

# Alla ricerca del bosone $Z$

L. Pagani, U. De Sanctis, M. Vanadia

12 Marzo 2025

# Hypatia 7.4

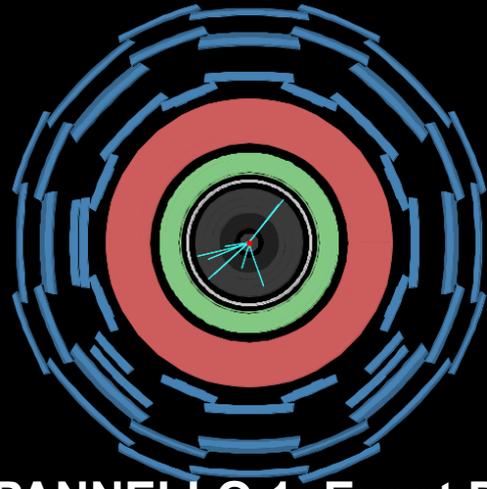
 configuration	15/02/2016 20.22	Cartella di file	
 events	15/02/2016 20.22	Cartella di file	
 geometry	15/02/2016 20.22	Cartella di file	
 help	15/02/2016 20.22	Cartella di file	
 img	15/02/2016 20.22	Cartella di file	
 lib	15/02/2016 20.22	Cartella di file	
 Hypatia_7.4_Masterclass.jar	15/02/2016 20.22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

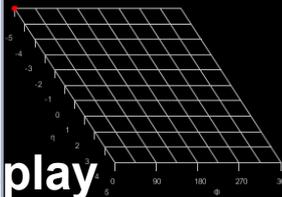
File View Histograms Preferences Help

File Name ETMis [GeV] Track P [GeV] +/- PT [GeV]  $\psi$   $\eta$  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



**PANNELLO 1: Event Display**



HYPATIA - Track Momenta Window

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

ETMis: 13,877 GeV  $\psi$ : 0,785 rad Collection: MET\_RefFinal

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

Track	+/-	P [GeV]	PT [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

**PANNELLO 2: Tracce**

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	

**PANNELLO 3: Controlli**

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

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

HYPATIA - Track Momenta Window

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

ETMIs: 13,877 GeV  $\phi$ : 0,785 rad Collection: MET\_BefFinal

C:\Users\User\Documents\Hypatia\_7.4\_Masterclass\events4.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

Nome file: groupA.zip

Tiplo 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

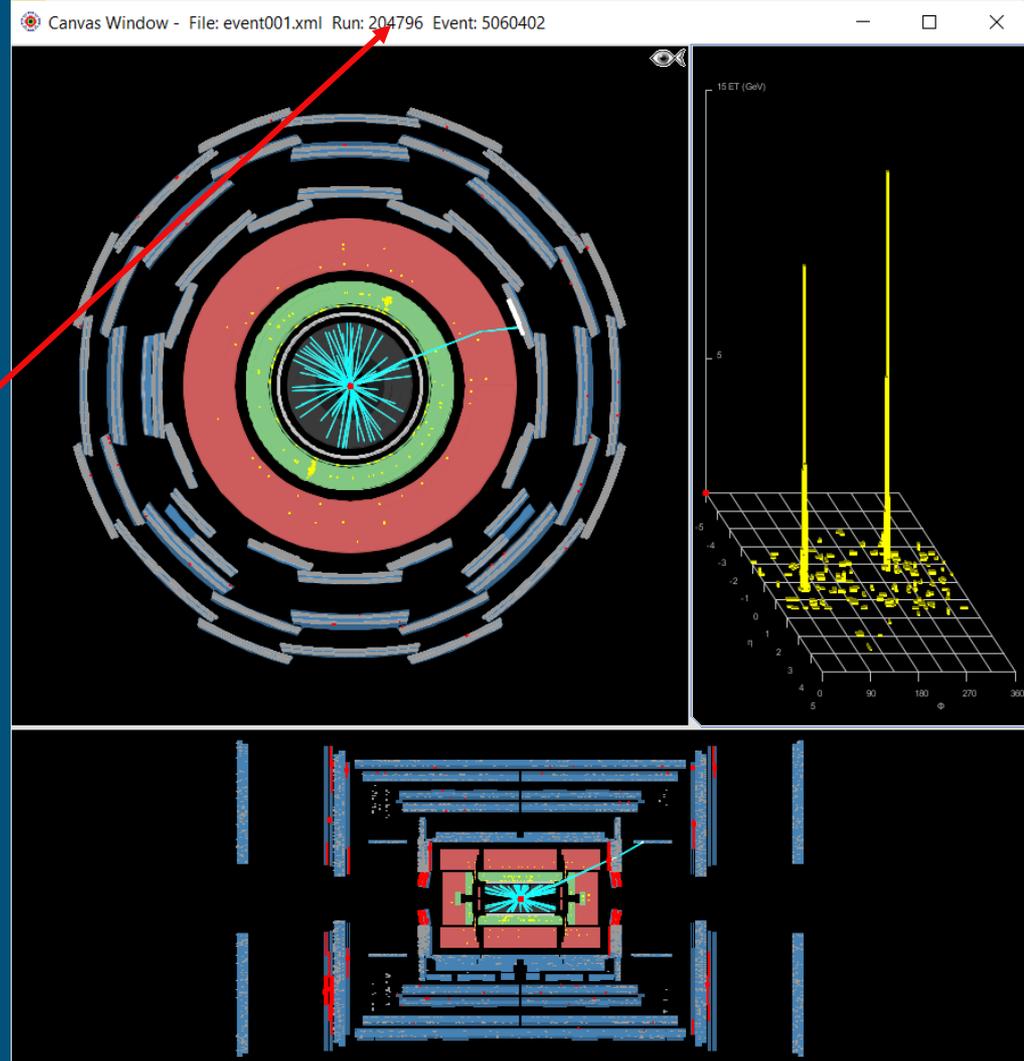
Name	Value
Status	<input checked="" type="checkbox"/>
InDet	<input checked="" type="checkbox"/>
Calo	<input checked="" type="checkbox"/>
MuonDet	<input checked="" type="checkbox"/>
Objects	<input checked="" type="checkbox"/>

File → Read Event Locally → **CARICARE FILE CON IL NOME DEL GRUPPO**

(Il file contiene i 50 eventi da analizzare)

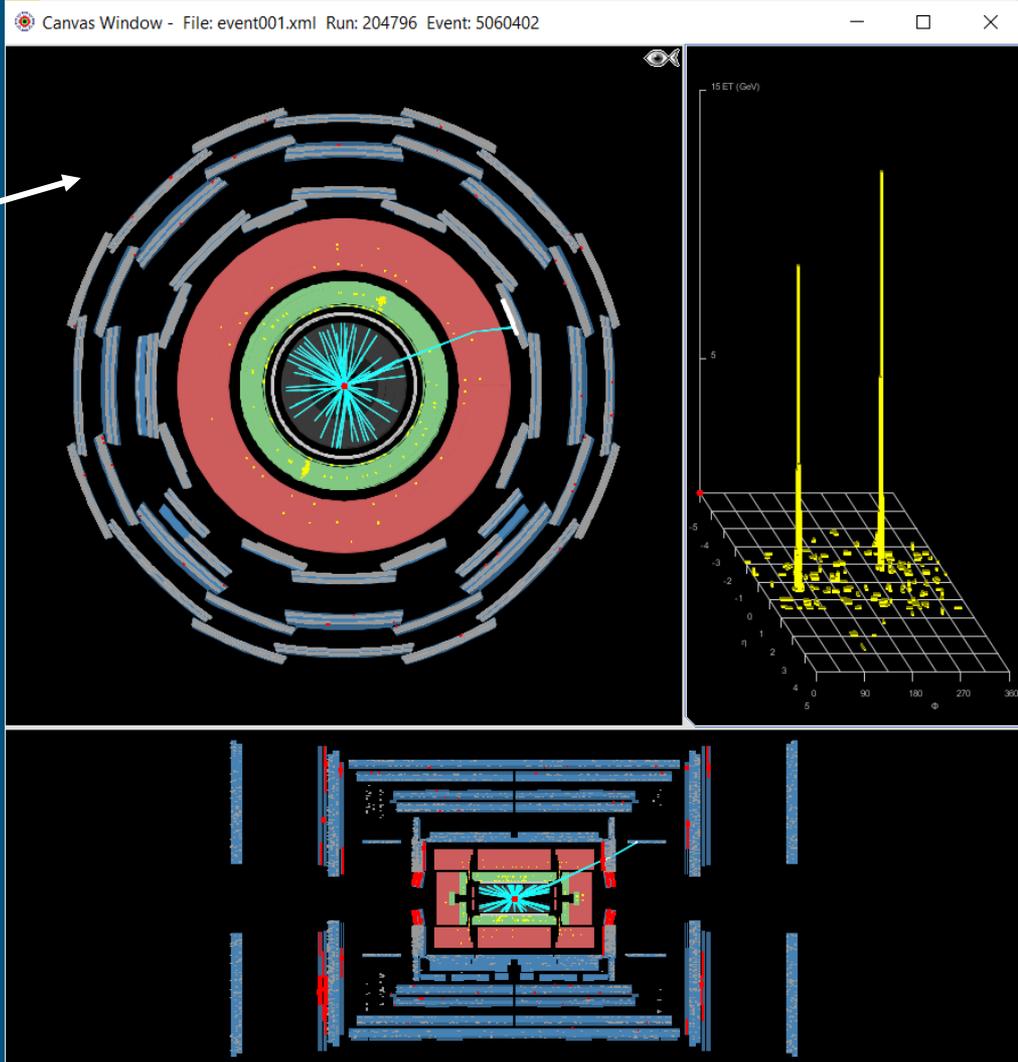
# P1: Event Display

- Una sessione di acquisizione dati è detta Run.
- La Run ed è identificata con un numero (es: 204796 sono i dati acquisiti dalle 12:34 alle 21:37 di un certo giorno).
- Ogni evento di una Run ha un numero identificativo.



