

International Day of Women and Girls in Science

Alla ricerca del bosone Z

Thanks to Lorenzo Corazzina for the slides

Università 'La Sapienza' – Roma

Masterclass 2026

Davide Fiacco – 11/02/2026



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 (μ), elettroni (**e**), fotoni (γ) ...
- **Event display**: mostra le tracce lasciate nel detector dalle particelle presenti (μ , **e**, γ) nell'evento
⇒ tra cui anche i prodotti di decadimento delle particelle che cerchiamo (H, Z,...)

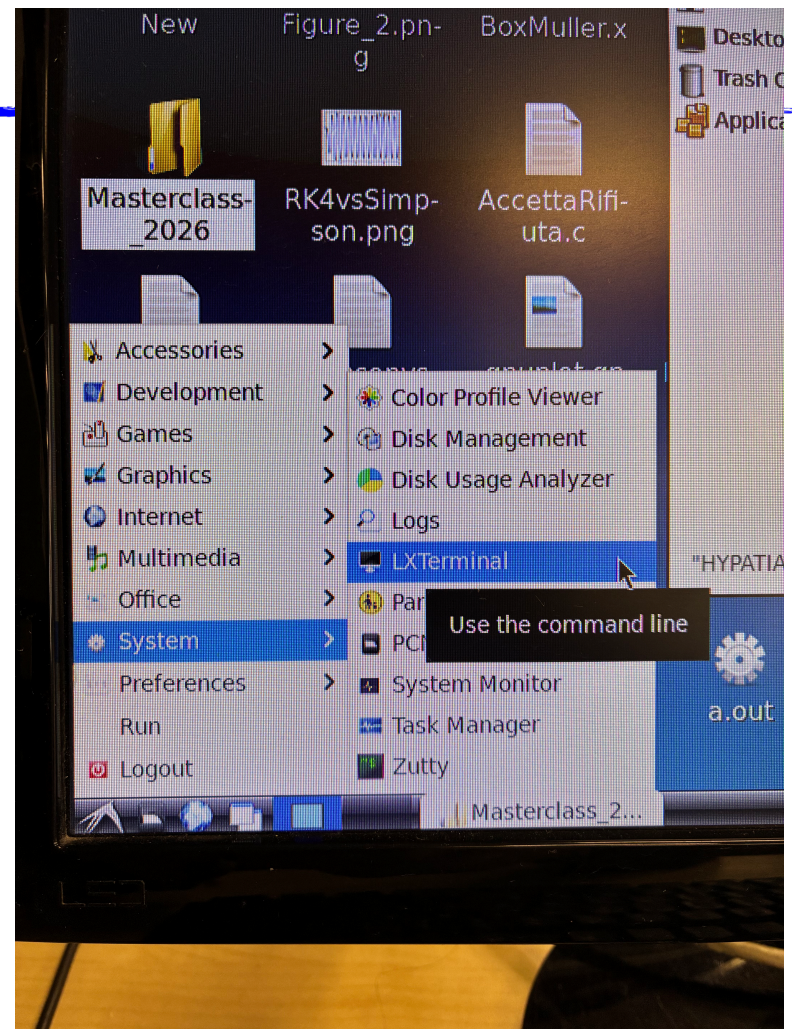
Hypatia 7.4

Tutto l'occorrente è già disponibile sui vostri PC!
La cartella 'Masterclass_XX', 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'

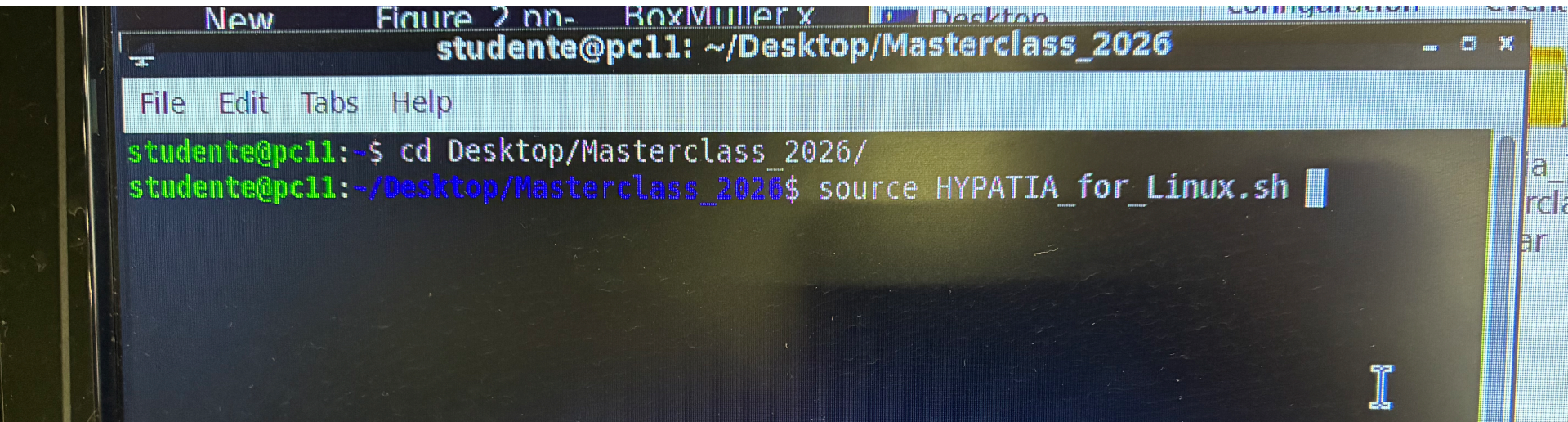
Per lanciare il programma:

1. Click in basso a sinistra per aprire la tendina->System->LXTerminal



Per lanciare il programma:

1. Click in basso a sinistra per aprire la tendina->System->LXTerminal
2. Scrivere `cd Desktop/Masterclass_2026` premere invio, e vi sposterà in quella cartella
3. Scrivere `source HYPATIA_for_Linux.sh` premere invio, ed inizierà l'esecuzione del programma

A screenshot of a terminal window titled "studente@pc11: ~/Desktop/Masterclass_2026". The window has a menu bar with "File", "Edit", "Tabs", and "Help". The terminal shows the following commands and output:

```
studente@pc11:~$ cd Desktop/Masterclass_2026/  
studente@pc11:~/Desktop/Masterclass_2026$ source HYPATIA_for_Linux.sh
```

The cursor is at the end of the second line. The terminal background is dark with light-colored text.

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). It features a menu bar with "File", "View", "Histograms", "Preferences", and "Help". Below the menu is a table with columns for "File Name", "ETMis [GeV]", "Track", "P [GeV]", "+/-", "Pt [GeV]", " φ ", " η ", "M(2) [GeV]", "M(eeee) [GeV]", "M(eemm) [GeV]", "M(mmmm) [GeV]", and "e/m/g".

Overlaid on the main window are several other windows:

- Event Display:** Shows a top-down view of the ATLAS detector with tracks and physics objects. A 3D grid is visible in the bottom right corner.
- HYPATIA - Track Momenta Window:** Displays a table of track momenta and physics objects. The table has columns for "Track", "+/-", "P [GeV]", "Pt [GeV]", " φ ", and " θ ".
- HYPATIA - Control Window:** Contains a "Data" tab with a list of parameters and their values. The parameters are checked, and the word "Controlli" is overlaid on the window.

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

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	

Hypatia 7.4: i dati

The screenshot displays the Hypatia 7.4 software interface, which is used for analyzing particle interactions in ATLAS. 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", and "Preferences". A red circle highlights the "File" menu, and a red arrow points to a text box that says "Cliccare su **File** e poi su **Read Event Locally**".

The interface is divided into several panels:

- Canvas Window:** Shows a top-down view of the ATLAS detector with tracks overlaid. A red circle highlights the "File" menu in the main window, and a red arrow points to a text box that says "Cliccare su **File** e poi su **Read Event Locally**".
- HYPATIA - Track Momenta Window:** Displays a table of track data. The table has columns for Track, +/-, P [GeV], Pt [GeV], η , and θ . The data is as follows:

