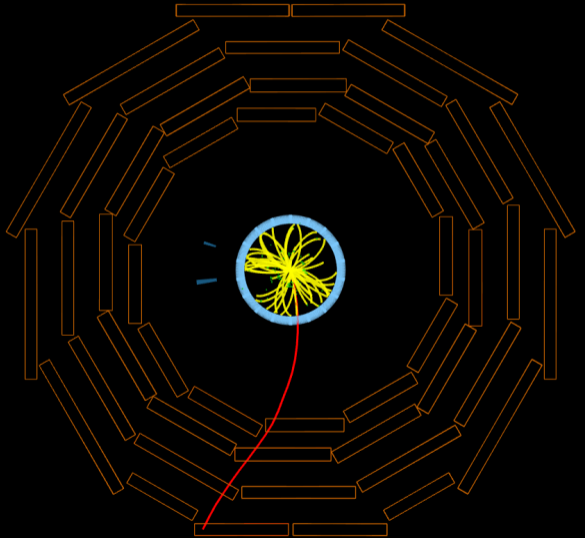
Event F



Event G

EVENTI “ZOO”

Gli eventi che non hanno tracce identificate come elettroni o muoni o fotoni oppure che non sono riconducibili a NP, W o H sono classificati come “zoo”



Vi verranno assegnati 100 eventi da esaminare. Analizzando l'evento, domandatevi:

- La traccia che sto osservando è un muone oppure un elettrone?
- È un W, uno Z o un'altra particella dello "zoo"?
- Se è un W, qual è la sua carica?
- Se è più probabile che si tratti di un candidato Z, è possibile identificare le due tracce dei leptoni ed usarle per trovare la massa invariante della particella decaduta?
- Se è più probabile che si tratti di un Higgs, è un decadimento in 4 leptoni o 2 fotoni?

Event Display – Funzioni

➤	Detector	i
▼	Imported	i
➤	Provenance	i
➤	Tracking	i
➤	ECAL	i
➤	HCAL	i
➤	Muon	i
➤	Physics	i

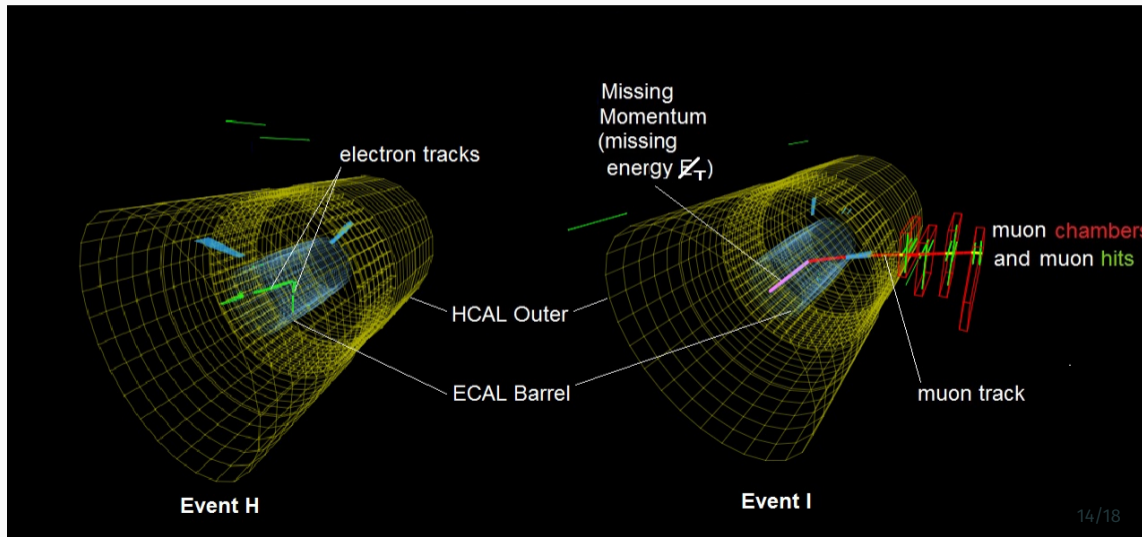
Il software “iSpyWebGL” dispone di diversi menu a tendina e funzioni

- Visualizzare i diversi rivelatori
- Quando sono stati presi i dati
- Visualizzare le risposte (“hits”) dei diversi rivelatori
- **Visualizzare gli “oggetti” ricostruiti (elettroni, muoni, fotoni, energia mancante)**

Se l’evento contiene oggetti ricostruiti interessanti (muoni, elettroni, fotoni) la selezione è automatica.

