



Hands on Particle Physics

Identificazione dello Z in ATLAS

Gabriella Gaudio, Andrea Negri

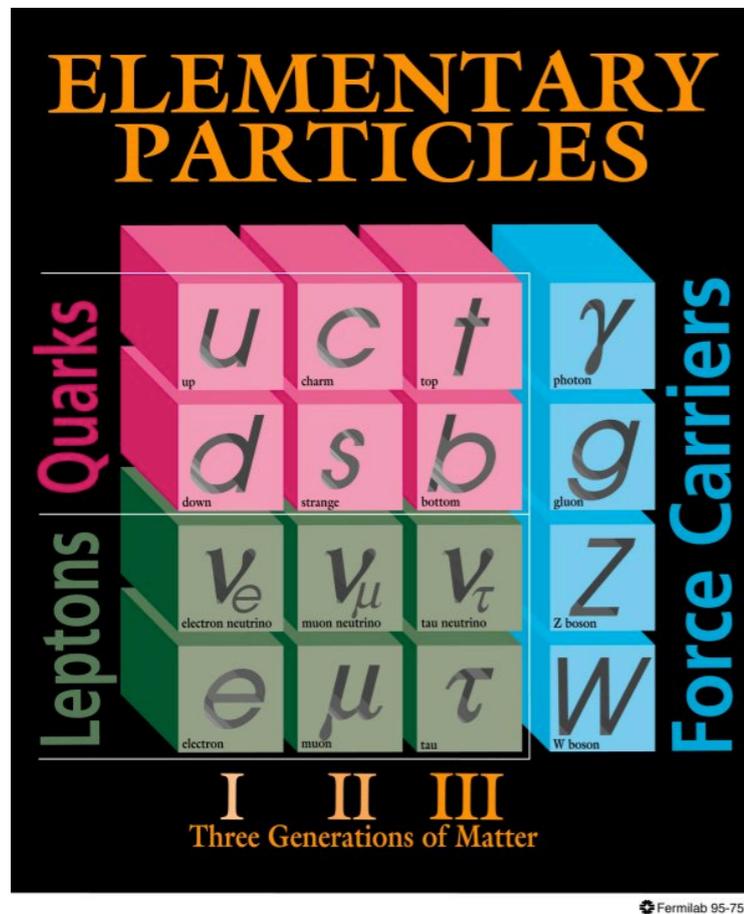
STAGE DI FORMAZIONE E ORIENTAMENTO IN FISICA PER GLI STUDENTI DELLE
SCUOLE SUPERIORI

17 giugno 2014

Dipartimento di Fisica, Università di Pavia & INFN Sezione di Pavia

Il bosone Z

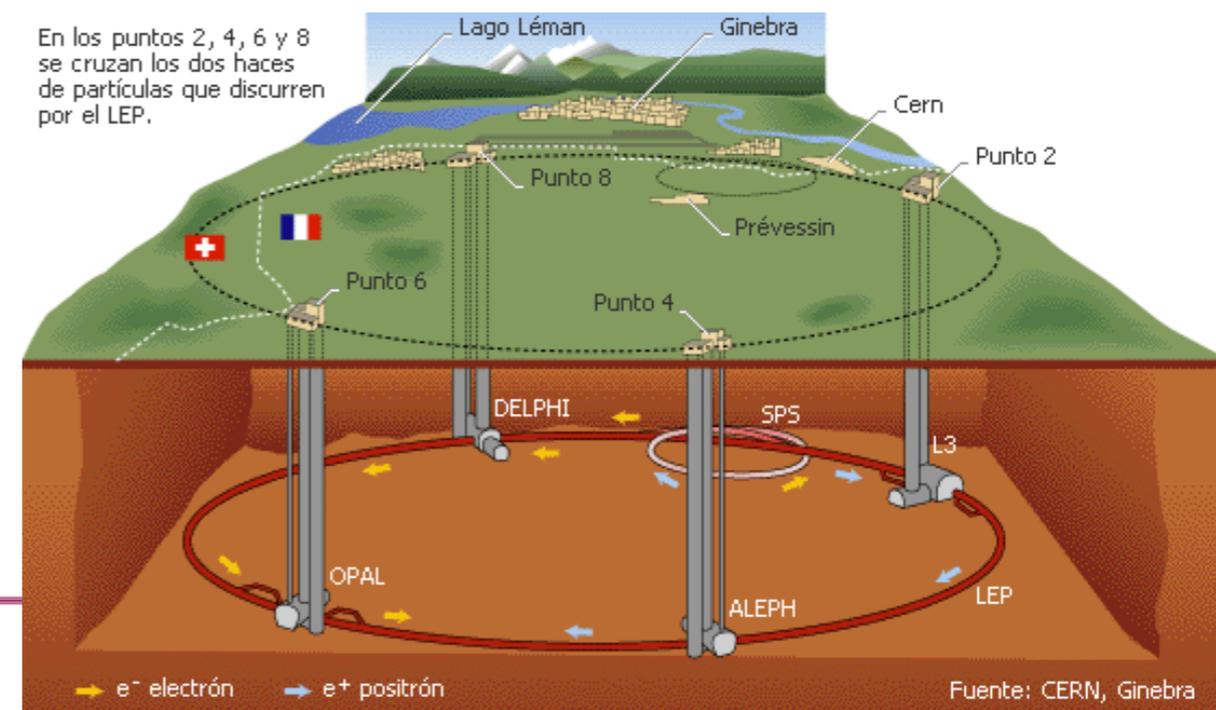
- ◆ Il bosone Z neutro ed i bosoni elettricamente carichi W^+ e W^- sono tutti mediatori della **forza debole**, così come il fotone è il mediatore della forza elettromagnetica.
- ◆ I bosoni W sono responsabili della radioattività, permettendo la trasformazione di un protone in neutrone e viceversa.
- ◆ Il bosone Z è responsabile delle interazioni fra neutrini



Anche se non notiamo affatto il bosone Z nella nostra vita quotidiana, esso è invece una particella molto comune in condizioni estreme, come le esplosioni di supernovae o gli inizi del nostro universo.

Il bosone Z

- ◆ Le caratteristiche del bosone Z sono state misurate con grande precisione nel precedente grande acceleratore di particelle del CERN, il LEP (Large Electron-Positron Collider).
- ◆ Il bosone Z è un pezzo indispensabile del puzzle che costituisce la teoria delle particelle elementari e delle loro interazioni.
- ◆ La teoria delle interazioni deboli descrive perfettamente il modo in cui i bosoni Z e W si comportano.
- ◆ Ciò è in accordo con tutte le misure esistenti oggi ed è quindi un risultato di grande valore, perché conferma che il bosone Z ha in Natura e nella teoria esattamente il ruolo che ci aspettiamo



Decadimento del bosone Z

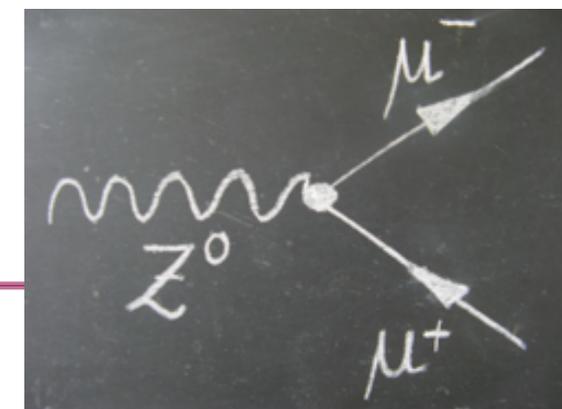
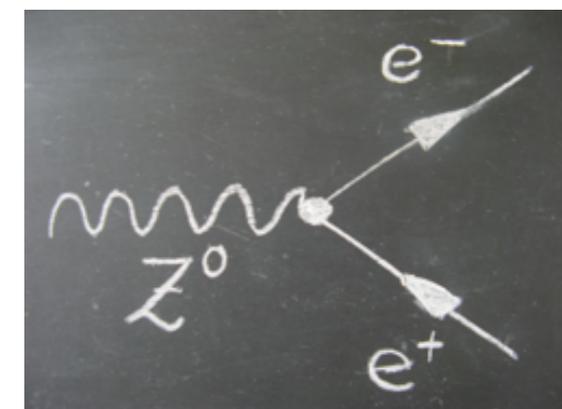
Il bosone Z è molto pesante ed ha una brevissima vita media, quindi viaggia solo per piccolissime distanze.