# P1: Event Display

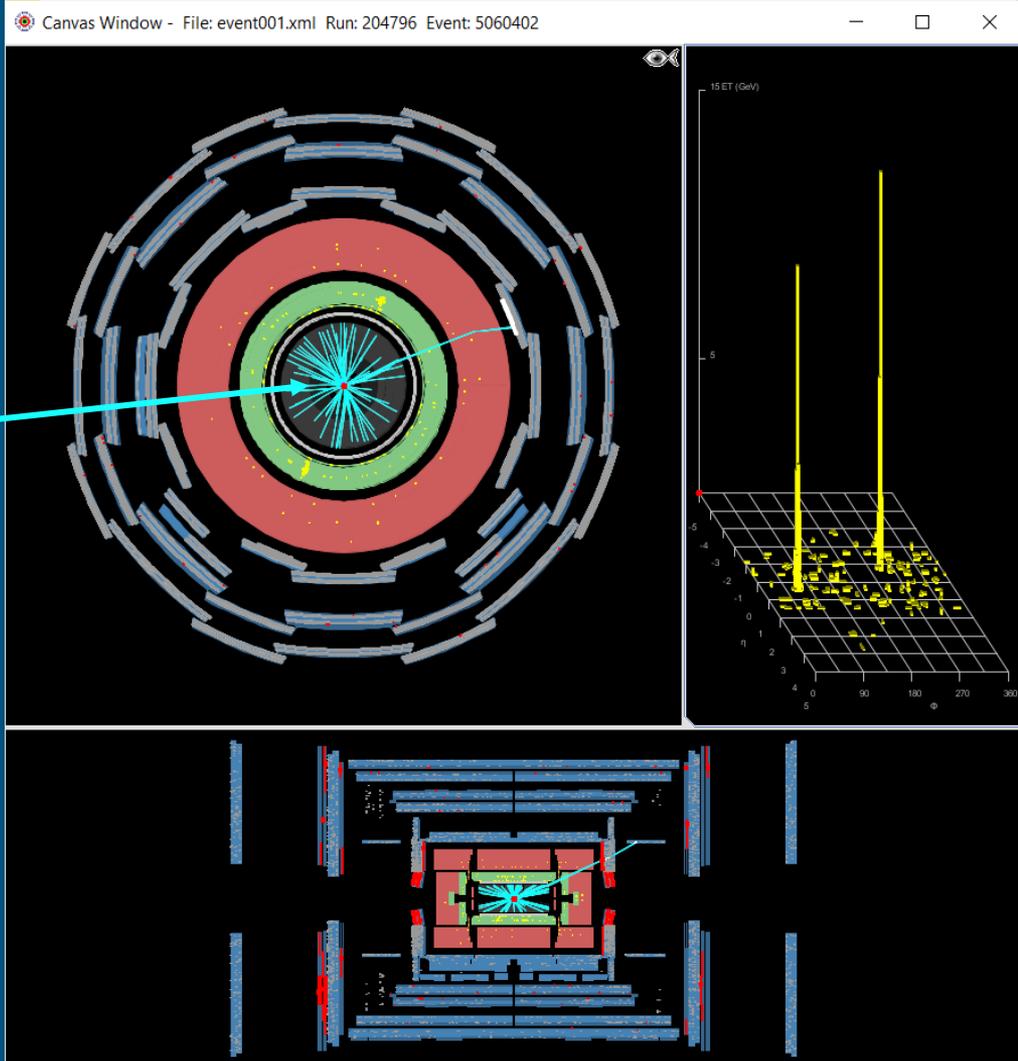
Vista trasversale



# P1: Event Display

Vista trasversale

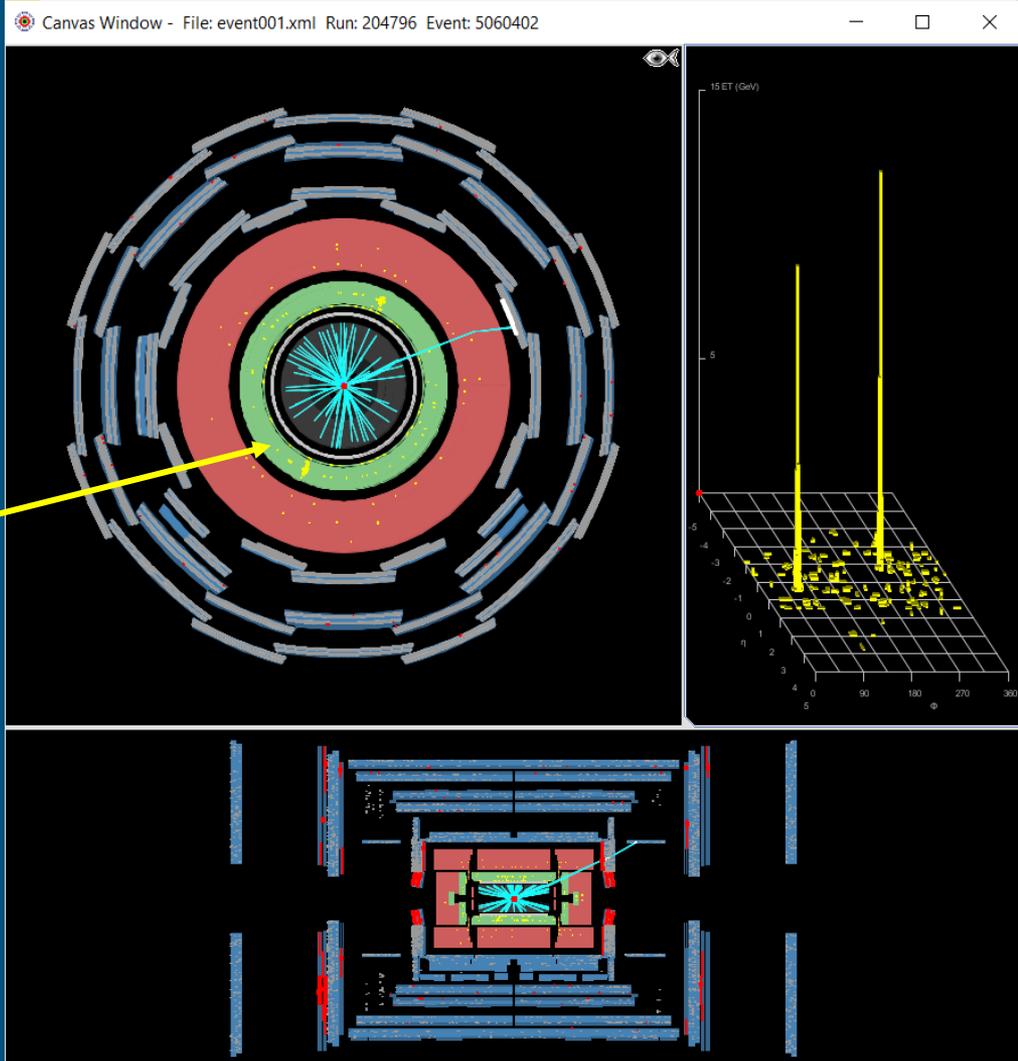
- Tracciatore interno (ID): tracce in **azzurro**.



# P1: Event Display

## Vista trasversale

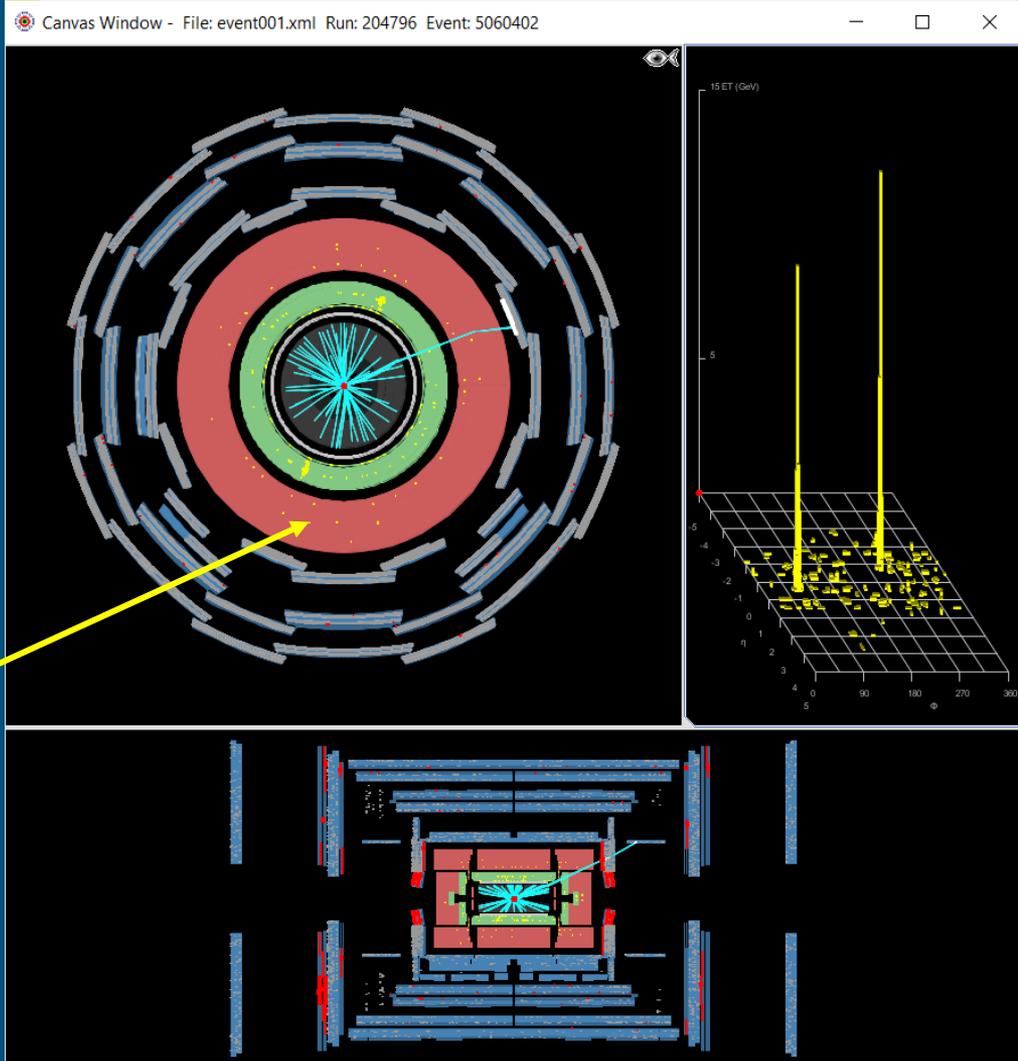
- Tracciatore interno (ID): tracce in **azzurro**.
- Calorimetro elettromagnetico (ECAL): depositi di energia in **giallo**.



# P1: Event Display

## Vista trasversale

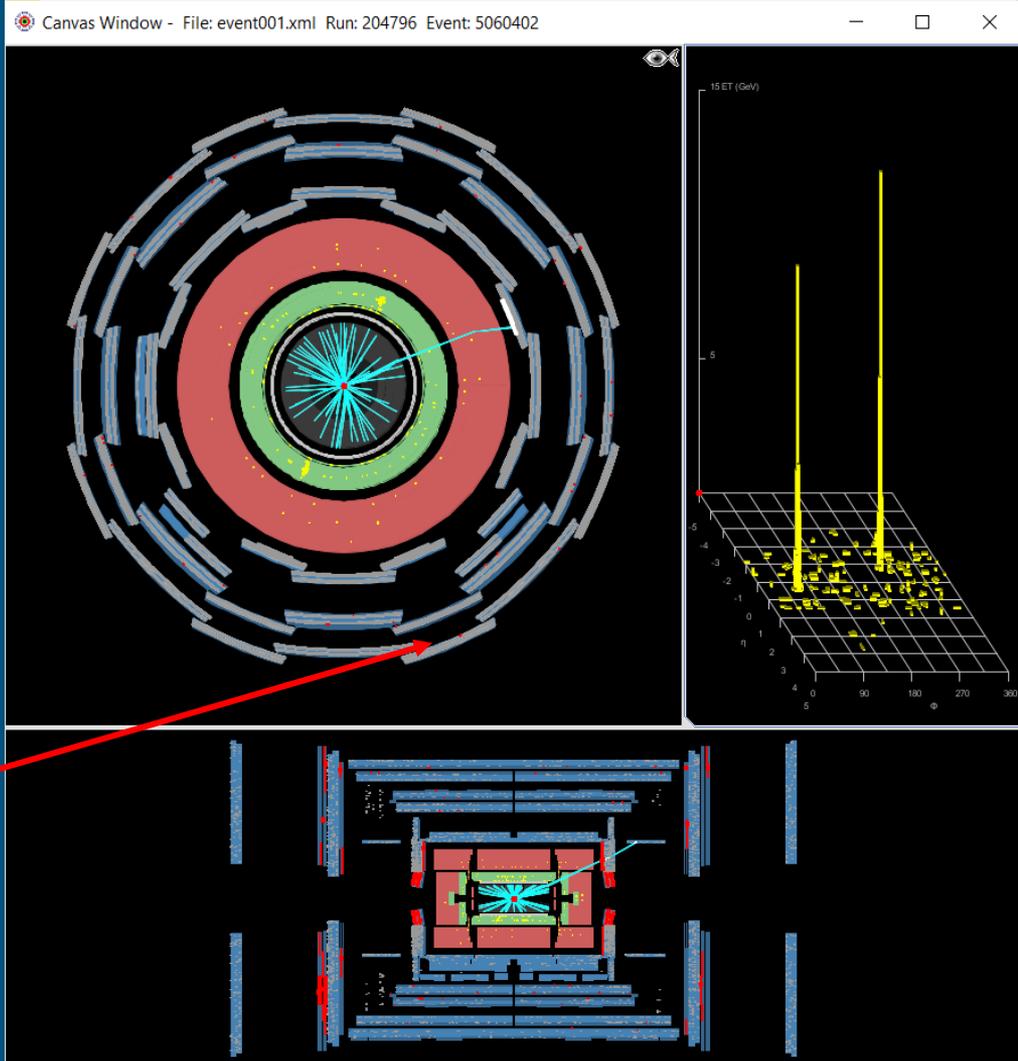
- Tracciatore interno (ID): tracce in **azzurro**.
- Calorimetro elettromagnetico (ECAL): depositi di energia in **giallo**.
- Calorimetro adronico (HCAL): depositi di energia in **giallo**.



