



# Alla ricerca del bosone Z

Università 'La Sapienza' – Roma

Masterclass 2024

Lorenzo Corazzina – 20/02/2024



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA



# Cosa facciamo?

---

- Lo **scopo** è analizzare ~ 50 collisioni di particelle utilizzando il programma HYPATIA  
⇒ tutorial
- In questi eventi dovete cercare possibili tracce di **particelle neutre pesanti** come il bosone **Z** o il bosone di Higgs (**H**), che decadono in muoni ( **$\mu$** ), elettroni ( **$e$** ), fotoni ( **$\gamma$** ) ...
- **Event display**: mostra le tracce lasciate nel detector dalle particelle presenti ( **$\mu$** ,  **$e$** ,  **$\gamma$** ) nell'evento  
⇒ tra cui anche i prodotti di decadimento delle particelle che cerchiamo (H, Z,...)

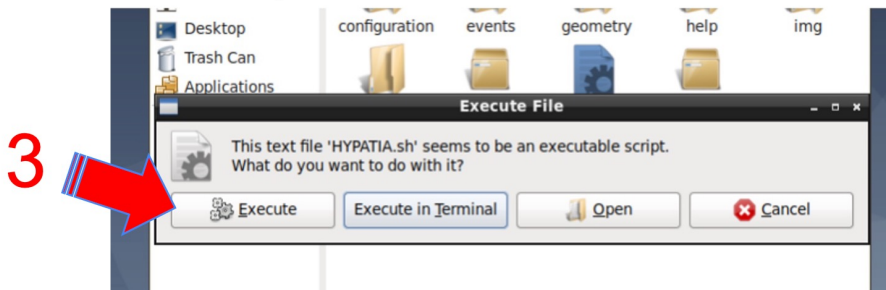
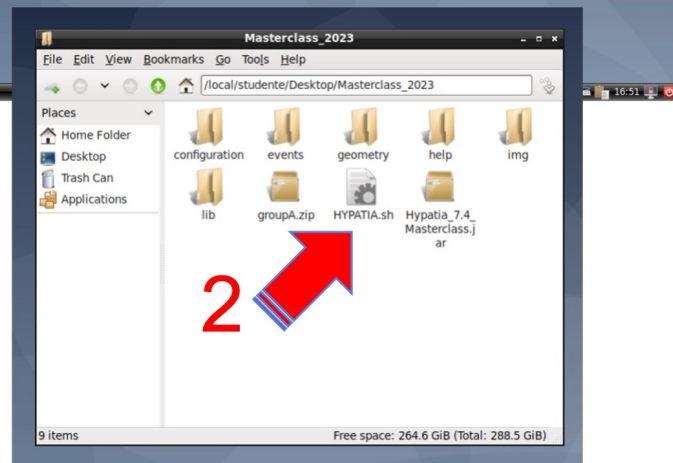
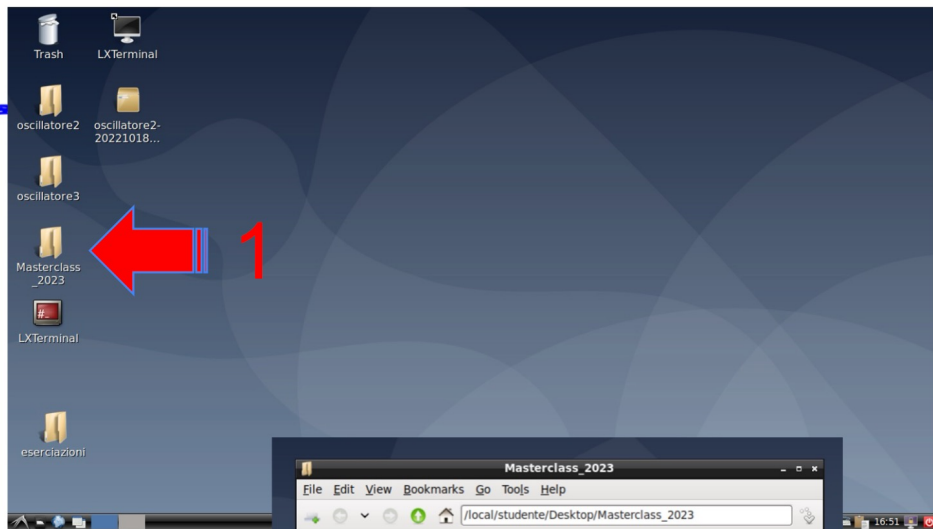
# Hypatia 7.4

Tutto l'occorrente è già disponibile sui vostri PC!  
La cartella 'Masterclass\_2024', presente sul Desktop, contiene tutto il necessario:

- Dati: file zip group\*.zip, dove \* è la lettera e il numero del vostro gruppo
- HYPATIA: da lanciare tramite 'HYPATIA.sh'

Per lanciare il programma:

1. Doppio click sulla cartella 'Masterclass\_2024'
2. Doppio click su 'HYPATIA.sh'
3. Cliccare 'Execute' sulla finestra che compare



# Hypatia 7.4: cosa troverete

The image displays the Hypatia 7.4 software interface, which is used for analyzing particle interactions in ATLAS. The main window is titled "Massa Invariante" (Invariant Mass). The interface is divided into several panels:

- Event Display:** A large central panel showing a top-down view of the ATLAS detector with tracks and objects overlaid. A 3D grid is visible in the bottom right corner of this panel.
- Tracce e Oggetti (Tracks and Objects):** A table displaying track and physics object data. The table has columns for Track, +/-, P [GeV], Pt [GeV],  $\eta$ ,  $\phi$ , and  $\theta$ .
- Controlli (Controls):** A panel for controlling the simulation and analysis parameters, including checkboxes for Status, InDet, Calo, MuonDet, and Objects.

The "Massa Invariante" window title bar includes the text "HYbrid Pupils' Analysis Tool for Interactions in ATLAS - version 7.4 - Invariant Mass Window". The "Tracce e Oggetti" table contains the following data:

Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	$\eta$	$\phi$	$\theta$
acks 0	-	11.68	4.28	-1.319		0.375
acks 1	+	126.06	39.41	-2.413		0.318
acks 2	+	4.57	4.56	-2.783		1.649
acks 3	-	167.90	53.01	0.906		0.321
acks 4	-	1.34	1.33	-2.949		1.475
acks 5	-	1.75	1.74	-3.090		1.645
acks 6	+	18.61	3.94	-1.818		0.214

# Hypatia 7.4: i dati

The screenshot displays the Hypatia 7.4 software interface, which is used for analyzing particle tracks in ATLAS. The main window shows a top-down view of the detector with tracks overlaid. A red circle highlights the 'File' menu in the top-left corner. A red arrow points from this circle to a red-bordered box containing the text: "Cliccare su **File** e poi su **Read Event Locally**".

The 'HYPATIA - Track Momenta Window' displays a table of track data:

Track	+	-	P [GeV]	Pt [GeV]	$\eta$	$\phi$
Tracks 0	-	11.68	4.28	-1.319	0.375	
Tracks 1	+	128.06	39.41	-2.413	0.318	
Tracks 2	+	4.67	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	

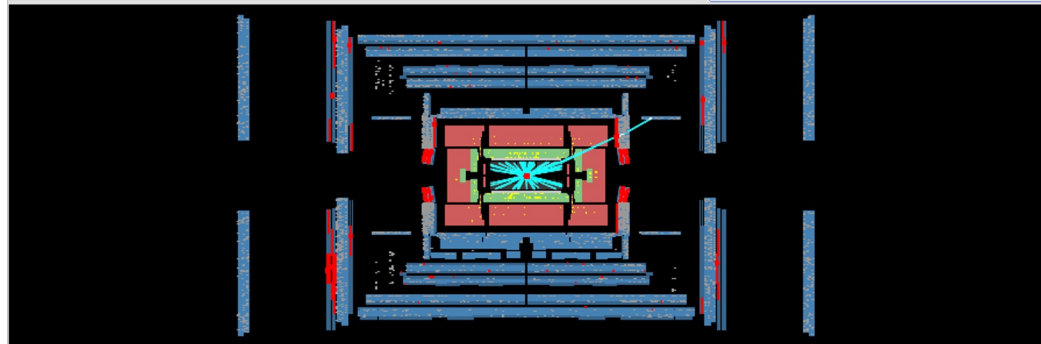
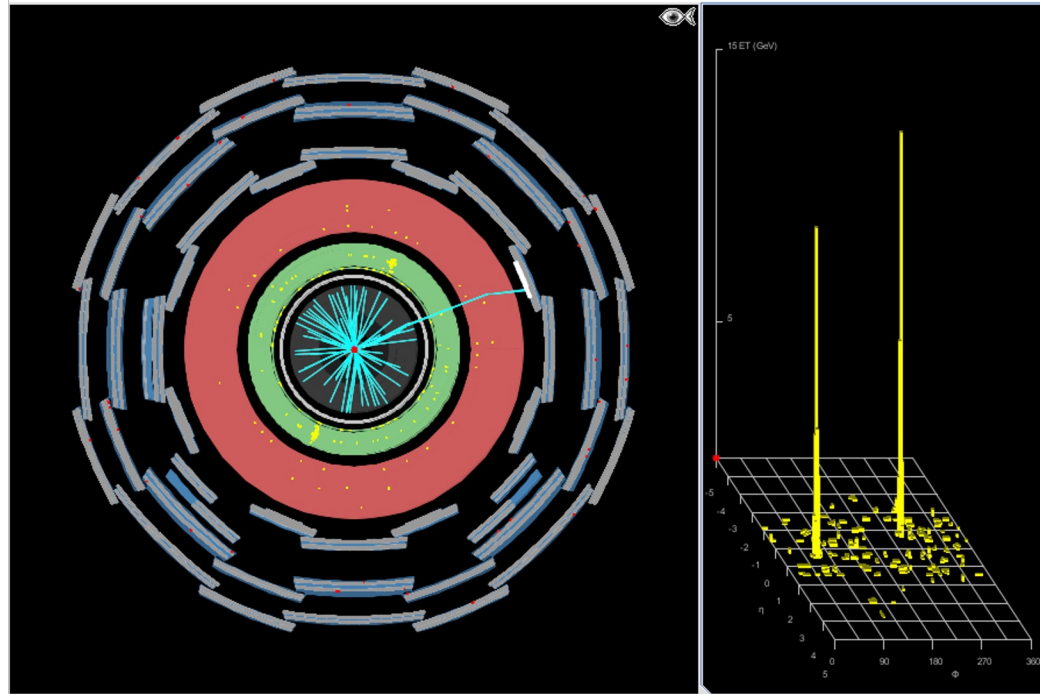
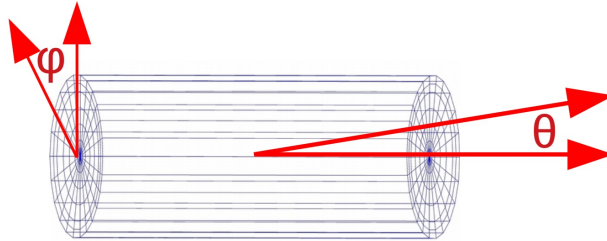
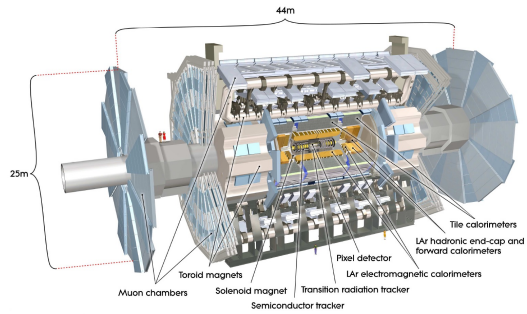
The 'HYPATIA - Control Window' shows a list of parameters to be displayed:

- Status
- InDet
- Calo
- MuonDet
- Objects

# Event Display

Abbiamo due viste:

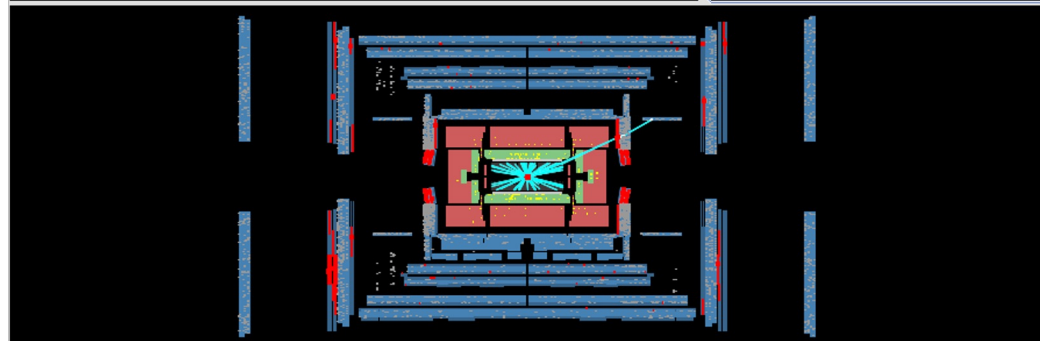
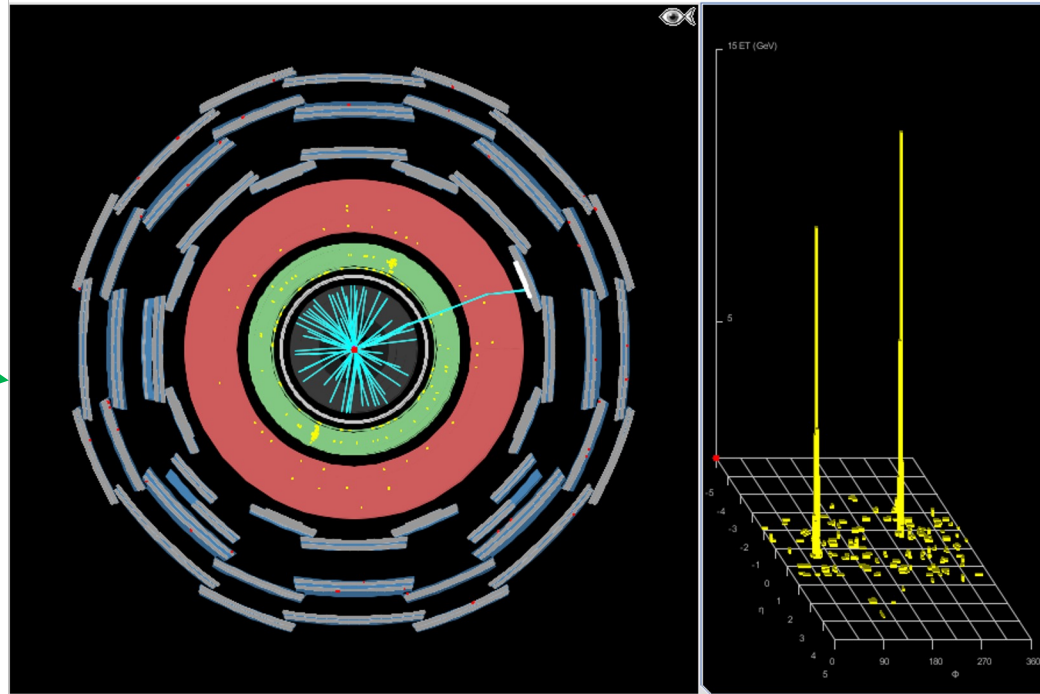
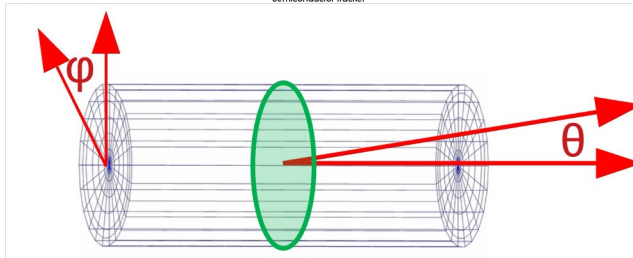
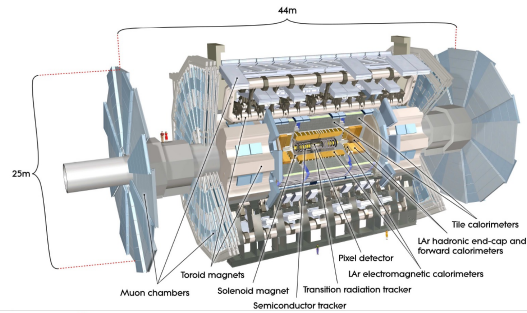
- Trasversale
- Laterale



# Event Display

Abbiamo due viste:

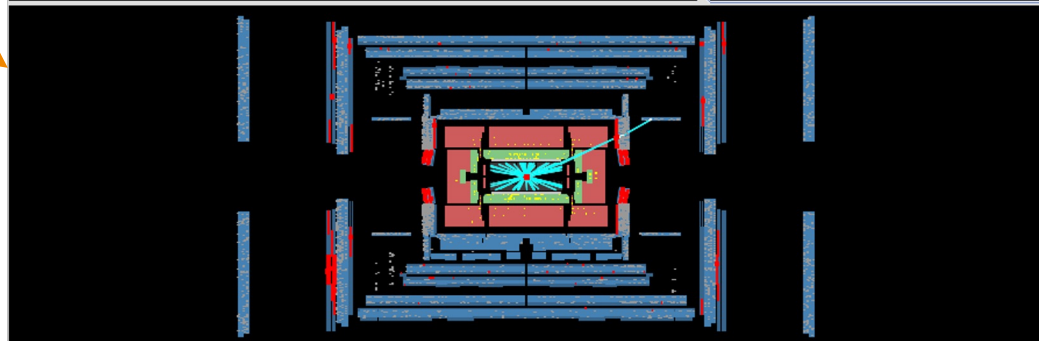
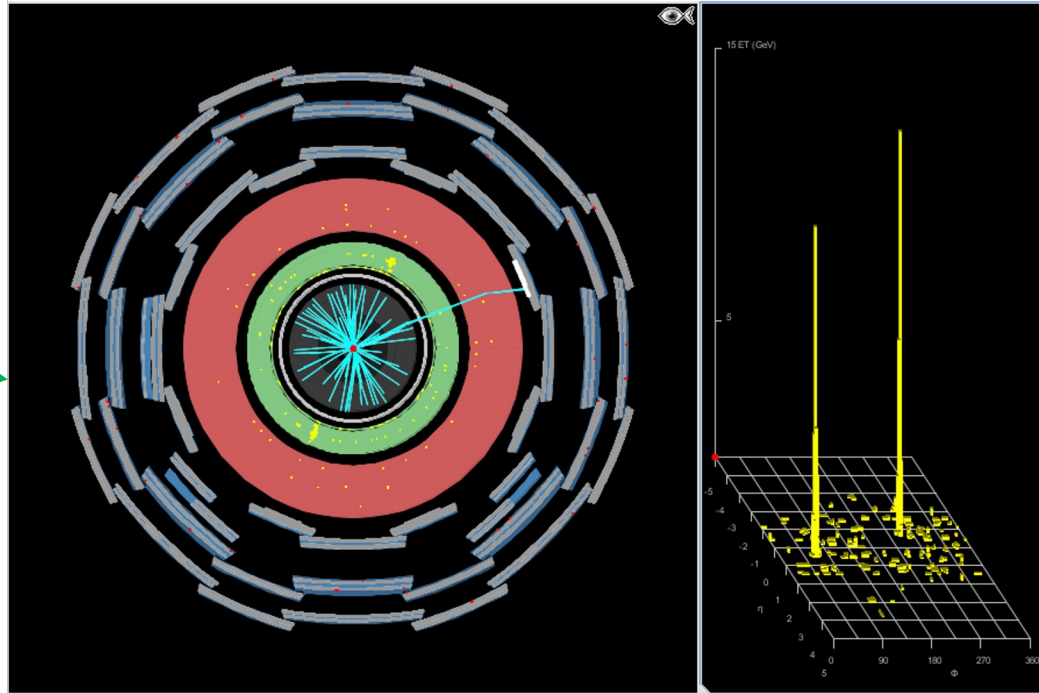
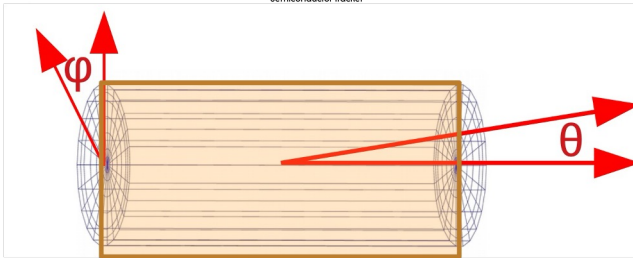
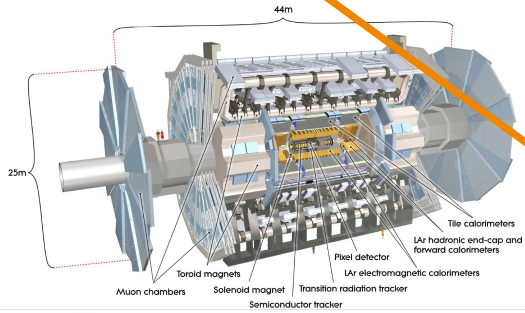
- **Trasversale**
- Laterale