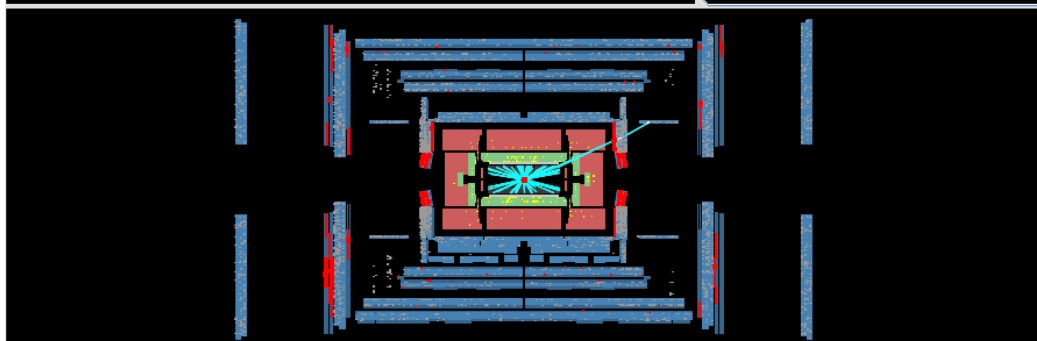
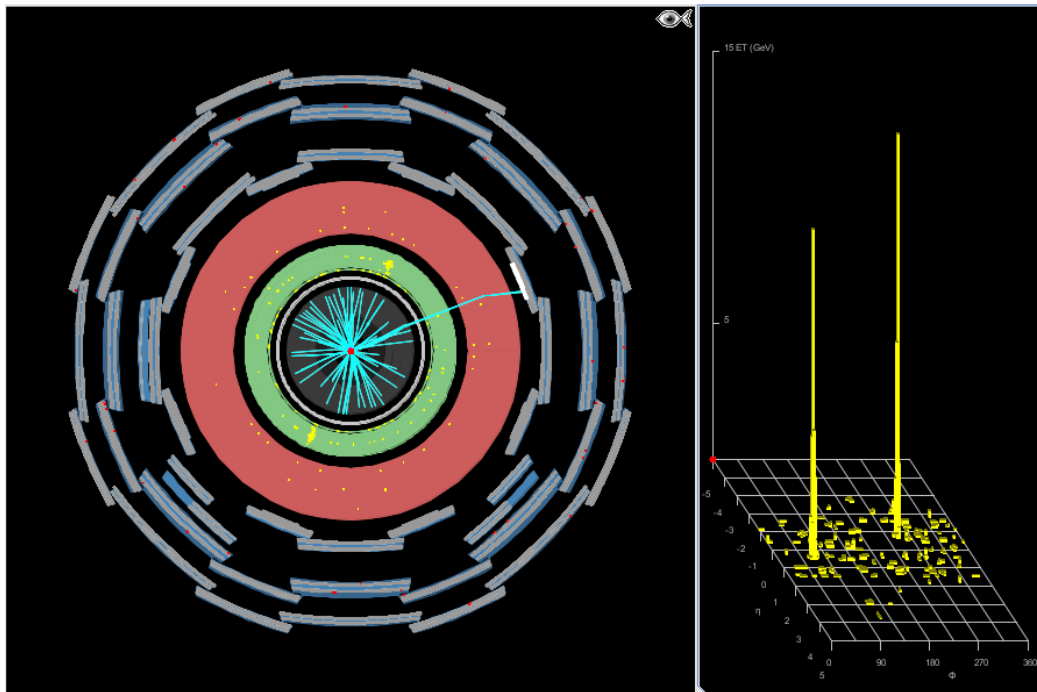
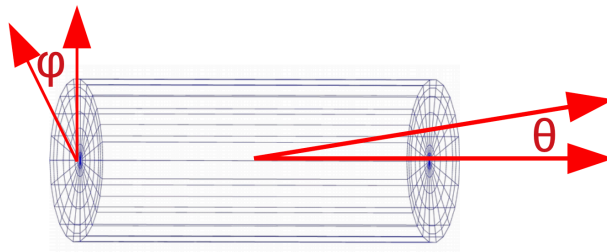
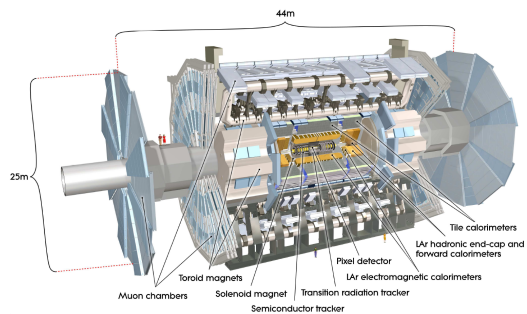
Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	η	θ
Tracks 0	-	11.68	4.28	-1.319	0.375
Tracks 1	+	128.06	39.41	-2.413	0.318
Tracks 2	+	4.67	4.56	-2.783	1.649
Tracks 3	-	167.90	53.01	0.906	0.321
Tracks 4	-	1.34	1.33	-2.949	1.475
Tracks 5	-	1.75	1.74	-3.090	1.645
Tracks 6	+	18.61	3.94	-1.818	0.214

- HYPATIA - Control Window:** Contains a "Parameter Control" section with a list of checked options: Status, InDet, Calo, MuonDet, and Objects.

Event Display

Abbiamo due viste:

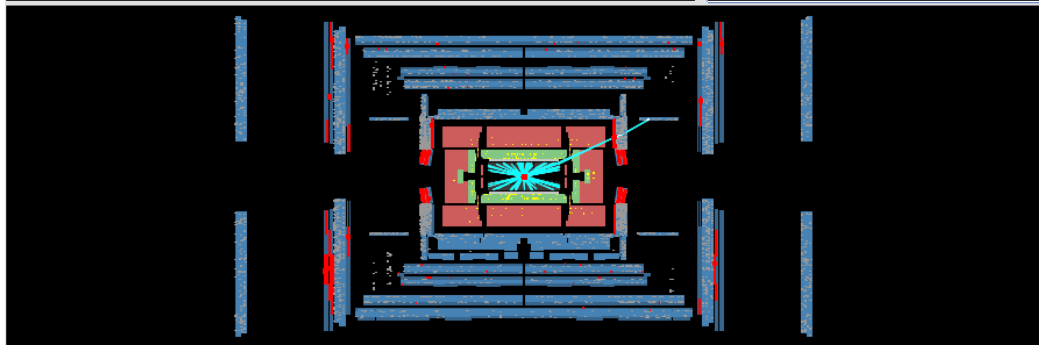
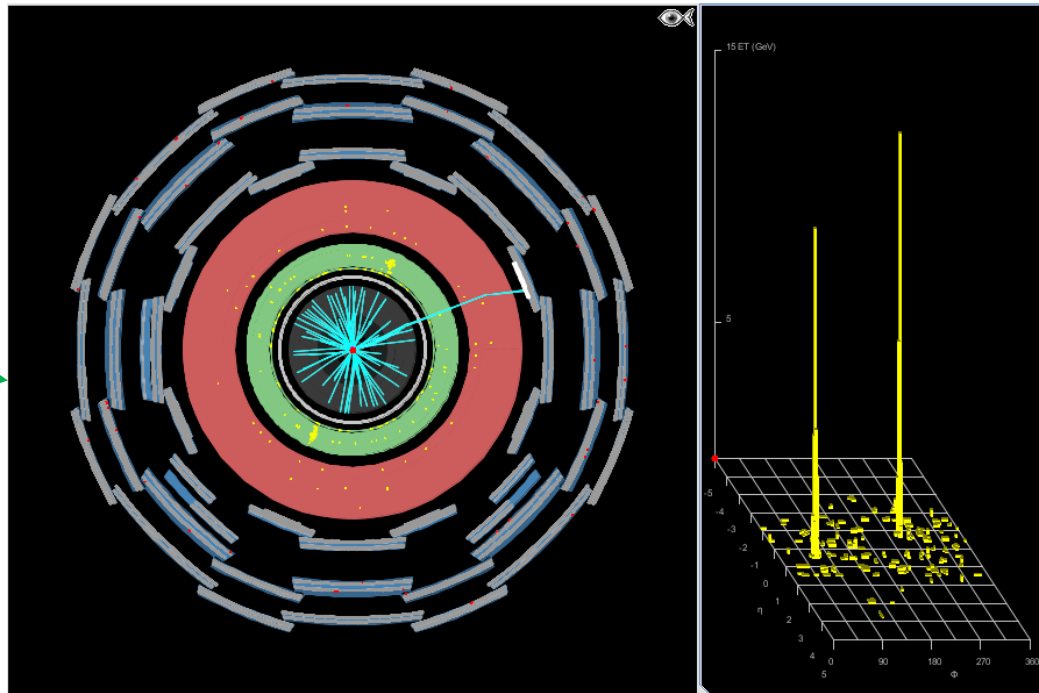
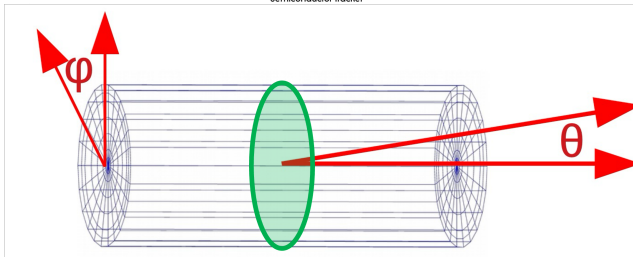
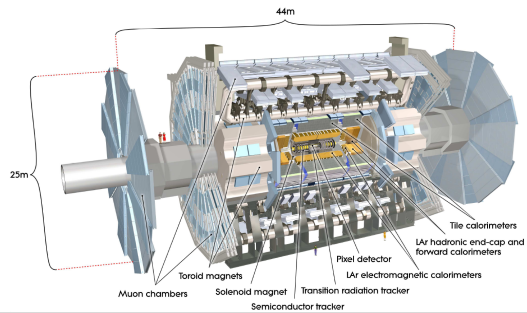
- Trasversale
- Laterale



Event Display

Abbiamo due viste:

