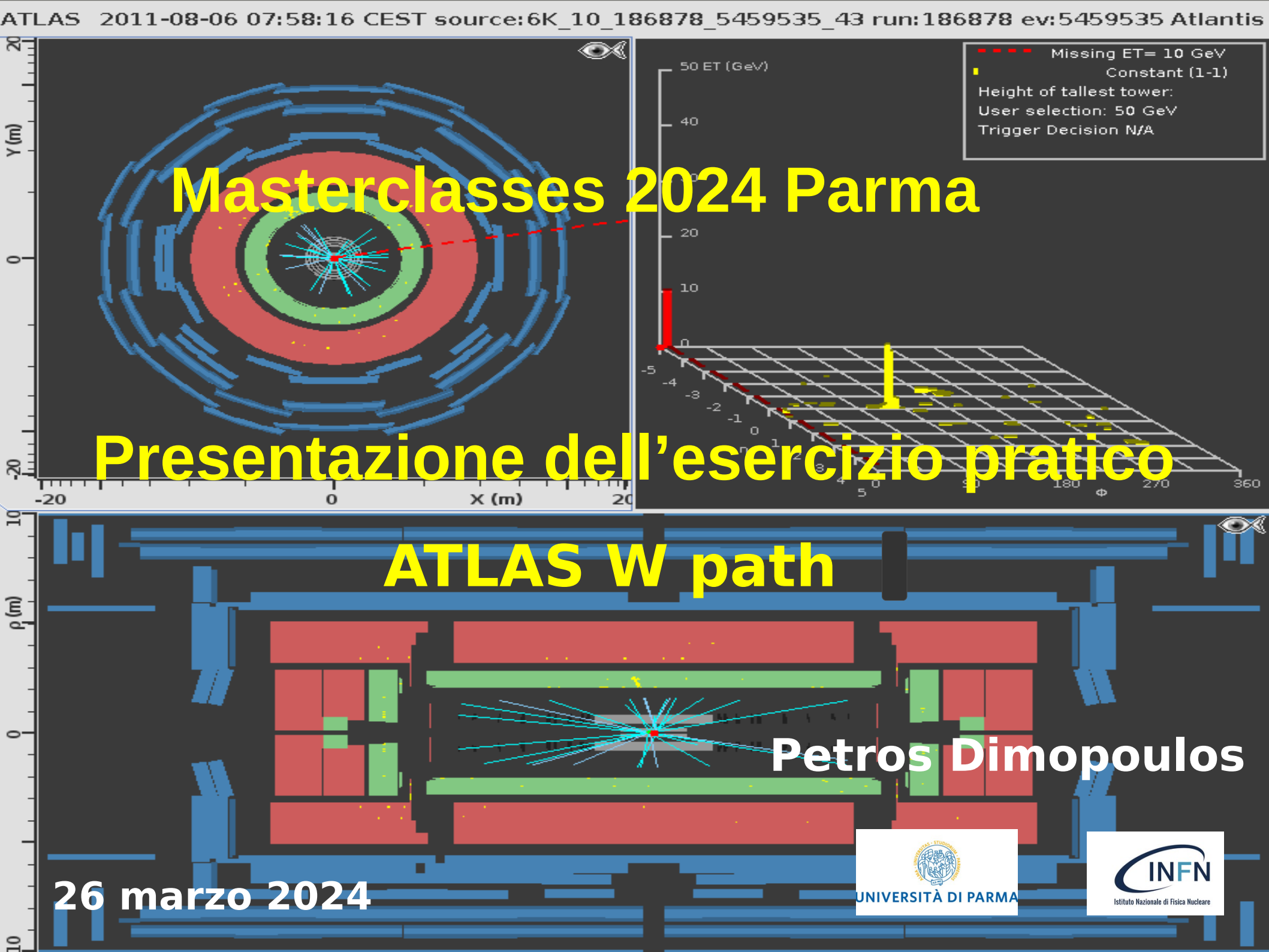
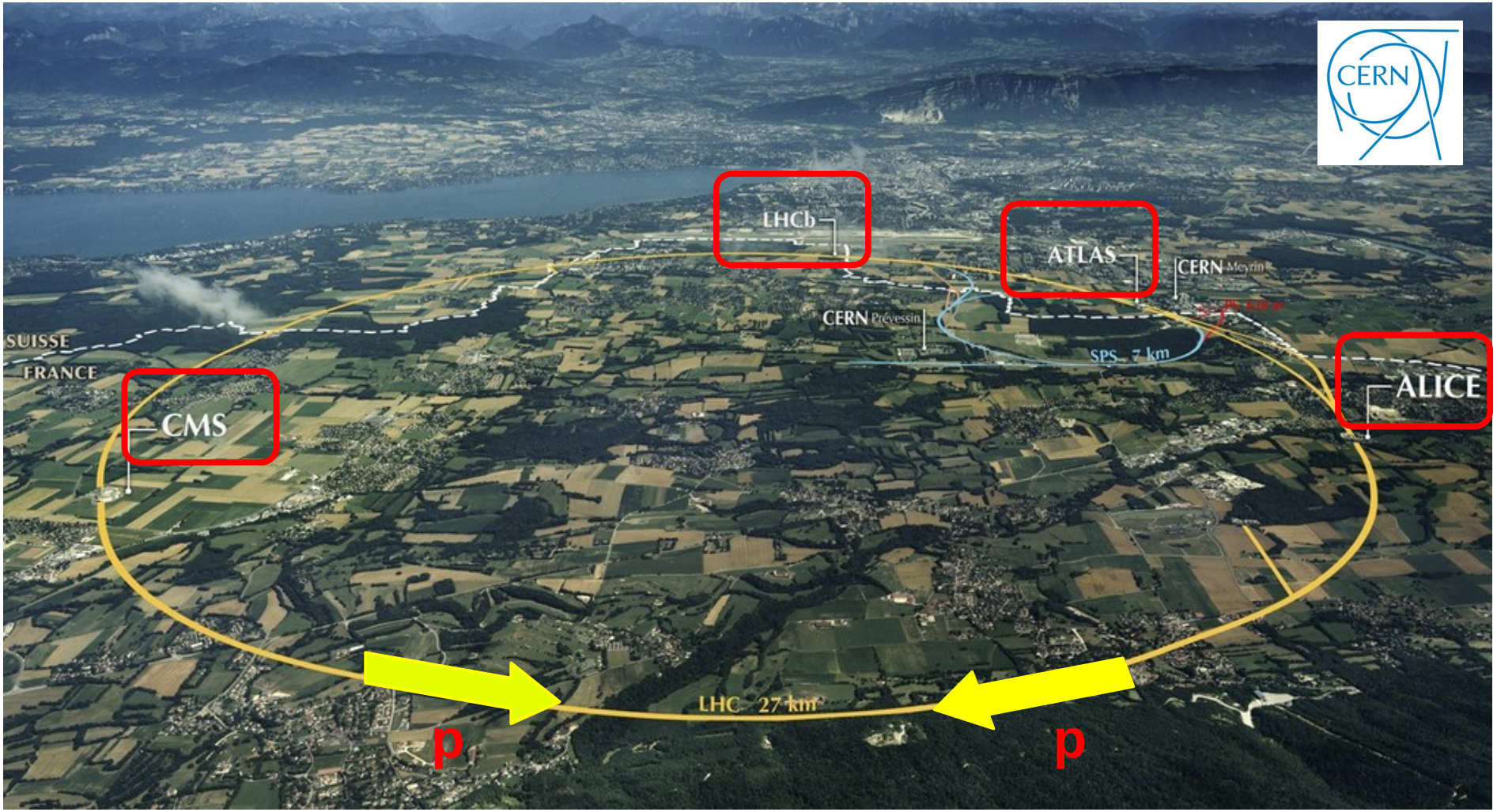

