










# ALLA RICERCA DEL BOSONE Z

U. De Sanctis, D. Truncali, M. Vanadia

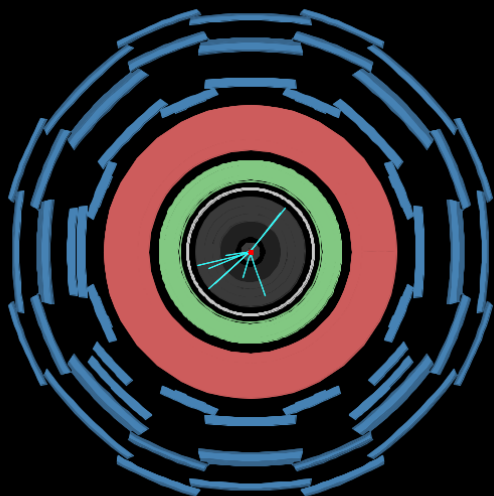
23 Febbraio 2024

# 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  $\phi$ : 0,785 rad Collection: MET\_RefFinal

C:/Users/User/Documents/Hypatia\_7.4\_Masterclass/events/levents4.zip/JiveXML\_106051\_1950731.xml

Tracks		Physics Objects					
Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	$\phi$	$\theta$		
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 titled "Canvas Window" and shows a top-down view of a detector's geometry with tracks overlaid. A red arrow points to the "File" menu in the top-left corner. To the right, the "HYPATIA - Track Momenta Window" is open, showing event details such as "ETMis: 13,877 GeV" and "φ: 0,785 rad". Below this, a file dialog titled "Apri" is open, showing a search for "groupA.zip" in the "Hypatia\_7.4\_Masterclass" directory. The dialog also shows a list of files and folders, including "configuration", "events", "geometry", "help", "img", "lib", and "groupA.zip". The "HYPATIA - Control Window" is also visible, showing various control options like "Status", "InDet", "Calo", "MuonDet", and "Objects".

Canvas Window - File: JiveXML\_106051\_1950731.xml Run: 106051 Event: 1950731

HYPATIA - Track Momenta Window

File: C:/Users/User/Documents/Hypatia\_7.4\_Masterclass/events/evnts4.zip/JiveXML\_106051\_1950731.xml

Tracks

Track

Tracks 0

Tracks 1

Tracks 2

Tracks 3

Tracks 4

Tracks 5

Tracks 6

Apri

Cerca in: Hypatia\_7.4\_Masterclass

configuration

events

geometry

help

img

lib

groupA.zip

default location

Home file: groupA.zip

Tipo di file: .xml, .zip, .gzip, .gz

Apri Annulla

HYPATIA - Control Window

Parameter Control Interaction and Window Control Output Display

Projection Data Cuts InDet Calo MuonDet Objects Geometry

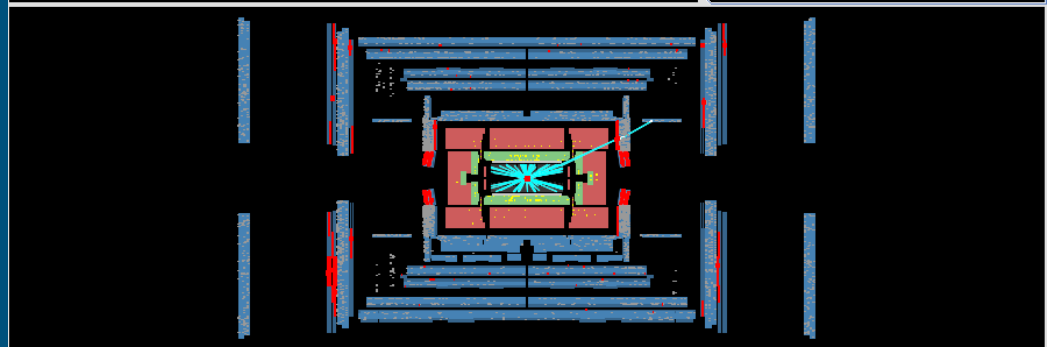
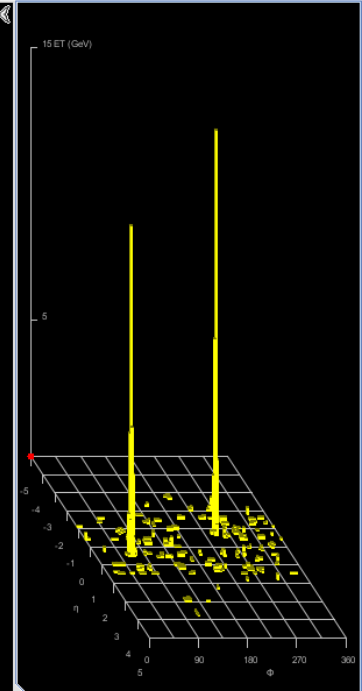
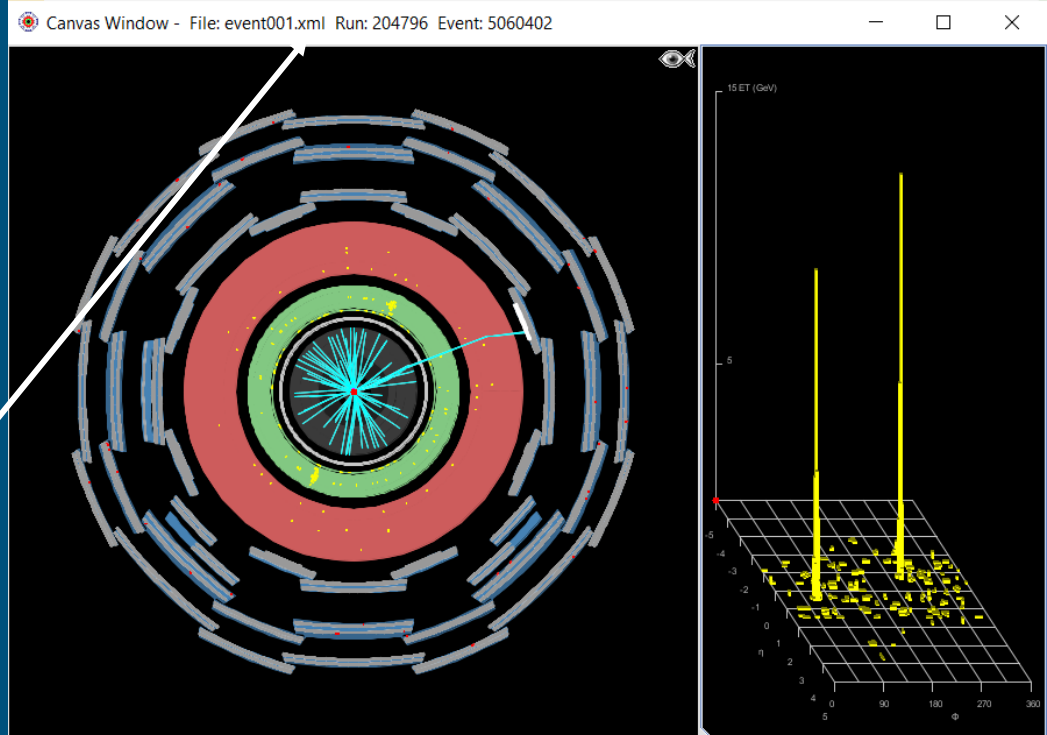
Data

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

FILE -> READ EVENT LOCALLY -> CARICARE FILE CON IL NOME DEL GRUPPO CONTENENTE IL PACCHETTO DA 50 EVENTI DA ANALIZZARE

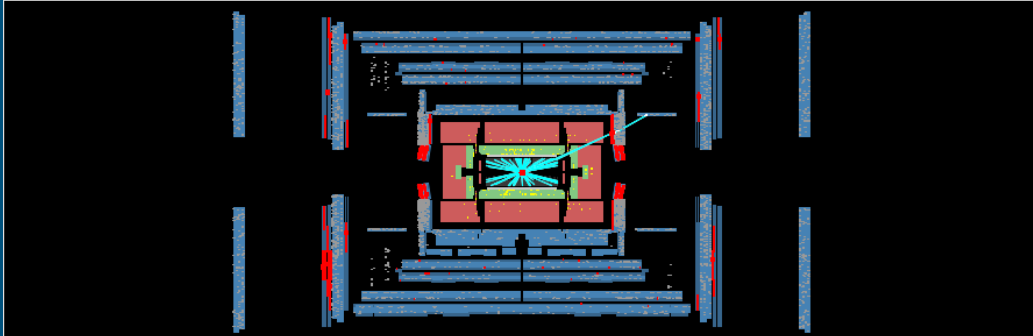
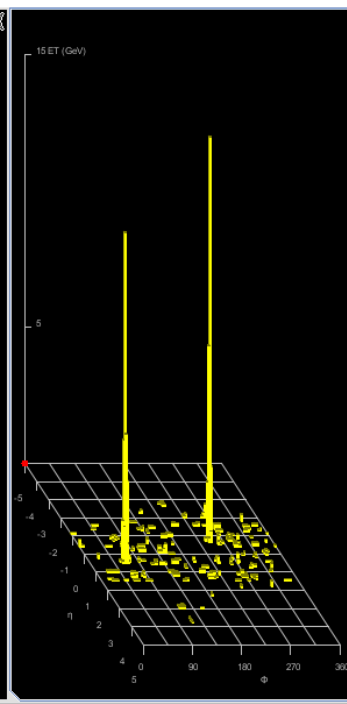
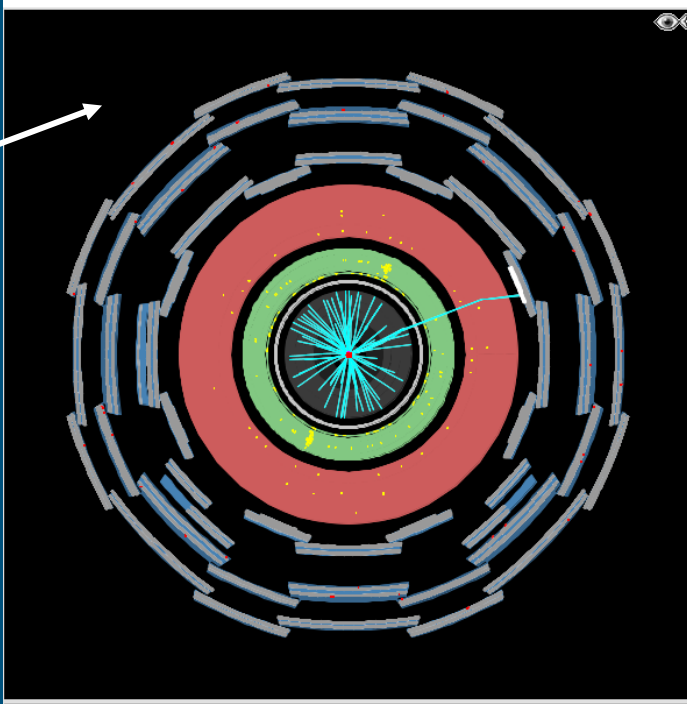
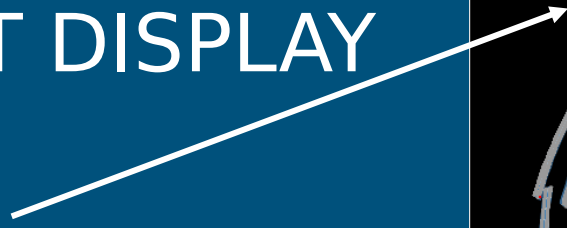
# L'EVENT DISPLAY

