

---

# Z-Path Data Analysis with HYPATIA

Sandra Leone

Masterclass, Pisa

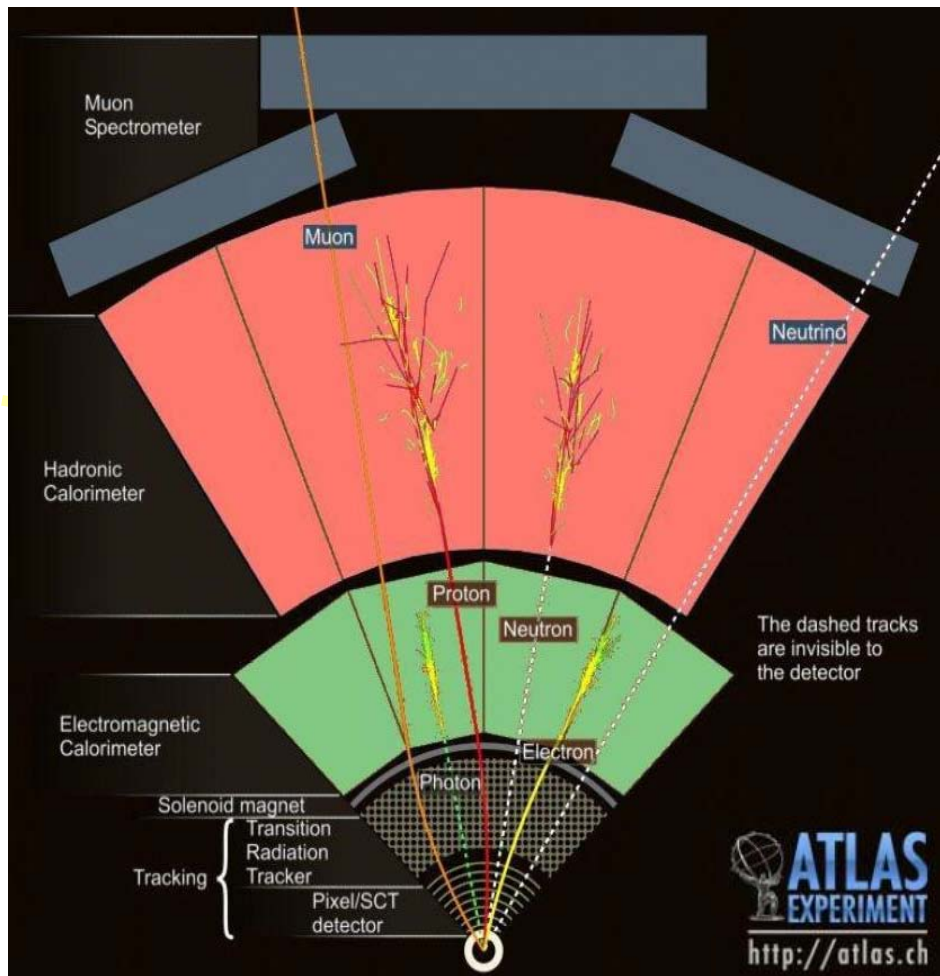
25 Febbraio & 1 Marzo 2016

# Sommario

---

- HYPATIA Event Display
- Identificazione delle particelle in ATLAS
- Classificazione degli eventi (“particelle prodotte in una collisione”)
- Analisi dei dati
- Discussione dei risultati

# Le diverse componenti del rivelatore ATLAS



I Neutrini sono identificati solo indirettamente dall'energia mancante non registrata dai calorimetri

## Tracking detector

– Misura carica e impulso di particelle cariche in campo magnetico (solenoidale)

## Electromagnetic calorimeter

– Misura energia di elettroni, positroni e fotoni.

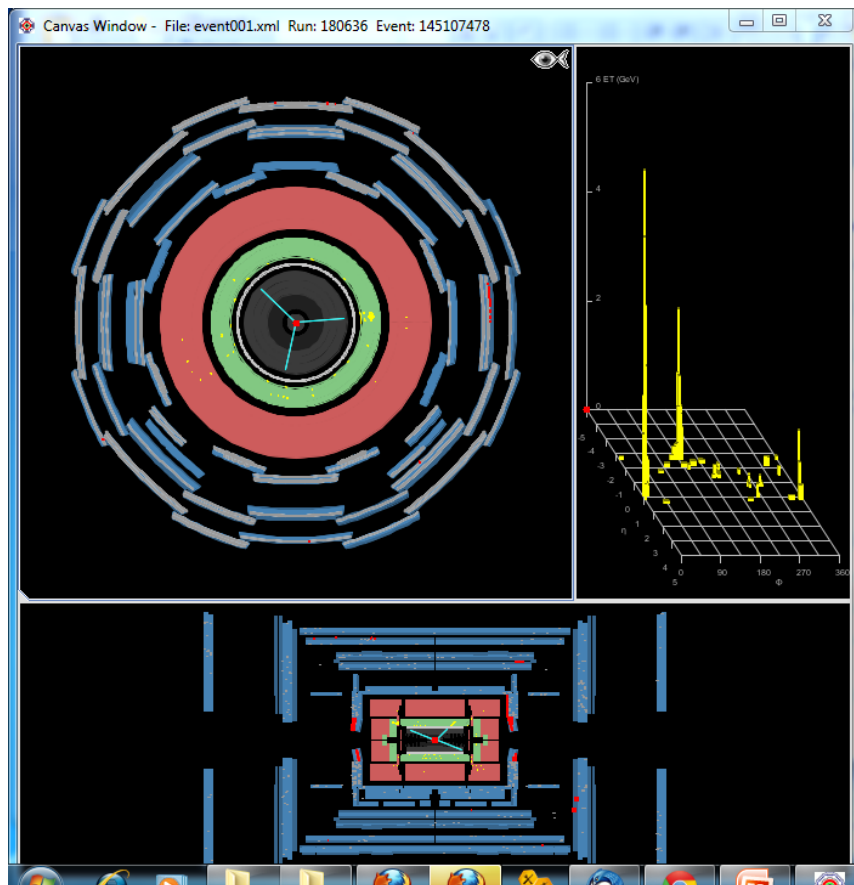
## Hadronic calorimeter

– Misura energia di adroni (particelle contenenti quarks) come protoni, neutroni, pioni ....

## Muon detector

– Misura carica e impulso di muoni e anti-muoni in campo magnetico

# HYPATIA Event Display



HYPATIA - Track Momenta Window

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

ETMis: 6.487 GeV  $\phi$ : 1.784 rad Collection: MET\_RefFinal

gazione\Masterclass\MC2013\Dataset3\groupA.zip\event001.xml

| Track    | +/- | P [GeV] | Pt [GeV] | $\phi$ | $\theta$ |
|----------|-----|---------|----------|--------|----------|
| Tracks 1 | +   | 42.85   | 29.94    | 0.105  | 0.774    |
| Tracks 4 | +   | 15.80   | 5.89     | -1.755 | 0.382    |
| Tracks 5 | -   | 31.32   | 12.07    | 2.361  | 2.746    |

HYPATIA - Control Window

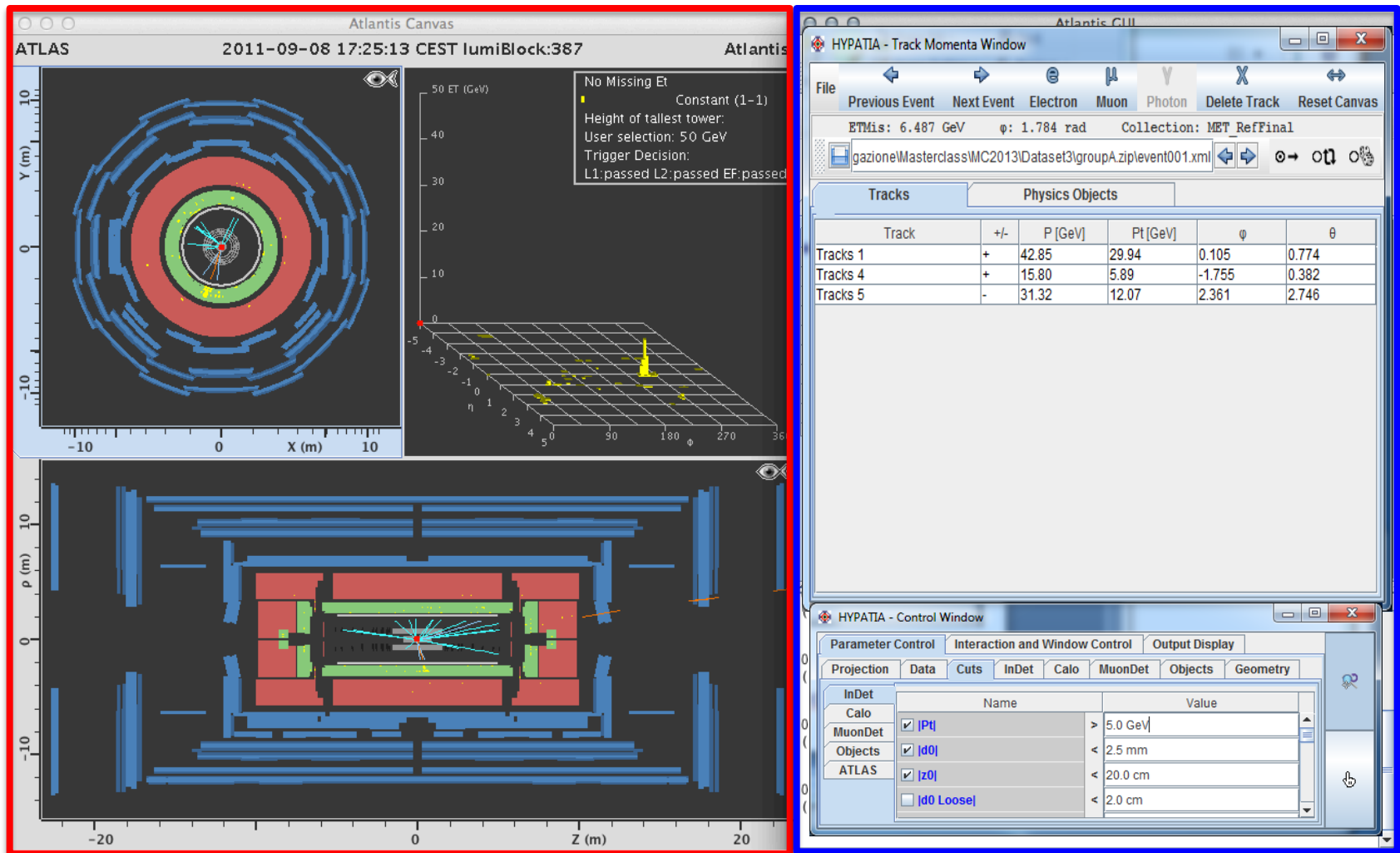
Parameter Control Interaction and Window Control Output Display

Projection Data Cuts InDet Calo MuonDet Objects Geometry

| Category | Name                                    | Value     |
|----------|---|-----------|
| InDet    |   |           |
| Calo     |   |           |
| MuonDet  | <input checked="" type="checkbox"/>  Pt | > 5.0 GeV |
| Objects  | <input checked="" type="checkbox"/>  d0 | < 2.5 mm  |
| ATLAS    | <input checked="" type="checkbox"/>  z0 | < 20.0 cm |
|          | <input type="checkbox"/>  d0 Loose      | < 2.0 cm  |

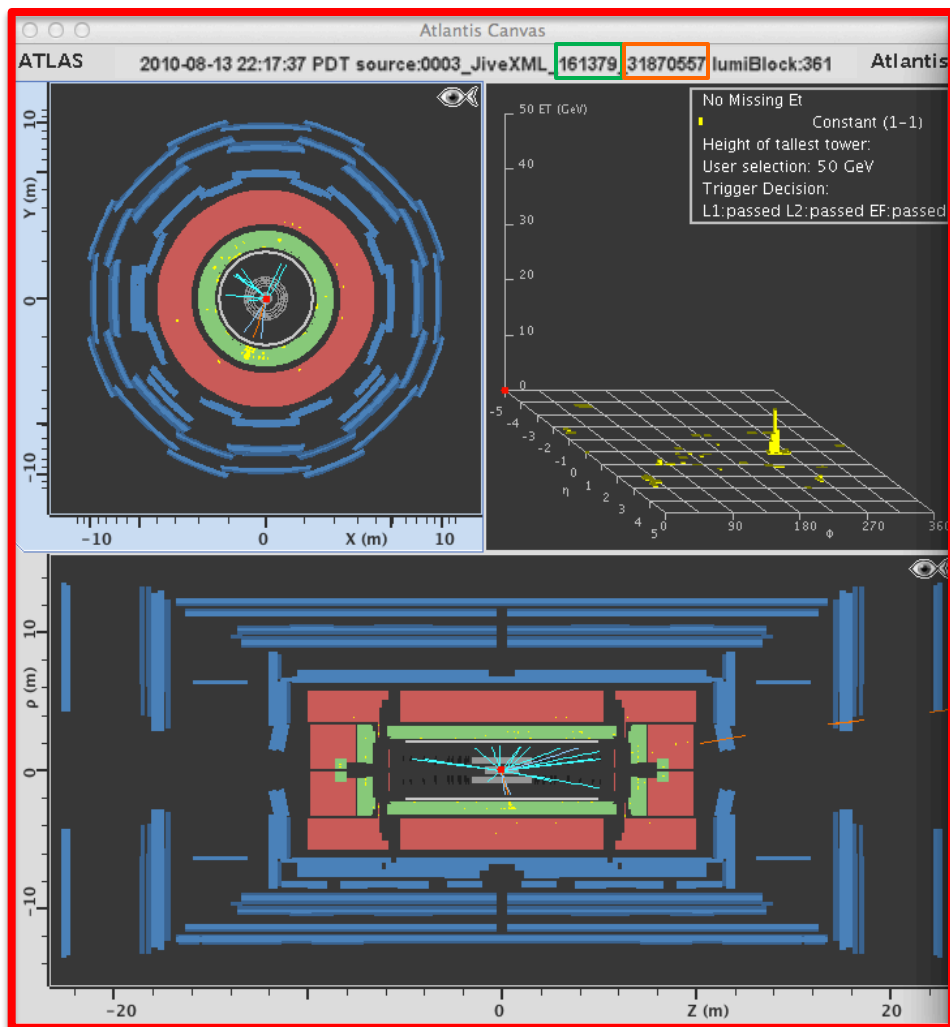
L' Event Display – quello che vedrete voi per identificare particelle e eventi