ATLAS 2011-08-06 07:58:16 CEST source:6K_10_186878_5459535_43 run:186878 ev:5459535 Atlantis
Missing ET= 10 GeV
Constant (1-1)
Height of tallest tower:
User selection: 50 GeV
Trigger Decision N/A
50 ET (GeV)
Y (m)
X (m)
Masterclasses 2024 Parma
Presentazione dell'esercizio pratico
ATLAS W path
Petros Dimopoulos
26 marzo 2024
UNIVERSITÀ DI PARMA
INFN
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

Large Hadron Collider (LHC) - CERN

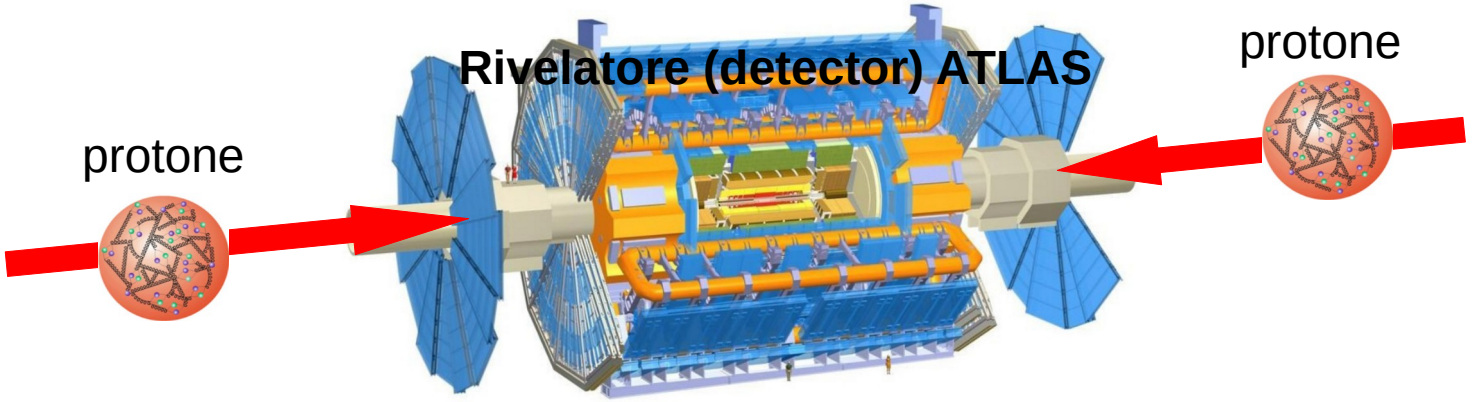
Due fasci di **protoni** generati ed accelerati a velocità prossime a quella della luce nell' acceleratore di **LHC** al **CERN** vengono fatti collidere in quattro punti della circoferenza dell'anello dell'acceleratore intorno ai quali sono installati quattro complessi di rivelatori di particelle che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

ATLAS, CMS, LHCb, ALICE



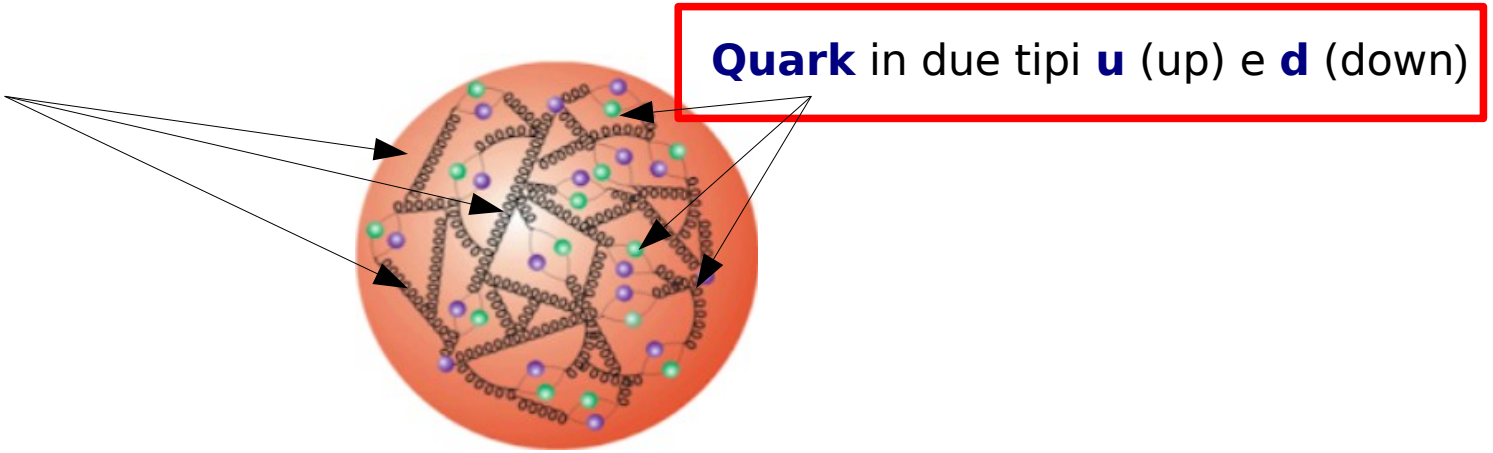
Large Hadron Collider (LHC) – Esperimento ATLAS

Uno dei quattro grandi esperimenti di LHC è quello di **ATLAS**
(**A T**oroidal **L**HC Apparatu**S**)



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

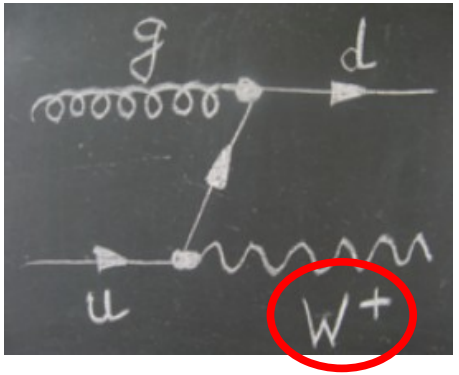
Gluoni g



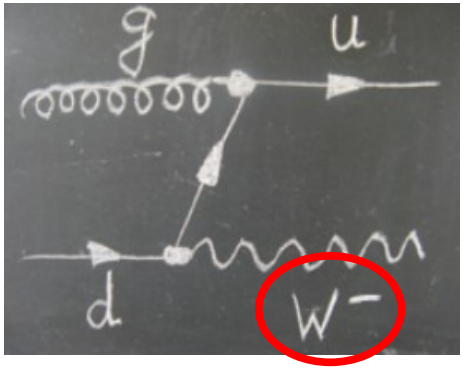
Grazie alla conversione **energia - massa** nuove particelle, diverse da quelle originarie, vengono create con la collisione.