- 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

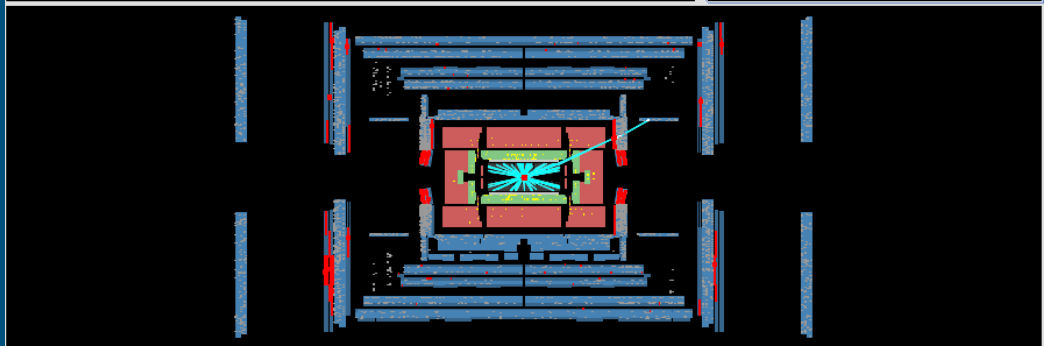
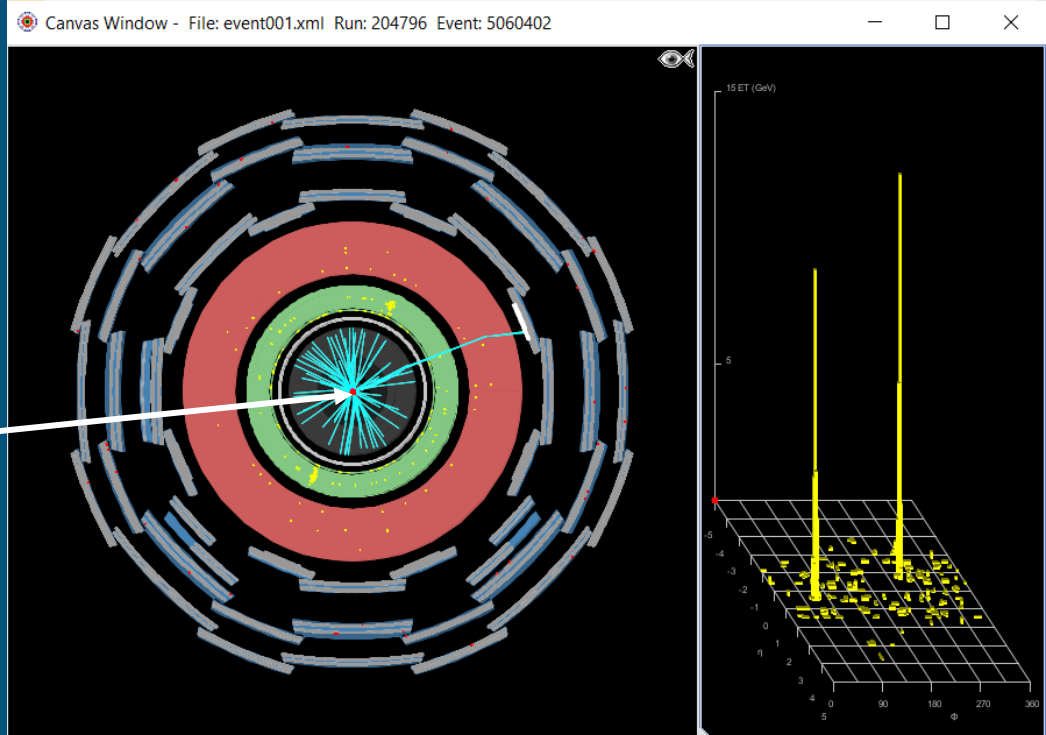
Vista trasversale



# L'EVENT DISPLAY

Vista trasversale

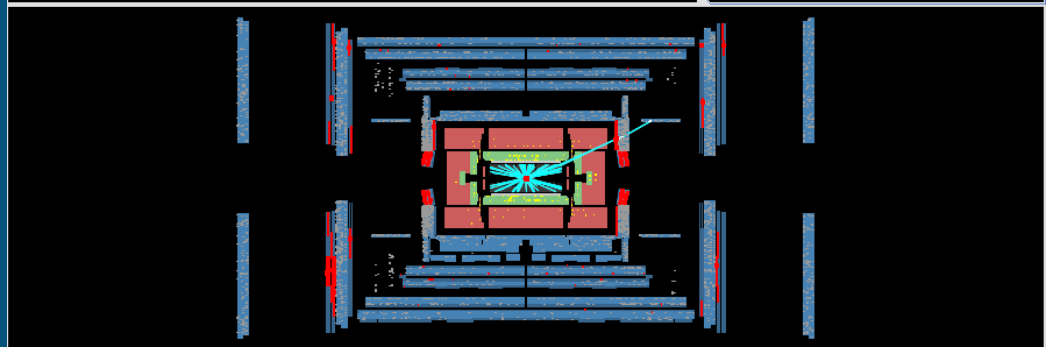
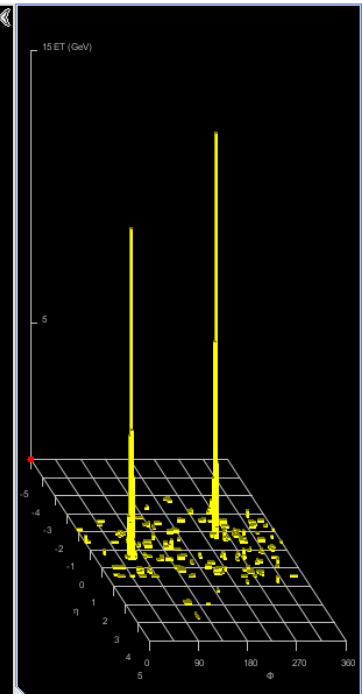
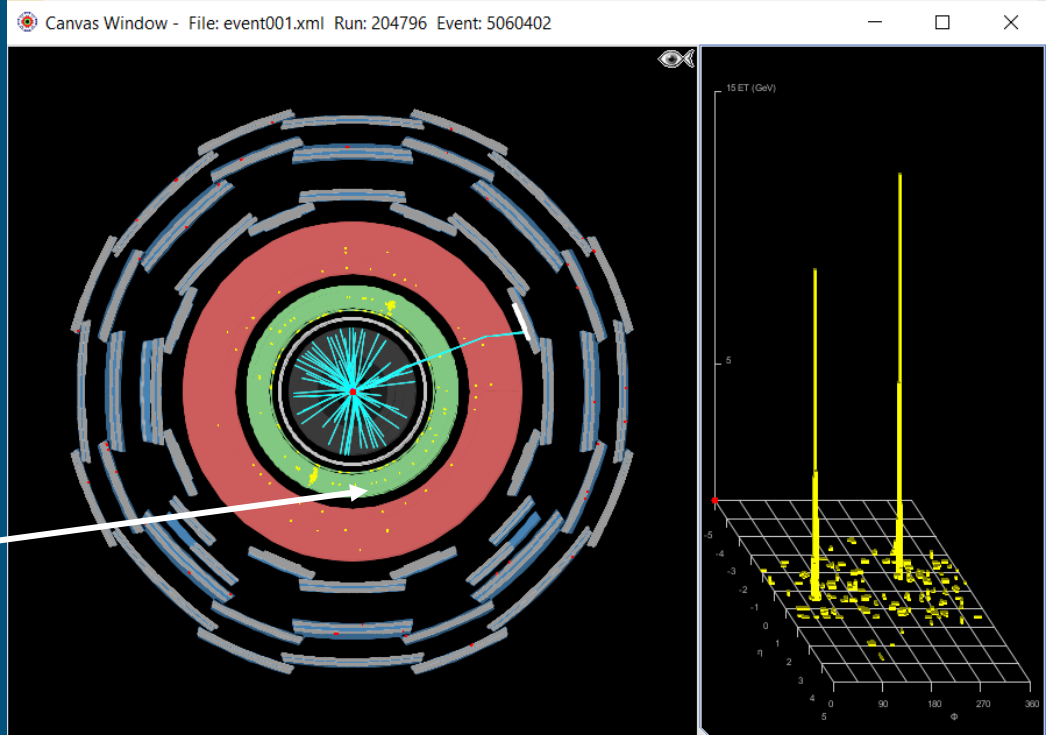
- Tracciatore interno con tracce in azzurro