# P1: Event Display

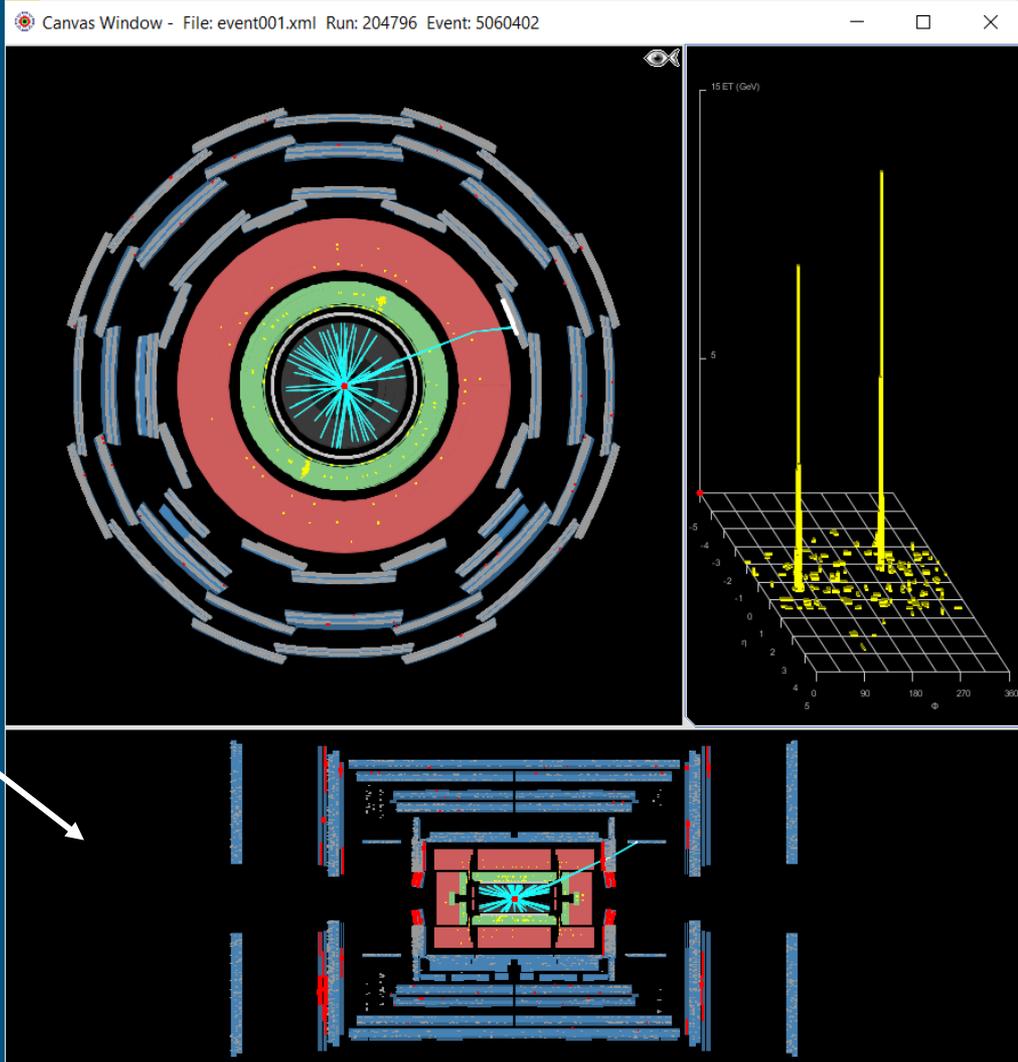
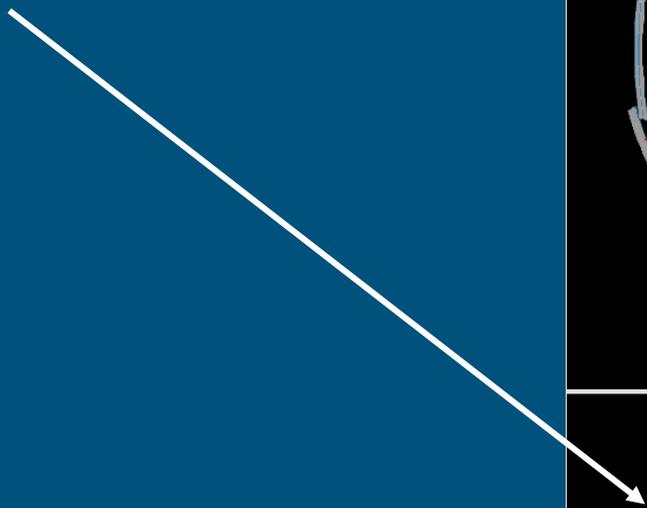
## Vista trasversale

- Tracciatore interno (ID): tracce in **azzurro**.
- Calorimetro elettromagnetico (ECAL): depositi di energia in **giallo**.
- Calorimetro adronico (HCAL): depositi di energia in **giallo**.
- Spettrometro a muoni (MS): hit in **rosso**.



# P1: Event Display

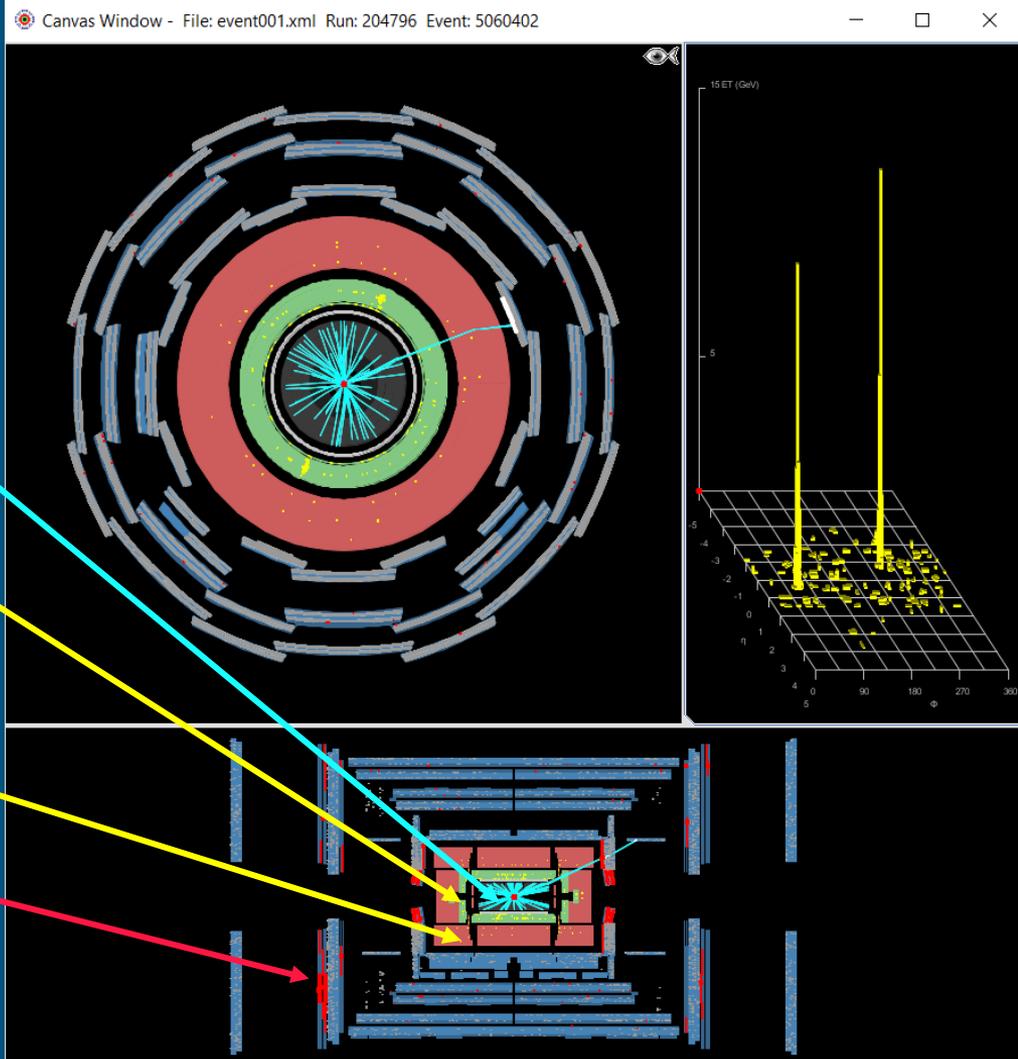
Vista laterale



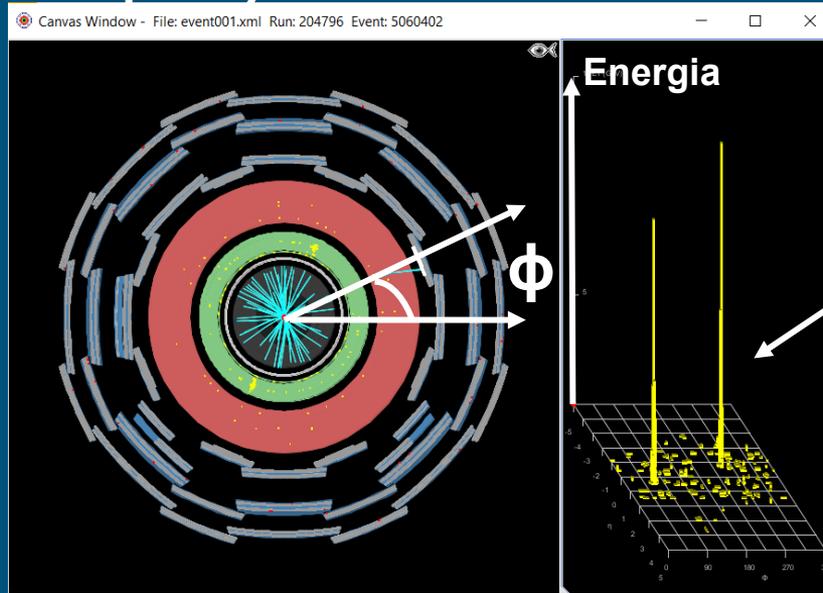
# P1: Event Display

## Vista laterale

- Tracciatore interno (ID): tracce in **azzurro**.
- Calorimetro elettromagnetico (ECAL): depositi di energia in **giallo**.
- Calorimetro adronico (HCAL): depositi di energia in **giallo**.
- Spettrometro a muoni (MS): hit in **rosso**.