# HYPATIA Event Display



ATLANTIS Canvas Window (in cornice **rossa** )  
and ATLANTIS GUI Window (in cornice **blu** )

# HYPATIA Event Display – ATLANTIS Canvas

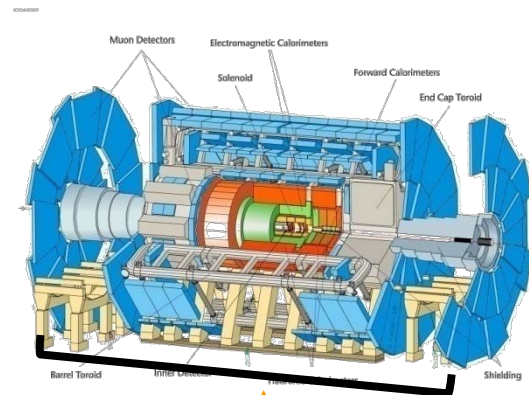
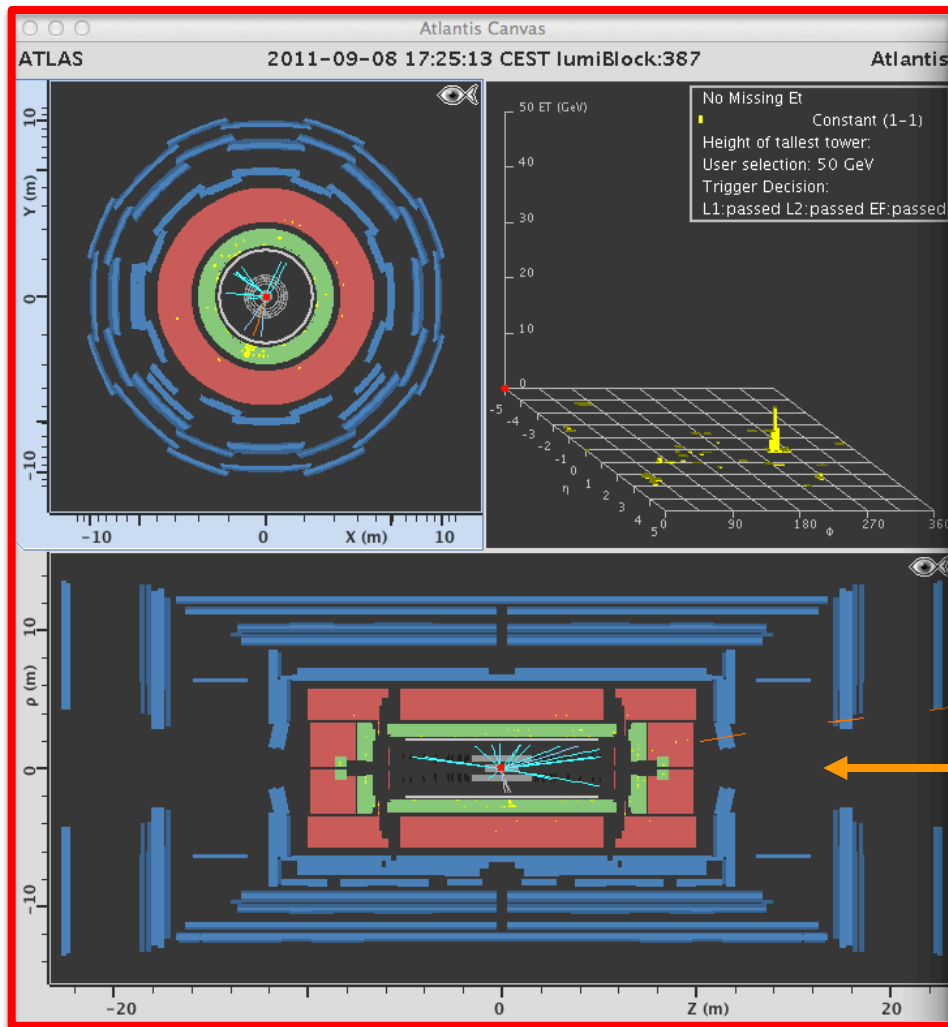


ATLANTIS Canvas mostra gli eventi come vengono visti in ATLAS, e fornisce molti tipi di visualizzazione

Usa tutte le visualizzazioni per ottenere l'informazione completa di quali particelle sono nel rivelatore

Ci da` anche Run Number ed Event Number dell'evento in ATLAS (classificazione degli eventi)

# HYPATIA Event Display – ATLANTIS Canvas

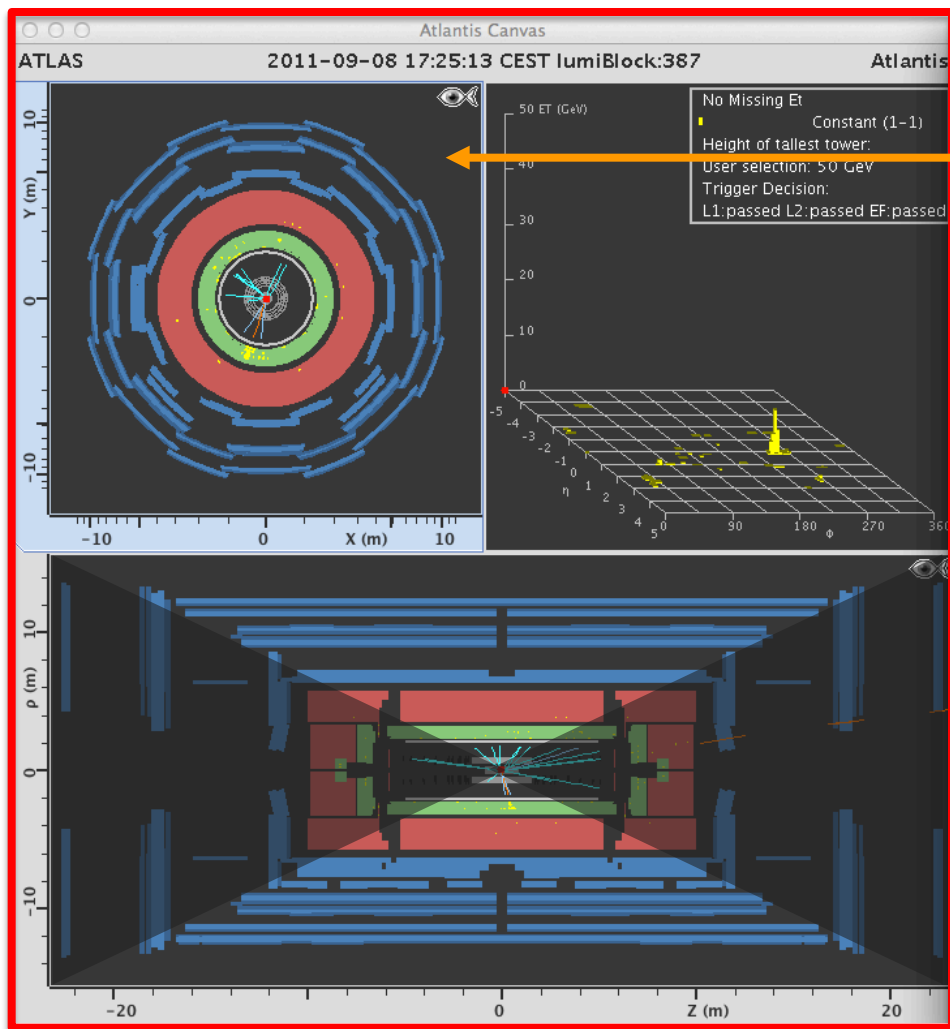


In basso

Visione laterale del rivelatore (proiezione  $R$ - $z$ )

- Ci mostra le particelle in tutte le le regioni del rivelatore ATLAS

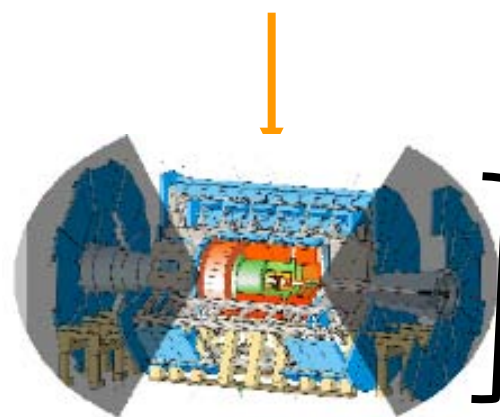
# HYPATIA Event Display – ATLANTIS Canvas



In alto a sinistra

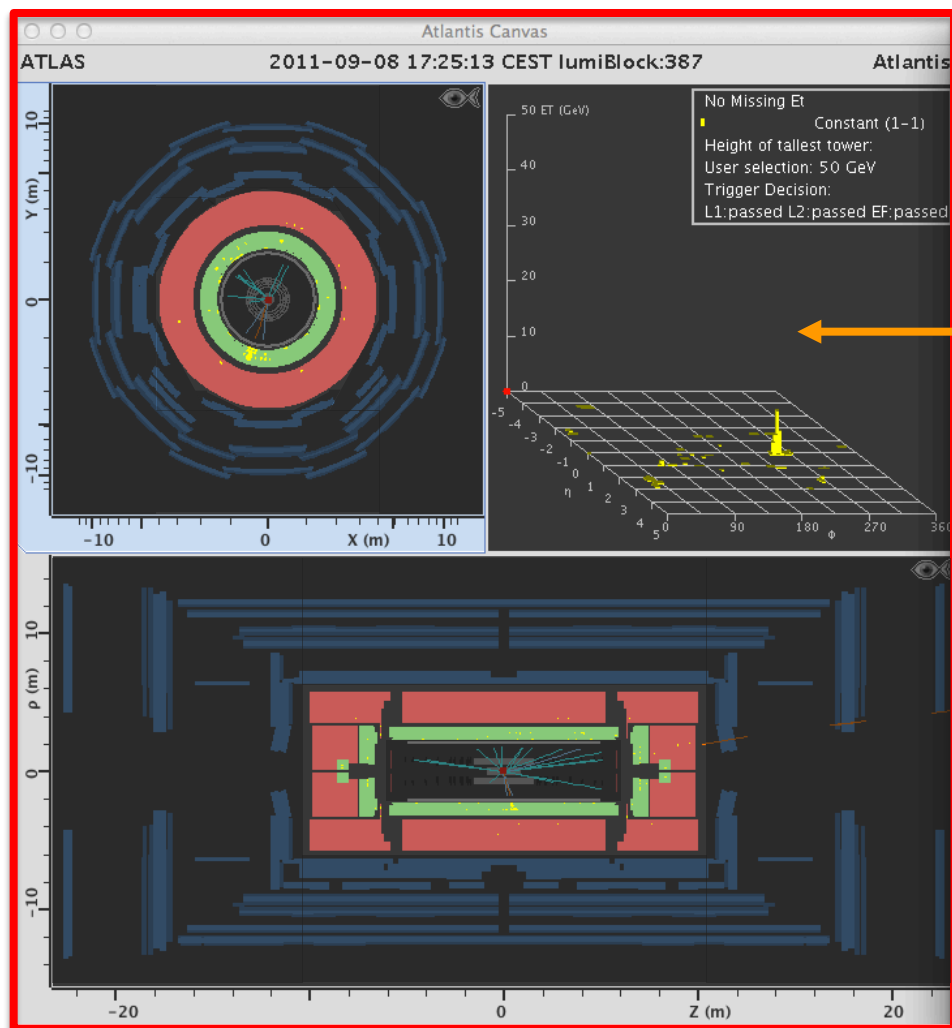
Visione trasversa (rispetto ai fasci) del rivelatore (proiezione x-y)

Attenzione solo le particelle ricostruite nella regione centrale sono visibili





# HYPATIA Event Display – ATLANTIS Canvas

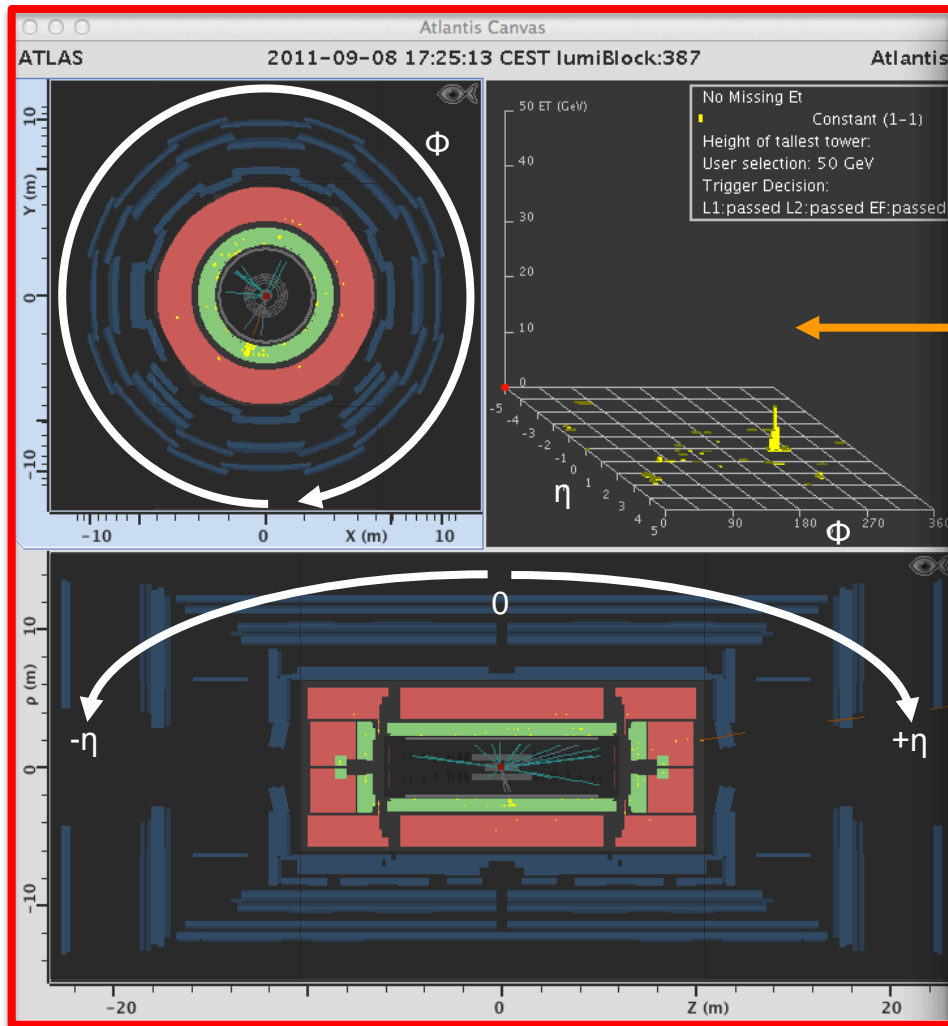


In alto a destra

Lego plot (e' come se i calorimetri fossero 'srotolati')