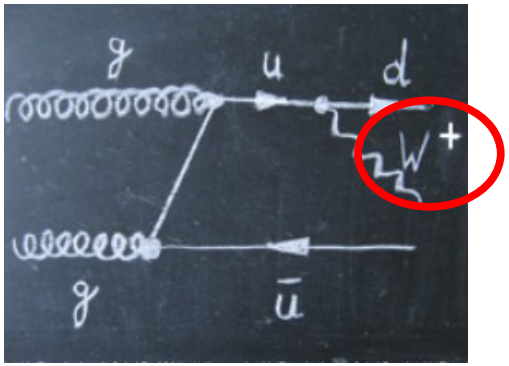
Interazioni fra quark & gluoni

e.g.

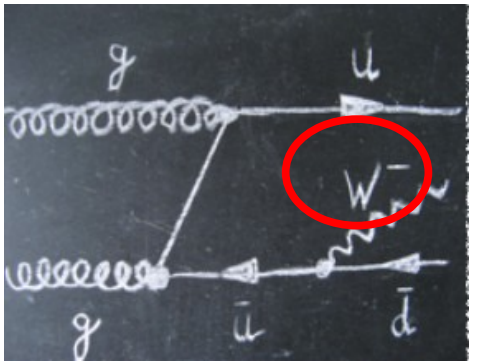


collisione fra quark e gluone





collisione fra gluone e gluone

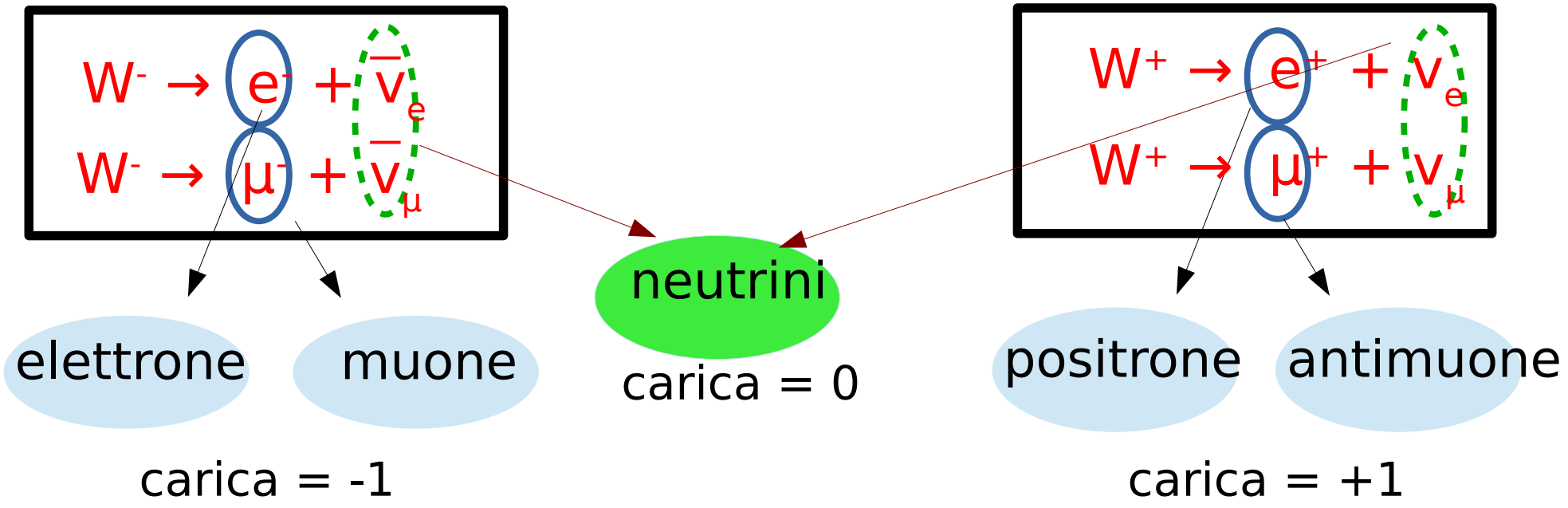


Fra i prodotti della collisione si trovano le particelle W^+ e W^-
(mediatori dell'interazione elettrodebole)

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

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

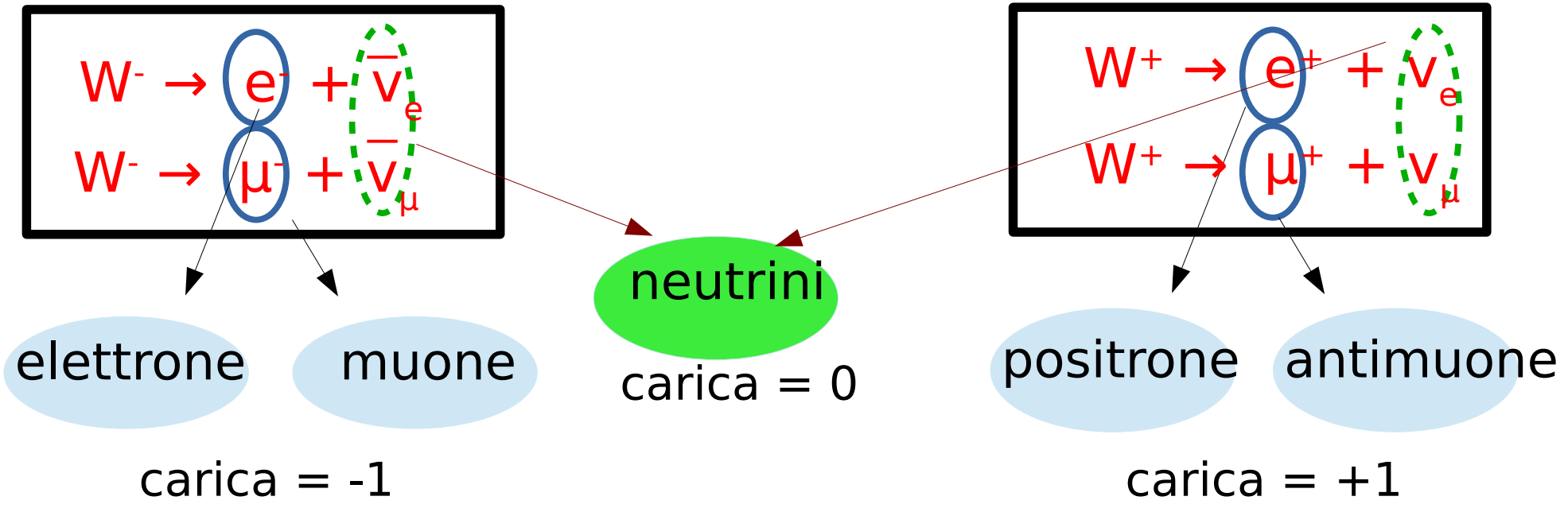
1. Decadimento di W^+ e W^- in leptoni



$\{ e^-, e^+, \mu^-, \mu^+ \}$

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

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



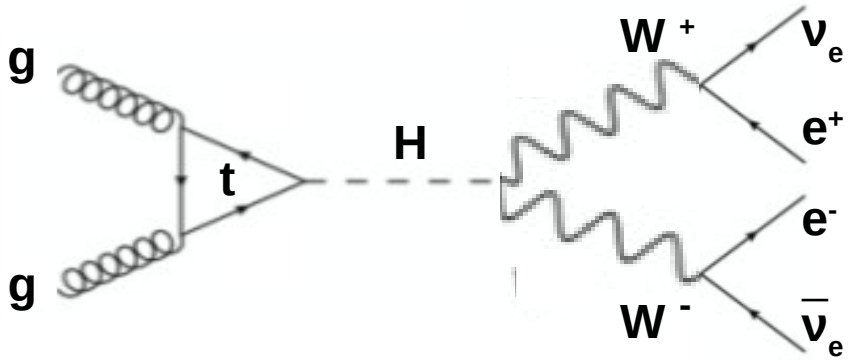
e^-
e^+
μ^-
μ^+

Direttamente rivelabili dall'esperimento. Particelle il cui segnale lasciato nei rivelatori ci permette di capire la loro identità e cosi' 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^-

e.g.



