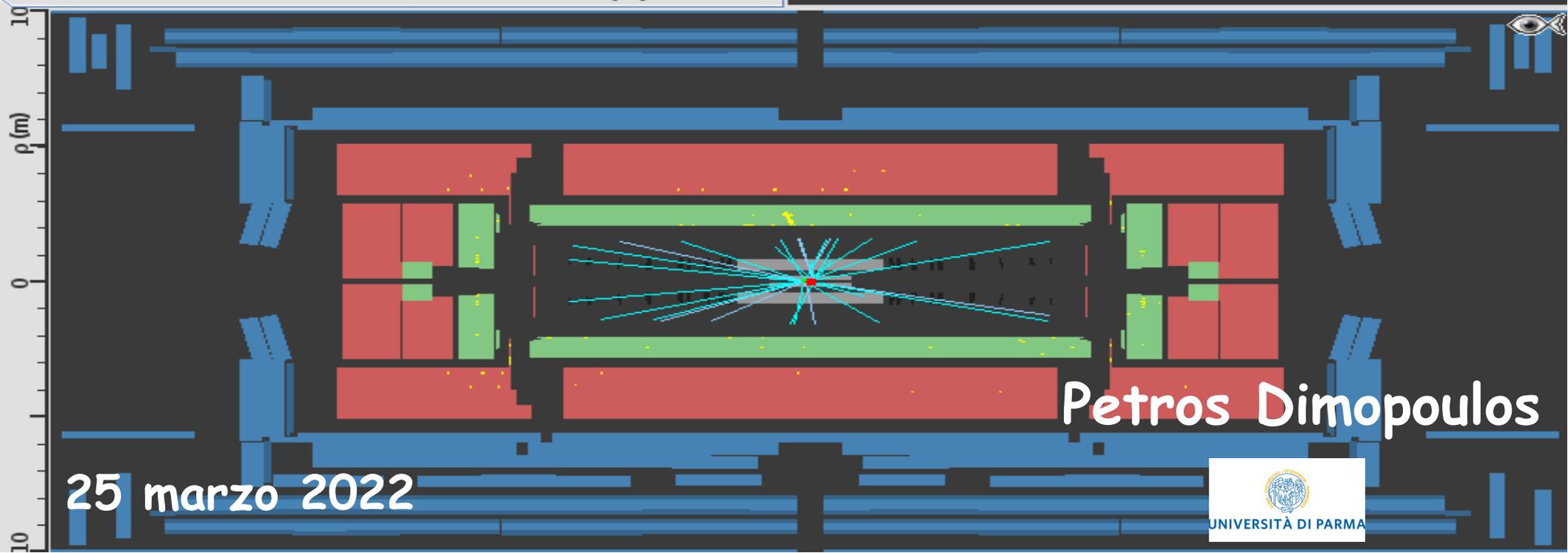
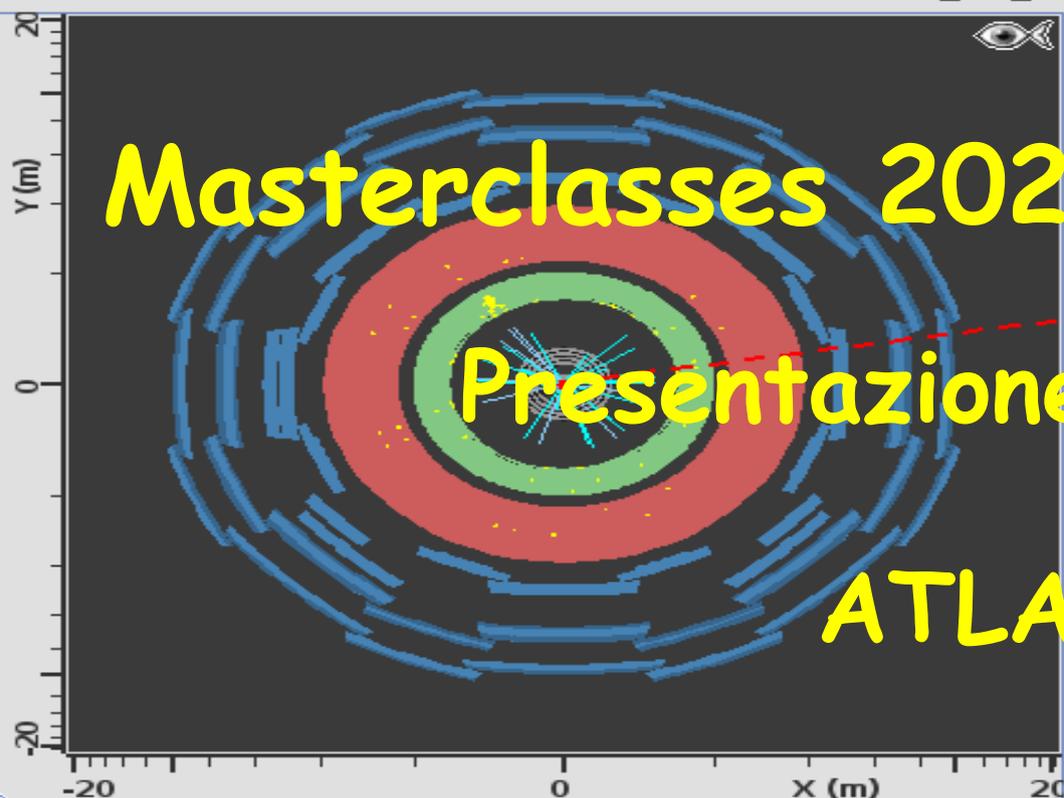


Masterclasses 2022 Parma

Presentazione dell'esercizio pratico

ATLAS W path



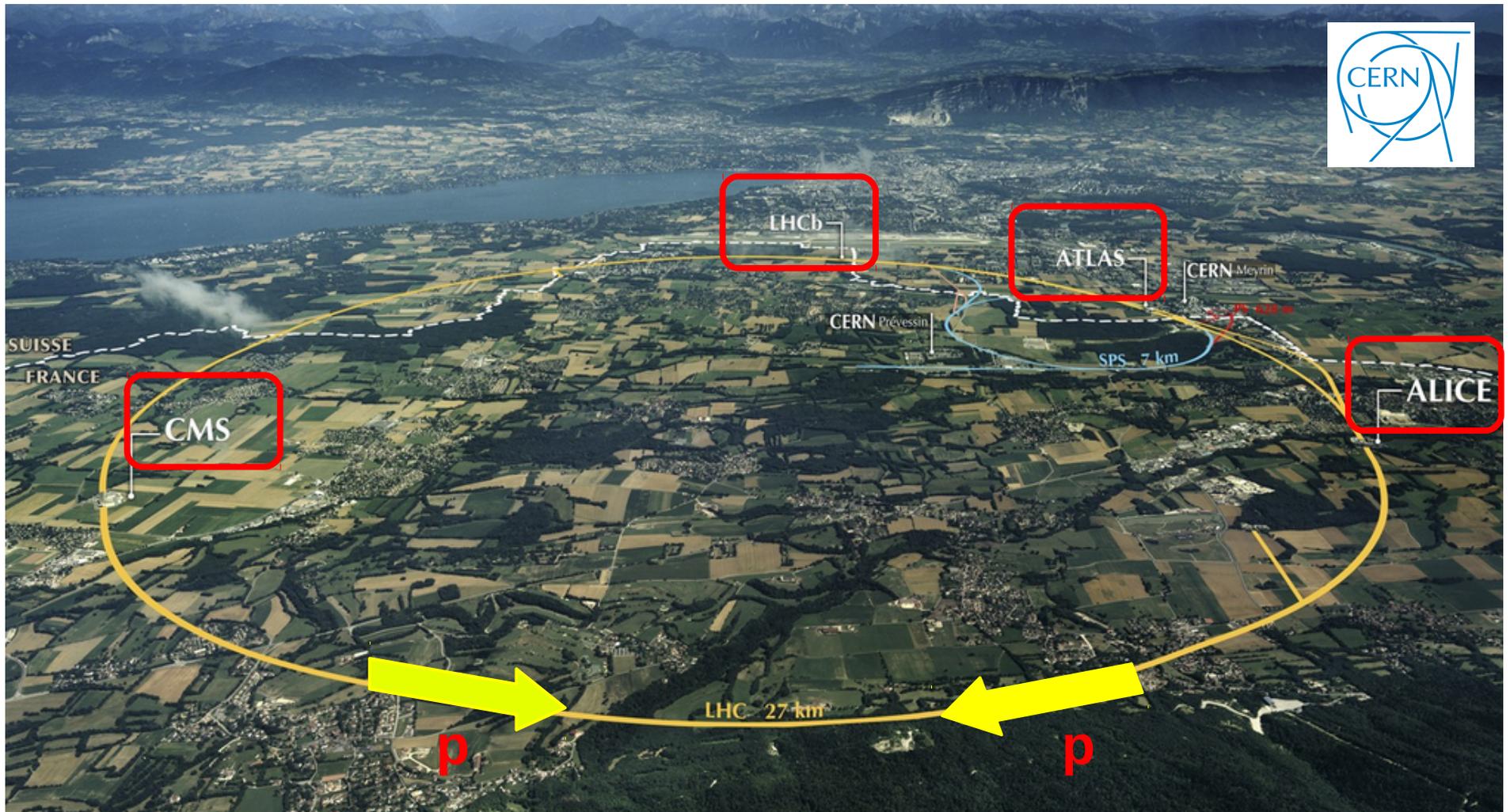
Petros Dimopoulos

25 marzo 2022



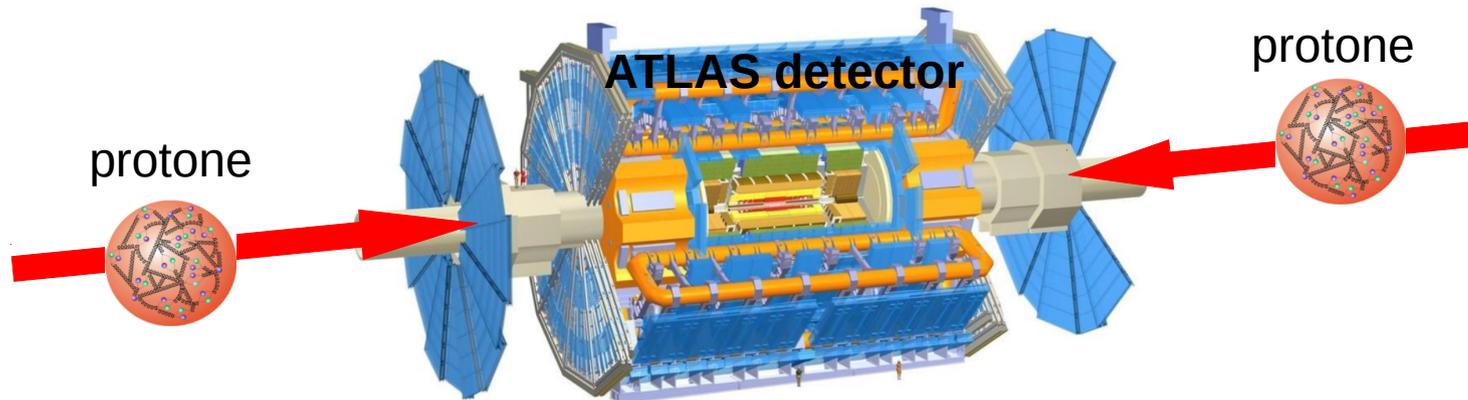
Large Hadron Collider (LHC) - CERN

Due fasci di **protoni** generati ed accelerati a velocità prossime a quella della luce nell' acceleratore di **LHC** al **CERN** vengono fatti collidere in quattro punti della circonferenza dell'anello dell'acceleratore intorno ai quali sono installati quattro complessi di rivelatori di particelle che costituiscono i **grandi esperimenti**
ATLAS, CMS, LHCb, ALICE

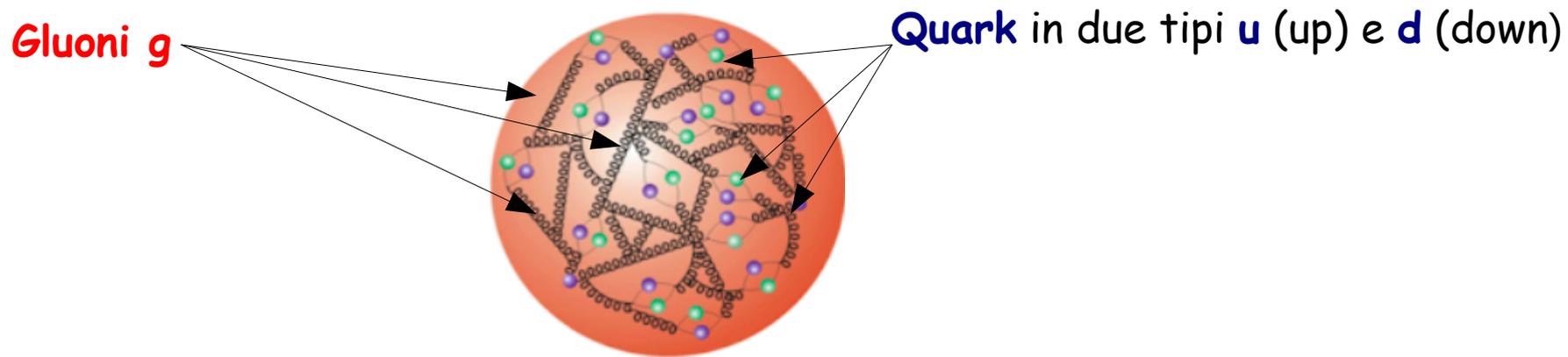


Large Hadron Collider (LHC) - Esperimento **ATLAS**

Uno dei quattro grandi esperimenti di LHC è quello di **ATLAS**
(**A** Toroidal **LHC** **A**pparatu**S**)



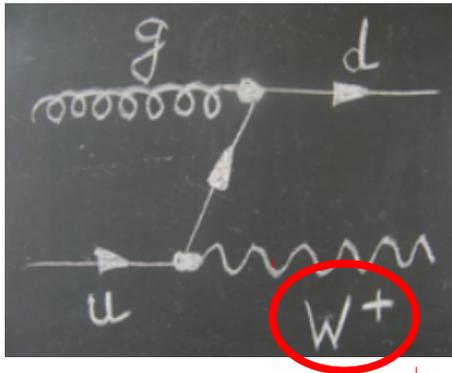
Nella collisione dei due protoni avvengono **interazioni** fra i loro ingredienti ...



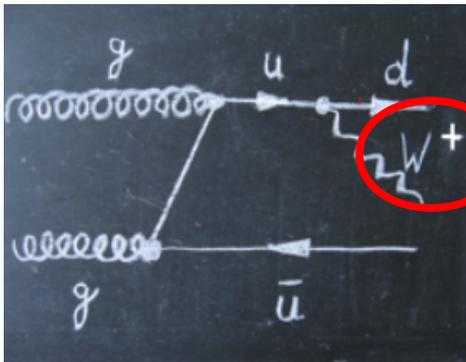
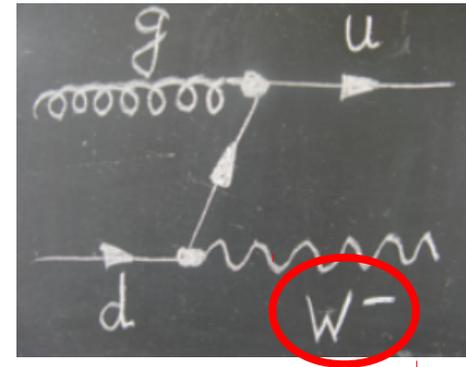
Grazie alla conversione energia - massa nuove particelle, diverse da quelle originarie, vengono create con la collisione.

Interazioni fra quark & gluoni

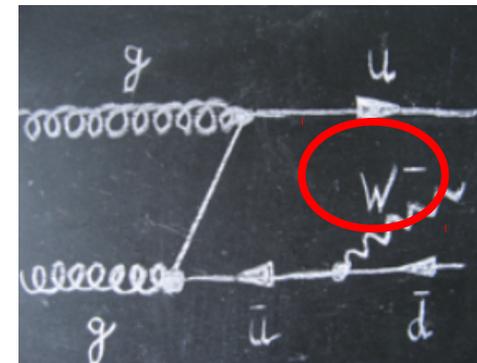
e.g



collisione fra
quark e
gluone



collisione fra
gluone e
gluone



Fra i prodotti della collisione si trovano le particelle W^+ e W^- (mediatori dell'interazione elettrodebole)

W^+ e W^- non sono direttamente rivelabili (\rightarrow hanno vita molto corta).

La loro esistenza può essere verificata mediante i loro decadimenti in altre particelle (leptoni) che sono invece rivelabili.

Scopi dell'esercizio

1. Rivelare i decadimenti delle particelle W^+ e W^-

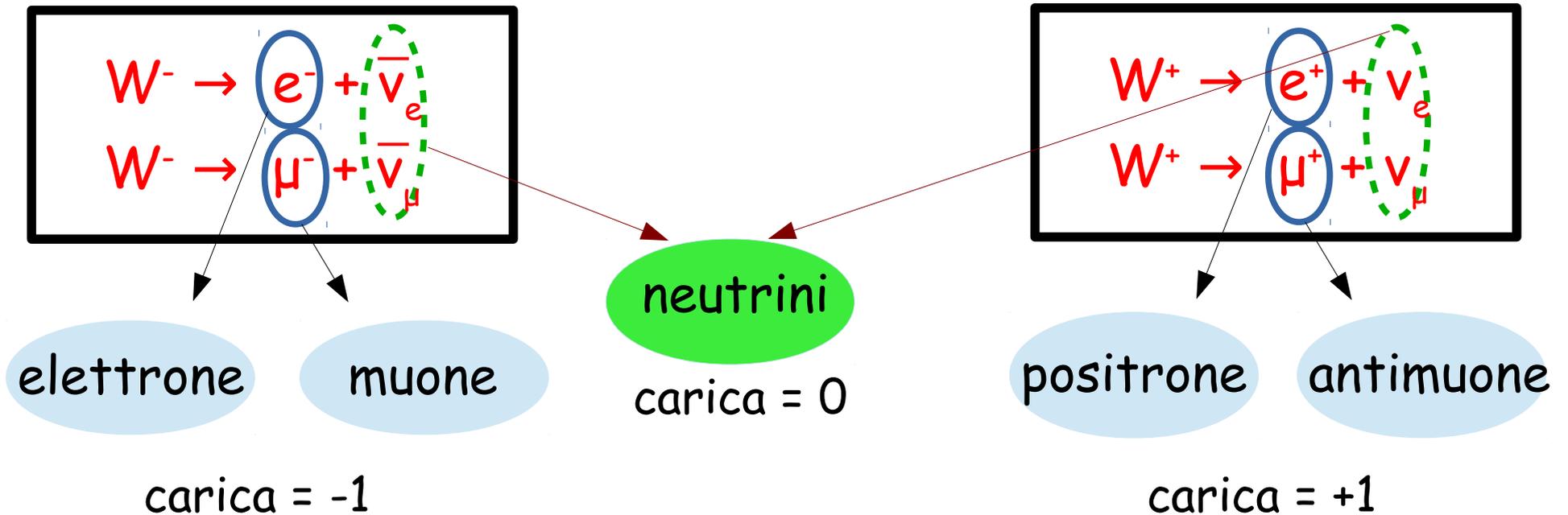
→ Misurare il rapporto

$$R_{\pm} = \frac{(\text{Numero di } W^+)}{(\text{Numero di } W^-)}$$

per ottenere informazioni sulla struttura del protone.