Mostra l'entita` dei depositi di energia visti da tutte le regioni dei calorimetri elettromagnetico ed adronico in eta ( $\eta$ ) e phi ( $\Phi$ )

# HYPATIA Event Display – ATLANTIS Canvas

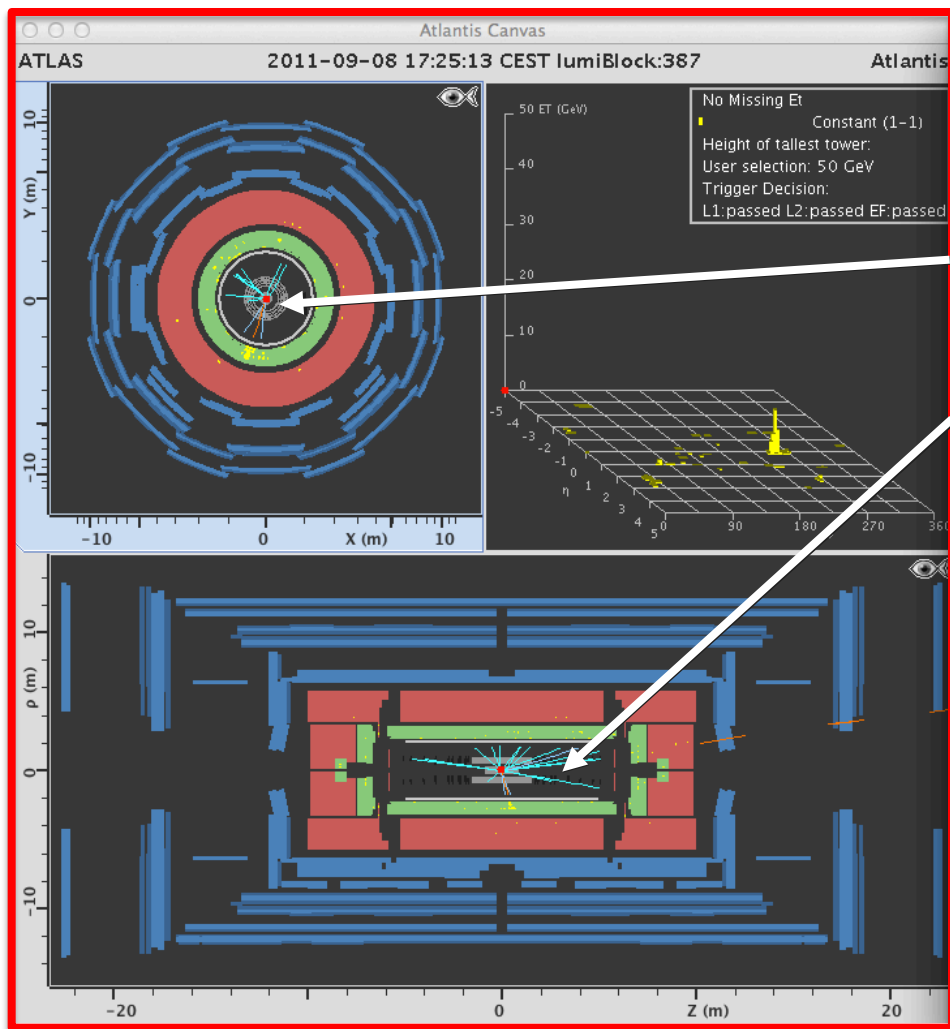


In alto a destra

Lego plot (e' come se i calorimetri fossero 'srotolati')

Mostra l'entita` dei depositi di energia visti da tutte le regioni dei calorimetri elettromagnetico ed adronico in eta ( $\eta$ ) e phi ( $\Phi$ )

# HYPATIA Event Display – ATLANTIS Canvas



Possiamo individuare tutti i singoli rivelatori:

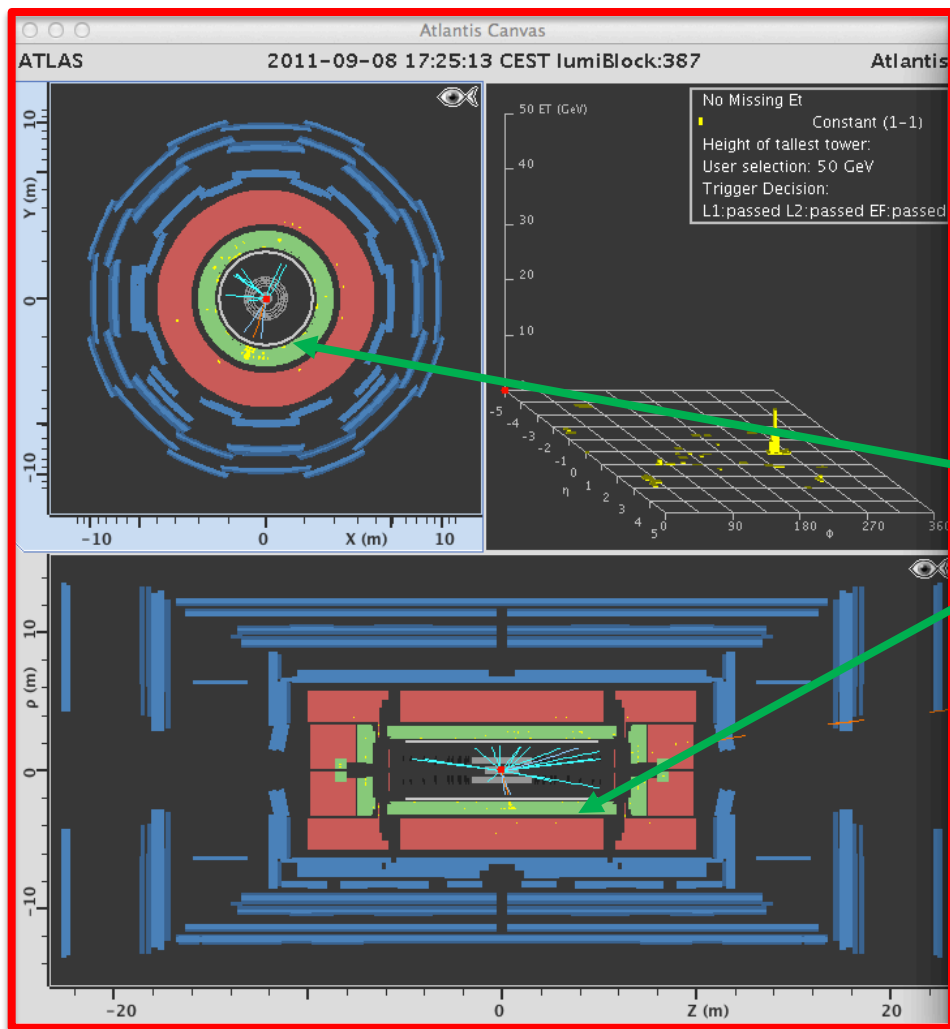
Tracking detector

Electromagnetic calorimeter

Hadronic calorimeter

Muon detectors

# HYPATIA Event Display – ATLANTIS Canvas



Possiamo individuare tutti i singoli rivelatori:

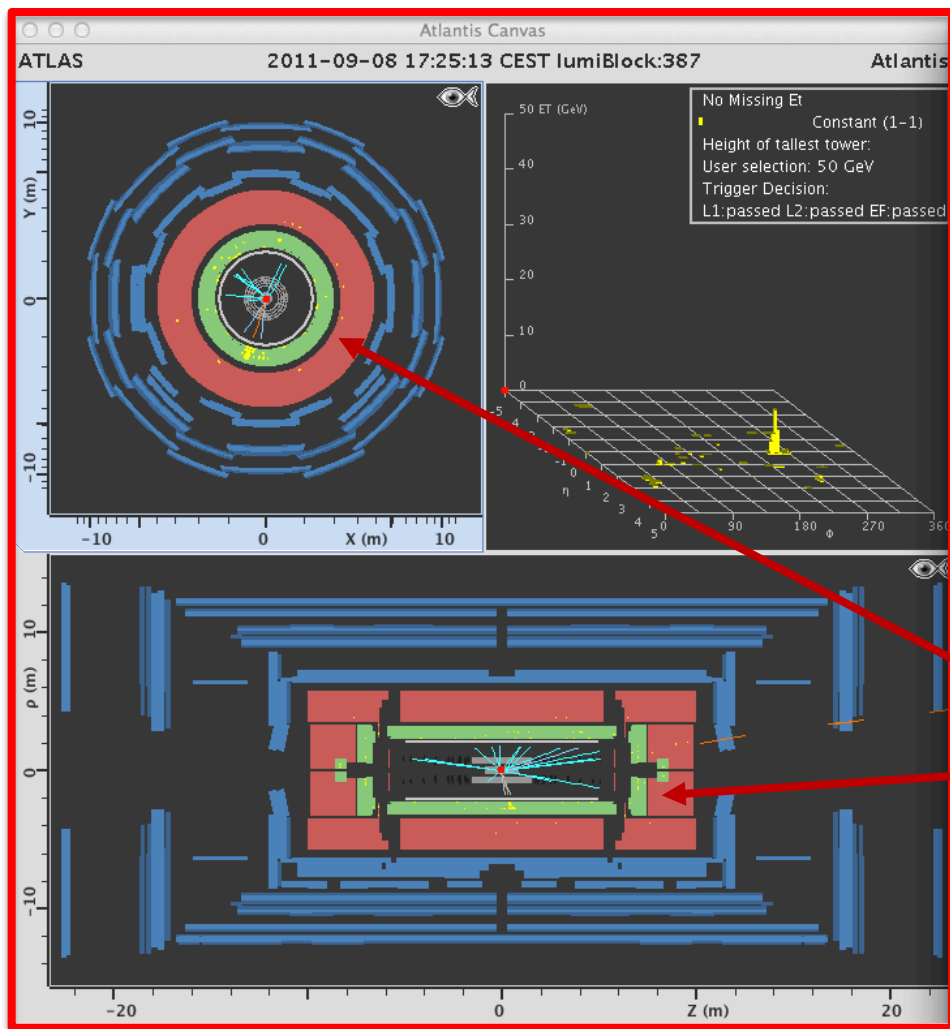
Tracking detector

Electromagnetic calorimeter

Hadronic calorimeter

Muon detectors

# HYPATIA Event Display – ATLANTIS Canvas



Possiamo individuare tutti i singoli rivelatori:

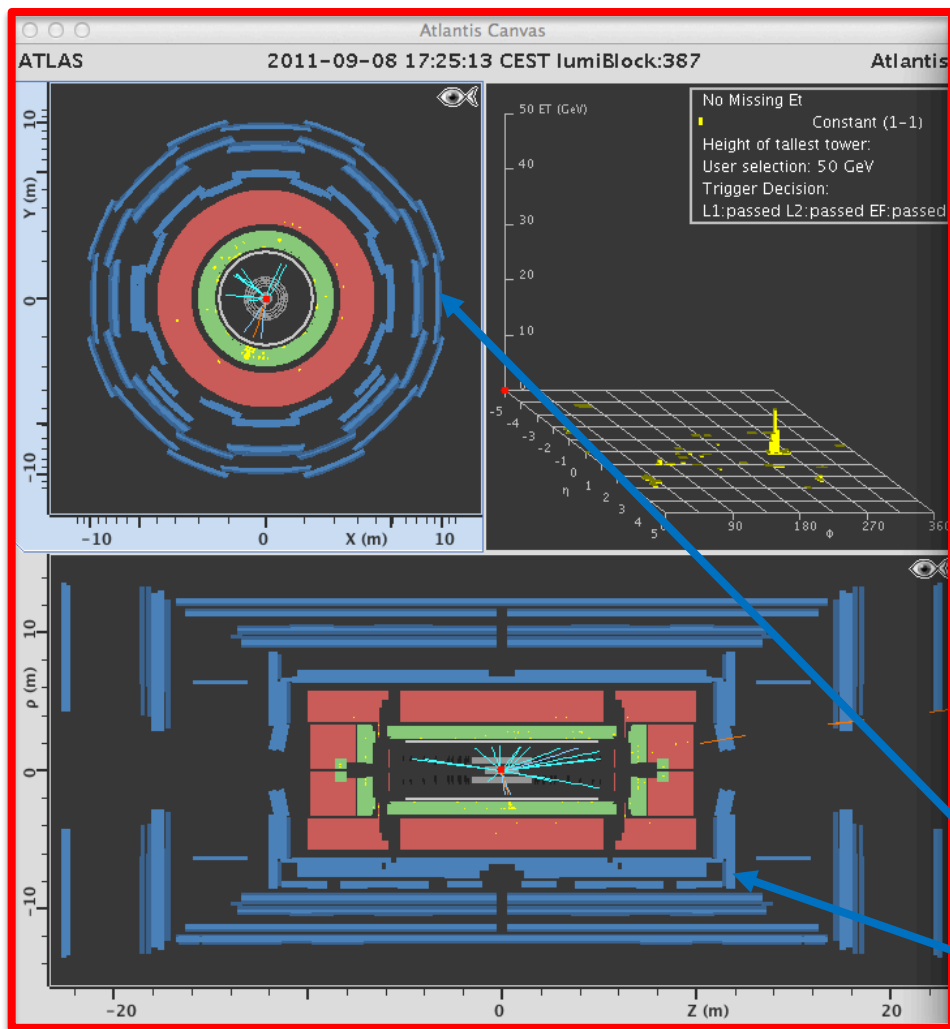
Tracking detector

Electromagnetic calorimeter

Hadronic calorimeter

Muon detectors

# HYPATIA Event Display – ATLANTIS Canvas



Possiamo individuare tutti i singoli rivelatori:

Tracking detector

Electromagnetic calorimeter

Hadronic calorimeter

Muon detectors

# Start

---

Aprire 'This PC'

Selezionare disco 'share'

Selezionare 'leone infn'

Selezionare 'distribuzione'

Selezionare 'ATLAS'

Selezionare 'esercizio'

Doppio click su Hypatia\_7.4\_Masterclass Executable Jar File

# HYPATIA Event Display – ATLANTIS GUI

ATLANTIS GUI (cornice **blu**) permette di cambiare l'aspetto dell'evento e di ottenere informazioni sulle tracce e i depositi di energia nel calorimetro.