# L'EVENT DISPLAY

## Vista trasversale

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

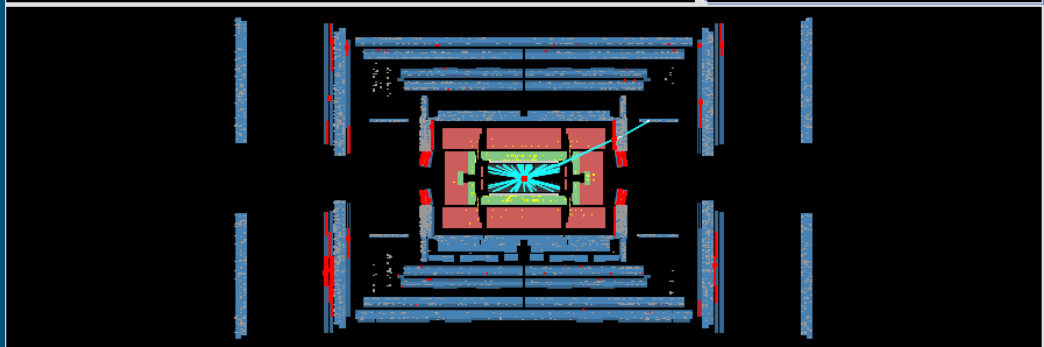
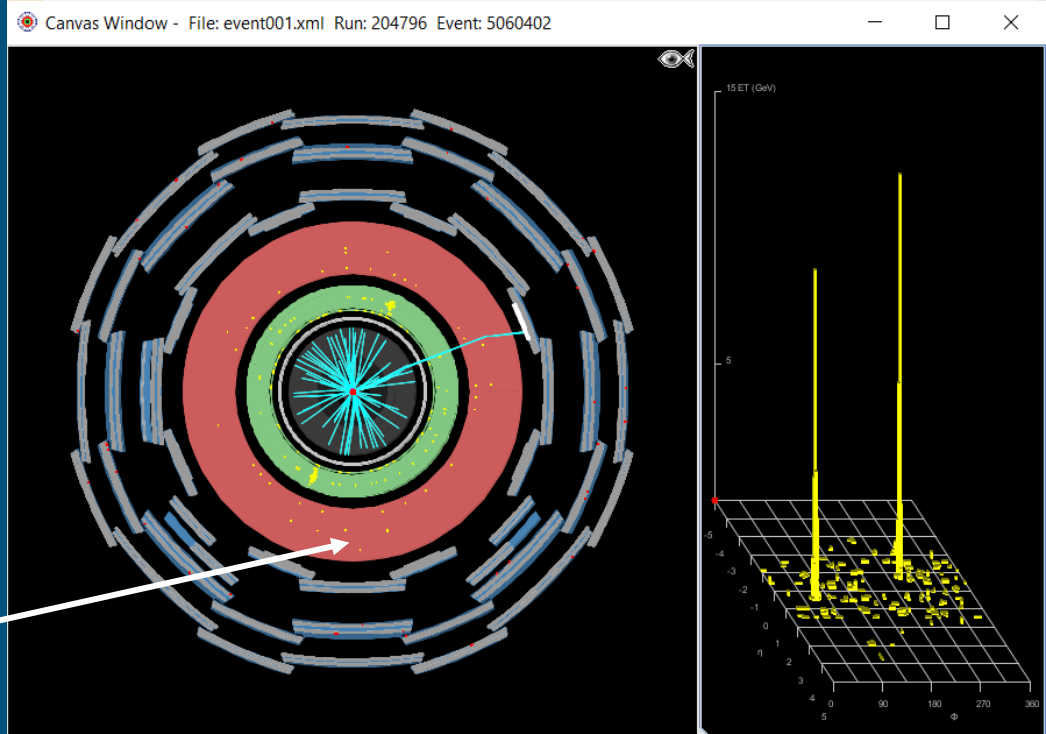




# L'EVENT DISPLAY

## Vista trasversale

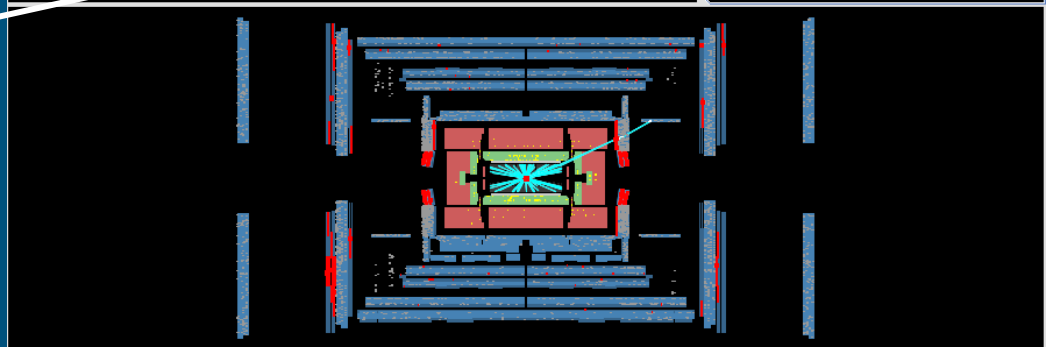
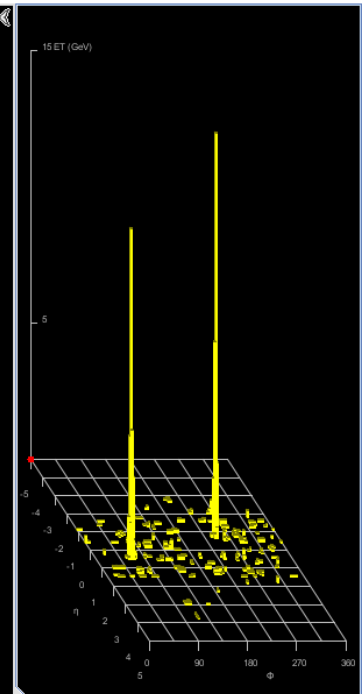
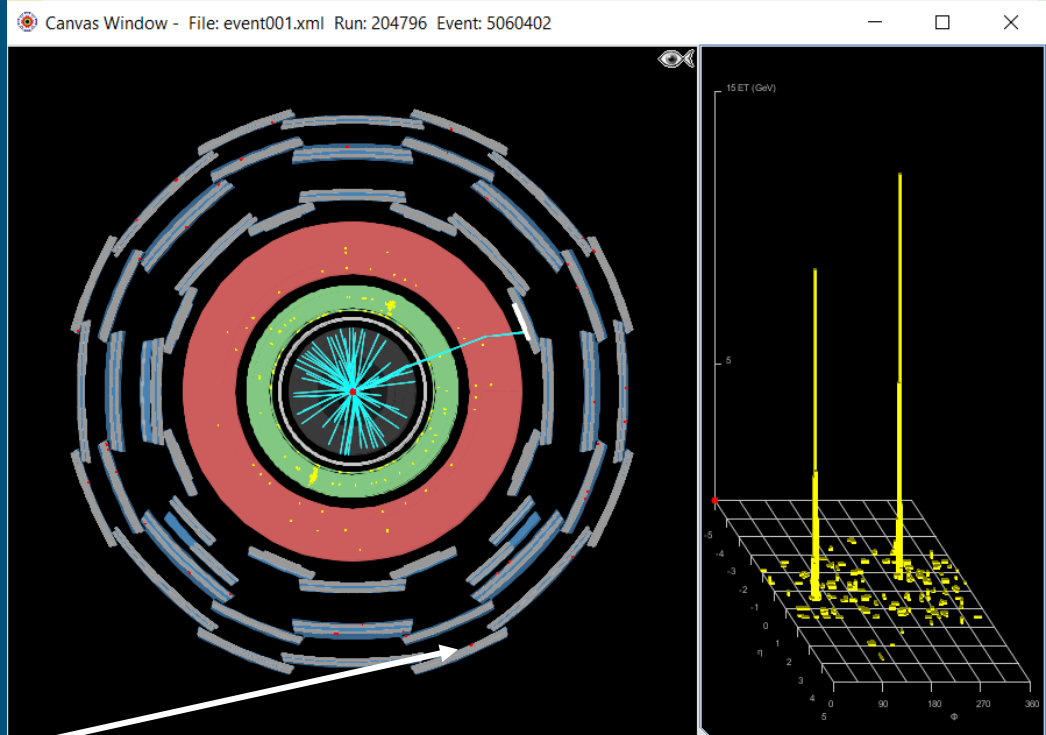
- Tracciatore interno con tracce in azzurro
- Calorimetro elettromagnetico con depositi di energia in giallo
- Calorimetro adronico con depositi di energia in giallo