L’energia mancante va abilitata a mano.

Event Display



Event Display – Pulsanti utili

The screenshot displays the CMS Event Display interface. At the top, there are three main sections: "CAMBIARE EVENTO" (Change Event), "PROIEZIONE XY" (XY Projection), and "3D 2D" (3D/2D View). Below these, the text "iSpy WebGL" and "masterclass_1.lg:Events/Run_1/Event_1 [1 of 100]" are visible. A toolbar contains various icons for navigation and interaction. On the left, a detector menu lists components like Pixel Barrel, Tracker Inner Barrel, and ECAL Barrel, each with a checkbox. The main area shows a 3D visualization of the detector (a yellow wireframe cylinder) and a particle event (a starburst of tracks). A red line indicates the path of a specific track. A small 3D coordinate system is visible in the bottom left corner.

- La proiezione XY serve per determinare il senso di curvatura delle tracce (la visione 2D aiuta in questi casi)

Alla fine dell'esercizio saremo in grado di misurare le seguenti cose:

- il rapporto W/Z
- il rapporto W^+/W^-
- il rapporto e/μ
- la massa del bosone Z e di eventuali altre particelle con decadimenti simili presenti nel grafico della massa invariante

Durante la videoconferenza questi vostri risultati verranno combinati con quelli degli altri istituti, che partecipano alla Masterclass. In particolare:

- Ogni istituto presenterà *rapidamente* i propri risultati
- I moderatori combineranno i dati di tutti gli istituti e vi mostreranno l'istogramma di massa della combinazione
- Ci sarà uno spazio dedicato a domande e risposte

- I risultati vanno riportati utilizzando l'interfaccia CIMA
- Dovrete selezionare la data (CERN-15Mar2022), il luogo (Padova2022A/B) ed il vostro gruppo



Choose your Masterclass	Choose your location	Choose your data file
SampleTables-Jan2021	Split2022B	100.1
Kharkov-CMLTP-10Jun2021	Zagreb2022A	100.2
Medford-15Jun2021	Pavia2022	100.3
Hammond-24Jun2021	Pleven2022	100.4
NotreDame-09July2021	Padova2022A	100.5
CERN-28Jul2021	Padova2022B	100.6
CERN-09Jul2021		100.7
VCONF-Stavanger-03Aug2021		100.8
Seattle-10Sep2021		100.81
CERN-Fermilab-HCP-04Sep2021		100.82
Oviedo-12Oct2021		100.83
Test-14Sep2021		100.84
CIEMAT-02Nov2021		100.85
Vilnius-03Dec2021		100.86
CERN-03Dec2021		100.87
Sofia-03Jan2022		100.88
Cantabria_2-5May2022		100.89
Viterbo-16Feb2022		100.9
IDWGS-11Feb2022		100.91
CERN-01Mar2022		100.92
CERN-05Mar2022		100.93
CERN-04Mar2022		100.94
CERN-07Mar2022		100.95
CERN-09Mar2022		100.96
CERN-15Mar2022		100.97
CERN-17Mar2022		100.98
CERN21Mar2022		100.99

Dettagli tecnici: CIMA

Per ogni evento analizzato selezionate:

1. Il numero di evento
2. Le particelle individuate nello stato finale
3. La categoria individuata (W^\pm senza segno quando non si è sicuri della carica)
4. Per i candidati Neutral Particles occorre immettere a mano la massa invariante
5. Terminata la compilazione premete “Next”

Back Events Table (Group 100.1) Mass Histogram (Padova2022A) Results (Padova2022A) [Event Display](#)

Masterclass: CERN-15Mar2022
Location: Padova2022A
Group: 100.1

Select Event Event index: <input type="text" value="1"/> Event number: 100.1-1	Final State <input type="radio"/> e v <input type="radio"/> μ v <input type="radio"/> e e <input type="radio"/> μ μ <input type="radio"/> 4e <input type="radio"/> 4 μ <input type="radio"/> 2e 2 μ	Primary State Charged Particle: <input type="radio"/> W+ <input type="radio"/> W- <input type="radio"/> W \pm <input type="radio"/> Neutral Particle (Z, H) <input type="radio"/> Zoo	Enter Mass <input type="text"/> GeV/c ² <input type="button" value="Next"/>
---	--	--	---

Domande?