Higgs

$$H \rightarrow \begin{cases} W^+ \rightarrow e^+ + \nu_e \;\; \mu^+ + \nu_\mu \;\; e^+ + \nu_e \;\; \mu^+ + \nu_\mu \\ W^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e \;\; \mu^- + \bar{\nu}_\mu \;\; \mu^- + \bar{\nu}_\mu \;\; e^- + \bar{\nu}_e \end{cases}$$

carica=0

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

Scopi dell'esercizio

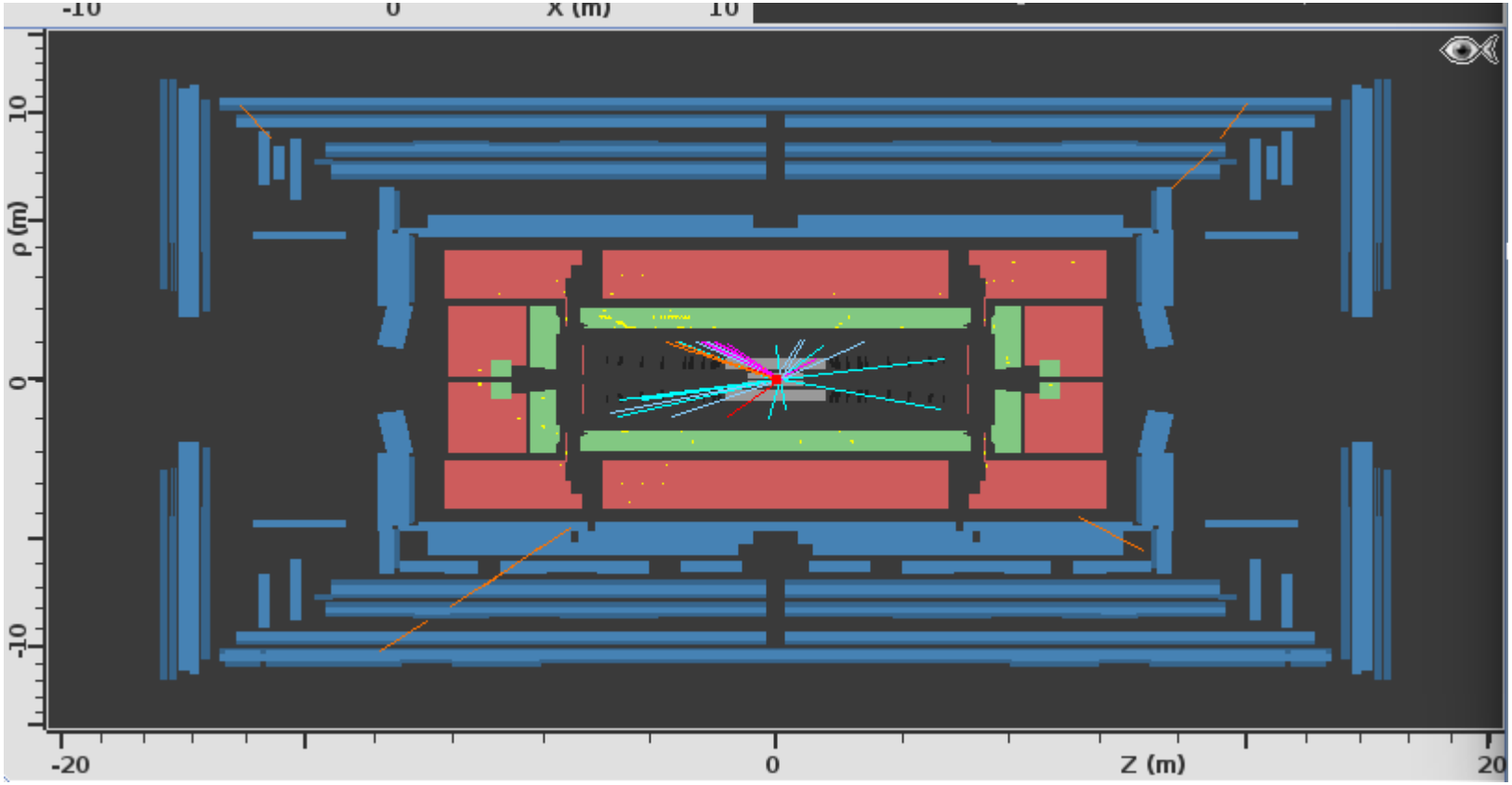
1. Rivelare i decadimenti delle particelle W^+ e W^-

➡ 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^-.

Minerva



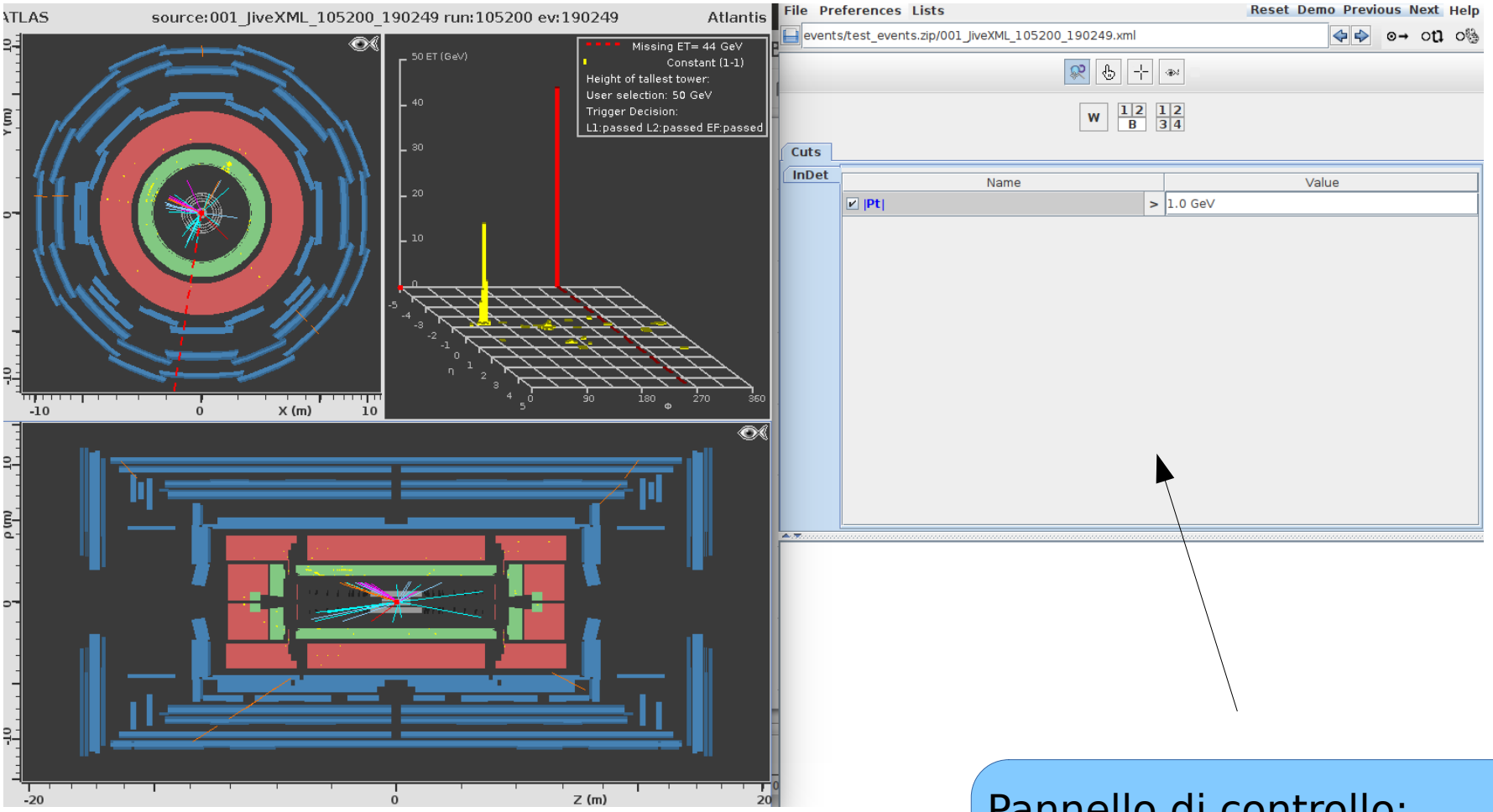
Informazioni essenziali per svolgere l’esercizio pratico