Si selezionano i file di input e gli eventi

Menu di selezione

Finestra di output (in basso a destra) per visualizzare altre informazioni e effettuare tagli

The image displays two windows from the HYPATIA GUI. The top window, titled 'HYPATIA - Track Momenta Window', shows event parameters and a table of track momenta. The bottom window, titled 'HYPATIA - Control Window', shows a control panel for various detector components and their parameters.

**HYPATIA - Track Momenta Window**

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

ETMis: 6.487 GeV  $\phi$ : 1.784 rad Collection: MET\_Reffinal

gazione\Masterclass\MC2013\Dataset3\groupA.zip\event001.xml

| Track    | +/- | P [GeV] | Pt [GeV] | $\psi$ | $\theta$ |
|----------|-----|---------|----------|--------|----------|
| Tracks 1 | +   | 42.85   | 29.94    | 0.105  | 0.774    |
| Tracks 4 | +   | 15.80   | 5.89     | -1.755 | 0.382    |
| Tracks 5 | -   | 31.32   | 12.07    | 2.361  | 2.746    |

**HYPATIA - Control Window**

Parameter Control Interaction and Window Control Output Display

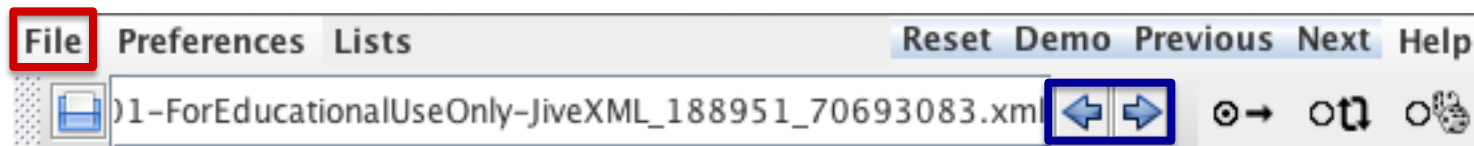
Projection Data Cuts InDet Calo MuonDet Objects Geometry

| InDet   | Name                                    | Value     |
|---------|---|-----------|
| Calo    | <input checked="" type="checkbox"/>  Pt | > 5.0 GeV |
| MuonDet | <input checked="" type="checkbox"/>  d0 | < 2.5 mm  |
| Objects | <input checked="" type="checkbox"/>  z0 | < 20.0 cm |
| ATLAS   | <input type="checkbox"/>  d0 Loose      | < 2.0 cm  |



# HYPATIA Event Display – ATLANTIS GUI

## File management

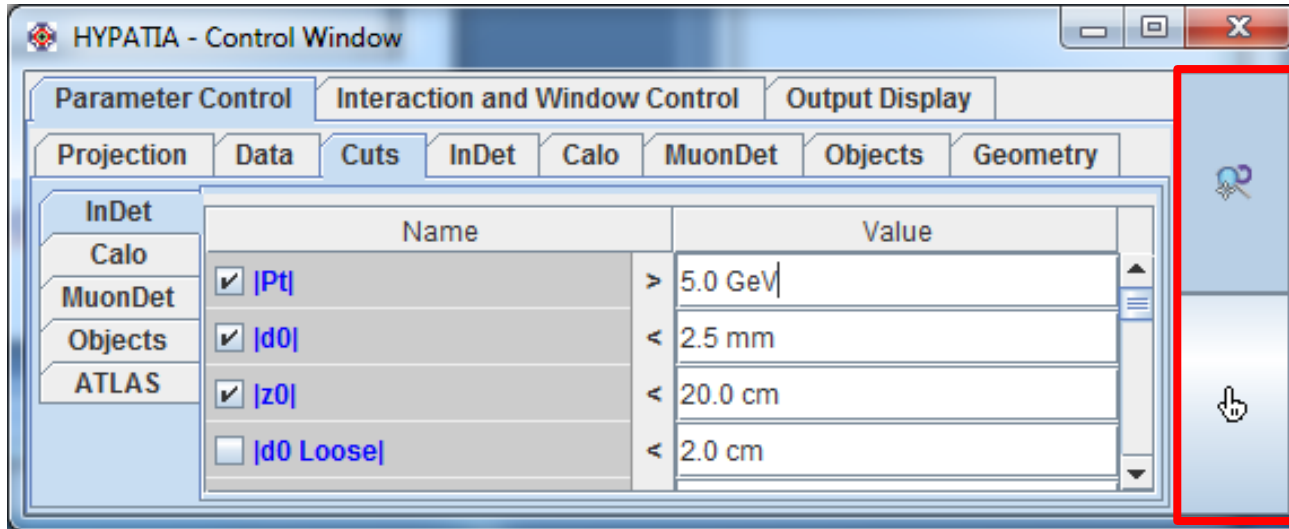


Click sul simbolo del dischetto e selezionare nel menu che compare, per caricare gli eventi, dal disco condiviso dove dovete selezionare i dati che vi sono stati assegnati (gruppo3 o gruppo4 e la lettera corrispondente)

Click sulla **freccia blu** a destra del nome del file per scorrere all'evento successivo

# HYPATIA Event Display – ATLANTIS GUI

## Settings cards



Applica criteri di selezione agli eventi

Settings di varie parti del rivelatore



Tool box

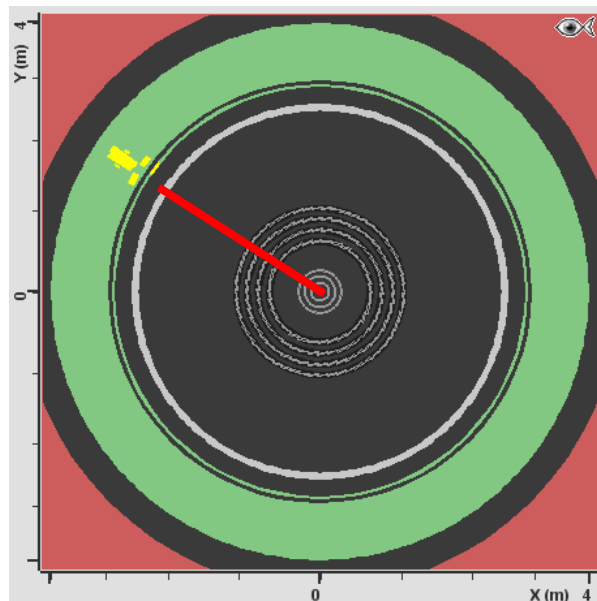


**Zoom/Move/Rotate Views**



**Show info for picked item**

# Identificazione di particelle – Elettroni / Positroni



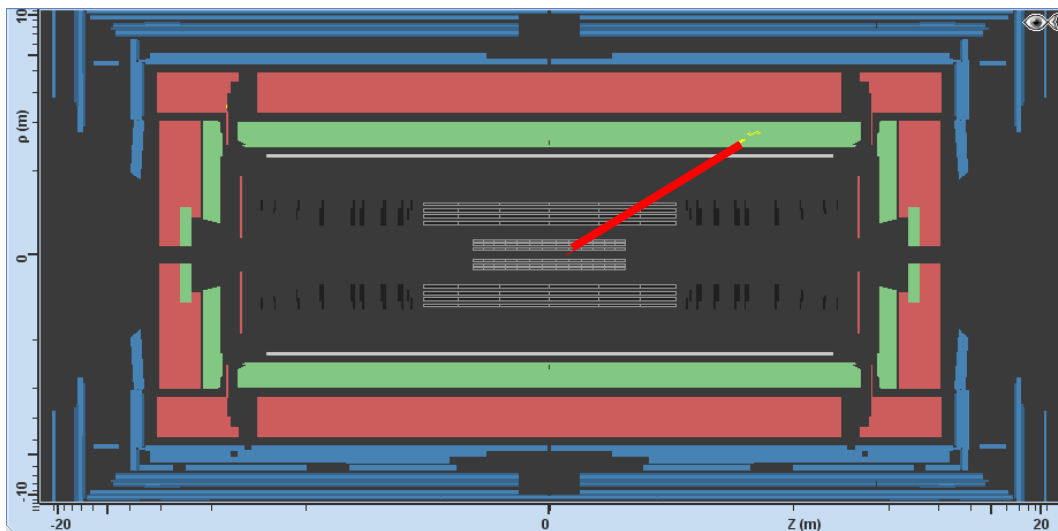
Traccia nel rivelatore interno

Molta attivita` (segnali gialli) nel calorimetro elettromagnetico (tutta l'energia viene depositata la`)

Ricorda di selezionare la traccia candidato-elettrone e trovare il suo impulso e la sua carica

Charge = -1 = elettrone

Charge = 1 = positrone



# Identificazione di particelle – Muoni / Antimuoni

Traccia nel rivelatore interno

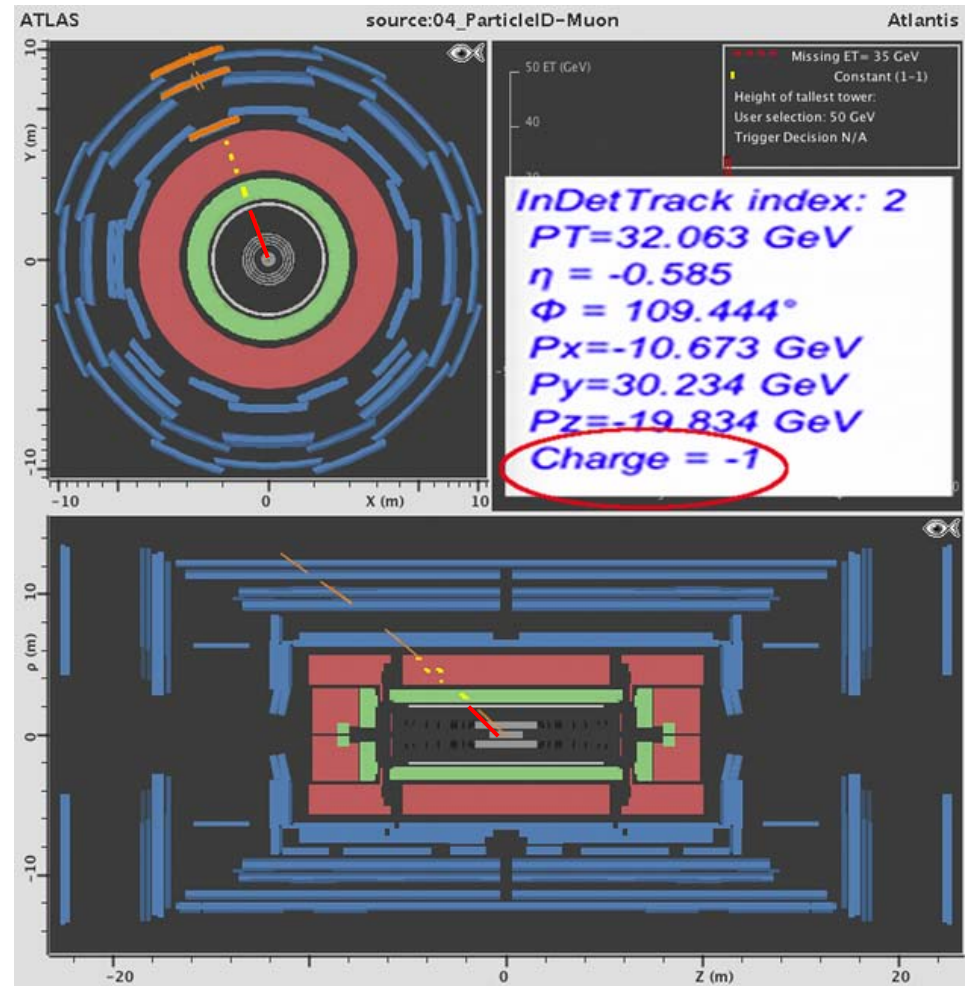
**Traccia** nel rivelatore di muoni (qualche volta il software disegna una connessione tra le due tracce, in questo esempio è una linea tratteggiata gialla)

Poca attività nei calorimetri **elettromagnetico** e **adronico** (la poca energia depositata si allinea bene con la traccia)

Ricorda di selezionare la traccia candidato-muone e trovare il suo impulso e la sua carica

