



CMS Masterclass 2026

Enrico Lusiani, Federica Primavera, Jacopo de Piccoli, Patrizia Azzi

17 Marzo 2026

Università degli Studi di Padova

INFN Sezione di Padova

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

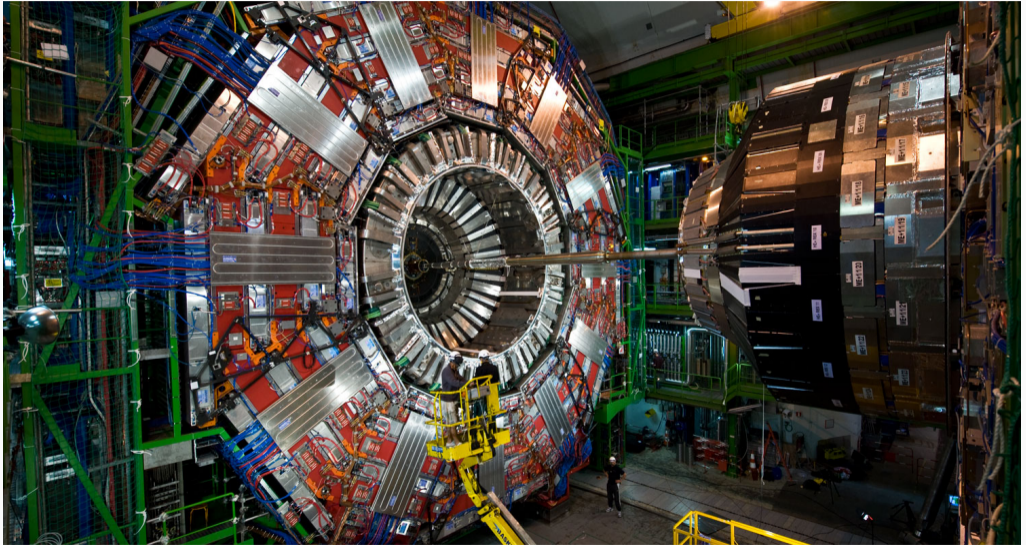
- **event display CMS**: interfaccia grafica che permette di visualizzare tridimensionalmente collisioni LHC
- **Google Sheets**: piattaforma online per la raccolta dei risultati

Il Modello Standard

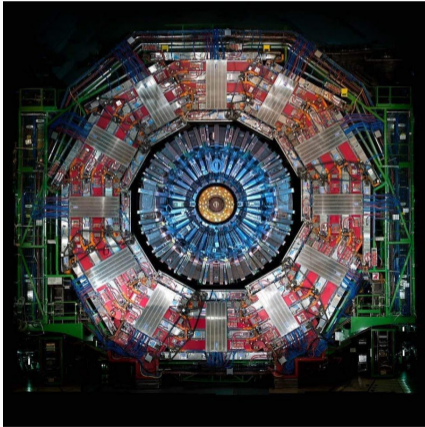
tre generazioni della materia (fermioni)			mediatori delle forze / interazioni (bosoni)		
	I	II	III		
massa	$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 124.97 \text{ GeV}/c^2$
carica	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0	0
spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	0
QUARK	u up	c charm	t top	g gluone	H higgs
	d down	s strange	b bottom	γ fotone	
	e elettrone	μ muone	τ tauone	Z bosone Z	
LEPTONI	ν_e neutrino elettronico	ν_μ neutrino muonico	ν_τ neutrino tauonico	W bosone W	
				BOSONI DI GAUGE BOSONI VETTORI	BOSONI SCALARI

- Il Modello Standard (SM) è la teoria che descrive le particelle elementari e le interazioni fondamentali.
- Le particelle fondamentali sono suddivise in due categorie principali: fermioni e bosoni.
- I fermioni costituiscono la materia e sono composti da quarks e leptoni.
- I bosoni sono i mediatori delle forze.
- Le forze fondamentali descritte sono l'interazione elettromagnetica mediata dai fotoni γ , l'interazione debole mediata dai bosoni W e Z, e l'interazione forte mediata dai gluoni.