2. Rivelare la presenza della particella di Higgs (H) mediante il suo decadimento in una coppia di W^+ e W^- .

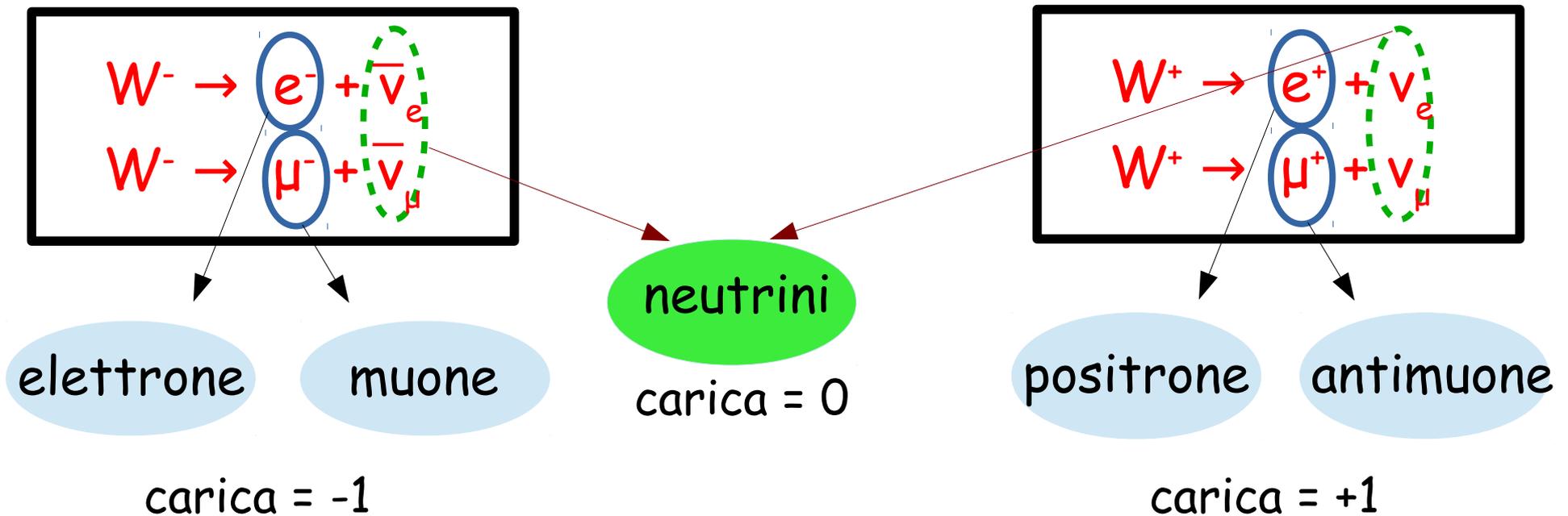
1. Decadimento di W^+ e W^- in leptoni



$\left\{ \begin{array}{l} e^- \\ e^+ \\ \mu^- \\ \mu^+ \end{array} \right\}$

Direttamente rivelabili dall'esperimento. Particelle il cui segnale lasciato nei rivelatori ci permette di capire la loro identità e così dedurre l'identità della particella madre (W^+ o W^-)

1. Decadimento di W^+ e W^- in leptoni

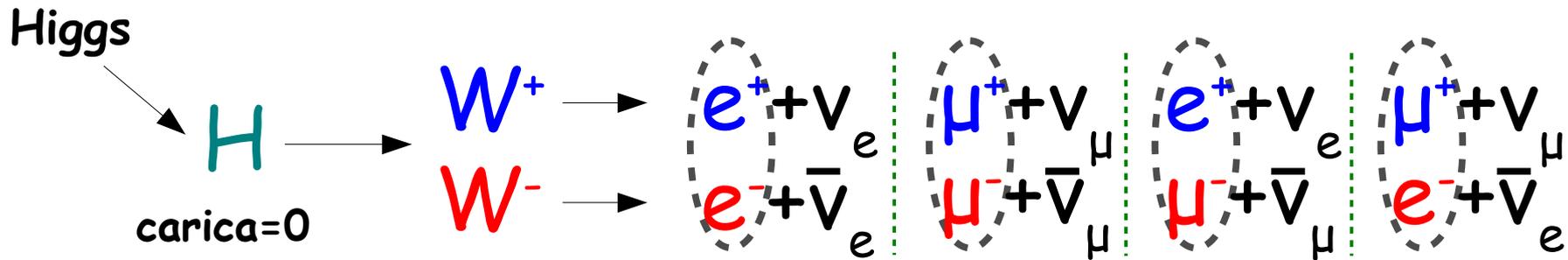
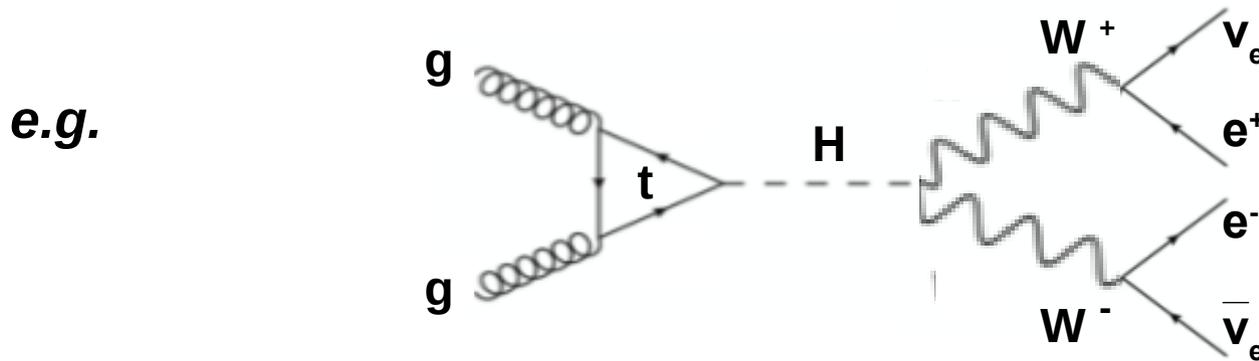


$\left\{ \begin{array}{l} e^- \\ e^+ \\ \mu^- \\ \mu^+ \end{array} \right\}$

Direttamente rivelabili dall'esperimento.
Particelle il cui segnale lasciato nei rivelatori ci permette di capire la loro identità e così dedurre l'identità della particella madre (W^+ o W^-)

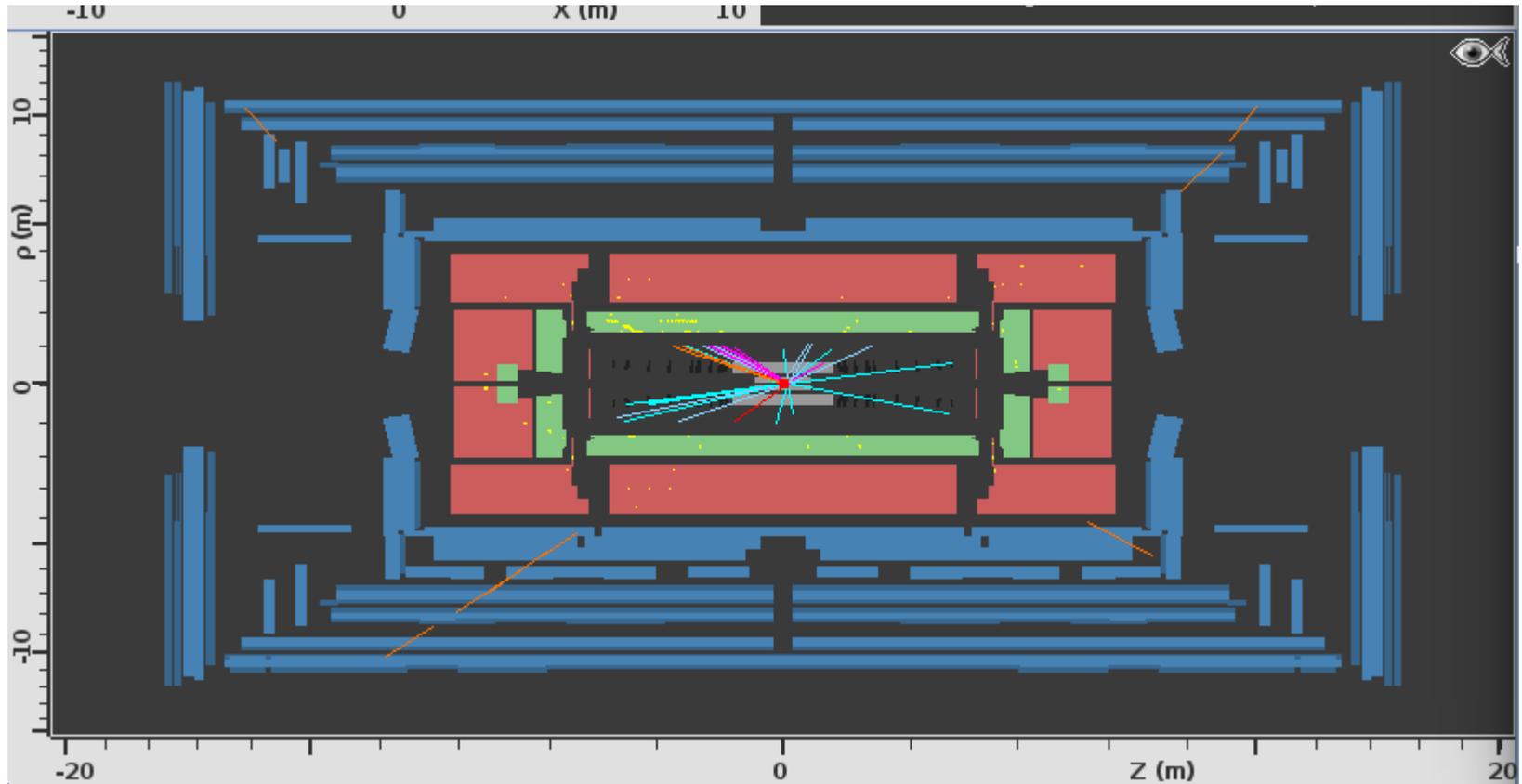
- ! Invece i neutrini sono **indirettamente** rivelabili mediante la misura dell'energia mancante (**missing energy**) grazie alla legge di conservazione dell'energia.

2. Decadimento di Higgs in $W^+ W^-$



Le due particelle cariche nei prodotti devono essere di **carica opposta** ← (conservazione della carica).

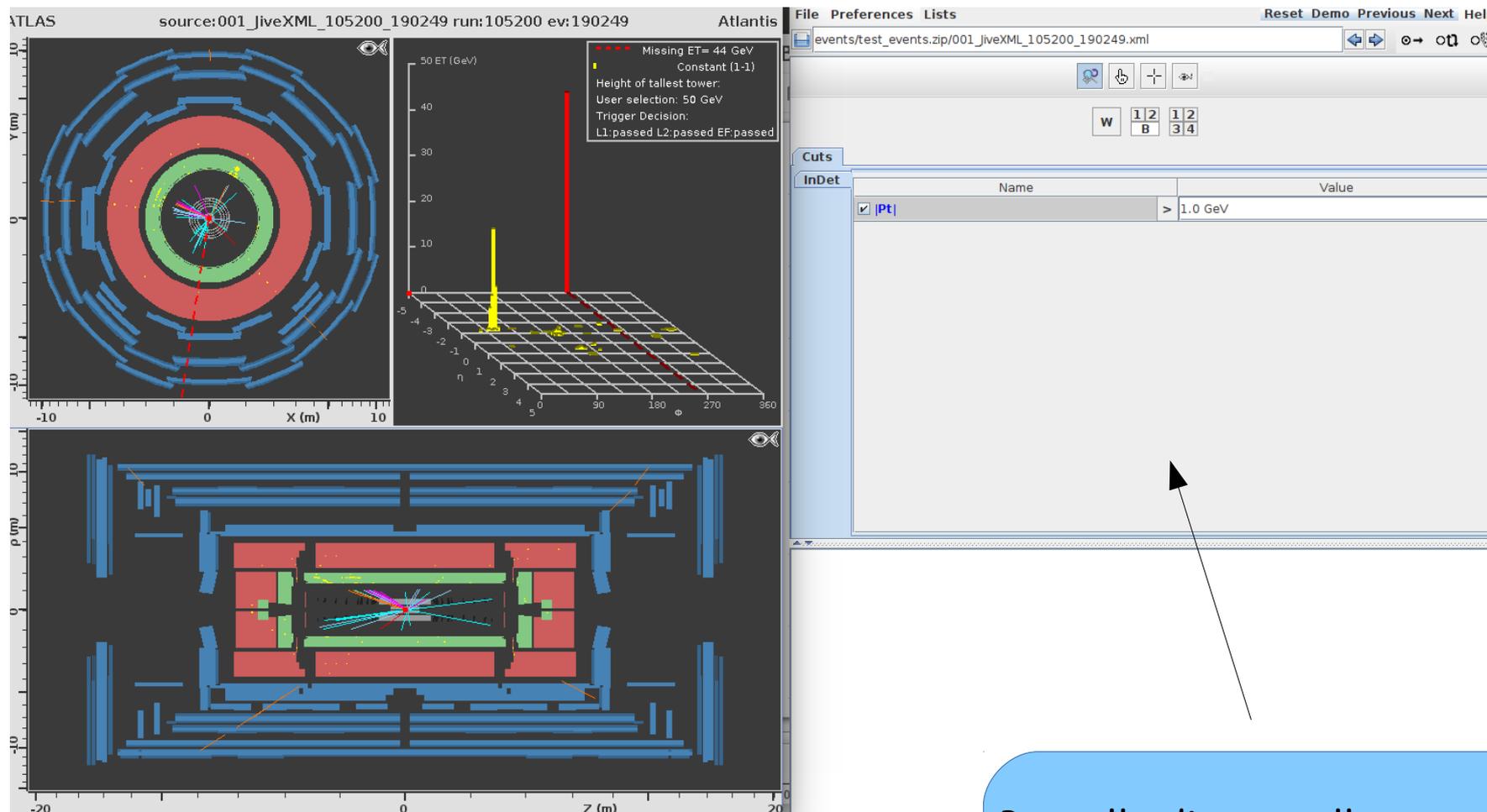
Minerva



Informazioni essenziali per svolgere l'esercizio pratico

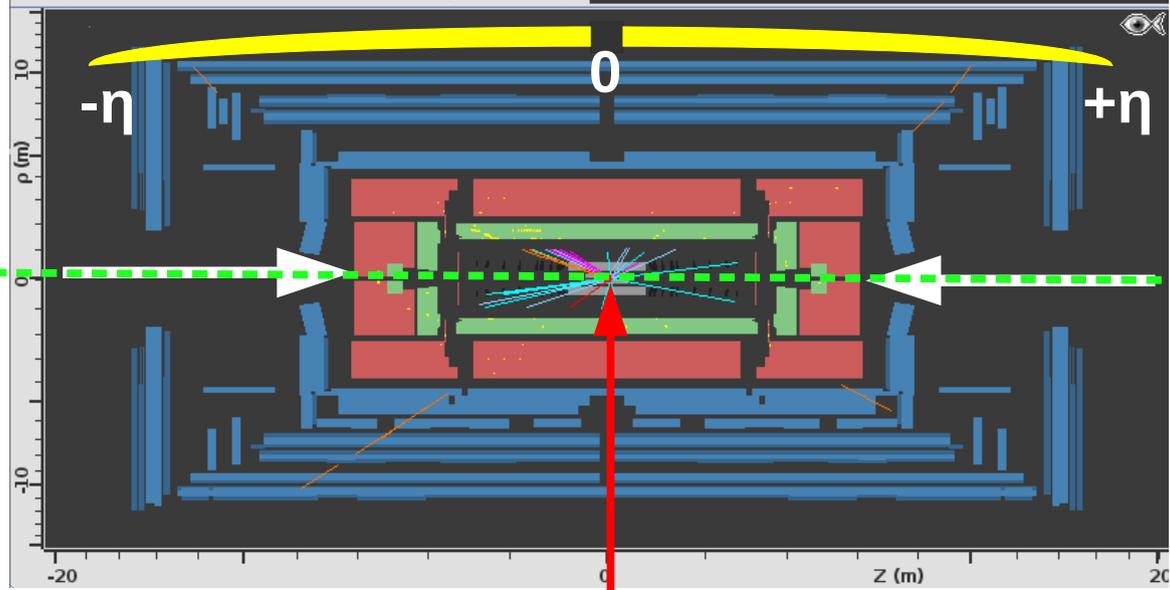
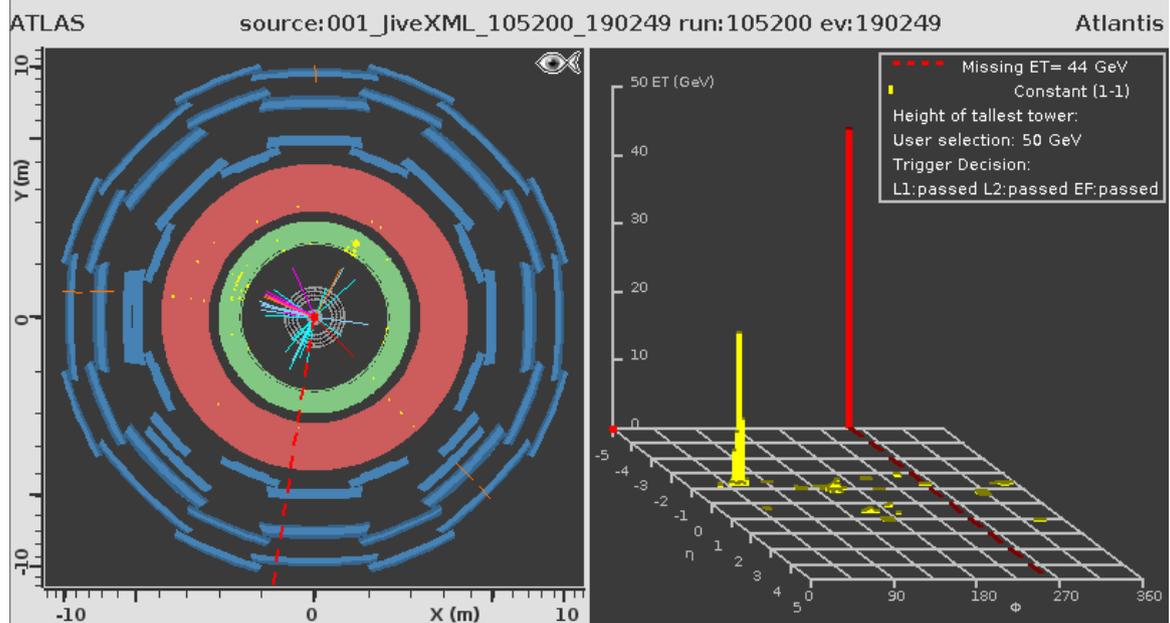
> Usare l'*eseguibile* adatto al vostro sistema operativo

MINERVA_Linux
MINERVA_Mac
MINERVA_Windows.bat

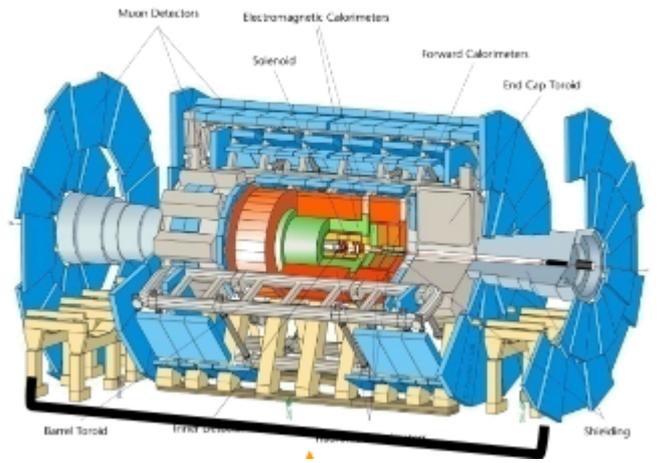


Rappresentazione grafica degli eventi (particelle prodotte) nel rivelatore dopo la collisione

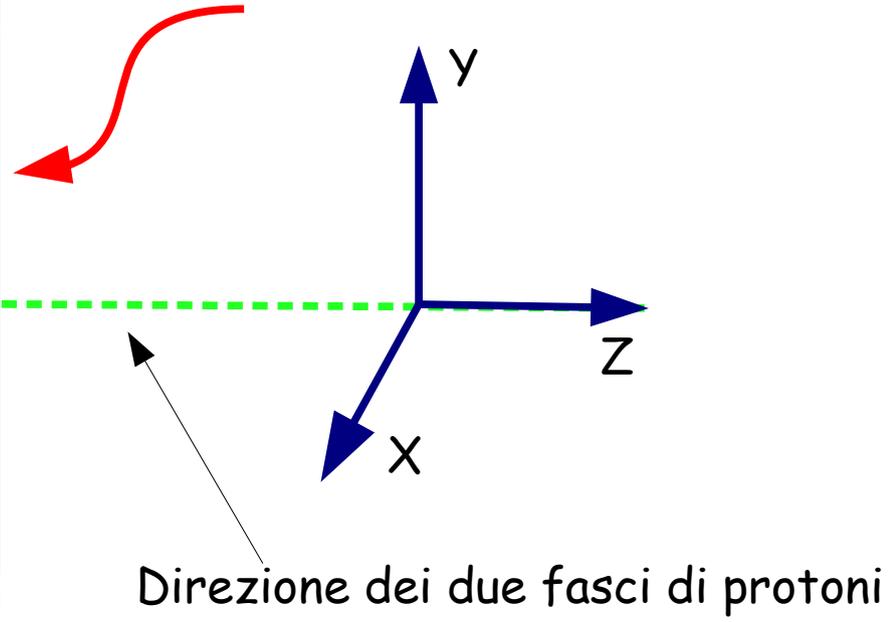
Pannello di controllo: caricamento dati & funzioni di scelta di eventi interessanti e relative informazioni

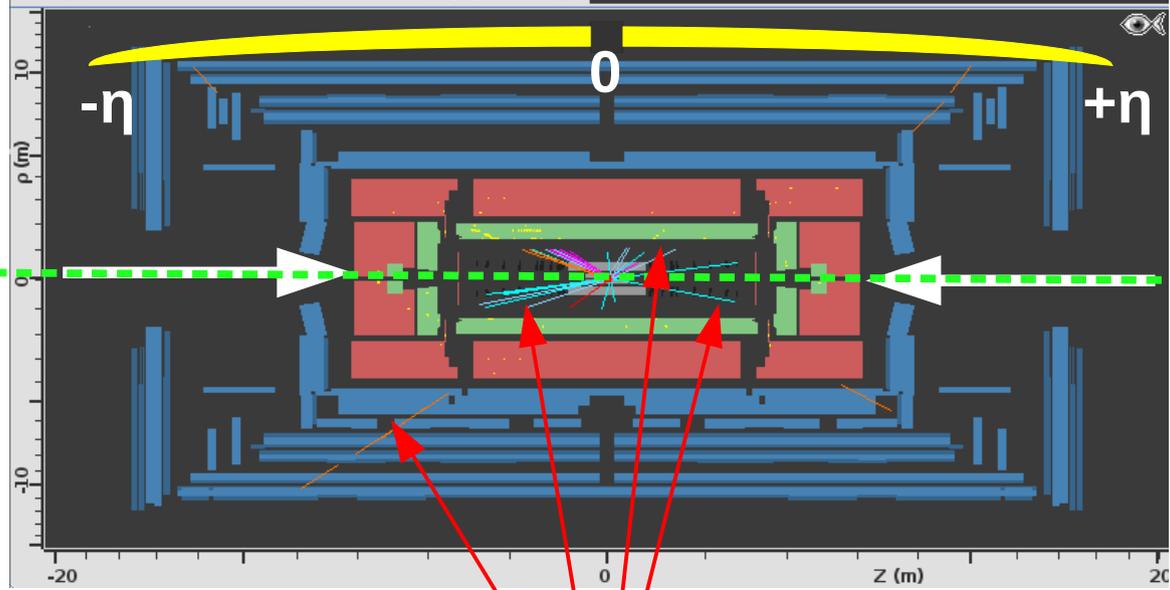
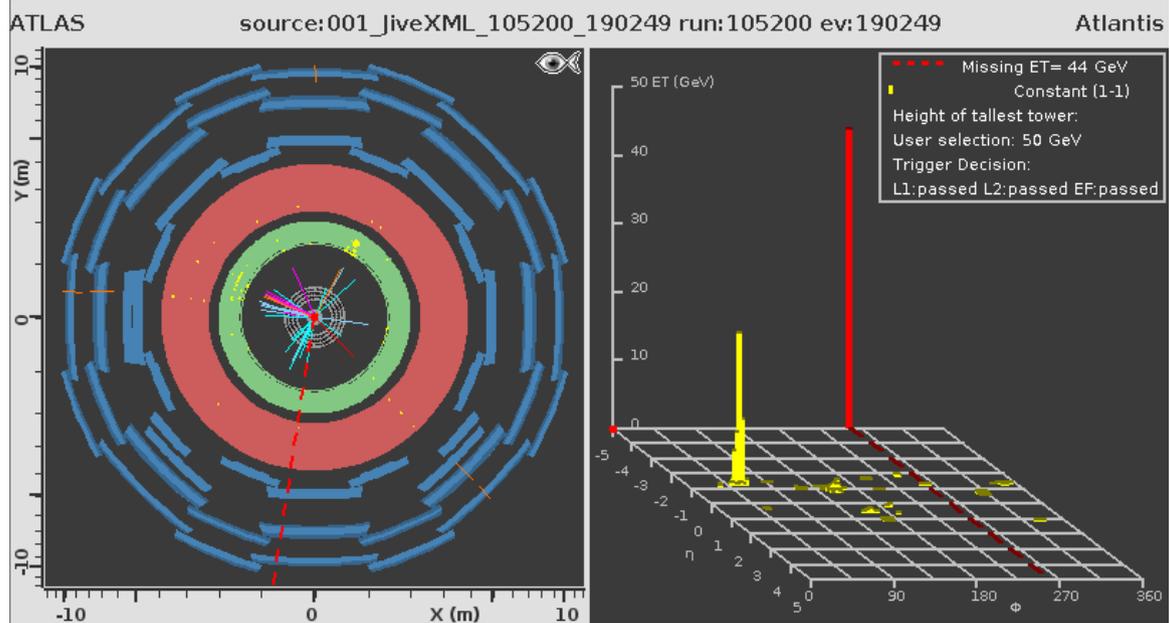