# Event Display

Abbiamo due viste:

- Trasversale
- Laterale

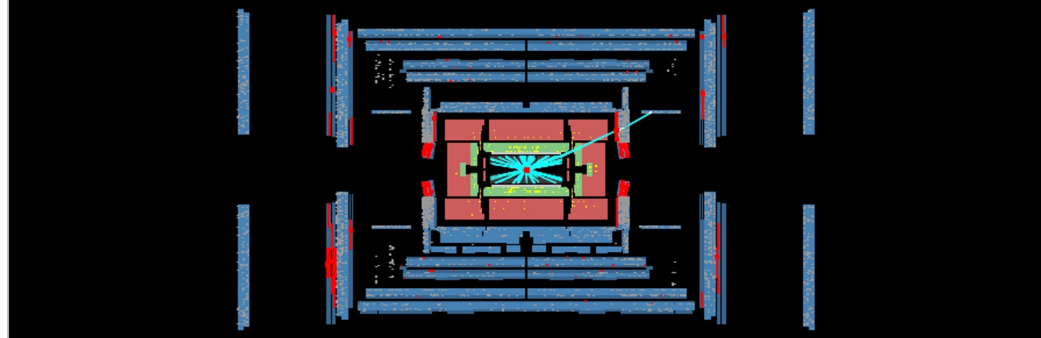
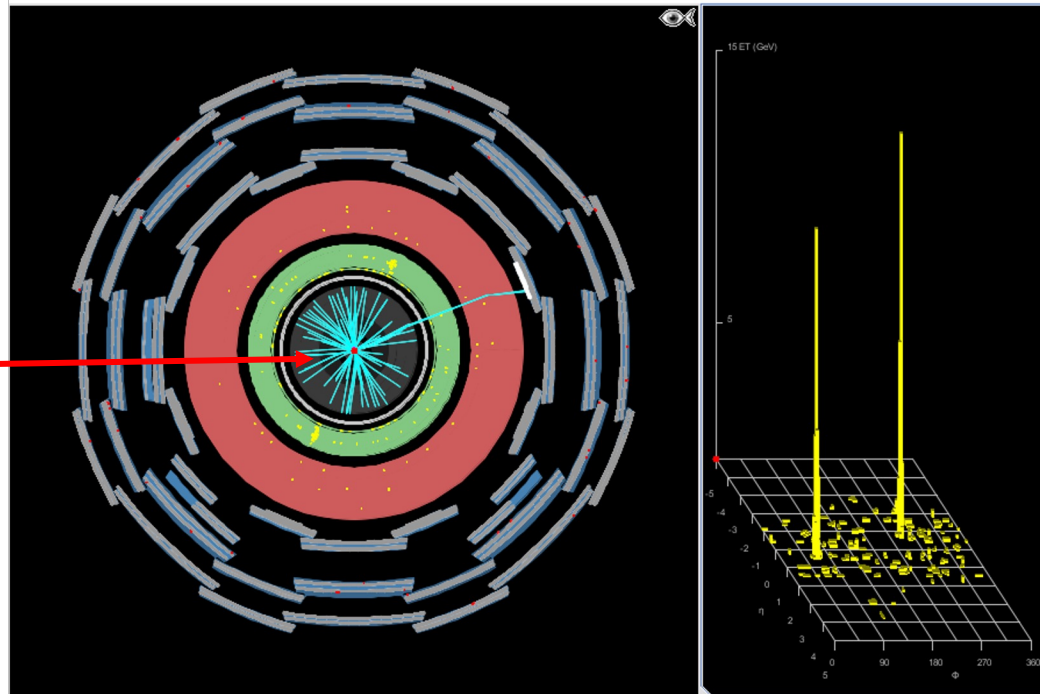




# Event Display

## Vista **trasversale**

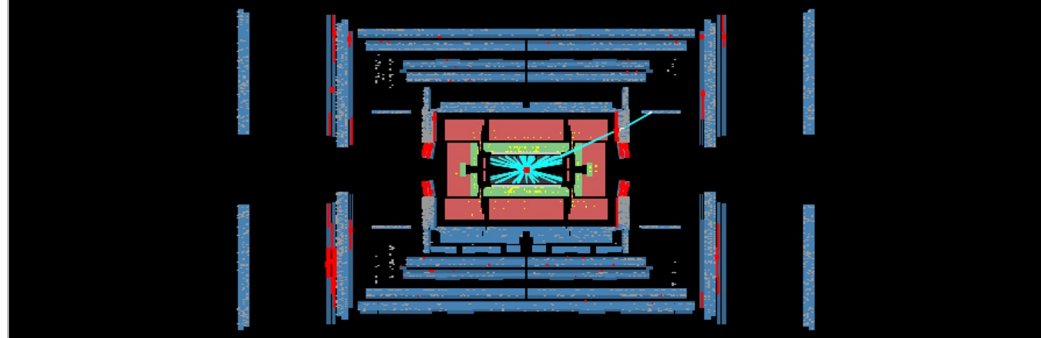
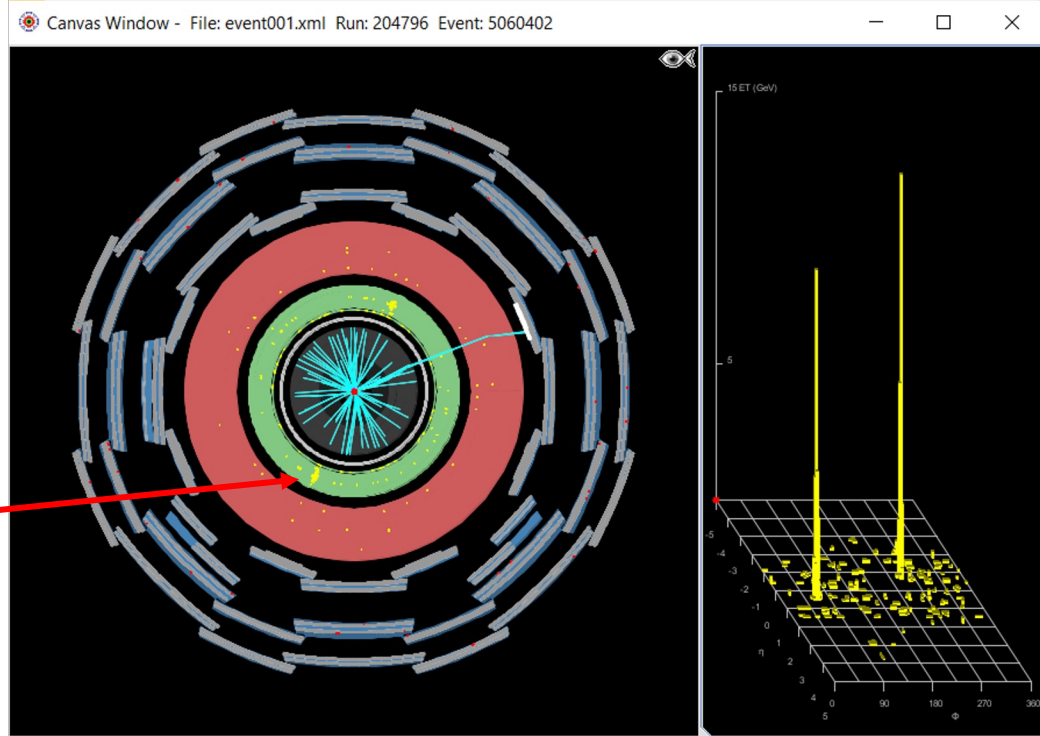
- **Tracciatore interno** con tracce in azzurro
- Calorimetro elettromagnetico con depositi di energia in giallo
- Calorimetro adronico con depositi di energia in giallo
- Camere per muoni con gli hit in rosso