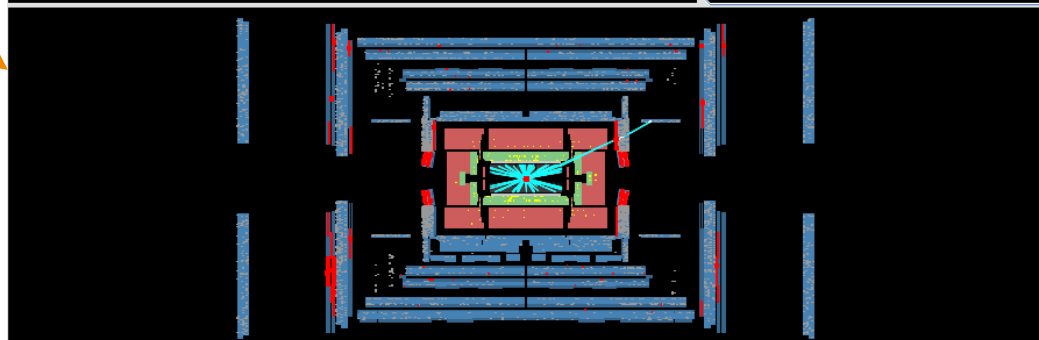
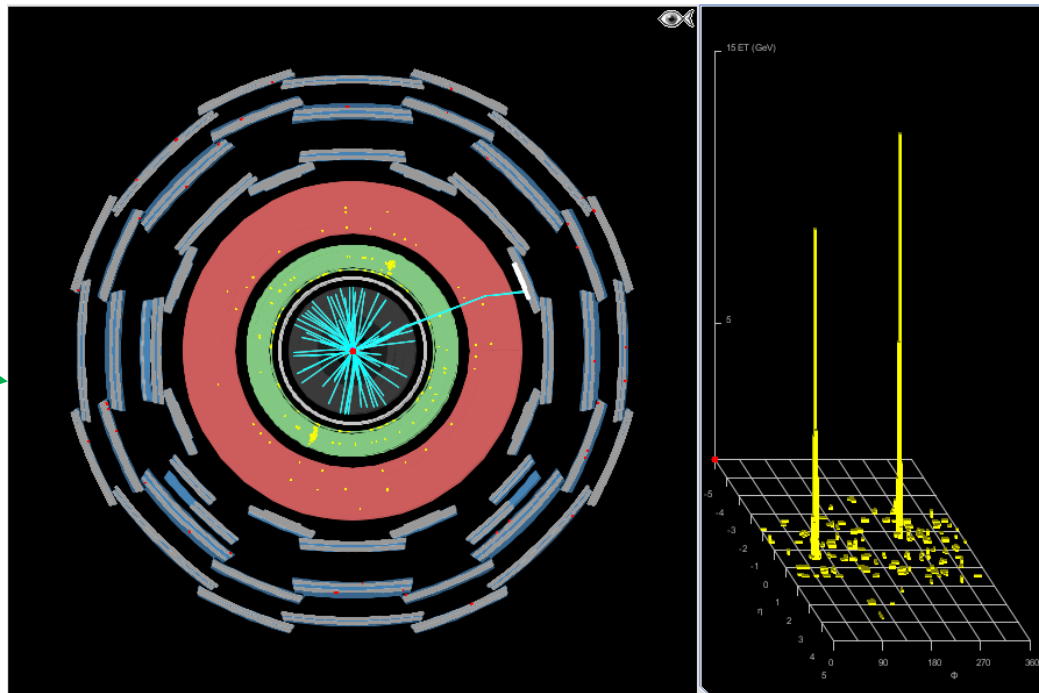
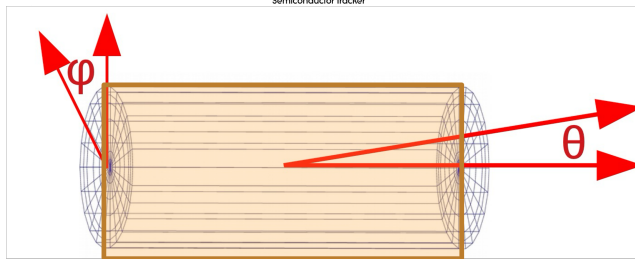
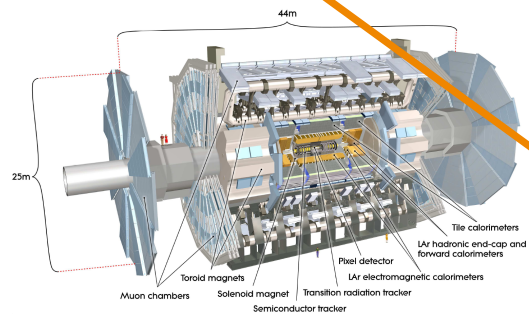
- **Trasversale**
- Laterale



Event Display

Abbiamo due viste:

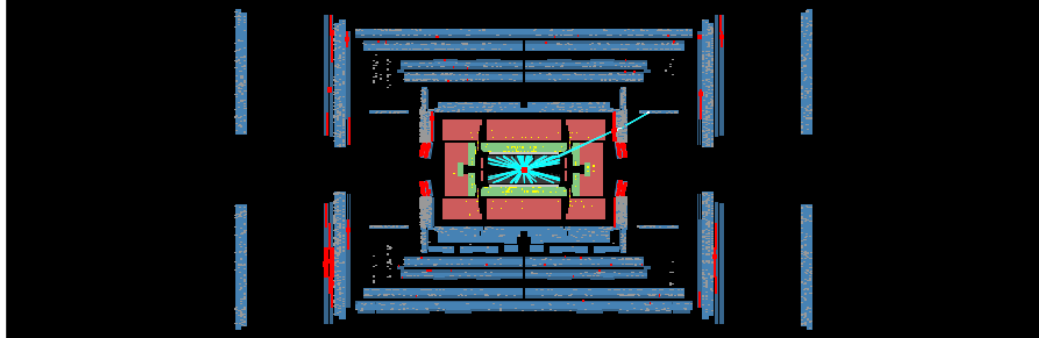
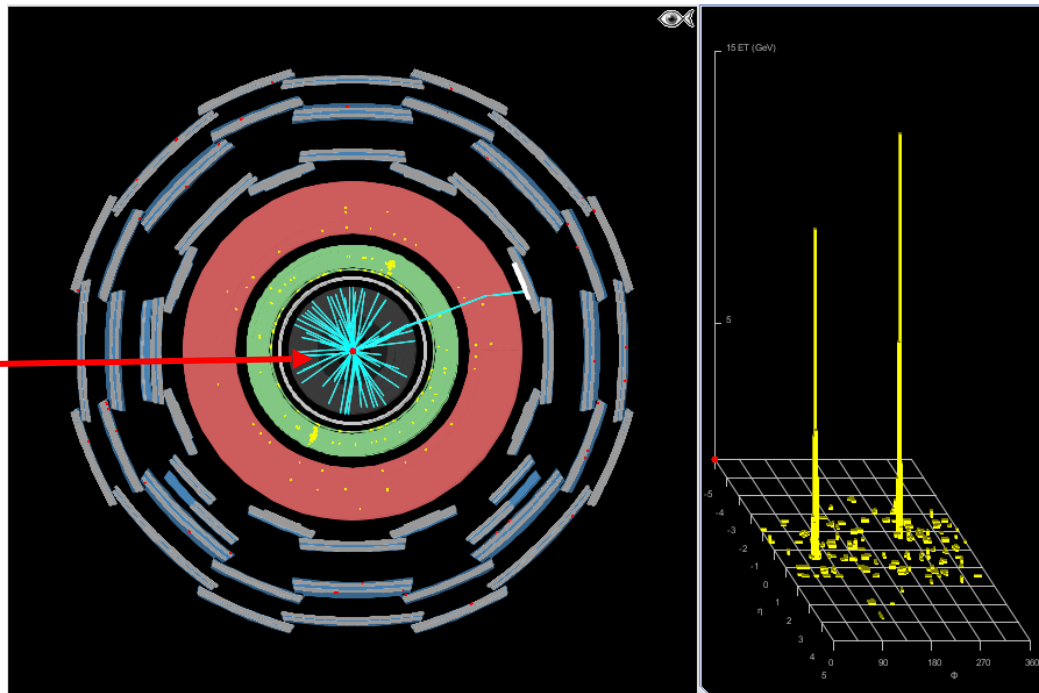
- Trasversale
- Laterale



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

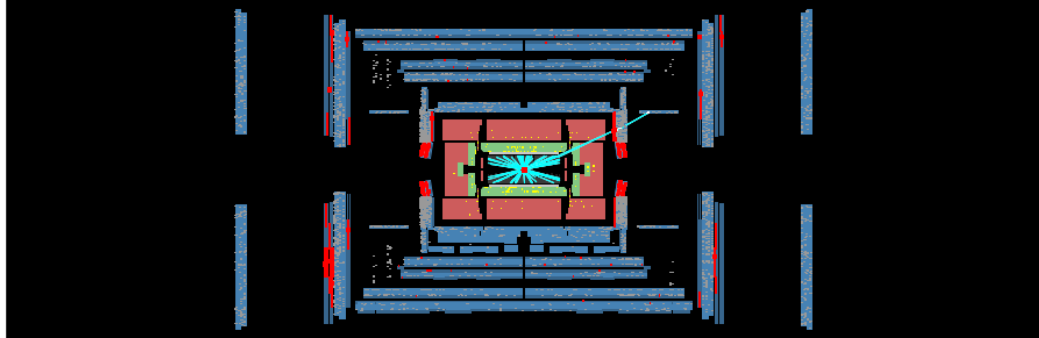
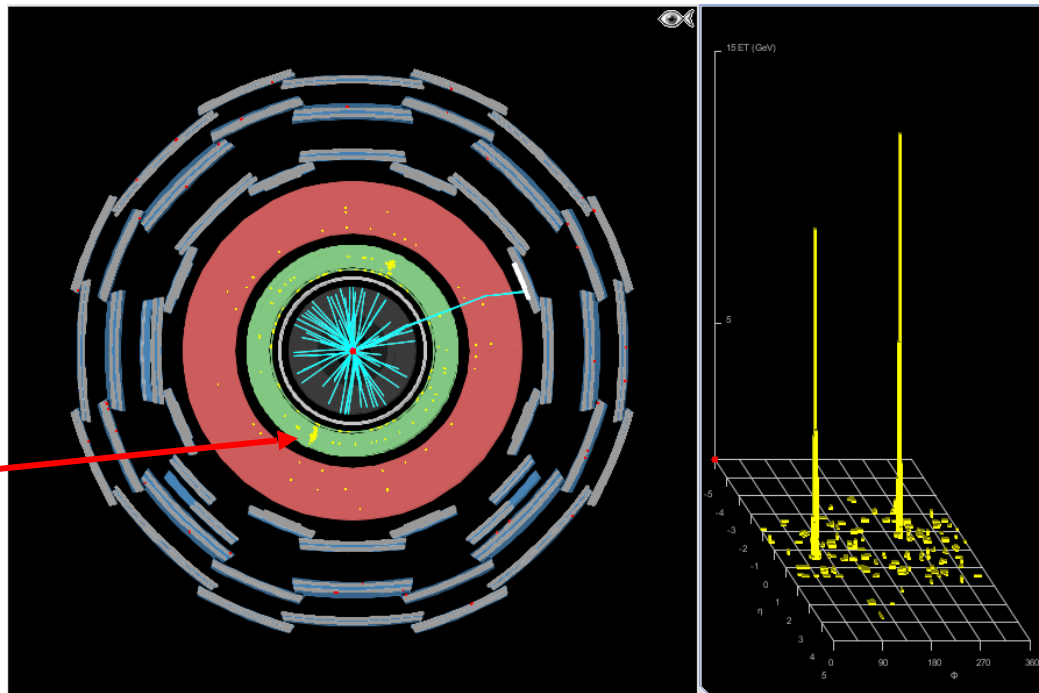


