



ALLA RICERCA DEL BOSONE Z

Marco Vanadia

3 Marzo 2023

Tor Vergata

Università degli Studi Roma

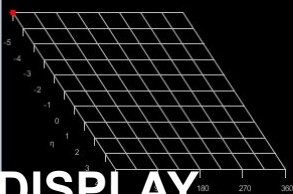
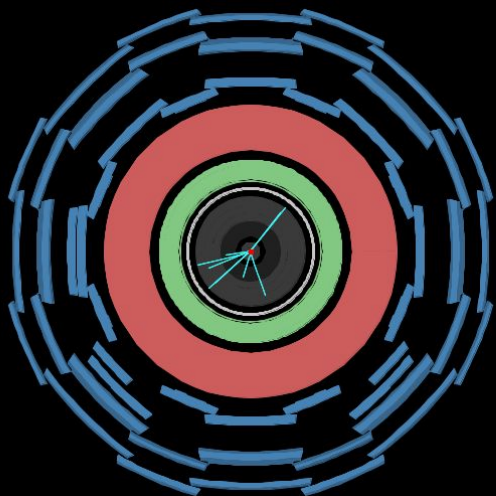


Hypatia 7.4: alla ricerca dello Z

 configuration	15/02/2016 20.22	Cartella di file	
 events	15/02/2016 20.22	Cartella di file	
 geometry	15/02/2016 20.22	Cartella di file	
 help	15/02/2016 20.22	Cartella di file	
 img	15/02/2016 20.22	Cartella di file	
 lib	15/02/2016 20.22	Cartella di file	
 Hypatia_7.4_Masterclass.jar	15/02/2016 20.22	Compressed file	2.545 KB
 HYPATIA_for_Linux.sh	15/02/2016 20.22	Shell Script	1 KB
 groupA.zip	15/02/2016 20.27	Cartella compressa	28.688 KB

PANNELLO 4: MASSA INVARIANTE

Canvas Window - File: JiveXML_106051_1950731.xml Run: 106051 Event: 1950731



PANNELLO 1: L'EVENT DISPLAY

HYPATIA - Track Momenta Window

ETMIs: 13,877 GeV ϕ : 0,785 rad Collection: MET_RefFinal

C:/Users/User/Documents/Hypatia_7_4_Masterclass/events/events4.zip\JiveXML_106051_1950731.xml

Tracks		Physics Objects					
Track	+/-	P [GeV]	+	Pt [GeV]	ϕ	θ	
Tracks 0	-	11,68	4,28	-1,319	0,375		
Tracks 1	+	126,06	39,41	-2,413	0,318		
Tracks 2	+	4,57	4,56	-2,783	1,649		
Tracks 3	-	167,90	53,01	0,906	0,321		
Tracks 4	-	1,34	1,33	-2,949	1,475		
Tracks 5	-	1,75	1,74	-3,090	1,645		
Tracks 6	+	18,61	3,94	-1,818	0,214		

PANNELLO 2: TRACCE E OGGETTI

HYPATIA - Control Window

Data	Name	Value
<input checked="" type="checkbox"/>	Status	
<input checked="" type="checkbox"/>	InDet	
<input checked="" type="checkbox"/>	Calo	
<input checked="" type="checkbox"/>	MuonDet	
<input checked="" type="checkbox"/>	Objects	

PANNELLO 3: CONTROLLI

The screenshot displays the HYPATIA software interface, which is used for analyzing particle interactions. The main window is divided into several panels:

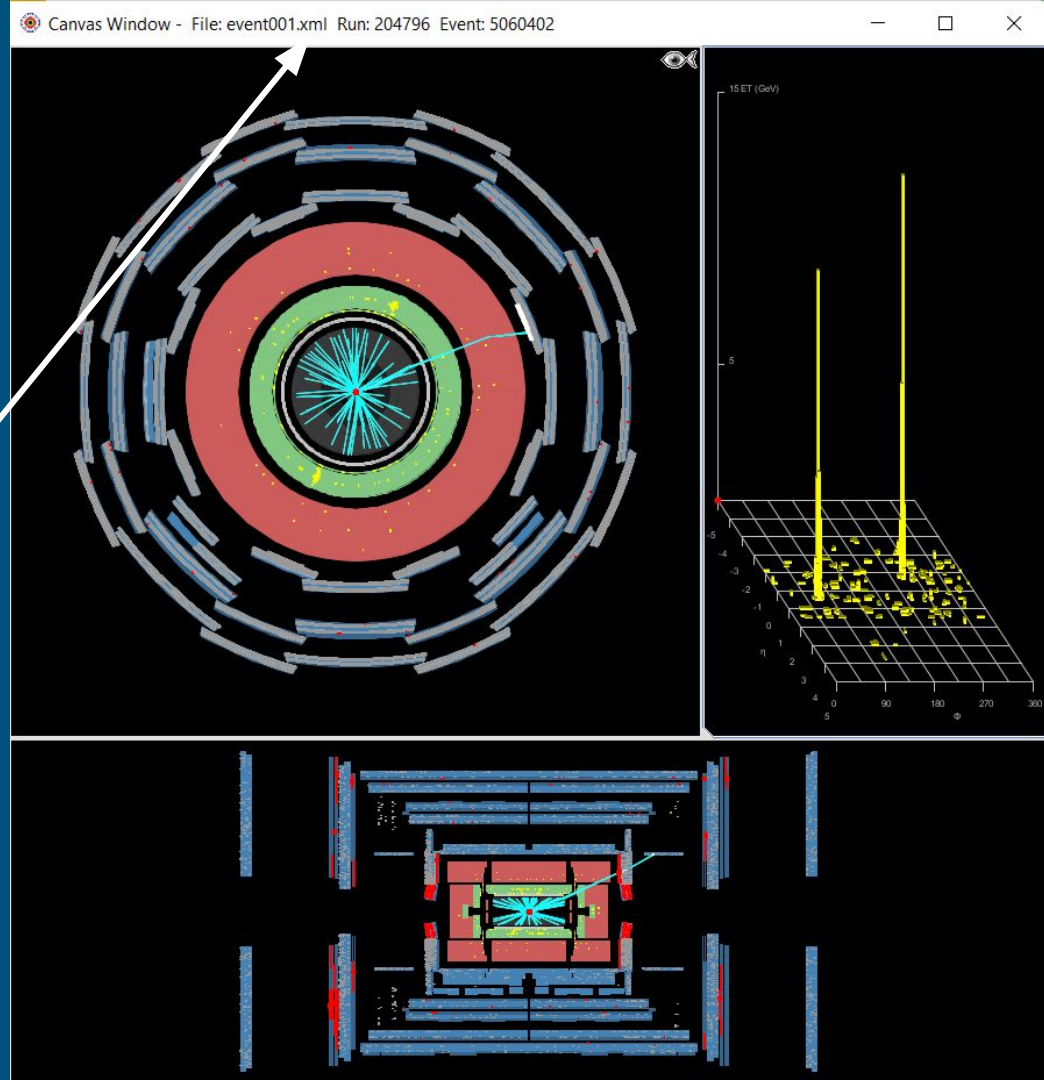
- Canvas Window:** Shows a top-down view of the detector geometry with tracks. A red arrow points to the 'File' menu in the top-left corner.
- Track Momenta Window:** Displays track parameters such as ET_{Mis} (13,877 GeV), ϕ (0,785 rad), and η . It also shows a list of tracks and a table of event data.
- Control Window:** Contains tabs for 'Parameter Control', 'Interaction and Window Control', and 'Output Display'. The 'Data' tab is active, showing a list of data objects with checkboxes for 'Status', 'InDet', 'Calo', 'MuonDet', and 'Objects'.
- File Management:** An 'Apri' (Open) dialog box is open, showing the file path `C:/Users/User/Documents/Hypatia_7.4_Masterclass/events/events4.zip/LiveXML_106051_1950731.xml` and a list of files in the directory.

File Name	ETMis [GeV]	Track	P [GeV]	ϕ	η	M(2) [GeV]	M(eeee) [GeV]	M(eemm) [GeV]	M(mmmm) [GeV]	e/m/g
0.375	0.318	1.649	0.321	1.475	1.645	1.645	0.214			