L'esperienza CMS



L'esperienza CMS



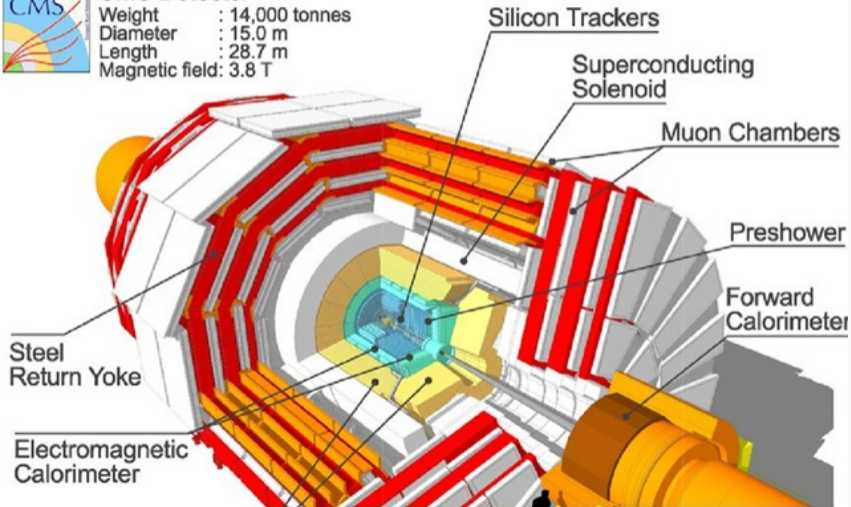
- L'esperienza CMS é uno dei quattro principali esperimenti installati lungo l'acceleratore LHC al CERN, ubicato in una caverna sperimentale scavata 100 m sottoterra
- CMS é un rivelatore "tuttofare", che indaga diversi ambiti della fisica delle particelle: da misure di precisione del Modello Standard, a ricerca di nuove teorie e particelle come la materia oscura
- CMS è l'acronimo di Compact Muon Solenoid, solenoide compatto per muoni, ha infatti un peso pari a circa il doppio della Torre Eiffel
- Il solenoide superconduttore è il magnete più potente mai costruito, genera un campo di circa 4 T, centomila volte più grande di quello terrestre, e lavora a temperature vicine allo zero assoluto (-268.5 °C)
- Il rivelatore é capace di *fotografare* più di 40 milioni di collisioni al secondo.
- L'esperienza CMS riunisce ≈ 4000 collaboratori da ≈ 40 paesi, ed é una delle più grandi collaborazioni scientifiche internazionali della storia

Il rivelatore CMS e i suoi sottorivelatori



CMS Detector

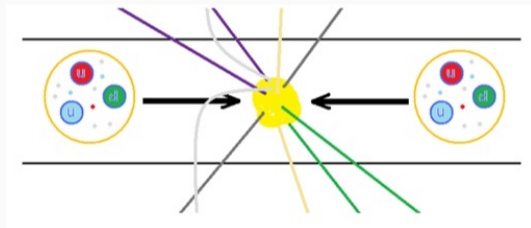
Weight : 14,000 tonnes
Diameter : 15.0 m
Length : 28.7 m
Magnetic field: 3.8 T



Collisioni protone-protone

LHC accelera protoni ad una energia pari a circa 7500 volte quella equivalente alla loro massa:

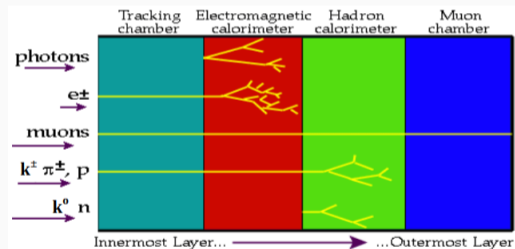
- i protoni circolano in direzioni opposte e collidono nel centro di CMS
- in una collisione vengono prodotte migliaia di particelle
- il compito di CMS é quello di catturare le informazioni che provengono da ciascuna di esse