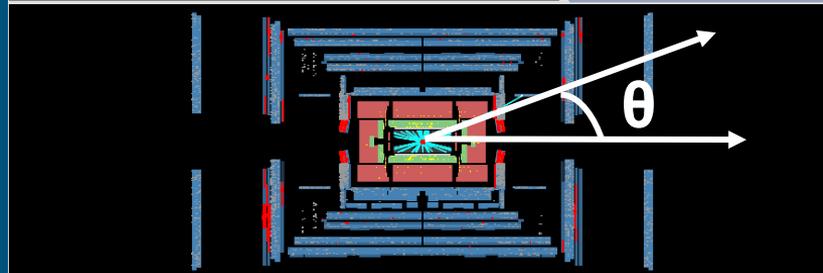
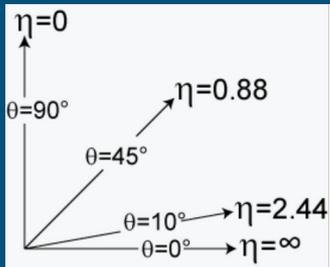


# P1: Event Display



Depositi elettromagnetici:  
energia nell'ECAL nei  
punti del piano  $\eta$ - $\phi$   
(posizione).

$$\eta = -\ln[\tan(\theta/2)]$$



# Cosa stiamo cercando?

Il bosone Z da un decadimento leptonic:

- $Z \rightarrow e^+e^-$

- Elettroni/positroni sono particelle cariche  $\rightarrow$  cerchiamo una coppia di tracce con carica opposta nel tracciatore interno (ID, zona grigia).
- Elettroni/positroni interagiscono nella materia  $\rightarrow$  producono sciami elettromagnetici (depositi di energia) nel calorimetro elettromagnetico (ECAL, zona verde).
- Bosone Z ha una massa elevata  $\rightarrow$  le tracce degli elettroni devono avere un alto impulso trasverso ( $p_T$ ).

Attenzione ai **fotoni**: producono depositi di energia simili a quelli degli elettroni, ma non hanno nessuna traccia associata nel rivelatore interno!

# Cosa stiamo cercando?

Il bosone Z da un decadimento leptonic:

- **$Z \rightarrow \mu^+\mu^-$** 
  - Muoni/antimuoni sono particelle cariche  $\rightarrow$  cerchiamo una coppia di tracce con carica opposta nel tracciatore interno (ID, zona grigia).
  - Muoni/antimuoni lasciano modesti depositi elettromagnetici  $\rightarrow$  superano i calorimetri e lasciano tracce nello spettrometro per muoni (MS, zona esterna).
  - Bosone Z ha una massa elevata  $\rightarrow$  le tracce degli elettroni devono avere un alto impulso trasverso ( $p_T$ ).

# Come lo cerchiamo?

Usiamo i pannelli:

- **P2 tracce.**
- **P3 controlli.**

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 shows a table of track data. The table has columns for Track ID, +/- sign, P [GeV], Pt [GeV],  $\psi$ , and  $\theta$ . A red arrow points from the text 'P2 tracce.' to the 'Tracks' tab in the software interface.

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

**HYPATIA - Control Window:** This window contains several control panels. A yellow arrow points from the text 'P3 controlli.' to the 'Data' panel. The 'Data' panel shows a list of parameters with checkboxes:

- Status
- InDet
- Calo
- MuonDet
- Objects

# P2: Tracce

Permette di spostarsi da un evento all'altro.

HYPATIA - Track Momenta Window

Previous Event Next Event Electron Muon Photon Delete Track Reset Canvas

4,167 GeV φ: 3,040 rad Collection: MET\_RefFinal

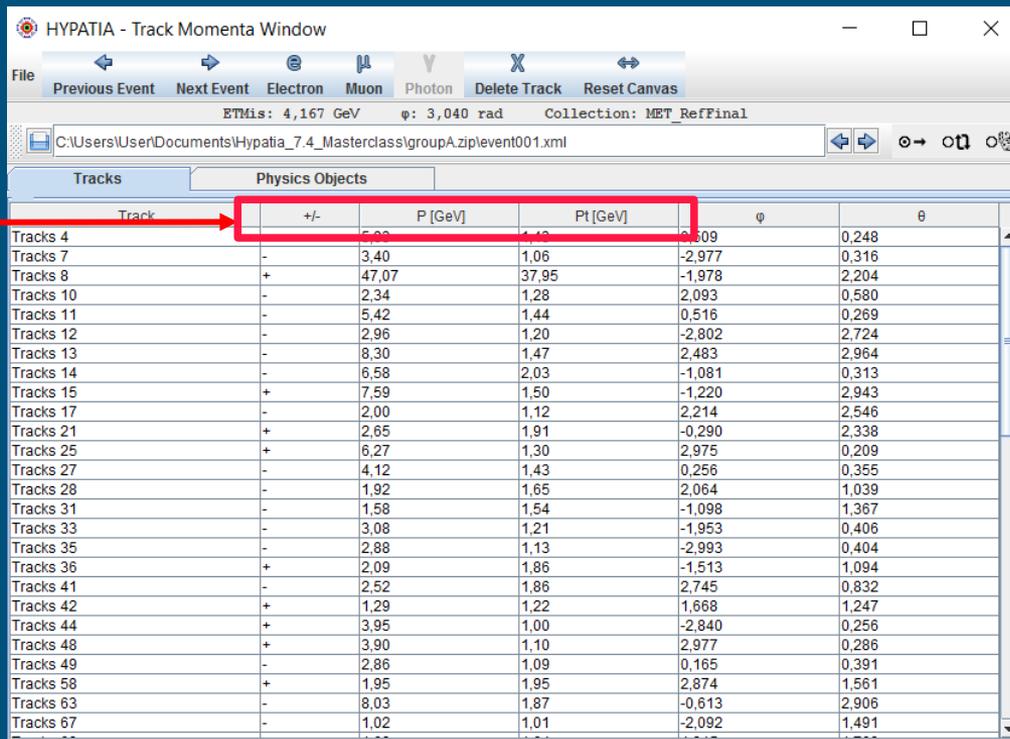
C:\Users\User\Documents\Hypatia\_7.4\_Masterclass\groupA\zip\event001.xml

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

# P2: Tracce

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

- Carica (+/-).
- Impulso (P [GeV]).
- Impulso trasverso (Pt [GeV]).



HYPATIA - Track Momenta Window

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

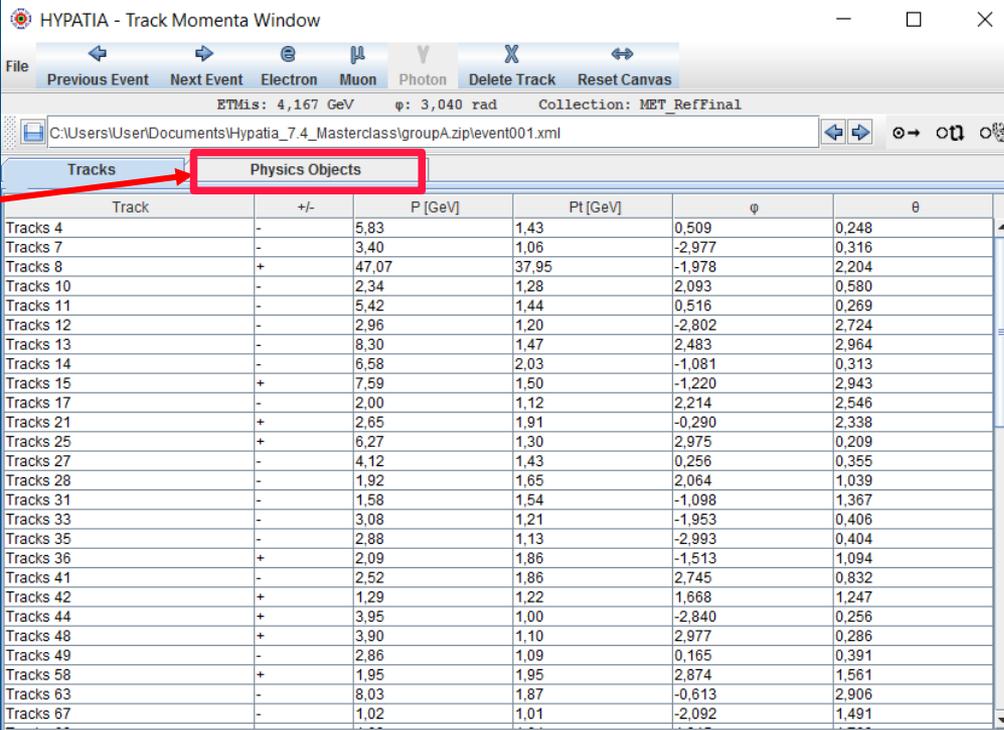
ETMis: 4,167 GeV  $\phi$ : 3,040 rad Collection: MET\_RefFinal

C:\Users\User\Documents\Hypatia\_7.4\_Masterclass\groupA\zip\event001.xml

Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	$\phi$	$\theta$
Tracks 4	-	5,33	4,10	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

# P2: Tracce

Contiene la tab “Physics Object” che mostra i depositi elettromagnetici di alta energia, potenzialmente dovuti ai fotoni.