FILE -> READ EVENT LOCALLY -> CARICARE FILE CON IL NOME DEL GRUPPO CONTENENTE GLI EVENTI

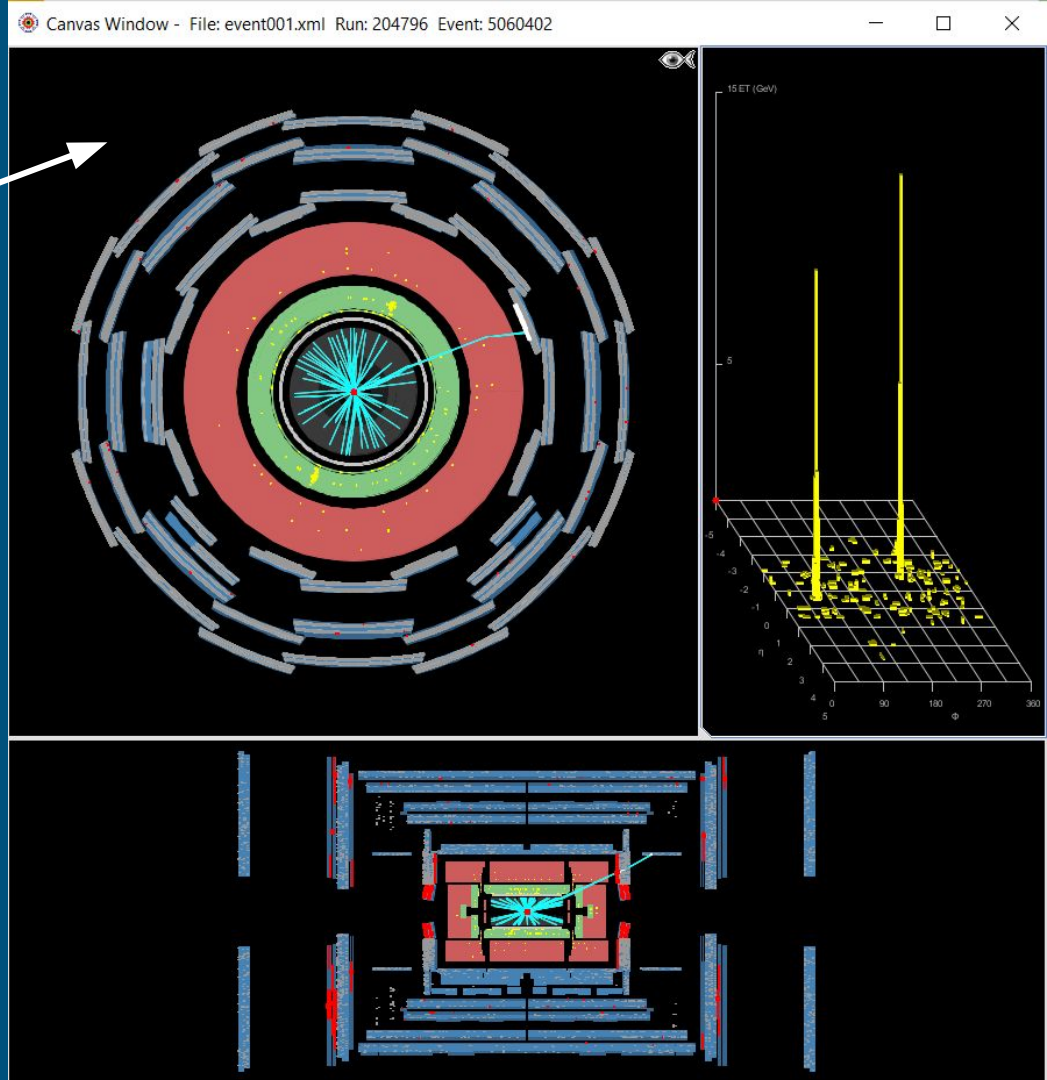
L'EVENT DISPLAY

- Numero identificativo del run di dati (es: il run 204796 equivale ai dati presi dalle 12:34 alle 21:37 di un certo giorno)
- Ogni evento ha un unico numero identificativo



L'EVENT DISPLAY

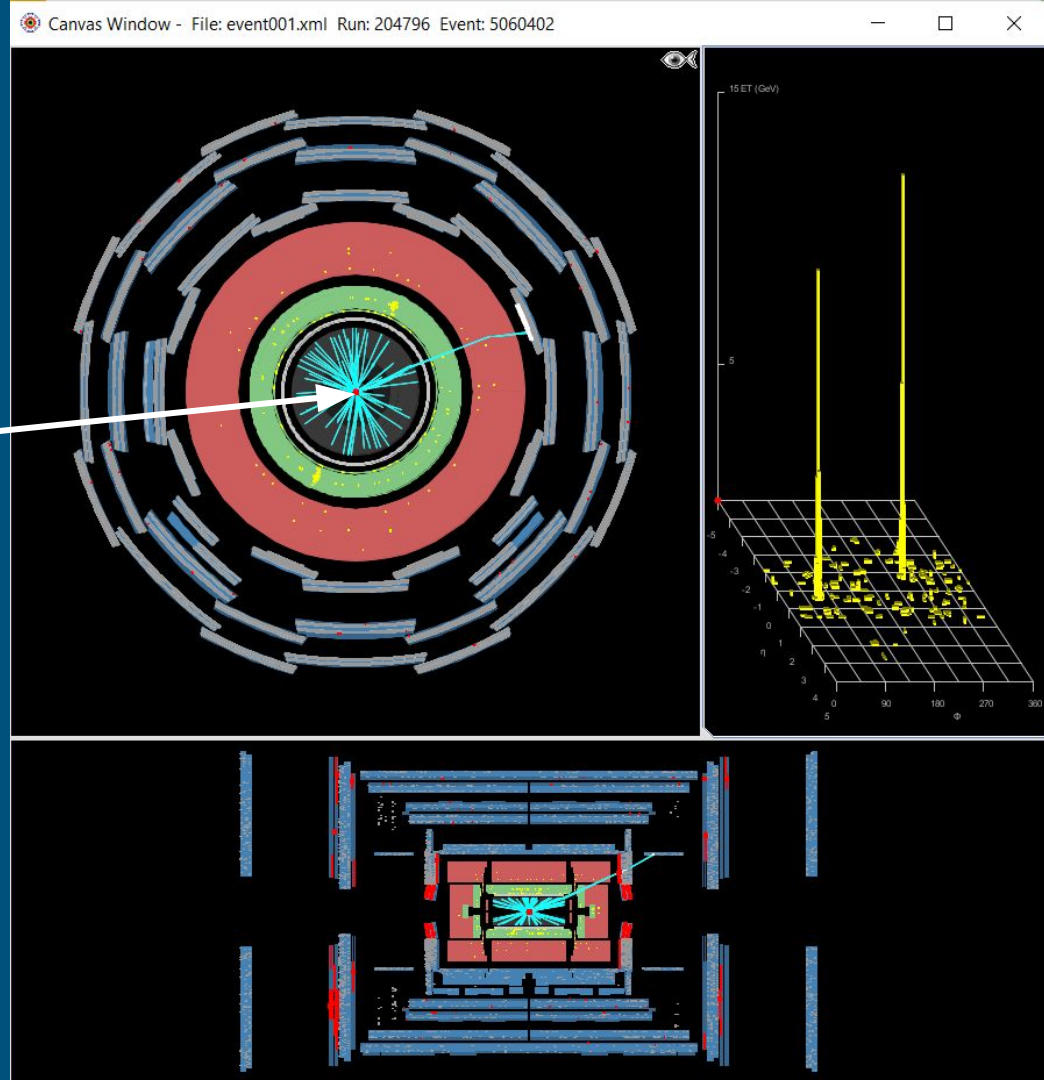
Vista trasversale



L'EVENT DISPLAY

Vista trasversale

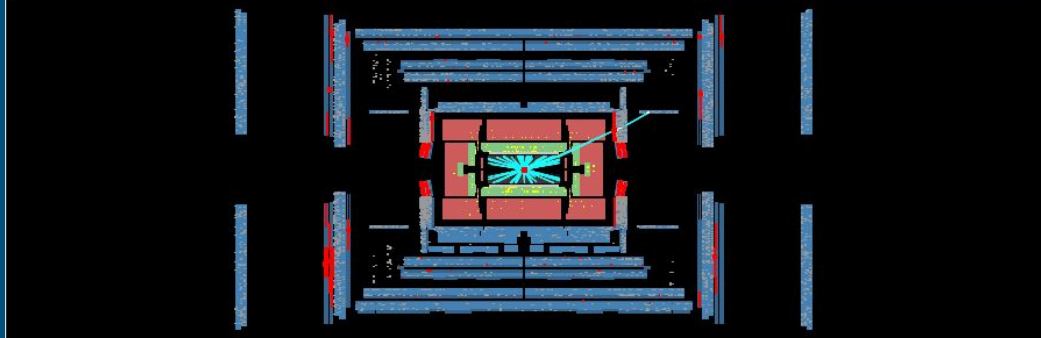
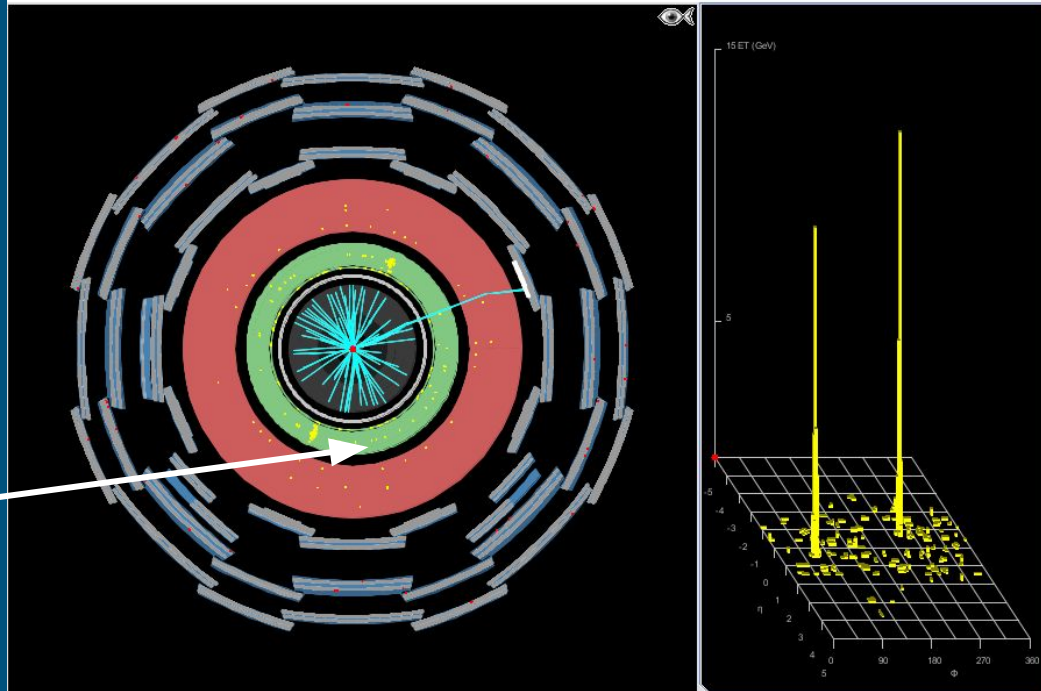
- Tracciatore interno con tracce in azzurro