# Event Display

## Vista **trasversale**

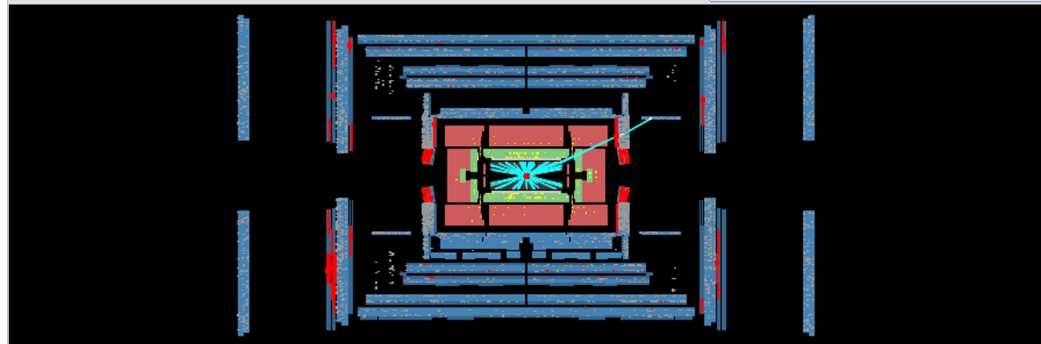
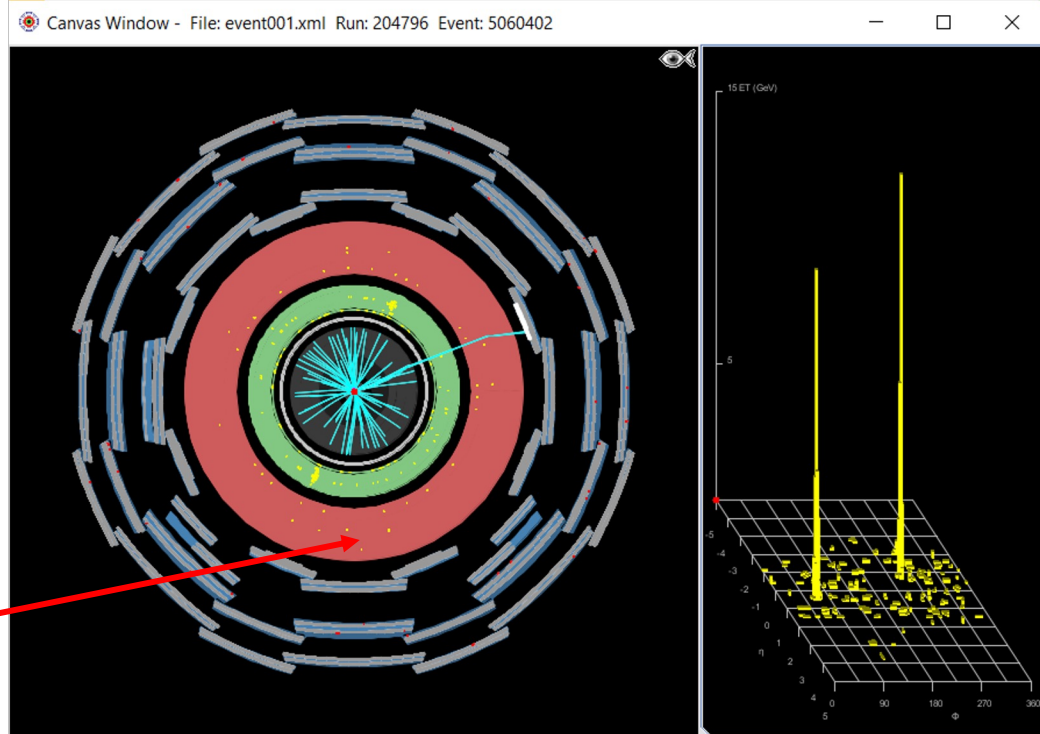
- Tracciatore interno con tracce in azzurro
- **Calorimetro elettromagnetico** con depositi di energia in giallo
- Calorimetro adronico con depositi di energia in giallo
- Camere per muoni con gli hit in rosso



# Event Display

## Vista **trasversale**

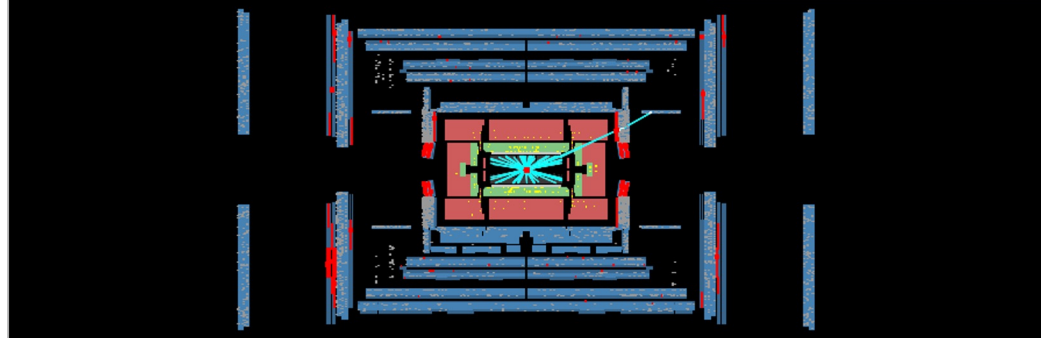
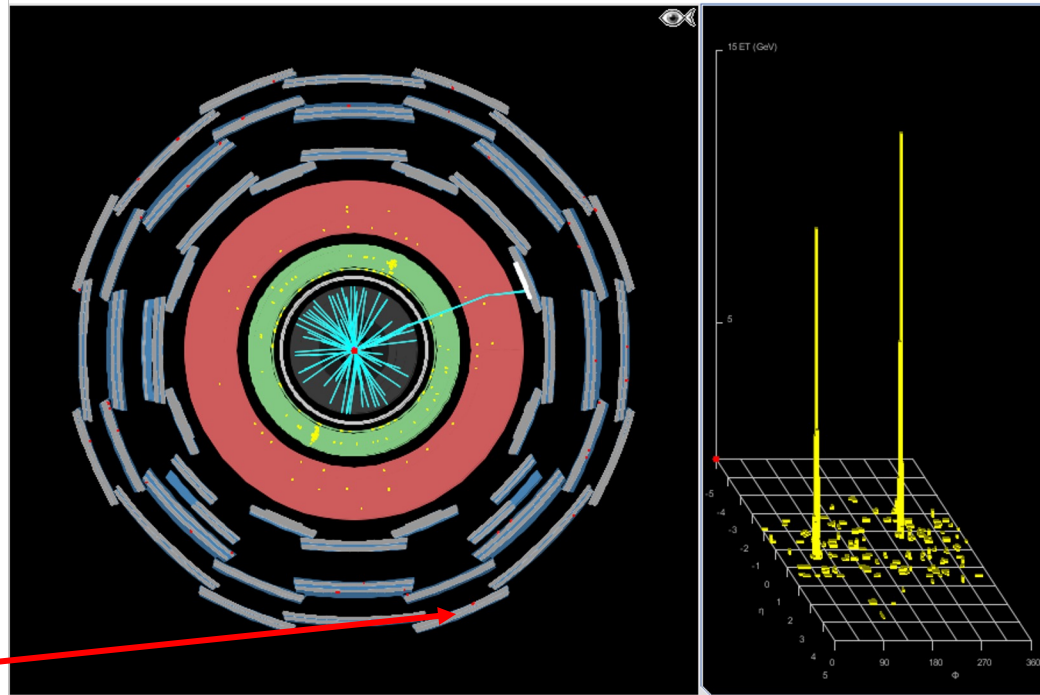
- Tracciatore interno con tracce in azzurro
- Calorimetro elettromagnetico con depositi di energia in giallo
- **Calorimetro adronico** con depositi di energia in giallo
- Camere per muoni con gli hit in rosso



# 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

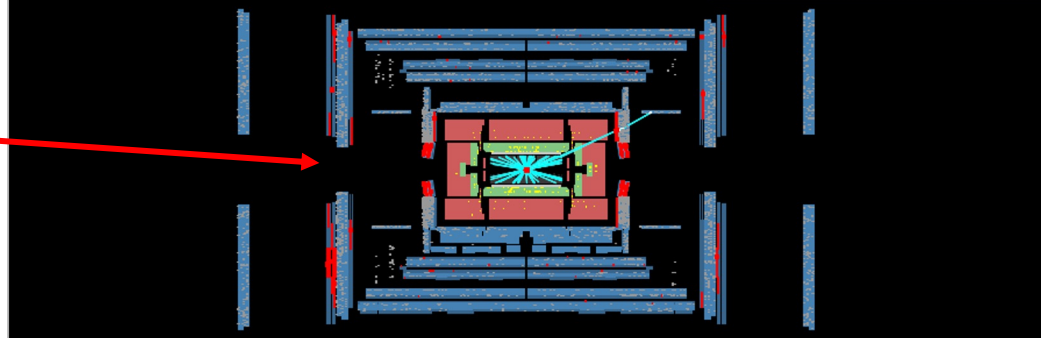
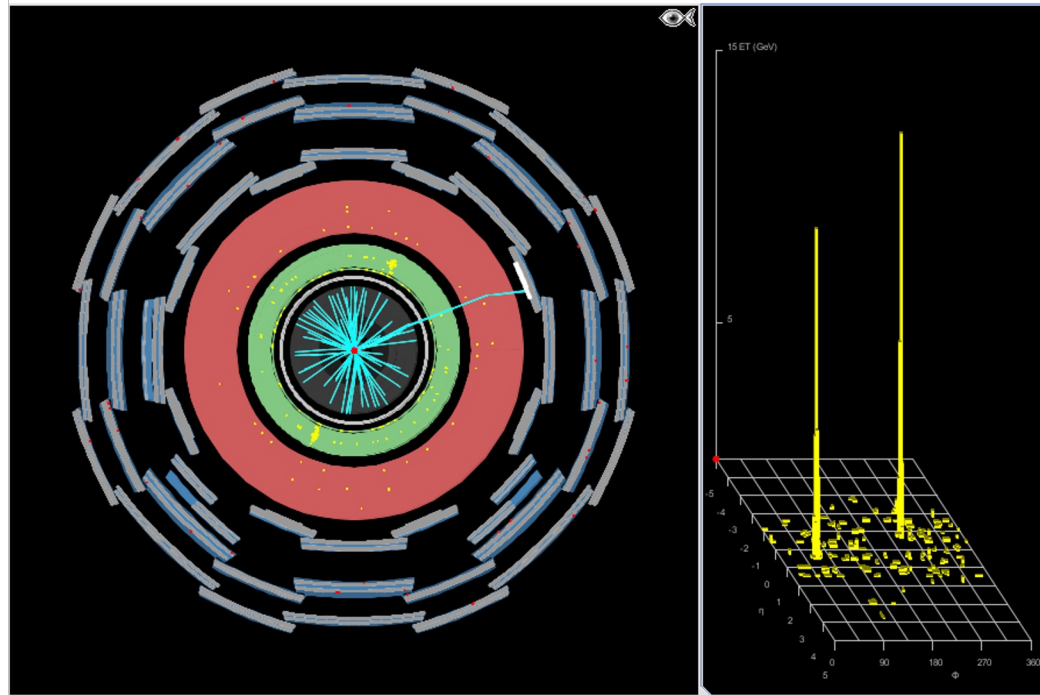