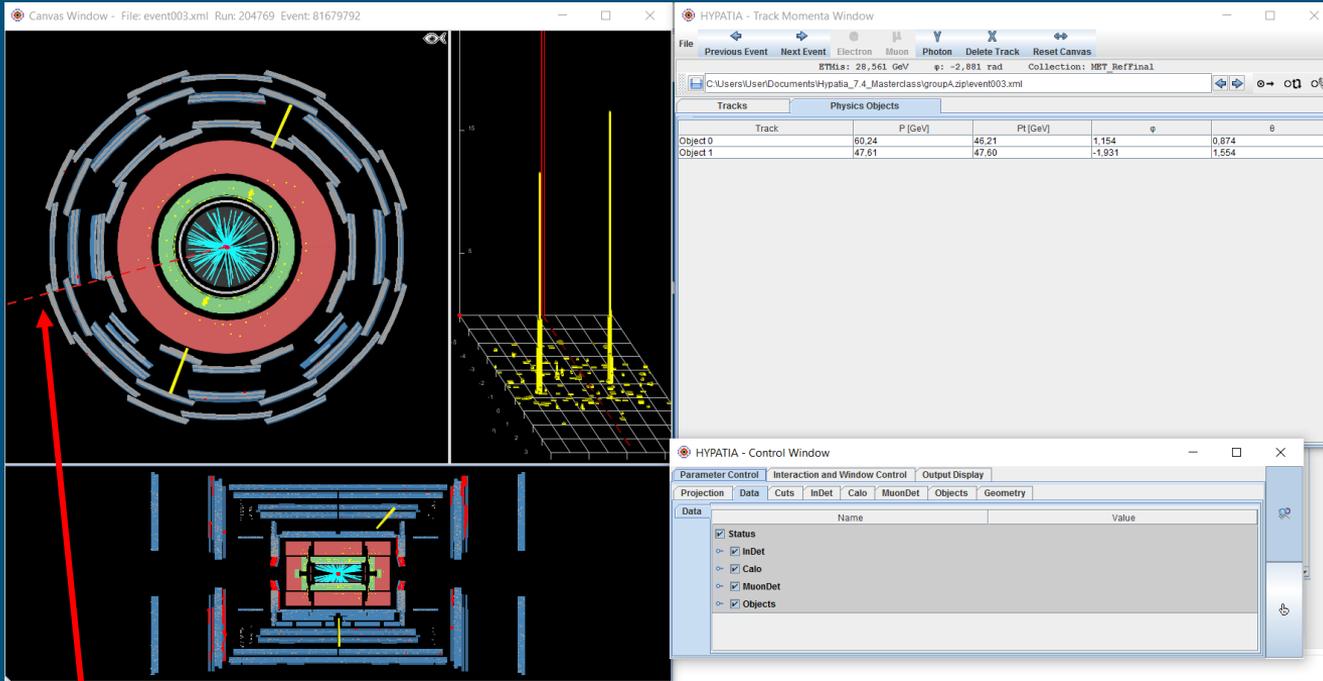
Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	$\phi$	$\theta$
Tracks 4	-	5,83	1,43	0,509	0,248
Tracks 7	-	3,40	1,06	-2,977	0,316
Tracks 8	+	47,07	37,95	-1,978	2,204
Tracks 10	-	2,34	1,28	2,093	0,580
Tracks 11	-	5,42	1,44	0,516	0,269
Tracks 12	-	2,96	1,20	-2,802	2,724
Tracks 13	-	8,30	1,47	2,483	2,964
Tracks 14	-	6,58	2,03	-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

## P2: Tracce

E' riportata anche l'energia "mancante" (ad esempio dovuta ai neutrini) dell'evento.

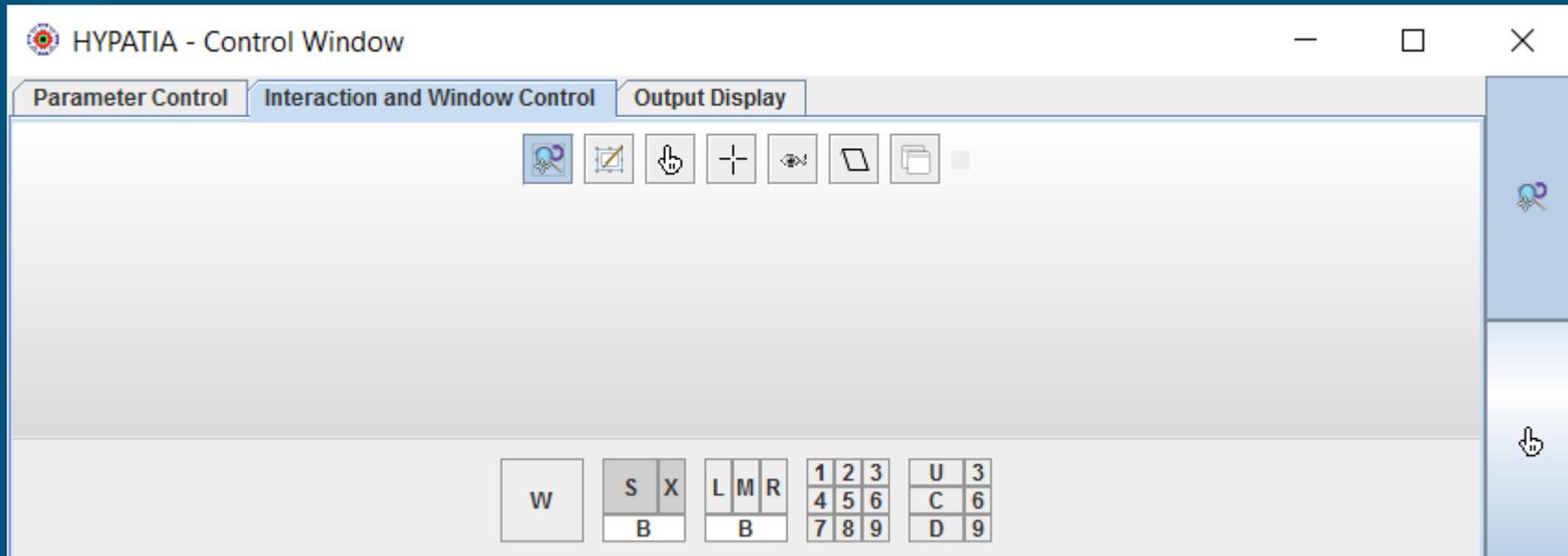
Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	$\phi$	$\theta$
Tracks 4	-	5,83	1,43	0,509	0,248
Tracks 7	-	3,40	1,06	-2,977	0,316
Tracks 8	+	47,07	37,95	-1,978	2,204
Tracks 10	-	2,34	1,28	2,093	0,580
Tracks 11	-	5,42	1,44	0,516	0,269
Tracks 12	-	2,96	1,20	-2,802	2,724
Tracks 13	-	8,30	1,47	2,483	2,964
Tracks 14	-	6,58	2,03	-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

# P2: Tracce



**NOTA:** quando l'energia mancante (o invisibile) non è trascurabile, viene mostrata nell'Event Display come una linea tratteggiata **rossa**.

# P3: Controlli



- Il pannello di controllo è molto ricco. Attenti a non perdervi!
- Permette di interagire con l'Event Display, ad esempio per zoomare o trascinare.