L'EVENT DISPLAY

Vista trasversale

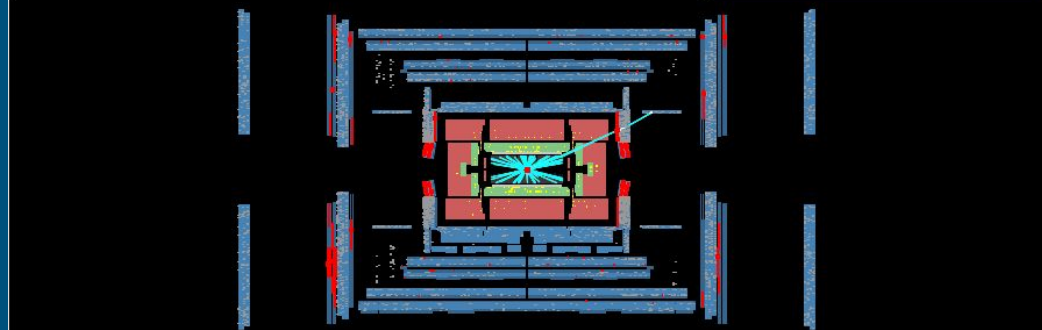
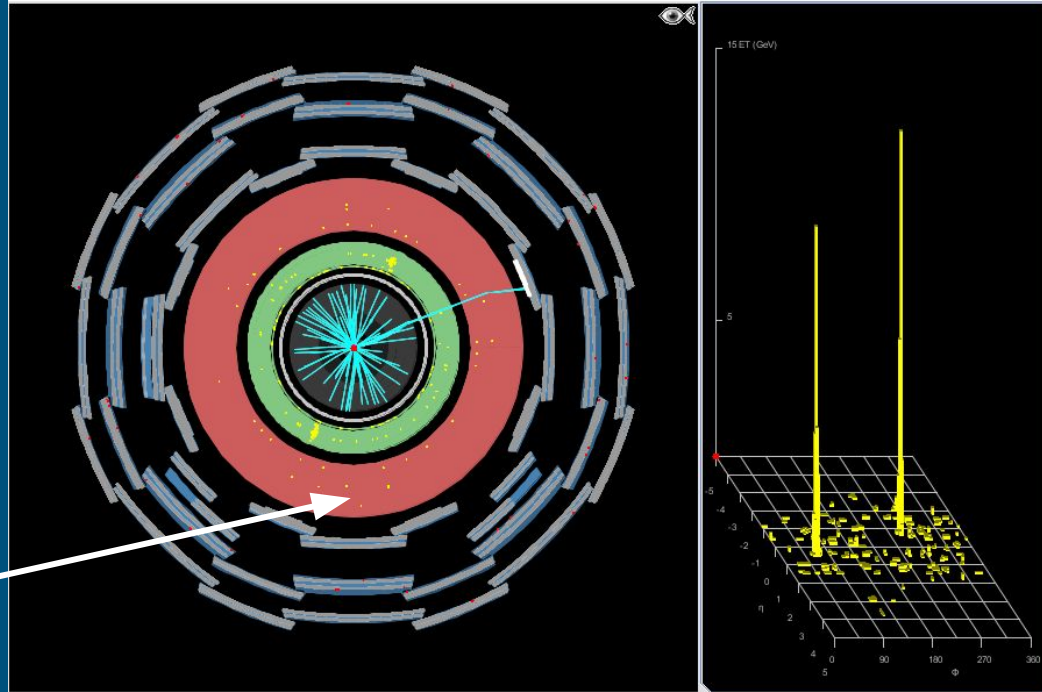
- Tracciatore interno con tracce in azzurro
- Calorimetro elettromagnetico con depositi di energia in giallo



L'EVENT DISPLAY

Vista trasversale

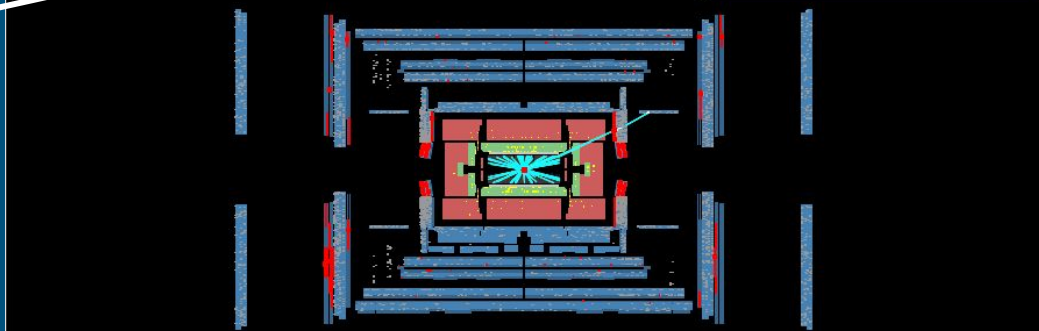
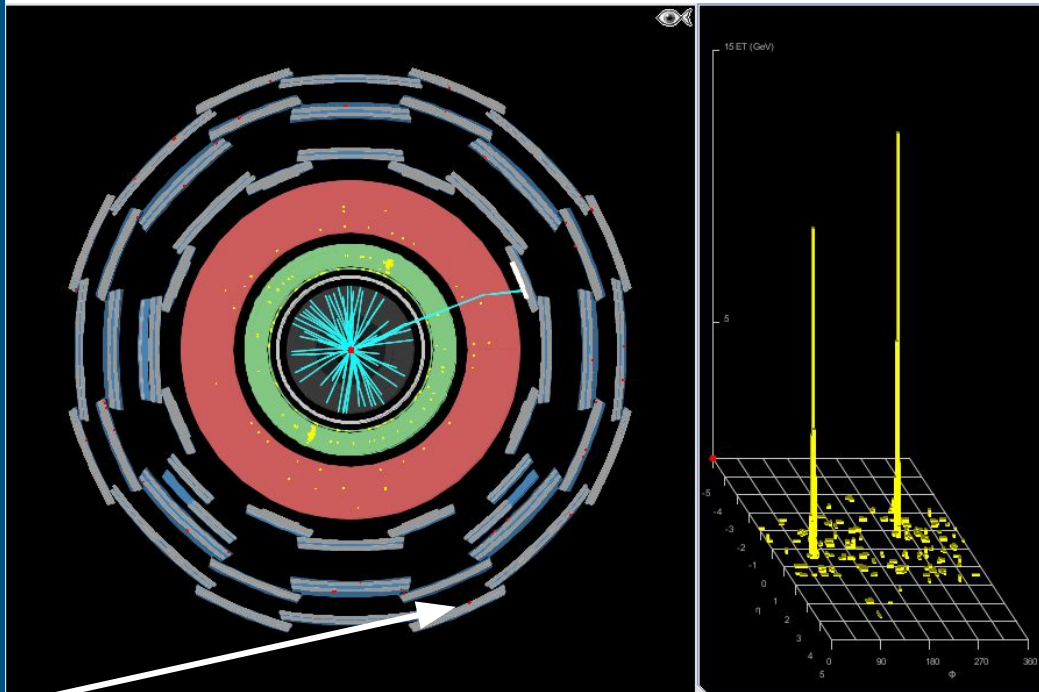
- Tracciatore interno con tracce in azzurro
- Calorimetro elettromagnetico con depositi di energia in giallo
- Calorimetro adronico con depositi di energia in giallo



L'EVENT DISPLAY

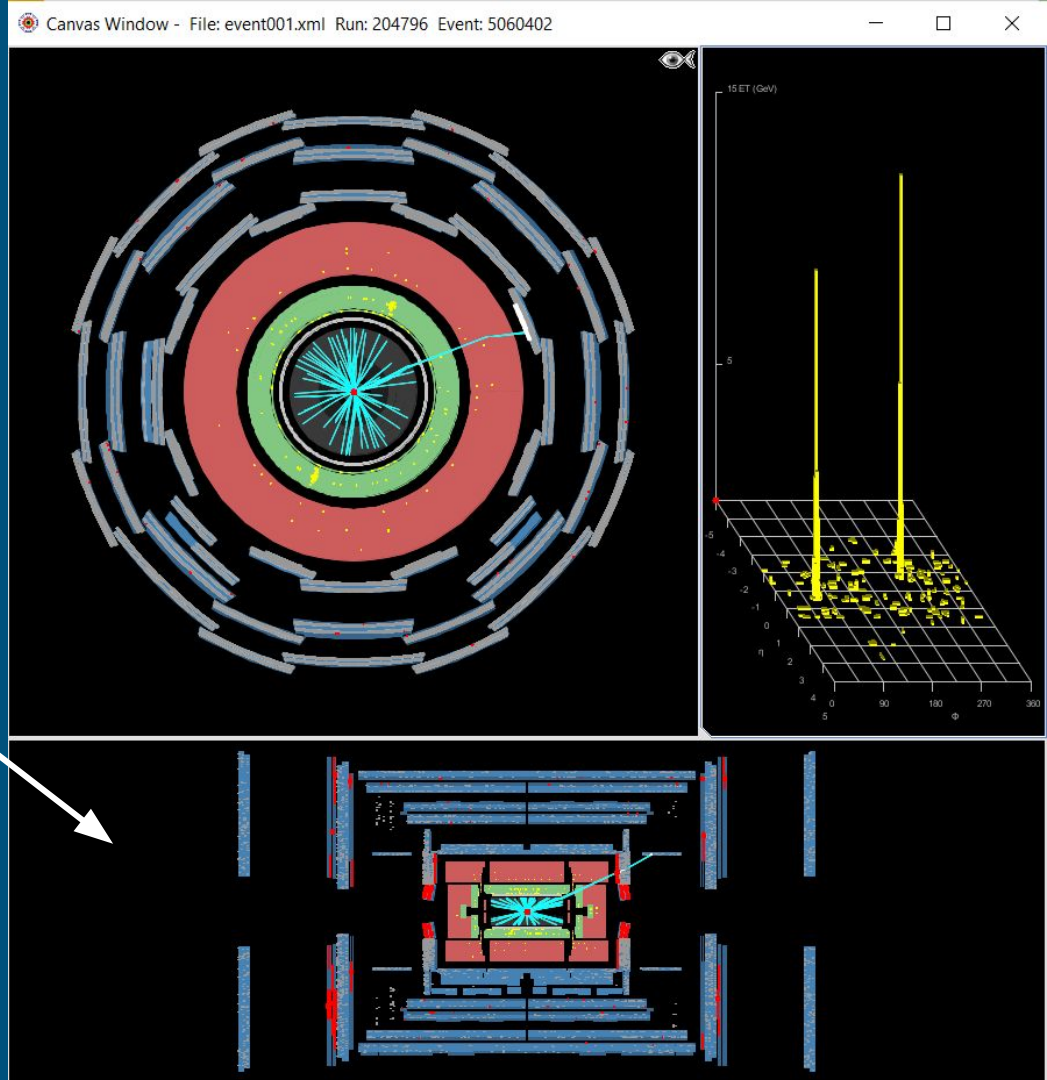
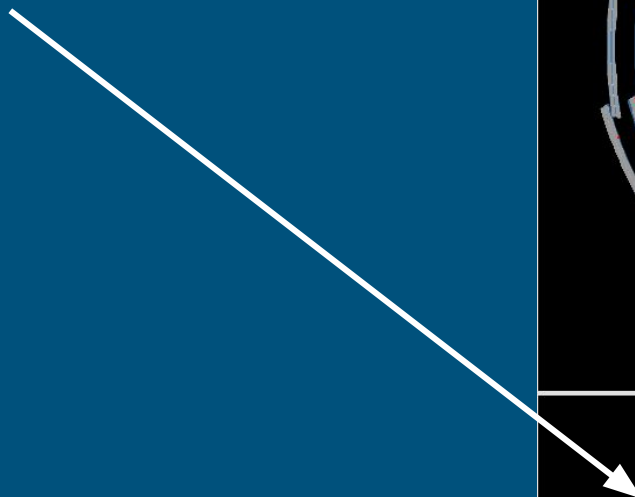
Vista trasversale