> Usare l’eseguibile adatto al vostro sistema operativ

MINERVA_Linux

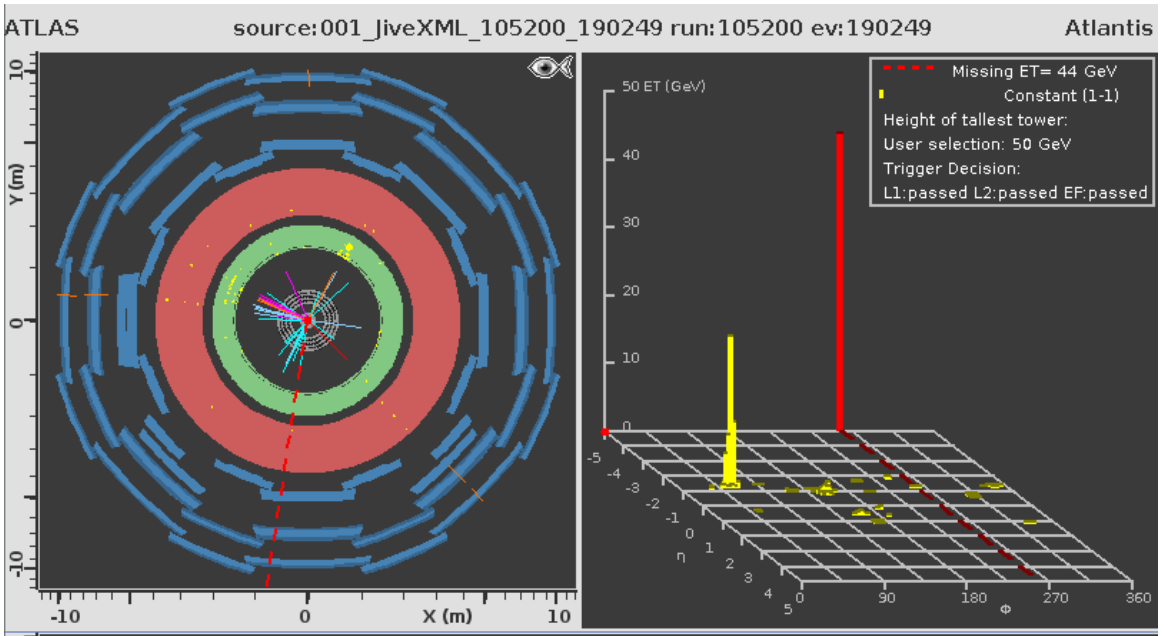
MINERVA_Mac

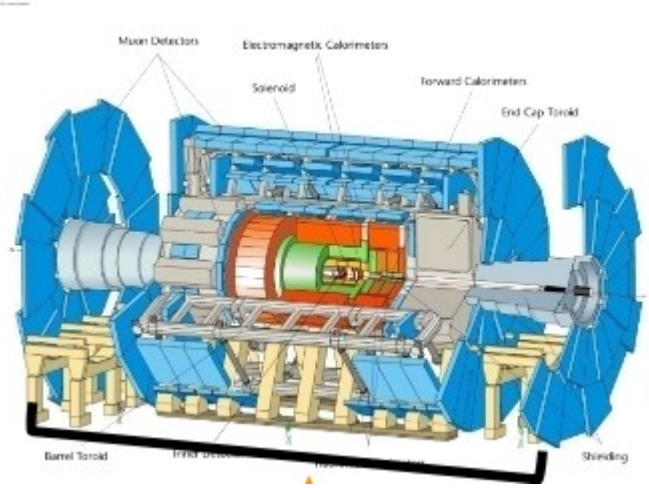
MINERVA_Windows.bat



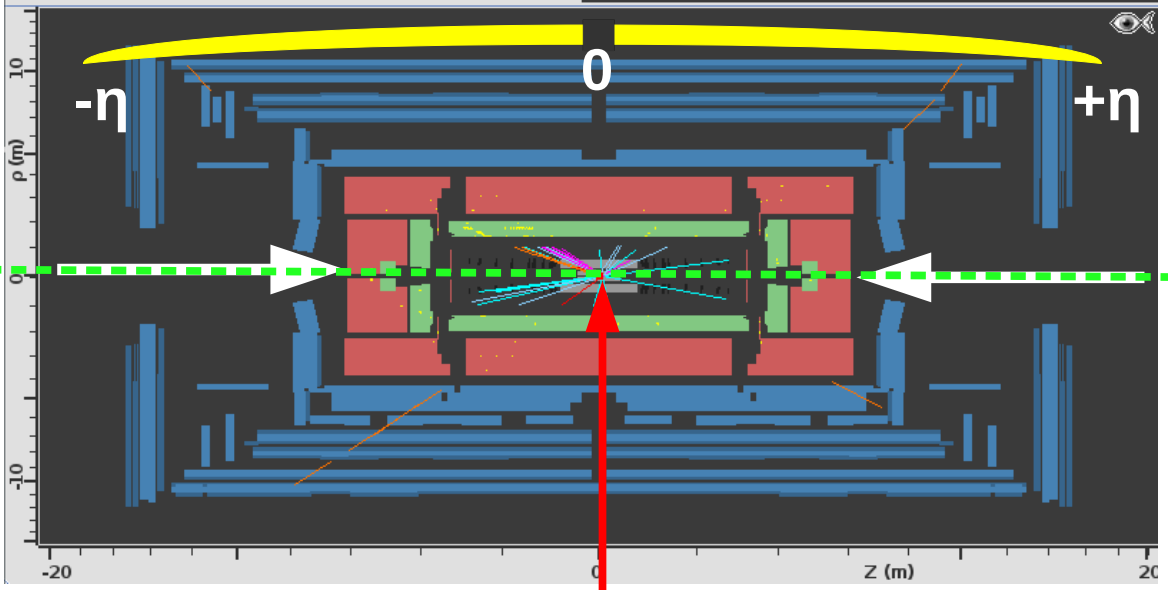
Rappresentazione grafica degli eventi (particelle prodotte) nel rivelatore dopo la collisione