- Come riconoscere una particella pesante che vive solo per 3×10^{-25} s (0.00000000000000000000000003 s) ?
- Nessuno strumento è in grado di rivelare qualcosa in un tempo così breve.
- Come puoi “vedere” un bosone Z che scompare istantaneamente?

Risposta: riconoscendo il suo modo di decadere, o “morire”.
Il bosone Z può decadere in una moltitudine di modi.

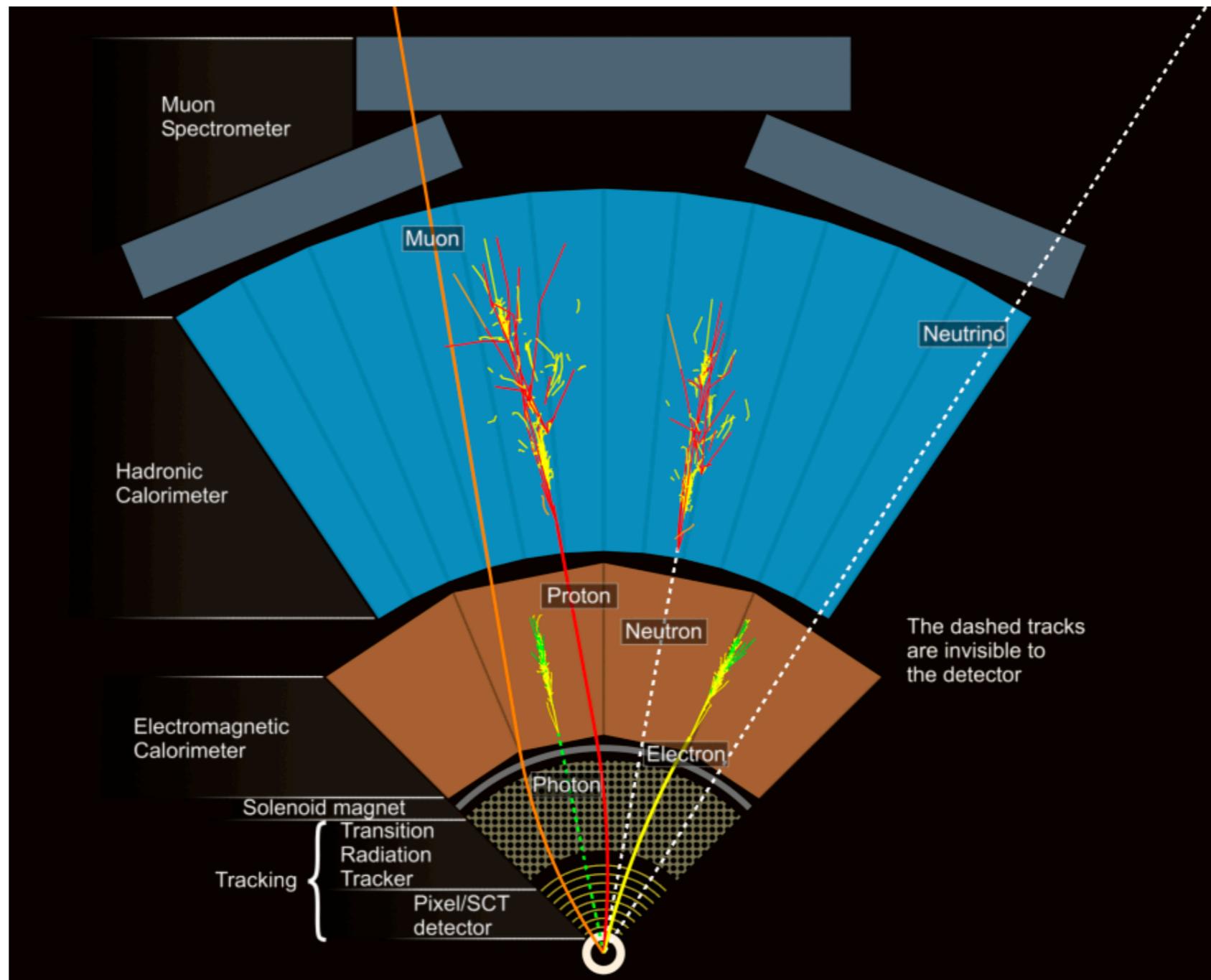
- ◆ Essendo lo Z neutro, la somma delle cariche elettriche dei suoi prodotti di decadimento deve essere 0, perché in natura la carica elettrica è conservata.
- ◆ Quindi lo Z deve decadere in una coppia particella-antiparticella. Il 100% di probabilità di decadimento dello Z è suddiviso fra diversi gruppi di particelle in base ad ulteriori leggi di conservazione

Frazione	Tipo particella	Caratteristiche
10%	leptone+antileptone	il canale più semplice da guardare
20%	neutrino+antineutrino	invisibile
70%	quark-antiquark	identificabili in coppie di jet

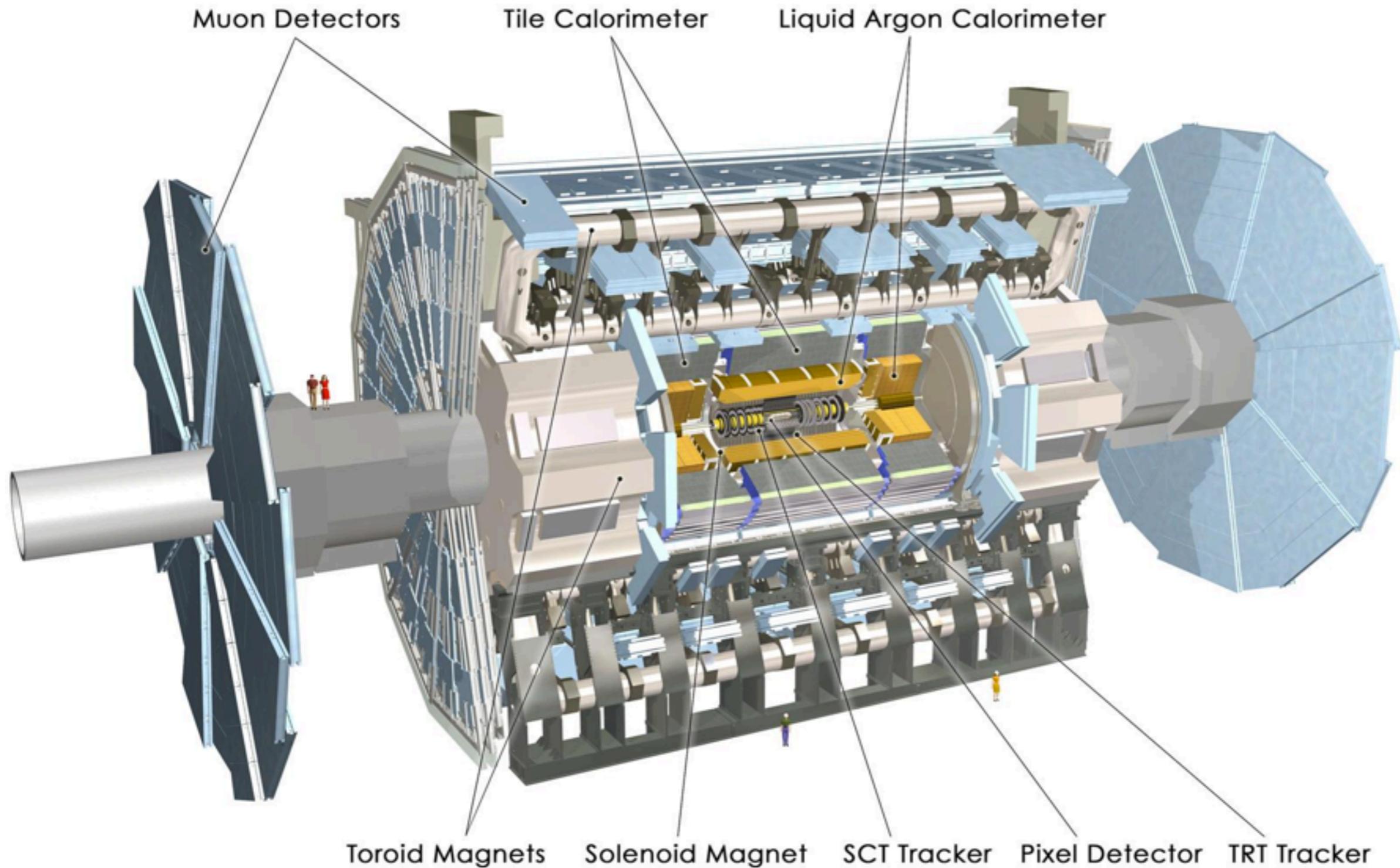


Identificazione di particelle

Quando le particelle attraversano il rivelatore lasciano dei segnali elettronici o “impronte”. Dall’analisi di queste impronte è possibile identificare le particelle che le hanno generate