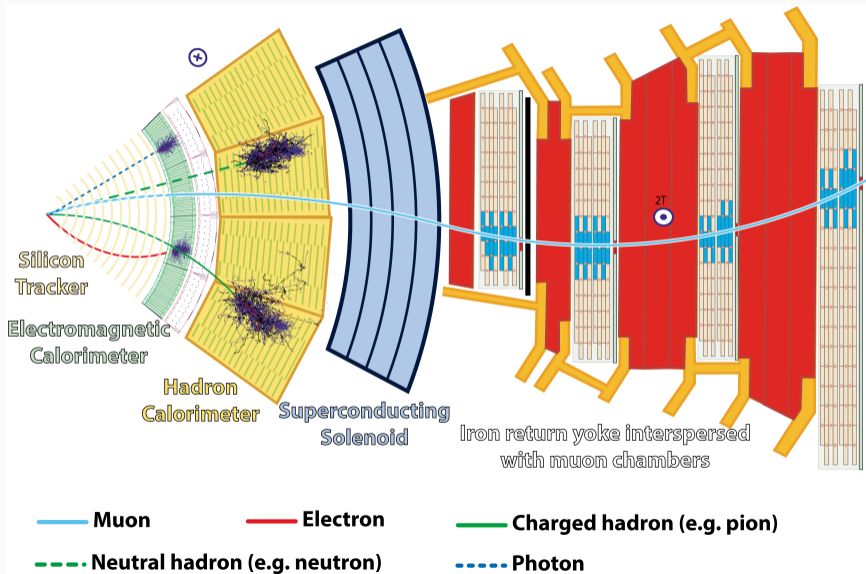
Particelle e rivelatori

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

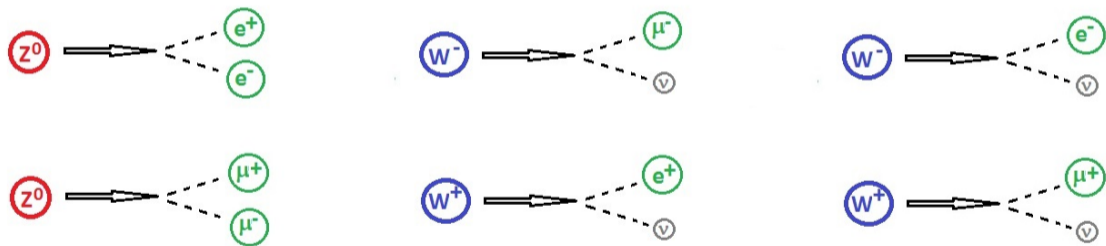


Preparazione agli esercizi

Preparazione agli esercizi

Categorie di particelle da riconoscere nell'esercizio:

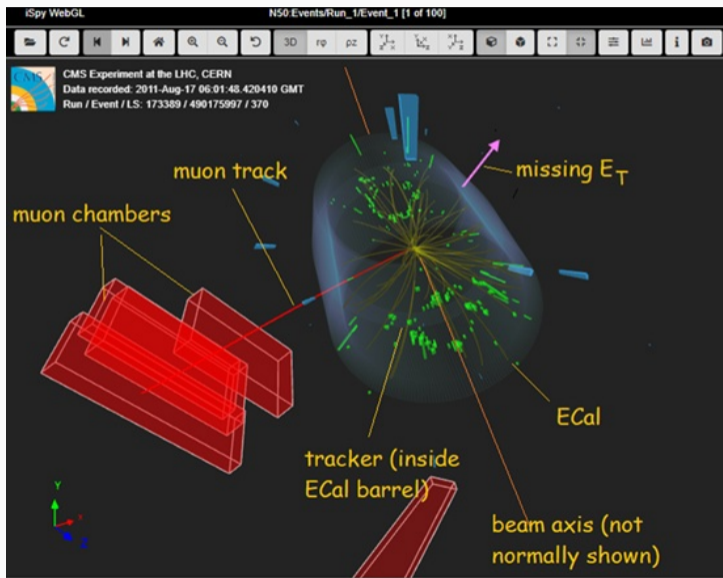
1. Candidati bosoni W^+ e W^-
2. Candidati NP (Neutral Particles): bosoni Z^0 o particelle neutre più leggere



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

Ma come si riconoscono questi candidati?