# L'EVENT DISPLAY

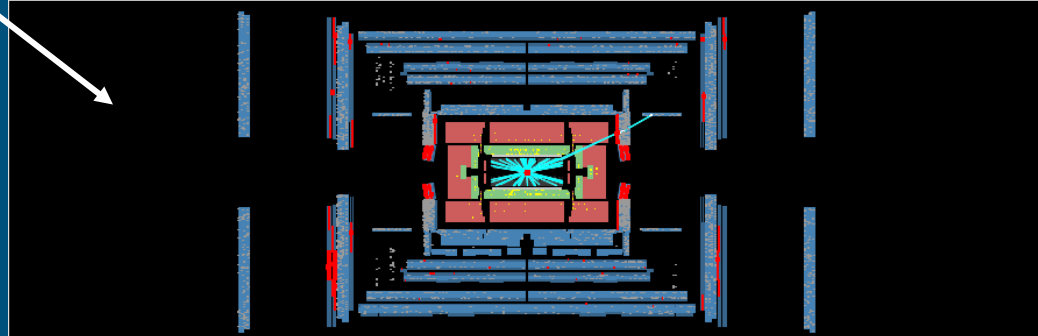
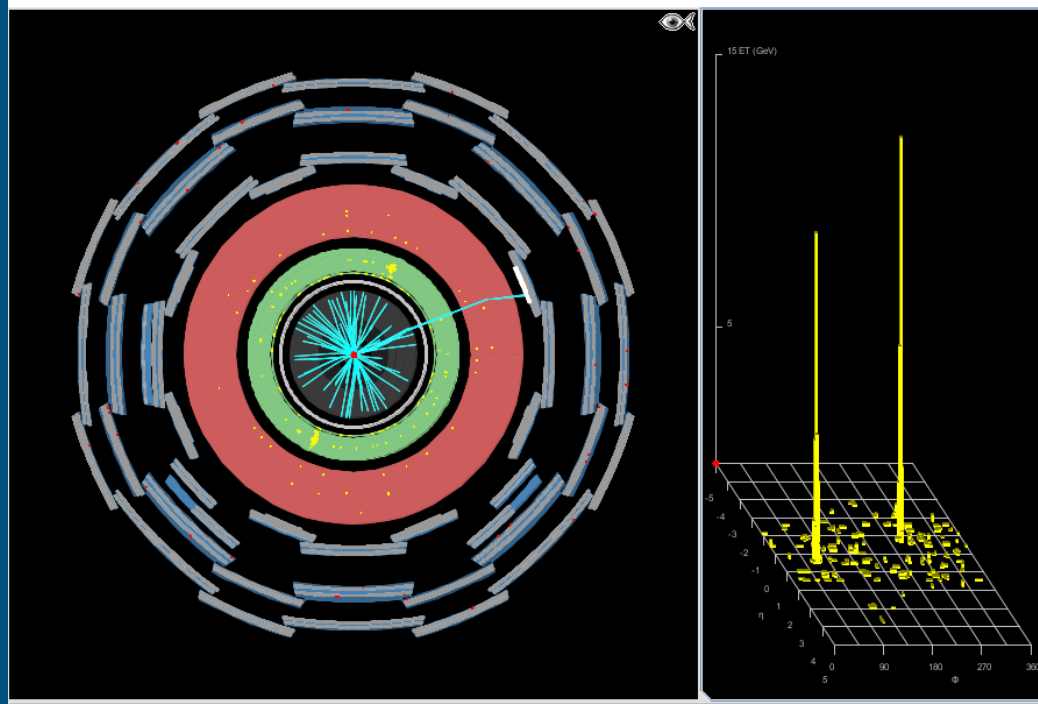
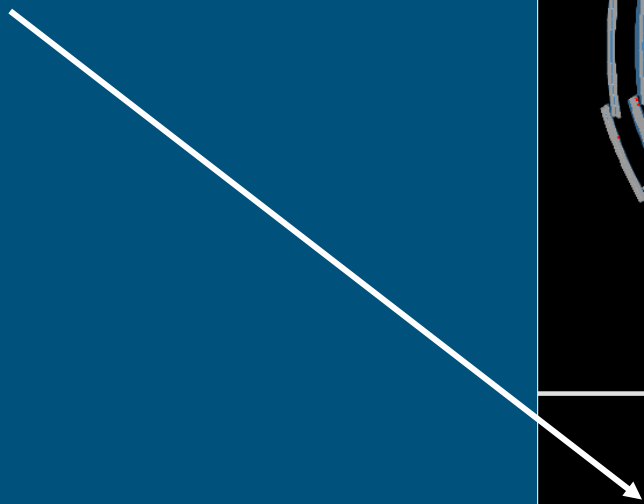
## Vista trasversale