Event Display

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

Canvas Window - File: event001.xml Run: 204796 Event: 5060402

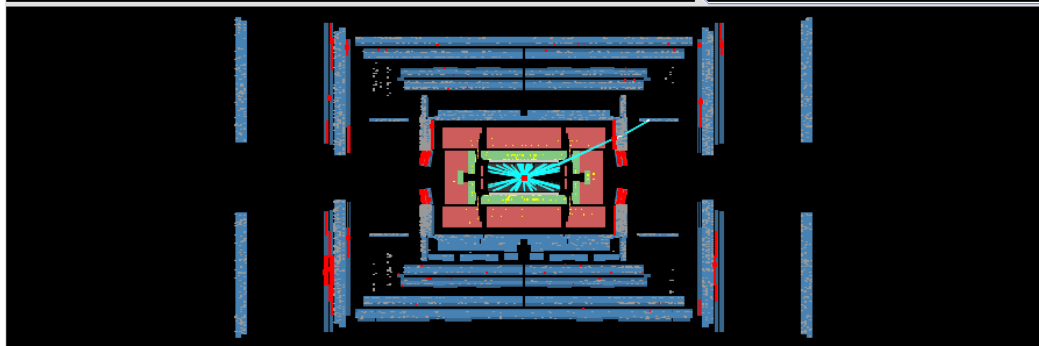
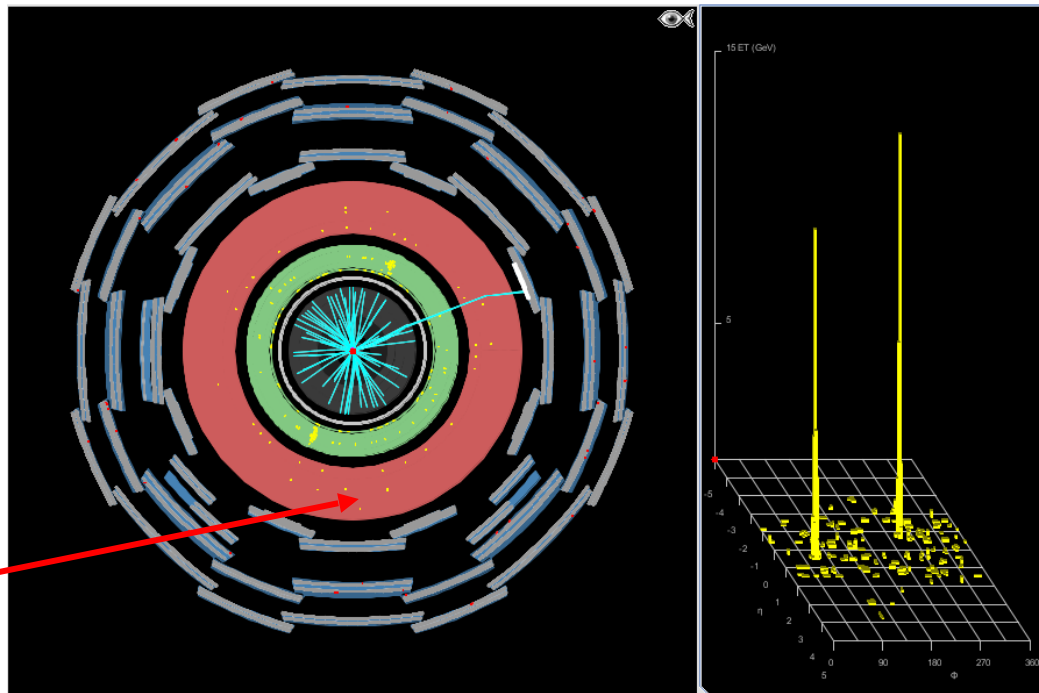


Event Display

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

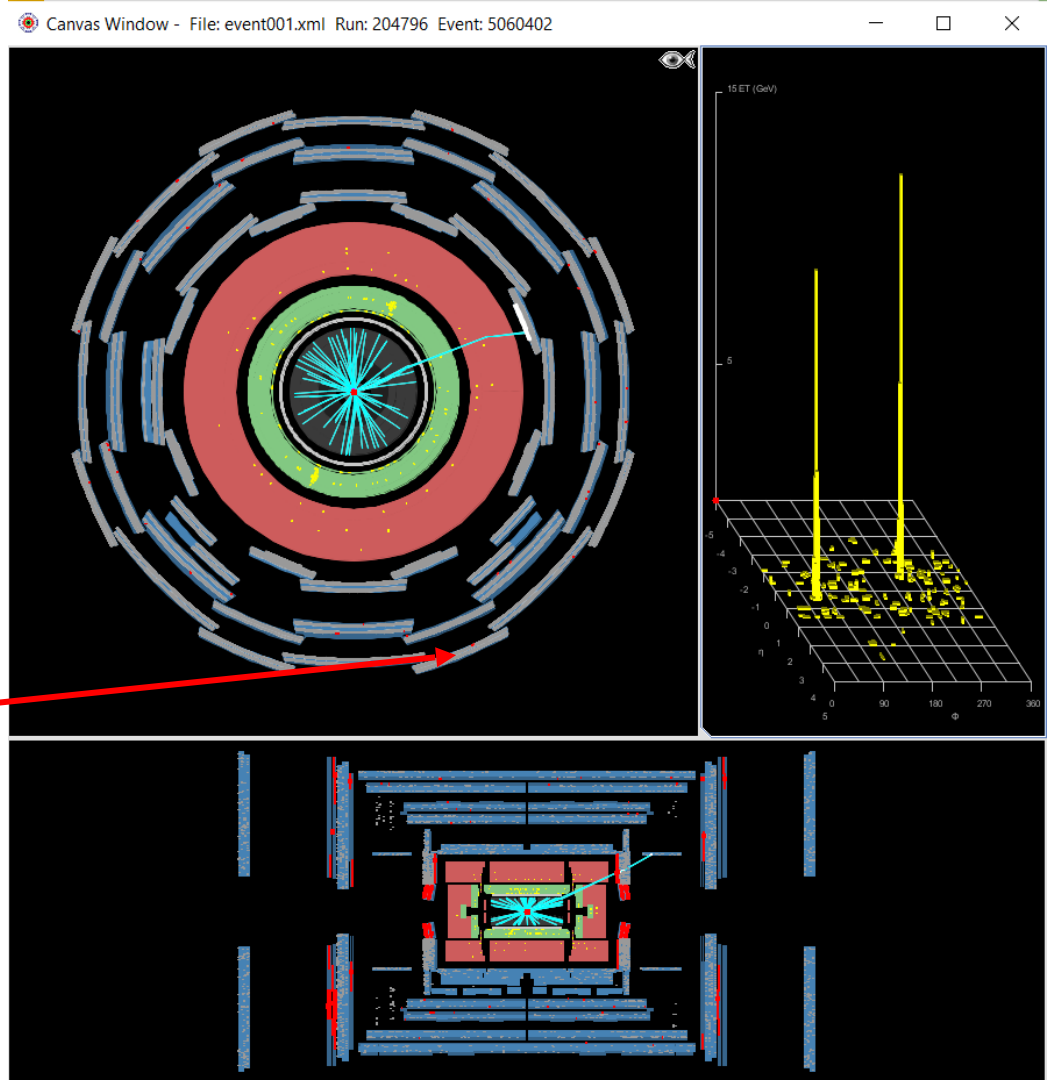
Canvas Window - File: event001.xml Run: 204796 Event: 5060402



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

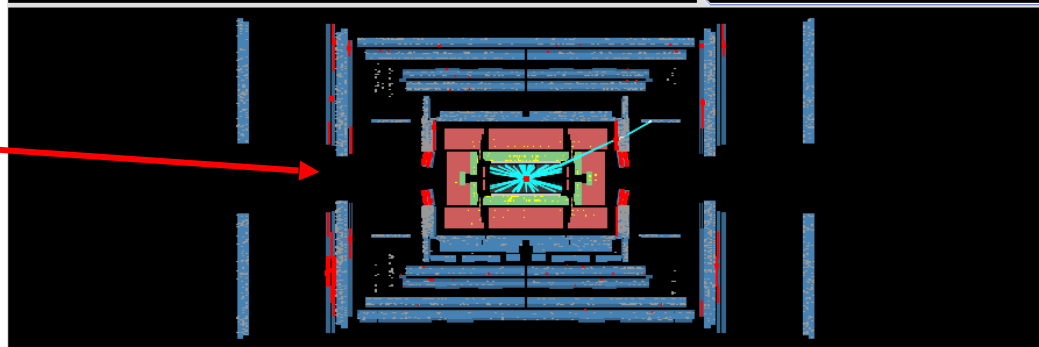
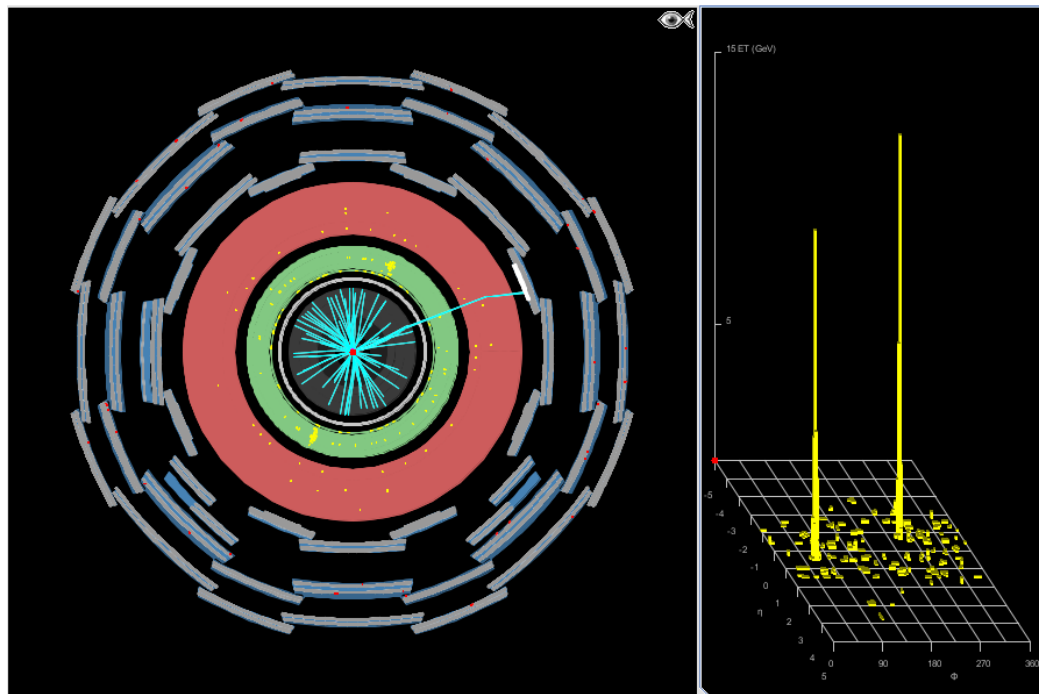