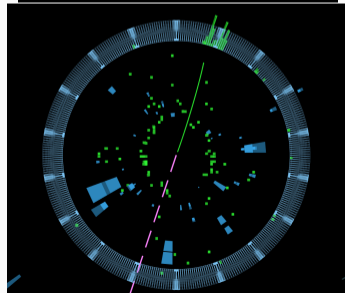
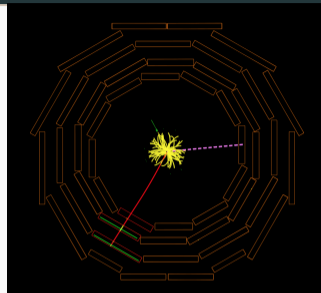
iSpy event display



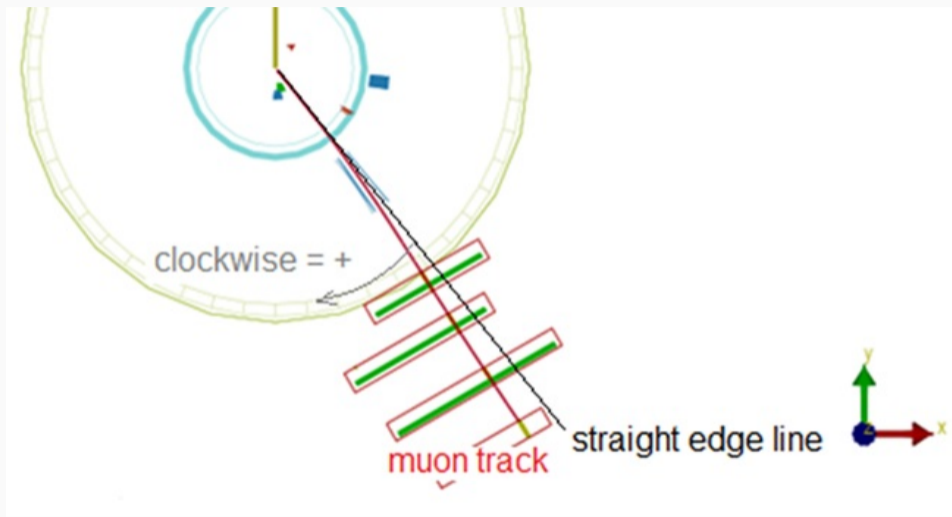
Eventi candidati bosoni W

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

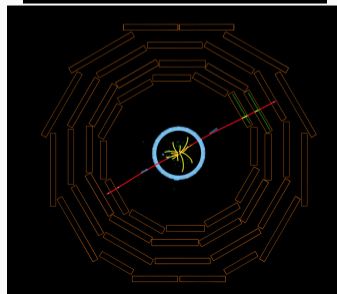
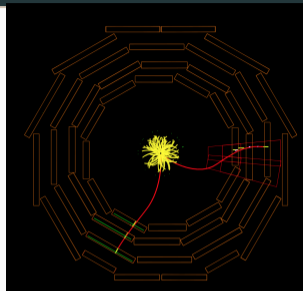


Eventi W^+ o W^- ?



PARTICELLE NEUTRE

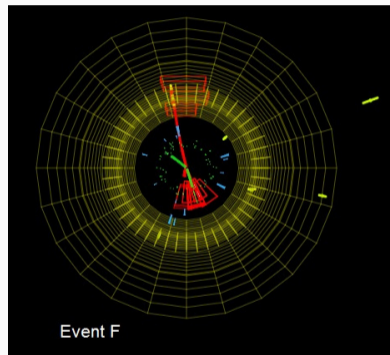
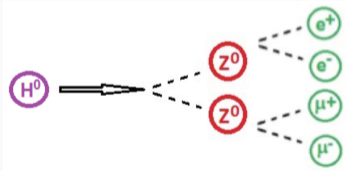
- **Decadono in coppie di muoni o elettroni**
 - $NP \rightarrow \mu^+ \mu^-$
 - $NP \rightarrow e^+ e^-$
- I prodotti hanno **carica opposta**, quindi una curvatura con opposto segno di rotazione
- Nel caso di Z^0 le tracce sono molto energetiche e quindi quasi dritte
- In questi processi non vengono 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”**