Punto di interazione

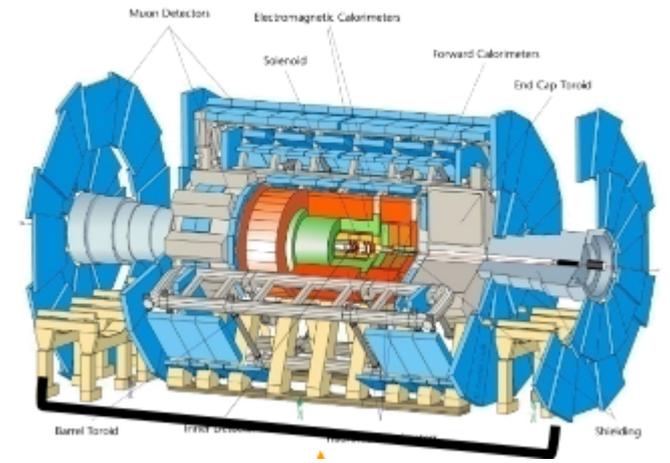


Vista laterale del rivelatore

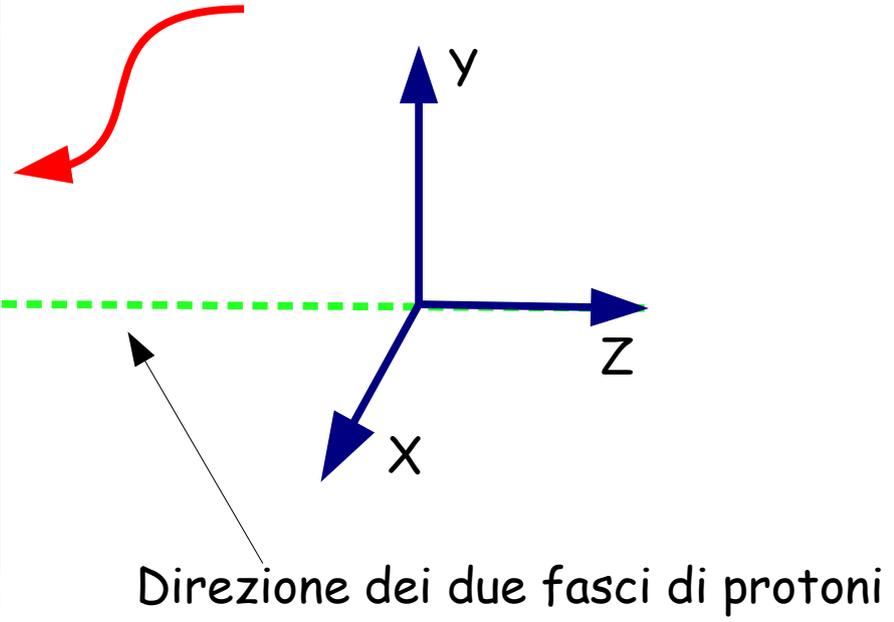


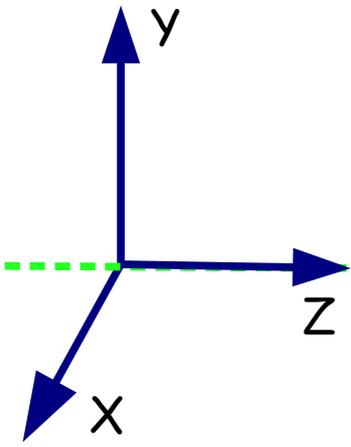
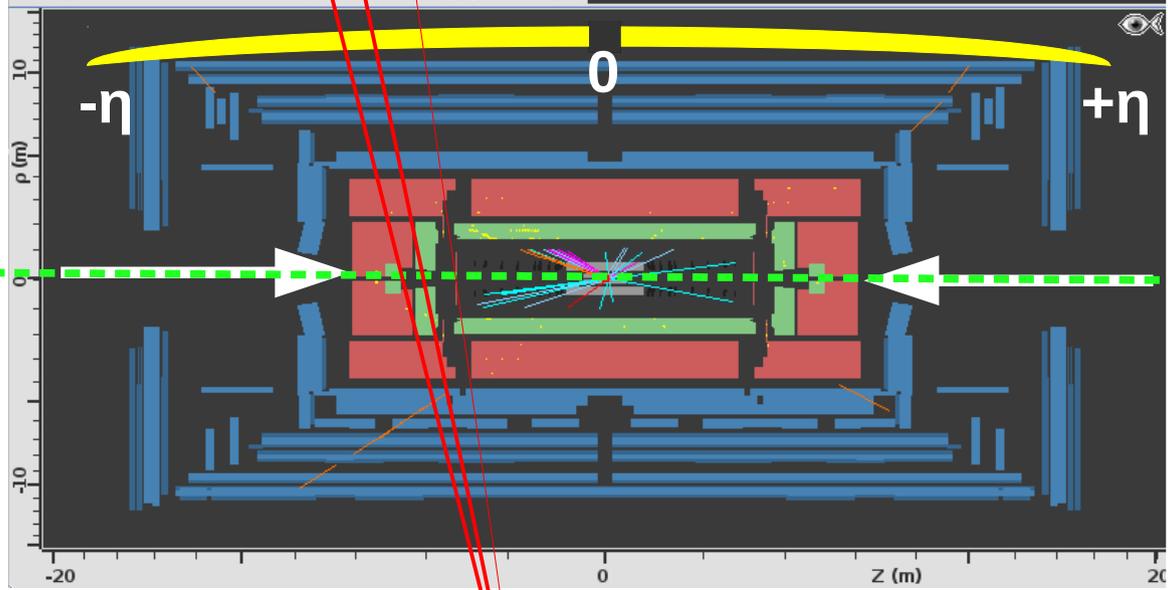
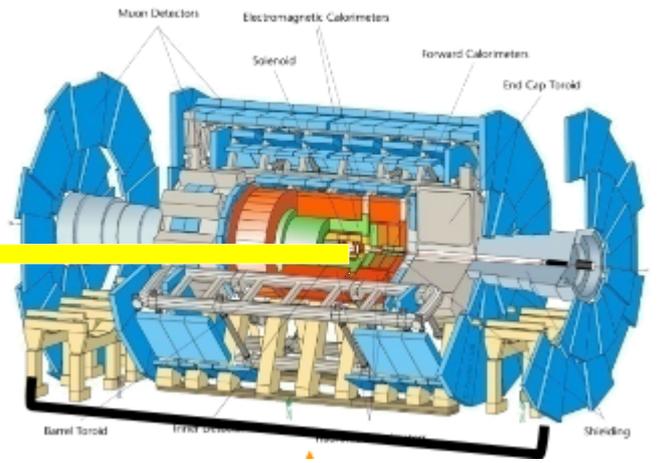
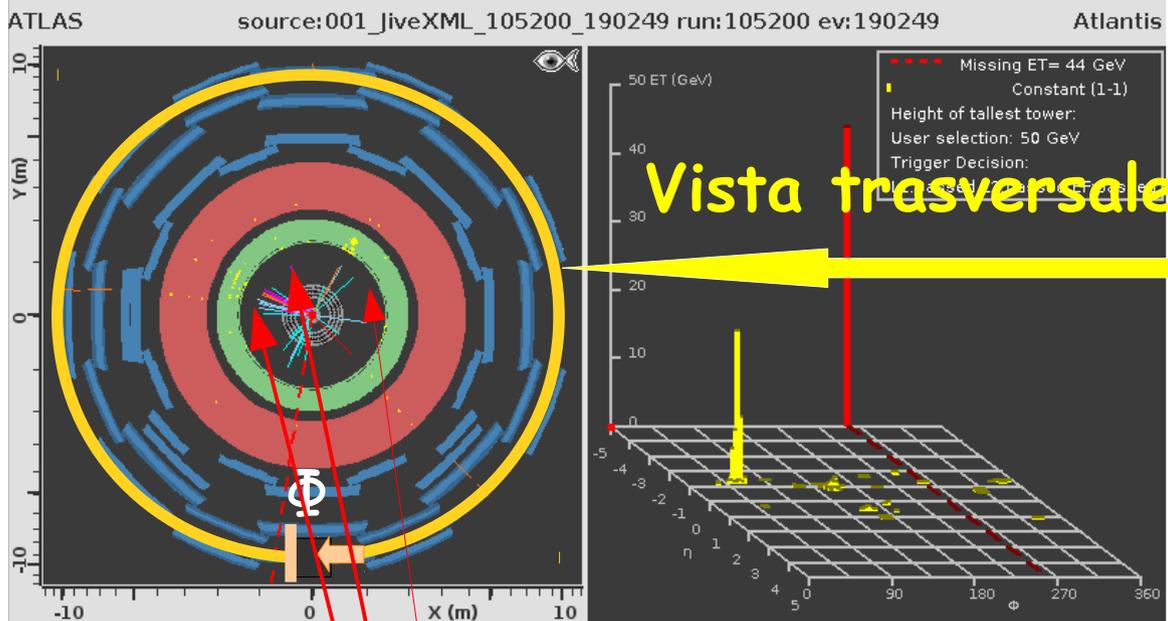


particelle di vari tipi dopo la collisione

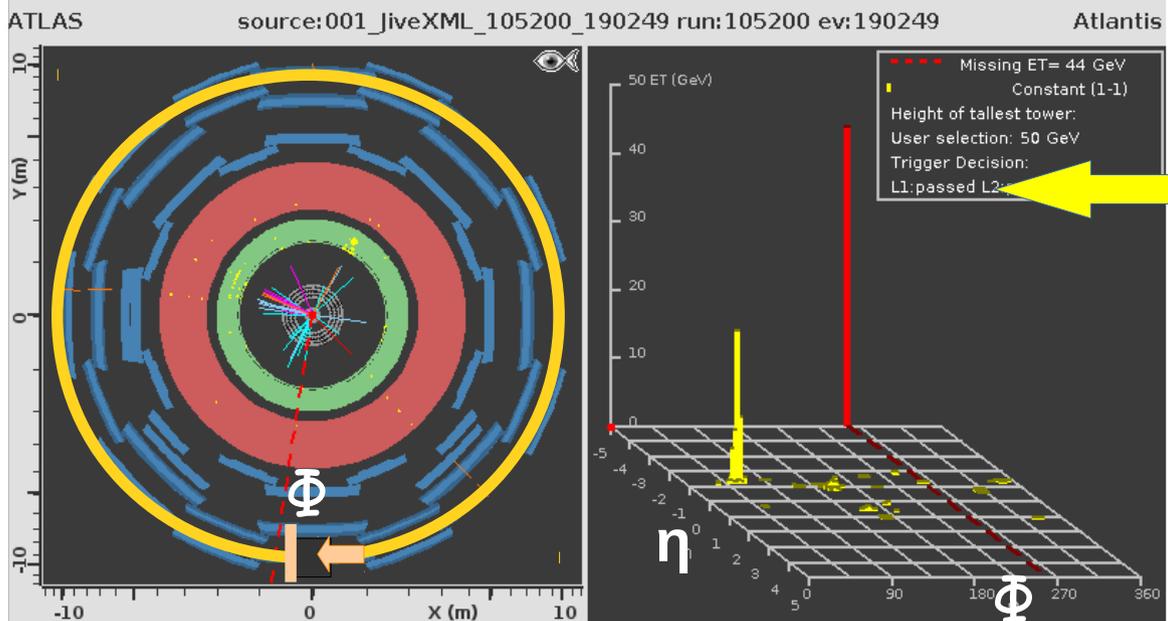


Vista laterale del rivelatore



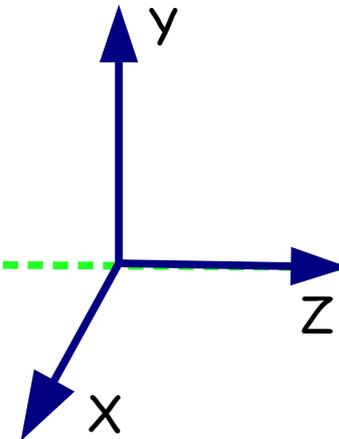
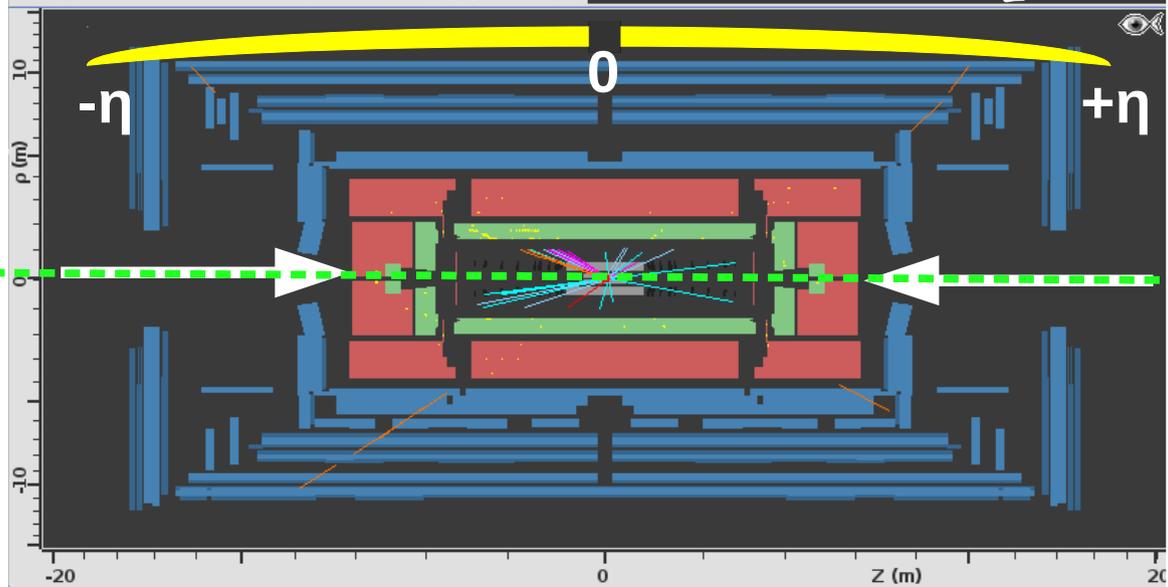


particelle di vari tipi dopo la collisione

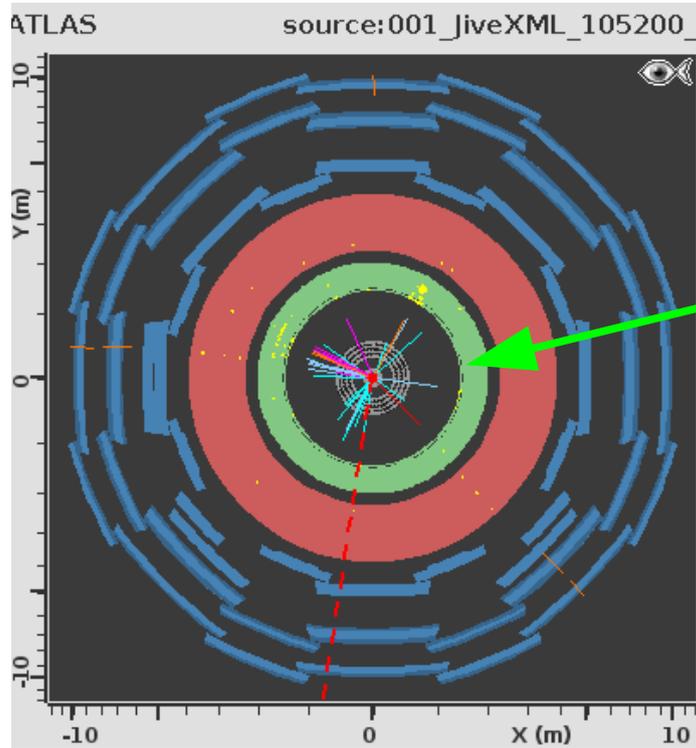


Lego plot

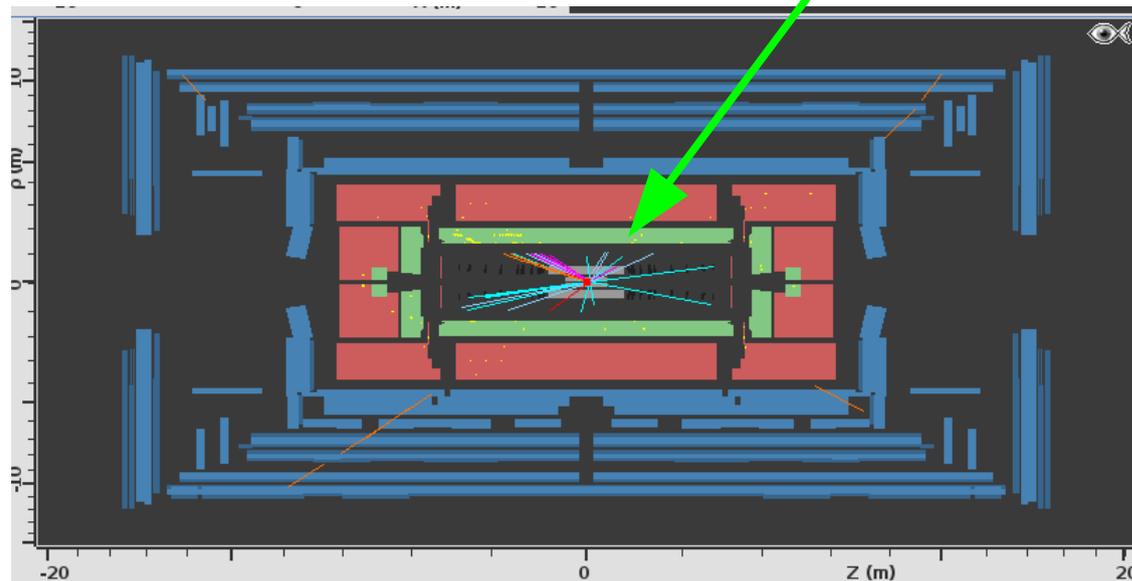
Energia delle particelle depositata nei vari rivelatori in funzione di η e Φ .



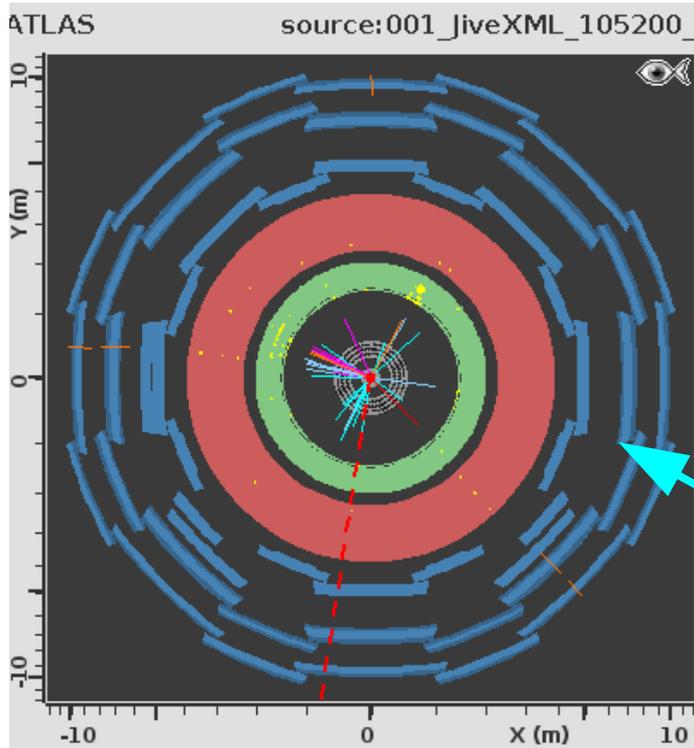
Informazioni di principale interesse per l'esercizio



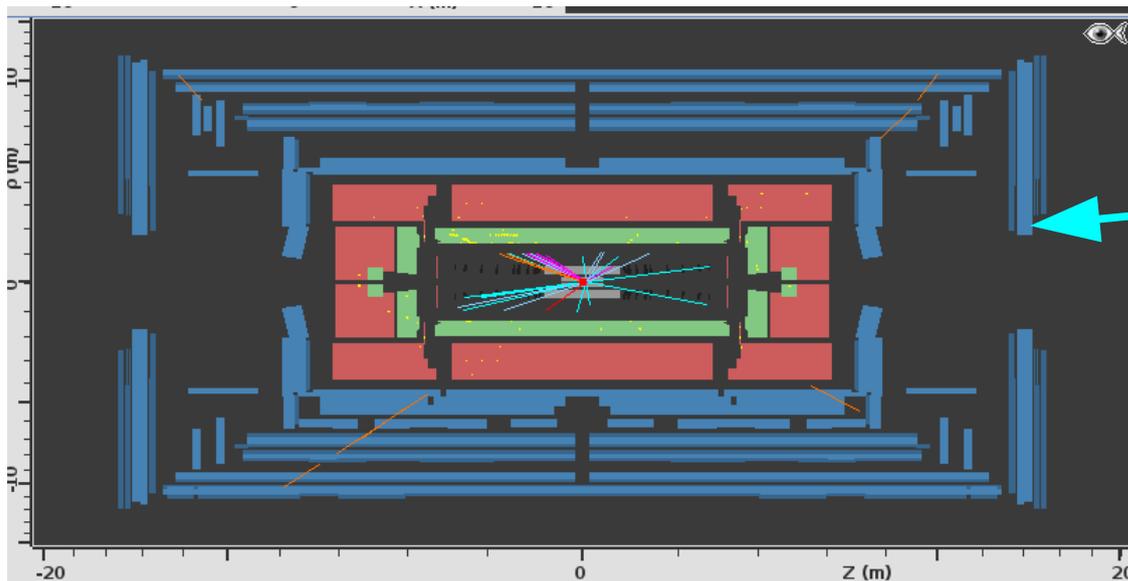
Calorimetro elettromagnetico
(zona **verde** interna)
rivelazione di **elettroni (e^-)** &
positroni (e^+)



