



ALLA RICERCA DEL BOSONE Z

Marco Vanadia

22 Marzo 2021

Tor Vergata

Università degli Studi Roma

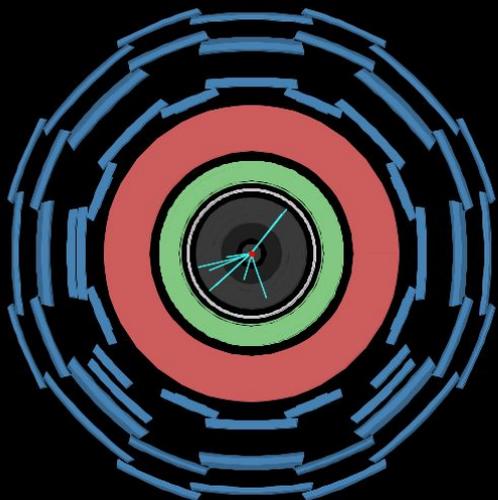


Hypatia 7.4: alla ricerca dello Z

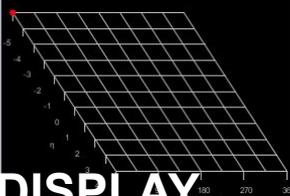
 configuration	15/02/2016 20.22	Cartella di file	
 events	15/02/2016 20.22	Cartella di file	
 geometry	15/02/2016 20.22	Cartella di file	
 help	15/02/2016 20.22	Cartella di file	
 img	15/02/2016 20.22	Cartella di file	
 lib	15/02/2016 20.22	Cartella di file	
 Hypatia_7.4_Masterclass.jar	15/02/2016 20.22	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:

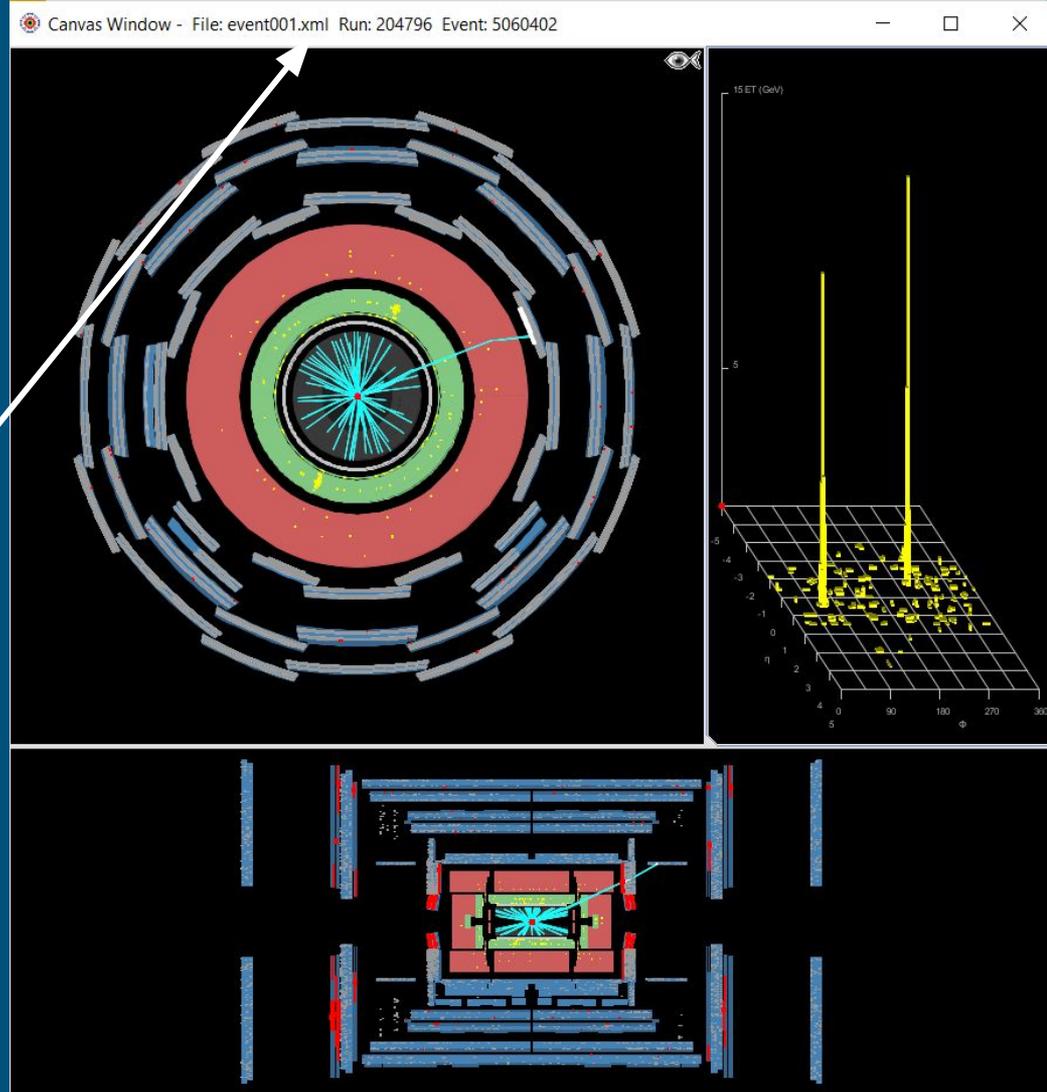
- Canvas Window:** Shows a top-down view of the detector geometry with tracks. A red arrow points to the 'File' menu in the top-left corner.
- Track Momenta Window:** Displays track parameters such as ET_{Mis} (13,877 GeV), ϕ (0,785 rad), and $M(2)$ (GeV). It also shows a list of tracks and a file browser for loading 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'.

The file browser in the Track Momenta Window shows a file named 'groupA.zip' selected, with a 'default location' checkbox and buttons for 'Apri' (Open) and 'Annulla' (Cancel).