- Tracciatore interno con tracce in azzurro
- Calorimetro elettromagnetico con depositi di energia in giallo
- Calorimetro adronico con depositi di energia in giallo
- Camere per muoni con gli hit in rosso



L'EVENT DISPLAY

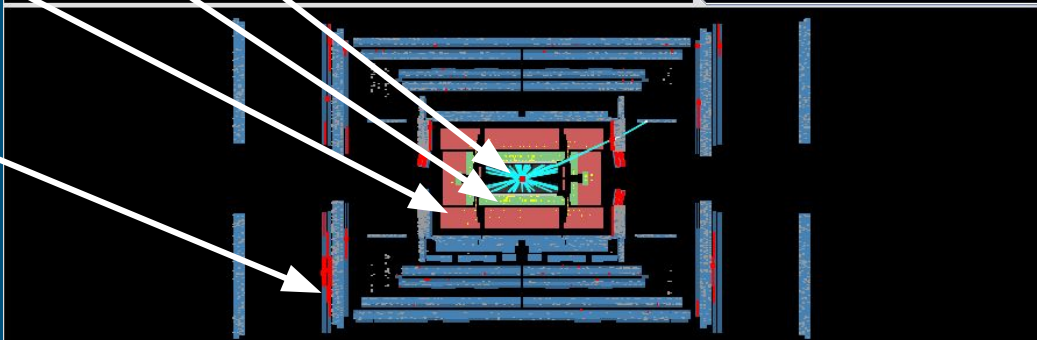
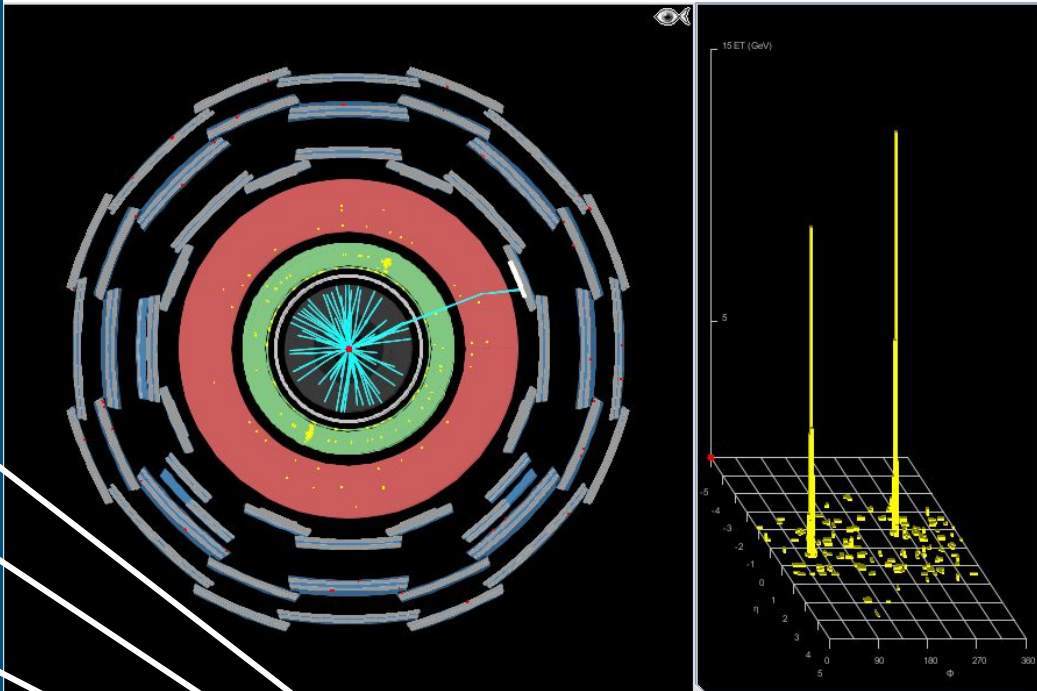
Vista laterale



L'EVENT DISPLAY

Vista laterale

- Tracciatore interno con tracce in azzurro
- Calorimetro elettromagnetico con depositi di energia in giallo
- Calorimetro adronico con depositi di energia in giallo
- Camere per muoni con gli hit in rosso

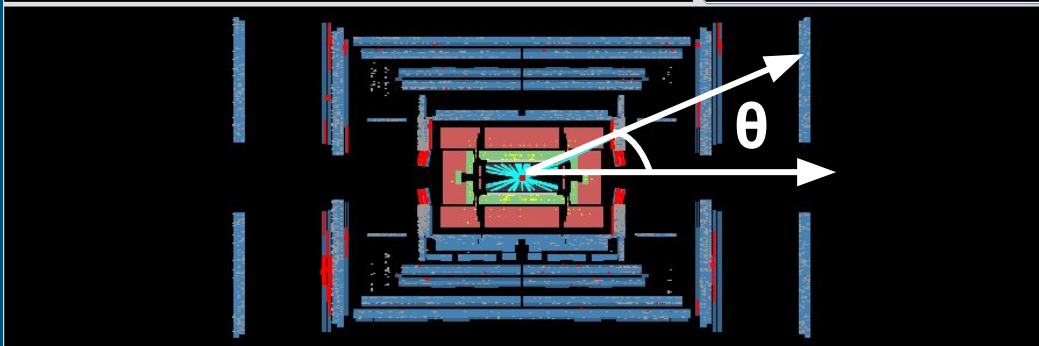
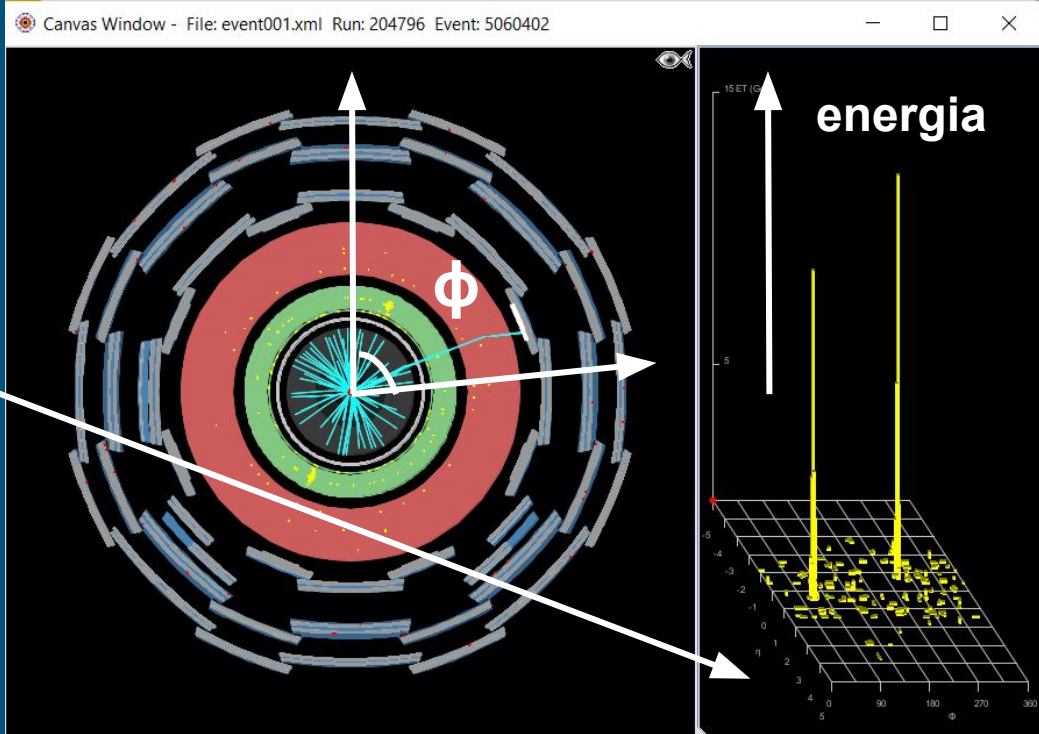


L'EVENT DISPLAY

Display depositi elettromagnetici:

diagramma delle energie nel calorimetro elettromagnetico in funzione della posizione nel rivelatore η - ϕ

η è una funzione di θ :
 $\eta = -\ln[\tan(\theta/2)]$



Cosa stiamo cercando?