Informazioni di principale interesse per l'esercizio

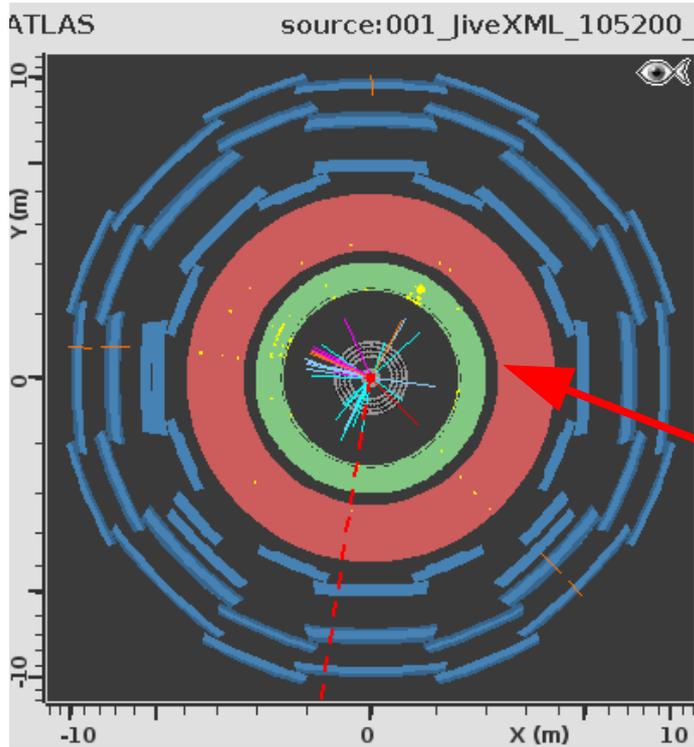


Calorimetro elettromagnetico
(zona **verde** interna)
rivelazione di **elettroni (e^-)** &
positroni (e^+)



Rivelatore muonico
(zona **blu** esterna)
rivelazione di **muoni (μ^-)** &
antimuoni (μ^+)

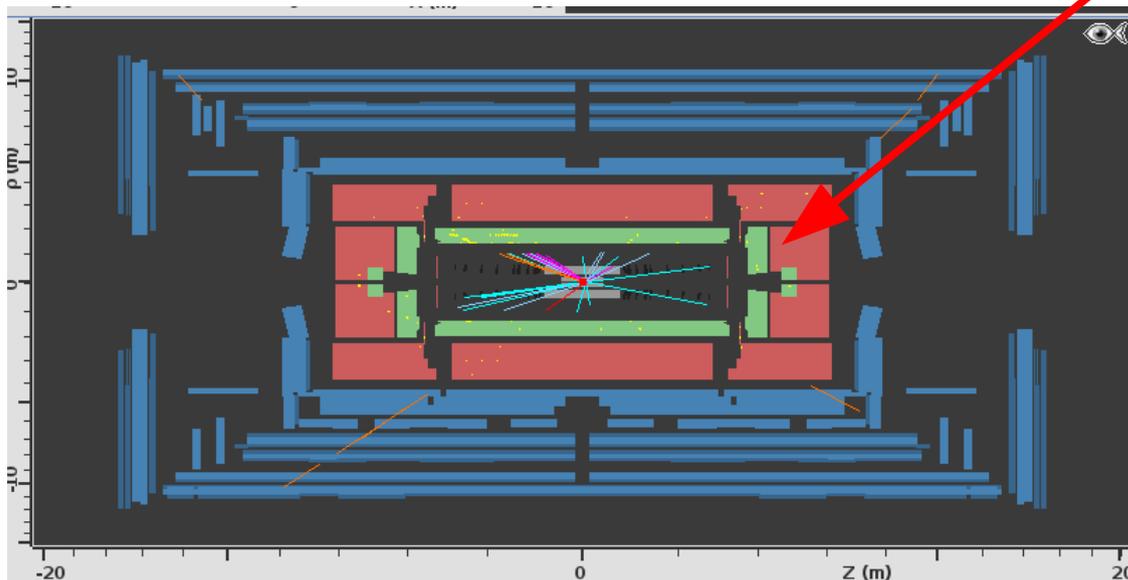
Informazioni di principale interesse per l'esercizio



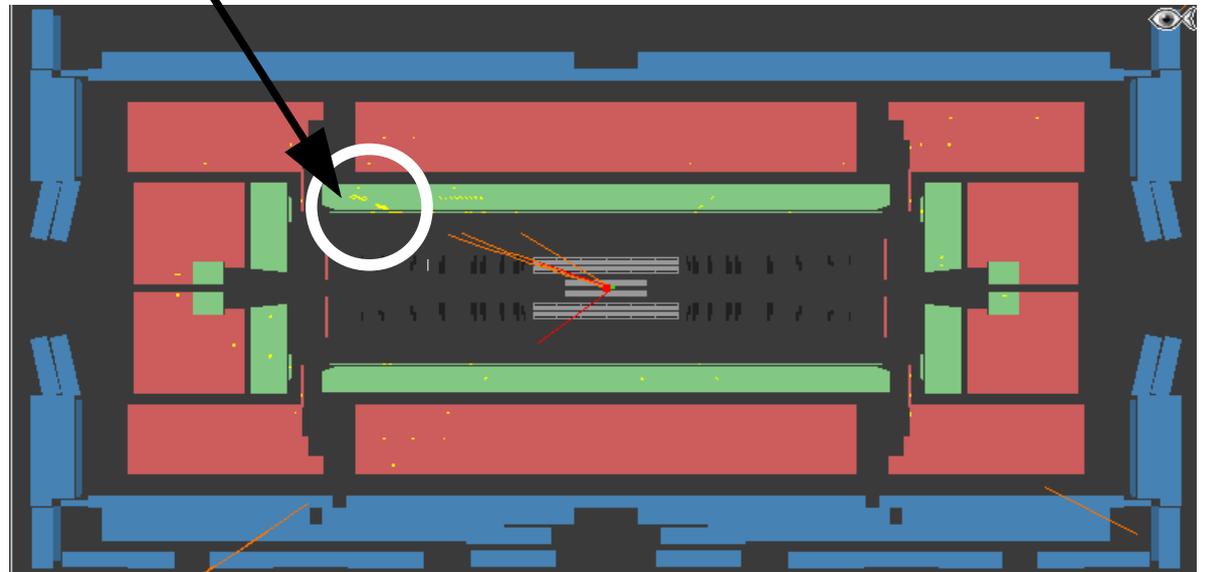
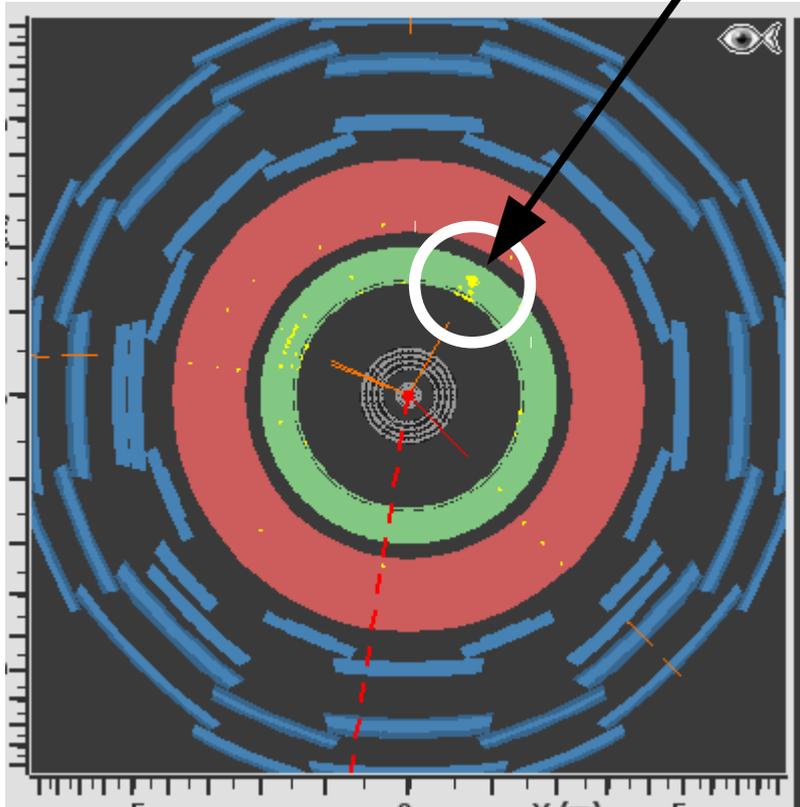
Calorimetro elettromagnetico
(zona **verde** interna)
rivelazione di **elettroni (e^-)** &
positroni (e^+)

Calorimetro adronico
(zona **rossa** intermedia)
rivelazione di (jets di) adroni

Rivelatore muonico
(zona **blu** esterna)
rivelazione di **muoni (μ^-)** &
antimuoni (μ^+)

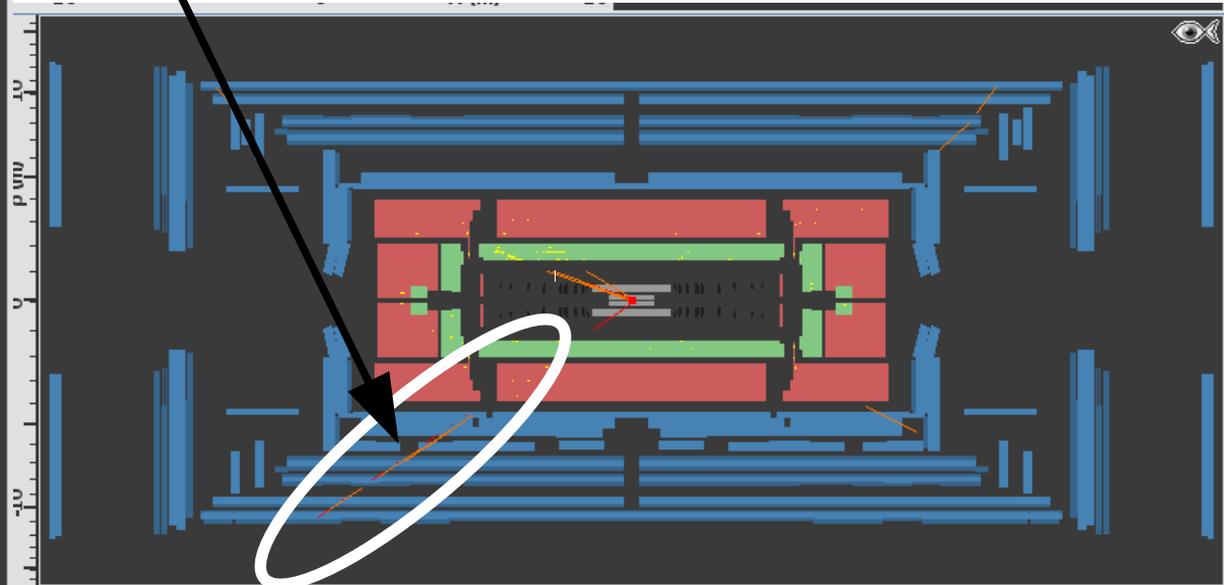
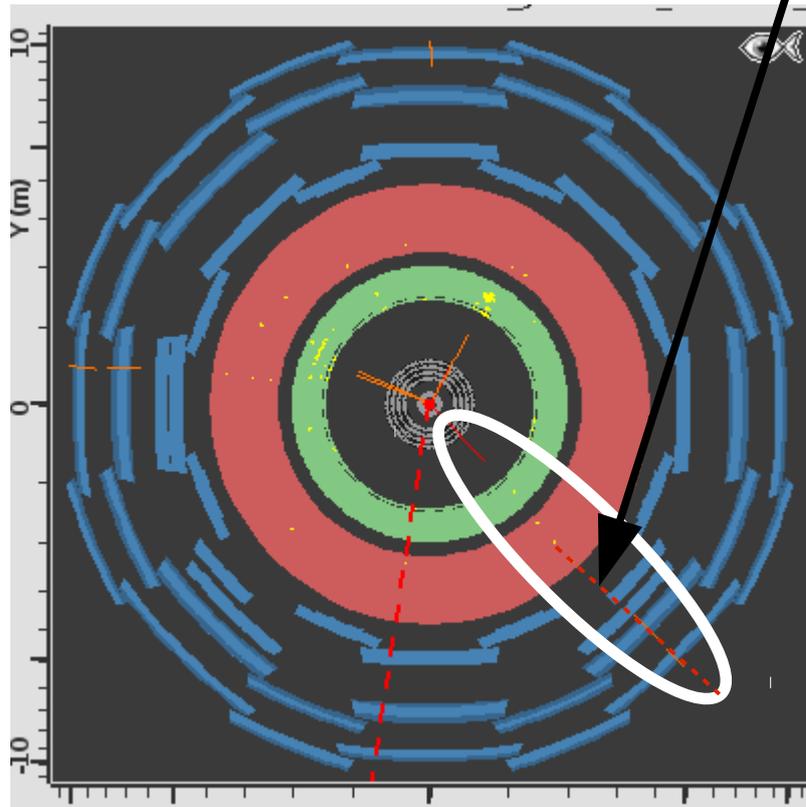


Cercare segnali lasciati da elettroni e positroni
nel calorimetro elettromagnetico (zona **verde**)



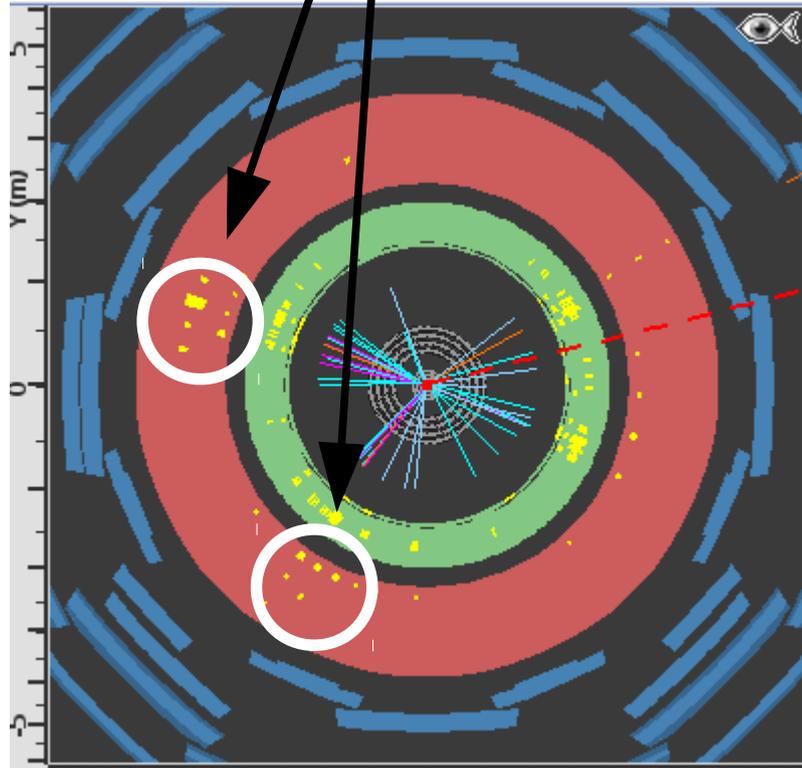
Identificazione di elettroni e positroni

Cercare segnali lasciati da muoni e antimuoni
nel rivelatore muonico (zona **blu**)



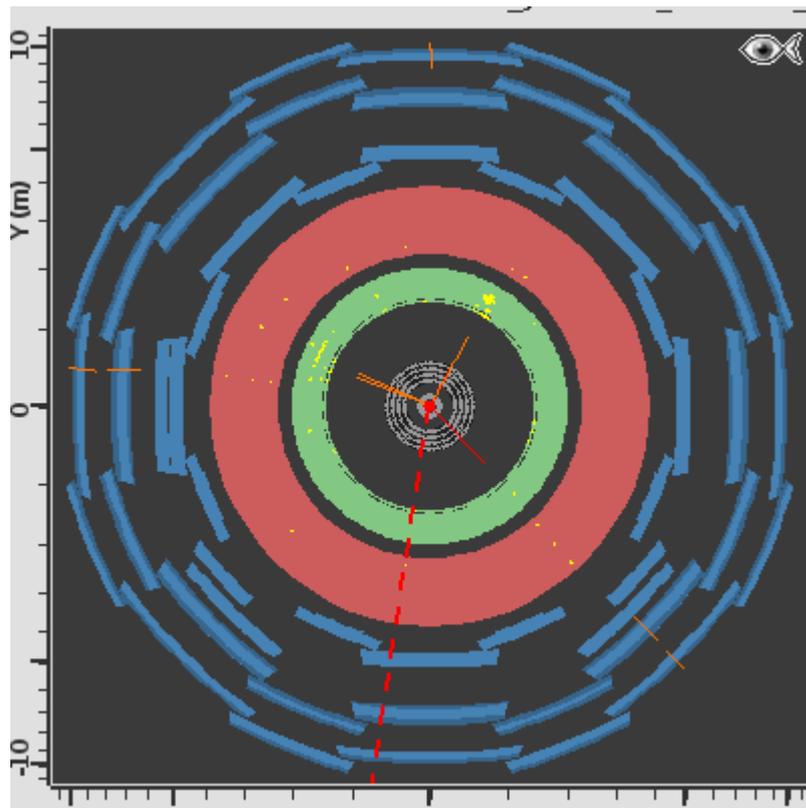
Identificazione di muoni e antimuoni

Cercare segnali lasciati da adroni (in jet)
nel calorimetro adronico (zona **rossa**)

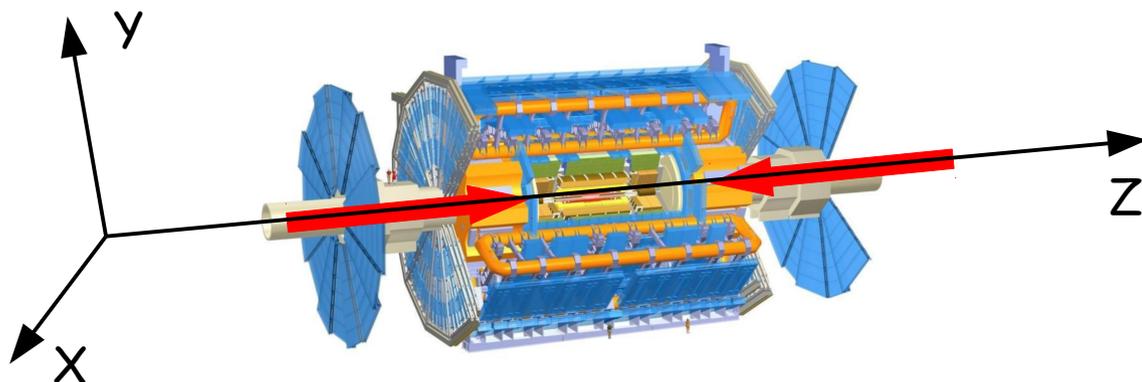


Identificazione di adroni (in jet)

Identificazione dei neutrini attraverso l'energia mancante



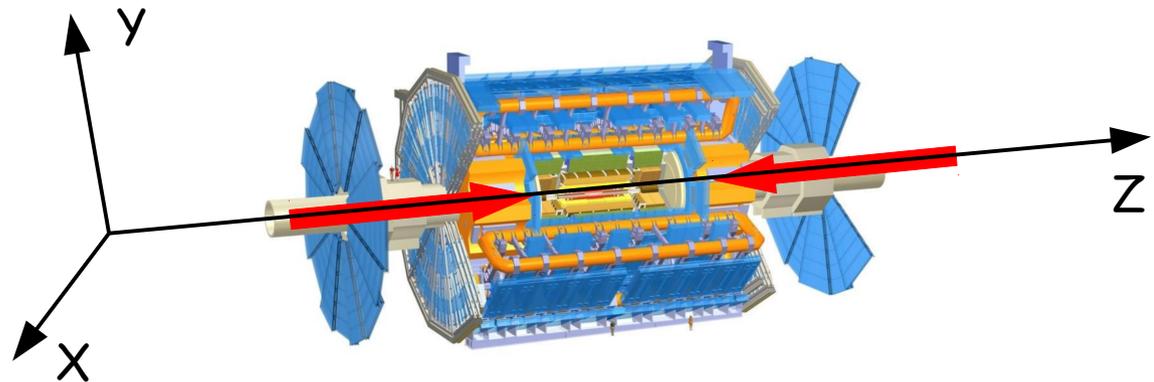
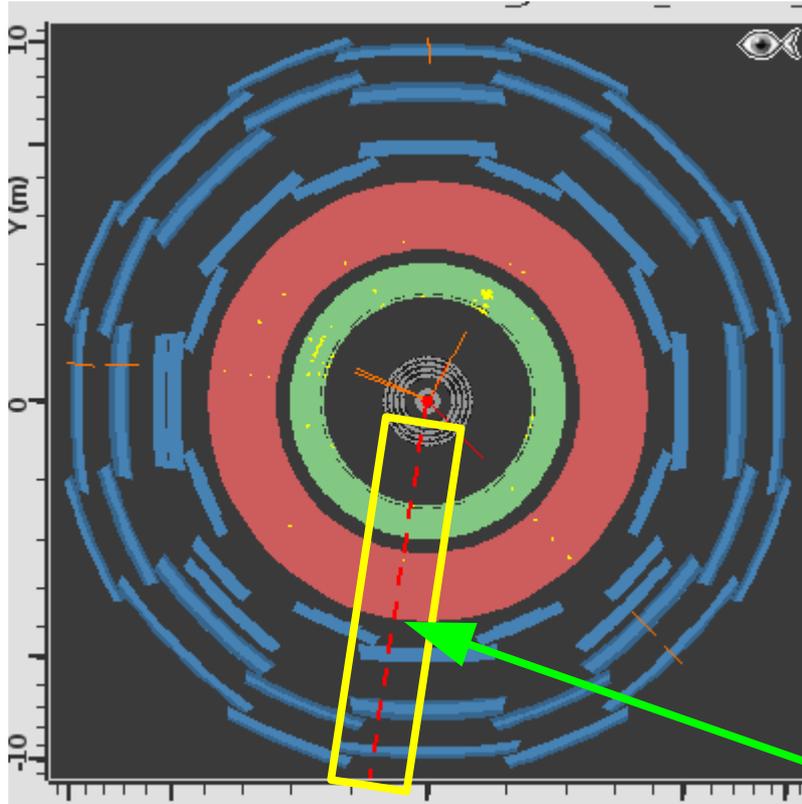
- I protoni collidenti si muovono lungo Z. Pertanto l'impulso lungo X e Y è nullo.
- Per la conservazione dell'impulso esso deve essere nullo lungo X e Y anche dopo la collisione.



- Se viene creato un neutrino, esso non può essere rivelato direttamente perchè interagisce molto debolmente con la materia.
- Tuttavia il suo impulso è dedotto dopo un'accurata misurazione dell'impulso di tutte le altre particelle da cui si può dedurre anche la sua **Energia Mancante (Missing Energy Transverse → MET)**.