BOSONI DI HIGGS

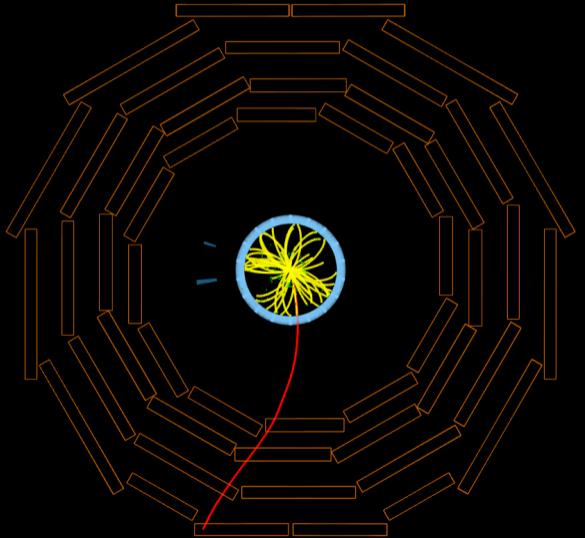
L'Higgs può decadere in svariati modi, noi ci occuperemo di 1 caso:

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



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”

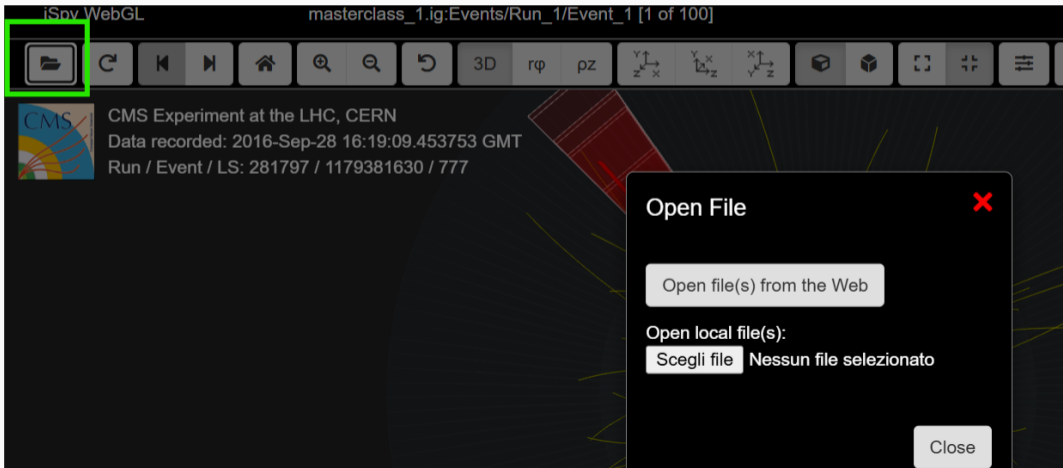


Vi verranno assegnati 100 eventi da esaminare. Analizzando l'evento, domandatevi:

- La traccia che sto osservando è un muone oppure un elettrone?
- È un bosone W, un bosone 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?