Il bosone Z nei suoi decadimenti leptonici:

- $Z \rightarrow e^+e^-$
 - gli elettroni (e i positroni) sono particelle cariche, quindi dobbiamo cercare una coppia di tracce con carica opposta nel tracciatore interno
 - il bosone Z ha una massa alta, mi aspetto che le tracce degli elettroni abbiano un alto impulso trasverso (p_T)
 - gli elettroni nella materia interagiscono e producono sciami elettromagnetici: vedrò dei depositi di energia nel calorimetri elettromagnetico (verde)

Devo stare attento a non confondermi con i fotoni: i fotoni producono depositi di energia simili a quelli degli elettroni, ma non hanno nessuna traccia associata nel rivelatore interno (o ne hanno due, ma ne parliamo dopo...)

Cosa stiamo cercando?

Il bosone Z nei suoi decadimenti leptonici:

- $Z \rightarrow \mu^+ \mu^-$
 - i muoni (e gli antimuoni) sono particelle cariche, quindi dobbiamo cercare una coppia di tracce con carica opposta nel tracciatore interno
 - i muoni lasciano modesti depositi elettromagnetici, però riescono a superare i calorimetri e hanno tracce anche nello spettrometro per muoni...
 - il bosone Z ha una massa alta, quindi mi aspetto che le tracce dei muoni abbiano un alto impulso trasverso (p_T)

Come lo cerchiamo?

Sfruttiamo il pannello delle tracce e il pannello di controllo

Possiamo usarli per navigare tra gli event

The screenshot displays the HYPATIA software interface, divided into two main windows: 'HYPATIA - Track Momenta Window' and 'HYPATIA - Control Window'.

HYPATIA - Track Momenta Window: This window features a menu bar with options like 'File', 'Previous Event', 'Next Event', 'Electron', 'Muon', 'Photon', 'Delete Track', and 'Reset Canvas'. Below the menu, it shows the current event parameters: 'ETMis: 4,167 GeV', ' ϕ : 3,040 rad', and 'Collection: MET_RefFinal'. The main area contains a table with columns for 'Track', '+/-', 'P [GeV]', 'Pt [GeV]', ' ψ ', and ' θ '. The table lists data for tracks 4 through 67. Two red arrows point from the text on the left to the 'Previous Event' and 'Next Event' buttons in the menu bar.

Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	ψ	θ
Tracks 4	-	5.83	1.43	0.509	0.248
Tracks 7	-	3.40	1.06	-2.977	0.316
Tracks 8	+	47.07	37.95	-1.978	2.204
Tracks 9	-	2.34	1.28	2.093	0.580
Tracks 11	-	5.42	1.44	0.516	0.269
Tracks 12	-	2.96	1.20	-2.802	2.724
Tracks 13	-	8.30	1.47	2.483	2.964
Tracks 14	-	6.58	2.03	-1.081	0.313
Tracks 15	+	7.59	1.50	-1.220	2.943
Tracks 17	-	2.00	1.12	2.214	2.546
Tracks 21	+	2.65	1.91	-0.290	2.338
Tracks 25	+	6.27	1.30	2.975	0.209
Tracks 27	-	4.12	1.43	0.256	0.355
Tracks 28	-	1.92	1.65	2.064	1.039
Tracks 31	-	1.58	1.54	-1.098	1.367
Tracks 33	-	3.08	1.21	-1.953	0.406
Tracks 35	-	2.88	1.13	-2.993	0.404
Tracks 36	+	2.09	1.86	-1.513	1.094
Tracks 41	-	2.52	1.86	2.745	0.832
Tracks 42	+	1.29	1.22	1.668	1.247
Tracks 44	+	3.95	1.00	-2.840	0.256
Tracks 48	+	3.90	1.10	2.977	0.286
Tracks 49	-	2.86	1.09	0.165	0.391
Tracks 58	+	1.95	1.95	2.874	1.561
Tracks 63	-	8.03	1.87	-0.613	2.906
Tracks 67	-	1.02	1.01	-2.092	1.491

HYPATIA - Control Window: This window has tabs for 'Parameter Control', 'Interaction and Window Control', and 'Output Display'. Under 'Output Display', there are sub-tabs for 'Projection', 'Data', 'Cuts', 'InDet', 'Calo', 'MuonDet', 'Objects', and 'Geometry'. The 'Data' tab is active, showing a table with 'Name' and 'Value' columns. The 'Status' row is checked, and its value is expanded to show a list of checked items: 'InDet', 'Calo', 'MuonDet', and 'Objects'.

Il pannello delle tracce

Contiene l'elenco di tutte le tracce e delle loro proprietà:

- carica
- impulso
- impulso trasverso

Track	+	-	P [GeV]	Pt [GeV]	ϕ	θ
Tracks 4			5,83	1,43	0,509	0,248
Tracks 7	-		3,40	1,06	-2,977	0,316
Tracks 8	+		47,07	37,95	-1,978	2,204
Tracks 10	-		2,34	1,28	2,093	0,580
Tracks 11	-		5,42	1,44	0,516	0,269
Tracks 12	-		2,96	1,20	-2,802	2,724
Tracks 13	-		8,30	1,47	2,483	2,964
Tracks 14	-		6,58	2,03	-1,081	0,313
Tracks 15	+		7,59	1,50	-1,220	2,943
Tracks 17	-		2,00	1,12	2,214	2,546
Tracks 21	+		2,65	1,91	-0,290	2,338
Tracks 25	+		6,27	1,30	2,975	0,209
Tracks 27	-		4,12	1,43	0,256	0,355
Tracks 28	-		1,92	1,65	2,064	1,039
Tracks 31	-		1,58	1,54	-1,098	1,367
Tracks 33	-		3,08	1,21	-1,953	0,406
Tracks 35	-		2,88	1,13	-2,993	0,404
Tracks 36	+		2,09	1,86	-1,513	1,094
Tracks 41	-		2,52	1,86	2,745	0,832
Tracks 42	+		1,29	1,22	1,668	1,247
Tracks 44	+		3,95	1,00	-2,840	0,256
Tracks 48	+		3,90	1,10	2,977	0,286
Tracks 49	-		2,86	1,09	0,165	0,391
Tracks 58	+		1,95	1,95	2,874	1,561
Tracks 63	-		8,03	1,87	-0,613	2,906
Tracks 67	-		1,02	1,01	-2,092	1,491

Il pannello delle tracce

Contiene l'elenco di tutte le tracce e delle loro proprietà:

- carica
- impulso
- impulso trasverso

La finestra mostra anche l'energia "invisibile" (ad esempio dovuta a neutrini) dell'evento.

Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	ϕ	θ
Tracks 4	-	5,83	1,43	0,509	0,248
Tracks 7	-	3,40	1,06	-2,977	0,316
Tracks 8	+	47,07	37,95	-1,978	2,204
Tracks 10	-	2,34	1,28	2,093	0,580
Tracks 11	-	5,42	1,44	0,516	0,269
Tracks 12	-	2,96	1,20	-2,802	2,724
Tracks 13	-	8,30	1,47	2,483	2,964
Tracks 14	-	6,58	2,03	-1,081	0,313
Tracks 15	+	7,59	1,50	-1,220	2,943
Tracks 17	-	2,00	1,12	2,214	2,546
Tracks 21	+	2,65	1,91	-0,290	2,338
Tracks 25	+	6,27	1,30	2,975	0,209
Tracks 27	-	4,12	1,43	0,256	0,355
Tracks 28	-	1,92	1,65	2,064	1,039
Tracks 31	-	1,58	1,54	-1,098	1,367
Tracks 33	-	3,08	1,21	-1,953	0,406
Tracks 35	-	2,88	1,13	-2,993	0,404
Tracks 36	+	2,09	1,86	-1,513	1,094
Tracks 41	-	2,52	1,86	2,745	0,832
Tracks 42	+	1,29	1,22	1,668	1,247
Tracks 44	+	3,95	1,00	-2,840	0,256
Tracks 48	+	3,90	1,10	2,977	0,286
Tracks 49	-	2,86	1,09	0,165	0,391
Tracks 58	+	1,95	1,95	2,874	1,561
Tracks 63	-	8,03	1,87	-0,613	2,906
Tracks 67	-	1,02	1,01	-2,092	1,491

The image displays the HYPATIA software interface, which is used for visualizing particle tracks and event data. It consists of several windows:

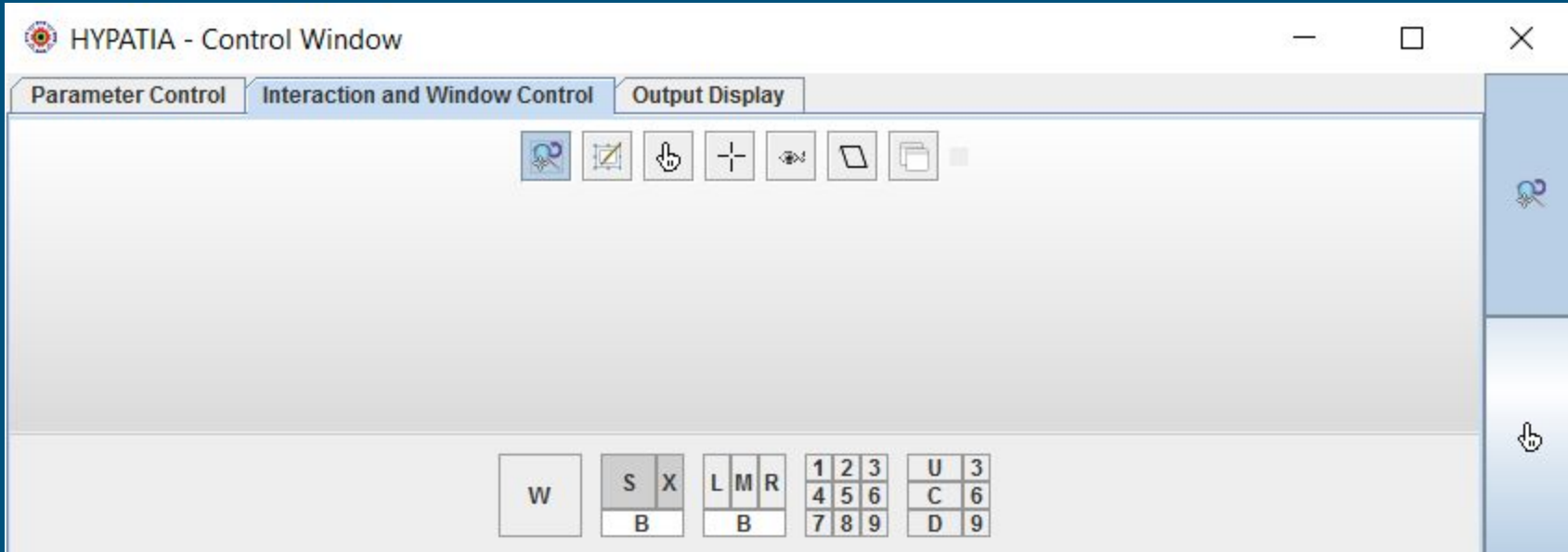
- Canvas Window (Top Left):** Shows a top-down view of the detector geometry with a central event display. The event is visualized as a series of concentric rings (red, green, blue) with a central blue point and radiating tracks. Yellow arrows indicate the direction of the tracks.
- Canvas Window (Top Right):** Shows a 3D view of the detector geometry with a central event display. The event is visualized as a series of concentric rings (red, green, blue) with a central blue point and radiating tracks. Yellow arrows indicate the direction of the tracks.
- HYPATIA - Track Momenta Window (Top Right):** Displays the track momenta for the event. The window shows the event name, energy, and collection name. Below this is a table of tracks and physics objects.
- HYPATIA - Control Window (Bottom Right):** Contains parameter control and interaction and window control options. It has tabs for Projection, Data, Cuts, InDet, Calo, MuonDet, Objects, and Geometry. The Data tab is active, showing a table of data.

Track	P [GeV]	PI [GeV]	ψ	θ
Object 0	60.24	46.21	1.154	0.874
Object 1	47.61	47.60	-1.931	1.554

Name	Value
Status	
InDet	
Calo	
MuonDet	
Objects	

- L'energia mancante (o invisibile) è mostrata nell'event display come una linea tratteggiata quando non è trascurabile
- Il pannello delle tracce ha anche una tab "physics object" che mostra dei depositi elettromagnetici di alta energia, potenzialmente dovuti a fotoni

Il pannello di controllo



- Il pannello di controllo è molto ricco (state attenti a non perdervi...)
- Si può usare ad esempio per interagire con l'event display: selezionare se si vuole zoomare, o trascinare, ad esempio

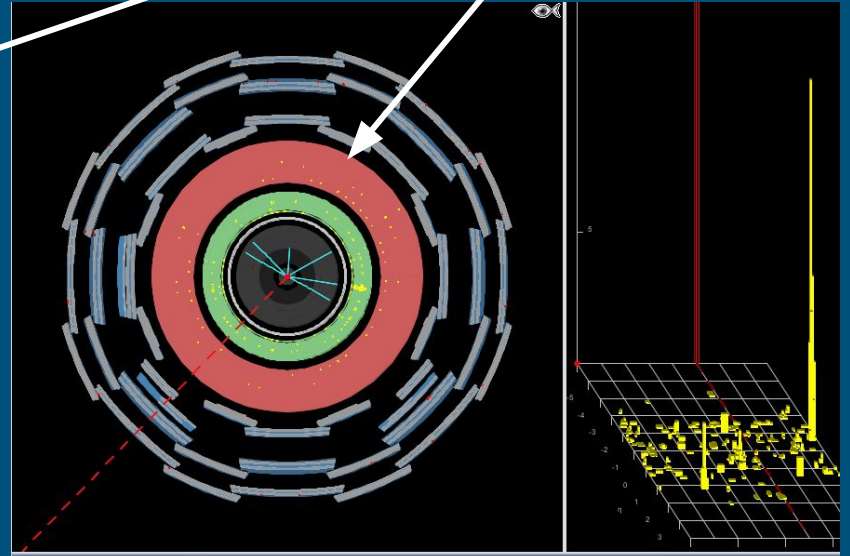
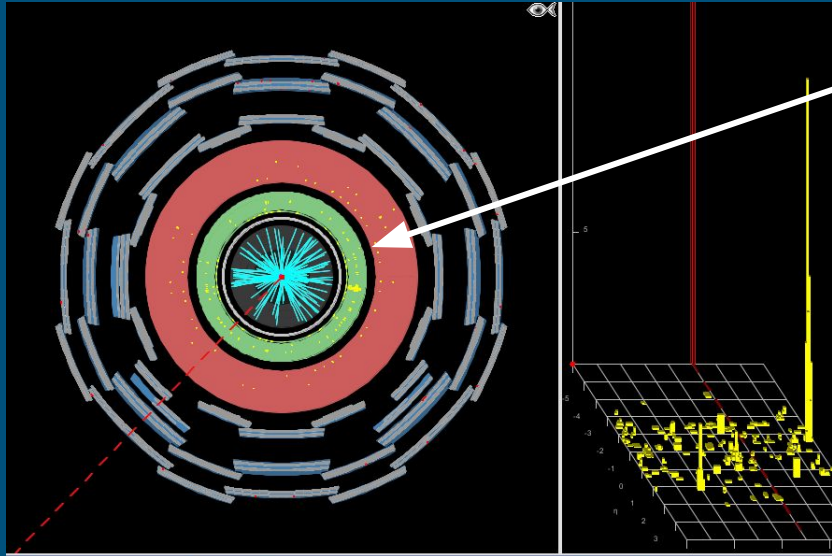
Il pannello di controllo

	Name	Value
<input checked="" type="checkbox"/>	Pt	> 10.0 GeV
<input type="checkbox"/>	Pt2	< 700.0 MeV
<input checked="" type="checkbox"/>	d0	< 2.5 mm
<input checked="" type="checkbox"/>	z0	< 20.0 cm
<input type="checkbox"/>	d0 Loose	< 2.0 cm
<input type="checkbox"/>	z0-zVtx	< 2.5 mm
<input type="checkbox"/>	Layer	> 0

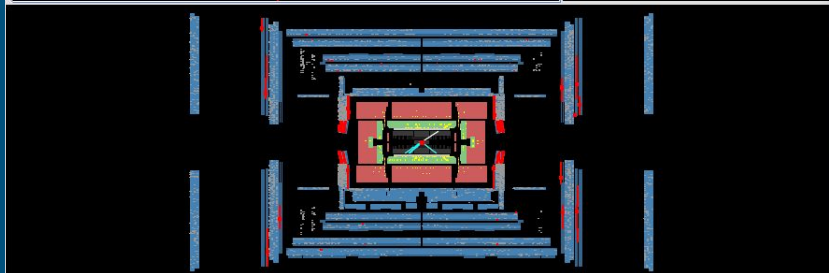
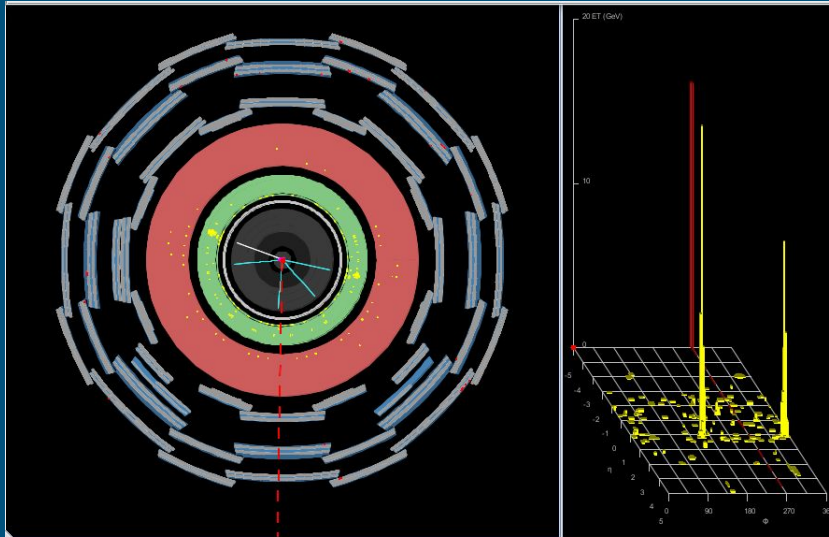
- Nella tab dei parametri potete inserire delle selezioni sull'evento che vi aiutino a capire se stiamo guardando un evento con uno Z o no
- Ad esempio, posso chiedere che le tracce abbiano Pt (impulso trasverso alto): dall'event display scompariranno le tracce di basso impulso

Il pannello di controllo

Lo stesso evento con un taglio sul Pt delle tracce pari a 1 GeV e a 10 GeV



Ad esempio in questo evento vedo che ci sono 5 tracce con $P_t > 10$ GeV
La traccia 221, evidenziata in bianco quando la selezione, è associata a un deposito calorimetrico (devo controllarlo sia nella vista trasversale che in quella laterale!!!)
E' carica negativamente