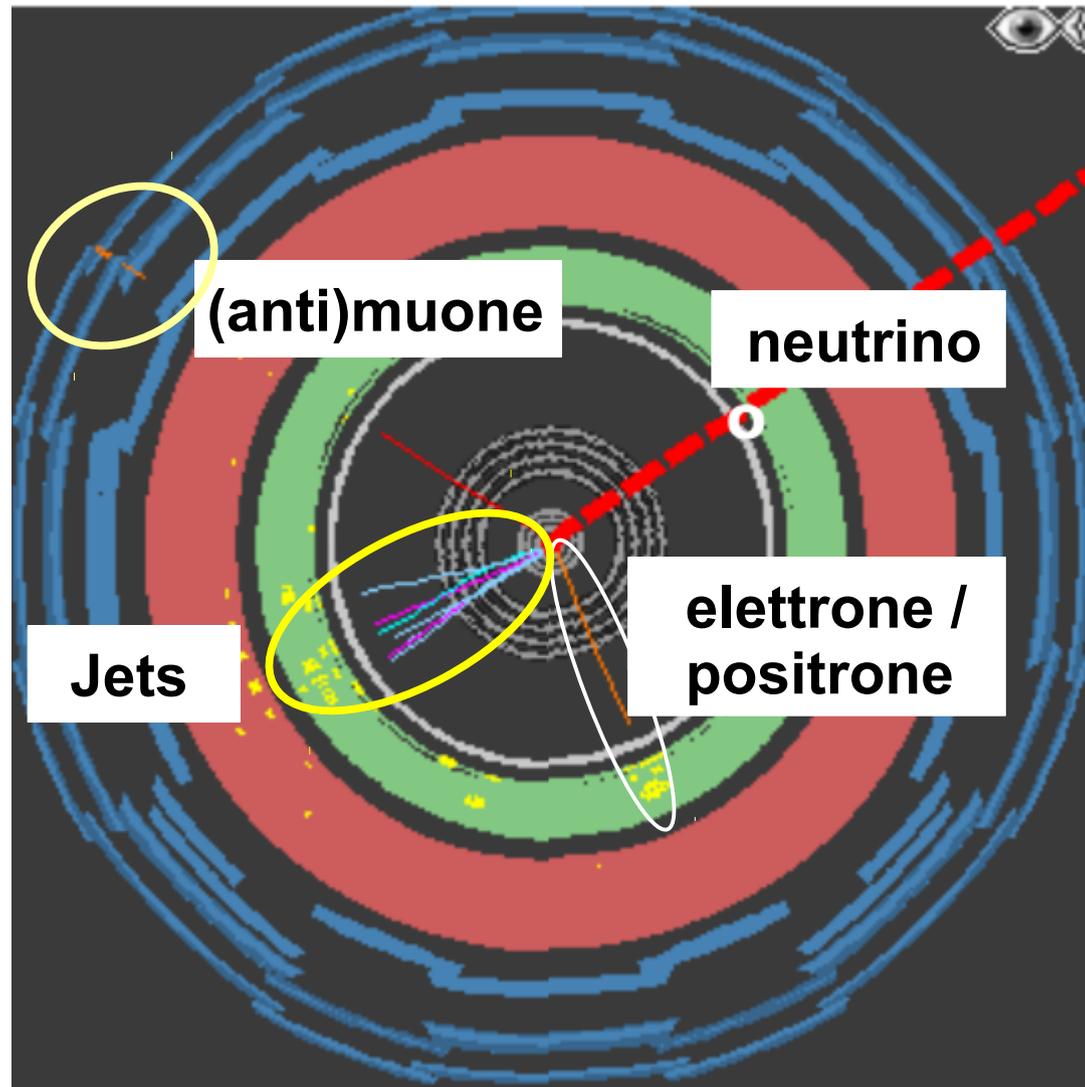
Identificazione dei neutrini dall'energia mancante

- I protoni collidenti si muovono lungo Z. Pertanto l'impulso lungo X e Y è nullo.
- Per conservazione dell'impulso esso deve essere nullo lungo X e Y anche dopo la collisione.

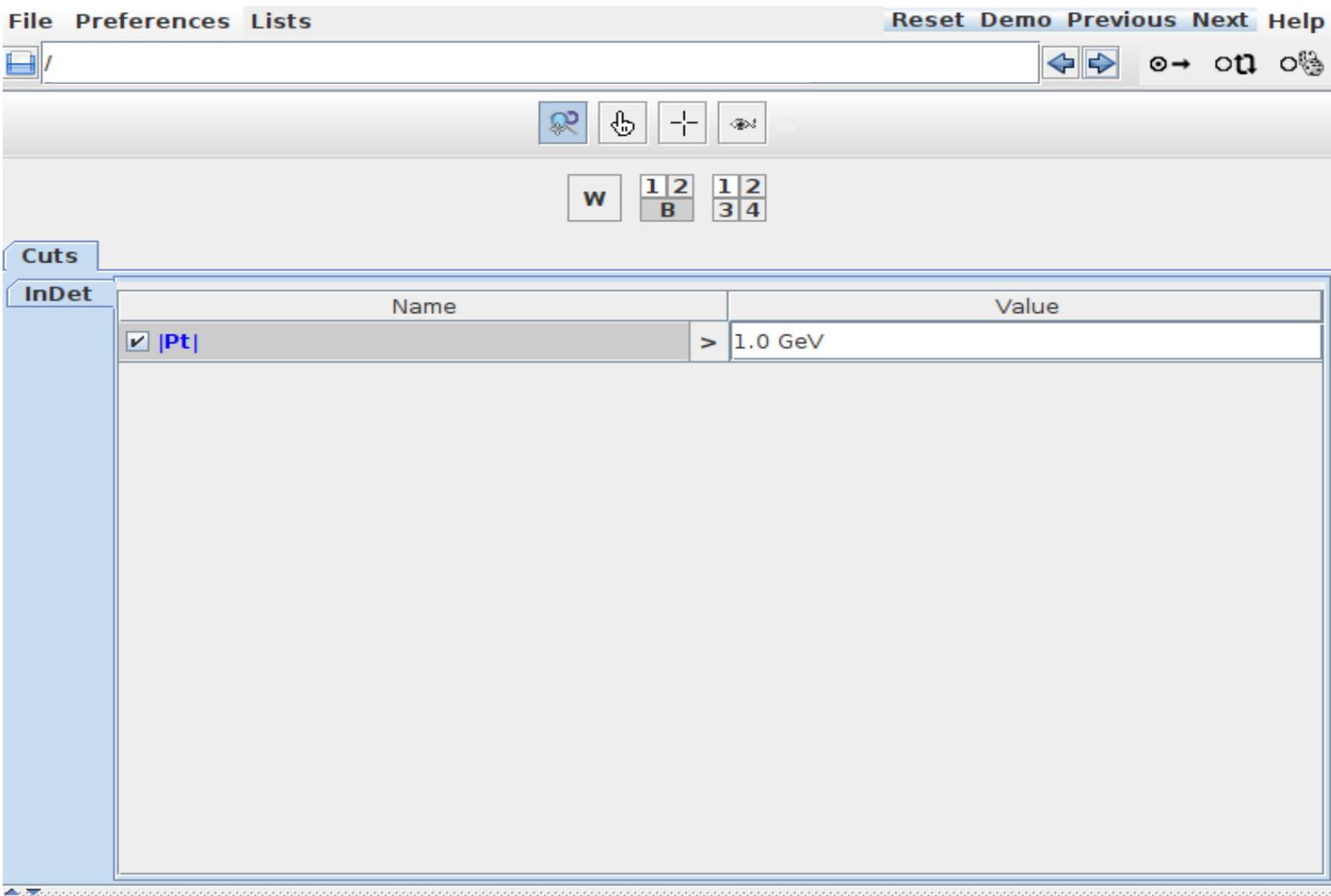


- Se viene creato un neutrino, esso non è possibile essere rivelato direttamente perchè non interagisce con la materia che molto debolmente.
- Tuttavia il suo impulso è dedotto dopo un'accurata misurazione dell'impulso di tutte le altre particelle da cui si può dedurre anche la sua **Energia Mancante (Missing Energy Transverse → MET)**.

In sintesi: identificazione tracce delle particelle nei rivelatori



Linee guida per l'uso del pannello di controllo

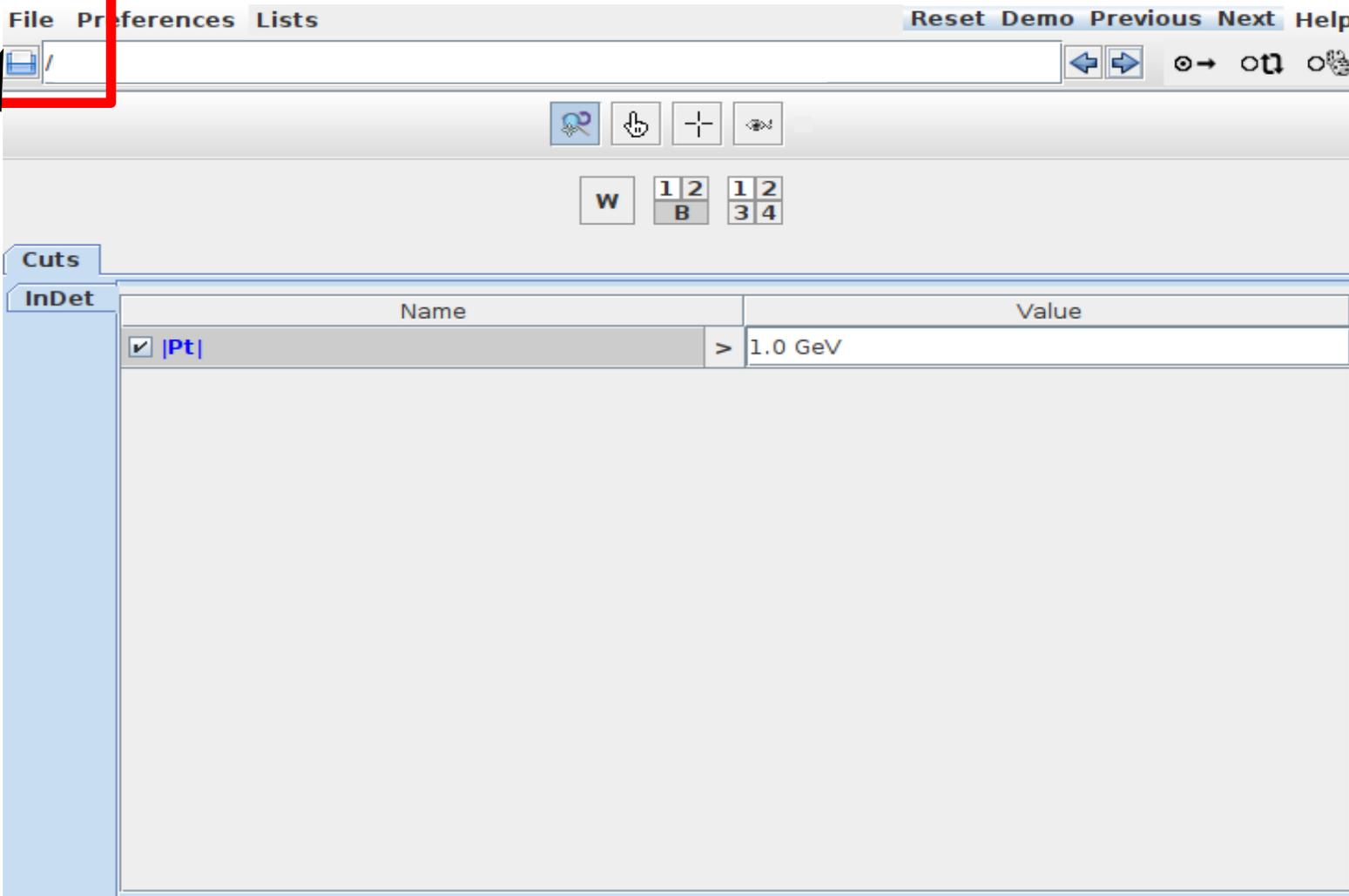


6K_13_186878_39 34563_33.xml (1868780039 34563)

6K_14_186923_121776231_659.xml (18692300121776231)

6K_15_186878_49 34282_39.xml (1868780049 34282)

Caricare il set di dati



The screenshot shows a software interface with a menu bar at the top containing 'File', 'Preferences', and 'Lists'. To the right of the menu bar are buttons for 'Reset Demo', 'Previous', 'Next', and 'Help'. Below the menu bar is a toolbar with icons for file operations and navigation. A red box highlights the 'File' menu icon, with a black arrow pointing to it from the left. Below the toolbar is a control panel with a 'W' button and a 2x2 grid of buttons labeled '1 2', 'B', '1 2', and '3 4'. The main area of the interface is a table with the following structure:

Cuts	
InDet	
Name	Value
<input checked="" type="checkbox"/> Pt	> 1.0 GeV

At the bottom of the interface, there is a list of XML files:

- 6K_13_186878_39 34563_33.xml (1868780039 34563)
- 6K_14_186923_121776231_659.xml (18692300121776231)
- 6K_15_186878_49 34282_39.xml (1868780049 34282)

Caricare il set di dati



- Cliccare su **File** e scegliere **Read events locally** poi caricare il set di dati assegnato e.g. 5F.zip e così via.

Avanti - indietro nei dati

The screenshot shows a software interface with a menu bar (File, Preferences, Lists, Reset, Memo, Previous, Next, Help) and a toolbar. A red box highlights the navigation buttons: a left arrow, a right arrow, and a circular arrow. A black arrow points from the right arrow button towards the bottom right of the image.

Below the toolbar are several icons: a magnifying glass, a hand, a plus sign, and a minus sign. Below these are two 2x2 grids of buttons labeled 'W' and 'B'.

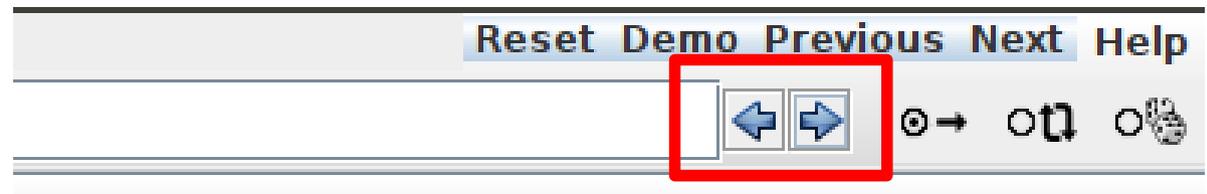
The main area contains a table with the following data:

Cuts	
InDet	
Name	Value
<input checked="" type="checkbox"/> Pt	> 1.0 GeV

At the bottom of the interface, there is a list of XML files:

- 6K_13_186878_39 34563_33.xml (1868780039 34563)
- 6K_14_186923_121776231_659.xml (18692300121776231)
- 6K_15_186878_49 34282_39.xml (1868780049 34282)

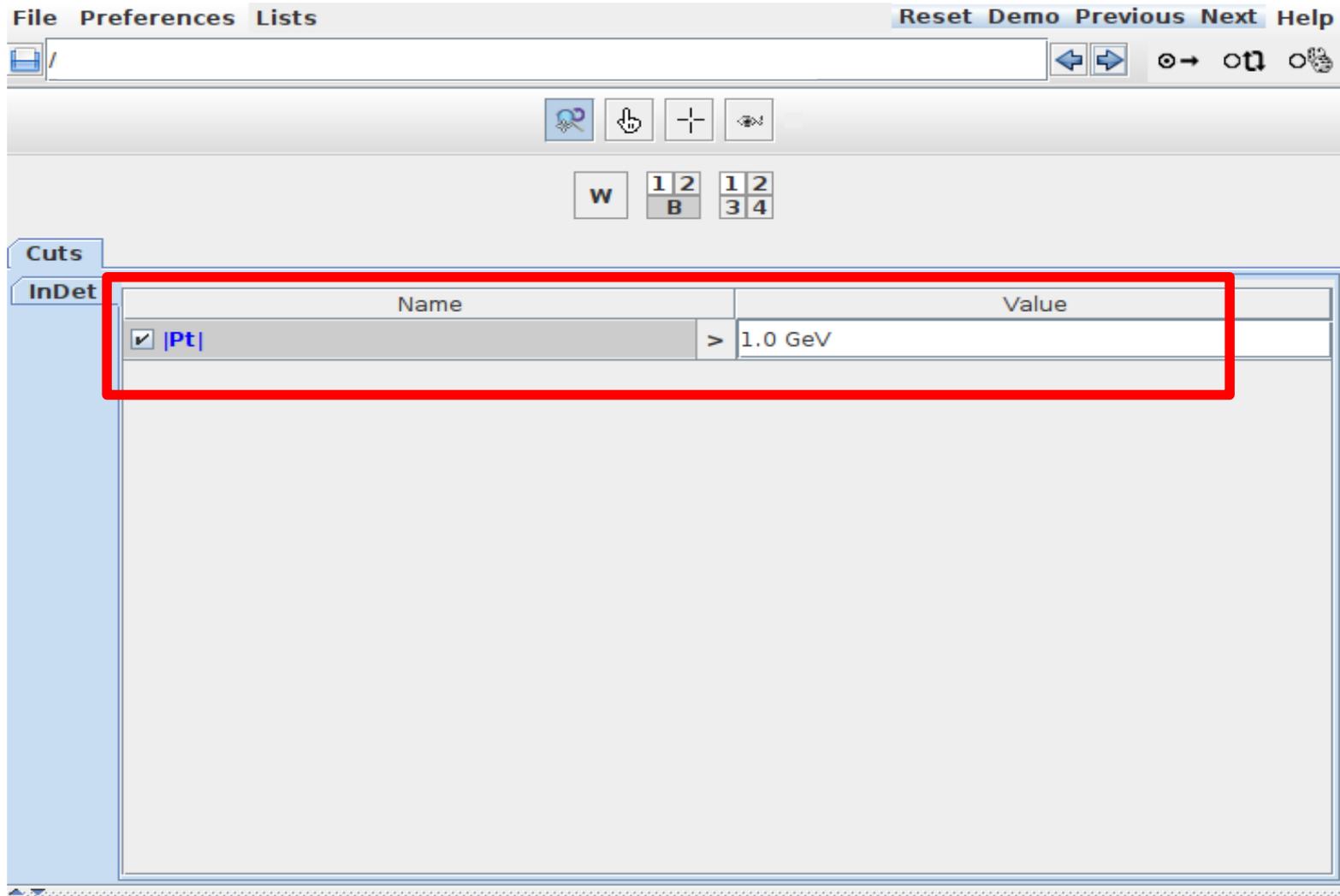
Avanti - indietro nei dati



- Usare le frecce **blu** per andare avanti e indietro nel set di dati:

freccia destra → avanti, freccia sinistra → indietro.

Aggiustare il valore di soglia dell'impulso P_+



The screenshot shows a software interface with a menu bar (File, Preferences, Lists, Reset, Demo, Previous, Next, Help) and a toolbar. Below the toolbar, there are several control buttons including a search icon, a hand icon, a plus sign, and a refresh icon. A table with two columns, 'Name' and 'Value', is displayed. The table contains one row with a checked checkbox, the name '|Pt|', a greater-than sign '>', and the value '1.0 GeV'. This row is highlighted with a red rectangular box.

	Name		Value
<input checked="" type="checkbox"/>	Pt	>	1.0 GeV

6K_13_186878_39 34563_33.xml (1868780039 34563)

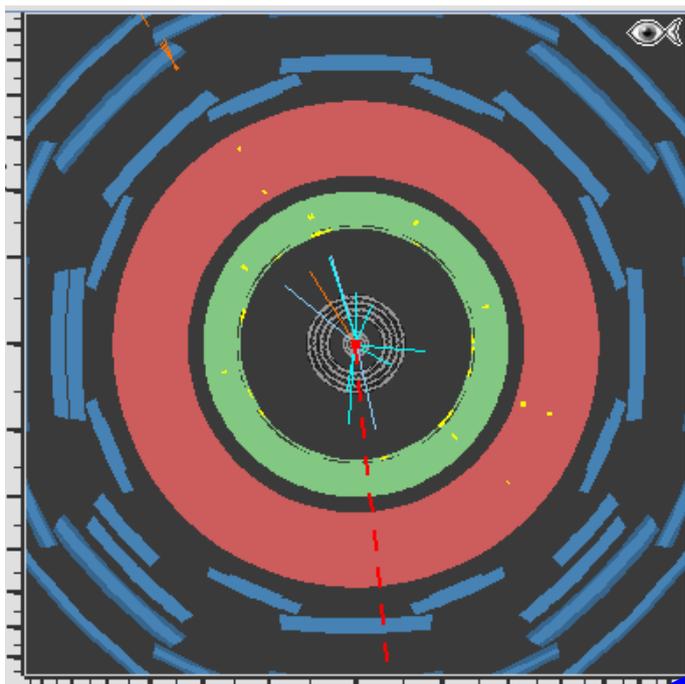
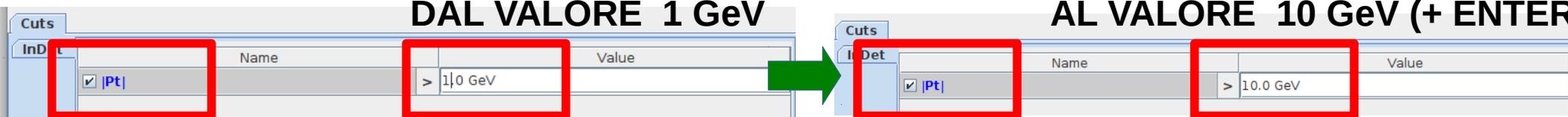
6K_14_186923_121776231_659.xml (18692300121776231)

6K_15_186878_49 34282_39.xml (1868780049 34282)

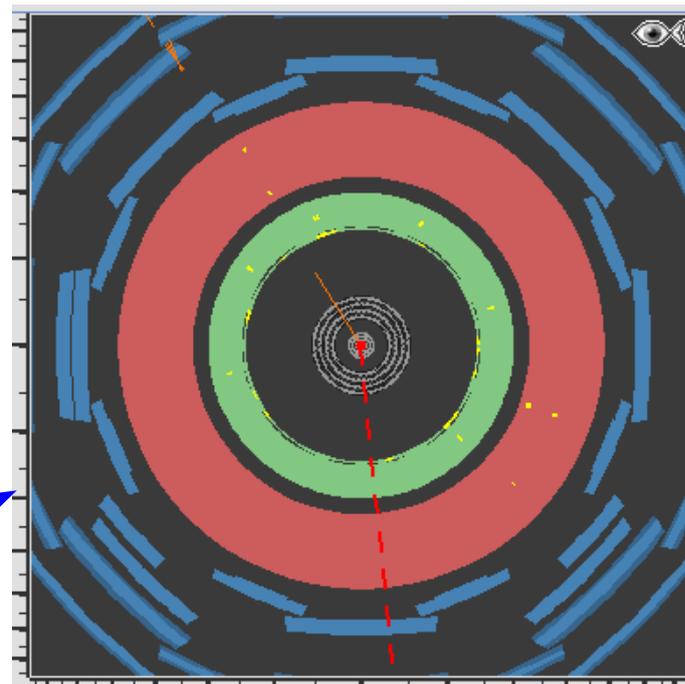
Aggiustare il valore di soglia dell'impulso P_+
per ottenere **SOLO** gli eventi significativi per questo esercizio

DAL VALORE 1 GeV

AL VALORE 10 GeV (+ ENTER)