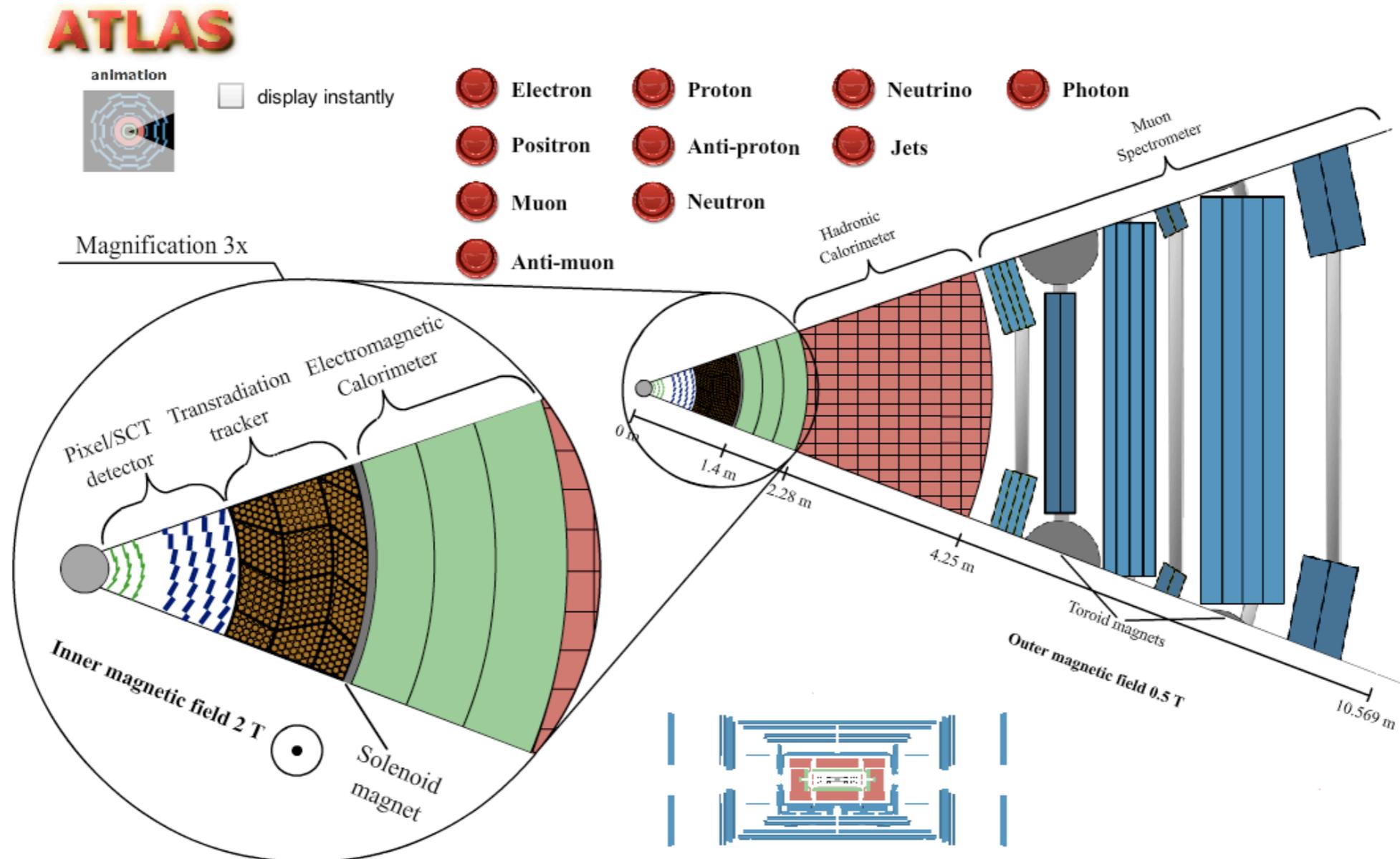


ATLAS - A Toroidal Lhc Apparatus



Identificazione di particelle in ATLAS

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



Visualizzazione con Hypatia

Le impronte o segnali elettronici che vengono registrati dai rivelatori durante una collisione possono essere visualizzati tramite dei programmi denominati "event-display". Questi producono delle immagini dinamiche che mostrano come le particelle abbiano viaggiato nel rivelatore. Userai come event-display il programma chiamato HYPATIA.

The screenshot displays the HYPATIA software interface, which is used for visualizing particle tracks and event data. The interface is divided into several windows:

- Hybrid pupils' analysis tool for interactions in ATLAS - version 6.0 - Invariant Mass Window:** This window shows a table of event data. The table has columns for File Name, ETMis [GeV], Track, P [GeV], +/-, Pt [GeV], ϕ , η , M(2) [GeV], M(4) [GeV], and e/ μ . The data shown is as follows:

File Name	ETMis [GeV]	Track	P [GeV]	+/-	Pt [GeV]	ϕ	η	M(2) [GeV]	M(4) [GeV]	e/ μ
jiveXML_165632_12269702.xml	9.339	Tracks 0	42.2	+	42.2	-3.101	0.002	85.929		e
		Tracks 1	50.5	-	37.0	0.030	0.827			e

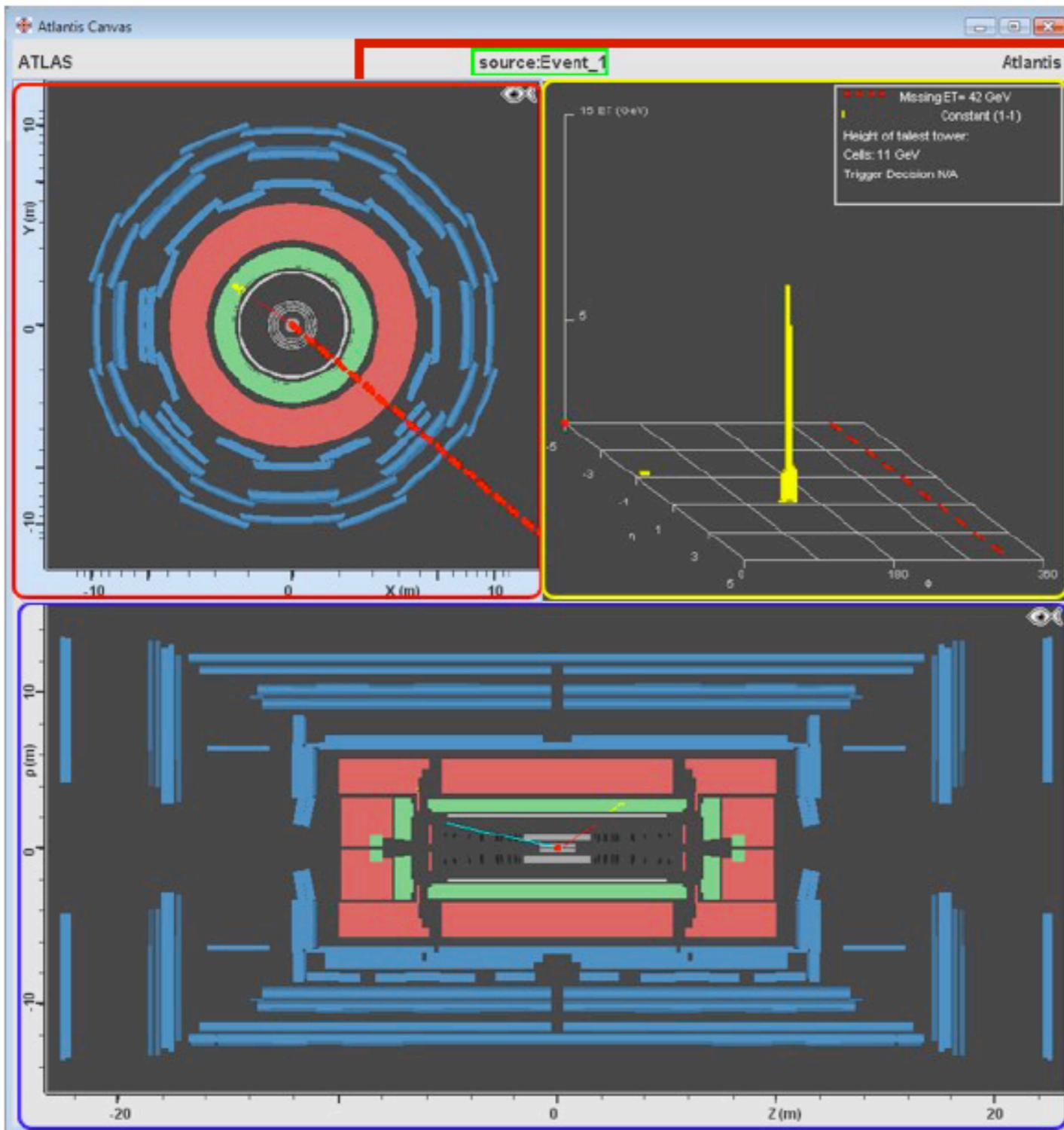
- Canvas Window - File: jiveXML_165632_12269702.xml Run: 165632 Event: 1:** This window displays a 2D plot of the ATLAS detector cross-section. The x and y axes represent the detector radius in meters (m), ranging from -10 to 10. The plot shows the detector's geometry and the tracks of the particles. A 3D plot is also visible in the bottom right corner of this window.
- HYPATIA - Track Momenta Window:** This window shows the reconstructed tracks and their momenta. It includes a table of track data:

Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	ϕ	θ
Tracks 0	+	42.22	42.22	-3.101	1.569
Tracks 1	-	50.46	37.04	0.030	0.824
Tracks 13	+	1.66	1.44	1.725	1.057
Tracks 16	-	3.67	1.04	1.838	2.855
Tracks 29	-	5.55	1.38	-2.121	0.251
Tracks 35	+	2.16	1.43	-1.259	0.728

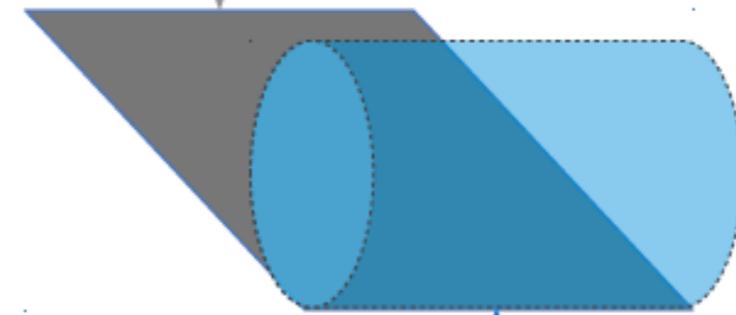
- HYPATIA - Control Window:** This window provides control over the visualization. It includes tabs for Parameter Control, Interaction and Window Control, and Output Display. The Data tab is currently selected, showing a list of data items with checkboxes for Status, InDet, Calo, MuonDet, and Objects.

Cosa stiamo vedendo?