# Event Display

## 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

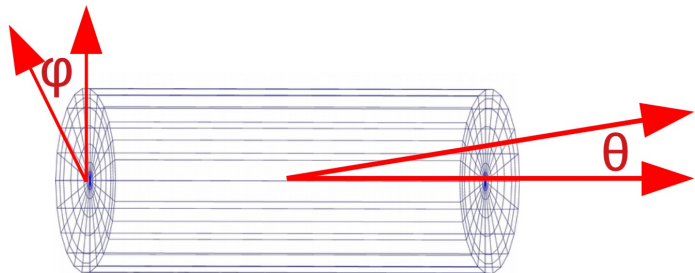
Lo stesso per la vista **laterale**



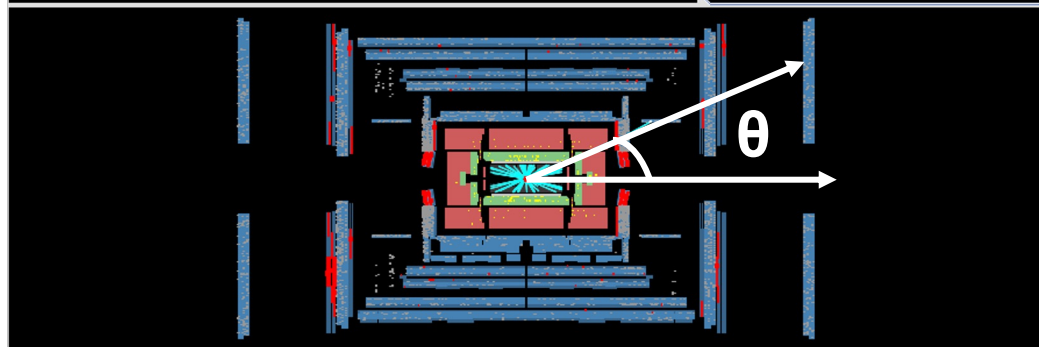
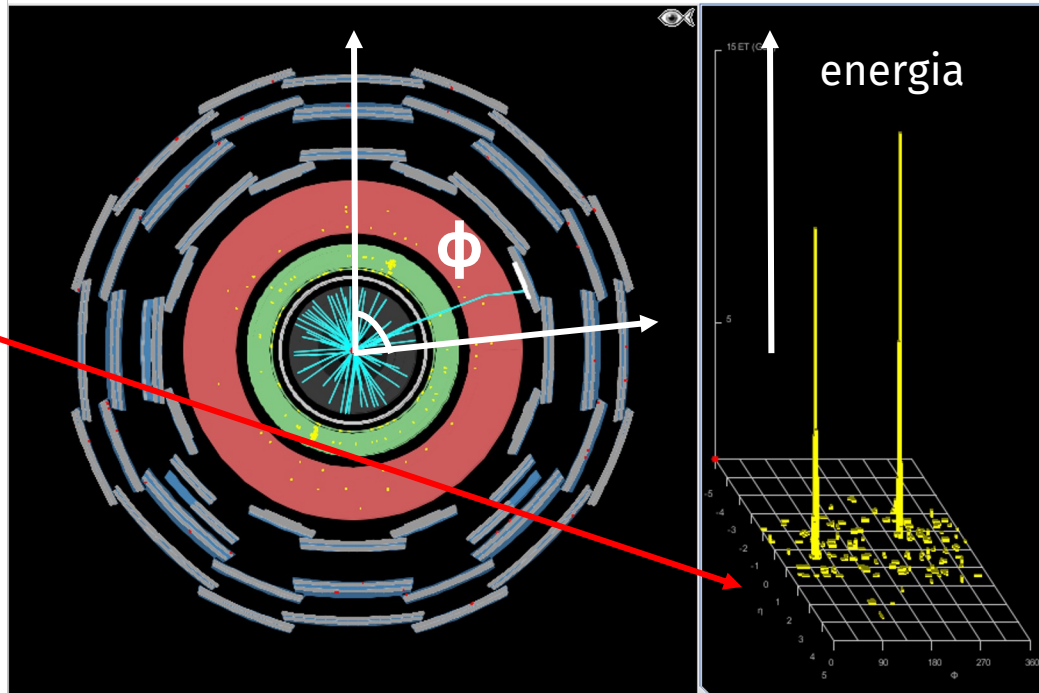
# Event Display

Display **depositi elettromagnetici**:

Diagramma delle energie nel calorimetro elettromagnetico in funzione della posizione nel rivelatore, in coordinate  $(\eta, \phi)$



$$\eta = -\ln\left(\tan\left(\frac{\theta}{2}\right)\right)$$



# Cosa cerchiamo?

Massa del bosone Z = 91.2 GeV

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, quindi ci aspettiamo che le tracce degli elettroni abbiamo **mediamente** un alto impulso trasverso ( $p_T$ )
  - gli elettroni nella materia interagiscono e producono sciami elettromagnetici: vedrò dei **depositi di energia nel calorimetro elettromagnetico** (quello verde)

Attenzione a non confonderci con i **fotoni**: questi producono depositi di energia simili a quelli degli elettroni, ma non hanno nessuna traccia associata nel rivelatore interno (o ne hanno due...)

# Cosa cerchiamo?

---

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 ( $p_T$ )



# Hypatia 7.4: cosa troverete

The image displays the Hypatia 7.4 software interface, which is used for particle physics data analysis. The main window is titled "HYBRID Pupils' Analysis Tool for Interactions in ATLAS - version 7.4 - Invariant Mass Window". It features a menu bar with "File", "View", "Histograms", "Preferences", and "Help". Below the menu bar is a toolbar with icons for "File Name", "ETMis [GeV]", "Track", "P [GeV]", "+/-", "P1[GeV]", "P2[GeV]", "M2[GeV]", "M[GeV]", "M[GeV]", "M[GeV]", "M[GeV]", and "e/m/g".

The interface is divided into several panels:

- Event Display:** A large panel on the left showing a top-down view of the ATLAS detector with tracks overlaid. The tracks are color-coded (blue, red, green) and originate from a central point. A 3D grid is visible in the bottom right corner of this panel.
- Track Momenta Window:** A window on the right showing a table of track parameters. The table has columns for "Track", "+/-", "P [GeV]", "P1 [GeV]", "P2 [GeV]", " $\psi$ ", and " $\theta$ ".
- Tracce e Oggetti:** A large white area below the table, likely for displaying track and object information.
- Controlli:** A control panel at the bottom right with tabs for "Parameter Control", "Interaction and Window Control", and "Output Display". It includes sub-tabs for "Projection", "Data", "Cuts", "InDet", "Calo", "MuonDet", "Objects", and "Geometry". The "Data" sub-tab is active, showing a list of parameters with checkboxes for "Status", "InDet", "Calo", "MuonDet", and "Objects".

Track	+/-	P [GeV]	P1 [GeV]	P2 [GeV]	$\psi$	$\theta$
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

# Come lo cerchiamo?

Nel pannello delle tracce troviamo tutto ciò che serve per la nostra ricerca:

- Possiamo scorrere tra gli eventi
- Possiamo vedere le proprietà di tutte le tracce:
  - Carica
  - Impulso
  - Impulso trasverso
- Vedere l'energia mancante o invisibile (es. neutrini)

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 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

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	

# Come lo cerchiamo?

Nel pannello delle tracce troviamo tutto ciò che serve per la nostra ricerca:

- Possiamo scorrere tra gli eventi
- Possiamo vedere le proprietà di tutte le tracce:
  - Carica
  - Impulso
  - Impulso trasverso
- Vedere l'energia mancante o invisibile (es. neutrini)

The screenshot displays the HYPATIA software interface. The main window is titled "HYPATIA - Track Momenta Window" and shows a table of track data. The table has columns for Track, +/-, P [GeV], Pt [GeV],  $\psi$ , and  $\theta$ . Three blue arrows point from the text in the left panel to the +/-, P [GeV], and Pt [GeV] columns in the table. Below the table is a "HYPATIA - Control Window" with tabs for "Parameter Control", "Interaction and Window Control", and "Output Display". The "Data" tab is active, showing a list of data items with checkboxes: Status, InDet, Calo, MuonDet, and Objects.

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	+	4.07	27.95	-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	-	8.25	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 32	-	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

# Come lo cerchiamo?

Nel pannello delle tracce troviamo tutto ciò che serve per la nostra ricerca:

- Possiamo scorrere tra gli eventi
- Possiamo vedere le proprietà di tutte le tracce:
  - Carica
  - Impulso
  - Impulso trasverso
- Vedere l'energia mancante o invisibile (es. neutrini)

The screenshot displays the HYPATIA software interface, which is used for track analysis. The main window, titled "HYPATIA - Track Momenta Window", shows a table of track data. The table has columns for Track ID, Charge (+/-), Momentum (P [GeV]), Transverse Momentum (Pt [GeV]), Azimuthal Angle ( $\psi$ ), and Pseudorapidity ( $\theta$ ). The data is organized into tracks, with each track having a unique ID and associated physical properties. The interface also includes a menu bar with options like "Previous Event", "Next Event", "Electron", "Muon", "Photon", "Delete Track", and "Reset Canvas". Below the main window, there is a "HYPATIA - Control Window" with tabs for "Parameter Control", "Interaction and Window Control", and "Output Display". The "Data" tab is active, showing a list of data items with checkboxes for "Status", "InDet", "Calo", "MuonDet", and "Objects".

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 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

# Come lo cerchiamo?

The image displays the HYPATIA software interface, which is used for particle physics simulations and analysis. It consists of several windows:

- Canvas Window:** Shows a 3D visualization of the detector geometry (ATLAS) with tracks. A red dashed arrow points from the text box to the tracks in this window.
- HYPATIA - Track Momenta Window:** Displays a table of track momenta for two objects.
- HYPATIA - Control Window:** Shows the configuration of the simulation, including detector components like InDet, Calo, MuonDet, and Objects.

The text box highlights that missing energy is shown as red dashed lines when it is significant.

Track	P [GeV]	Pt [GeV]	$\eta$	$\phi$
Object 0	60.24	46.21	1.154	0.874
Object 1	47.81	47.60	-1.931	1.554

L'energia mancante viene mostrata, se significativa, da tracce rosse tratteggiate

# Come lo cerchiamo?

The image displays the HYPATIA software interface. On the left, there are three detector views: a top-down view of the detector layers, a 3D perspective view, and a cross-sectional view. On the right, the 'HYPATIA - Track Momenta Window' is open, showing a table of track data. A red arrow points from a text box to the 'Physics Objects' tab in the table.