Charge = -1 = muone

Charge = 1 = anti-muone



# Identificazione di particelle – Neutrino / Antineutrino

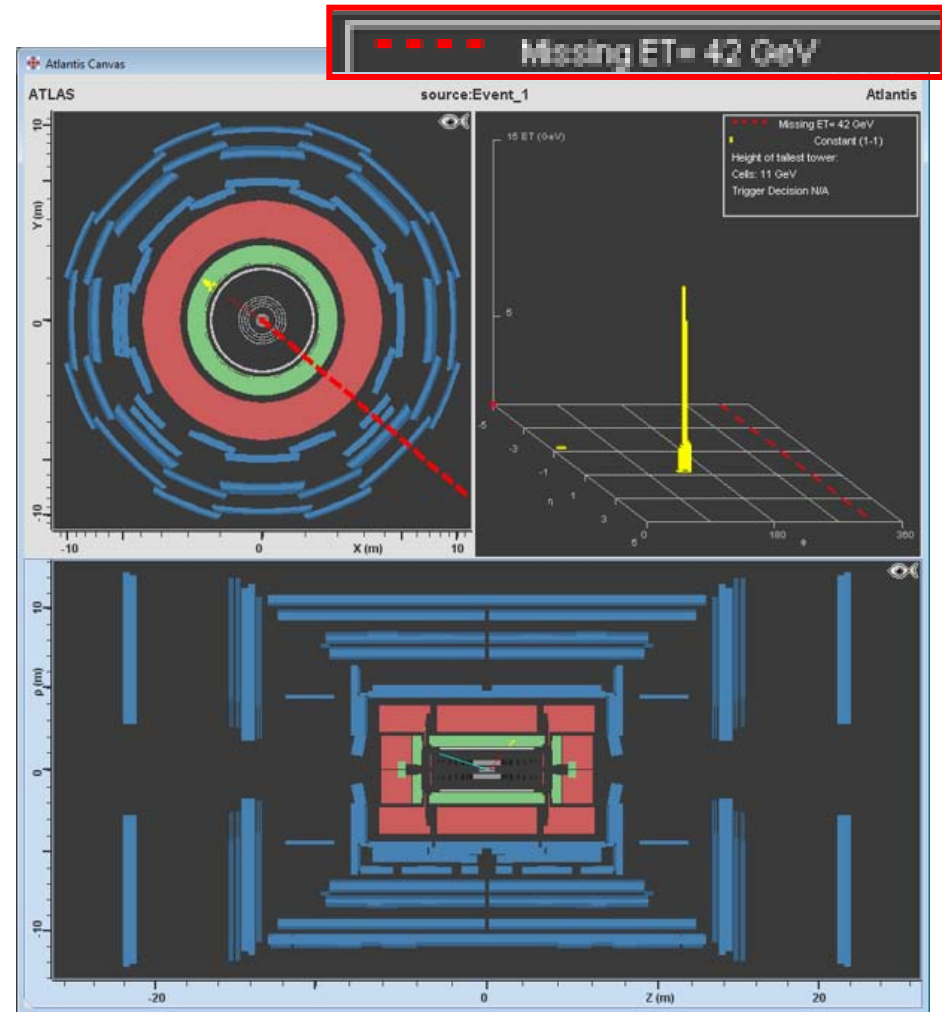
Neutrino trovato indirettamente  
dal calcolo dell'energia  
“mancante”

Indicato con una **linea rossa  
tratteggiata**

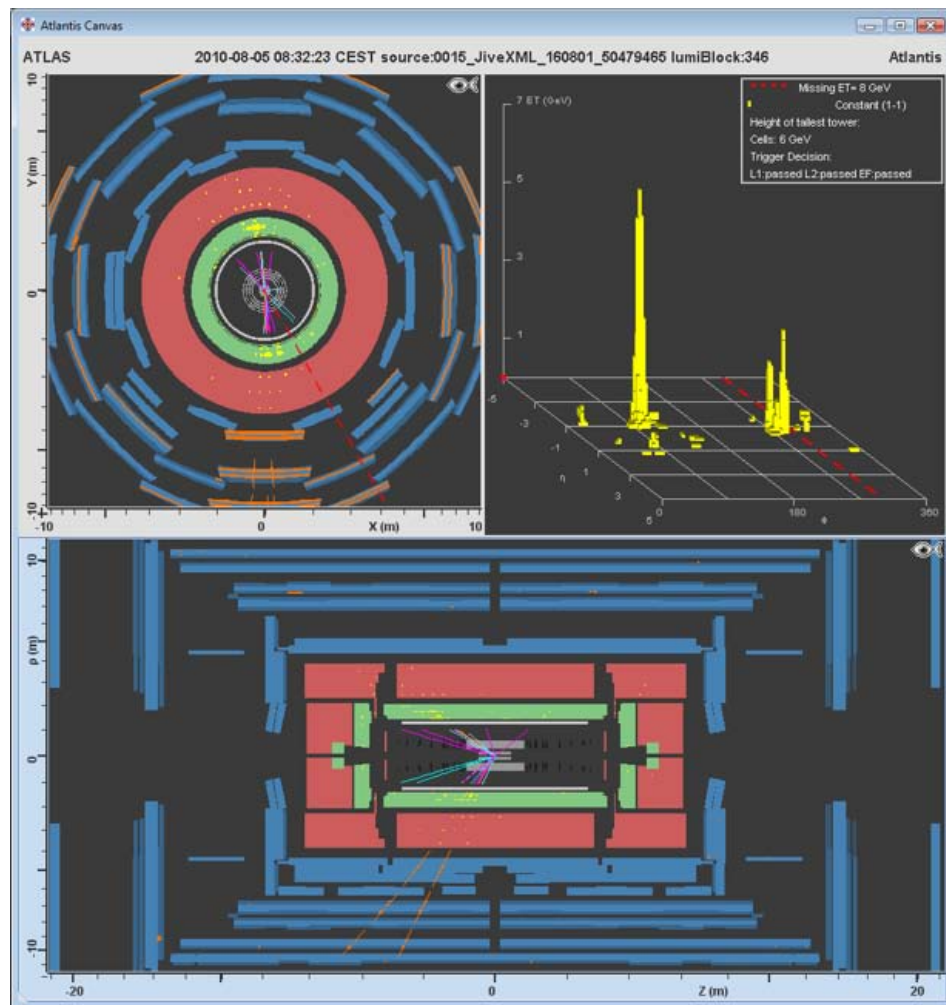
Lo spessore della linea indica la  
“grandezza” della energia  
mancante.

Il valore corrispondente alla  
energia mancante e` indicato  
esplicitamente nel **Lego Plot**

Il neutrino non ha carica



# Identificazione di particelle – Jets



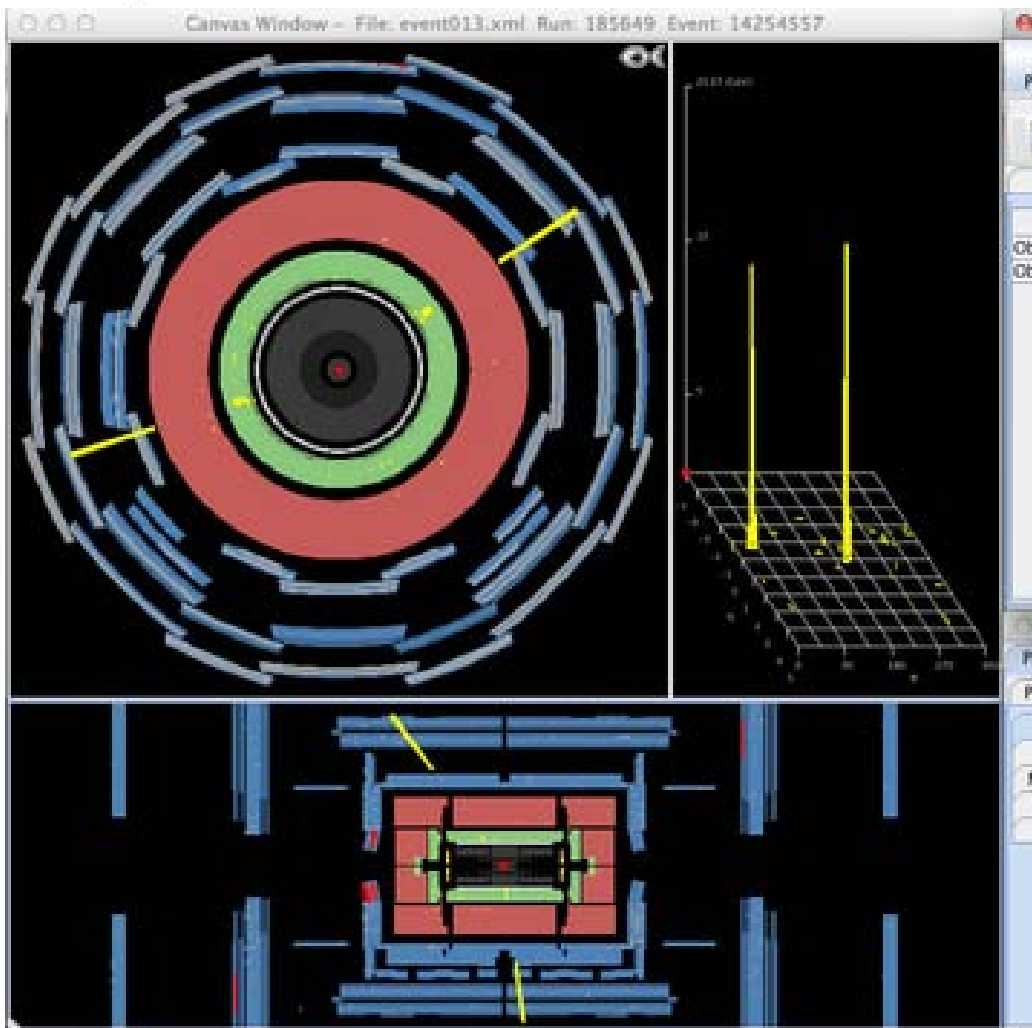
I jets sono dovuti alla produzione di sciame di adroni

Appaiono come sciame di particelle nel rivelatore di tracce (molte tracce)

Molta attività nei calorimetri sia **elettromagnetico** che **adronico**

Ci potrebbero essere anche segnali nelle camere per i **muoni** se alcune particelle riescono ad uscire attraversando tutti i calorimetri (ma questo non è molto comune)

# Identificazione di particelle – Fotone



I fotoni appaiono come depositi nel calorimetro elettromagnetico

Usiamo la funzione “**Physics Objects**” anzichè “tracks”, perchè non ci sono particelle cariche corrispondenti.

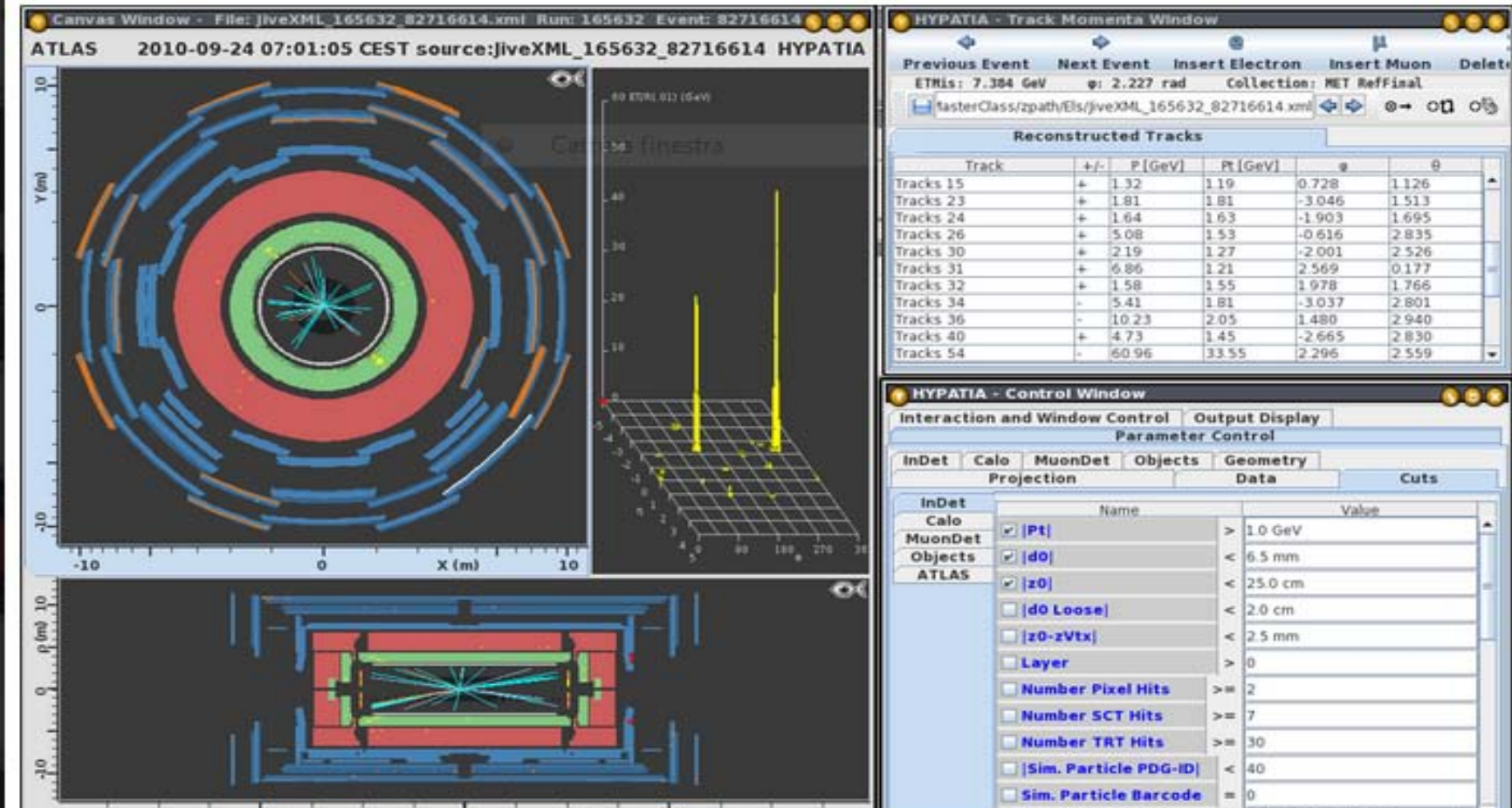
# Scopo dell'esercizio

- Identificare eventi Z nei decadimenti:
  - elettrone-positrone
  - muone-antimuone
- Identificare eventi con particelle di Higgs nei decadimenti:
  - ZZ, seguito dal decadimento degli Z in una coppia leptone-antileptone (quindi quattro particelle cariche dal decadimento di Higgs)
  - $\gamma\gamma$  (fotone fotone)
- Ricorda: il bosone Z e il bosone di Higgs sono neutri, pertanto la somma delle cariche dei loro prodotti di decadimento deve essere uguale a zero
- Identificare eventi di fondo, cioè` dovuti ad altri processi:
  - Jets
  - Decadimenti di bosoni W (una sola particella carica)