Vista in sezione

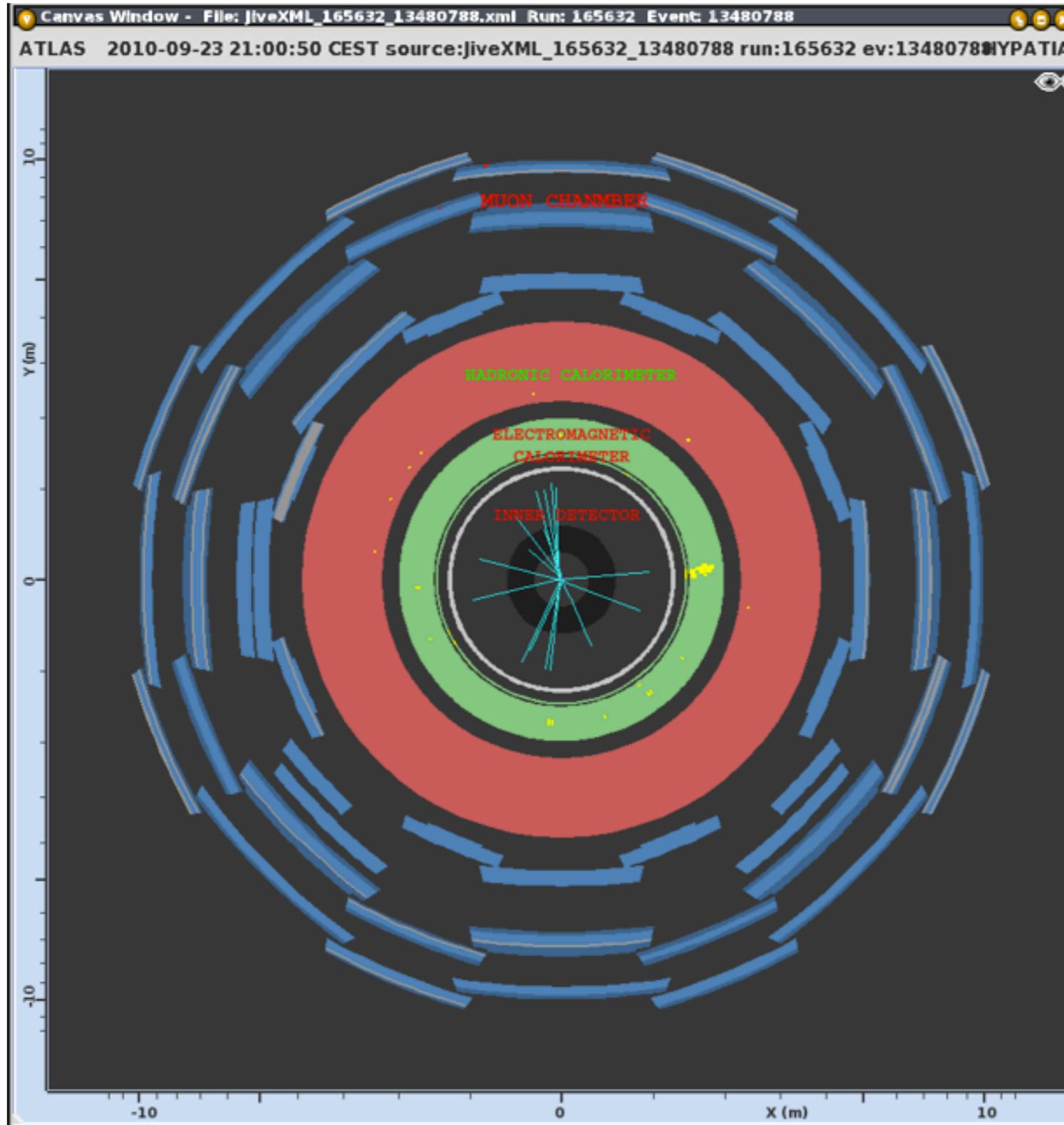


Vista "srotolata":
in giallo i
depositi
di energia



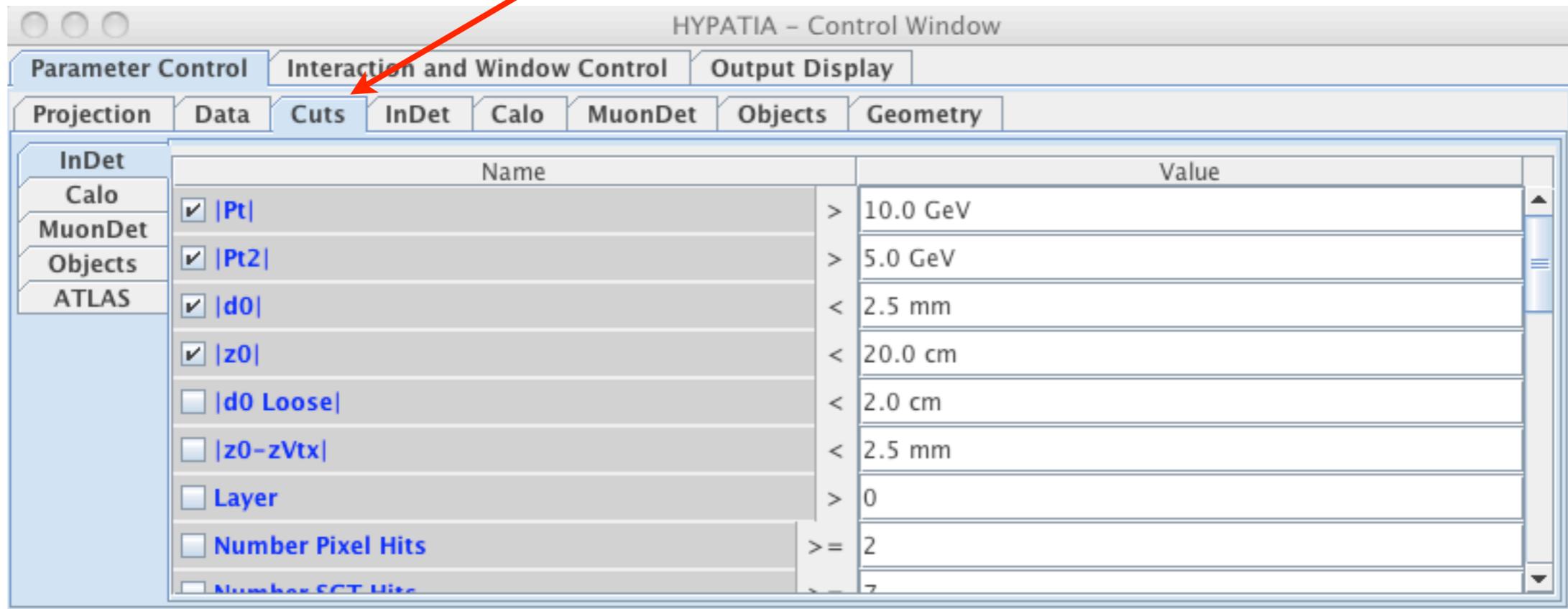
Vista laterale

Visualizzazione con Hypatia



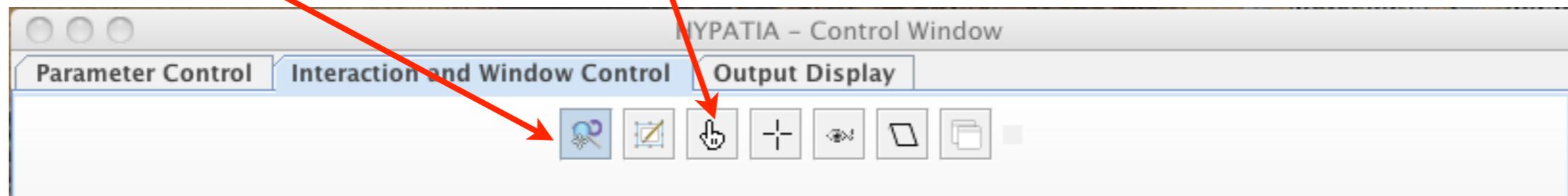
Visualizzazione con Hypatia

Usa dei tagli per selezionare gli eventi

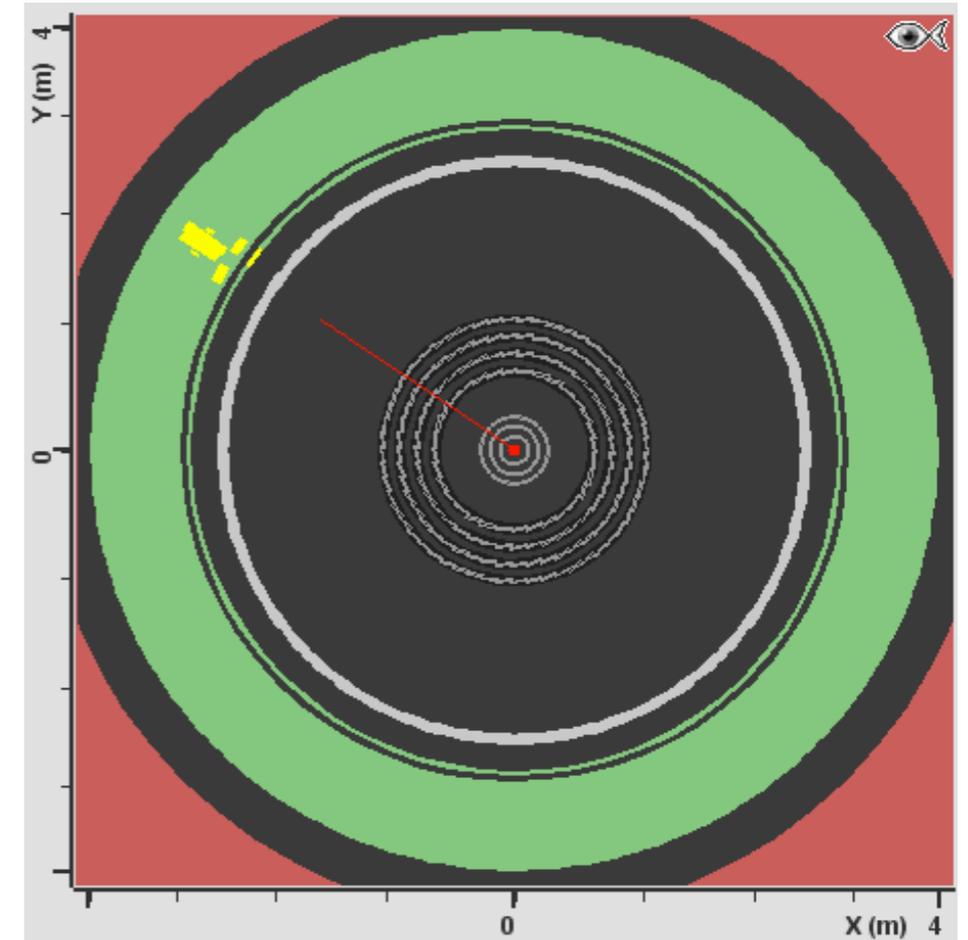
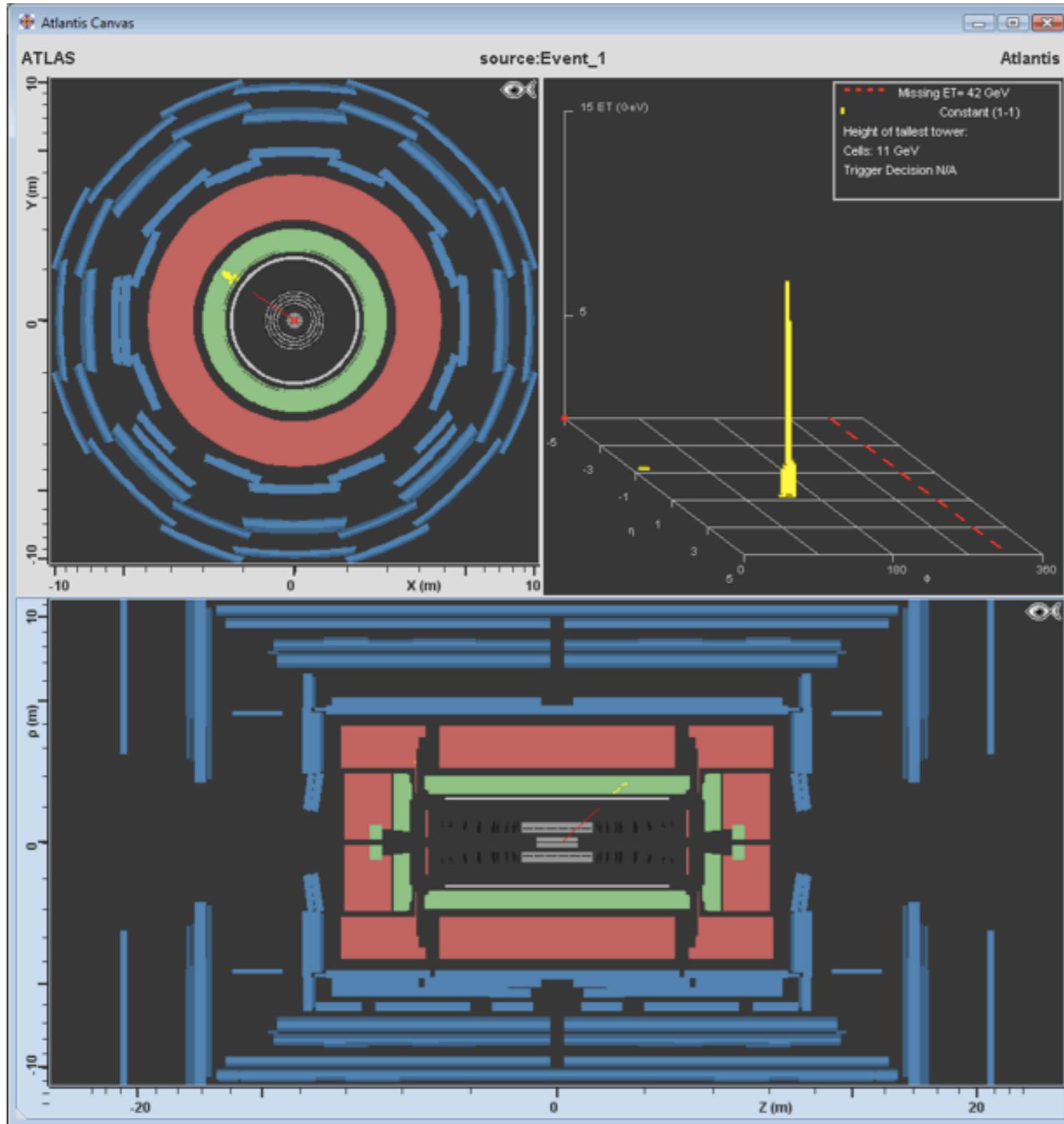