Event Display

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

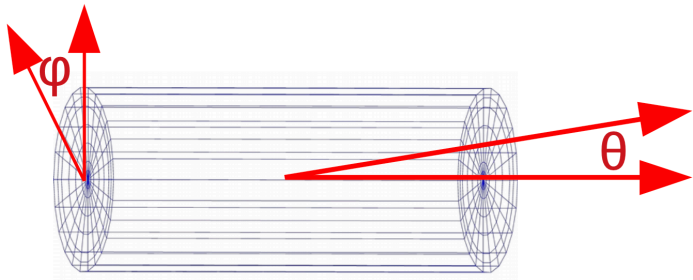
Lo stesso per la vista **laterale**



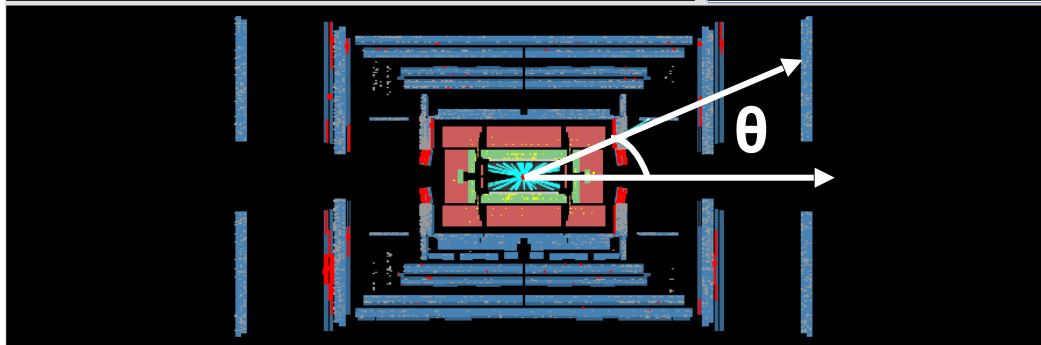
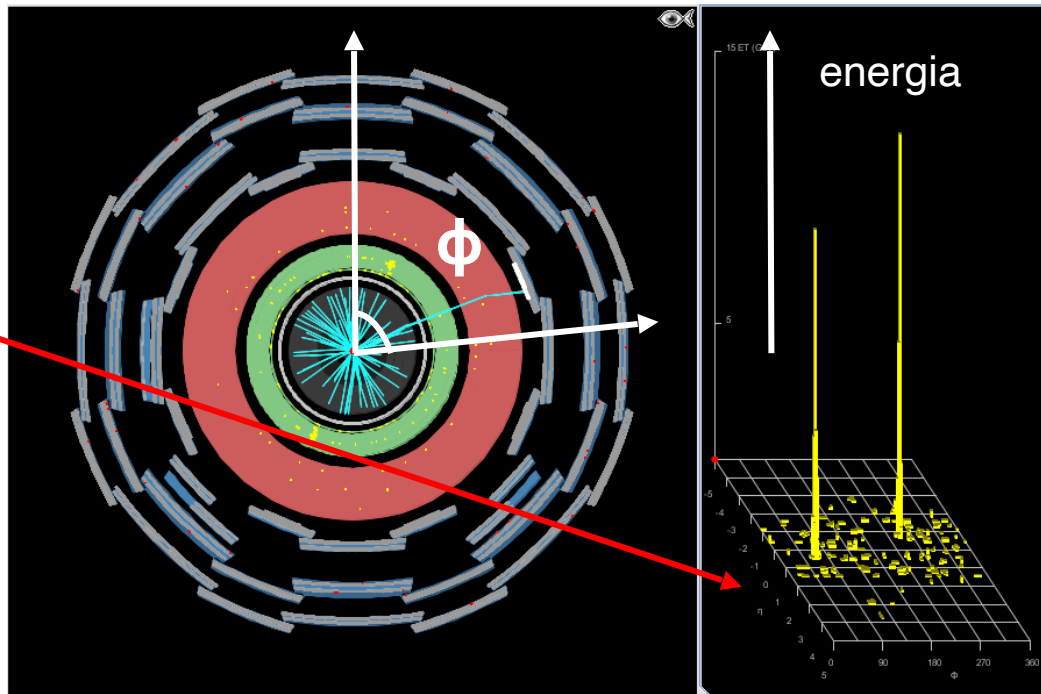
Event Display

Display **depositi elettromagnetici**:

Diagramma delle energie nel calorimetro elettromagnetico in funzione della posizione nel rivelatore, in coordinate (η, ϕ)



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



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

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] +/- P1[GeV] P2[GeV] M2[GeV] M(mom)[GeV] M(mom)[GeV] M(mom)[GeV] em/g

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

Massa Invariante

Event Display

HYPATIA - Track Momenta Window

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

ETMis: 13,877 GeV ϕ : 0,785 rad Collection: HET_RefFinal

IC:/Users/User/Documents/Hypatia_7.4_Masterclass/events/levents4.zip/JiveXML_106051_1950731.xml

Tracks	Physics Objects					
Track	+/-	P [GeV]	P1[GeV]	P2[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

Tracce e Oggetti

Parameter Control Interaction and Window Control Output Display

Projection Data Cuts InDet Calo MuonDet Objects Geometry

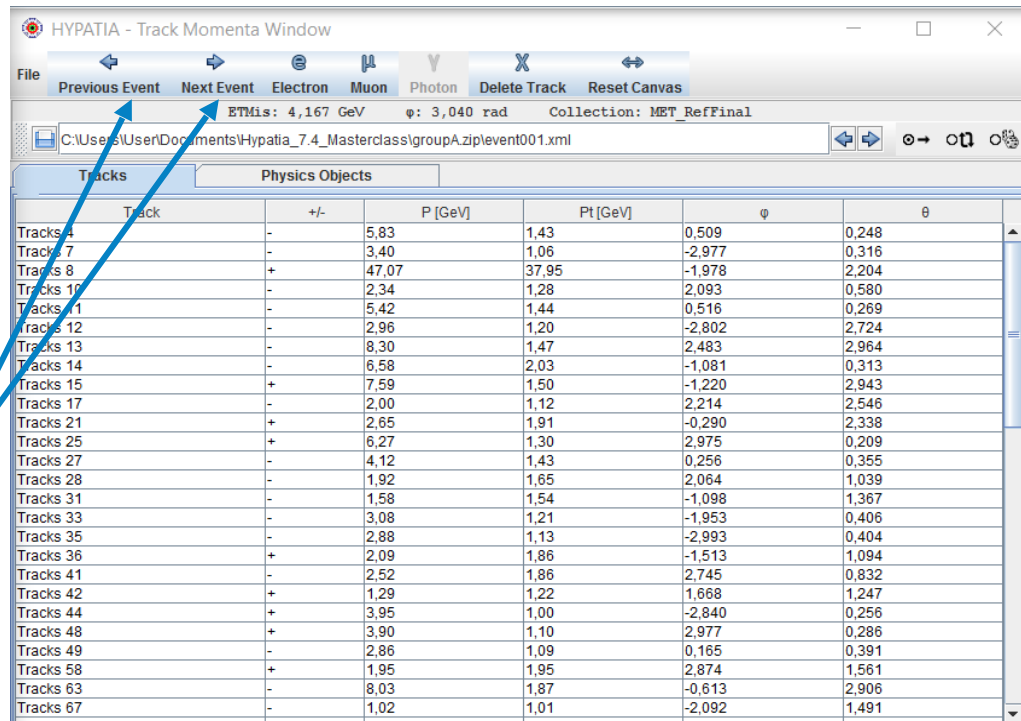
Data	Name	Value
<input checked="" type="checkbox"/>	Status	
<input checked="" type="checkbox"/>	InDet	
<input checked="" type="checkbox"/>	Calo	
<input checked="" type="checkbox"/>	MuonDet	
<input checked="" type="checkbox"/>	Objects	

Controlli

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)



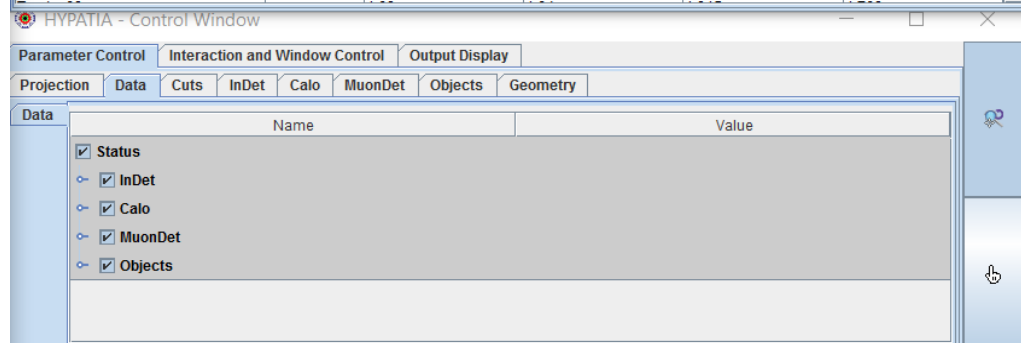
HYPATIA - Track Momenta Window

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\Documents\Hypatia_7.4_Masterclass\groupA\ziplevent001.xml

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



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	

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

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	+	4,07	1,95	-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, divided into two main windows: 'Track Momenta Window' and 'Control Window'.

Track Momenta Window: This window shows a table of track data. The table has columns for Track ID, Charge (+/-), Momentum (P [GeV]), Transverse Momentum (Pt [GeV]), Azimuthal Angle (ψ), and Pseudorapidity (θ). A blue arrow points from the text in the first slide to the 'Tracks' tab in this window.