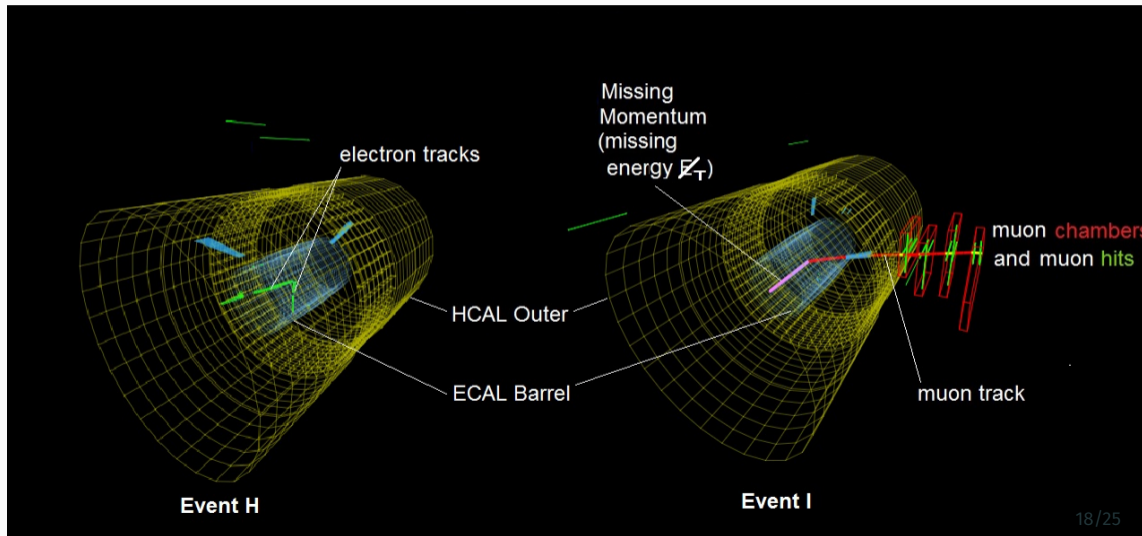
Event Display – Dati

- una volta aperto “iSpyWebGL”, troverete il link per caricare i dati nella cartella in alto a sinistra
- Selezionate 1 solo file per gruppo cliccando “Open file from the Web”



The screenshot displays the iSpyWebGL interface. At the top, the browser address bar shows "iSpy WebGL" and the URL "masterclass_1.ig:Events/Run_1/Event_1 [1 of 100]". A toolbar contains various navigation and viewing controls, with a folder icon highlighted by a green box. Below the toolbar, the CMS logo is visible on the left, and text on the right reads: "CMS Experiment at the LHC, CERN", "Data recorded: 2016-Sep-28 16:19:09.453753 GMT", and "Run / Event / LS: 281797 / 1179381630 / 777". A 3D visualization of a detector component is partially visible in the background. In the foreground, an "Open File" dialog box is open, featuring a red close button (X) in the top right corner. The dialog contains two main sections: "Open file(s) from the Web" with a corresponding button, and "Open local file(s):" with a "Scegli file" button and the text "Nessun file selezionato". A "Close" button is located at the bottom right of the dialog.

Event Display



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 (lato destro)

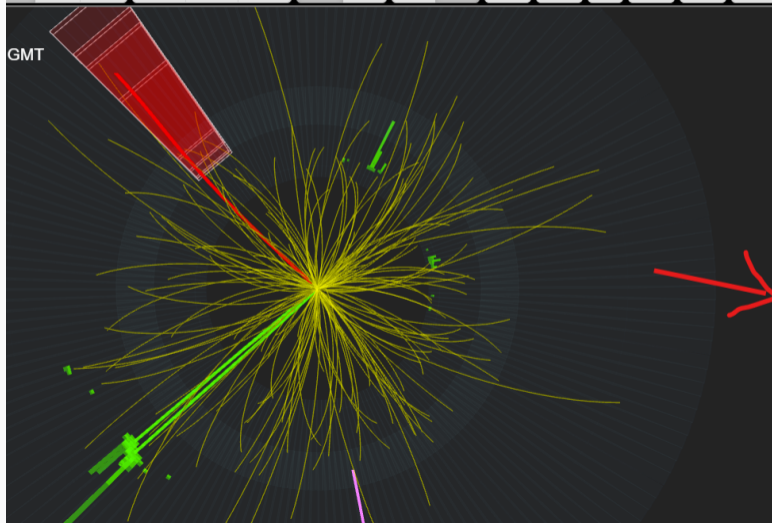
- Visualizzare i diversi rivelatori
- Quando sono stati presi i dati
- Visualizzare le risposte (“hits”) dei diversi rivelatori
- **Visualizzare gli “oggetti” ricostruiti (elettroni, muoni, fotoni, energia mancante)**

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

L’energia mancante va abilitata a mano.

Event Display – Come abilitare l'energia mancante

nts/Run_1/Event_1 [1 of 100]



- ▶ Detector
- ▶ Imported
- ▶ Provenance
- ▶ Tracking
- ▶ ECAL
- ▶ HCAL
- ▶ Muon
- ▼ Physics
 - ▼ Missing Et (PAT)

number	1
key	PATMETs_V1
show	<input checked="" type="checkbox"/>
opacity	<input type="text" value="1"/>
color	#ff7fff
 - ▶ Jets (PAT)
 - ▶ AK8 Jets (PAT)
 - ▶ Global Muons (PAT)
 - ▶ Tracker Muons (PAT)
 - ▶ Electron Tracks (PAT)



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 Toggle). 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, with the "XY" projection icon highlighted in green. 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 projection of the event onto the XY plane. 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)