# $Z \rightarrow e^+ e^-$ (1)

## The Z boson comes into the scene

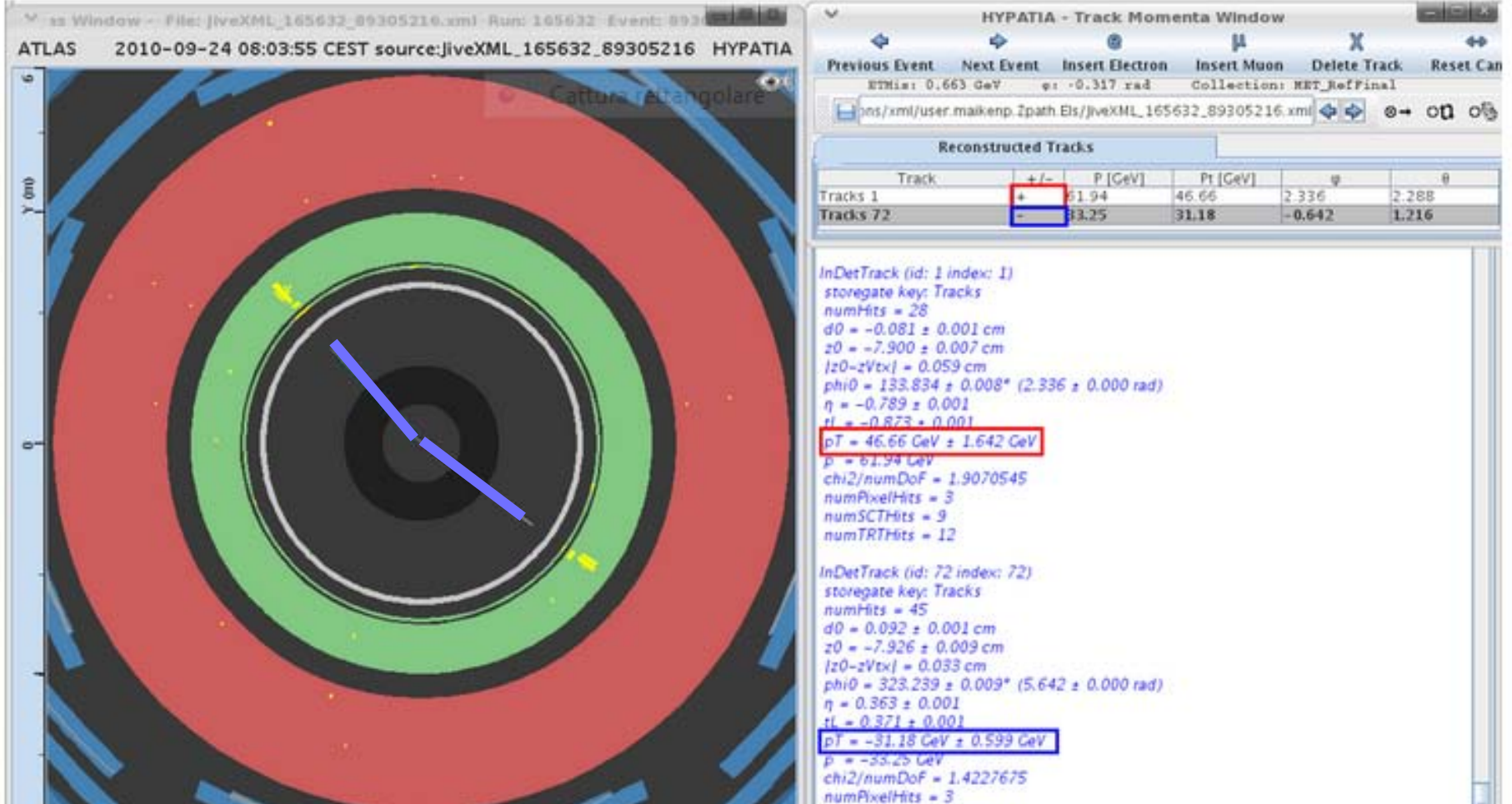


In entrambe le proiezioni vediamo diverse tracce nel sistema di tracciatura e depositi (in giallo) nel primo strato del calorimetro (la parte in verde). Questi sono segnali della presenza di elettroni.

$$Z \rightarrow e^+ e^- (2)$$

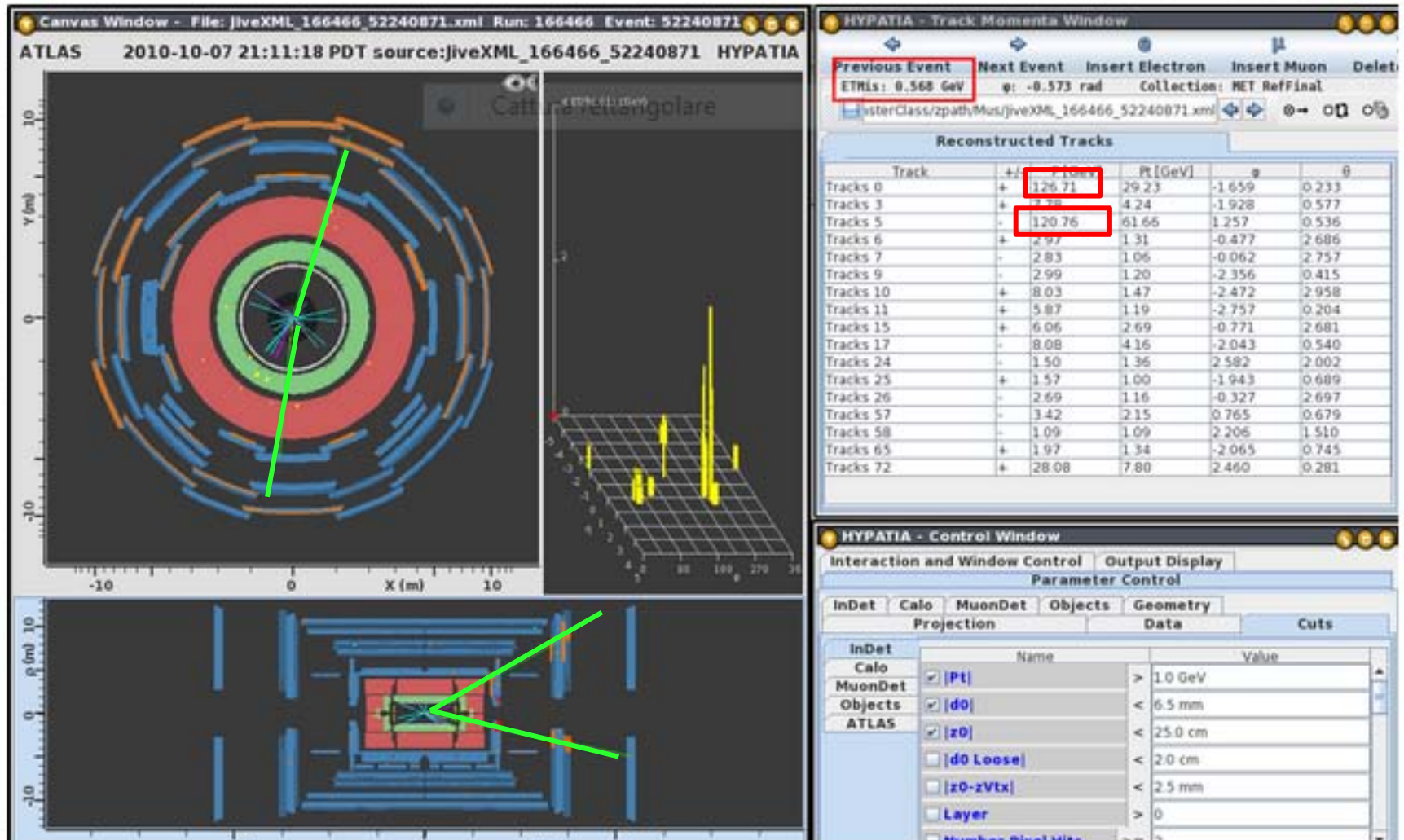
Z event enlarged end view

Applicato taglio in  $P_t > 25$  GeV



Se ingrandiamo la vista laterale abbiamo una coppia elettrone-positrone (notare la differenza di CARICA). Tipico evento  $Z \rightarrow e^+ e^-$

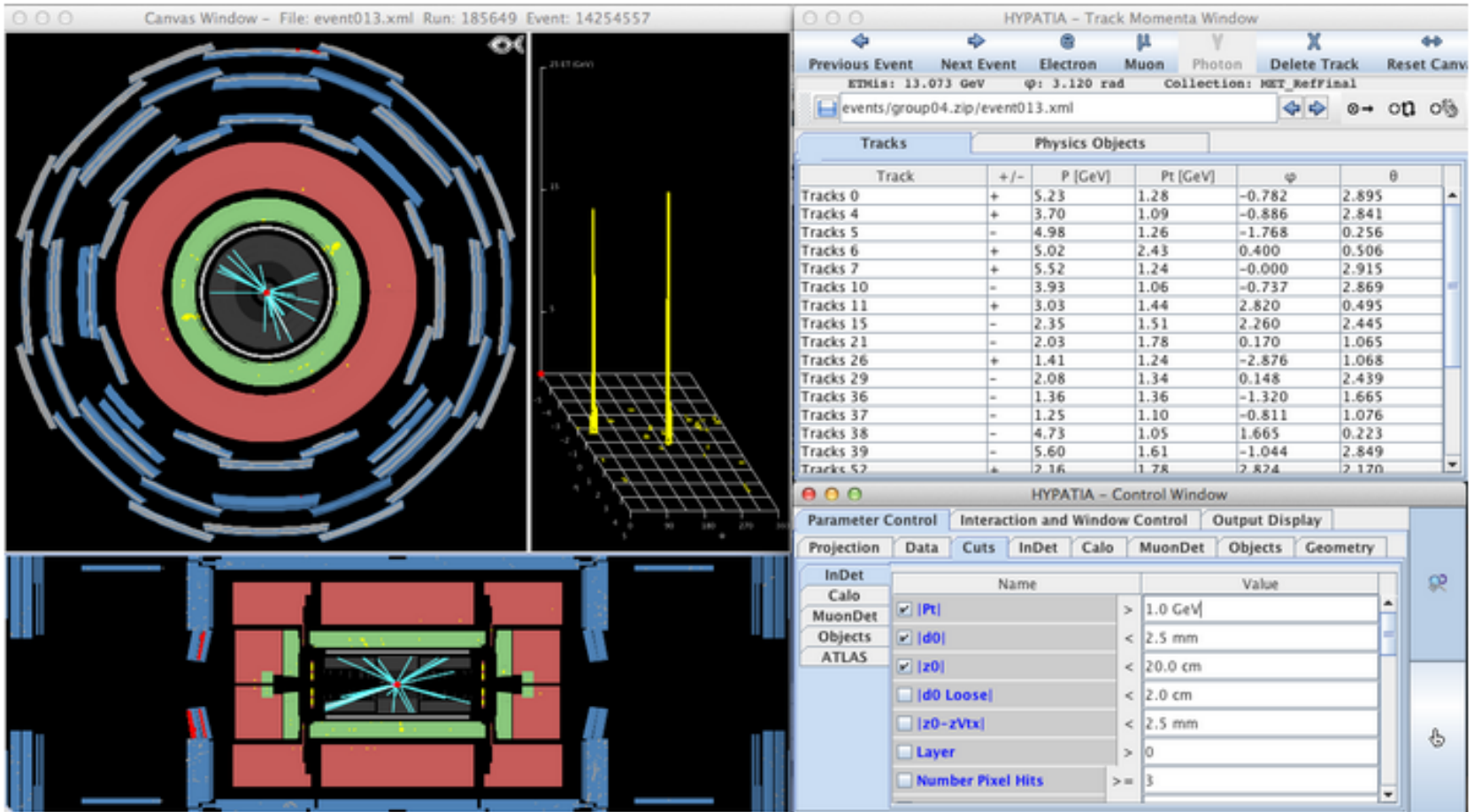
$$Z \rightarrow \mu^+ \mu^-$$



Sia nella vista laterale che longitudinale vediamo molte tracce di particelle. Cio` e` tipico del rivelatore ATLAS. Nella vista longitudinale si vedono chiaramente due muoni. L'impulso mancante e` molto piccolo: no neutrini.

# Fotoni (1)

## Two clusters



Vediamo molte tracce e rilascio di energia (o cluster, in giallo) nel calorimetro elettromagnetico (parte verde). Le due "torri" nel lego plot corrispondono ai due depositi energetici. Attenzione: NON ci sono tracce in corrispondenza dei due cluster quindi questi NON possono essere elettroni

# Fotoni (2)

After pT cut

Applicato taglio in  $P_t > 5 \text{ GeV}$

The image shows a screenshot of the HYPATIA software interface. The top-left window, titled 'Canvas Window - File: event013.xml Run: 185649 Event: 14254557', displays a top-down view of the ATLAS detector with tracks overlaid. The top-right window, 'HYPATIA - Track Momenta Window', shows the 'Physics Objects' tab with a table of track data. The bottom-right window, 'HYPATIA - Control Window', shows the 'Cuts' tab with various selection criteria.