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

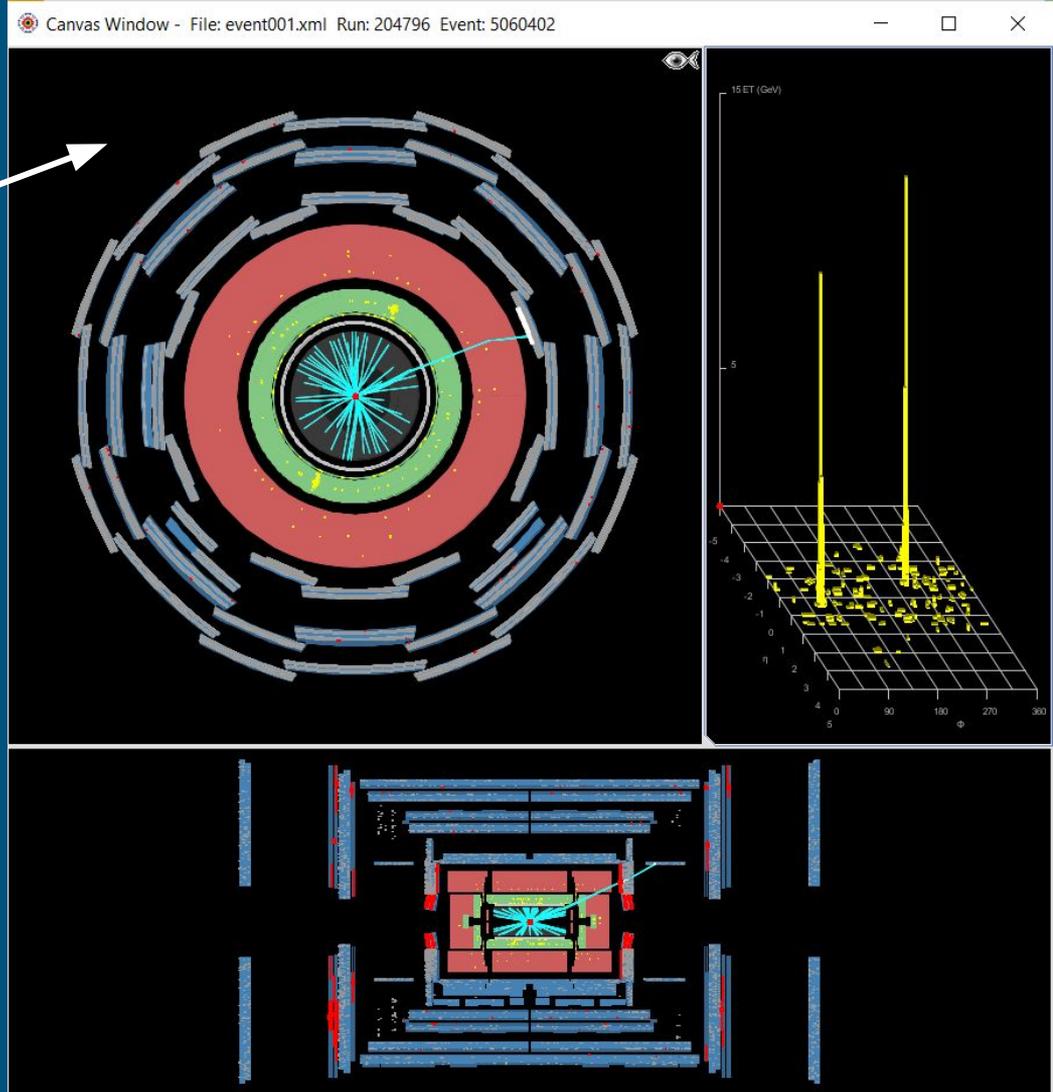
L'EVENT DISPLAY

- 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

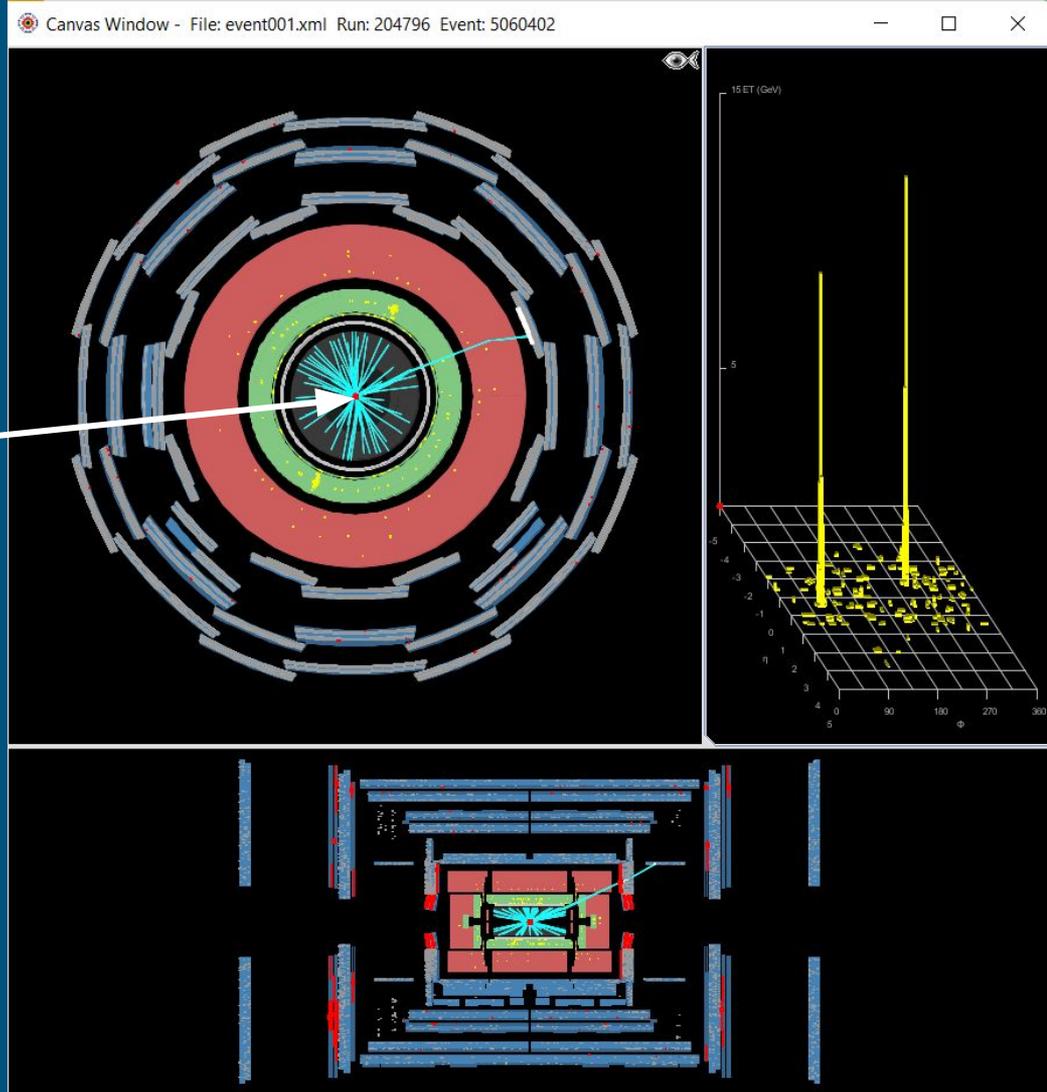
Vista trasversale



L'EVENT DISPLAY

Vista trasversale

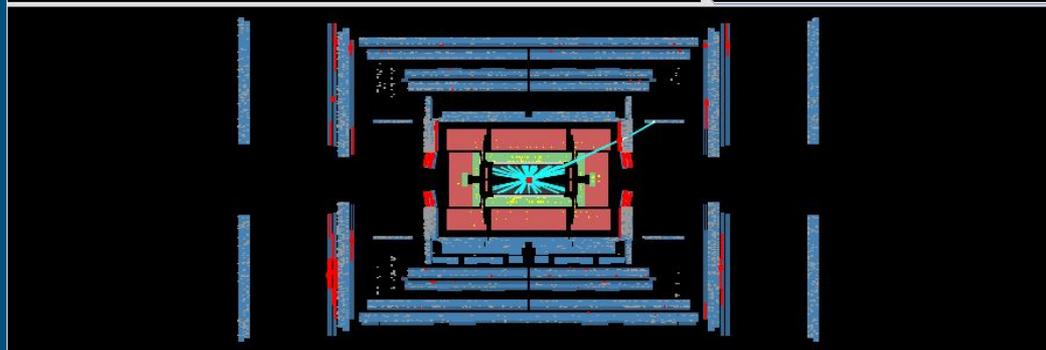