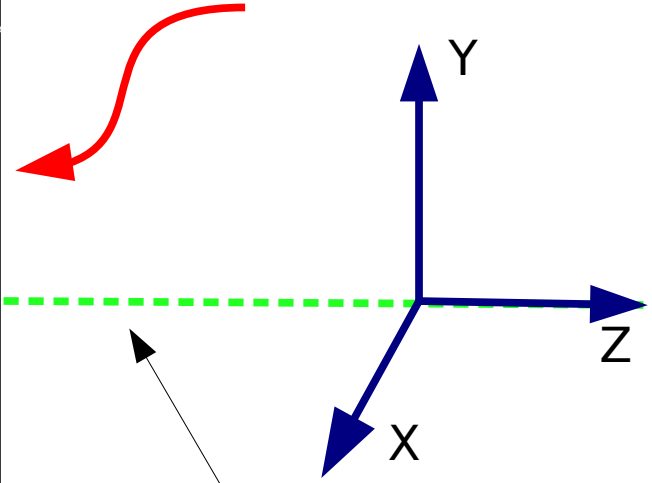
Pannello di controllo: caricamento dati & funzioni di scelta di eventi interessanti e relative informazioni





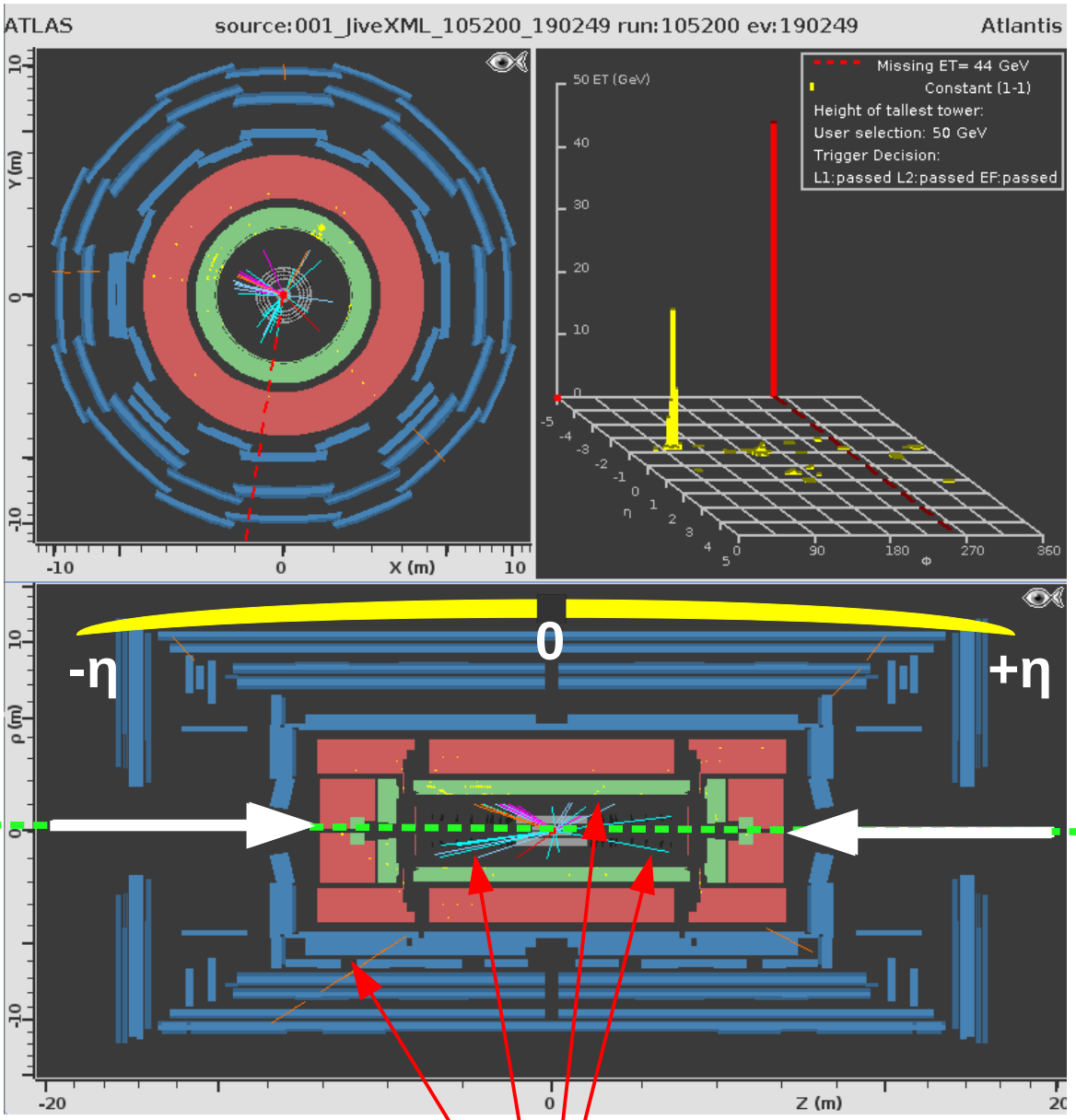
Vista laterale del rivelatore