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 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

Control Window: This window contains several control panels. The 'Data' panel is visible, showing a list of parameters with checkboxes for their status:

- Status
- InDet
- Calo
- MuonDet
- Objects

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 (a series of concentric rings) and particle tracks. A red arrow points from the text box to a red track in the simulation.
- HYPATIA - Track Momenta Window:** Displays a table of track momenta for two objects.

Track	P [GeV]	Pl [GeV]	ϕ	θ
Object 0	60.24	46.21	1.154	0.874
Object 1	47.81	47.60	-1.931	1.554

- HYPATIA - Control Window:** Contains control panels for simulation parameters and detector components. The 'Data' panel shows the following settings:

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"/>

A red box highlights the text: "L'energia mancante viene mostrata, se significativa, da tracce rosse tratteggiate" (The missing energy is shown, if significant, by dashed red tracks).

Come lo cerchiamo?

The image displays the HYPATIA software interface. On the left, there are three panels showing different views of the detector: a top-down view of the calorimeter, a 3D view of the detector structure, and a side view of the detector. On the right, the 'HYPATIA - Track Momenta Window' is open, showing a table of tracks and a 'Physics Objects' tab. A red arrow points from the 'Physics Objects' tab to a text box.

Canvas Window - File: event003.xml Run: 204769 Event: 81679792

HYPATIA - Track Momenta Window

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

ETMIs: 28,561 GeV ϕ : -2,881 rad Collection: MET_ReFinal

C:\Users\User\Documents\Hypatia_7_4_Masterclass\groupA.zip\event003.xml

Track	P [GeV]	Pt [GeV]	ϕ	η	δ
Object 0	60.24	46.21	1.154	0.874	6
Object 1	47.81	47.60	-1.931	1.554	

HYPATIA - Control Window

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

The image displays the Hypatia 7.4 software interface, which is used for analyzing particle interactions in ATLAS. 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", and "Preferences Help". Below the menu bar is a table with columns for "File Name", "ETMis [GeV]", "Track", "P [GeV]", "+/-", "Pt [GeV]", " φ ", " η ", "M(2) [GeV]", "M(eeee) [GeV]", "M(eemm) [GeV]", "M(mmmm) [GeV]", and "e/m/g".

The interface is divided into several panels:

- Event Display:** A large circular plot showing the detector layout with tracks. The text "Event Display" is overlaid on the plot.
- Track Momenta Window:** A window titled "HYPATIA - Track Momenta Window" showing a table of track data. The text "Tracce e Oggetti" is overlaid on this window.
- Control Window:** A window titled "HYPATIA - Control Window" with tabs for "Parameter Control", "Interaction and Window Control", and "Output Display". It has sub-tabs for "Projection", "Data", "Cuts", "InDet", "Calo", "MuonDet", "Objects", and "Geometry". The "Data" sub-tab is active, showing a table with "Name" and "Value" columns. The text "Controlli" is overlaid on this window.

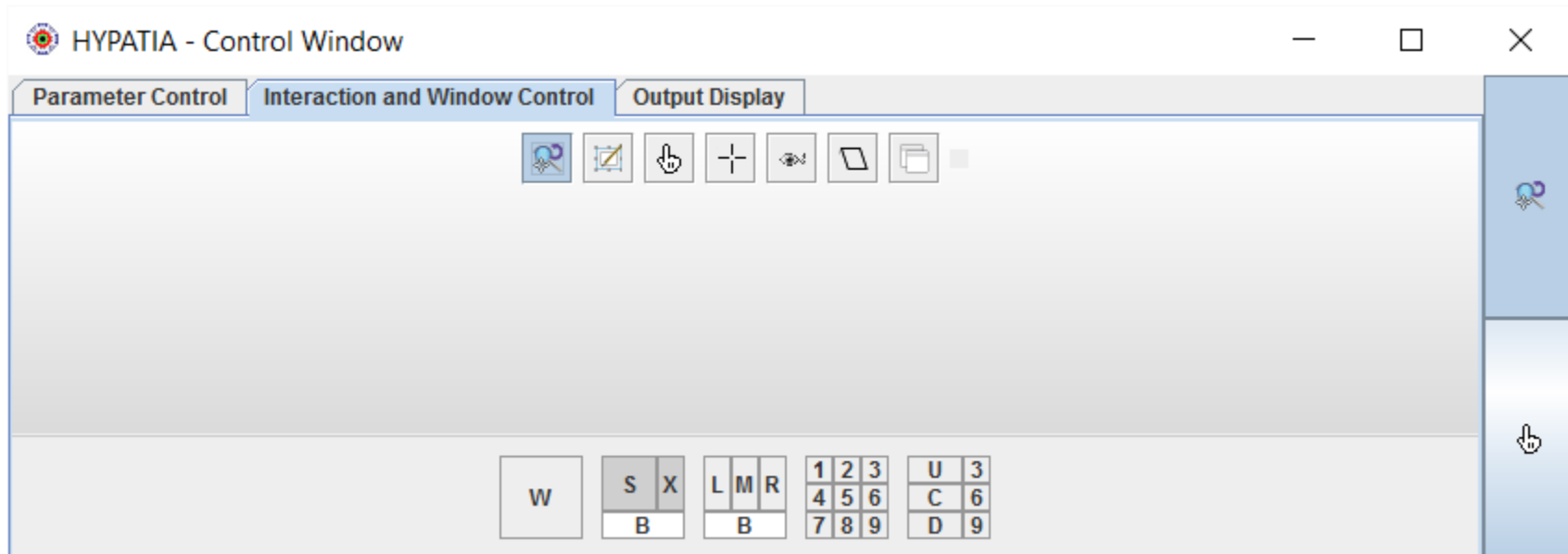
The "Track Momenta Window" table contains the following data:

Tracks	Track	+/-	P [GeV]	φ	PT [GeV]	η	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		

The "Control Window" table shows the following 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"/>

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

HYPATIA - Control Window

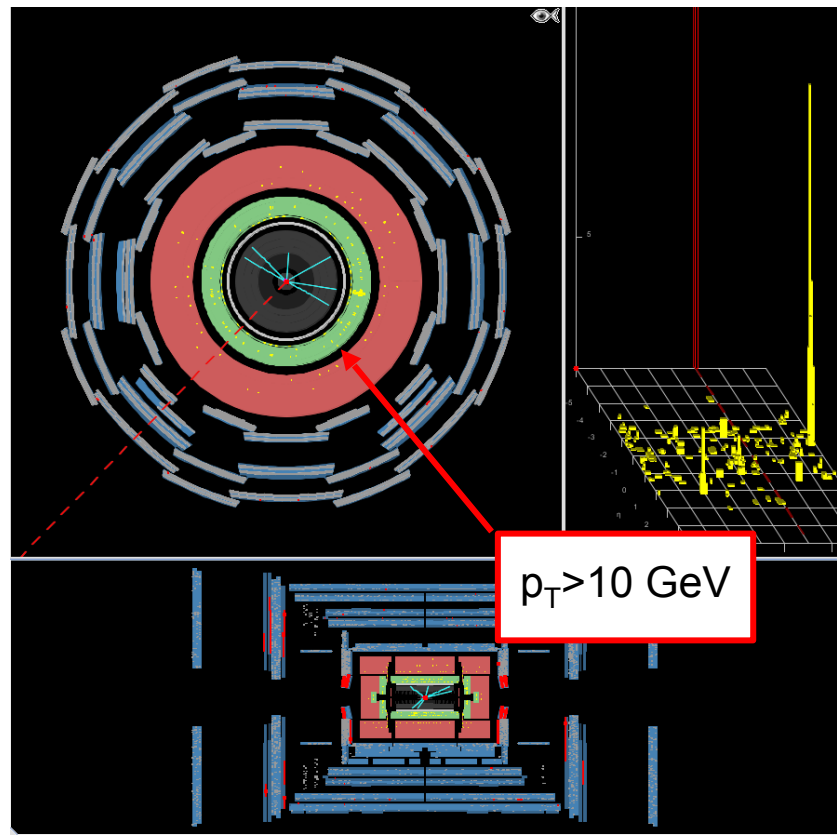
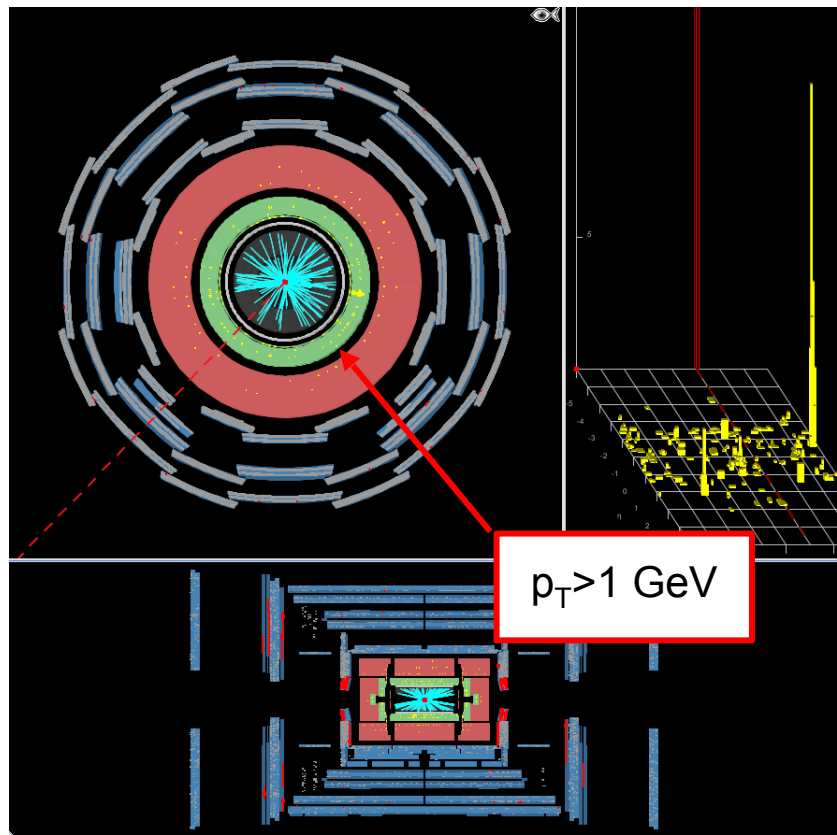
Parameter Control Interaction and Window Control Output Display