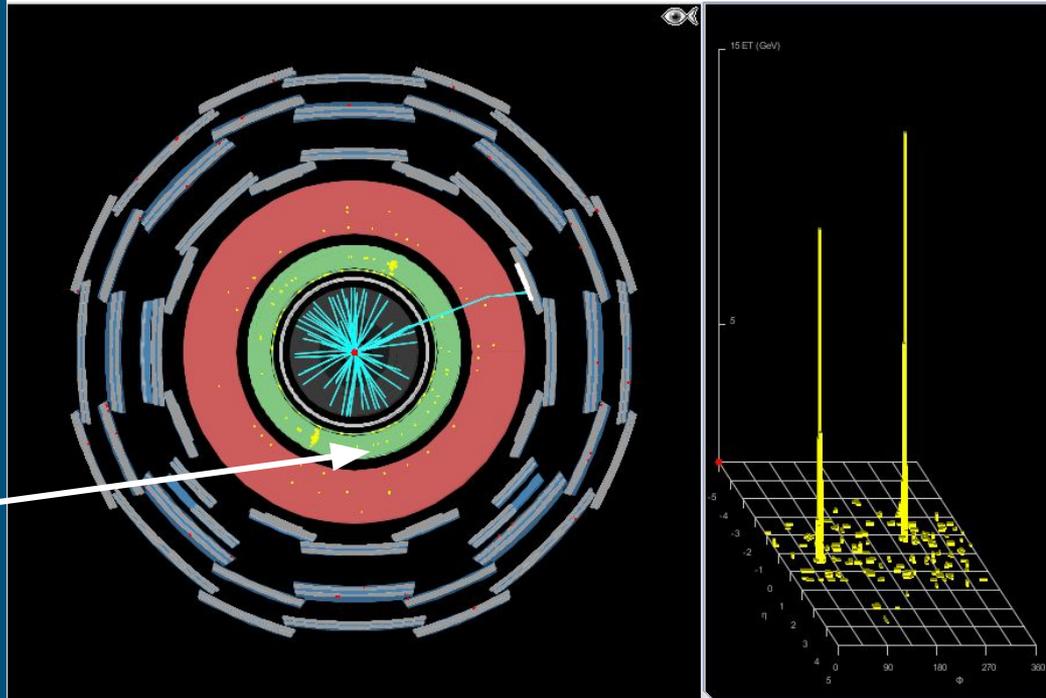
- Tracciatore interno con tracce in azzurro



L'EVENT DISPLAY

Vista trasversale

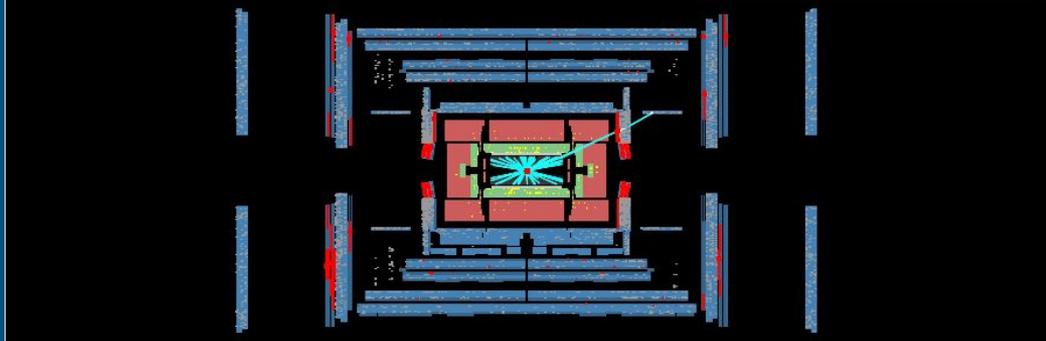
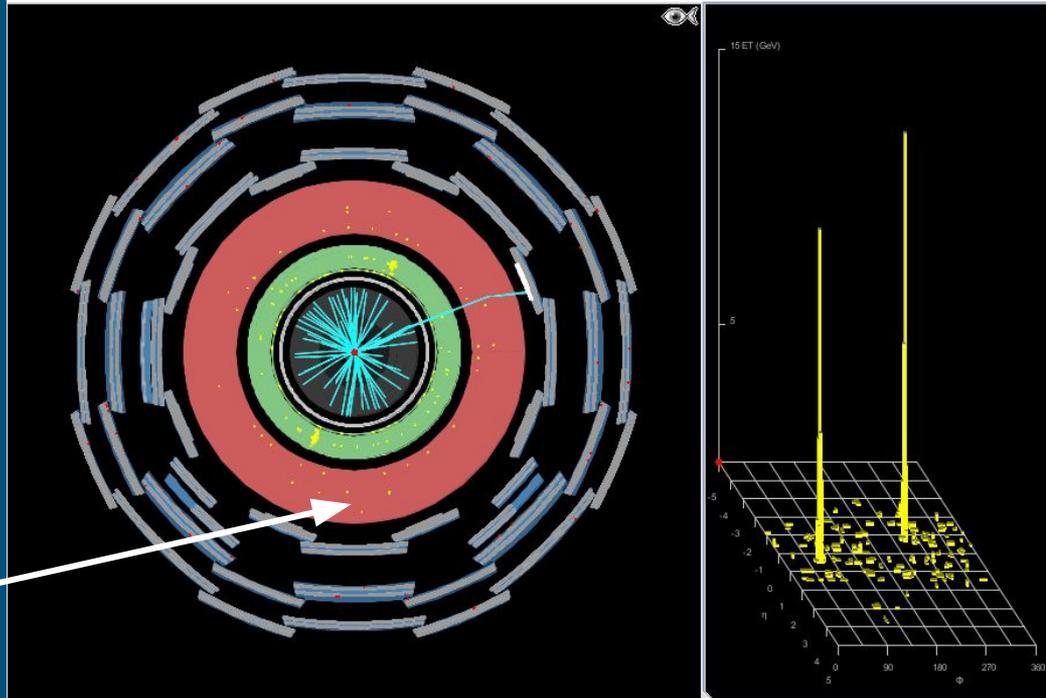
- Tracciatore interno con tracce in azzurro
- Calorimetro elettromagnetico con depositi di energia in giallo