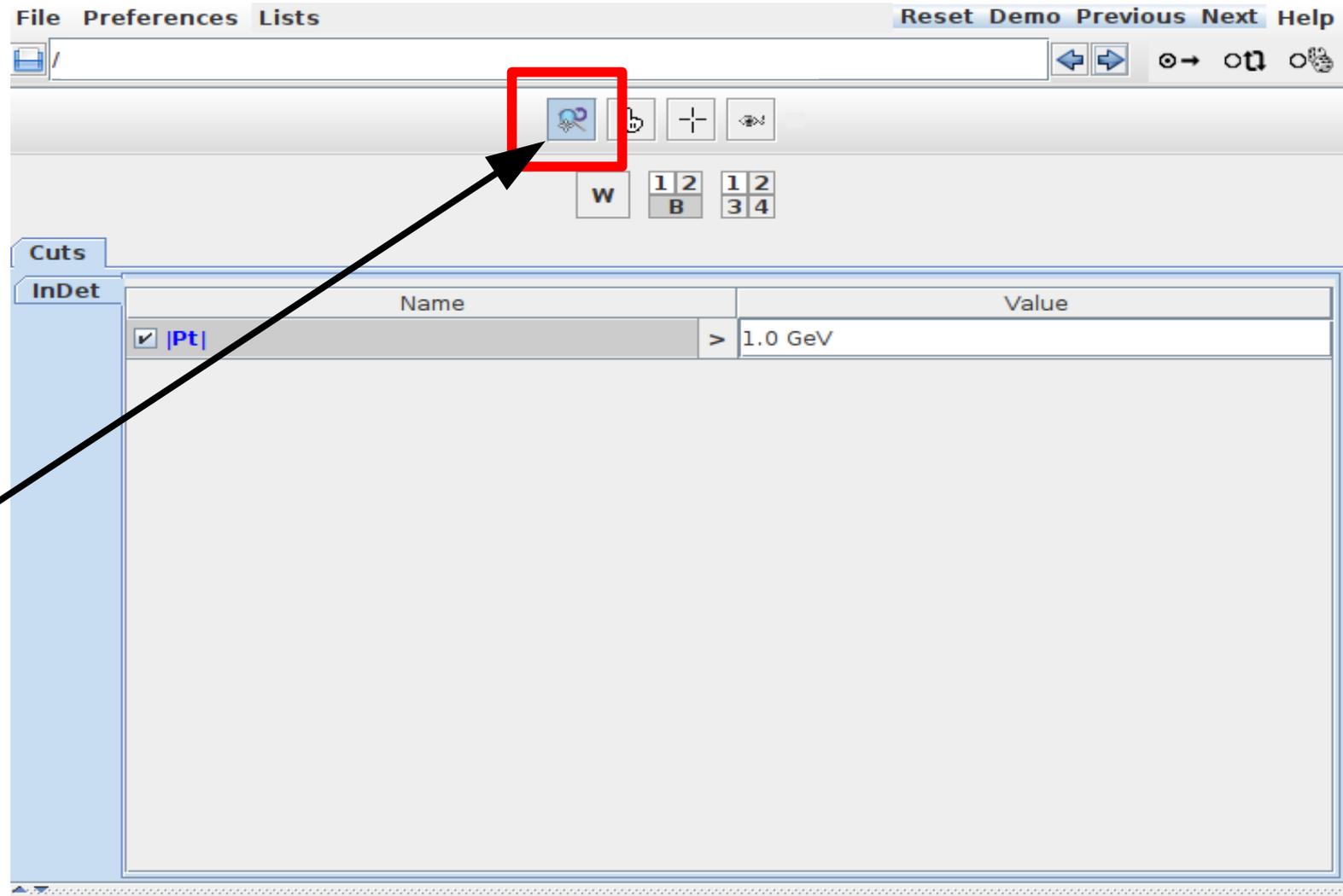
prima



dopo

Immagine **semplificata** che mostra gli eventi che possono essere di interesse

Funzioni molto utili: Zoom



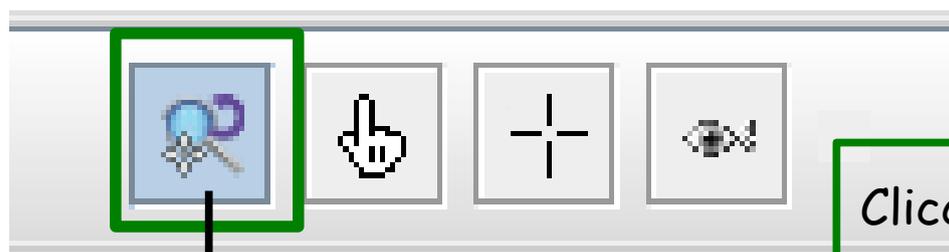
6K_13_186878_39 34563_33.xml (1868780039 34563)

6K_14_186923_121776231_659.xml (18692300121776231)

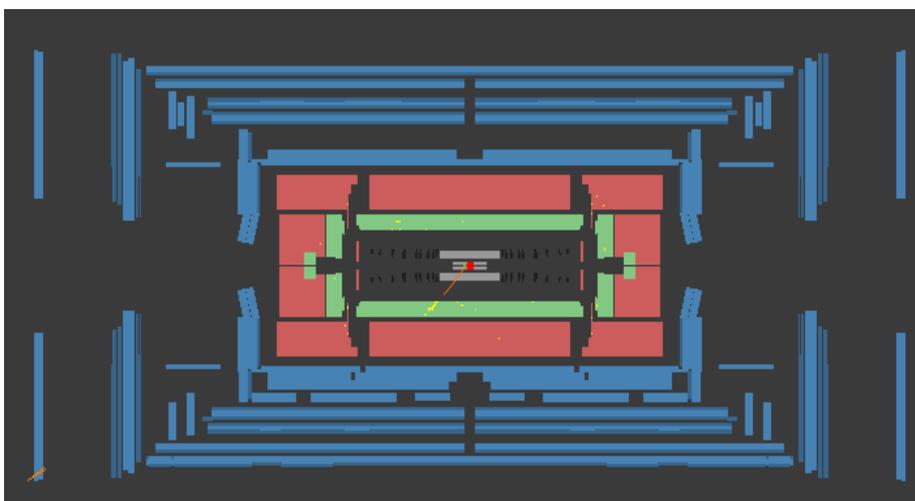
6K_15_186878_49 34282_39.xml (1868780049 34282)

Funzioni molto utili

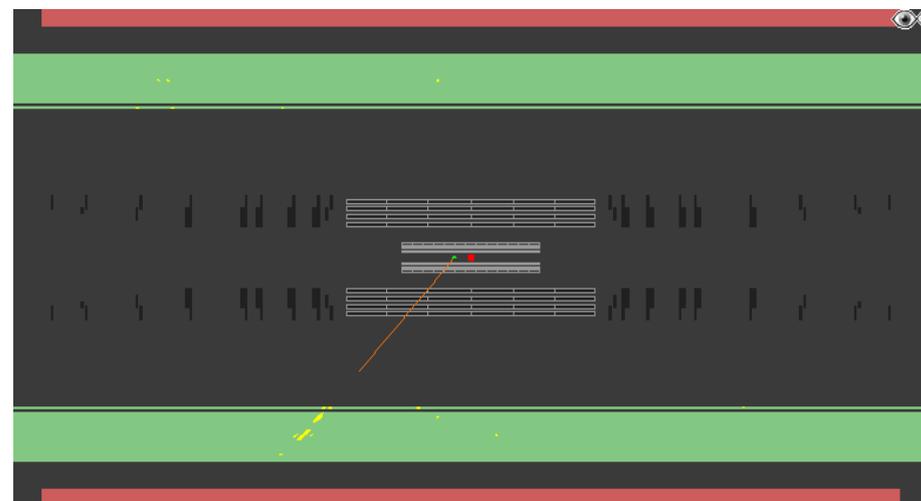
1.



Cliccando prima su questo simbolo e **successivamente** spostando il mouse sui grafici dei rivelatori si può ottenere **l'ingrandimento** dell'immagine in modo da poter avere una visione più dettagliata dell'interazione avvenuta.



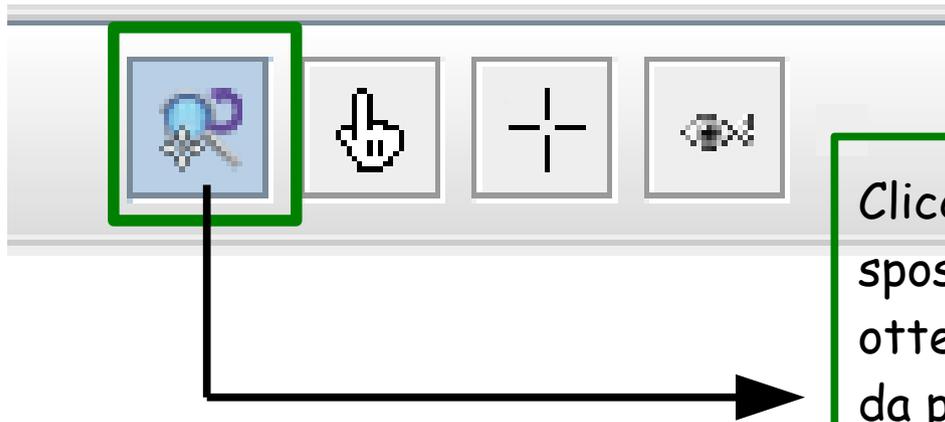
senza zoom



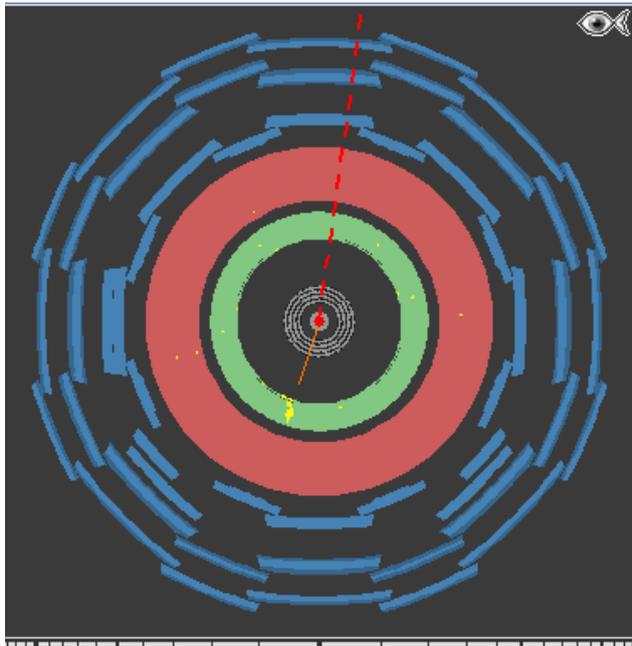
con zoom

Funzioni molto utili

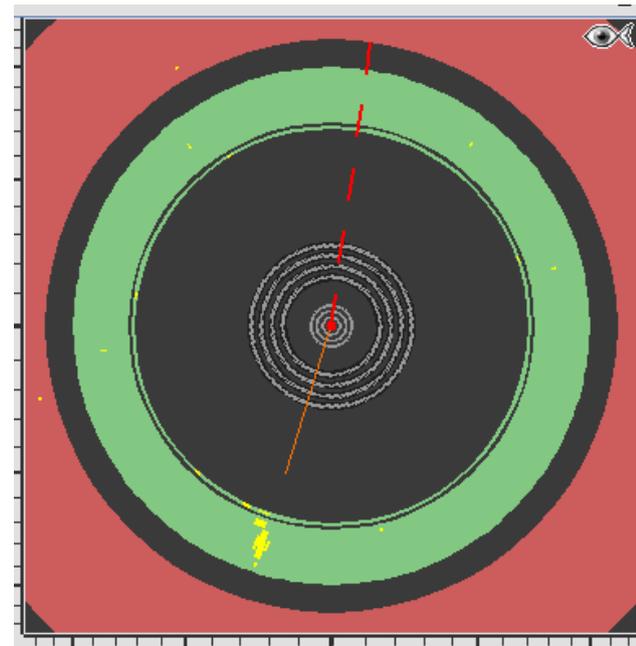
1.



Cliccando prima su questo simbolo e **successivamente** spostando il mouse sui grafici dei rivelatori si può ottenere **l'ingrandimento** dell'immagine in modo da poter avere una visione più dettagliata dell'interazione avvenuta.



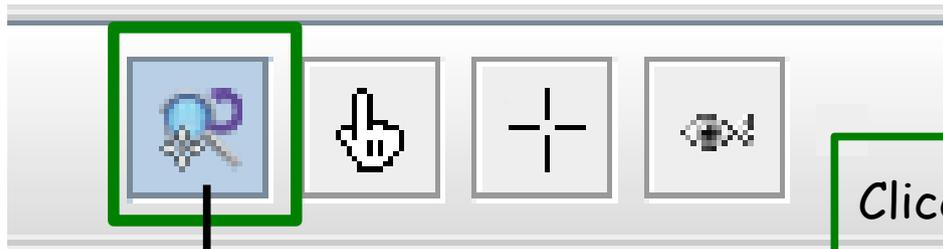
senza zoom



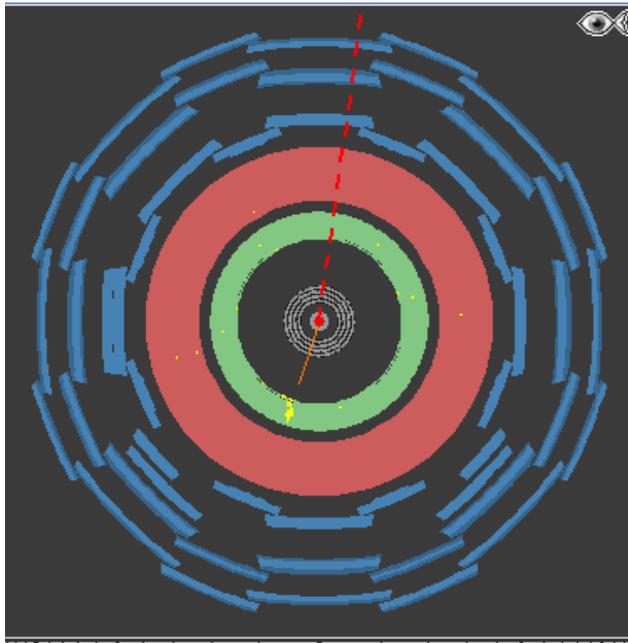
con zoom

Funzioni molto utili

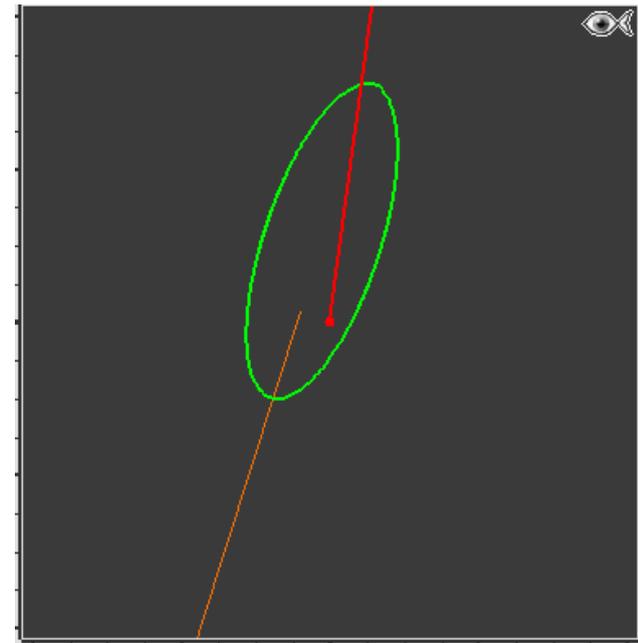
1.



Cliccando prima su questo simbolo e **successivamente** spostando il mouse sui grafici dei rivelatori si può ottenere **l'ingrandimento** dell'immagine in modo da poter avere una visione più dettagliata dell'interazione avvenuta.



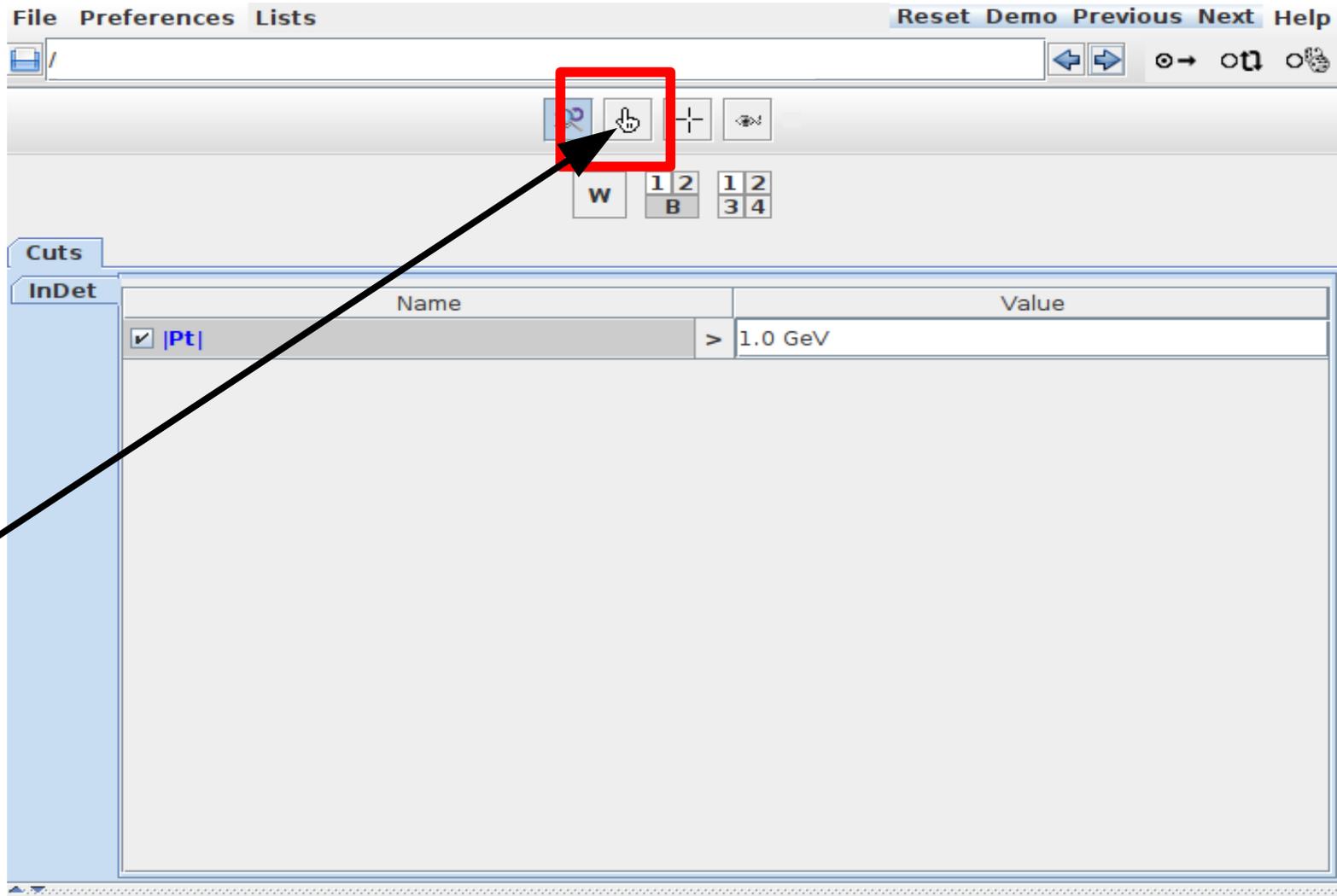
senza zoom



con molto zoom

si può vedere la regione dell'interazione

Funzioni molto utili: informazioni particelle



The screenshot shows a software interface with a menu bar (File, Preferences, Lists) and a toolbar. A red box highlights a button with a hand icon. An arrow points from this button to a table in the 'InDet' section. The table has two columns: 'Name' and 'Value'. The first row has a checked checkbox, '|Pt|', '>', and '1.0 GeV'.

	Name		Value
<input checked="" type="checkbox"/>	Pt	>	1.0 GeV

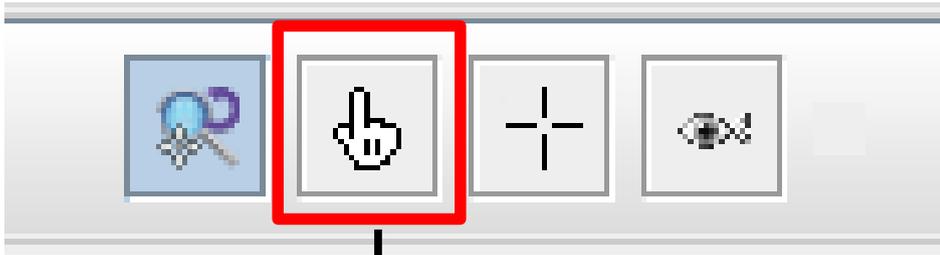
6K_13_186878_39 34563_33.xml (1868780039 34563)

6K_14_186923_121776231_659.xml (18692300121776231)

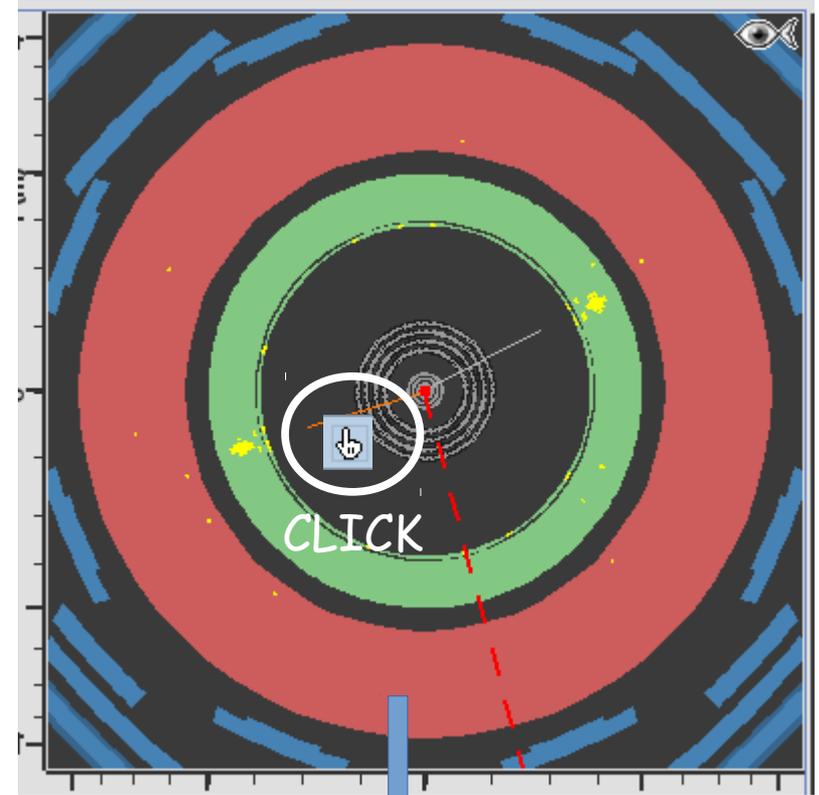
6K_15_186878_49 34282_39.xml (1868780049 34282)

Funzioni molto utili

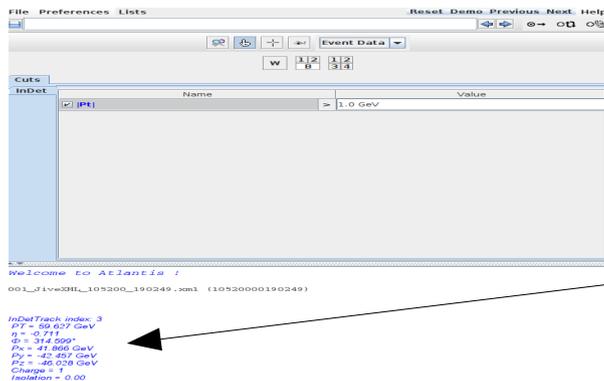
2.