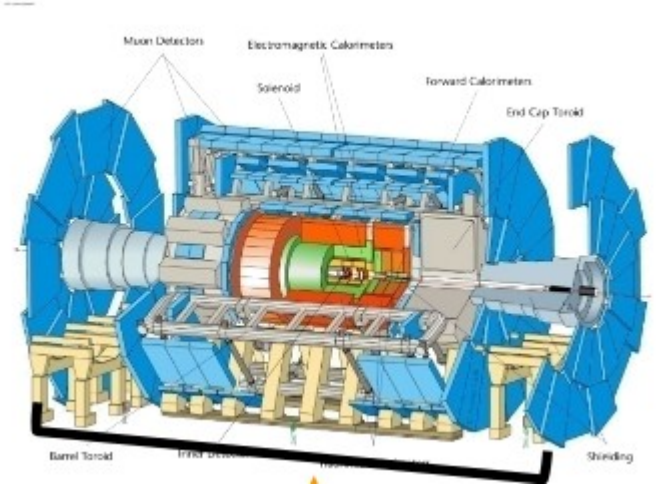


Direzione dei due fasci di protoni

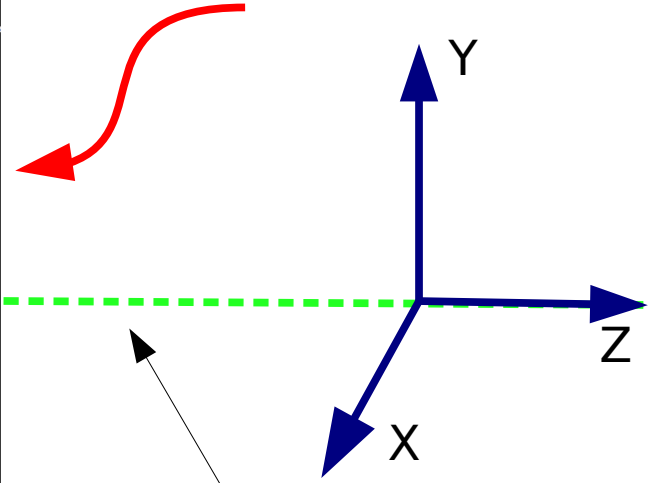
Punto di interazione



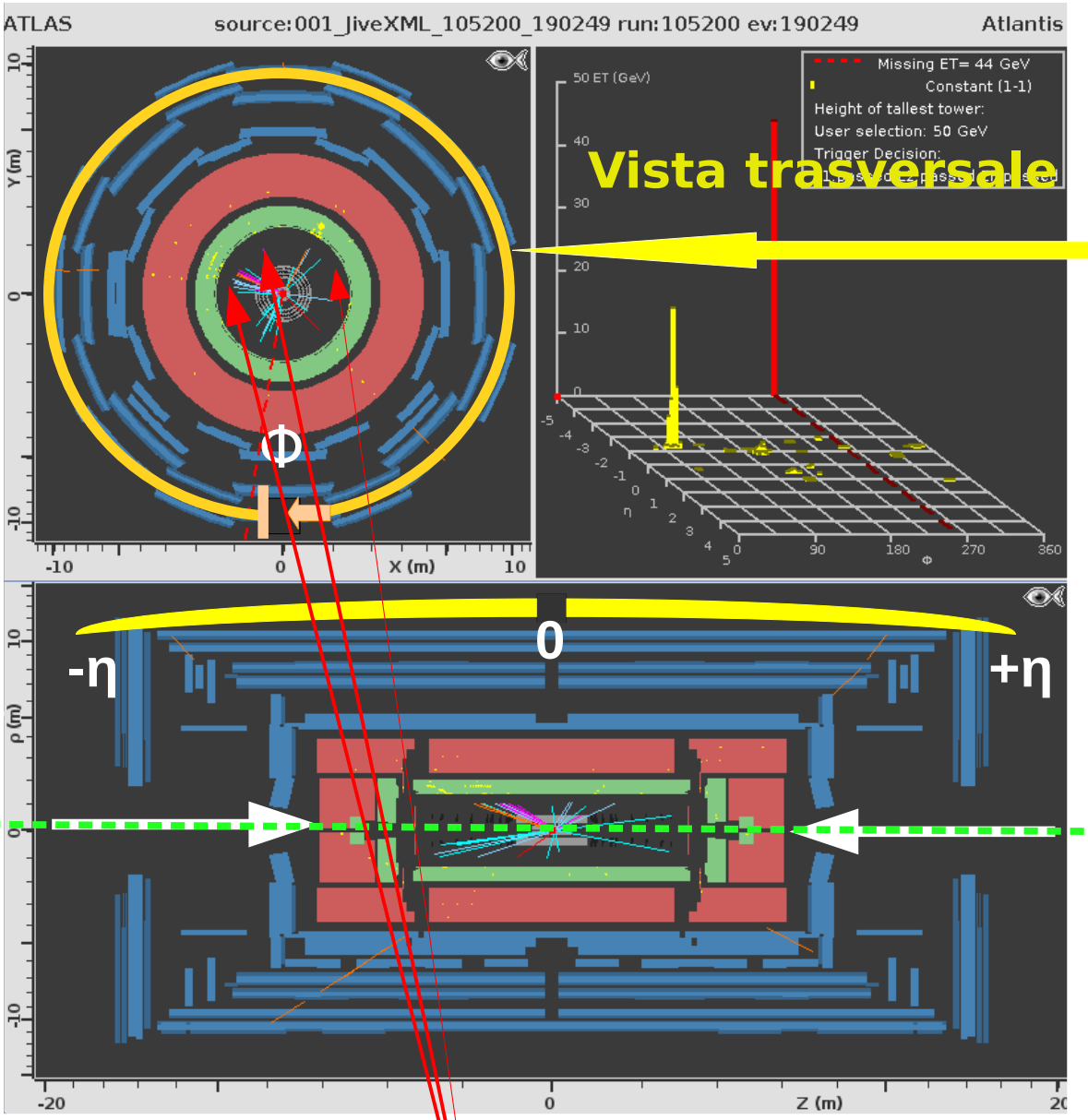
particelle di vari tipi dopo la collisione