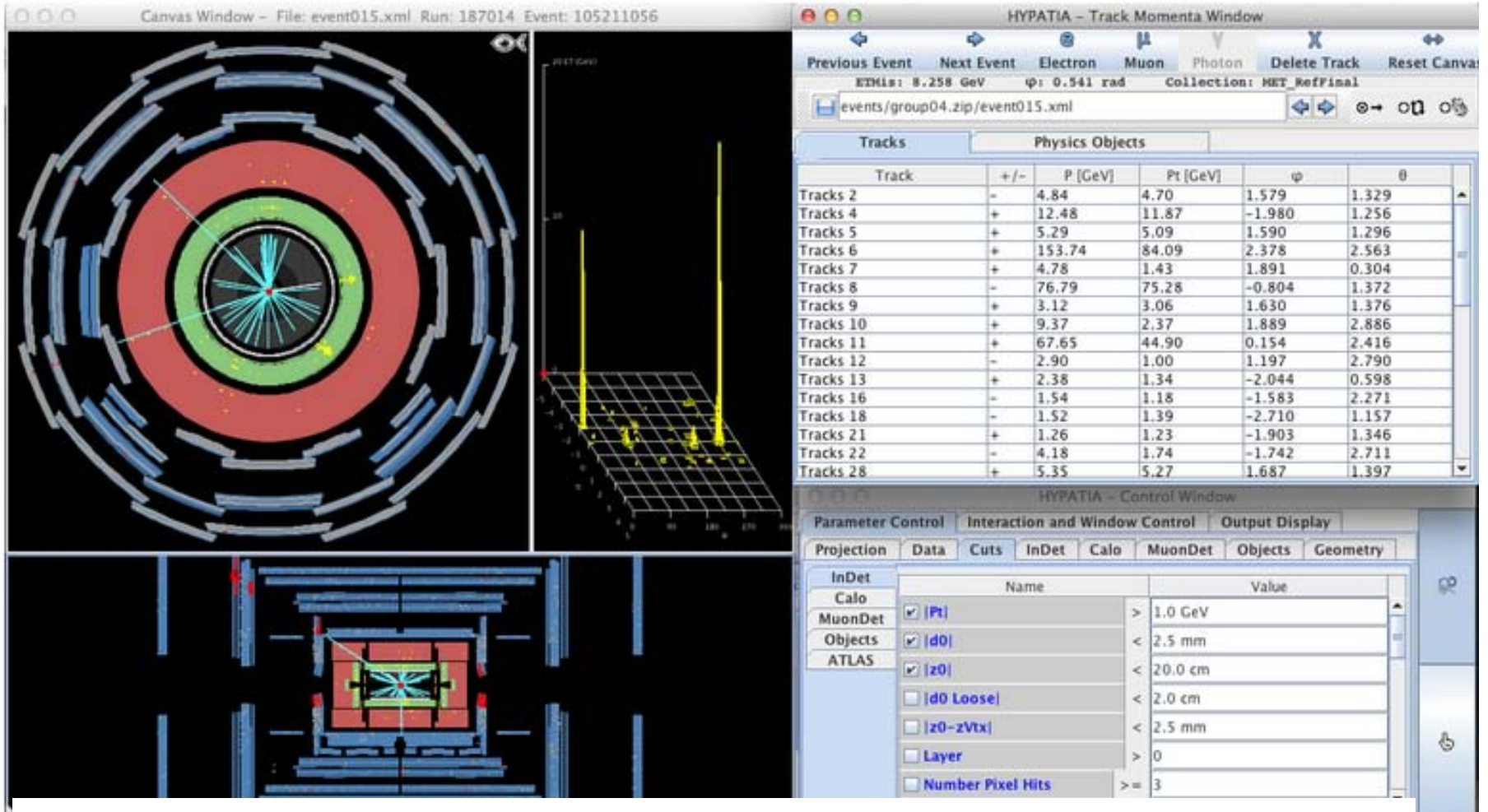
| Track    | P [GeV] | Pt [GeV] | $\phi$ | $\theta$ |
|----------|---------|----------|--------|----------|
| Object 0 | 49.03   | 48.71    | -2.834 | 1.456    |
| Object 1 | 67.27   | 54.15    | 0.588  | 2.206    |

| Category | Name                                       | Value     |
|----------|--|-----------|
| InDet    |  |           |
| Calo     | <input checked="" type="checkbox"/> Pt     | > 5.0 GeV |
| MuonDet  |  |           |
| Objects  | <input checked="" type="checkbox"/> d0     | < 2.5 mm  |
| ATLAS    | <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       |
|          | <input type="checkbox"/> Number Pixel Hits | >= 3      |

Cambiando il taglio sull'impulso ( $P_t$ ) da 1 GeV a 5 GeV tutte le tracce spariscono. Nella finestra dei momenti delle tracce passiamo dalla opzione "Track" a quella "Physics Objects". In questo caso gli oggetti nel calorimetro sono fotoni

# Quattro leptoni (1) ( $H \rightarrow ZZ \rightarrow \ell\ell\ell\ell$ )

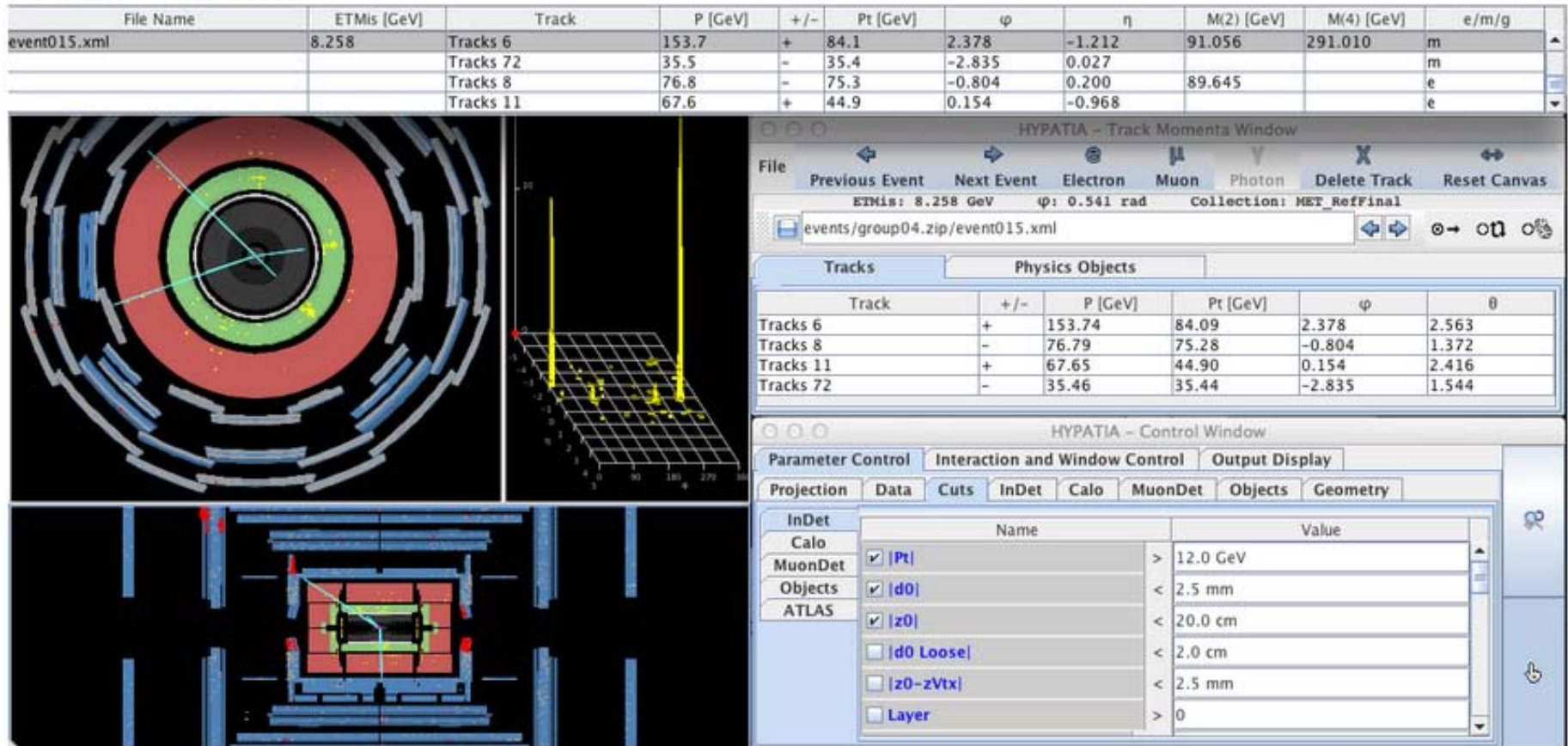
## Four leptons



Ci sono molte tracce, 2 delle quali sono muoni (guardare sempre entrambe le rappresentazioni grafiche). Ci sono anche due depositi di energia (cluster)

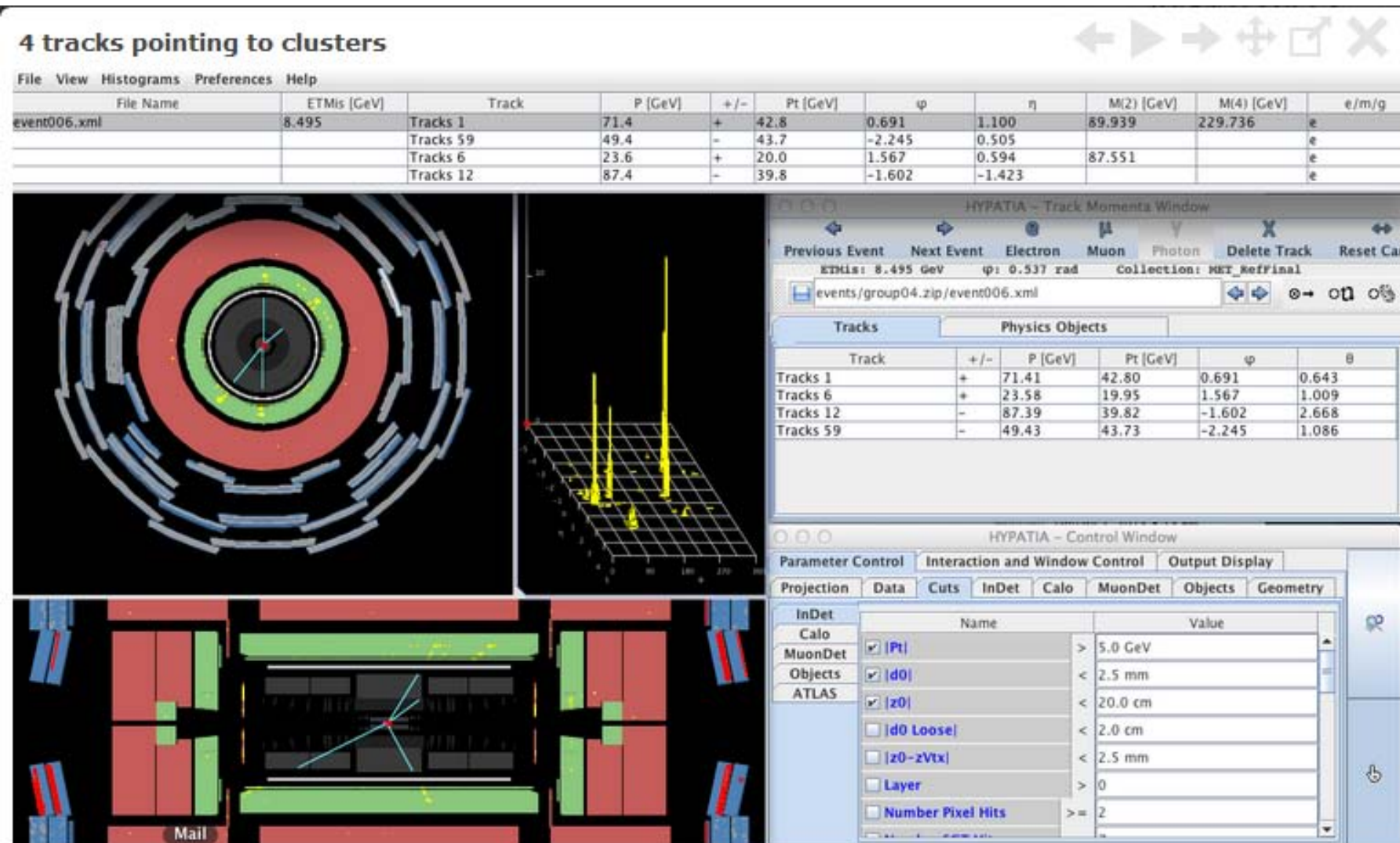
# Quattro leptoni (2) ( $H \rightarrow ZZ \rightarrow \ell\ell\ell\ell$ )

## 4 Leptons after pT cut



Se si aumenta il taglio in Pt a 12 GeV rimangono solo 4 tracce: I due muoni di carica opposta e I due elettroni di carica opposta. Ciascuna delle due coppie viene dal decadimento di uno Z. Questo è un evento ZZ che decade in 4 leptoni .