L'EVENT DISPLAY

Vista trasversale

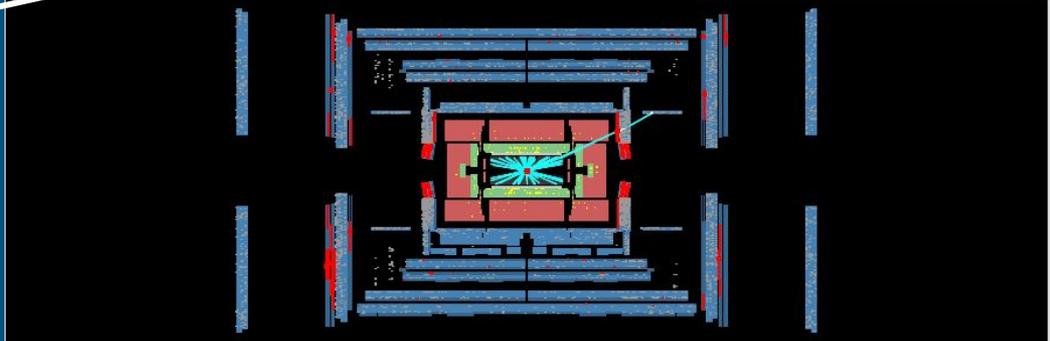
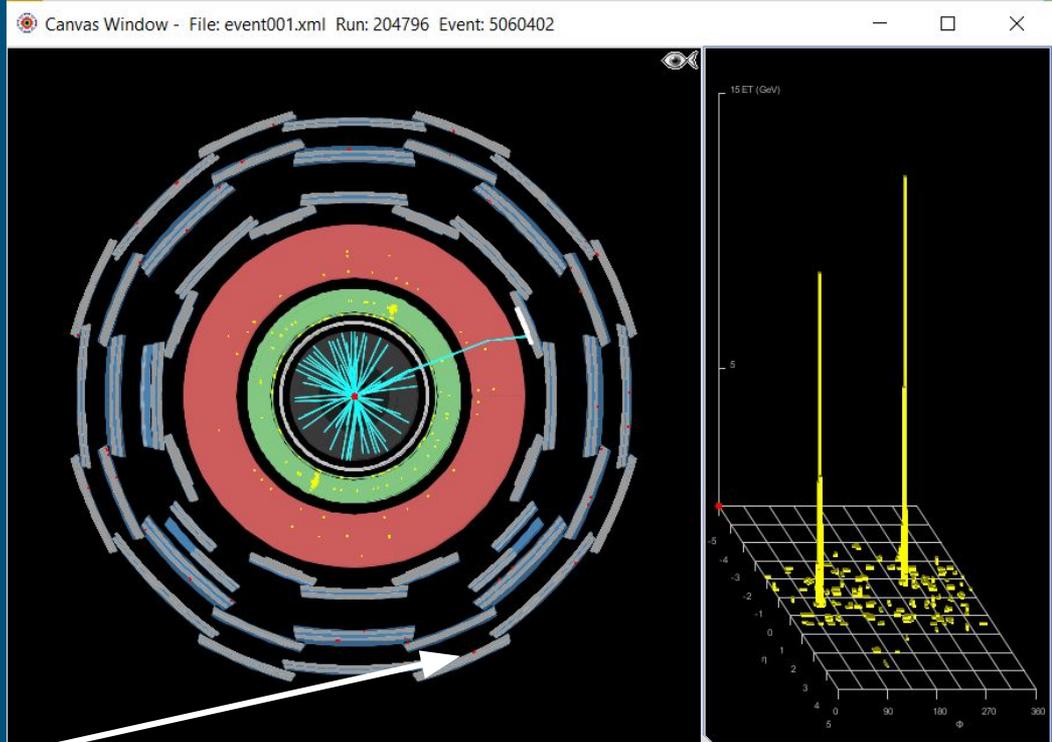
- Tracciatore interno con tracce in azzurro
- Calorimetro elettromagnetico con depositi di energia in giallo
- Calorimetro adronico con depositi di energia in giallo



L'EVENT DISPLAY

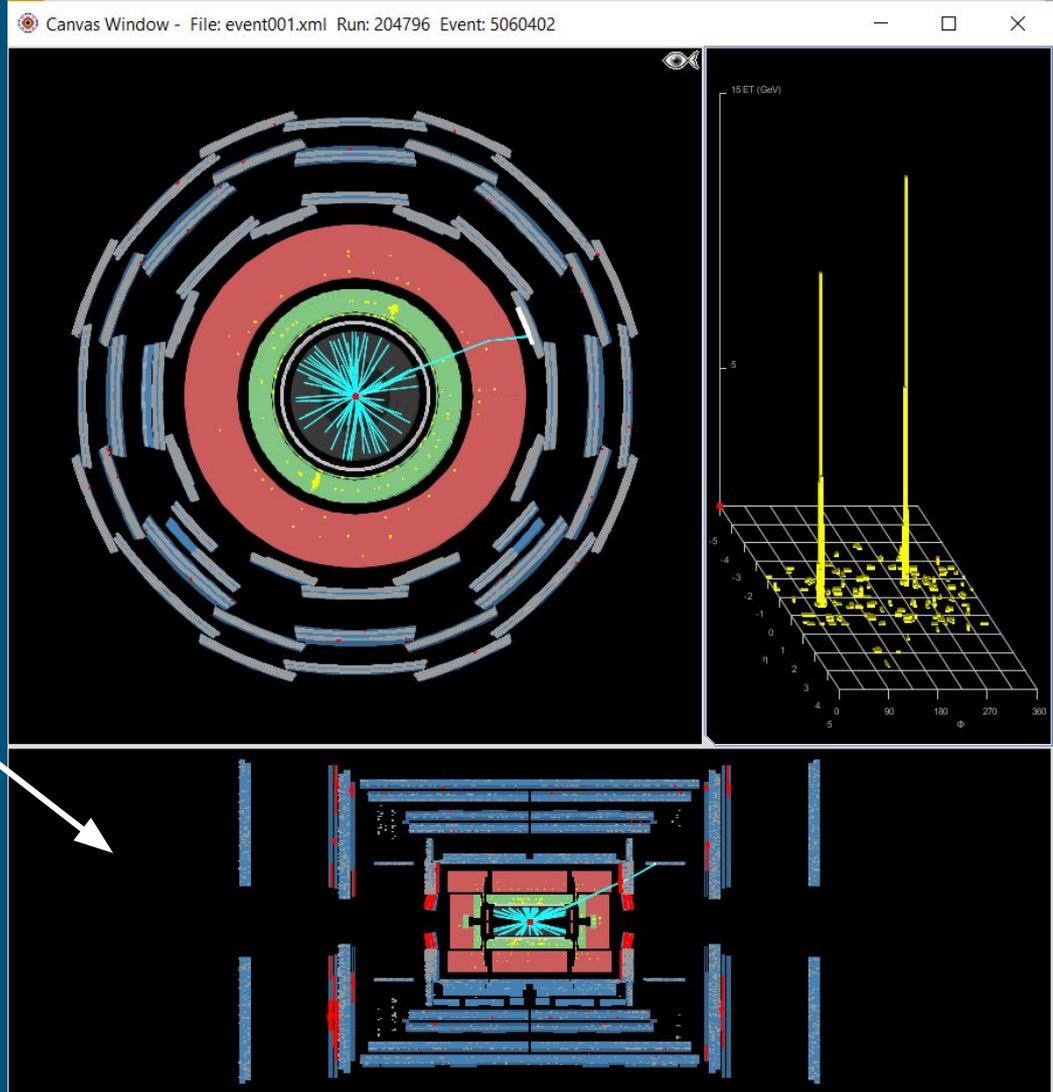
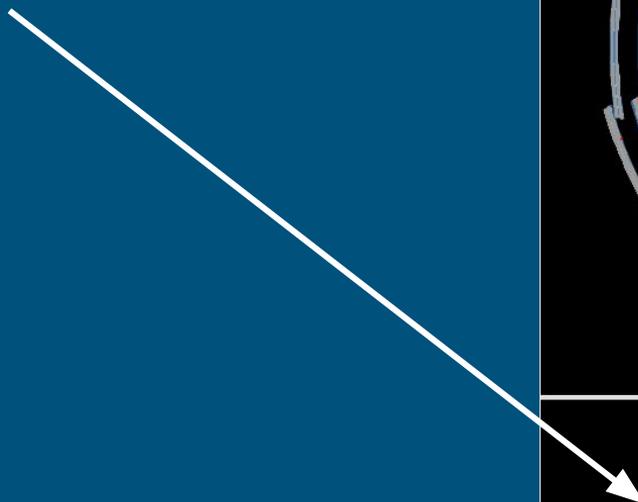
Vista trasversale