Cliccando prima su questo simbolo e poi cliccando su una delle tracce si ottengono informazioni utili sul valore dell'impulso della particella, la sua carica etc.



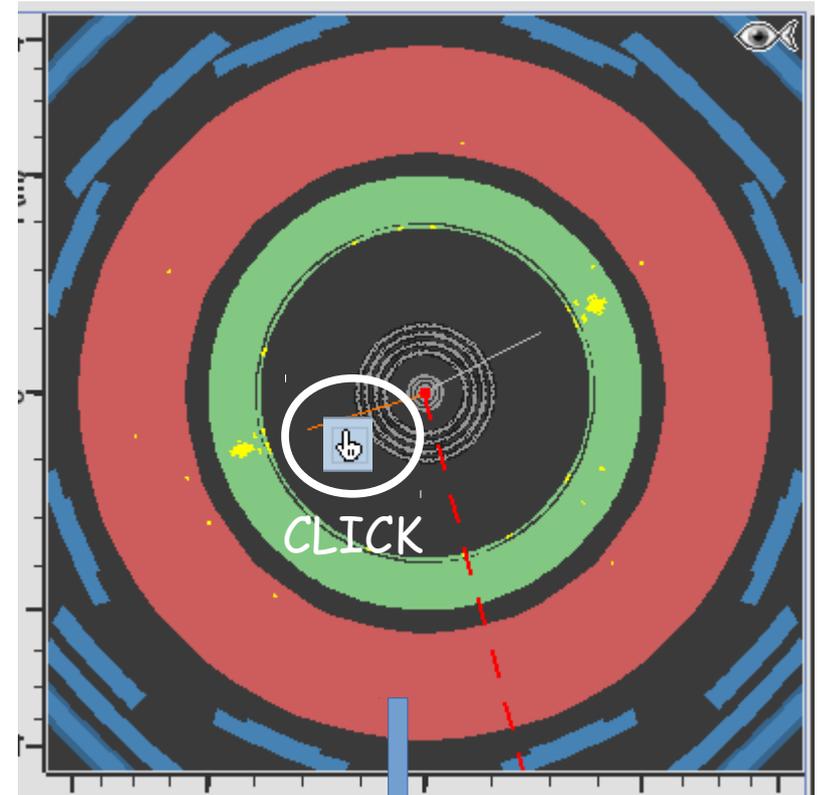
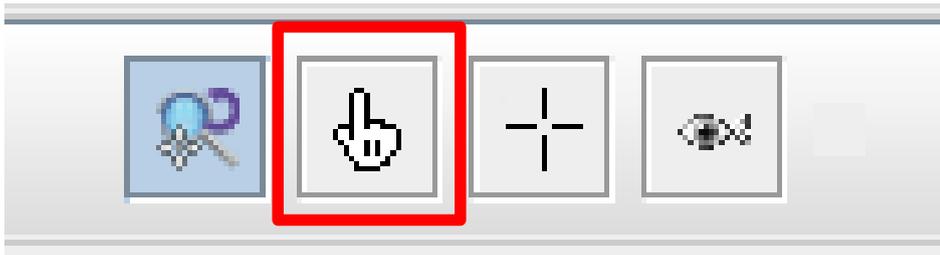
Risultato nella finestra di output



InDetTrack index: 3
PT = 36.706 GeV
 $\eta = -0.943$
 $\Phi = 196.926^\circ$
Px = -35.116 GeV
Py = -10.687 GeV
Pz = -39.975 GeV
Charge = -1
Isolation = 0.00

Funzioni molto utili

2.



Valore dell'impulso della particella
> 20 GeV

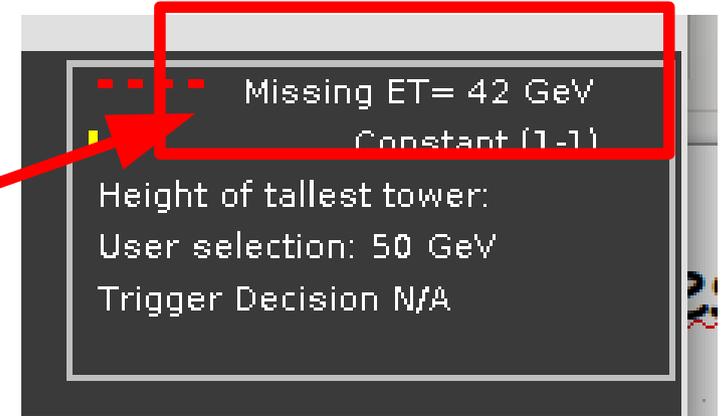
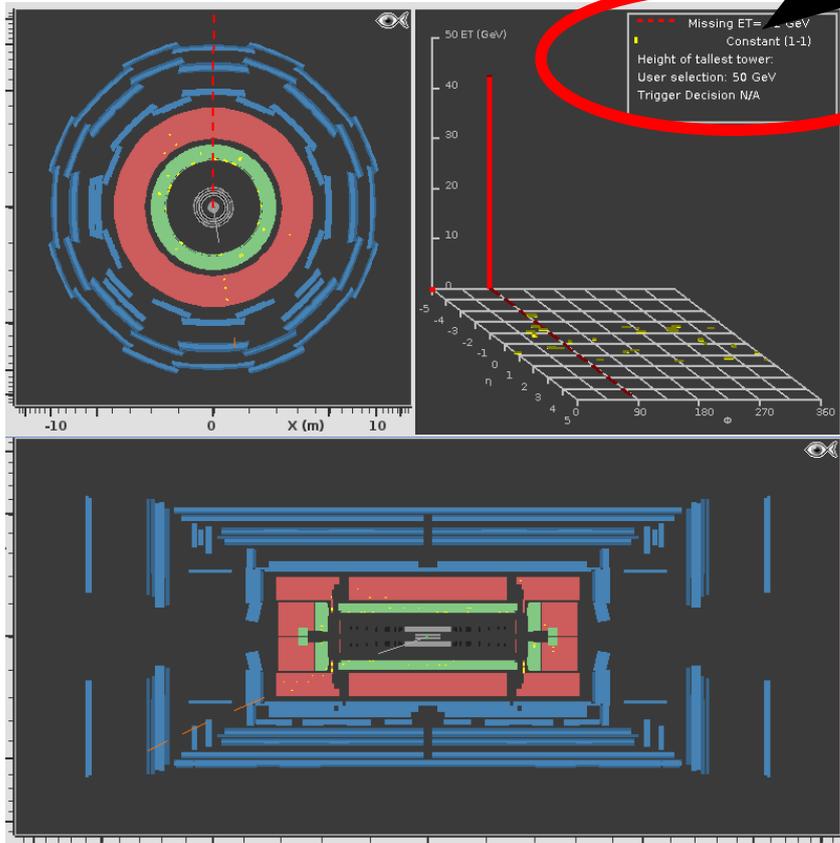
Valore della carica della particella

Indicatore dell'isolamento della particella
da altri eventi (jet) nella vicinanza del punto
dell'interazione
< 0.2

InDetTrack index: 37
PT = 36.706 GeV
 $\eta = -0.943$
 $\Phi = 196.926^\circ$
Px = -35.116 GeV
Py = -10.687 GeV
Pz = -30.075 GeV
Charge = -1
Isolation = 0.00

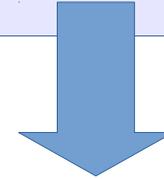
Qualche esempio ... 1

Ogni volta che viene caricato un nuovo evento bisogna controllare il valore della **Missing ET**



SE

Missing ET > 20 GeV ✓

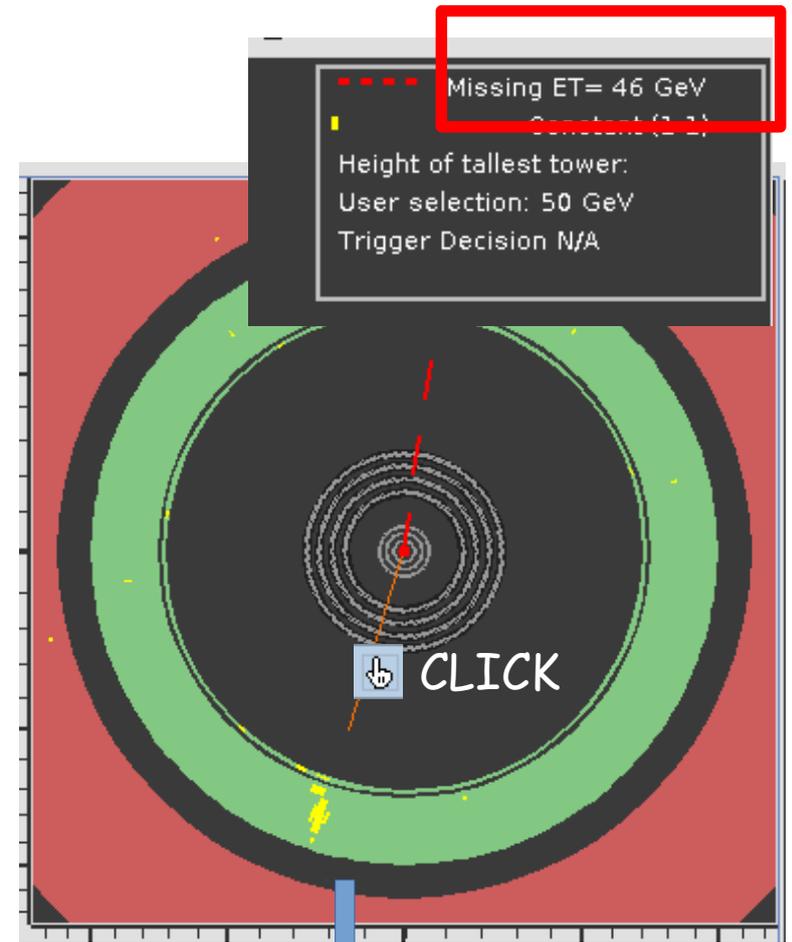


Si prosegue con l'analisi

Qualche esempio ... 2

1. Missing ET > 20 GeV ✓
2. Isolation=0.0 < 0.2 ✓
3. PT > 20 GeV ✓
4. Particella frenata nel calorimetro elettromagnetico
5. Carica negativa

Electrone del decadimento di W^-

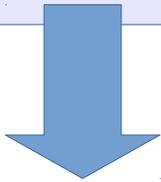


Risultato nella finestra di output

$PT = 35.353 \text{ GeV}$
 $\eta = -0.515$
 $\Phi = 251.894^\circ$
 $P_x = -10.987 \text{ GeV}$
 $P_y = -33.602 \text{ GeV}$
 $P_z = -19.029 \text{ GeV}$
Charge = -1
Isolation = 0.00

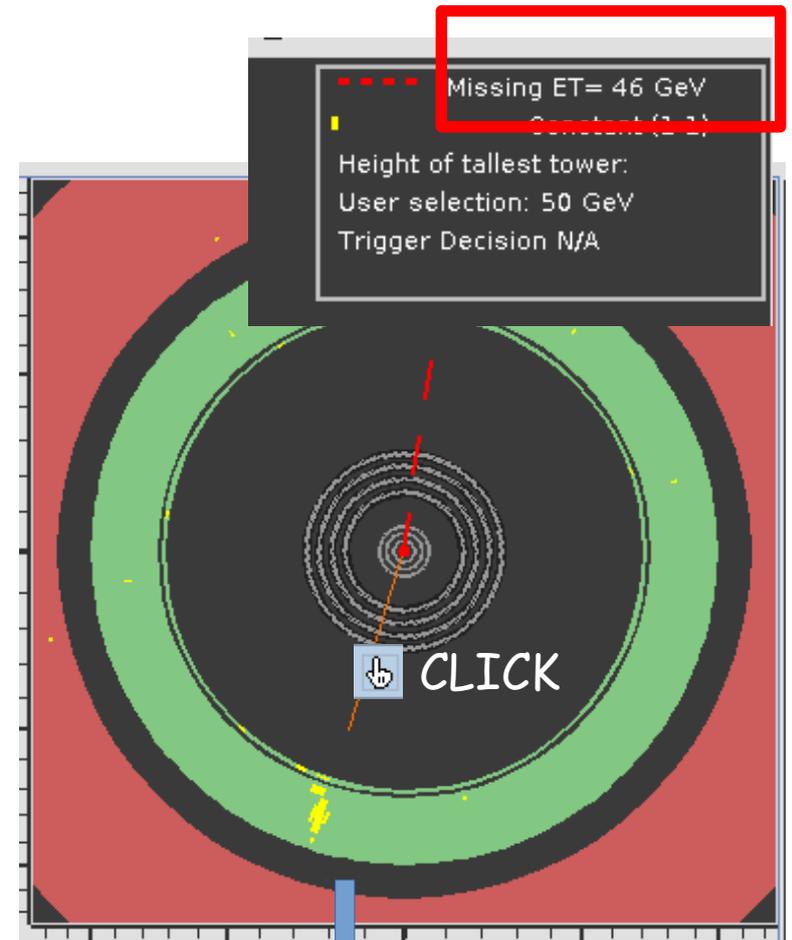
Qualche esempio ... 2

1. Missing ET > 20 GeV ✓
2. Isolation=0.0 < 0.2 ✓
3. PT > 20 GeV ✓
4. Particella frenata nel calorimetro elettromagnetico
5. Carica negativa



Elettrone del decadimento di W^-

Evento	segnale con uno solo leptone ($l = e / \mu$) $W \rightarrow l + \nu$				segnale con due leptoni l^+l^-		Fondo (Background)	Commenti
	$W^+ \rightarrow e^+ + \nu$	$W^- \rightarrow e^- + \nu$	$W^+ \rightarrow \mu^+ + \nu$	$W^- \rightarrow \mu^- + \nu$	$W^+W^- \rightarrow l^+\nu l^-\nu$	Angolo $\Delta\phi_{ll}$		
1		✓						
2								
3								
4								
5								
6								



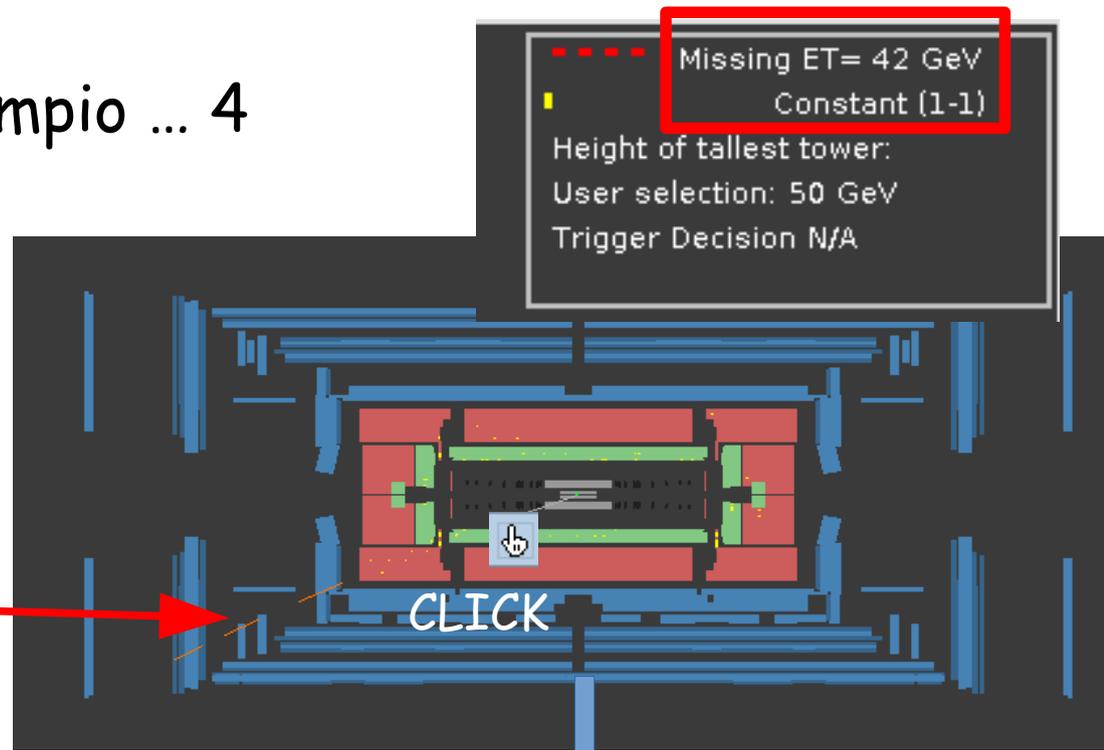
Risultato nella finestra di output

$PT = 35.353 \text{ GeV}$
 $\eta = -0.515$
 $\Phi = 251.894^\circ$
 $P_x = -10.987 \text{ GeV}$
 $P_y = -33.602 \text{ GeV}$
 $P_z = -19.029 \text{ GeV}$
 Charge = -1
 Isolation = 0.00

Qualche esempio ... 4

1. Missing ET > 20 GeV ✓
2. Isolation=0.03 < 0.2 ✓
3. PT > 20 GeV ✓
4. Particella frenata nel rivelatore muonico
5. Carica positiva

Antimuone del decadimento di W^+



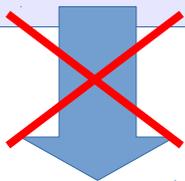
Risultato nella finestra di output

$PT = 39.169 \text{ GeV}$
 $\eta = -1.291$
 $\Phi = 279.477^\circ$
 $P_x = 6.449 \text{ GeV}$
 $P_y = -38.634 \text{ GeV}$
 $P_z = -65.818 \text{ GeV}$
Charge = 1
Isolation = 0.03

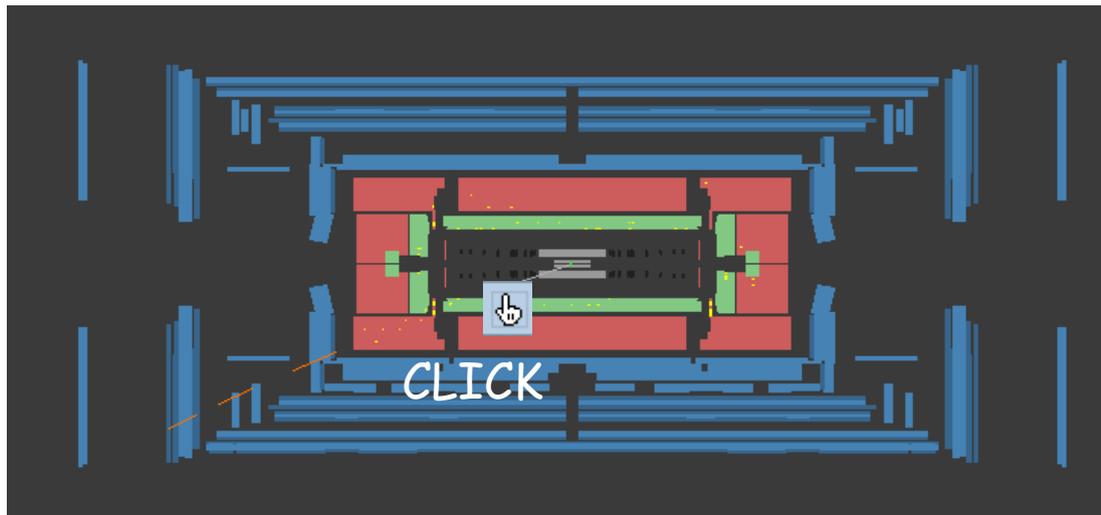
Se...

Qualche esempio ... 5

1. Missing ET $> 20 \text{ GeV}$ ~~×~~ oppure
2. Isolation = 0.03 < 0.2 ~~×~~ oppure
3. PT $> 20 \text{ GeV}$ ~~×~~
4. Particella frenata nel rivelatore muonico
5. Carica positiva



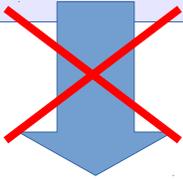
~~Antimuone del decadimento di W^+~~



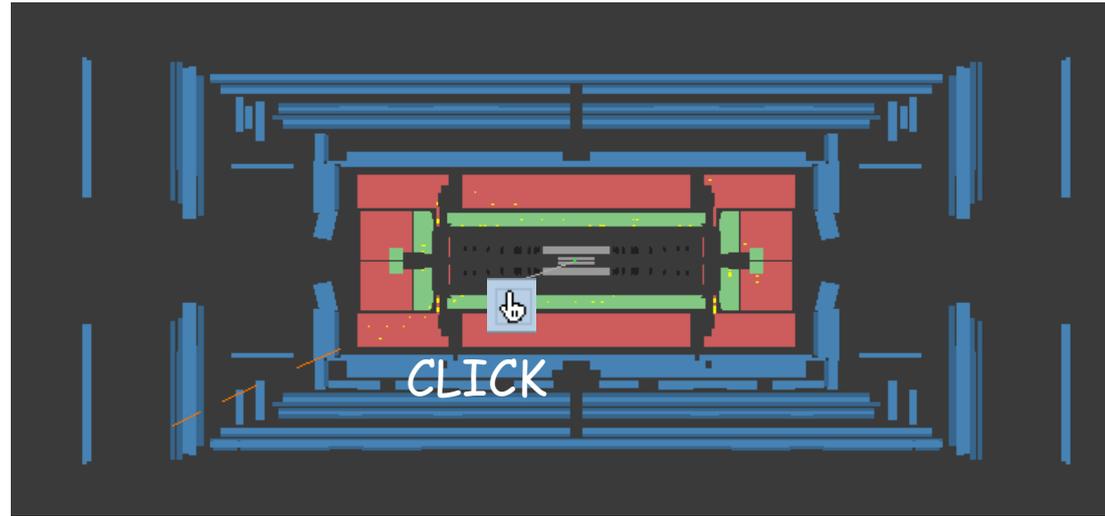
Se...