Zoom

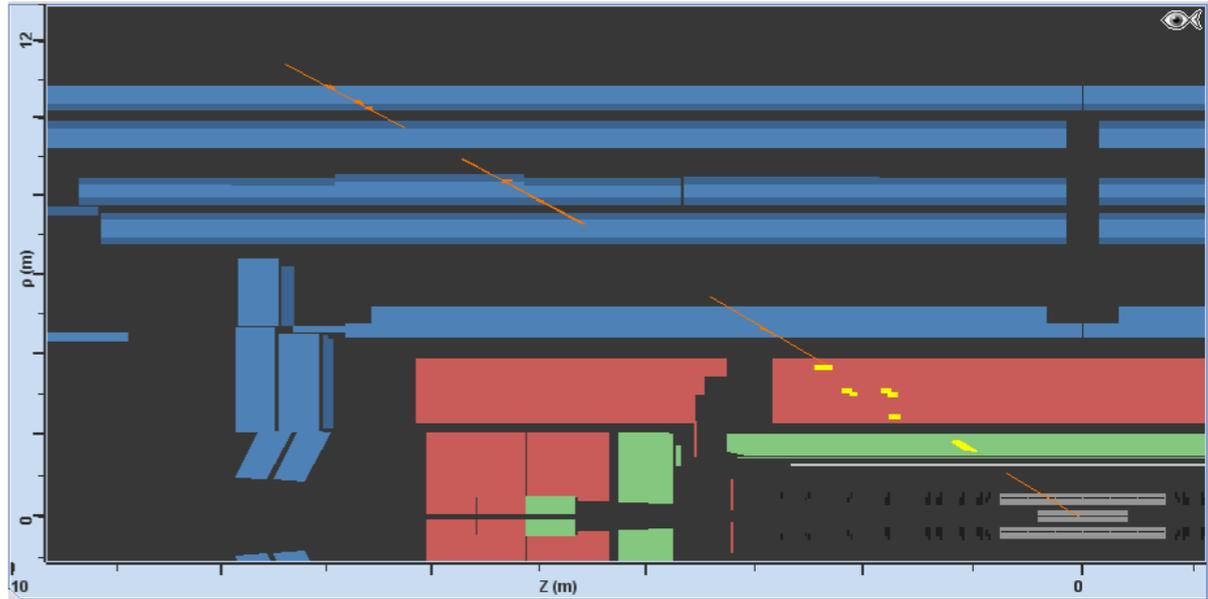
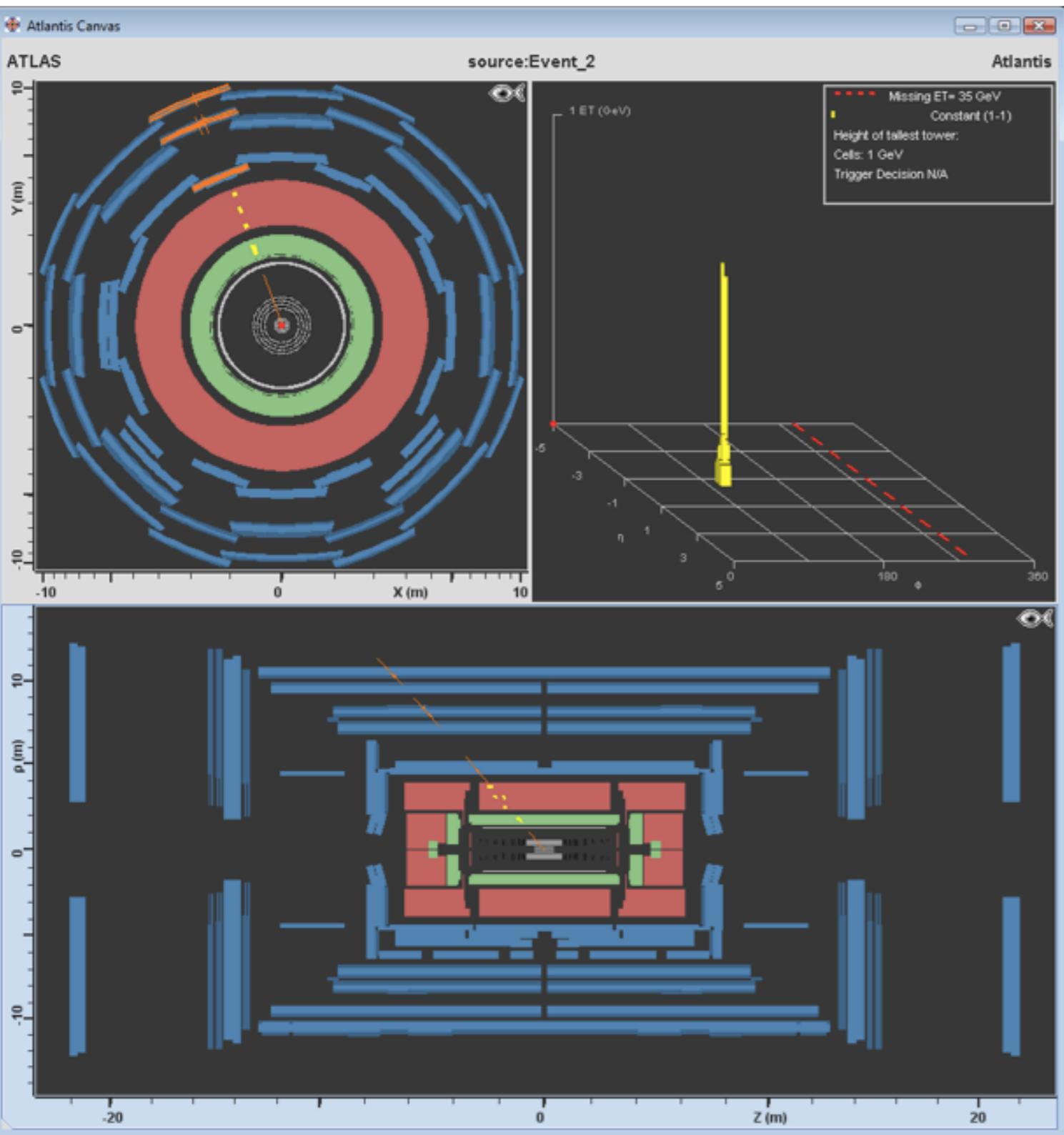
Seleziona le tracce



Elettrone/Positrone



Muone/antimuone



La massa invariante

- ◆ Per essere sicuro che una particella sia stata effettivamente creata in una collisione non consiste unicamente nel riconoscere i prodotti di decadimento, quali ad esempio coppie muone-antimuone, elettrone-positrone, ma anche nella ricostruzione della massa della particella che decade
- ◆ La massa è una proprietà delle particelle che, assieme ad altre, può essere utilizzata per identificarla univocamente.

$$Z \rightarrow e^+ e^- \qquad m_0^{(Z)} = \sqrt{\left(\frac{(E_{e^-} + E_{e^+})}{c^2}\right)^2 - \left(\frac{\vec{p}_{e^-} + \vec{p}_{e^+}}{c}\right)^2}$$

- ◆ m_0 è la massa, E è l'energia, p è l'impulso e c è la velocità della luce. I pedici e e Z si riferiscono rispettivamente a elettrone e bosone Z .
- ◆ Poiché m_0 è conservata, possiamo utilizzarla per ricavare la massa di una particella che decade ("madre"):
 - ◆ si misura l'energia e la quantità di moto dei prodotti del decadimento, e da questi si ricava la massa della particella "madre" visto che questa deve essere equivalente alla massa a riposo iniziale.