- 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

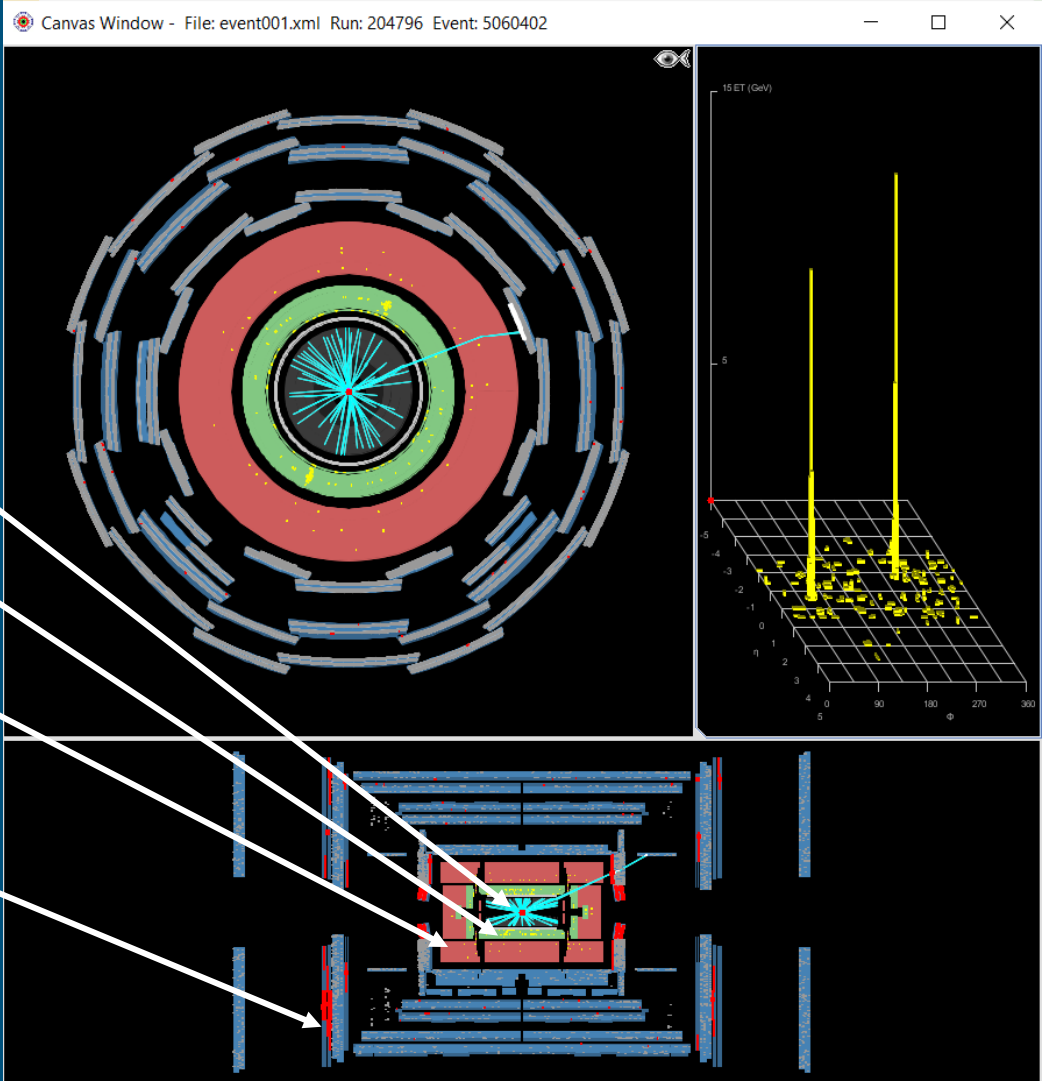
Vista laterale



# 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

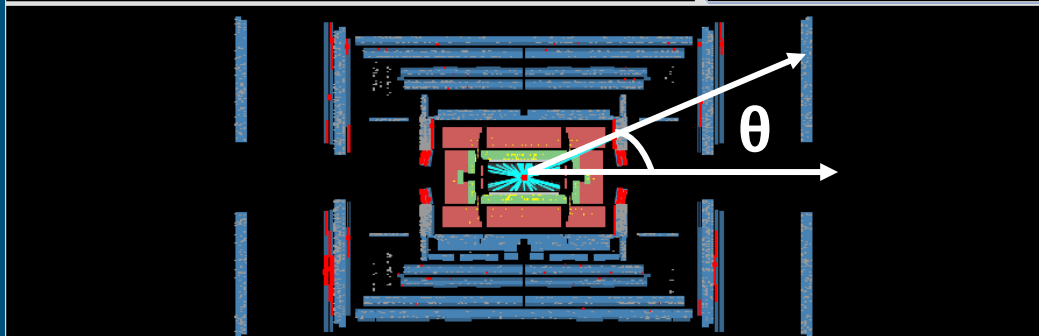
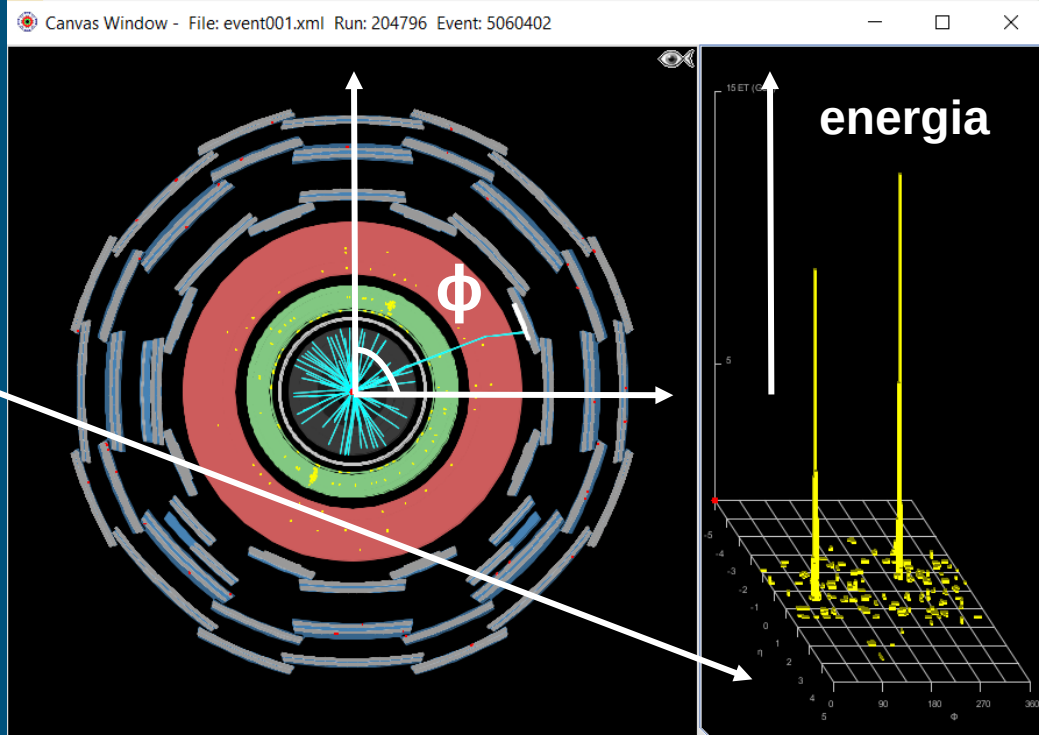
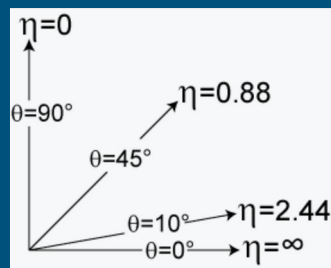


# L'EVENT DISPLAY

Display depositi elettromagnetici:

diagramma delle energie nel calorimetro elettromagnetico in funzione della posizione nel rivelatore  $\eta$ - $\phi$

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



# 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 sciame elettromagnetici: vedrò dei depositi di energia nei calorimetri elettromagnetici (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', ' $\phi$ : 3,040 rad', and 'Collection: MET\_RefFinal'. The main area is a table with columns for 'Track', '+/-', 'P [GeV]', 'Pt [GeV]', ' $\psi$ ', and ' $\theta$ '. Two red arrows point from the text 'Sfruttiamo il pannello delle tracce e il pannello di controllo' to the 'Previous Event' and 'Next Event' buttons in the menu bar.

Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	$\psi$	$\theta$
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]	$\phi$	$\theta$
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

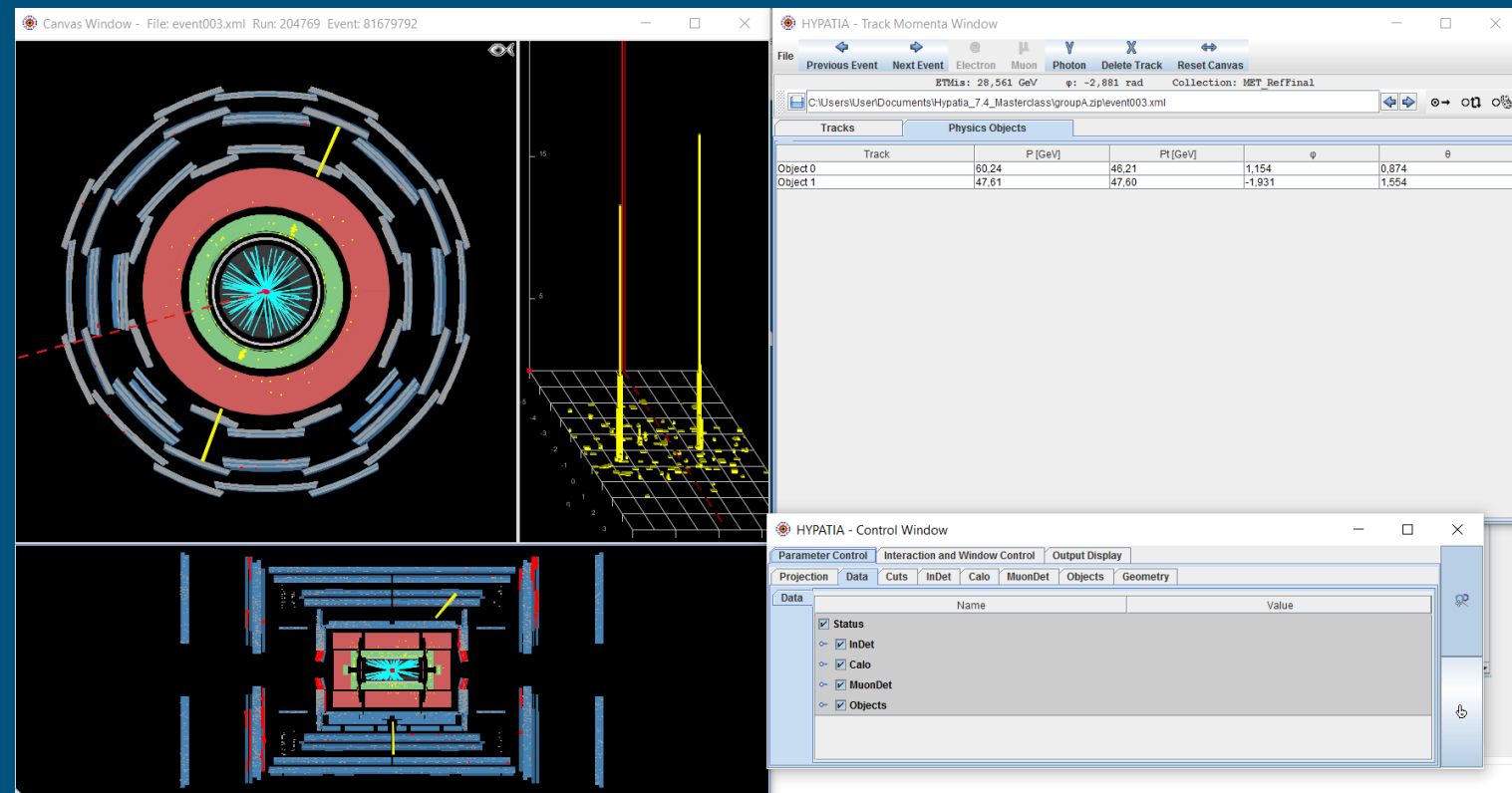
# Il pannello delle tracce

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

- carica
- impulso
- impulso trasverso

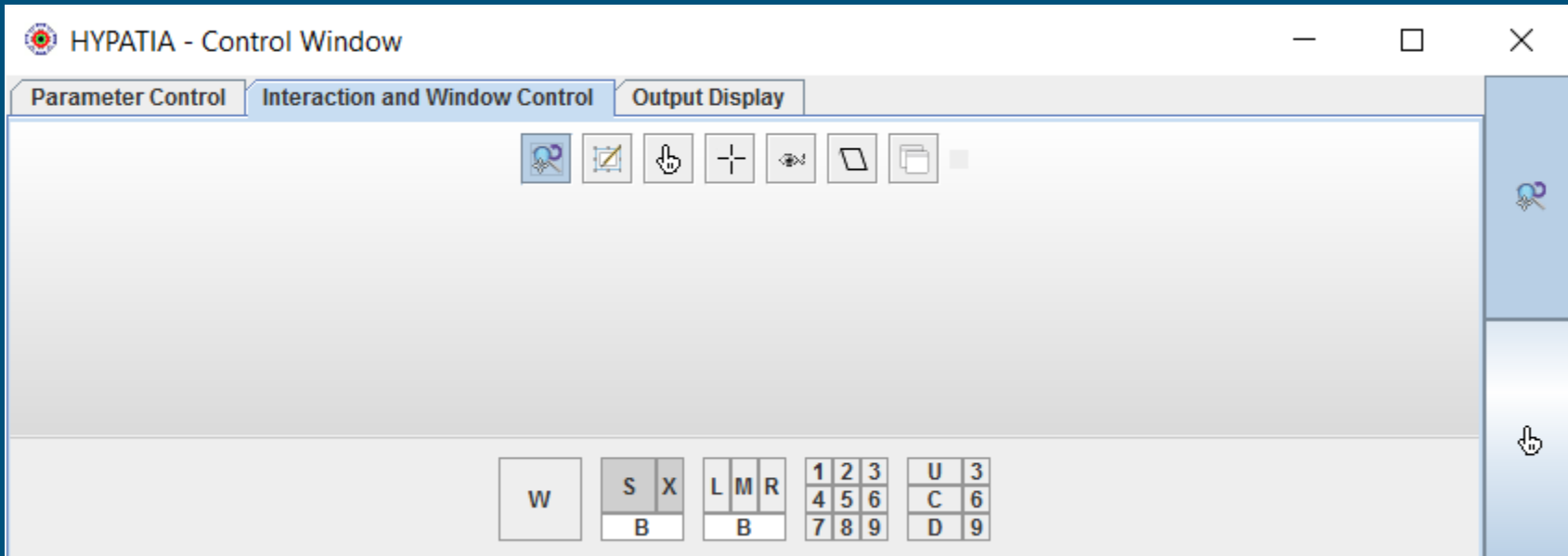
La finestra mostra anche l'energia “invisibile” (ad esempio dovuta a neutrini) dell'evento.

Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	$\phi$	$\theta$
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



- 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

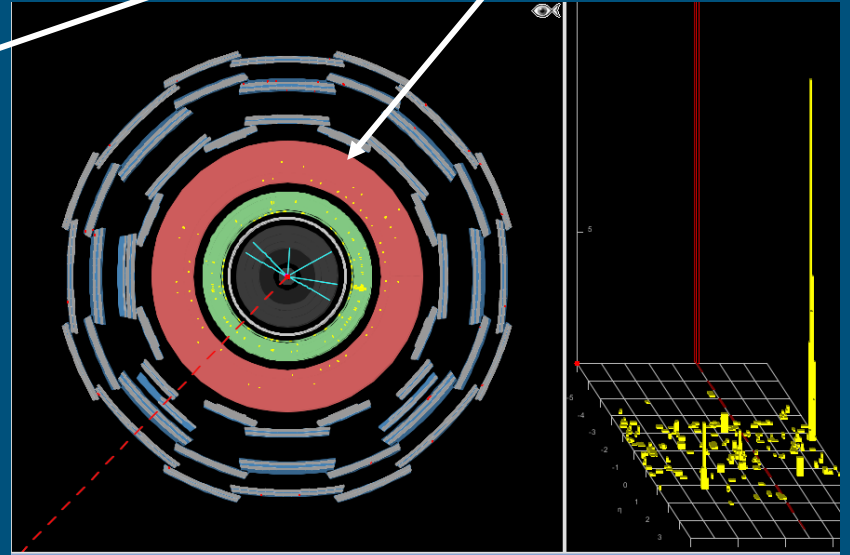
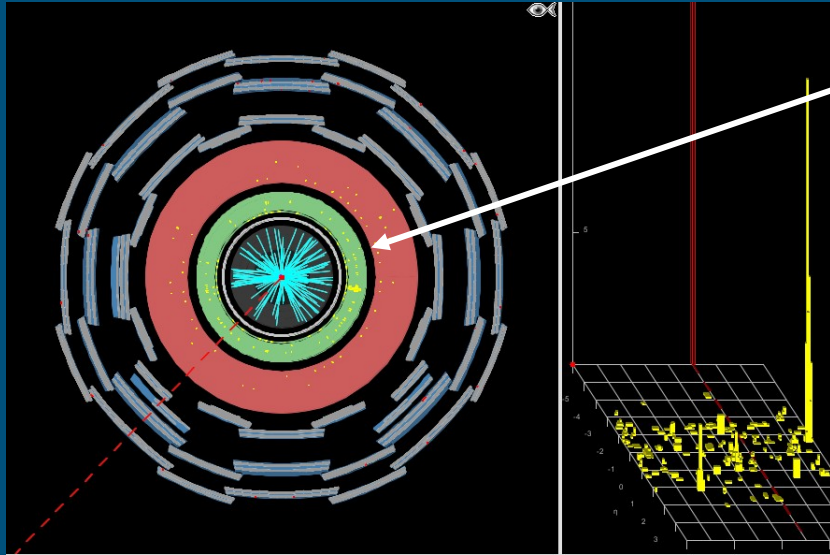
# Il pannello di controllo

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

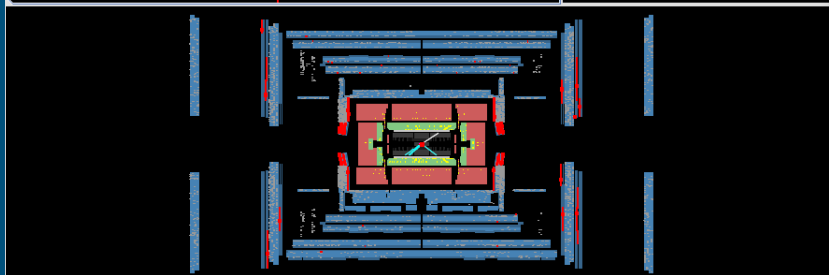
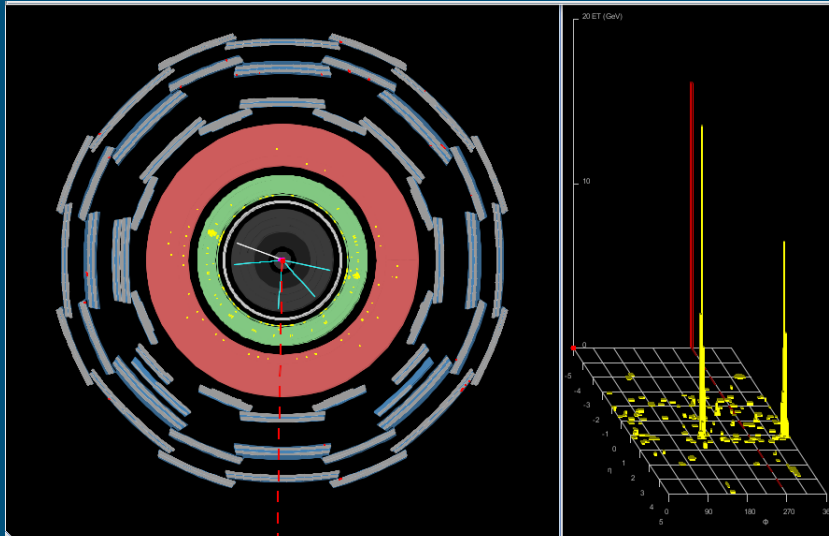
Lo stesso evento con un taglio sul Pt delle tracce pari a 1 GeV e a 10 GeV



In questo evento ci sono 5 tracce con  $p_T > 10$  GeV

La traccia 221, evidenziata in bianco quando la seleziono, è associata a un deposito calorimetrico (devo controllarlo sia nella vista trasversale che in quella laterale!!!)

E' carica negativamente



HYPATIA - Track Momenta Window

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

ETMIs: 16,125 GeV  $\psi$ : -1,988 rad Collection: MET\_RefFinal

C:\Users\User\Documents\Hypatia\_1\_Masterclass\groupA\ziplevent031.xml

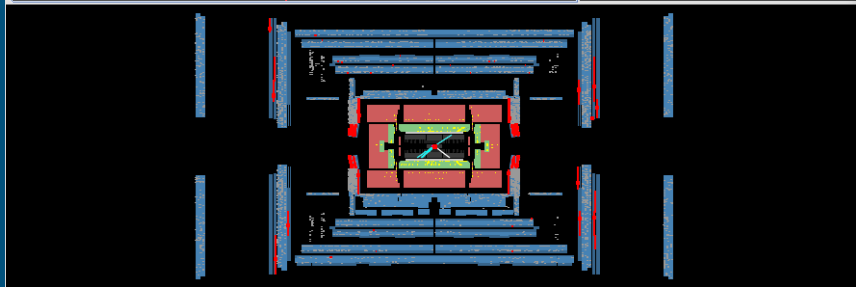
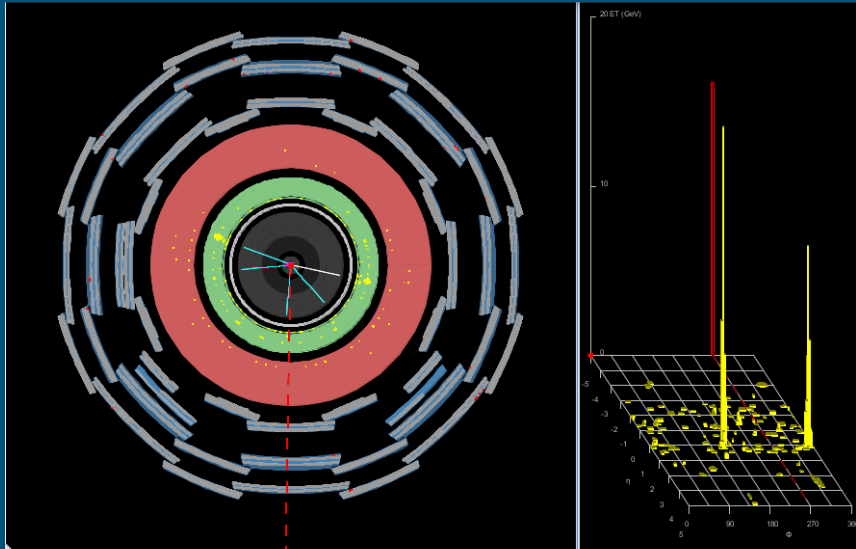
Track		P [GeV]	Pt [GeV]	$\psi$	$\theta$
Tracks 221	-	82.54	44.44	2.767	0.569
Tracks 245	+	71.18	40.47	-0.188	0.605
Tracks 360	-	544.67	294.51	-1.652	2.570
Tracks 361	+	170.30	109.40	-0.826	2.444
Tracks 362	-	283.57	191.87	-3.052	2.398

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	

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



The screenshot shows the HYPATIA - Track Momenta Window software interface. The 'Electron' button in the top toolbar is highlighted with a red box and a red arrow. Below the toolbar is a table of track data.

Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	$\varphi$	$\theta$
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

The screenshot shows the HYPATIA - Data window software interface. The 'Data' tab is selected, and a table of data is displayed.

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	

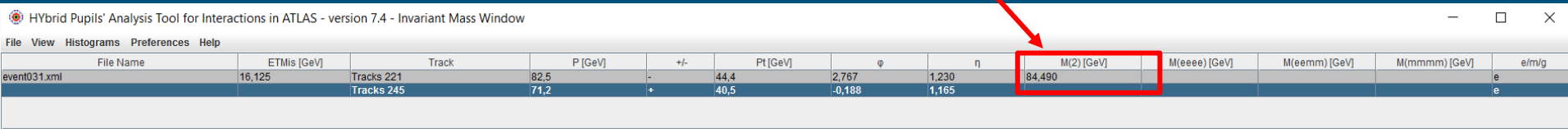


# La finestra della massa invariante

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 !

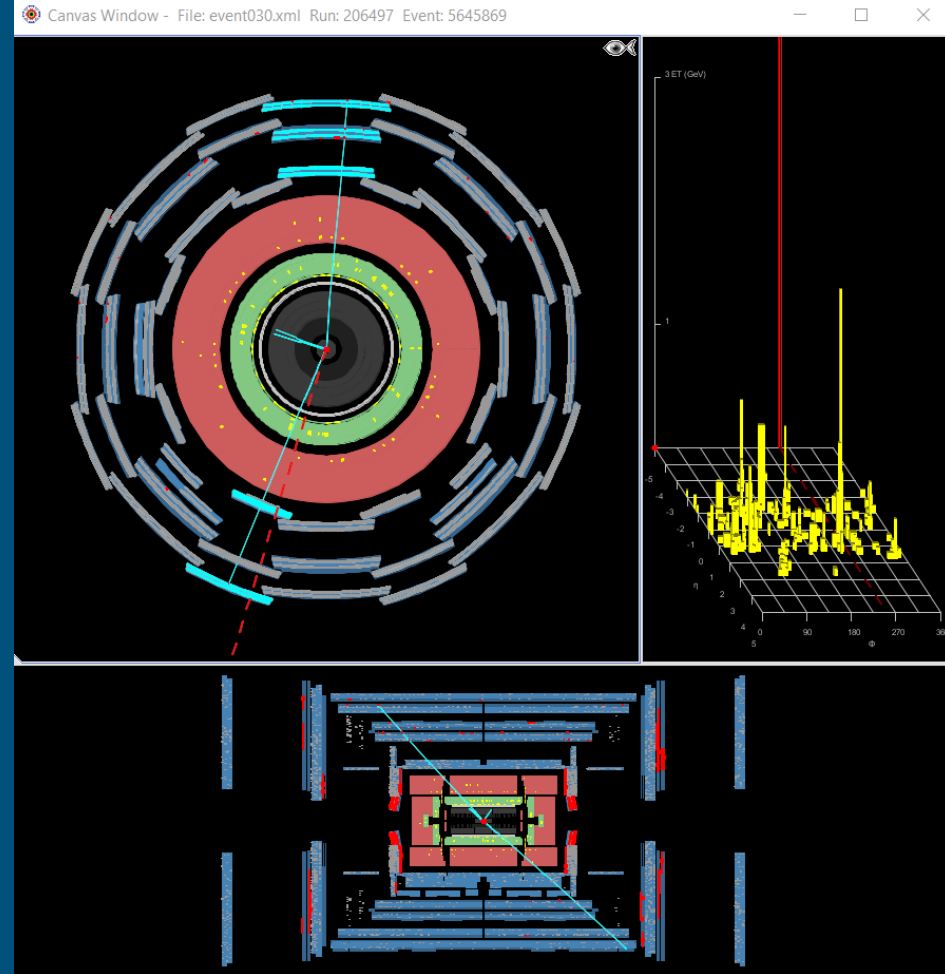
Questo evento sembra un buon candidato  $Z \rightarrow e^+e^-$



File Name	ETMis [GeV]	Track	P [GeV]	+/-	Pt [GeV]	$\phi$	$\eta$	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

# E un evento con muoni?

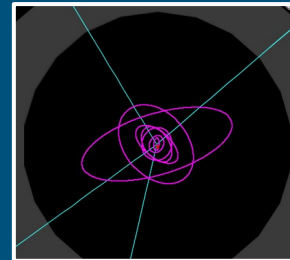
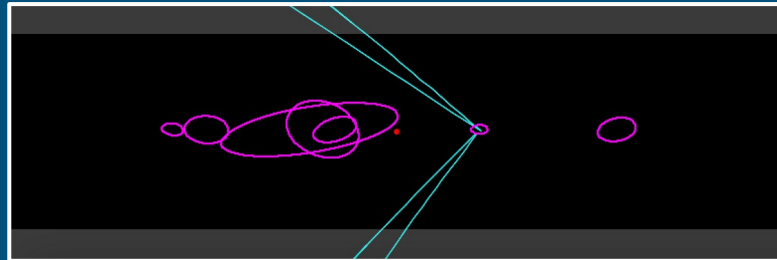
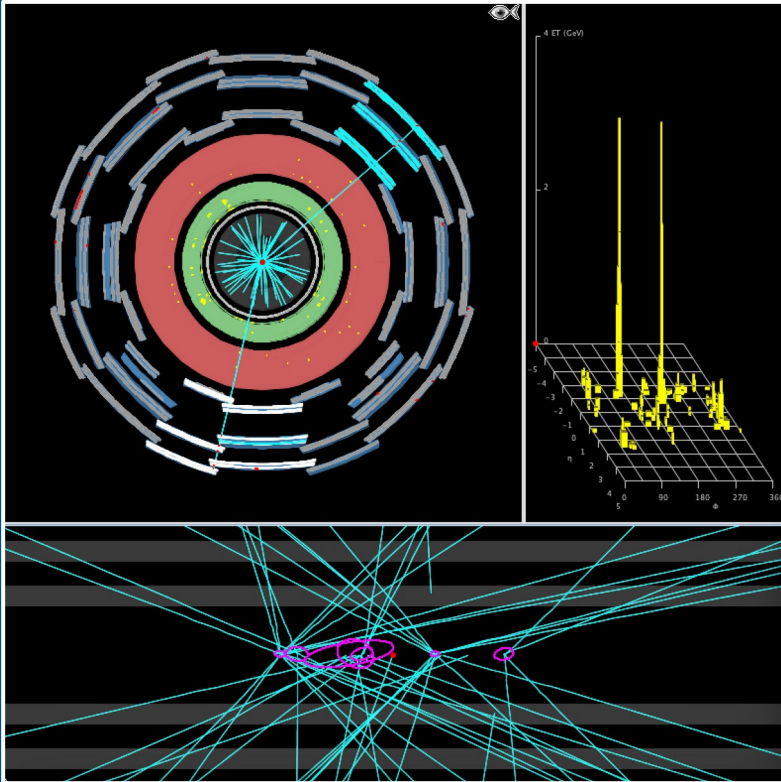
Qui vedo un evento con due tracce di muoni, che arrivano fino allo spettrometro per muoni... sarà un evento  $Z \rightarrow \mu^+ \mu^-$ ?



# Controllare la provenienza dal vertice primario

Esempio di un evento con due muoni e due elettroni -> probabile candidato  $H \rightarrow ZZ \rightarrow ee\mu\mu$

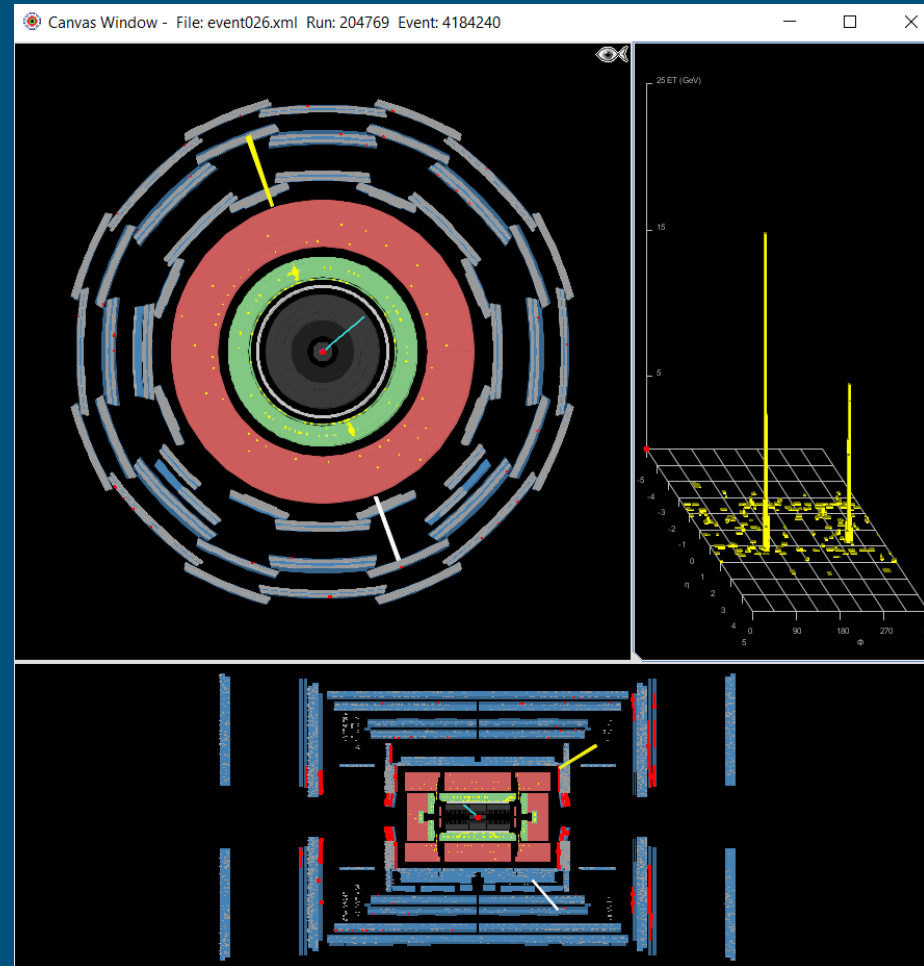
- Taglio in  $p_T > 10$  GeV
- Zoom sul centro del tracciatore
- Verificare la provenienza delle tracce selezionate dallo stesso vertice di interazione (su entrambi i piani)