- 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

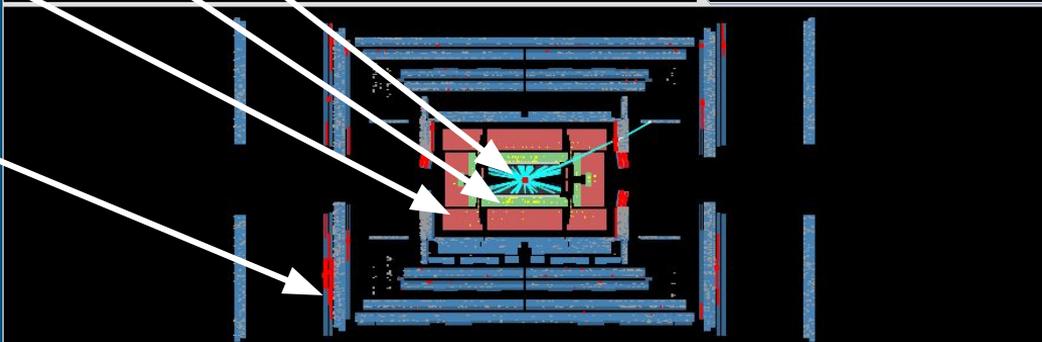
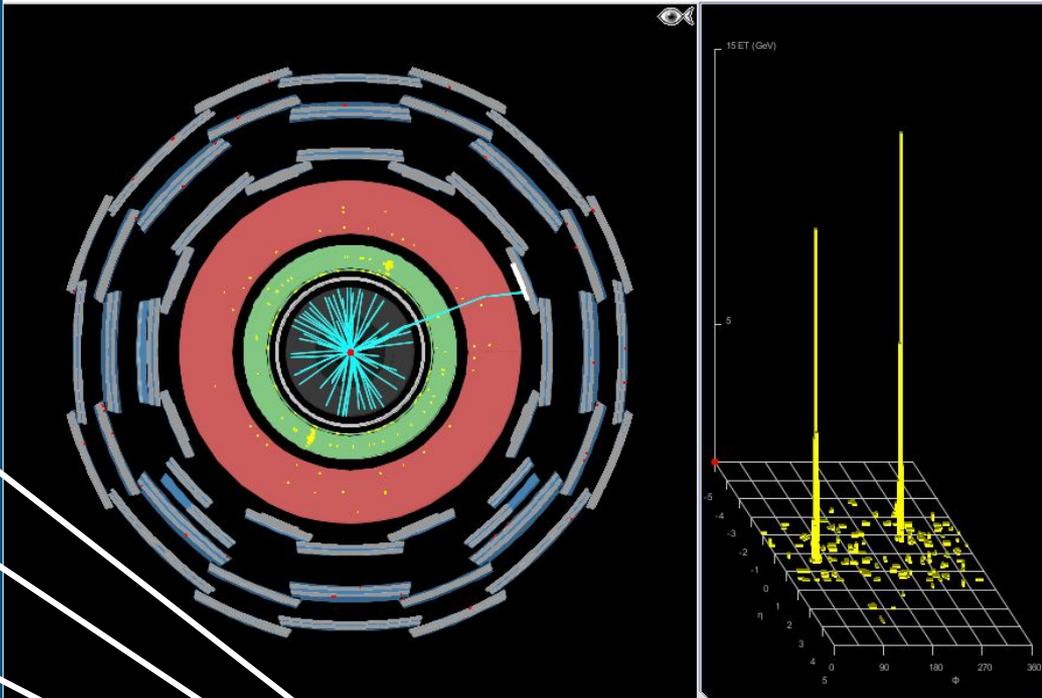
Vista laterale



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

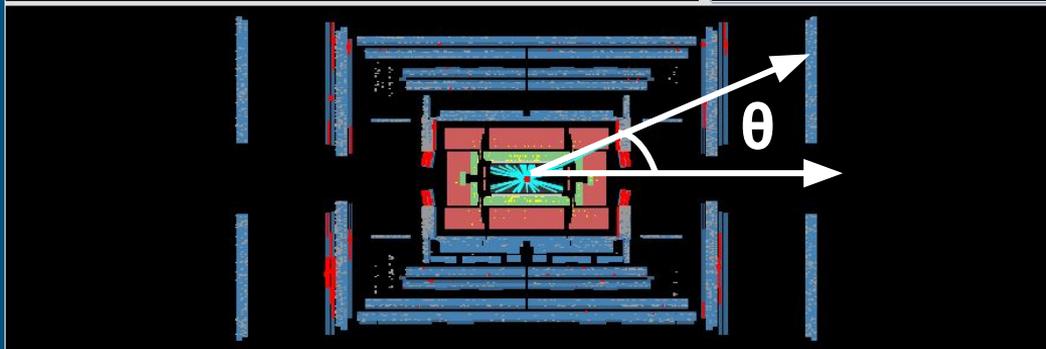
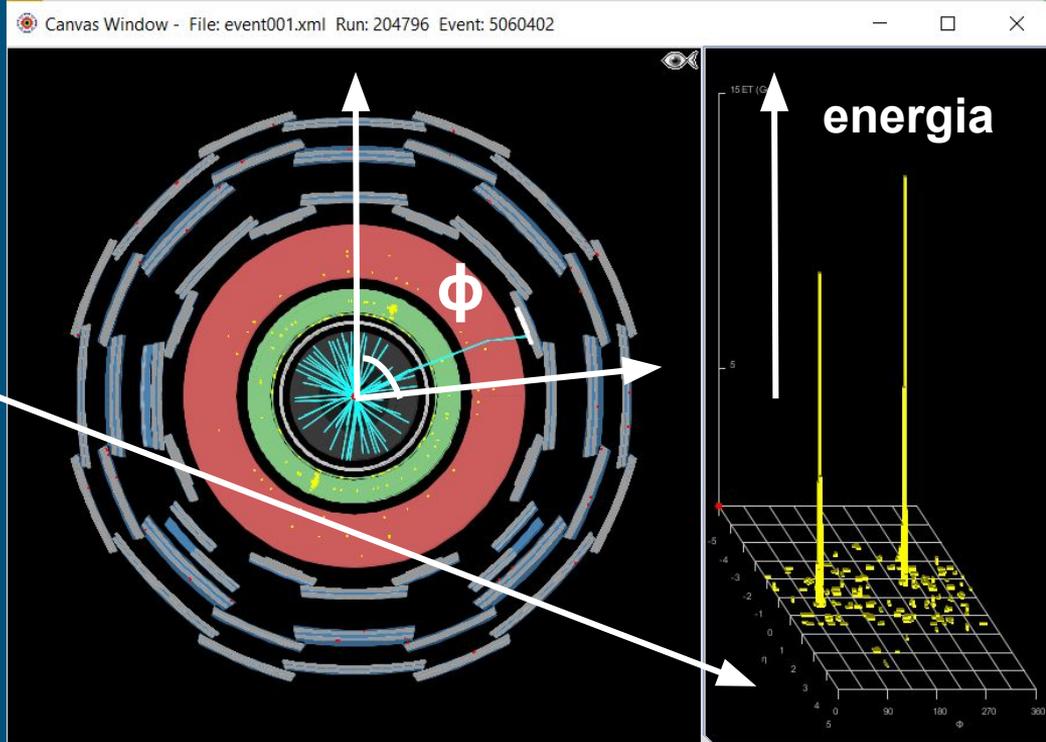


L'EVENT DISPLAY

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 image shows two windows from the HYPATIA software. The top window, titled "HYPATIA - Track Momenta Window", displays a table of track data. The bottom window, titled "HYPATIA - Control Window", shows various control panels for data and interaction.