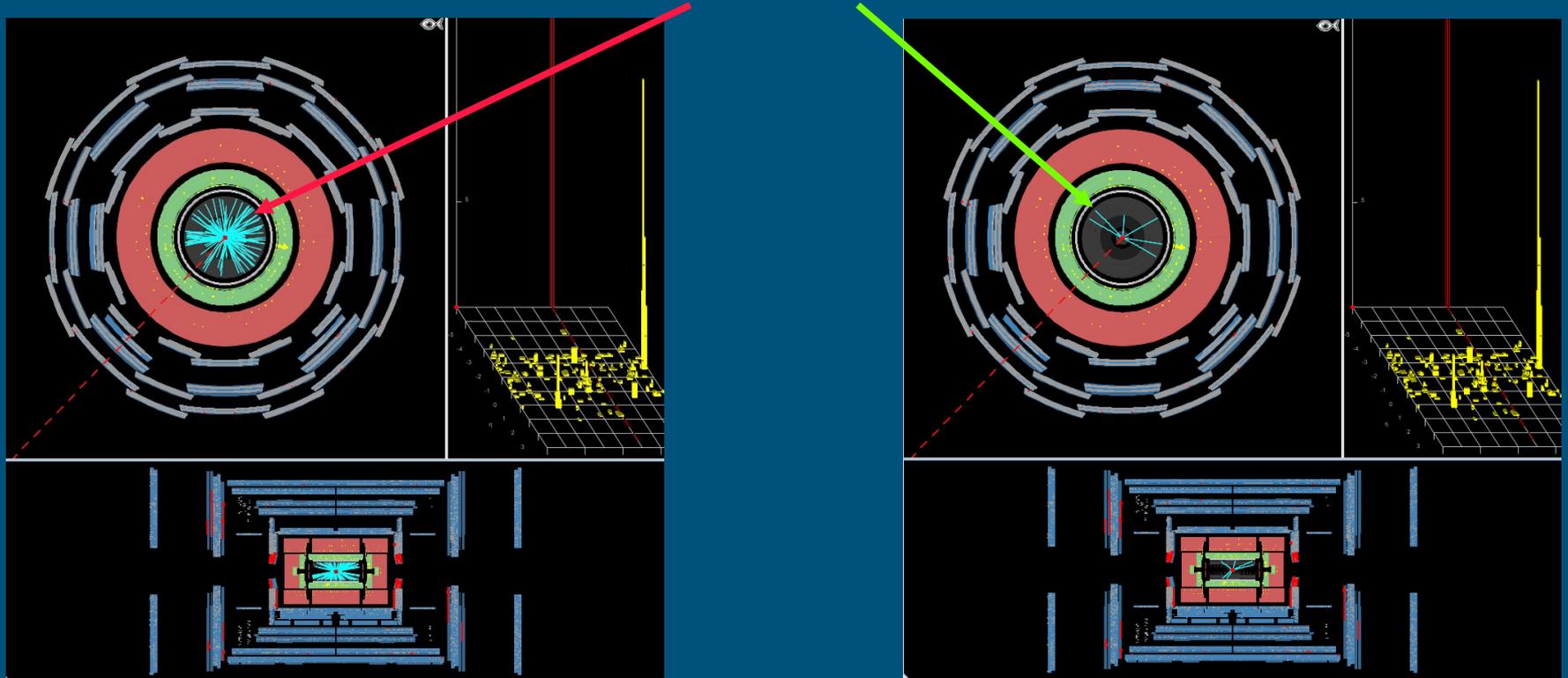
# P3: Controlli

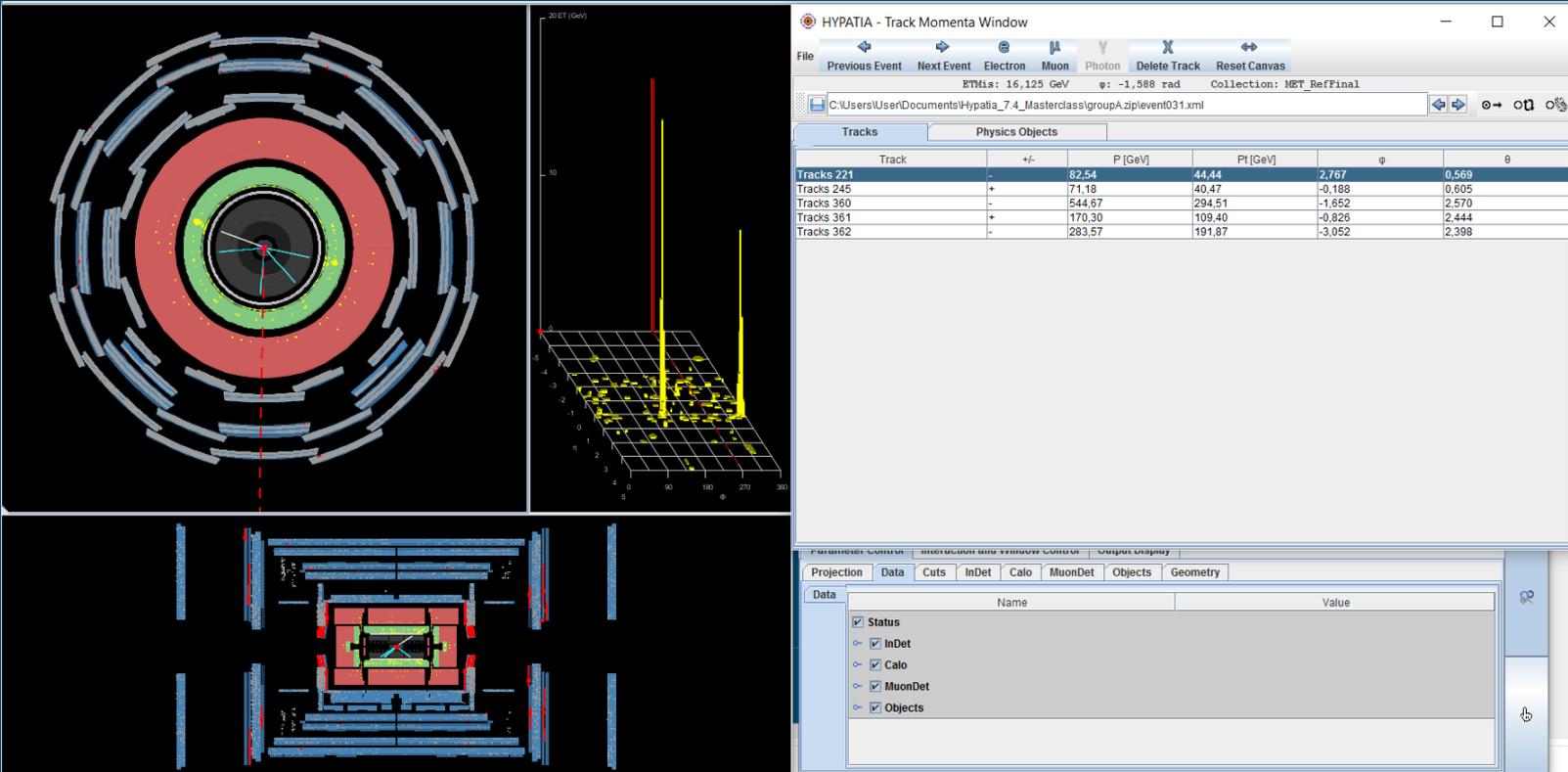
Name	Value
<input checked="" type="checkbox"/>  Pt	> 10.0 GeV
<input type="checkbox"/>  Pt2	< 700.0 MeV
<input checked="" type="checkbox"/>  d0	< 2.5 mm
<input checked="" type="checkbox"/>  z0	< 20.0 cm
<input type="checkbox"/>  d0 Loose	< 2.0 cm
<input type="checkbox"/>  z0-zVtx	< 2.5 mm
<input type="checkbox"/>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

- Nella tab Parameter Control è possibile inserire dei **tagli** (cuts) sui parametri fisici. I tagli ci aiutano a capire se stiamo guardando un evento con uno Z oppure no.
- Esempio: imponendo un impulso trasverso alto (**Pt > 10 GeV**) → nell'Event Display scompariranno le tracce con impulso trasverso basso.

# P3: Controlli

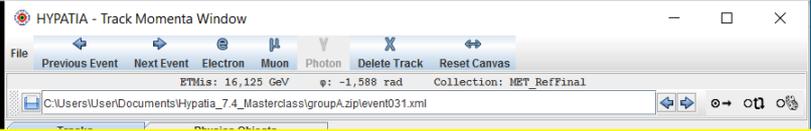
Lo stesso evento con un taglio sul  $p_T$  pari a **1 GeV** e a **10 GeV**.



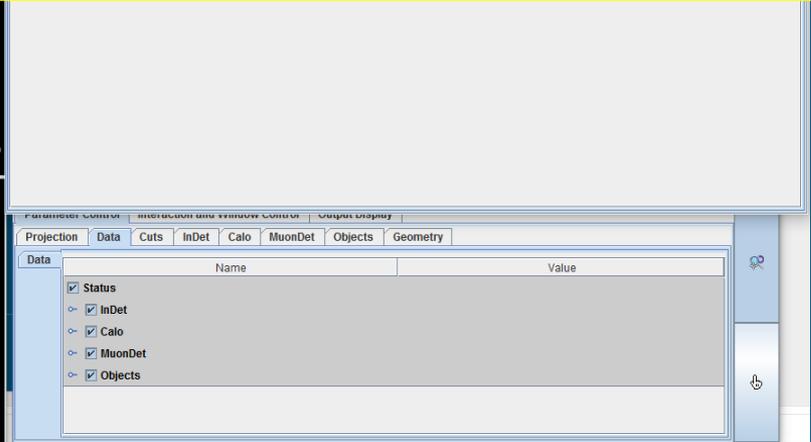
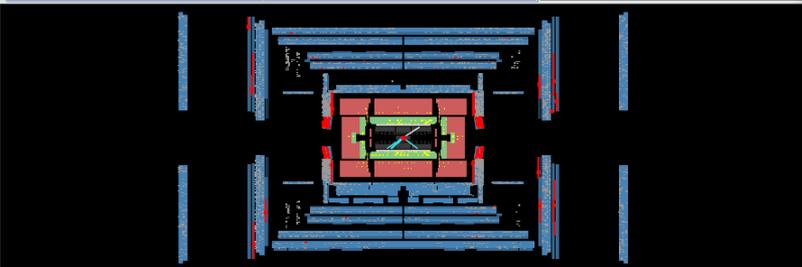
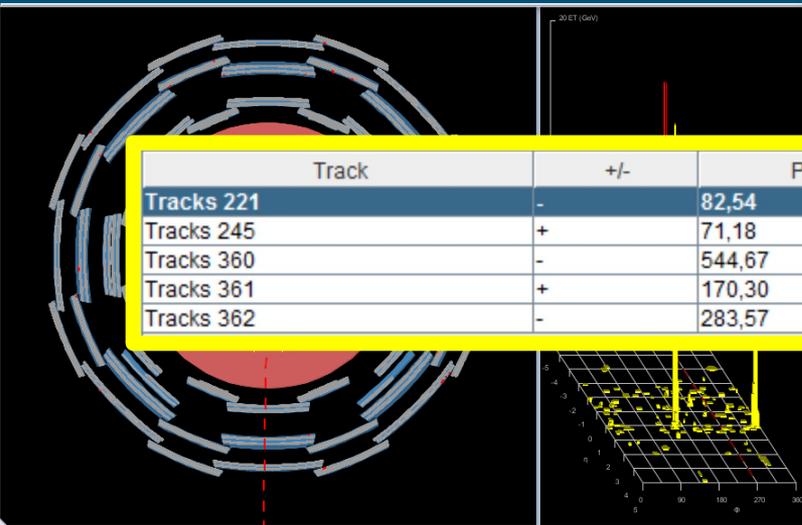


Esempio:

1. Dopo il taglio  $p_T > 10$  GeV, restano 5 tracce.
2. La traccia **221**, visualizzata ora in bianco nell'Event Display, è associata a un deposito calorimetrico (controllare sia la vista trasversale che quella laterale).
3. Dalla colonna della carica del pannello delle Tracce, vediamo che è carica negativamente.

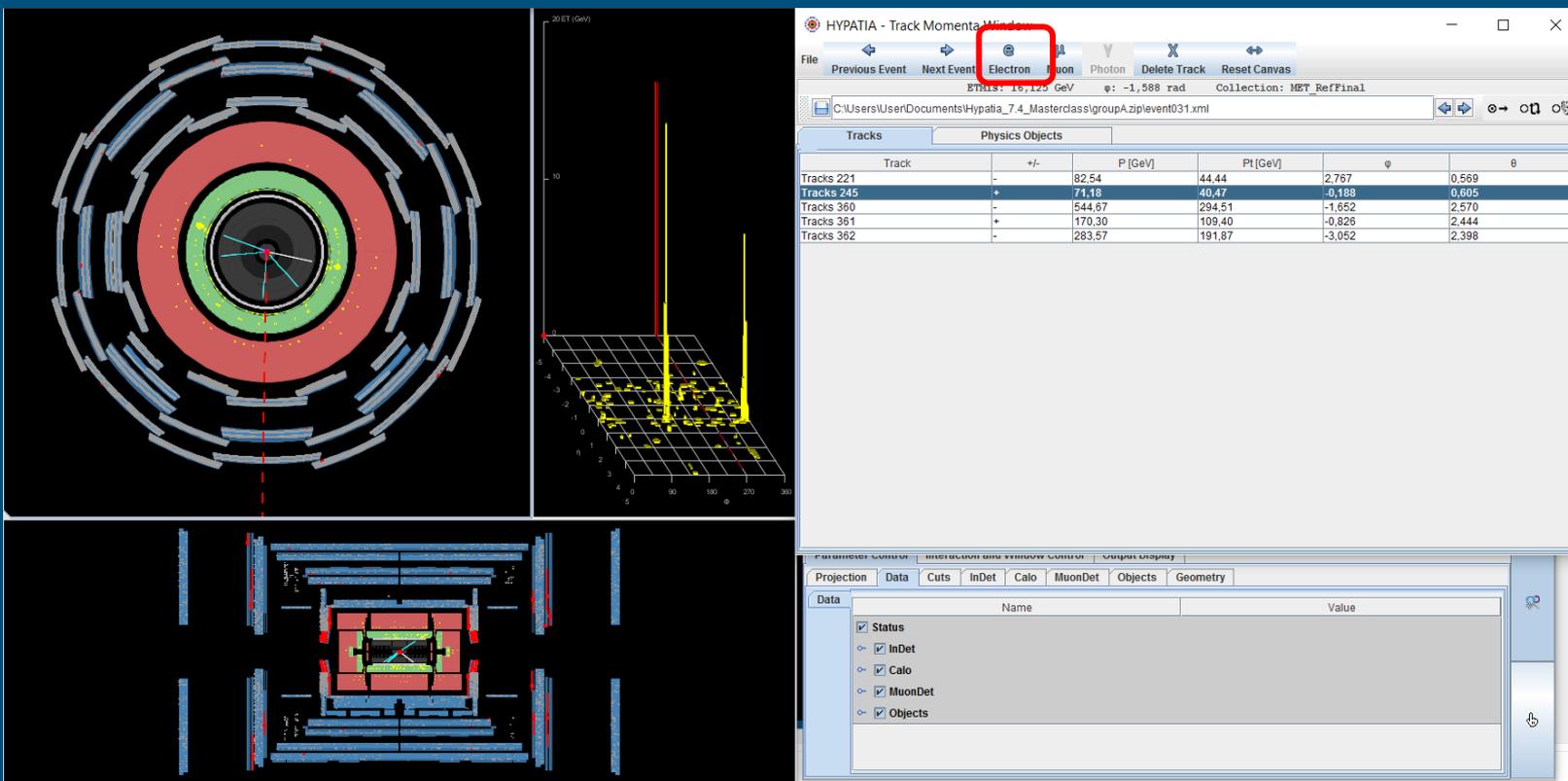


Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	$\psi$	$\theta$
Tracks 221	-	82,54	44,44	2,767	0,569
Tracks 245	+	71,18	40,47	-0,188	0,605
Tracks 360	-	544,67	294,51	-1,652	2,570
Tracks 361	+	170,30	109,40	-0,826	2,444
Tracks 362	-	283,57	191,87	-3,052	2,398



Esempio:

1. Dopo il taglio  $p_T > 10$  GeV, restano 5 tracce.
2. La traccia **221**, visualizzata ora in bianco nell'Event Display, è associata a un deposito calorimetrico (controllare sia la vista trasversale che quella laterale).
3. Dalla colonna della carica del pannello delle Tracce, vediamo che è carica negativamente.