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

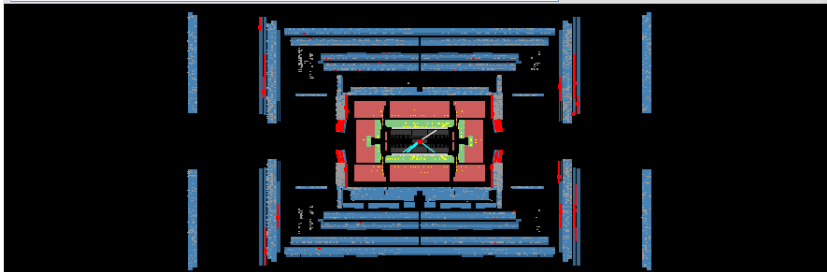
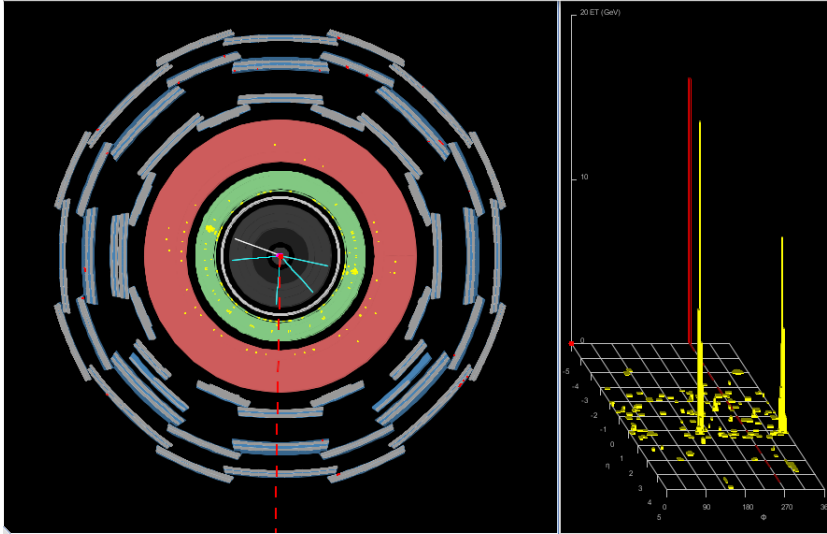
	Name	Value
<input checked="" type="checkbox"/>	Pt	> 10.0 GeV
<input type="checkbox"/>	Pt2	< 700.0 MeV
<input checked="" type="checkbox"/>	d0	< 2.5 mm
<input checked="" type="checkbox"/>	z0	< 20.0 cm
<input type="checkbox"/>	d0 Loose	< 2.0 cm

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 ψ : -1,588 rad Collection: MET_RefFinal

C:\Users\User\Documents\Hypatia_7_4_Masterclass\groupA\ziplevent031.xml

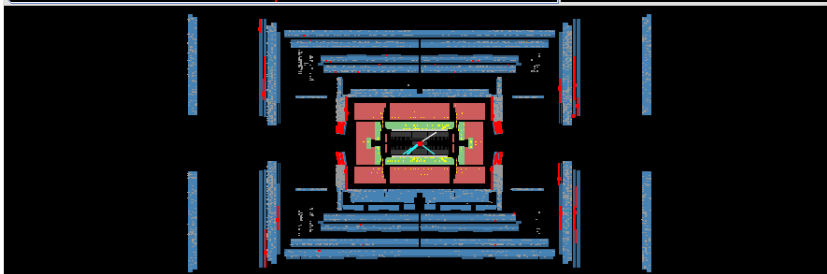
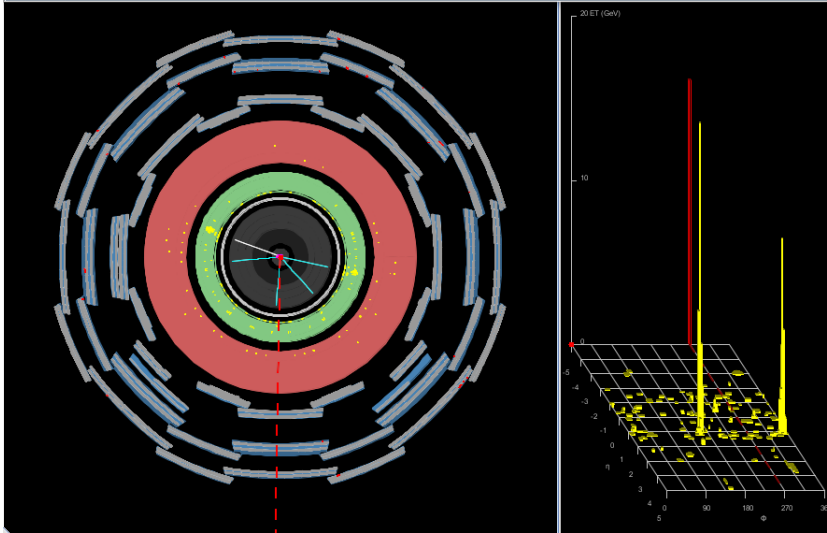
Tracks	Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	ψ	θ
Tracks 221	-	82.54	44.44	2.767	0.569	
Tracks 245	+	71.18	40.47	-0.188	0.605	
Tracks 360	-	544.67	294.51	-1.652	2.570	
Tracks 361	+	170.30	109.40	-0.826	2.444	
Tracks 362	-	283.57	191.87	-3.052	2.398	

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 ψ : -1,588 rad Collection: MET_Reffinal

C:\Users\User\Documents\Hypatia_7_4_Masterclass\groupA\ziplevent031.xml

Tracks	Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	ψ	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	

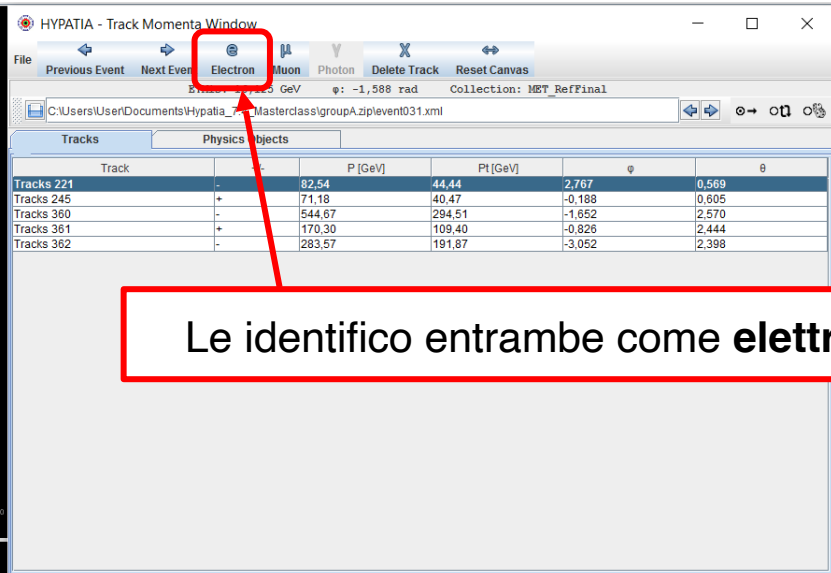
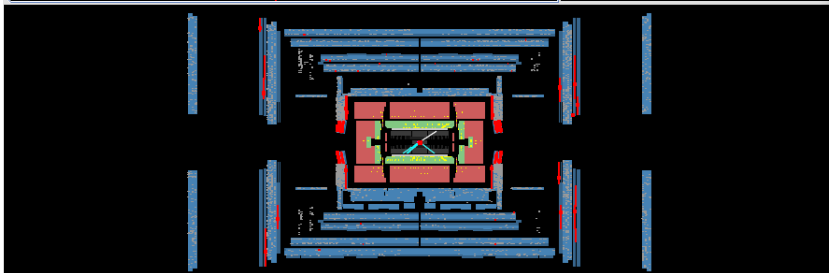
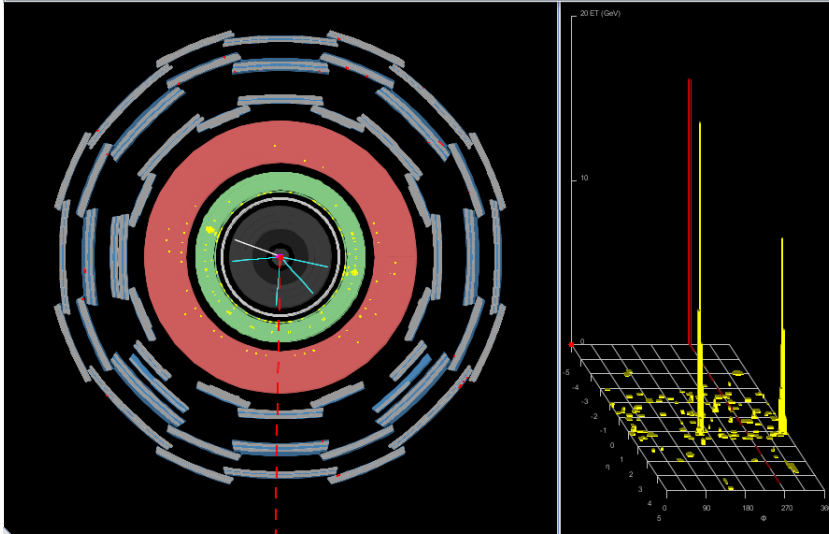
La traccia successiva ha una carica positiva e anche ad essa è associato un deposito nel calorimetro elettromagnetico:

Le due tracce verranno da uno Z?