HYPATIA - Track Momenta Window

File | Previous Event | Next Event | Electron | Muon | Photon | Delete Track | Reset Canvas

ETMis: 4,167 GeV ϕ : 3,040 rad Collection: MET_RefFinal

C:\Users\User\Desktop\Hypatia_7.4_Masterclass\groupA.zip\event001.xml

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

Parameter Control | Interaction and Window Control | Output Display

Projection | Data | Cuts | InDet | Calo | MuonDet | Objects | Geometry

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	

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

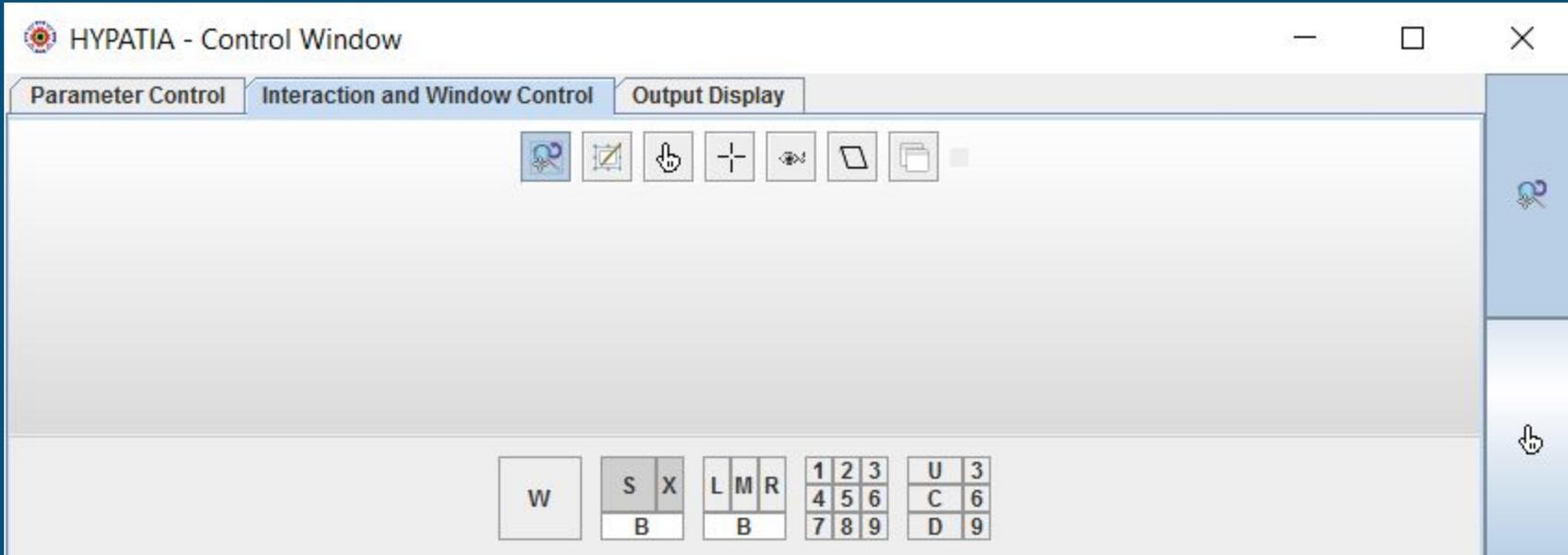
- Canvas Window (Top Left):** Shows a top-down view of the detector geometry with a central event display. A red dashed line indicates the direction of the beam or a specific track.
- Canvas Window (Top Right):** Shows a 3D view of the detector geometry with a track passing through it. The track is highlighted in yellow and red.
- HYPATIA - Track Momenta Window (Top Right):** Displays event parameters and a table of physics objects.

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
- HYPATIA - Control Window (Bottom Right):** Contains parameter control and interaction window control. The 'Data' tab is active, showing a table with columns for Name and Value.

Name	Value
Status	
InDet	
Calo	
MuonDet	
Objects	
- Canvas Window (Bottom Left):** Shows a detailed view of the detector geometry with a track passing through it, similar to the top-right view.

- 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

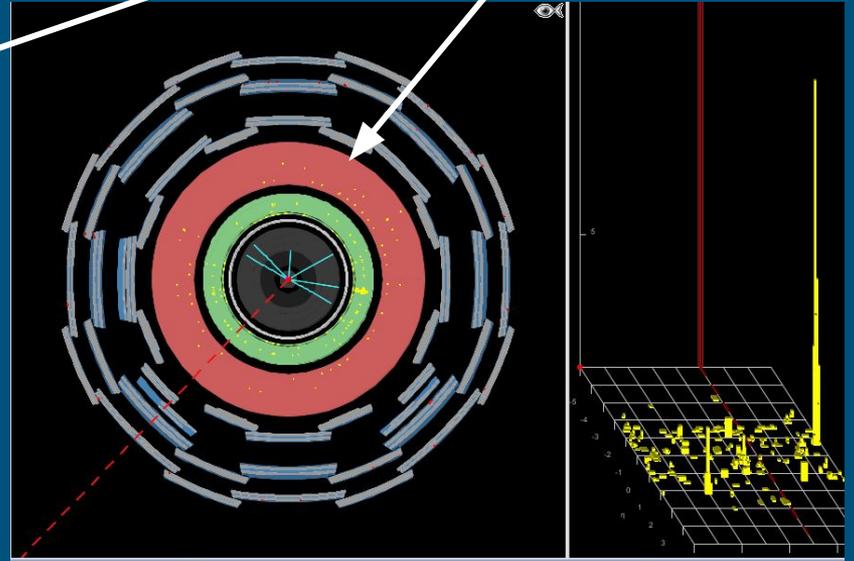
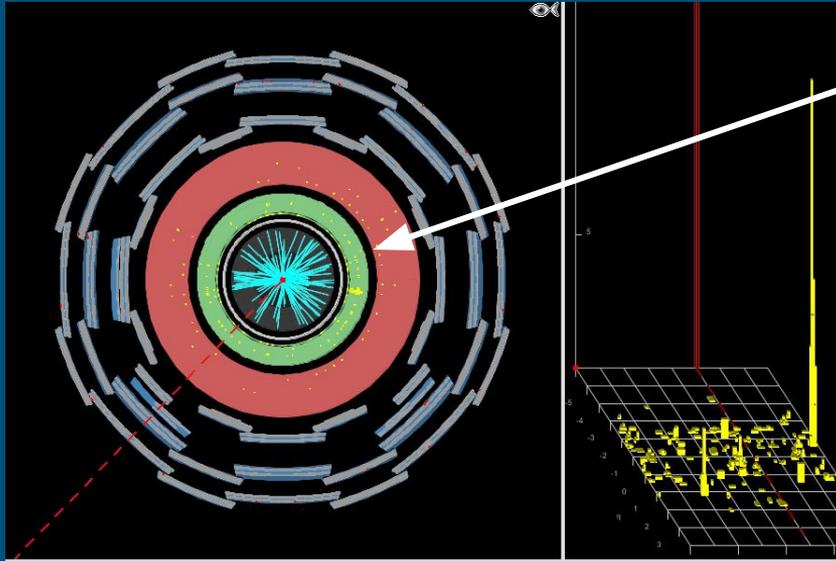
Il pannello di controllo