Qualche esempio ... 5

1. Missing ET $> 20 \text{ GeV}$ ~~×~~ oppure
2. Isolation = 0.03 < 0.2 ~~×~~ oppure
3. PT $> 20 \text{ GeV}$ ~~×~~
4. Particella frenata nel rivelatore muonico
5. Carica positiva



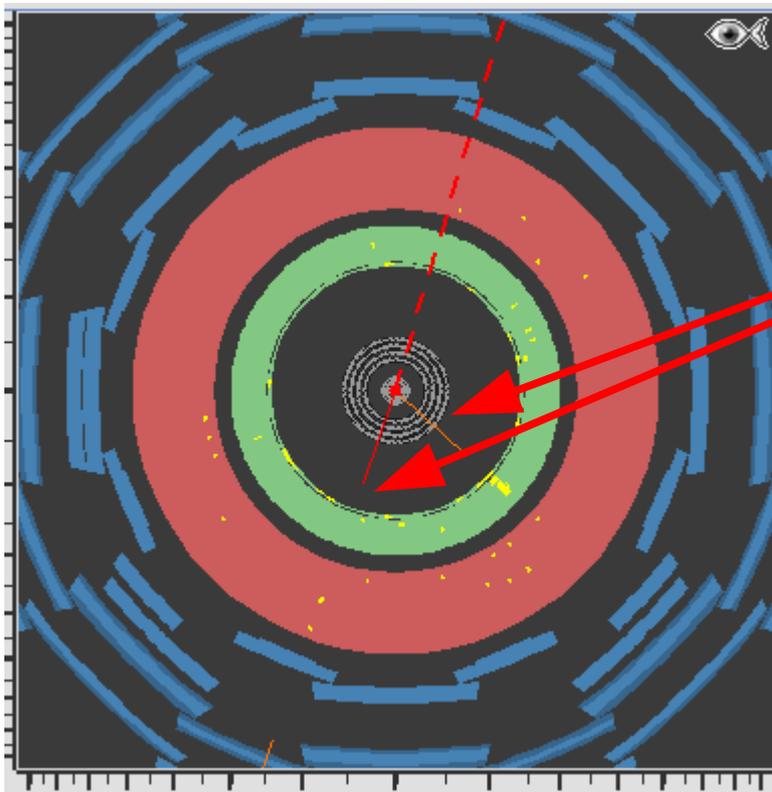
~~Antimuone del decadimento di W^+~~



Evento	segnale con uno solo leptone ($l = e / \mu$) $W \rightarrow l + \nu$				segnale con due leptoni l^+l^-		Fondo (Background)	Commenti
	$W^+ \rightarrow e^+ + \nu$	$W^- \rightarrow e^- + \nu$	$W^+ \rightarrow \mu^+ + \nu$	$W^- \rightarrow \mu^- + \nu$	$W^+W^- \rightarrow l^+\nu l^-\nu$	Angolo $\Delta\phi_{ll}$		
1								
2								
3								
4								
5								
6								

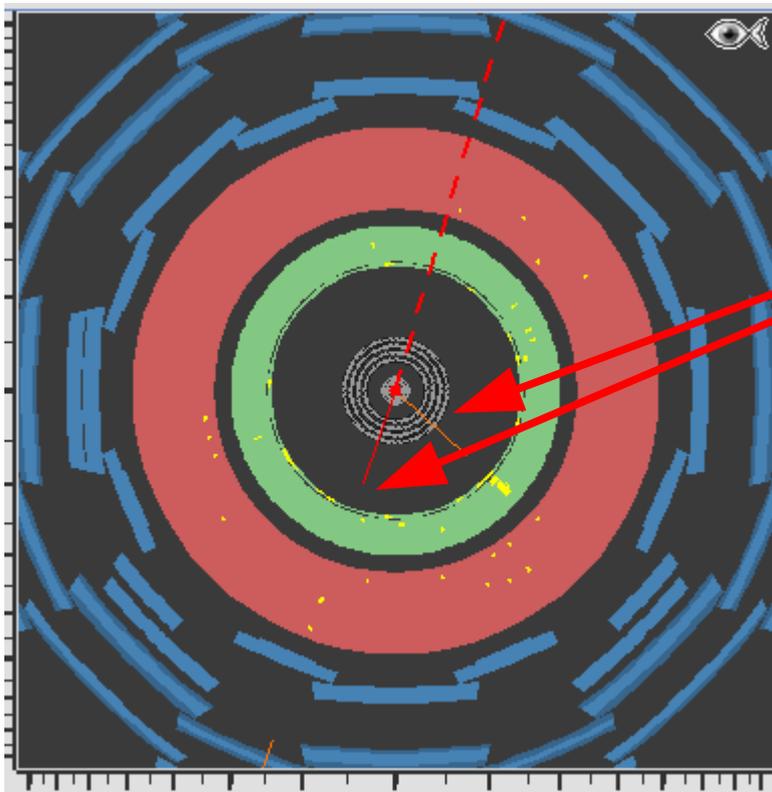


Qualche esempio ... 6 [Presenza di due leptoni]



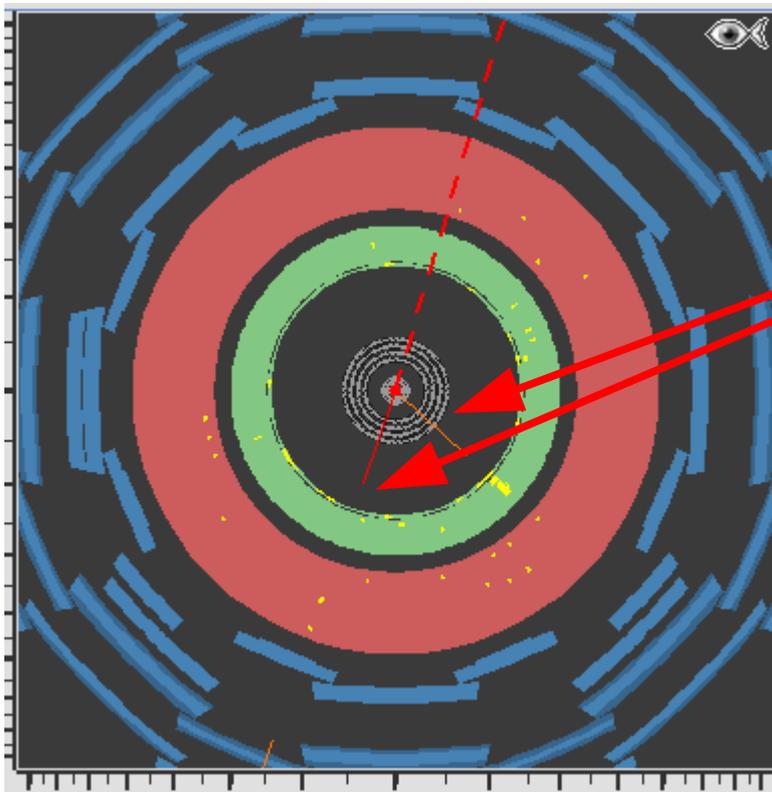
1. Bisogna controllare le relative informazioni dei due leptoni

Qualche esempio ... 6 [Presenza di due leptoni]



1. Bisogna controllare le relative informazioni dei due leptoni
2. Click con  su ciascuna linea
su ciascuna linea

Qualche esempio ... 6 [Presenza di due leptoni]



1. Bisogna controllare le relative informazioni dei due leptoni

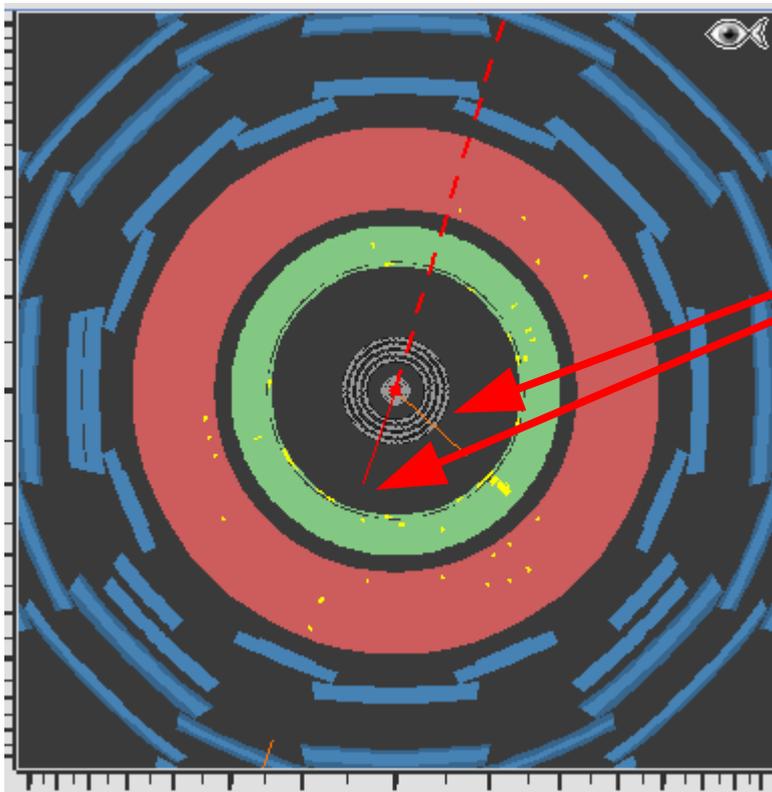
2. Click con  su ciascuna linea
su ciascuna linea

<i>InDetTrack index: 1</i>	<i>InDetTrack index: 2</i>
<i>PT = 15.493 GeV</i>	<i>PT = 49.113 GeV</i>
<i>$\eta = -0.716$</i>	<i>$\eta = 0.194$</i>
<i>$\Phi = 316.457^\circ$</i>	<i>$\Phi = 251.012^\circ$</i>
<i>P_x = 11.230 GeV</i>	<i>P_x = -15.980 GeV</i>
<i>P_y = -10.673 GeV</i>	<i>P_y = -46.440 GeV</i>
<i>P_z = 12.063 GeV</i>	<i>P_z = 0.571 GeV</i>
<i>Charge = -1</i>	<i>Charge = 1</i>
<i>Isolation = 0.00</i>	<i>Isolation = 0.00</i>

cariche opposte → OK

! Se non e' vero → Indicare come evento di fondo e caricare l'evento successivo

Qualche esempio ... 6 [Presenza di due leptoni]



1. Bisogna controllare le relative informazioni dei due leptoni

2. Click con  su ciascuna linea
su ciascuna linea

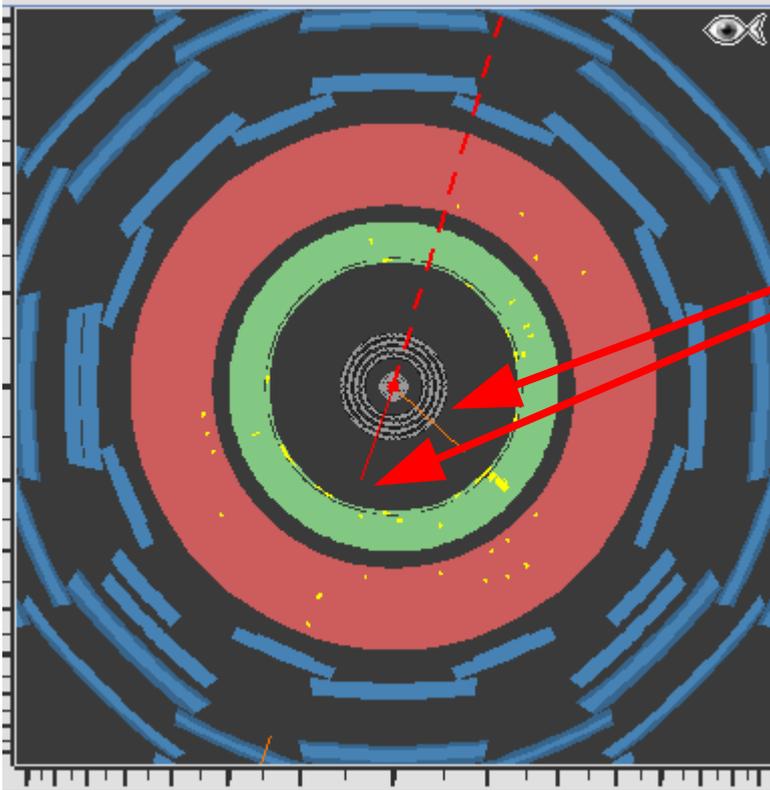
```
InDetTrack index: 1  
PT = 15.493 GeV  
 $\eta$  = -0.716  
 $\Phi$  = 316.457°  
Px = 11.230 GeV  
Py = -10.673 GeV  
Pz = -12.063 GeV  
Charge = 1  
Isolation = 0.00
```

```
InDetTrack index: 2  
PT = 49.113 GeV  
 $\eta$  = 0.194  
 $\Phi$  = 251.012°  
Px = -15.980 GeV  
Py = -46.440 GeV  
Pz = 9.571 GeV  
Charge = 1  
Isolation = 0.00
```

Isolation < 0.2 → OK

! Se non e' vero → Indicare come evento di fondo e caricare l'evento successivo

Qualche esempio ... 6 [Presenza di due leptoni]



1. Bisogna controllare le relative informazioni dei due leptoni

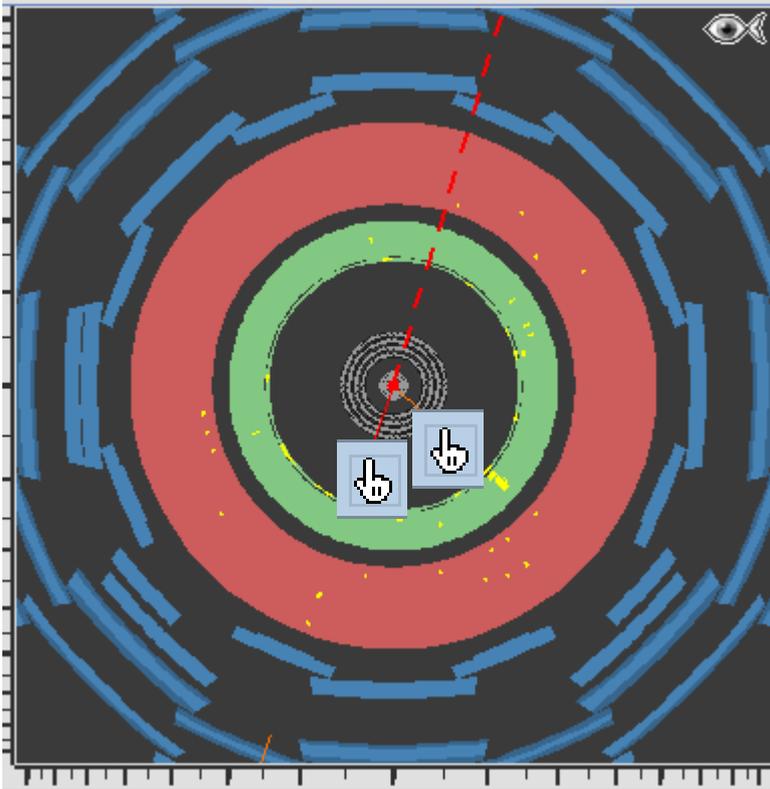
2. Click con  su ciascuna linea
su ciascuna linea

InDetTrack index: 1	InDetTrack index: 2
PT = 15.493 GeV	PT = 49.113 GeV
$\eta = -0.716$	$\eta = 0.194$
$\Phi = 316.457^\circ$	$\Phi = 251.012^\circ$
$P_x = 11.230$ GeV	$P_x = -15.980$ GeV
$P_y = -10.673$ GeV	$P_y = -46.440$ GeV
$P_z = -12.063$ GeV	$P_z = 9.571$ GeV
Charge = -1	Charge = 1
Isolation = 0.00	Isolation = 0.00

$PT(1) > 10$ GeV e $PT(2) > 20$ GeV → OK

! Se non e' vero → Indicare come evento di fondo e caricare l'evento successivo

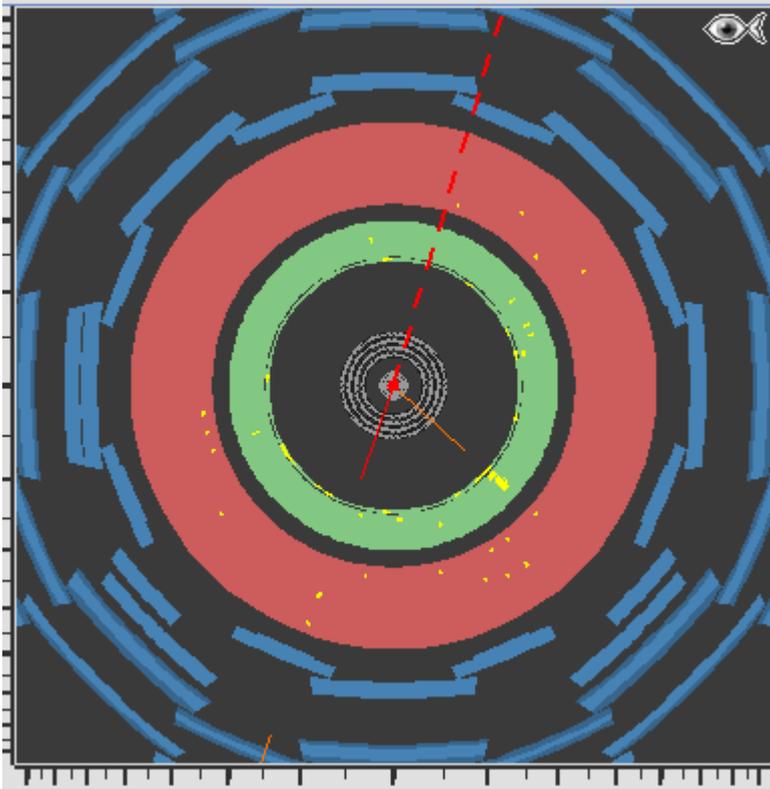
Qualche esempio ... 6 [Presenza di due leptoni]



Misurazione angolo fra i due leptoni

1. Scegliere 
2. Tenere premuto il tasto **P**
3. Fare **CLICK**  su una linea e poi **CLICK**  sull'altra.
4. Leggere il risultato

Qualche esempio ... 6 [Presenza di due leptoni]



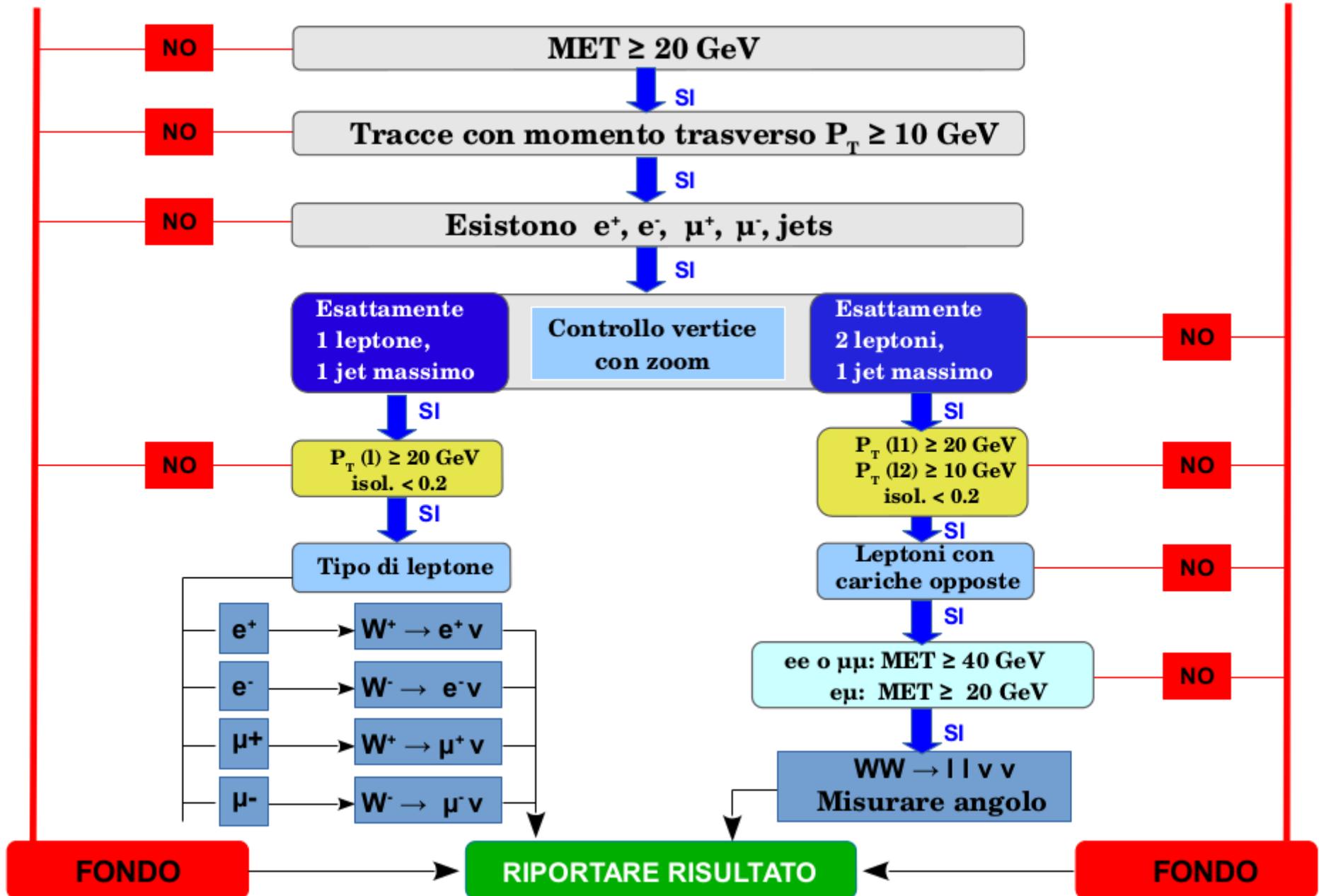
Misurazione angolo fra i due leptoni

1. Scegliere 
2. Tenere premuto il tasto **P**
3. Fare **CLICK**  su una linea e poi **CLICK**  sull'altra.
4. Leggere il risultato

$$\Delta\phi = 65.4^\circ (1.142)$$

Evento	segnale con uno solo leptone ($l = e / \mu$) $W \rightarrow l + \nu$				segnale con due leptoni $l'l'$	Fondo (Back-ground)	Commenti
	$W^+ \rightarrow e^+ + \nu$	$W^- \rightarrow e^- + \nu$	$W^+ \rightarrow \mu^+ + \nu$	$W^- \rightarrow \mu^- + \nu$	$w^*w \rightarrow l^+\nu l^-\nu$	Angolo $\Delta\phi_{ll}$	
1							
2							
3							
4					✓	65	
5							
6							

Sintesi delle informazioni utili per decidere il carattere dell'evento



In bocca al lupo e buon divertimento!