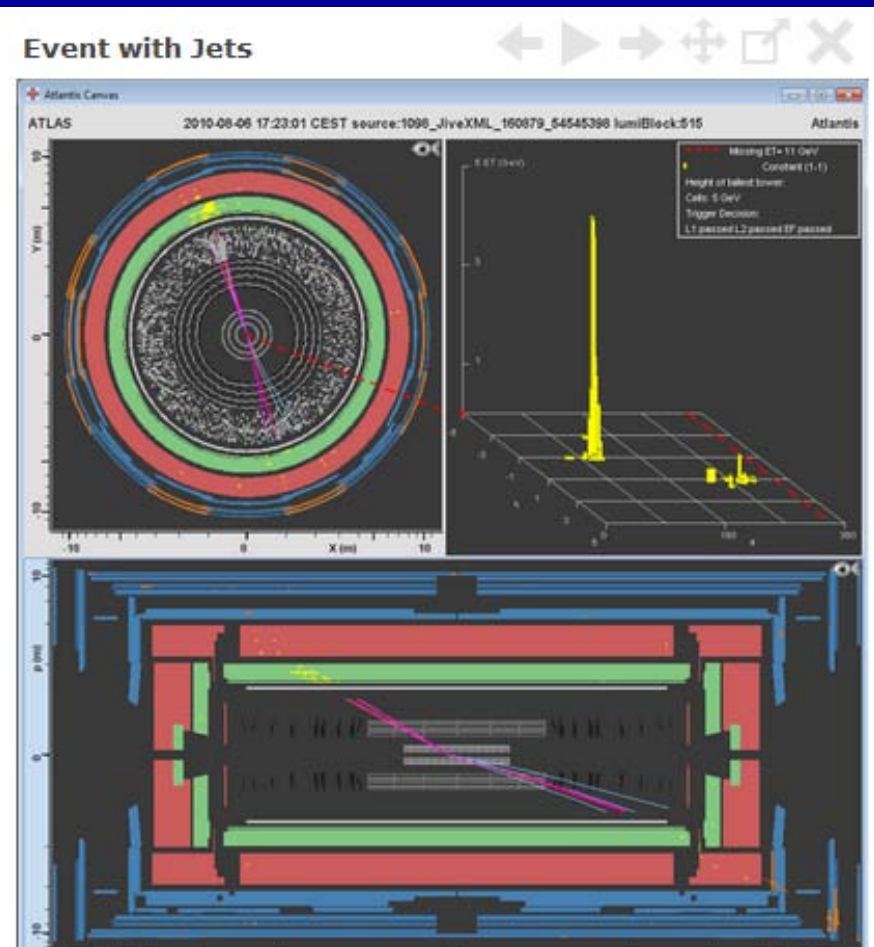
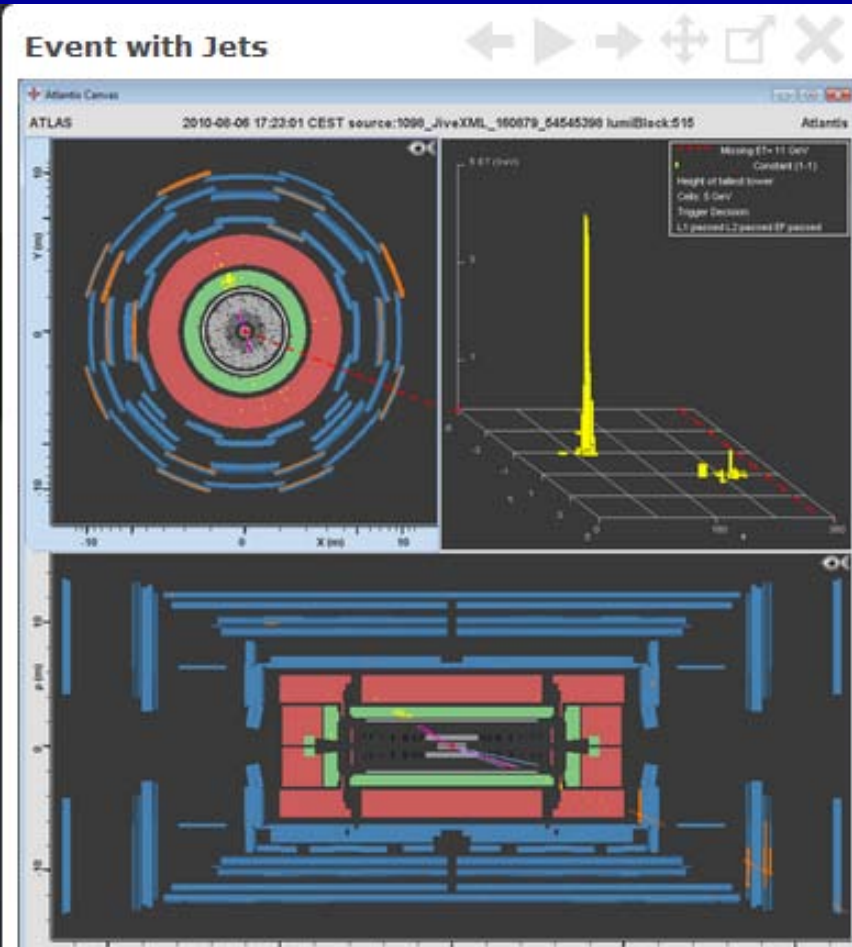
# Quattro leptoni (3) ( $H \rightarrow ZZ \rightarrow eeee$ )



In questo evento dopo un taglio a 5 GeV rimangono 4 tracce, e ogni traccia punta ad un deposito di energia nel calorimetro (cluster). Ciascuna delle coppie deriva dal decadimento di uno Z. Questo è un evento ZZ che decade in 4 elettroni



# FONDO: Jets

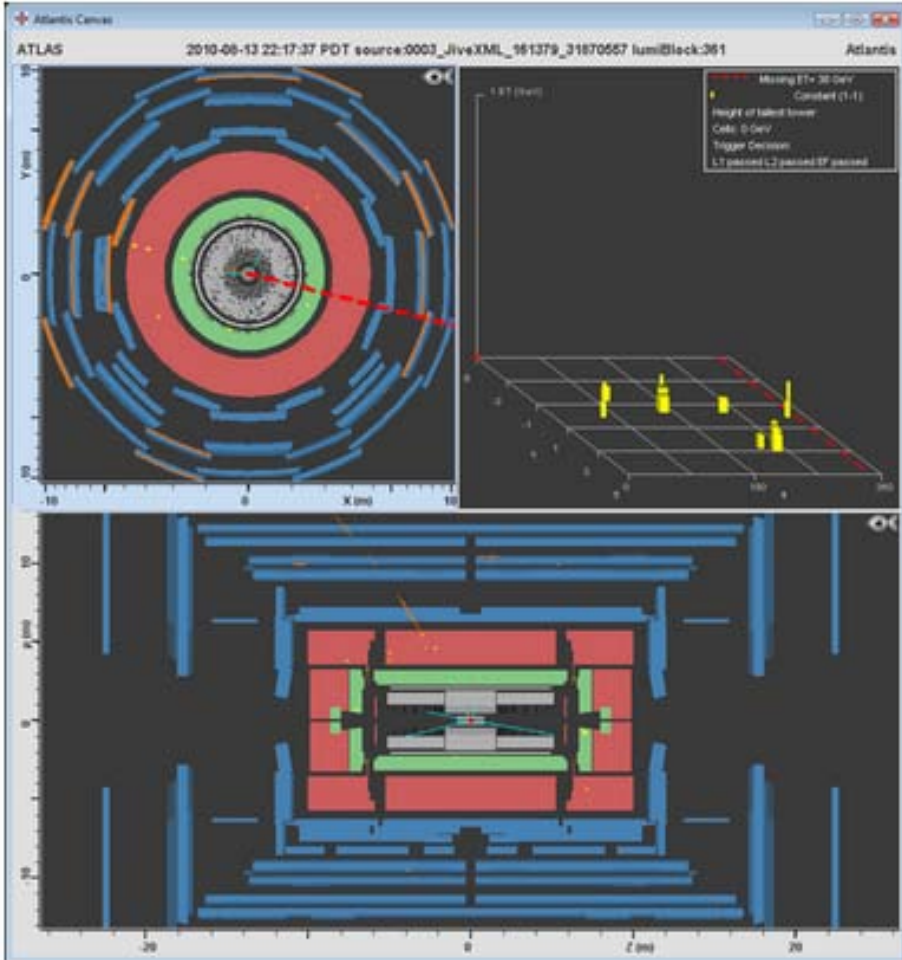


Questi eventi possono essere riconosciuti in due modi:

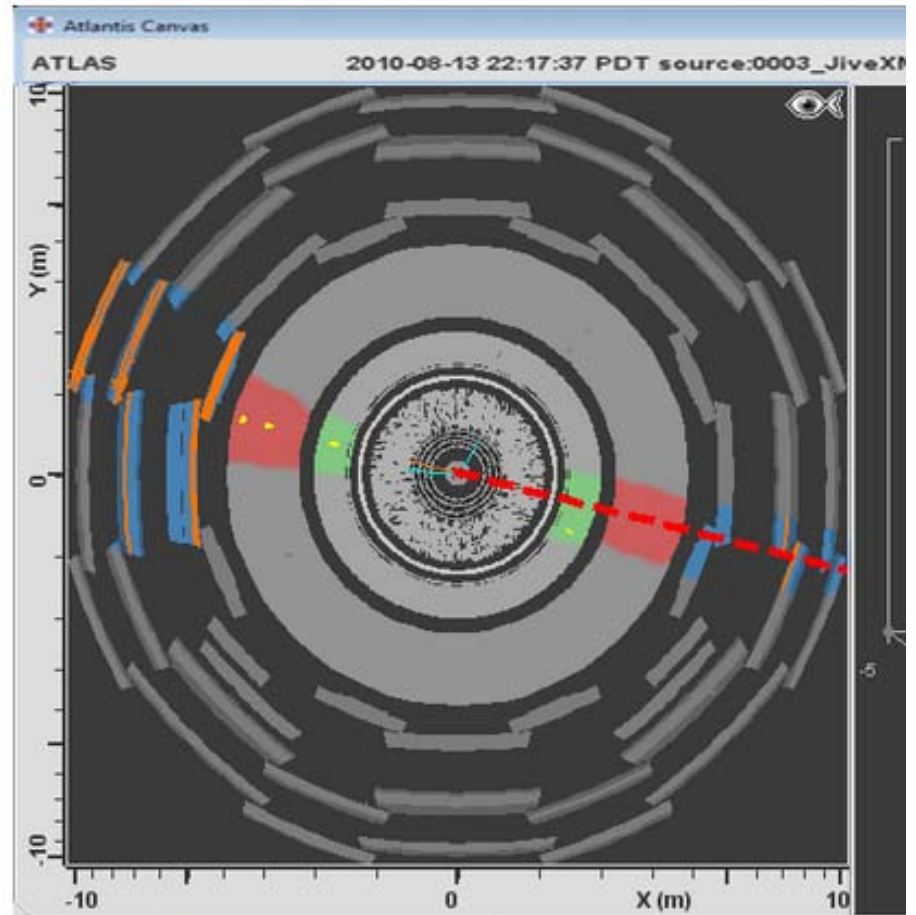
1. Puoi vedere un 'getto' di particelle in entrambe le visioni
2. il valore dell'impulso trasverso mancante e' notevolmente maggiore di zero e segnala la produzione di uno o piu' neutrini

# FONDO: W

W event seen with HYPATIA



W event in the end view



Nella visuale in sezione si vede chiaramente un muone (o un  $e$ )

In questo tipo di eventi si osserva una notevole ( $> 25$  GeV) quantità di impulso trasverso mancante e una sola traccia carica

# Cerca e trova attraverso la MASSA

- Il tuo **obiettivo principale** è quello di misurare la massa del bosone Z e di eventuali altre particelle presenti nel campione di dati. Fra queste ultime, dovrai scovare anche il bosone di Higgs.
- Le tue immagini delle collisioni (event-displays) contengono un insieme di eventi con
  - bosoni Z (ed altre particelle) che decadono in coppie elettrone-positrone e muone-antimuone,
  - candidati Higgs in coppie fotone-fotone,
  - candidati Higgs in 4 leptoni,
  - ma anche tipologie completamente diverse di prodotti di collisioni che abbiamo definito eventi di fondo - come getti (fiotti di particelle) originati da quark e gluoni, e bosoni W.

## **Come sono stati divisi I dati**

- Ogni campione di 1000 eventi e` stato separato in 20 sub-campioni con nomi che vanno da A a T, ognuno contenente 50 eventi

## **Di cosa abbiamo bisogno**

- Il programma HYPATIA (Event display) (installato sui PC)
- I dati
- Il foglio dei conteggi (stampato)

# Analisi dati – Il foglio dei conteggi

Cosa scrivere sul foglio dei conteggi ...

Lettera corrispondente al campione di dati da analizzare

Il foglio dei conteggi ti serve solo per prendere appunti

Numero identificativo

L'ultima colonna è per le somme

| DATASET 3 A               |               |             |     |
|---------------------------|---------------|-------------|-----|
| EVENT TYPE                | EVENT NUMBERS | TALLY MARKS | SUM |
| Z-like $e^+e^-$           |               |             |     |
| Z-like $\mu^+\mu^-$       |               |             |     |
| Higgs-like 4l             |               |             |     |
| Higgs-like $\gamma\gamma$ |               |             |     |
| GRAND TOTAL               |               |             |     |

# Cosa fare: (1)

- In HYPATHIA, per ogni evento, cerca indicazioni della presenza di:
  - un bosone Z in coppie elettrone-positrone o muone-antimuone,
  - un candidato bosone di Higgs in coppie di fotoni
  - un candidato bosone di Higgs in due coppie di leptoni ( $e^+e^-e^+e^-$ ,  $e^+e^-\mu^+\mu^-$ ,  $\mu^+\mu^-\mu^+\mu^-$ )
- compila il foglio che ti è stato dato.
  
- Se non sei in grado di identificare uno dei decadimenti di cui sopra, l'evento è probabilmente un evento di fondo (assenza di coppie di leptoni con segno opposto o coppie di fotoni), ignora l'evento e procedi col successivo

## Cosa fare: (2)

- Se ritieni di aver visto una delle particelle sopra elencate, seleziona le tracce o gli oggetti corrispondenti ed inseriscili nella tabella del calcolo di massa invariante di HYPATIA.

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

| File Name                  | ETMis [GeV] | Track    | P [GeV] | +/- | Pt [GeV] | $\phi$ | $\eta$ | M(2) [GeV] | M(eeee) [GeV] | M(eemm) [GeV] | M(mmmm) [G... | e/m/g |
|----------------------------|-------------|----------|---------|-----|----------|--------|--------|------------|---------------|---------------|---------------|-------|
| JiveXML_106051_1950731.xml | 13.877      | Tracks 1 | 126.1   | +   | 39.4     | -2.413 | 1.830  |            |               |               |               | m     |

- Se hai individuato una coppia elettrone-positrone o muone-antimuone potresti aver trovato un bosone Z

## Cosa fare: (3)

- Se hai individuato due coppie di leptoni, inserisci tutte e due le coppie nella tabella della massa invariante: potresti aver trovato un candidato Higgs con decadimento in 4 leptoni!
- Se credi di aver trovato un bosone di Higgs che decade in una coppia di fotoni, carica entrambi i fotoni nella tabella di HYPATIA.
- NON scartare eventi sulla base della massa invariante



## Cosa fare: (4)

- Se credi che l'evento sia invece frutto di un processo di fondo (assenza di coppie di leptoni con segno opposto o coppie di fotoni), ignora l'evento e procedi col successivo.
- Dopo aver analizzato tutti gli eventi, esporta la tabella della massa invariante da HYPATIA:
- File->Export Invariant Masses.
- Save in: leone infn -> risultati->ATLAS
- Il nome da dare al file e` Invariant\_Masses\_3X.txt con X corrispondente alla propria 'lettera'

 Pronti per iniziare!!