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

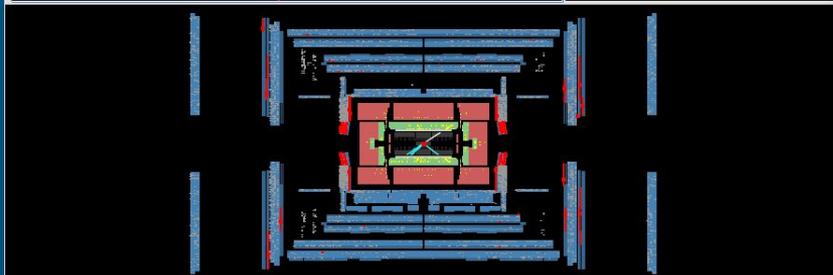
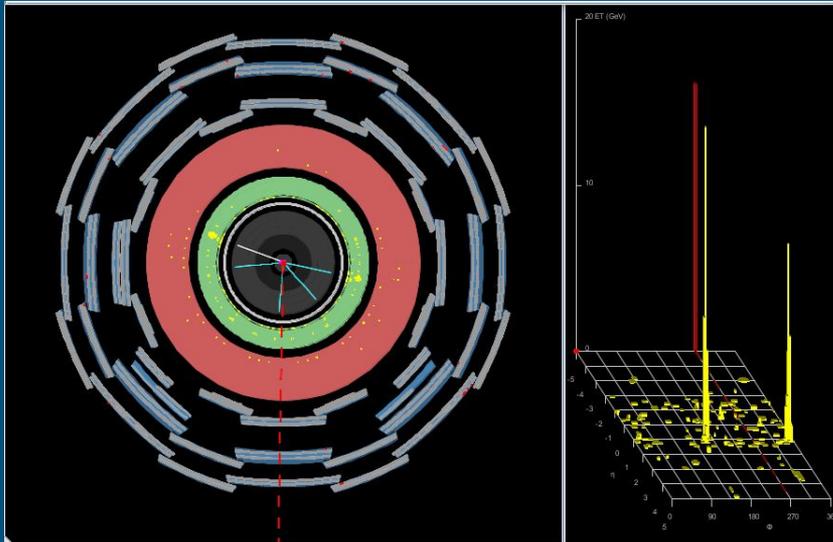
- Nella tab dei parametri potete inserire delle selezioni sull'evento che vi aiutino a capire se stiamo guardando un evento con uno Z o no
- Ad esempio, posso chiedere che le tracce abbiano Pt (impulso trasverso alto): dall'event display scompariranno le tracce di basso impulso

Il pannello di controllo

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



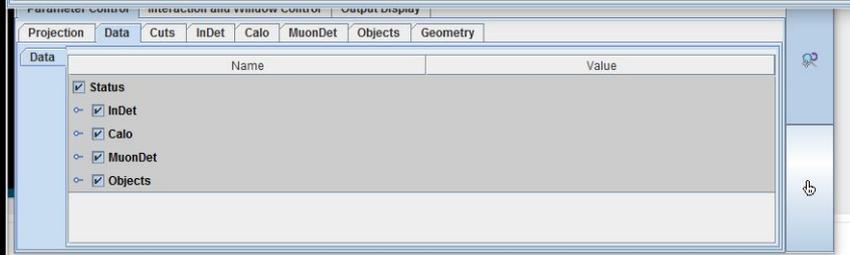
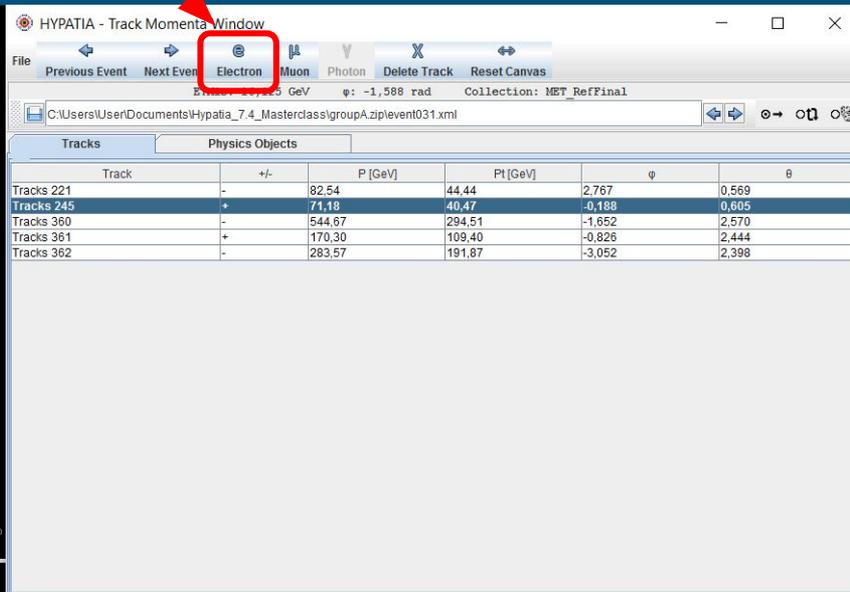
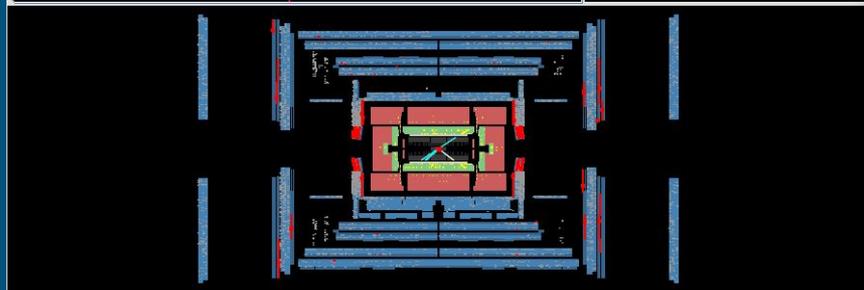
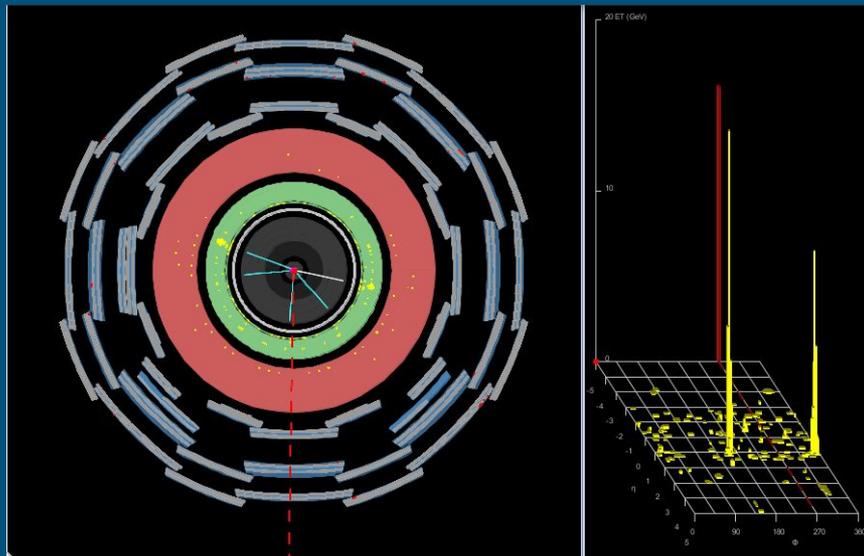
Ad esempio in questo evento vedo che ci sono 5 tracce con $P_t > 10$ GeV
La traccia 221, evidenziata in bianco quando la selezione, è associata a un deposito calorimetrico (devo controllarlo sia nella vista trasversale che in quella laterale!!!)
E' carica negativamente



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 indicators for "ETMis: 16,125 GeV" and "phi: -1,588 rad", and a "Collection: MET_RefFinal" label. The main 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 "Pt [GeV]" column for track 221. 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

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

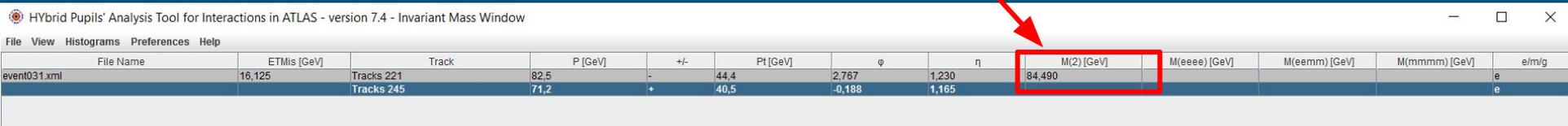


La finestra della massa invariante

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 !