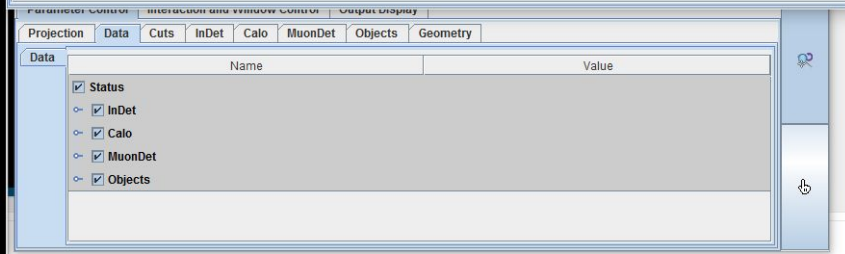
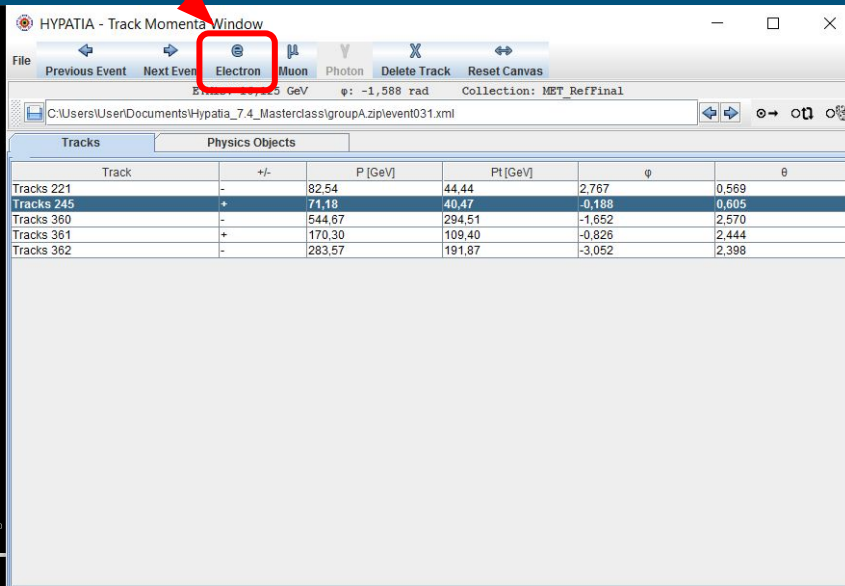
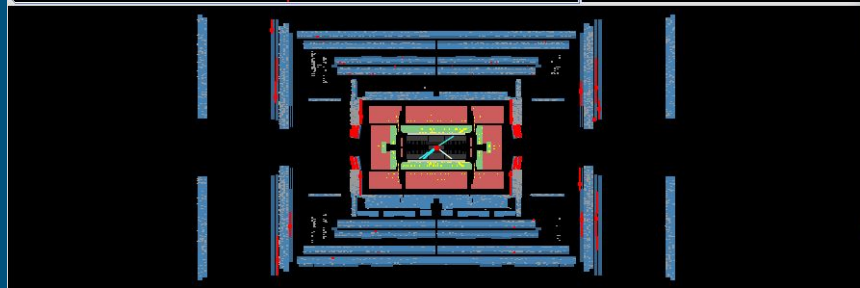
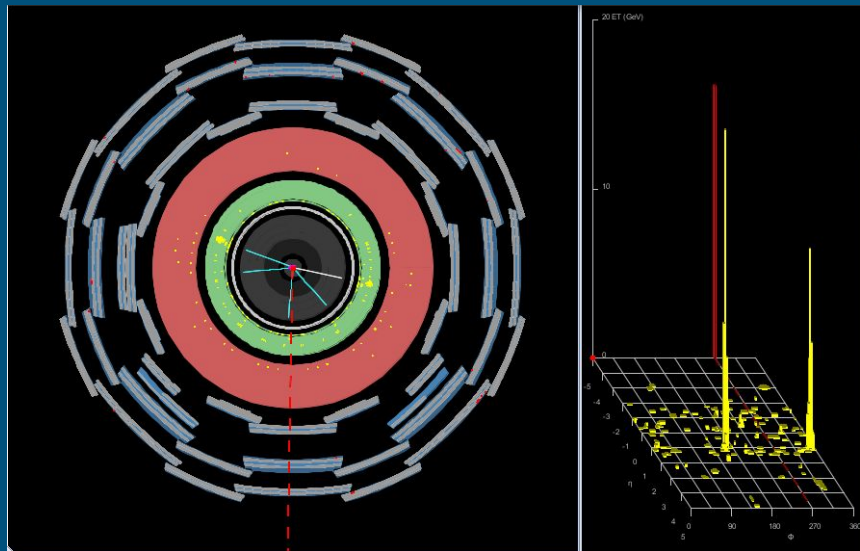


The screenshot shows the HYPATIA - Track Momenta Window software interface. The window title is 'HYPATIA - Track Momenta Window'. The interface includes a menu bar with options like 'File', 'Previous Event', 'Next Event', 'Electron', 'Muon', 'Photon', 'Delete Track', and 'Reset Canvas'. Below the menu bar, there are status bars showing 'ETMis: 16,125 GeV' and 'phi: -1,588 rad'. The main content area is divided into two tabs: 'Tracks' and 'Physics Objects'. The 'Tracks' tab is active, displaying a table of tracks. Track 221 is highlighted in white. A red arrow points to the track 221 row in the table. Below the table, there are tabs for 'Parameter Control', 'Interaction and Window Control', and 'Output Display'. The 'Data' tab is active, showing a table with columns for 'Name' and 'Value'. The table contains several rows, including 'Status', 'InDet', 'Calo', 'MuonDet', and 'Objects', all of which are checked.

Track		P [GeV]	Pt [GeV]	ϕ	θ
Tracks 221	-	82.54	44.44	2.767	0.569
Tracks 245	+	71.18	40.47	-0.188	0.605
Tracks 360	-	544.67	294.51	-1.652	2.570
Tracks 361	+	170.30	109.40	-0.826	2.444
Tracks 362	-	283.57	191.87	-3.052	2.398

Name	Value
<input checked="" type="checkbox"/> Status	
<input checked="" type="checkbox"/> InDet	
<input checked="" type="checkbox"/> Calo	
<input checked="" type="checkbox"/> MuonDet	
<input checked="" type="checkbox"/> Objects	

La traccia 245 è associata a un deposito di energia nel calorimetro elettromagnetico, ed è carica positivamente: sto forse vedendo un evento in cui uno Z è decaduto in una coppia elettrone-positrone? Provo a selezionare le tracce e a identificarle come elettroni



La finestra della massa invariante

Quando le identifico come elettroni, le tracce mi appaiono nella finestra massa invariante. La massa invariante di questa coppia e^+e^- mi appare qui

E' molto alta: 84.5 GeV !

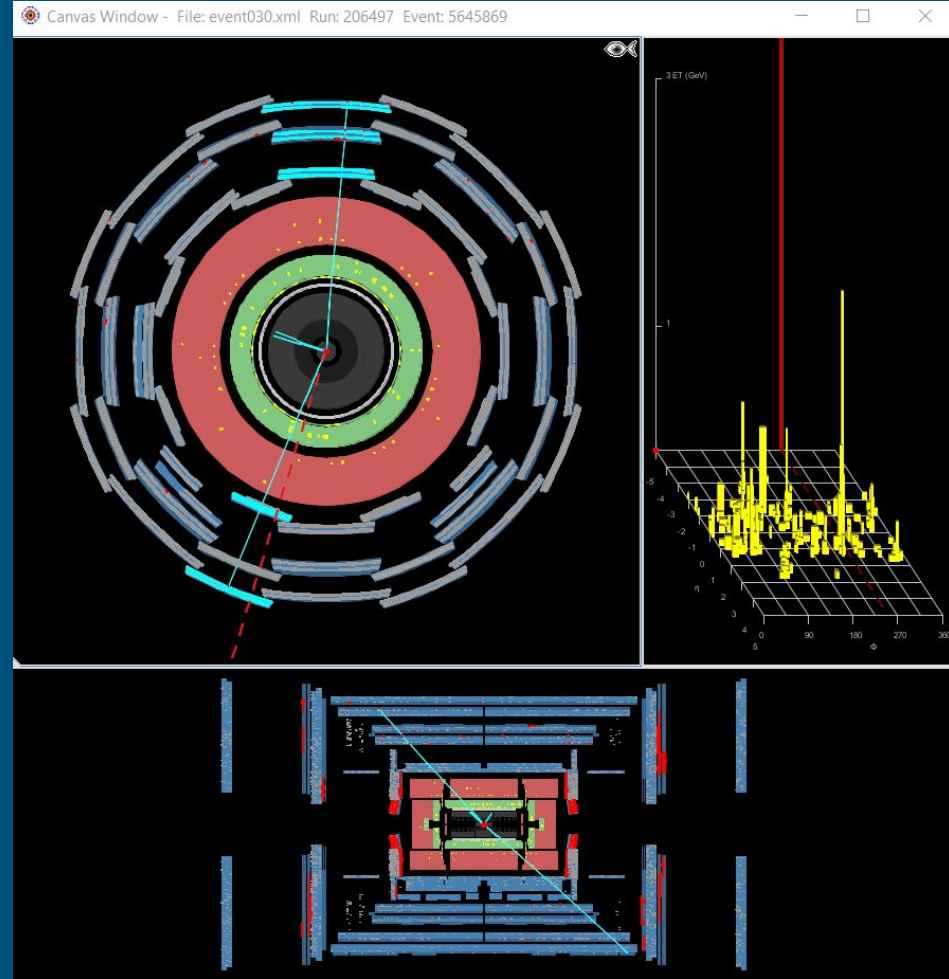
Questo evento sembra un buon candidato $Z \rightarrow e^+e^-$



File Name	ETMis [GeV]	Track	P [GeV]	+/-	Pt [GeV]	ϕ	η	M(Z) [GeV]	M(eeee) [GeV]	M(eemm) [GeV]	M(mmmm) [GeV]	e/m/g
event031.xml	16,125	Tracks 221	82,5	-	44,4	2,767	1,230	84,490				e
		Tracks 245	71,2	+	40,5	-0,188	1,165					

E un evento con i muoni?