Esempio:

3. Osserviamo la traccia 245. E' associata a un deposito di energia nell'ECAL ed è carica positivamente. **Stiamo osservando un evento in cui Z è decaduto in una coppia elettrone-positrone?**
4. Selezioniamo le tracce e le identifichiamo come elettroni.

The screenshot displays the HYPATIA software interface. The top window, titled 'HYPATIA - Track Momenta', shows a table of track data. The 'Electron' button in the top toolbar is highlighted with a red box. A yellow box highlights the track data table. The bottom window shows a 'Data' panel with a list of checked items: Status, InDet, Calo, MuonDet, and Objects. The background features a 3D detector model and a 2D track visualization.

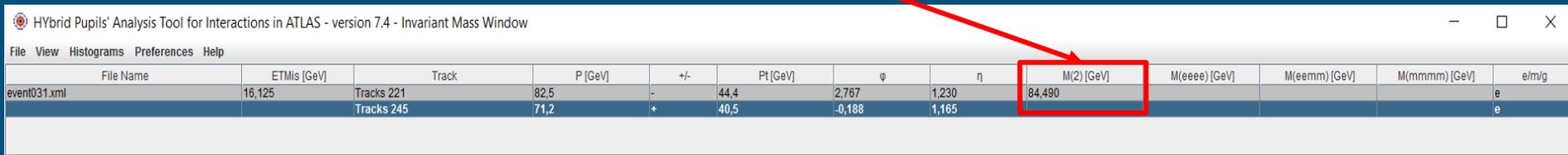
Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	$\psi$	$\theta$
Tracks 221	-	82,54	44,44	2,767	0,569
Tracks 245	+	71,18	40,47	-0,188	0,605
Tracks 360	-	544,67	294,51	-1,652	2,570
Tracks 361	+	170,30	109,40	-0,826	2,444
Tracks 362	-	283,57	191,87	-3,052	2,398

Esempio:

3. Osserviamo la traccia **245**. E' associata a un deposito di energia nell'ECAL ed è carica positivamente. **Stiamo osservando un evento in cui Z è decaduto in una coppia elettrone-positrone?**
4. Selezioniamo le tracce e le identifichiamo come elettroni.

# P4: Massa Invariante

Dopo essere state identificate come elettroni, le tracce appaiono nella finestra massa invariante. La massa invariante della coppia  $e^+e^-$  appare sotto M(2) [GeV].



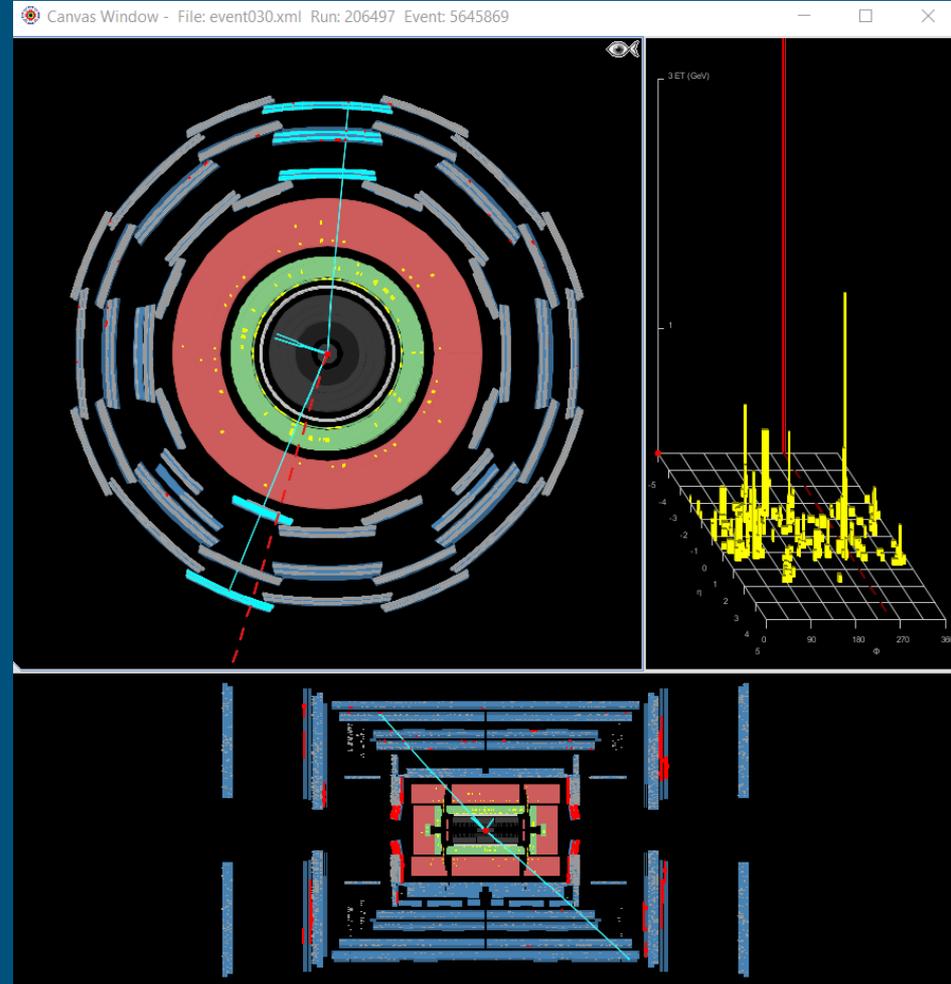
File Name	ETMis [GeV]	Track	P [GeV]	+/-	Pt [GeV]	$\phi$	$\eta$	M(2) [GeV]	M(eeee) [GeV]	M(eemm) [GeV]	M(mmmm) [GeV]	e/m/g
event031.xml	16,125	Tracks 221	82,5	-	44,4	2,767	1,230	84,490				e
		Tracks 245	71,2	+	40,5	-0,188	1,165					e

Il valore della massa invariante è 84.5 GeV → **l'evento sembra un buon candidato  $Z \rightarrow e^+e^-$**

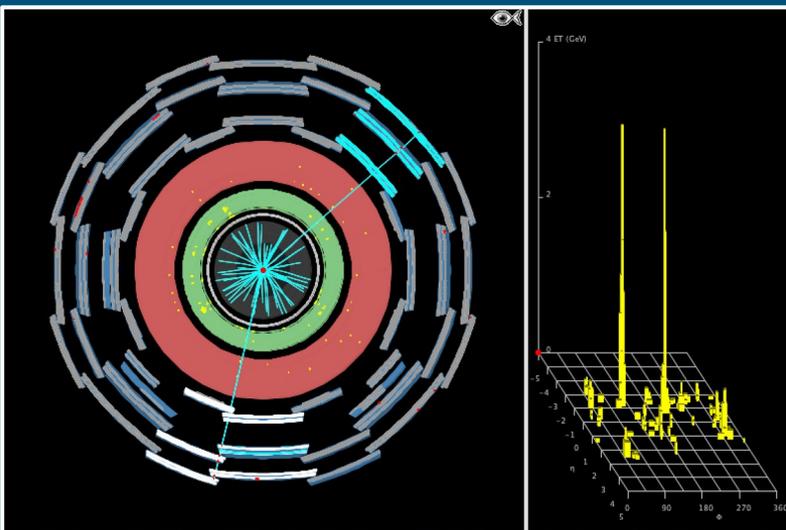
# Se ci sono Muoni?

L'evento selezionato ha due tracce che arrivano fino al MS → sono muoni!

Stiamo osservando l'evento  $Z \rightarrow \mu^+\mu^-$ ?



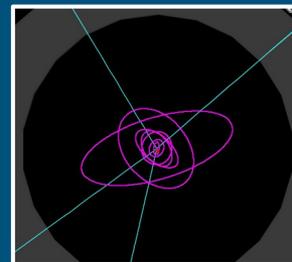
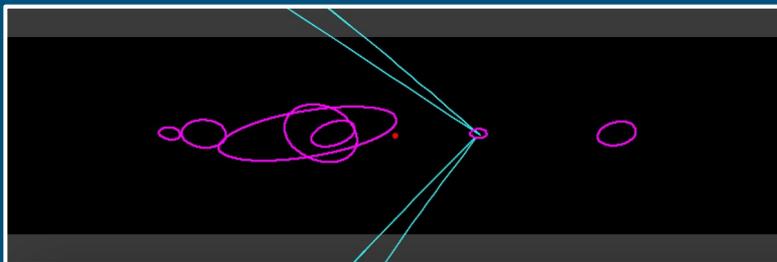
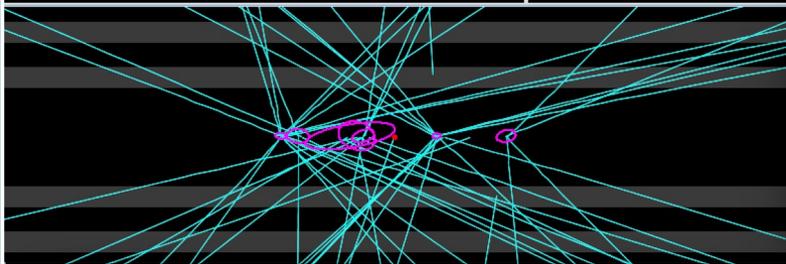
# Se ci sono Muoni?



Esempio: evento con due muoni e due elettroni. E' un potenziale candidato  $H \rightarrow ZZ \rightarrow e^+e^-\mu^+\mu^-$ .

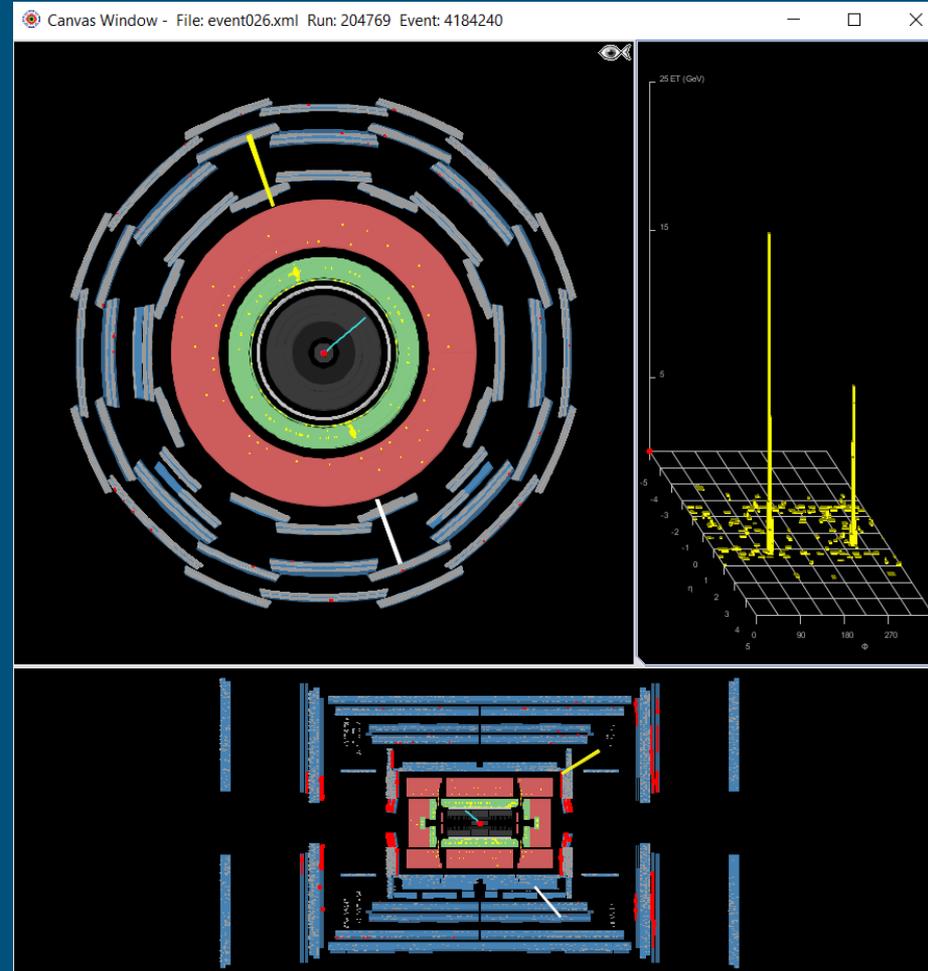
Come procedere?