Visualizzazione con Hypatia

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

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
event006.xml	11.123	Tracks 22	44.0	-	36.4	-0.772	0.634	90.930				m
		Tracks 227	53.9	+	53.5	2.248	0.129					m

Canvas Window - File: event004.xml Run: 206497 Event: 5644352

HYPATIA - Track Momenta Window

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

ETMis: 22.591 GeV ϕ : 0.814 rad Collection: MET_RefFinal

..ktop/Masterclasses2014/exercises/ATLAS-2014/Hypatia_7.4_Masterclass/events/dir01/groupA.zip/event004.xml

Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	ϕ	θ
Tracks 3	+	238.68	42.22	-2.581	0.178
Tracks 4	-	141.08	27.58	-0.074	0.197

HYPATIA - Control Window

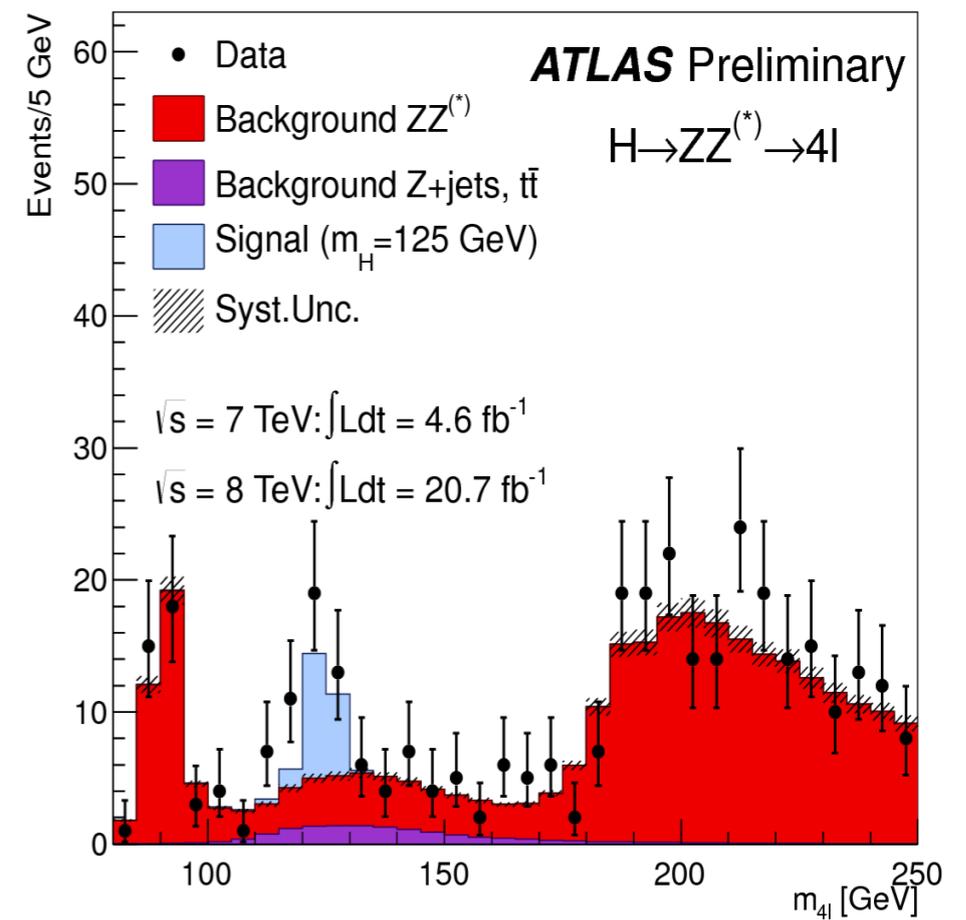
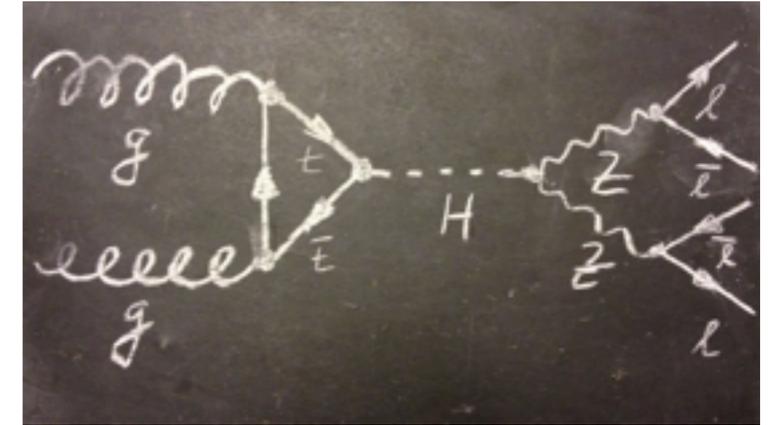
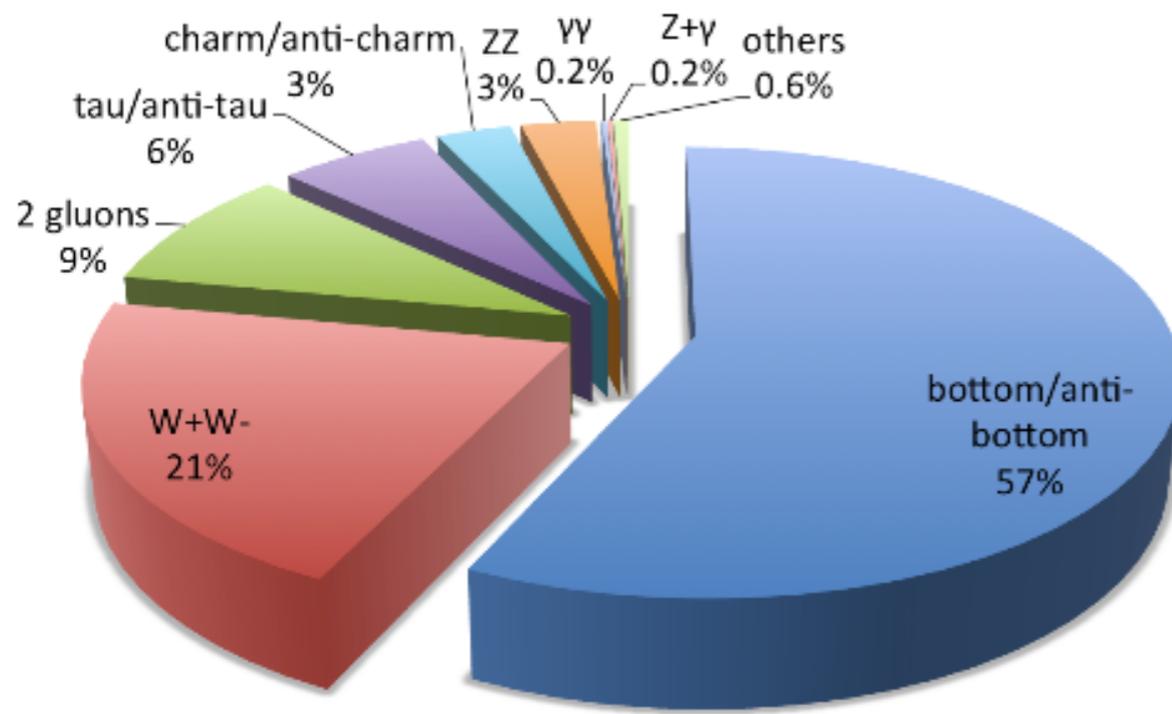
Parameter Control Interaction and Window Control Output Display