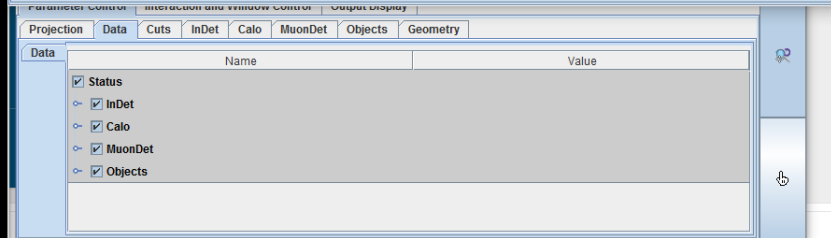
Projection Data Cuts InDet Calo MuonDet Objects Geometry

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



Le identifico entrambe come **elettroni**



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

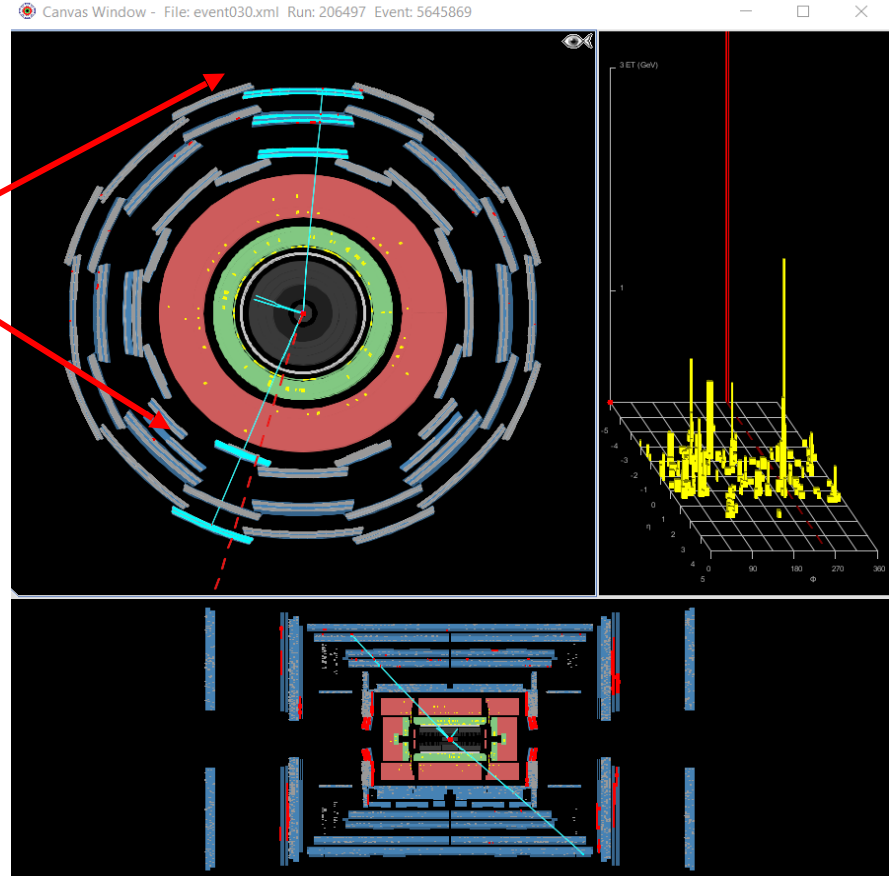
File View Histograms Preferences Help

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

Esempio 2

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

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

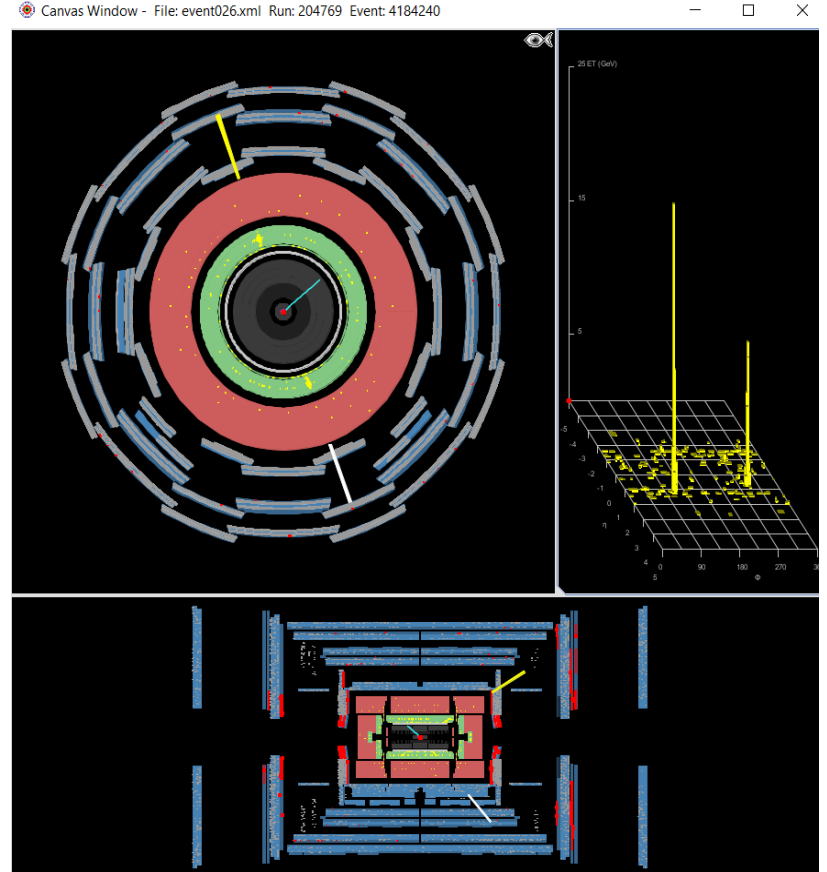


Esempio 3

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]	ϕ	η	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]	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 fare nella pratica?

Per iniziare...

- Aprite la cartella 'Masterclass_XX', 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

<https://zpathweb.hepp.uiocloud.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>

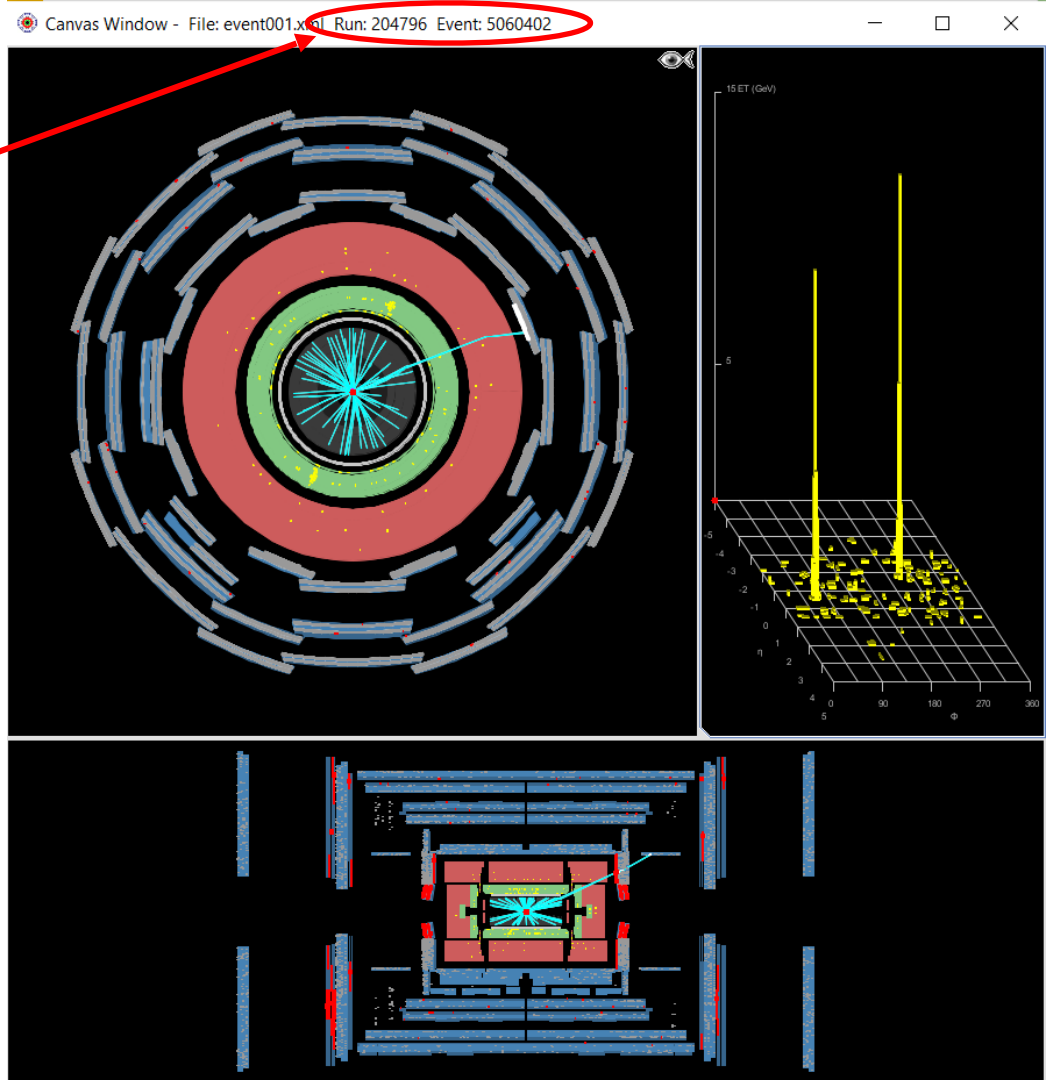
Esempi di eventi di segnale.

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

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

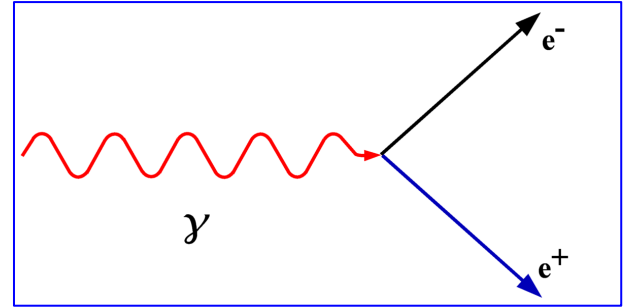


Cosa c'è negli eventi?

- La J/ψ 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!