# 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  $J/\psi$  o la  $\Upsilon$  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)

# 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]	$\phi$	$\eta$	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 View Histograms Preferences Help

File Name	ETMis [GeV]	Track	P [GeV]	+/-	Pt [GeV]	$\phi$	$\eta$	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

Per scaricare i pacchetti di dati

Abbiamo i datasets 7 e 8 a disposizione

<https://cernmasterclass.uio.no/datasets/>

Inst/Datasets									
Rome, Tor Vergata	<u>7</u>	<u>8</u>							



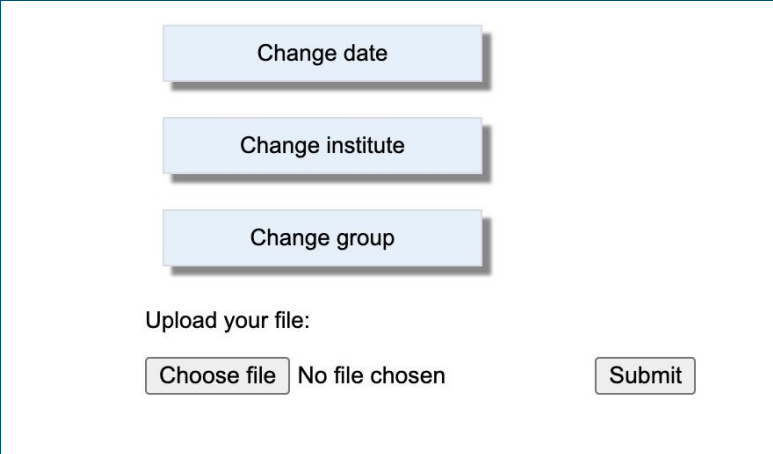
Per caricare i file .txt delle masse invarianti andiamo su questa pagina al punto 3

[https://atlas.physicsmasterclasses.org/it/zpath\\_data.htm](https://atlas.physicsmasterclasses.org/it/zpath_data.htm)

Loggarsi come Student ed utilizzare queste credenziali

**username: ippog**

**password: imc**



Change date

Change institute

Change group

Upload your file:

Choose file No file chosen Submit

# 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



Back-up slides

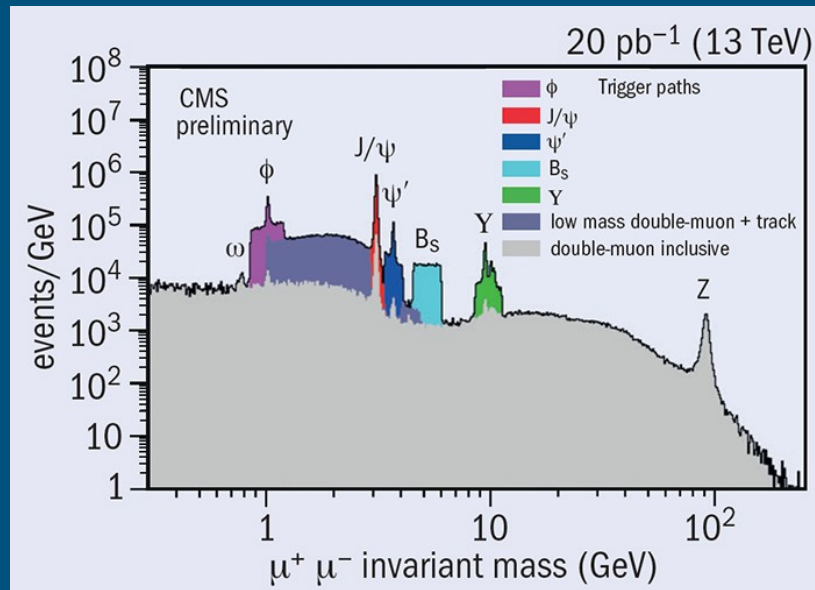
# Massa invariante: definizione

[https://physicsmasterclasses.org/exercises/ATLAS-translate/it/zpath\\_equation.htm](https://physicsmasterclasses.org/exercises/ATLAS-translate/it/zpath_equation.htm)

$$(m_0^{(Z)})^2 = \left( \sum_{i=1}^n \frac{E_i}{c^2} \right)^2 - \left( \sum_{i=1}^n \frac{\vec{p}_i}{c} \right)^2$$

$$(m_0^{(Z)})^2 = \left( \frac{E_1}{c^2} + \frac{E_2}{c^2} \right)^2 - \left( \frac{\vec{p}_1}{c} + \frac{\vec{p}_2}{c} \right)^2$$

$$m_0^{(Z)} = \sqrt{(m_0^{(1)})^2 + (m_0^{(2)})^2 + 2 \left( \frac{1}{c^4} \cdot E_1 \cdot E_2 - \frac{1}{c^2} \cdot \vec{p}_1 \cdot \vec{p}_2 \right)}$$

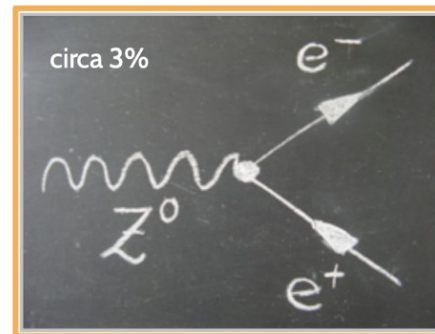
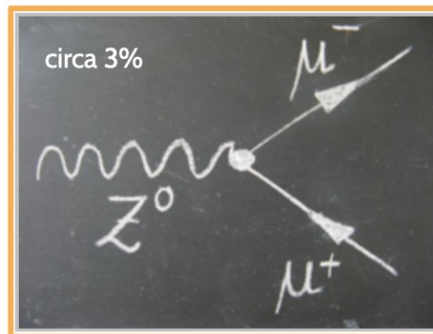


# Massa invariante: definizione

In particolare, un bosone Z puo' decadere in:

hadronic	leptonic	
	visible	invisible
$Z^0 \rightarrow q\bar{q}$ circa 70%	$Z^0 \rightarrow e^+e^-$	$Z^0 \rightarrow \nu\bar{\nu}$ circa 20%
	$Z^0 \rightarrow \mu^+\mu^-$	
	$Z^0 \rightarrow \tau^+\tau^-$	

Ci concentreremo su due dei modi di decadimento del bosone Z più facilmente identificabili



**Massa Invariante:** e' un invariante relativistico che si preserva se applichiamo una trasformazione di Lorentz!  
(E' la stessa in qualunque sistema di riferimento)

Leptone carico 1

$(E_1, \mathbf{p}_1)$

Leptone carico 2

$(E_2, \mathbf{p}_2)$

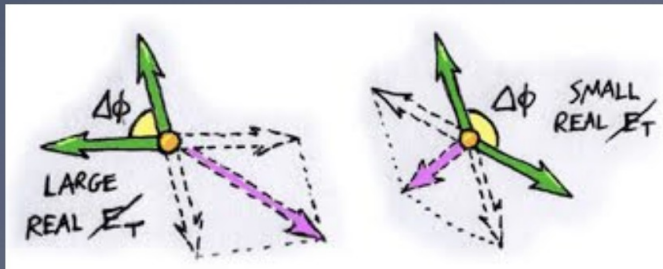
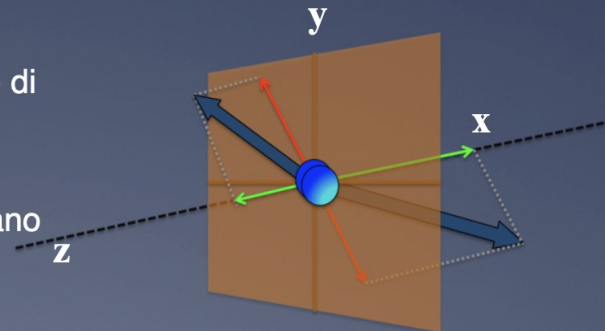
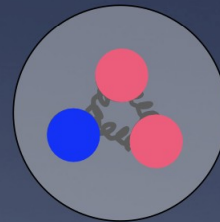
$$M^2 = (E_1 + E_2)^2 - \|\mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2\|^2 = m_1^2 + m_2^2 + 2(E_1 E_2 - \mathbf{p}_1 \cdot \mathbf{p}_2)$$

# Perché ad LHC parliamo di quantità di moto ed energia “trasversa” ?



Hands on Particle Physics

- \* la quantità di moto lungo l'asse di collisione del fascio non è nota
  - \* non è possibile misurare le proprietà dei costituenti dei protoni che interagiscono
- \* nel piano trasverso XY la quantità di moto di ogni protone e quella totale sono nulli.
- \* ... e tale deve essere dopo la collisione (principio di conservazione della quantità di moto)
- \* Ai colliders adronici il bilanciamento energia/quantità di moto si può usare solo nel piano trasverso



# 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!