Dettagli tecnici: Google spreadsheets

- I risultati vanno riportati sui Google spreadsheets che trovate tra i link
- Dovrete selezionare il numero di Dataset che state analizzando nella colonna A
- I datasets tra 1 e 50 sono contenuti nel primo spreadsheet, i datasets da 51 a 100 nel secondo spreadsheet

The screenshot shows a Google Spreadsheet titled 'CMS-Padua-17Mar2026-Group2'. The interface includes a menu bar (File, Modifica, Visualizza, Inserisci, Formato, Dati, Strumenti, Estensioni, Guida) and a toolbar with various icons. The spreadsheet data is as follows:

1	A	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
2	Dataset	Final State							Primary State				IMP:	DO NOT WRITE TO THE RIGHT				
3	51	e-v	μ-v	e-e	μ-μ	4e	4μ	2e2μ	W+	W-	NP (Z,H)	τ	Mass [GeV]					
4		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
5		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
6		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
7		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
8		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
9		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
10		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
11		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
12		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
13		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
14		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
15		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
16		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
17		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
18		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
19		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
20		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
21		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
22		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
23		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
24		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
25		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
26		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
27		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						

Additional text in the spreadsheet includes 'Lipion Counts' and 'W boson counts' with associated data points and error bars. A large white box in the bottom right corner contains the text: 'Aggiungi una s iniziare a visuali dati'.

Dettagli tecnici: come riportare le informazioni

Per ogni evento analizzato selezionate:

1. Il numero di evento (colonna B)
2. Le particelle individuate nello stato finale (sotto Final State, colonne da C a I)
3. La categoria individuata (sotto Primary State, colonne da J a M)
4. Per i candidati Neutral Particles occorre immettere a mano la massa invariante (colonna N)
5. Terminata la compilazione selezionate le serie di dati per vedere i grafici

CMS Masterclass Spreadsheet Example-29Dec2025

File Edit View Insert Format Data Tools Extensions Help

100% 123 Default... 10 + B Z

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE
2	Event ID Nos.	Final State - choose only one per row	Primary State - choose only one per row	If NP, enter Mass (GeV)	Do not write to the right!	Lepton counts	W boson counts	Event Display										Masses for plots													
3	File	Event	e-nu	mu-nu	ee	mumu	4e	4mu	2e2mu	W+	W-	Wz	NP	Zoo	Mass (GeV)	Do not write to the right!	e	mu	e/mu	W+	W-	Wz	W+W-	NP Zoo	2-lep	4-lep					
3	100	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	215.50		210	211	1.04	121	04	1	1.287234	3					215.50		
4		2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10.47															10.47	
5		3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																	
6		4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																	
7		5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																	
8		6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																	
9		7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																	
10		8	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																	
11		9	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																	
12		10	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																	
13		11	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																	
14		12	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	254.08															254.08	
15		13	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																	
16		14	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	83.92															83.92	
17		15	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																	
18		16	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																	
19		17	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	92.50															92.50	
20		18	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																	
21		19	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																	
22		20	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																	
23		21	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9.88															9.88	
24		22	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2.84															2.84	
25		23	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																	
26		24	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																	
27		25	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																	
28		26	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																	
29		27	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																	
30		28	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																	
31		29	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																	
32		30	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																	

Risultati

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

- 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:

- I moderatori combineranno i dati di tutti gli istituti e vi mostreranno l'istogramma di massa della combinazione
- Ogni istituto sarà chiamato a rispondere a una domanda (2 volontari!)
- Ci sarà uno spazio dedicato alle domande da parte vostra
- Sarete sottoposti a un quiz, trovate il foglio delle risposte in agenda

Possibili domande a cui essere pronti

- Where are the peaks in the Mass Histograms? What do they represent?
- Where is Z boson in the 2-lepton plot? What are the other peaks, then?
- Do you have possible Higgs events in the 4-lepton plot? Where? Can we claim discovery?
- Why does there appear to be a Z peak in the 4-lepton plot as well? Since the Z does not directly decay to 4 leptons, how do we explain this?
- Is there anything else significant in the 4-lepton plot?
- What do you expect the ratio of electron events to muon events to be? Is your result consistent with this?
- What is the ratio of W^+ to W^- bosons? What does this ratio tell us about protons?

Domande?