Track	P [GeV]	φ [rad]	η	z [cm]
Object 0	60.24	46.21	1.154	0.874
Object 1	47.81	47.60	-1.931	1.554

Event: 81679792  
ETMIs: 28,561 GeV  
φ: -2,881 rad  
Collection: MET\_RefFinal

Physics Objects

Parameter Control | Interaction  
Projection | Data | Cuts  
Data

- Status
- InDet
- Calo
- MuonDet
- Objects

Nel pannello delle tracce c'è anche una tab **Physics Objects**:

mostra i depositi elettromagnetici di alta energia, potenzialmente fotoni

# Hypatia 7.4: cosa troverete

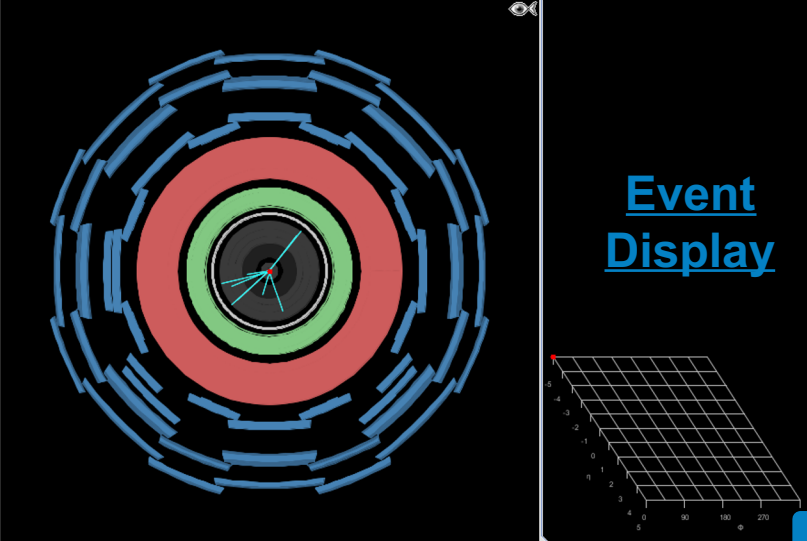
HYbrid Pupils' Analysis Tool for Interactions in ATLAS - version 7.4 - Invariant Mass Window

File View Histograms Preferences Help

File Name ETMIs [GeV] Track P [GeV] +/- Pt [GeV]  $\varphi$   $\eta$  M(2) [GeV] M(eeee) [GeV] M(eemm) [GeV] M(mmmm) [GeV] e/m/g

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

**Event Display**



**Tracce e Oggetti**

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

**Massa Invariante**

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

ETMIs: 13,877 GeV  $\varphi$ : 0,785 rad Collection: MET RefFinal

C:/Users/User/Documents/Hypatia\_7\_4\_Masterclass/events/events4.zip/JiveXML\_106051\_1950731.xml

Tracks Physics Objects

HYPATIA - Track Momenta Window

HYPATIA - Control Window

Parameter Control Interaction and Window Control Output Display

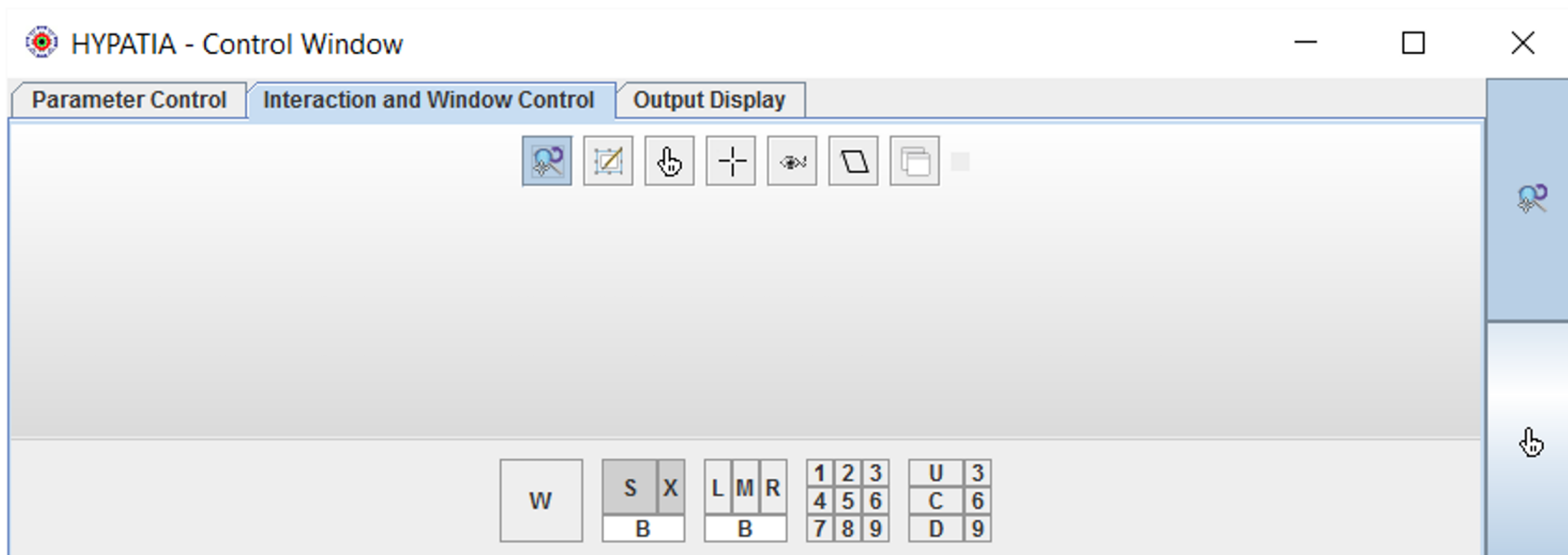
Projection Data Cuts InDet Calo MuonDet Objects Geometry

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	

**Controlli**

# Il pannello di controllo



Nel pannello di controllo ci sono molte funzionalità  
Si può ad esempio navigare nell'event display: zoomare, spostarsi, ecc.

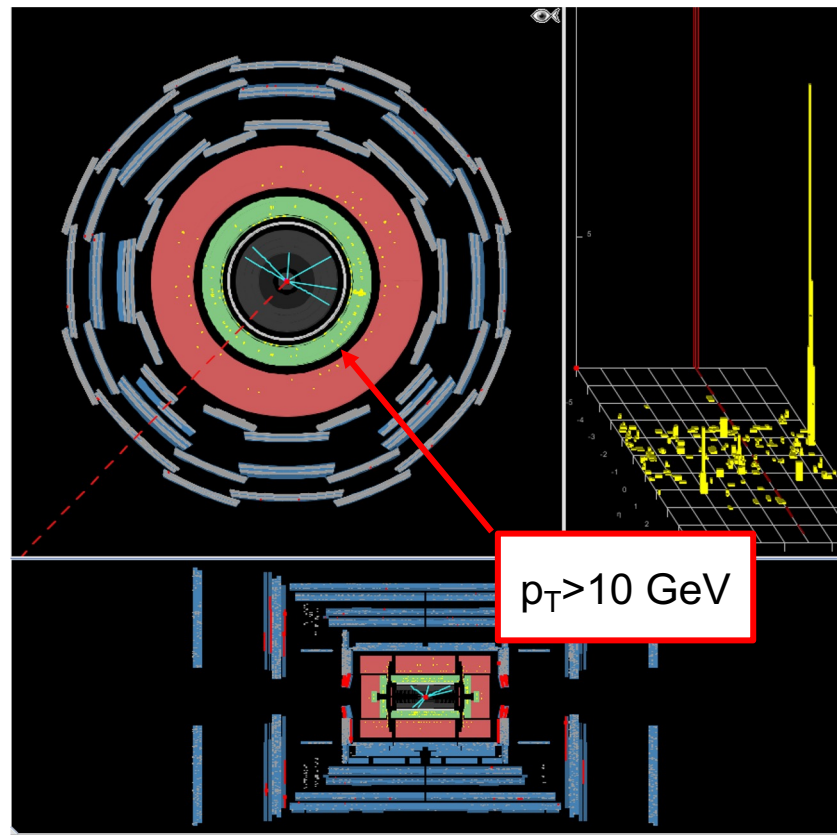
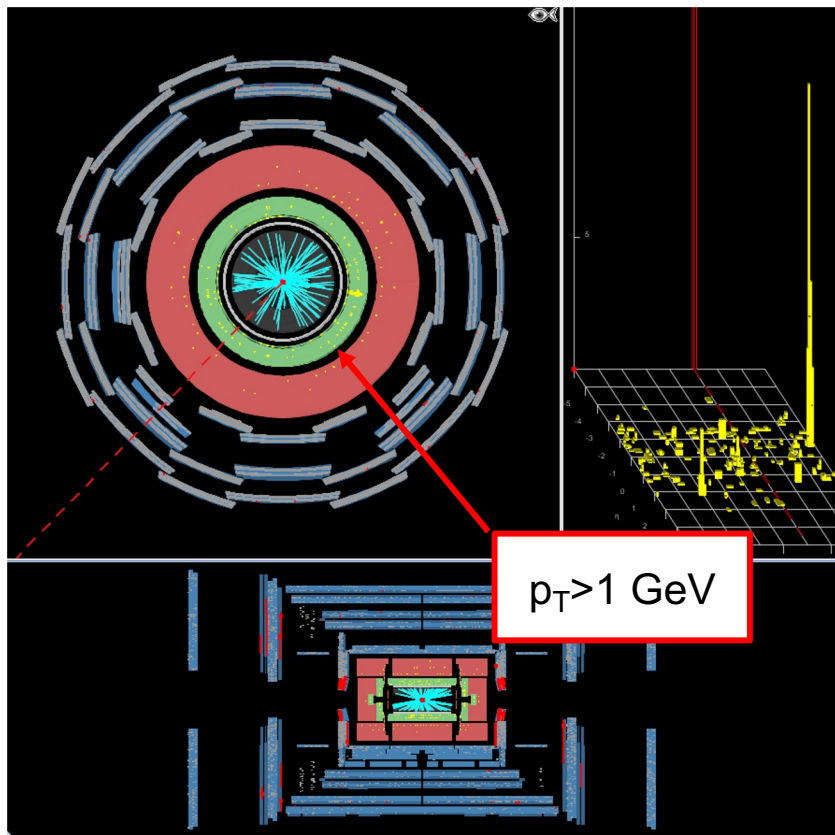