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	

Eventi di Higgs

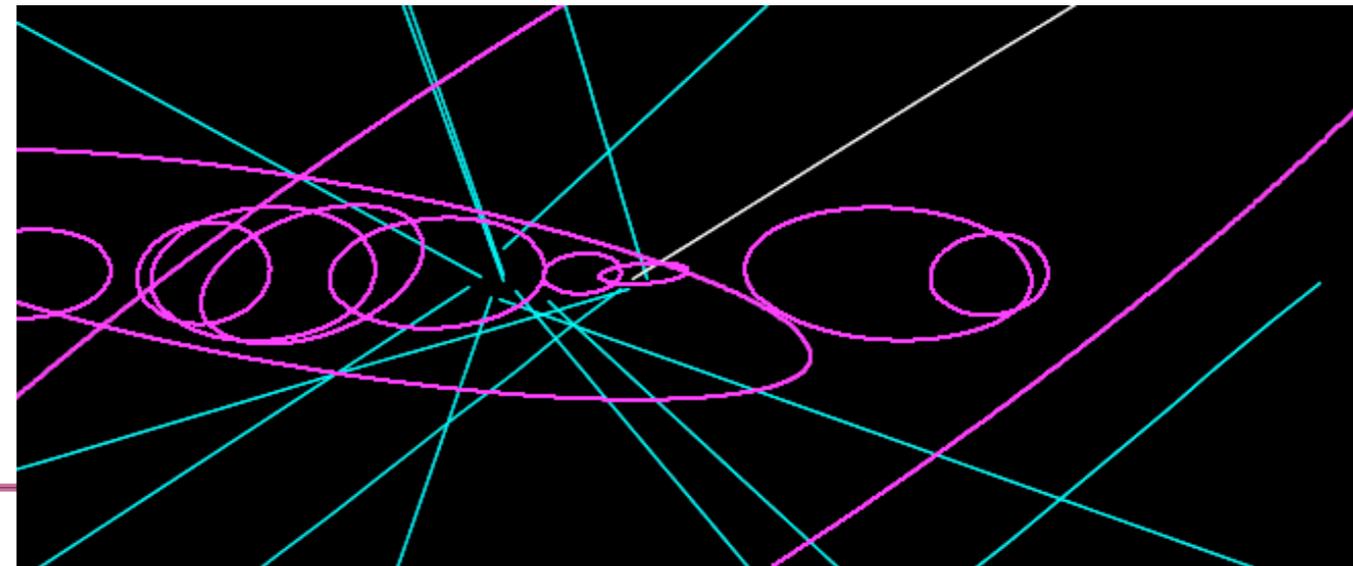
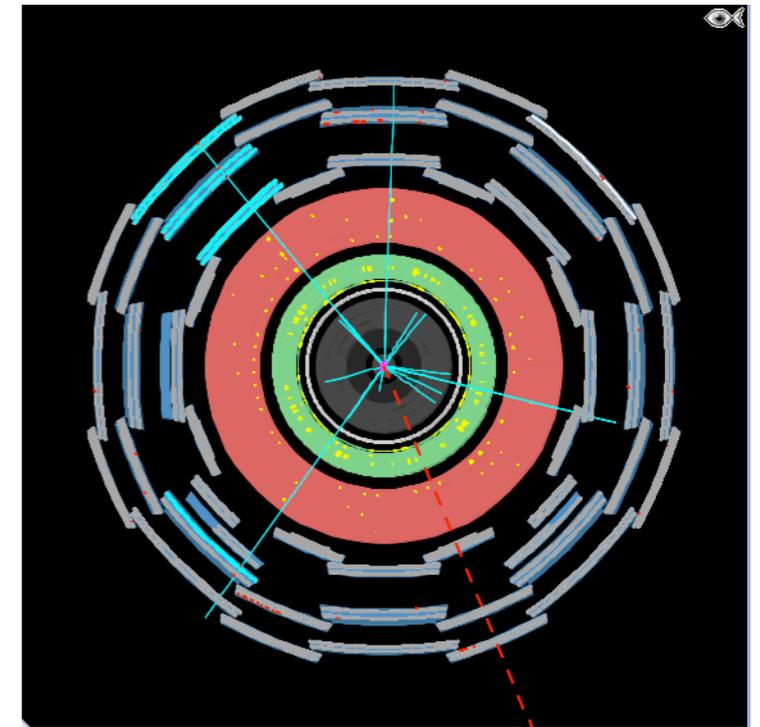
Decays of a 125 GeV Standard-Model Higgs boson



Evento di $H \rightarrow \mu\mu\mu\mu$

File Name	ETMis [GeV]	Track	P [GeV]	+/-	Pt [GeV]	φ	η	M(2) [GeV]	M(eeee) [GeV]	M(eemm) [GeV]	M(mmmm) [G...]	e/m/g
event006.xml	11.123	Tracks 22	44.0	-	36.4	-0.772	0.634	90.930				m
		Tracks 227	53.9	+	53.5	2.248	0.129					m
event046.xml	37.975	Tracks 21	43.4	+	41.7	2.277	-0.289	90.333			364.010	m
		Tracks 2	108.7	-	58.0	1.525	1.242					m
		Tracks 10	136.9	-	39.2	-0.248	-1.922	91.492				m
		Tracks 4	98.8	+	61.2	-2.171	-1.058					m

- ◆ Individuare le tracce provenienti dallo stesso vertice
- ◆ Aggiungere le tracce alla tabella delle masse invarianti. **ATTENTI ALL'ORDINE**
 - ◆ vengono calcolate le masse invarianti dei due leptoni (devono essere di segno opposto)
 - ◆ se la massa calcolata non è vicina al picco dello Z (90 GeV) vuol dire che l'associazione delle tracce non è corretta.
 - ◆ Cancellare la traccia e aggiungere quella corretta



Eventi di fondo

- Nelle collisioni tra protoni, si producono tutti i tipi di particelle, non solo bosoni di Z o Higgs!
- Ad esempio, possono esserci in aggiunta o in sostituzione un bosone W o un quark top.
 - Anche queste particelle decadono immediatamente subito dopo essere state prodotte, dato che sono, analogamente ai bosoni Z e Higgs, molto pesanti.
- Le collisioni danno spesso anche “jet” di particelle, non contenenti Z, W o top.
- Eventi con W, top o jet, che potrebbero assomigliare a un evento di “segnale”, contenente cioè la particella che si sta cercando (Z, Higgs o altro), vengono detti ***eventi di fondo***.

Selezione degli eventi

- ◆ Segnale:

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

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

$$H \rightarrow ZZ \rightarrow e^+ e^- e^+ e^-$$

$$H \rightarrow ZZ \rightarrow \mu^+ \mu^- \mu^+ \mu^-$$

$$H \rightarrow ZZ \rightarrow e^+ e^- \mu^+ \mu^-$$

- ◆ Fondo:

- ◆ tutto il resto

- ◆ Seguiamo un **cut flow**, cioè una sequenza di tagli che permette di selezionare gli eventi di segnale da quelli di fondo

- ◆ Almeno 2 tracce cariche provenienti dallo stesso vertice

- ◆ $pt1 > 10 \text{ GeV}$; $pt2 > 5 \text{ GeV}$

- ◆ se l'evento è molto affollato provate ad aumentare il taglio in pt (non più di 20 GeV)

Istruzioni

- ◆ Ogni gruppo (2 persone) analizzerà 50 eventi utilizzando l'event display HYPATHIA
- ◆ In ogni collisione, dovrete distinguere eventi di Z o Higgs dal fondo
- ◆ Accedere a Hypathia cliccando sul file *HYPATHIA for windows.bat*
- ◆ Caricare i File di dati:
 - ◆ *File* → *Read Event Locally* → Scegliere il file *dir01/groupX.zip* con X fra B e O, poi *Open*
- ◆ Analizzare i dati secondo il cutflow
- ◆ Al termine dell'analisi di tutti gli eventi salvare un file con le masse invarianti sul desktop
 - ◆ *File* → *Export Invariant Masses* → Scegliere il desktop come destinazione e mettere nel campo *File Name GruppoX.txt* (con X corrispondente al file che avete analizzato)
- ◆ Caricare il file sul sito <http://cern.ch/go/vN6N>

Analisi dati ad LHC

Istruzioni per caricare i dati

- Se non già fatto in fase di salvataggio, rinominare il file di dati prodotto dal programma di analisi secondo la nomenclatura *GruppoX.txt*, dove x è la lettera di identificazione del gruppo.
- Premere il tasto *Attach*
- Digitare le username e password che vi sono state fornite
- Premere *Choose File* per selezionare il file *Gruppo.dat*
- Premere *Upload File*