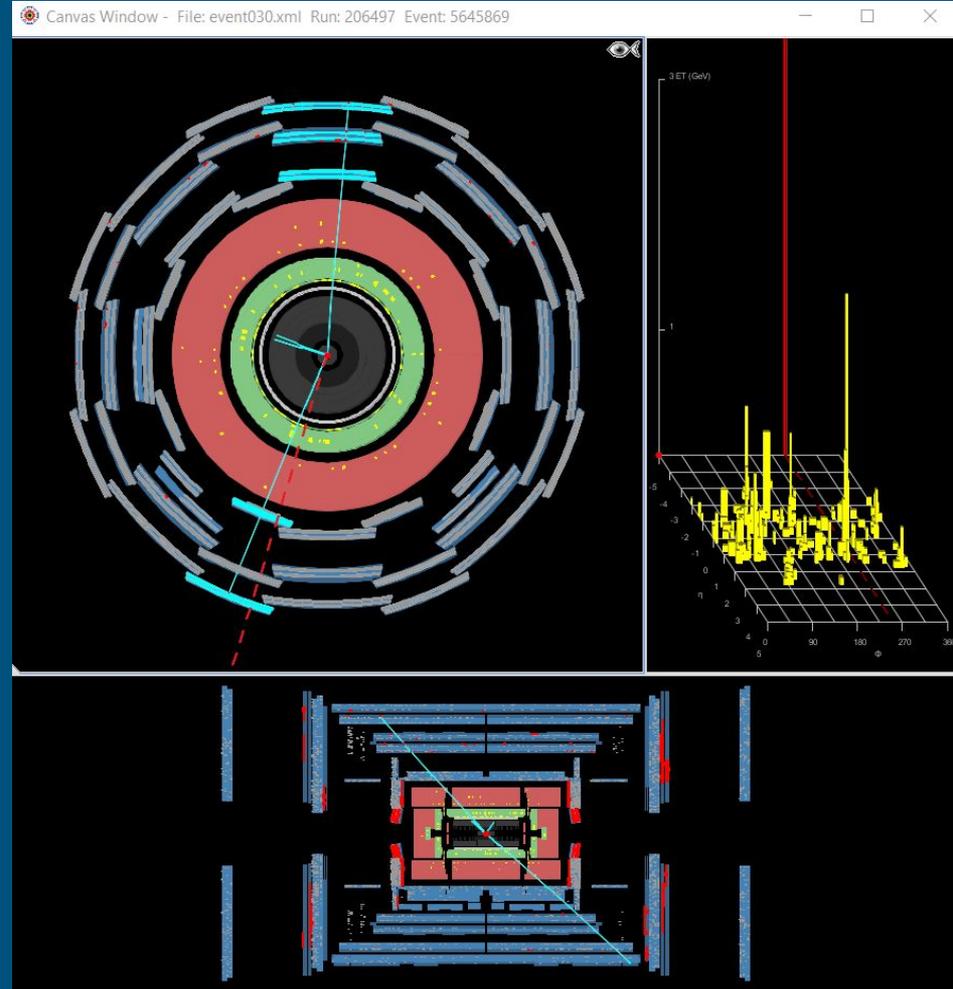
Questo evento sembra un buon candidato $Z \rightarrow e^+e^-$



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?

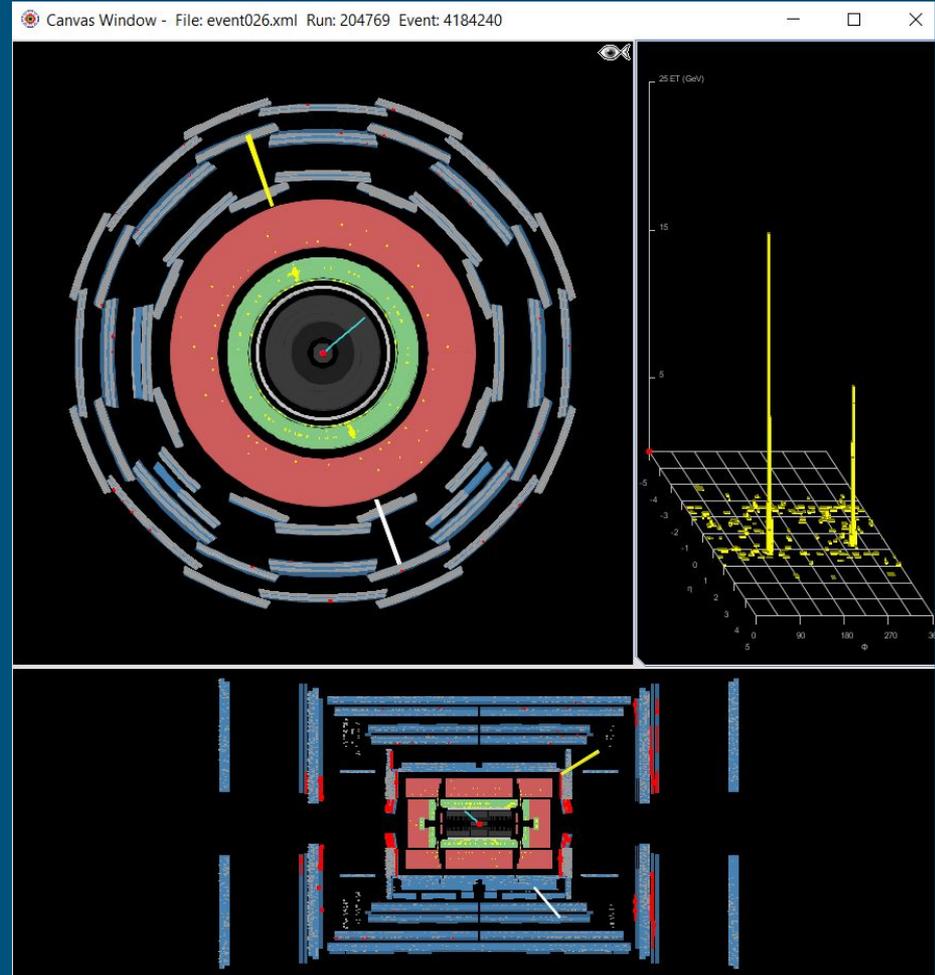
Qui vedo un evento con
due tracce di muoni, che
arrivano fino allo
spettrometro per muoni...
sarà un evento $Z \rightarrow \mu^+ \mu^-$?



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 P... 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

Link di aiuto

<http://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

http://atlas.physicsmasterclasses.org/it/zpath_analysis.htm

Dopo aver completato l'esercizio andate a questo link e provate a rispondere alle domande