# Il pannello di controllo

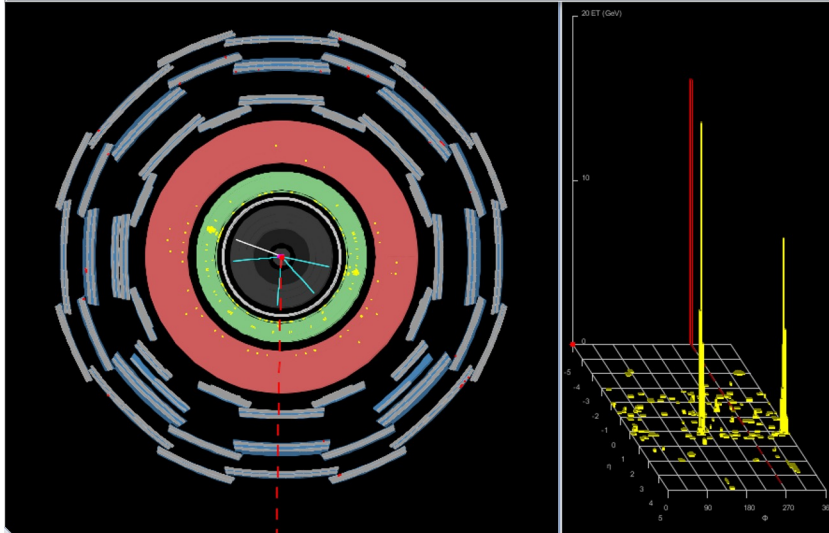
Name	Value
<input checked="" type="checkbox"/>  Pt	> 10.0 GeV
<input type="checkbox"/>  Pt2	< 700.0 MeV
<input checked="" type="checkbox"/>  d0	< 2.5 mm
<input checked="" type="checkbox"/>  z0	< 20.0 cm
<input type="checkbox"/>  d0 Loose	< 2.0 cm

Nella tab **Cuts** ci sono funzionalità che possono aiutare nell'esercizio:  
Se si cerca uno Z, si possono selezionare le tracce con un impulso trasverso alto, facendo sparire dall'event display tutto ciò che non serve

# Il pannello di controllo



# Esempio 1



HYPATIA - Track Momenta Window

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

ETMis: 16,125 GeV  $\psi$ : -1,588 rad Collection: MET\_RefFinal

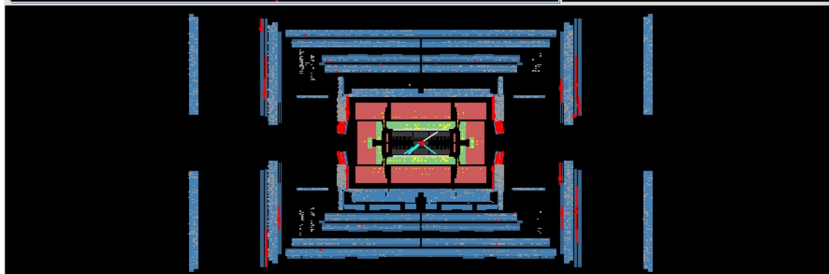
C:\Users\User\Documents\Hypatia\_7\_4\_Masterclass\groupA\ziplevent031.xml

Tracks	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	

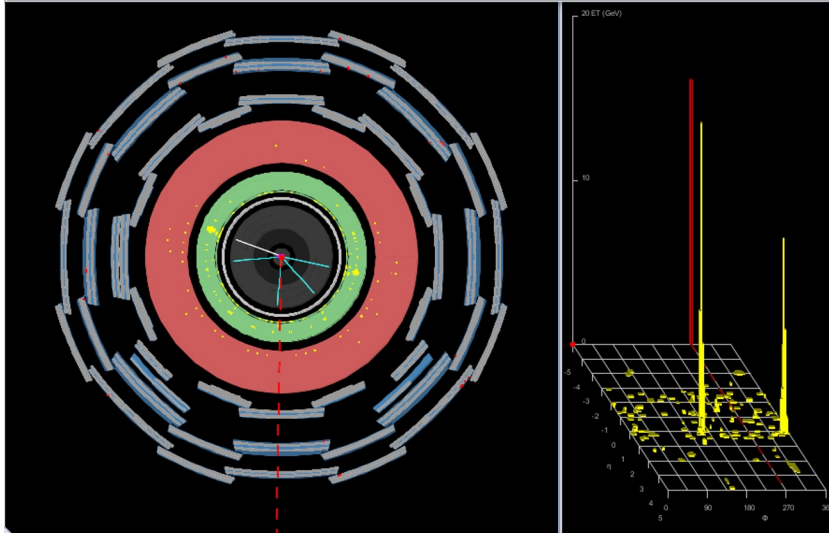
In questo evento, una volta richiesto  $p_T > 10$  GeV, rimangono solo 5 tracce

Quando seleziono le tracce, queste diventano bianche nell'event display

Alla prima traccia, **se guardo in entrambe le viste**, capisco che è associato un deposito calorimetrico e vedo che ha carica negativa



# Esempio 1



HYPATIA - Track Momenta Window

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

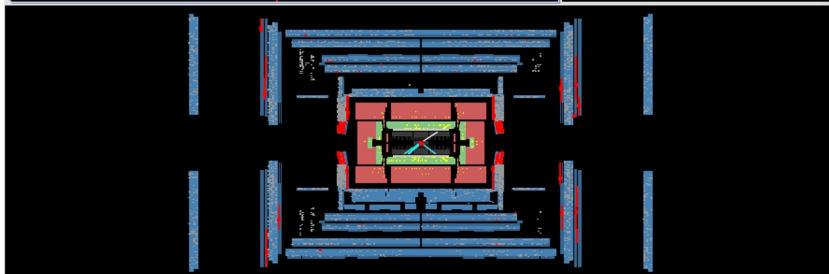
ETMis: 16,125 GeV  $\psi$ : -1,588 rad Collection: MET\_RefFinal

C:\Users\User\Documents\Hypatia\_7\_4\_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

La traccia successiva ha una carica positiva e anche ad essa è associato un deposito nel calorimetro elettromagnetico:

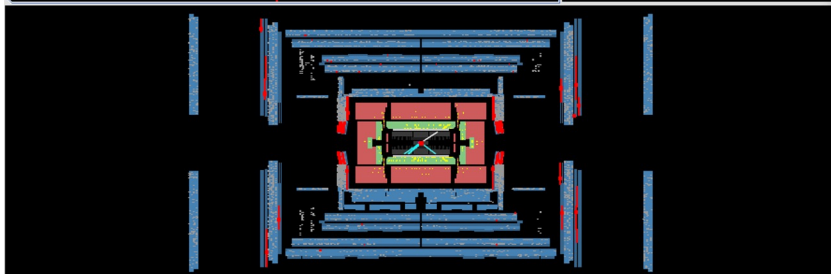
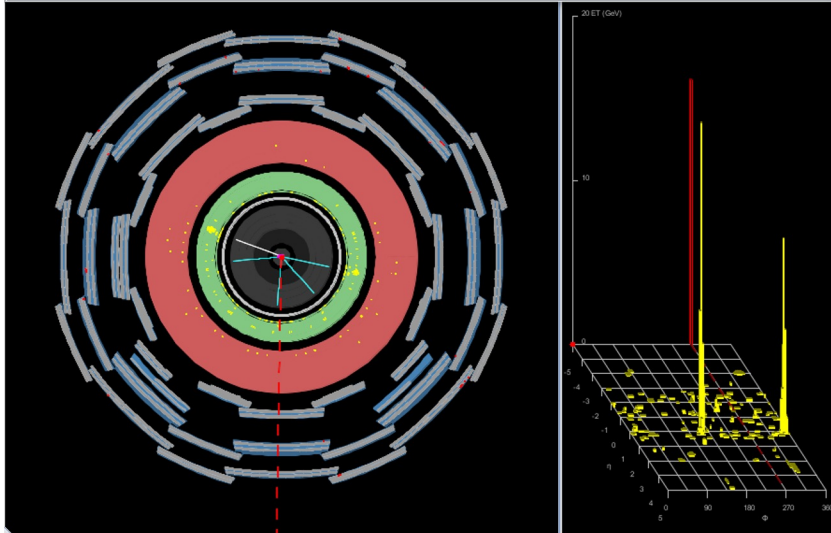
**Le due tracce verranno da uno Z?**



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	

# Esempio 1



HYPATIA - Track Momenta Window

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

Energy [GeV]  $\phi$ : -1,588 rad Collection: MET\_ReFinal

C:\Users\User\Documents\Hypatia\_7...Masterclass\groupA\ziplevent031.xml

Track		P [GeV]	Pt [GeV]	$\phi$	$\theta$
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

Le identifico entrambe come **elettroni**

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	

# Esempio 1 – massa invariante

Massa del bosone Z = 91.2 GeV

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  $Z \rightarrow e^+e^-$

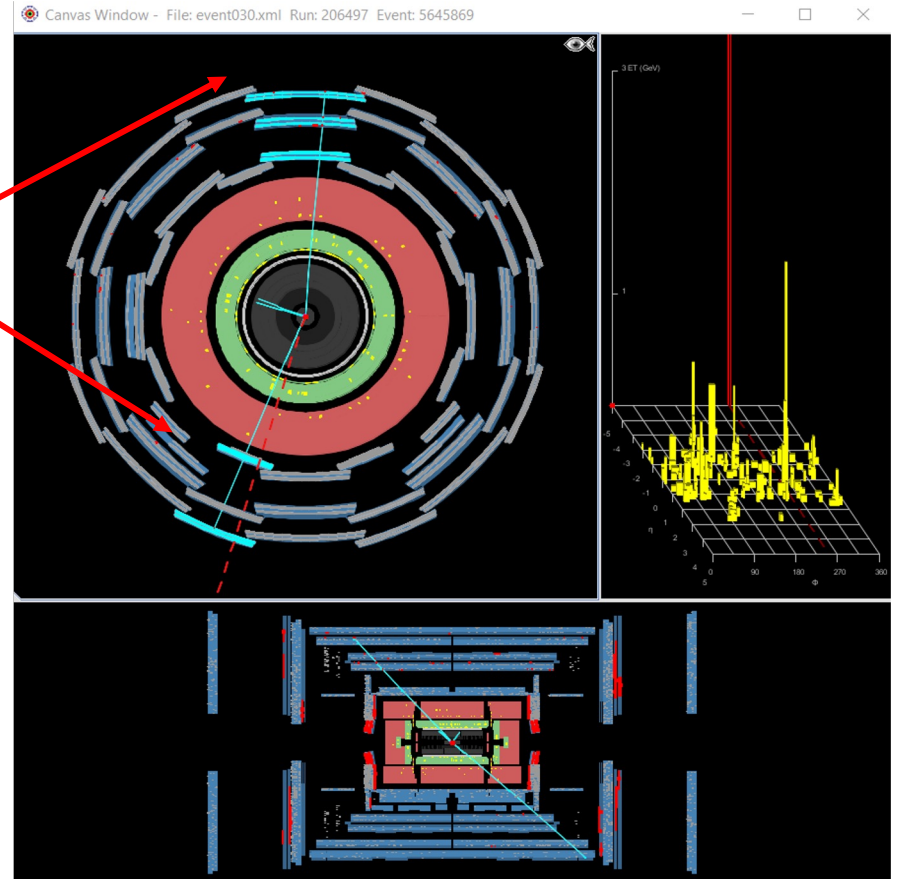
HYbrid Pupils' Analysis Tool for Interactions in ATLAS - version 7.4 - Invariant Mass Window

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

# Esempio 2

Qui vedo un evento con due tracce,  
che arrivano fino allo spettrometro per  
muoni...