1. Selezionare il taglio  $p_T > 10$  GeV.
2. Zoom sul centro del tracciatore.
3. Controllare la provenienza delle tracce selezionate dallo stesso vertice di interazione (su entrambi i piani).



# E i fotoni?

L'evento selezionato ha due depositi nell'ECAL  
senza tracce corrispondenti.  
Sono due fotoni?  
Ma il bosone  $Z$  non può decadere in due fotoni.  
Quindi di cosa si tratta?



# Cosa possiamo trovare negli eventi?

1. Le particelle  $J/\psi$  e  $Y$  possono decadono in  $e^+e^-$  o in  $\mu^+\mu^-$ , ma con massa invariante bassa (circa 3 e 10 GeV rispettivamente).
  2. Il bosone  $Z'$  è una particella ipotetica, simile allo  $Z$  (stessi decadimenti), ma con massa invariante altissima, maggiore di 1000 GeV.
- Il bosone di **Higgs(H)** può decadere in  $ZZ$  o in due fotoni. Se un evento ha una coppia di fotoni, o due coppie di elettroni/muoni ognuna delle quali corrisponde a uno  $Z$ , forse abbiamo visto un bosone di Higgs! La massa invariante in questo caso è maggiore di 100 GeV.
  - Il **gravitone (g)** è una particella ipotetica, che può avere gli stessi decadimenti del bosone di Higgs, ma con una massa molto più alta!
  - Ci sono eventi in cui non c'è niente di tutto questo, sono semplicemente gli eventi di **fondo** (background).

# Cosa dobbiamo fare?

Scorrete ognuno dei 50 eventi a vostra disposizione e identificate le coppie di:

- Elettroni.
- Muoni.
- Fotoni.

Cercate di capire se l'evento e' associato a una **Z** o a una delle altre particelle interessanti ( **$J/\psi$**  ,  **$\Upsilon$** , **bosone di Higgs, gravitone**):

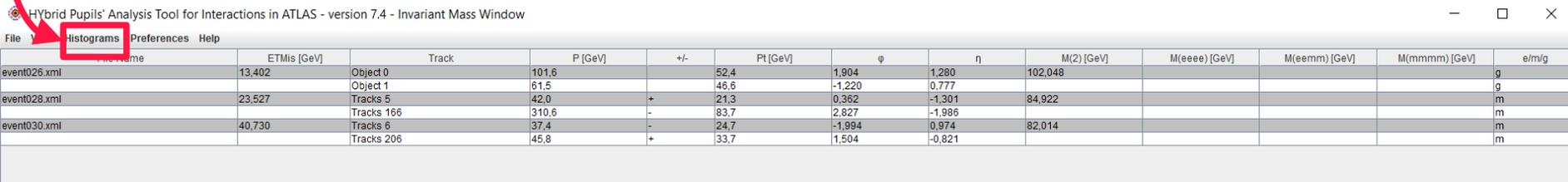
- Se pensate che l'evento sia un semplice evento di **fondo**, ignoratelo.
- Altrimenti selezionate le particelle rilevanti e salvatele nel pannello della massa invariante. Nel pannello vedrete sia la massa invariante delle coppie, sia quella combinata di 4 particelle (qualora abbiate identificato 4 particelle).

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
event028.xml	23,527	Object 1	61,5		46,6	-1,220	0,777					g
		Tracks 5	42,0	+	21,3	0,362	-1,301	84,922				m
event030.xml	40,730	Tracks 166	310,6	-	83,7	2,827	-1,988					m
		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 dobbiamo fare?

Usando il pannello istogrammi, potete produrre diversi grafici:

- M(1): massa delle singole particelle selezionate.
- M(2): massa invariante delle coppie di particelle identificate. Se avete osservato un elevato numero di Z, vedrete molte coppie di massa simile.
- Grafici della massa invariante combinata di 4 leptoni (4 elettroni, 4 muoni, oppure 2 elettroni e 2 muoni). In questo caso vedrete molte coppie con massa simile a un bosone di Higgs.



event 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

Non dimenticatevi di scrivere sui fogli che avete a disposizione cosa avete scoperto in ogni evento che analizzate!

Link per scaricare i dati:

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

Abbiamo a disposizione i dataset **9** e **10**



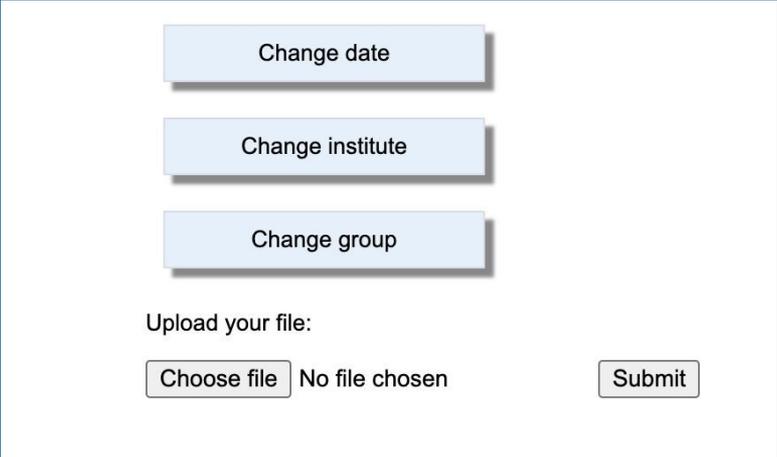
12.03	Žilina	<a href="#">1</a>	<a href="#">2</a>		Kielce	<a href="#">15</a>	<a href="#">16</a>	<a href="#">17</a>	<a href="#">18</a>	Grenoble	<a href="#">5</a>	<a href="#">6</a>		Vila Real	<a href="#">7</a>	<a href="#">8</a>	Rome, Tor Vergata	<a href="#">9</a>	<a href="#">10</a>		Kosice	<a href="#">11</a>	<a href="#">12</a>		
-------	--------	-------------------	-------------------	--	--------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	----------	-------------------	-------------------	--	-----------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	--------------------	--	--------	--------------------	--------------------	--	--

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

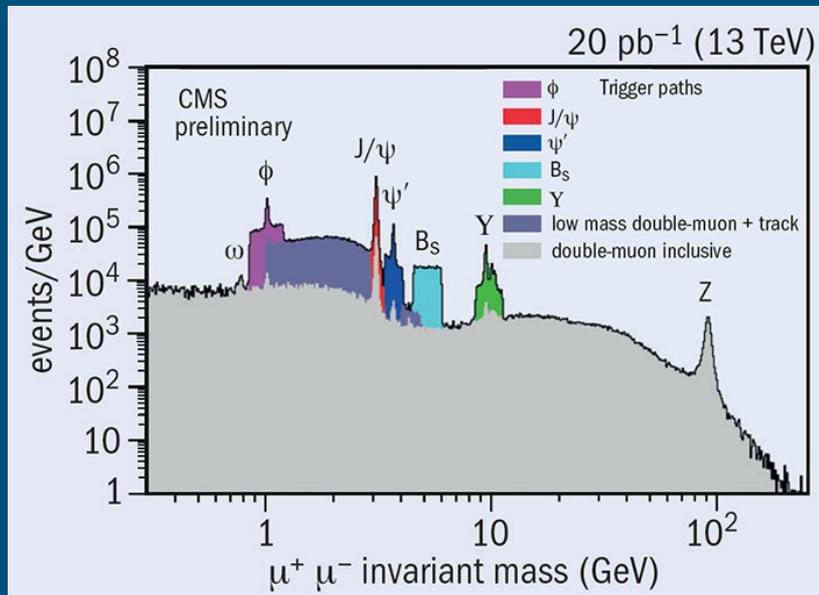
# Massa invariante: definizione

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

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

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

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

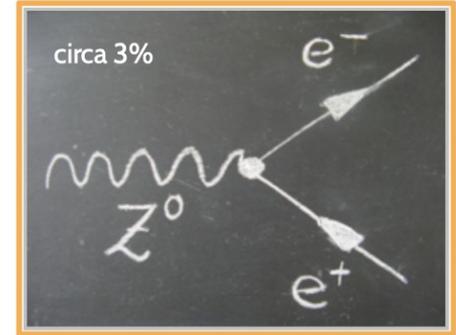
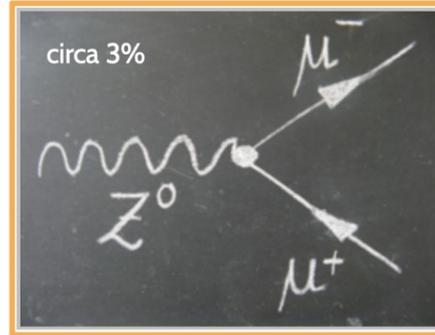


# Massa invariante: definizione

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

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

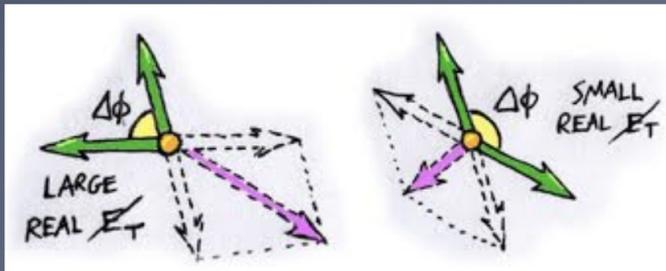
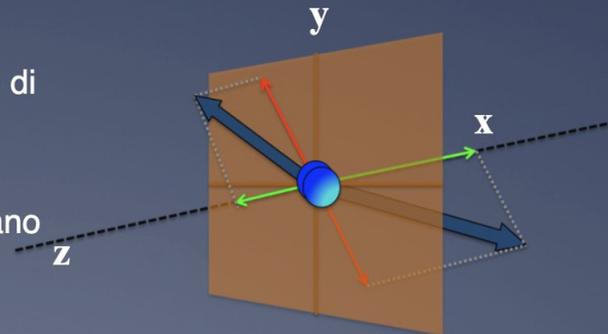
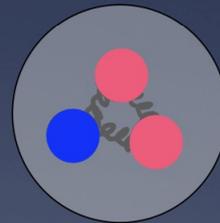
$$M^2 = (E_1 + E_2)^2 - \|\mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2\|^2 = m_1^2 + m_2^2 + 2(E_1 E_2 - \mathbf{p}_1 \cdot \mathbf{p}_2)$$

# 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!