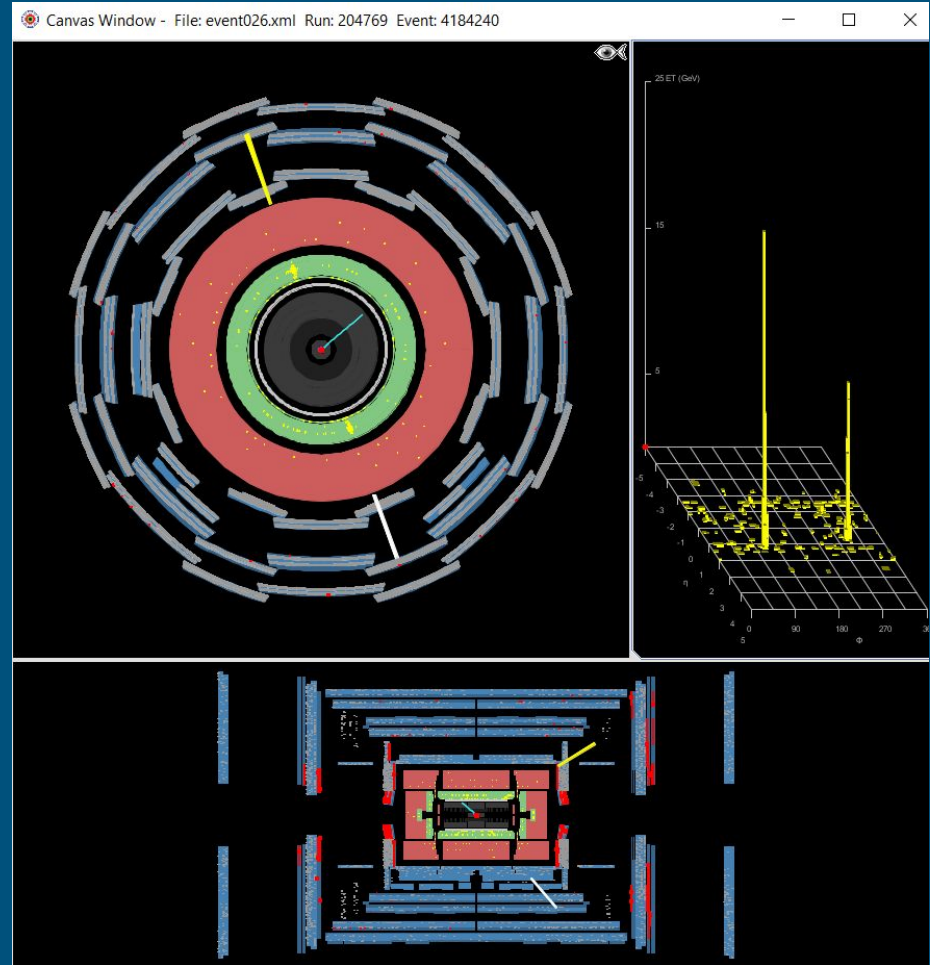
Qui vedo un evento con
due tracce di muoni, che
arrivano fino allo
spettrometro per muoni...
sarà un evento $Z \rightarrow \mu^+ \mu^-$?



E un evento con i fotoni?

In questo evento ci sono due depositi EM senza tracce corrispondenti... sembrano dei fotoni.

Ma lo Z non può decadere in due fotoni! Cosa può essere?



Che cosa posso trovare negli eventi?

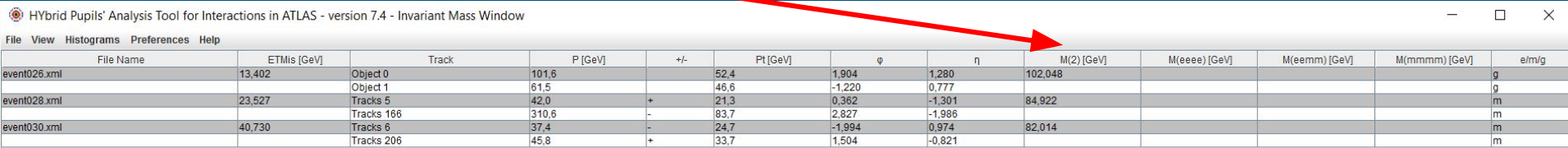
- La J/ψ o la Υ sono particelle che decadono (tra le altre cose) in e^+e^- o in $\mu^+\mu^-$ con massa invariante bassa (circa 3 e 10 GeV rispettivamente)
- Lo Z decade (tra le altre cose) in e^+e^- o in $\mu^+\mu^-$ con massa invariante alta (molte decine di GeV)
- Lo Z' è una particella ipotetica, simile allo Z (ha gli stessi decadimenti) ma con massa invariante altissima (>1000 GeV)
- Il ***bosone di Higgs*** può decadere (tra le altre cose) in due Z o in due fotoni: se trovo una coppia di fotoni, o due coppie di elettroni/muoni ognuna delle quali corrisponde a uno Z , forse ho visto un ***bosone di Higgs***! Mi aspetto abbia una massa poco superiore ai 100 GeV
- Ci sono particelle ipotetiche come il ***gravitone***, che possono avere gli stessi decadimenti del ***bosone di Higgs***, ma avere una massa molto più alta!
- Ci sono poi eventi in cui non c'è niente di tutto questo: sono gli eventi di ***fondo*** (background)

Una piccola complicazione per i fotoni

- I fotoni tipicamente appaiono come un deposito di energia nel calorimetro elettromagnetico senza nessuna traccia associata
- Però è possibile che un fotone interagisca nel tracciatore interno e produca una coppia e^+e^- !
- In questo caso vedrei un deposito di energia nel calorimetro con due tracce associate!
- Come lo riconosco? Le due tracce hanno carica opposta, ma soprattutto il fotone ha massa nulla... allora la massa invariante delle due tracce deve essere molto vicina a 0
- In ATLAS circa il 40% dei fotoni viene ricostruito così!

Cosa dovete fare?

- Scorrete gli eventi che avete a disposizione, riconoscete le coppie di elettroni, muoni o fotoni, cercate di capire se l'evento e' associato a una Z o a una delle altre particelle interessanti (J/ψ , Y , **bosone di Higgs**, **gravitone**)
- Se pensate che l'evento sia un semplice evento di fondo, ignoratelo
- Altrimenti selezionate le particelle rilevanti e salvatele nel pannello della massa invariante
- Nel pannello vedrete sia la massa invariante delle coppie di particelle che selezionate, sia quella combinata di 4 particelle, se ne selezionate 4 in un evento



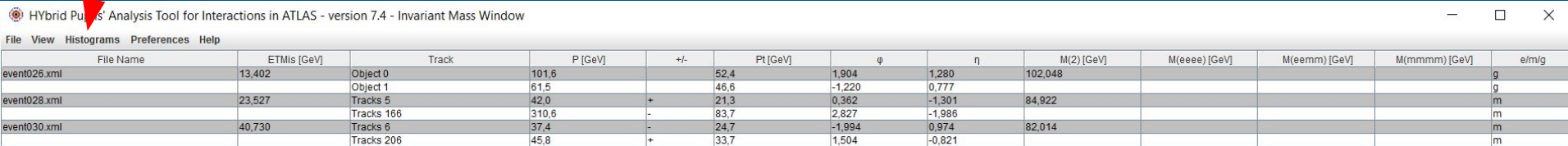
HYbrid Pupils' Analysis Tool for Interactions in ATLAS - version 7.4 - Invariant Mass Window

File View Histograms Preferences Help

File Name	ETMis [GeV]	Track	P [GeV]	+/-	Pt [GeV]	ϕ	η	M(2) [GeV]	M(eeee) [GeV]	M(eemm) [GeV]	M(mmmm) [GeV]	e/m/g
event026.xml	13,402	Object 0	101.6		52.4	1.904	1.280	102,048				g
		Object 1	61.5		46.6	-1.220	0.777					g
event028.xml	23,527	Tracks 5	42.0	+	21.3	0.362	-1.301	84,922				m
		Tracks 166	310.6	-	83.7	2.827	-1.986					m
event030.xml	40,730	Tracks 6	37.4	-	24.7	-1.994	0.974	82,014				m
		Tracks 206	45.8	+	33.7	1.504	-0.821					m

Cosa dovete fare?

- Dal pannello istogrammi potete produrre tanti grafici
 - M(1): massa delle singole particelle selezionate
 - M(2): massa invariante delle coppie di particelle selezionate. Se ho visto tanti Z, dovrei vedere che ho tante coppie di massa simile, la massa dello Z!
 - Grafici delle masse invarianti combinate di 4 leptoni qualsiasi (elettroni/muoni), o di 4 elettroni, o di 4 muoni, o di 2 elettroni e 2 muoni: qui mi posso aspettare di vedere eventi corrispondenti a un bosone di Higgs
- Non vi scordate inoltre di scrivere sui fogli di appunti che avete a disposizione cosa avete scoperto di ogni evento che analizzate!



HYbrid Physics Analysis Tool for Interactions in ATLAS - version 7.4 - Invariant Mass Window

File Name	ETMis [GeV]	Track	P [GeV]	+/-	Pt [GeV]	ϕ	η	M(2) [GeV]	M(eeee) [GeV]	M(eemm) [GeV]	M(mmmm) [GeV]	e/m/g
event026.xml	13,402	Object 0	101.6		52.4	1,904	1,280	102,048				g
		Object 1	61.5		46.6	-1,220	0,777					g
event028.xml	23,527	Tracks 5	42.0	+	21.3	0,362	-1,301	84,922				m
		Tracks 166	310.6	-	83.7	2,827	-1,986					m
event030.xml	40,730	Tracks 6	37.4		24.7	-1,994	0,974	82,014				m
		Tracks 206	45.8	+	33.7	1,504	-0,821					m

Link di aiuto

<https://atlas.physicsmasterclasses.org/it/zpath.htm>

Nella sezione “Al lavoro” ci sono spiegazioni utili su come procedere

<http://cernmasterclass.uio.no/material/Zpath-Cuts.pdf>

Trovate un po' di esempi di tagli di selezione che si possono applicare

<http://cernmasterclass.uio.no/material/Zpath-SignalEvents.pdf>

Esempi di eventi di segnale