Sarà un evento  $Z \rightarrow \mu^+\mu^-$ ?

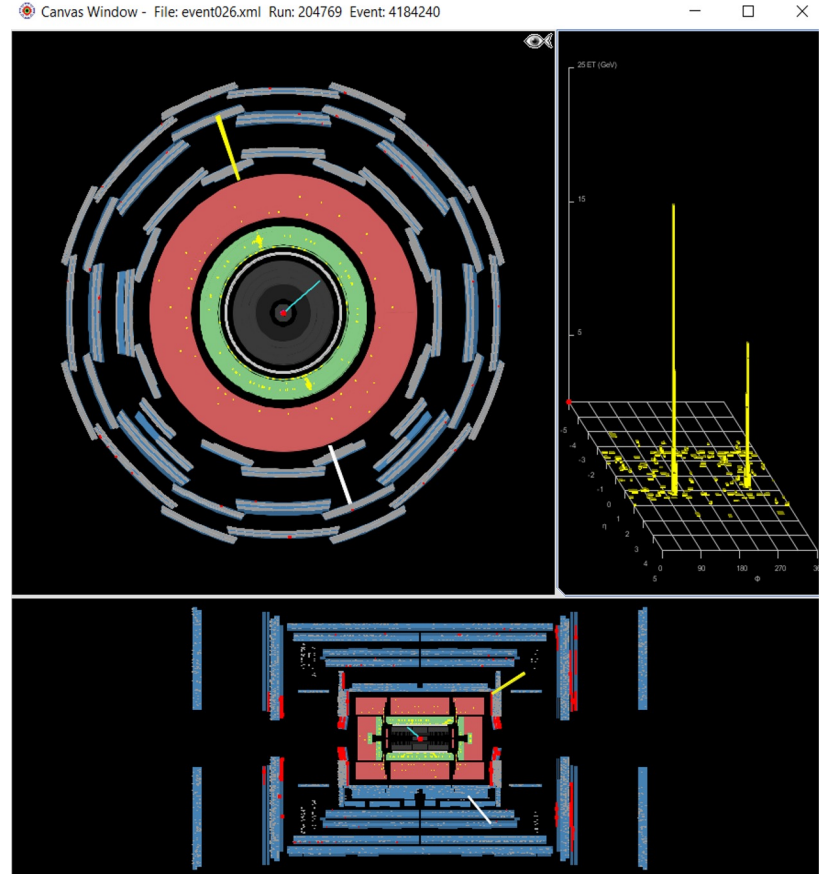


# Esempio 3

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

Ma lo Z non può decadere in due fotoni!

Cosa può essere?





# Cosa fare nella pratica?

- 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**, **Z'**, **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(Z) [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 fare nella pratica?

- Dal pannello **Histograms** 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 Pops - Analysis Tool for Interactions in ATLAS - version 7.4 - Invariant Mass Window

File View **Histograms** References 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 fare nella pratica?

---

## Per iniziare...

- Aprite la cartella 'Masterclass\_2024', fate click su 'HYPATIA.sh' e poi su 'Execute'
- Caricate il file con gli eventi e cercate gli eventi interessanti, come spiegato

## Alla fine...

- Andate su **File** → **Export Invariant Masses**
- Verrà prodotto un file chiamato Invariant\_Masses.txt → Mettetelo sul Desktop
- Andate al link

<http://cernmasterclass.uio.no/OPloT/index.php>

- Selezionate **Student**, inserite username=**ippog** e password=**imc**
- Selezionate giorno, istituto e gruppo e caricate il file

# Help!

---

<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>

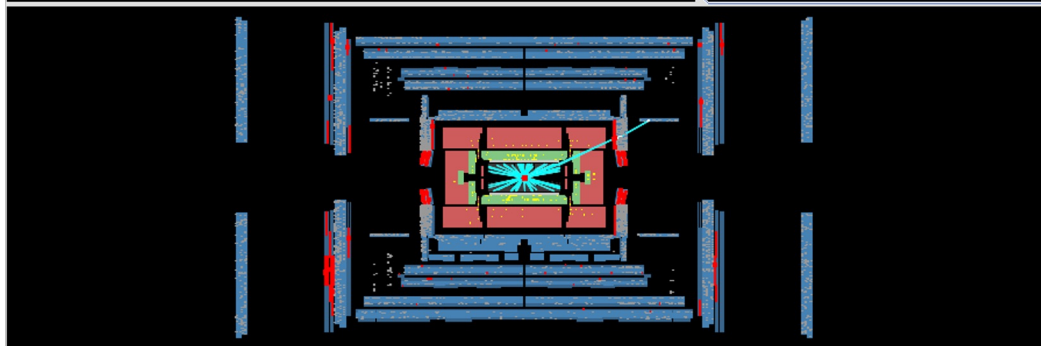
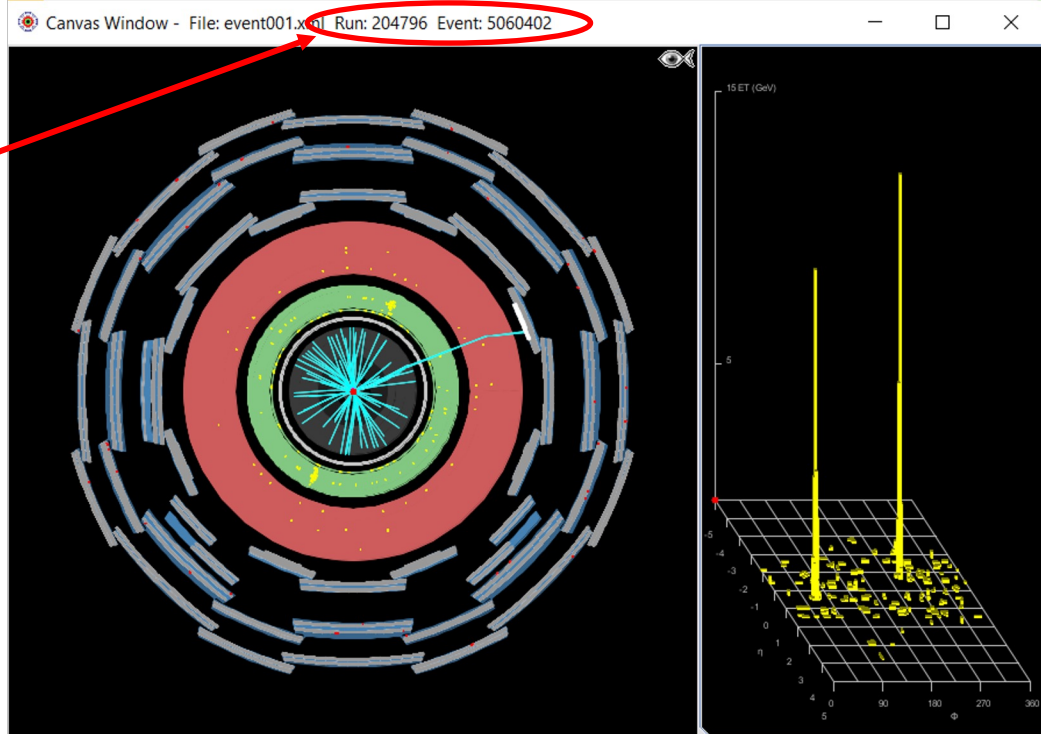
Esempi di eventi di segnale.

[http://atlas.physicsmasterclasses.org/it/zpath\\_analysis.htm](http://atlas.physicsmasterclasses.org/it/zpath_analysis.htm)

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

# Event Display

- Numero identificativo del **run di dati**
- Ogni **evento** ha un unico numero identificativo



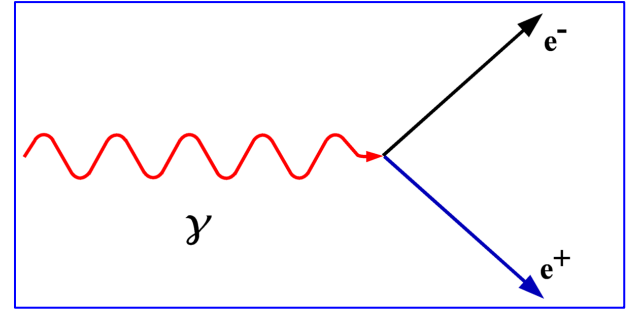
# Cosa c'è negli eventi?

- La  $J/\psi$  o la  $Y$  sono particelle che decadono (tra le altre cose) in  $e^+e^-$  o in  $\mu^+\mu^-$ ; hanno però 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)
- 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
- Lo  $Z'$  è una particella ipotetica, simile allo  $Z$  (ha gli stessi decadimenti) ma con massa invariante altissima ( $>1000$  GeV)
- Il **gravitone**, altra particella ipotetica, può avere gli stessi decadimenti del **bosone di Higgs**, ma ha una massa molto più alta!
- Ci sono poi eventi in cui non c'è niente di tutto questo: sono gli eventi di **fondo**

# 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!