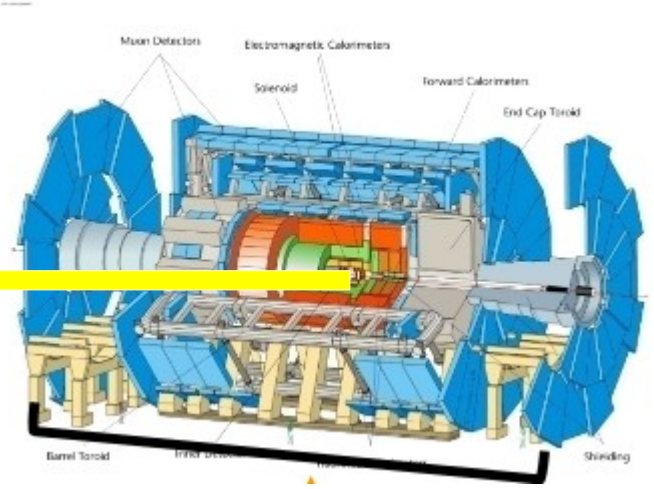
Vista laterale del rivelatore

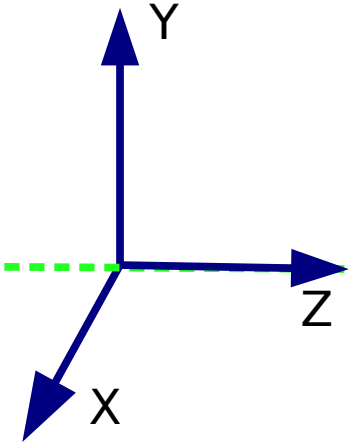


Direzione dei due fasci di protoni

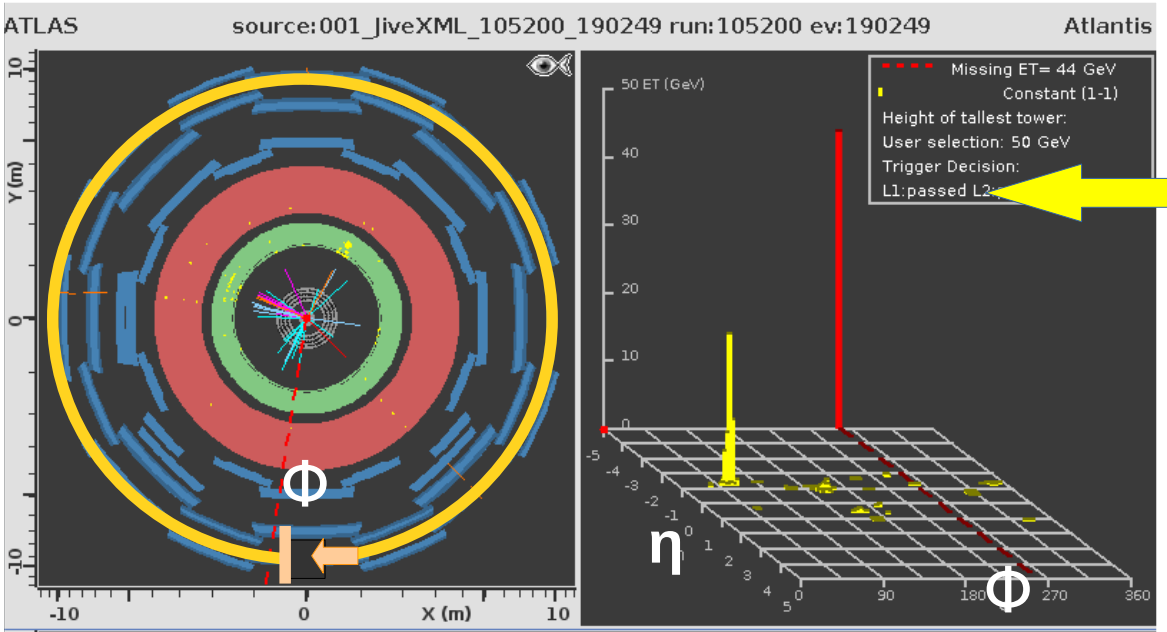


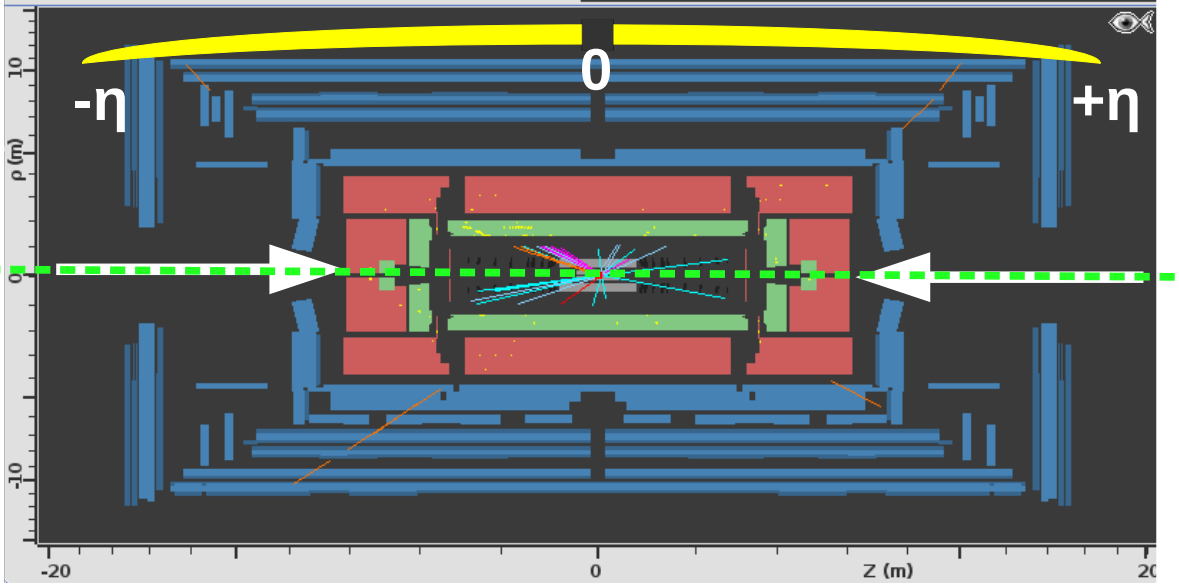
Vista trasversale





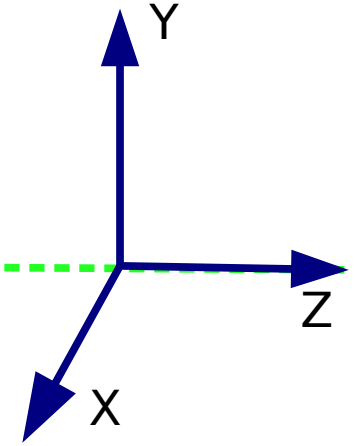
particelle di vari tipi dopo la collisione



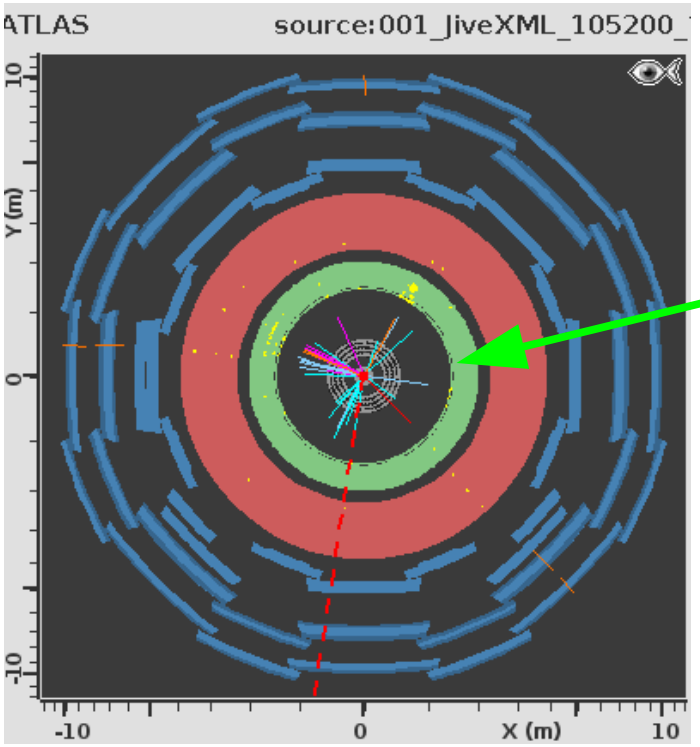


Lego plot

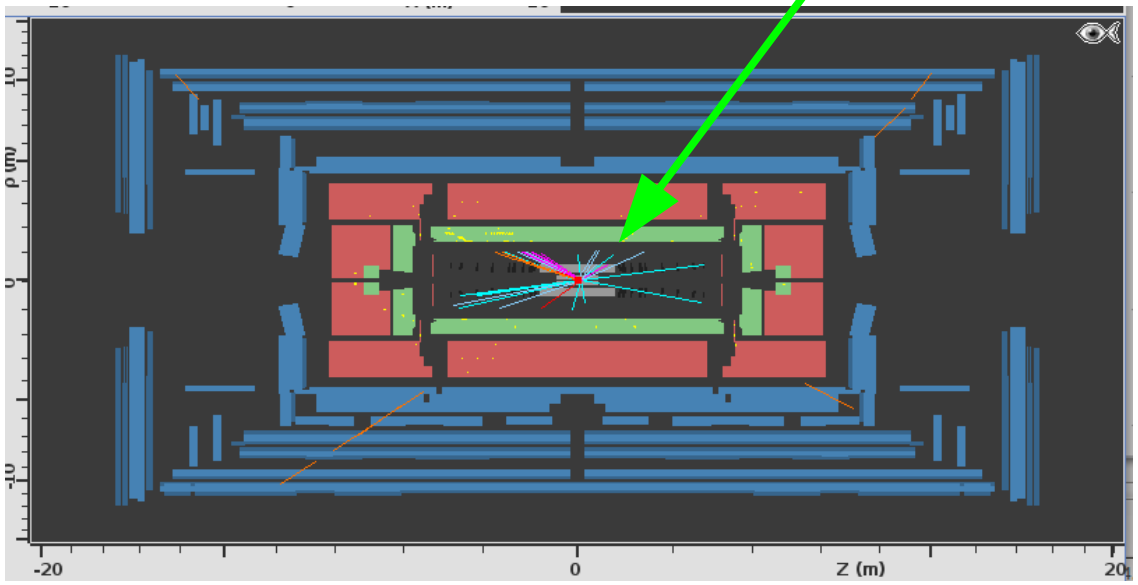
Energia delle particelle depositata nei vari rivelatori in funzione di **η** e **Φ.**



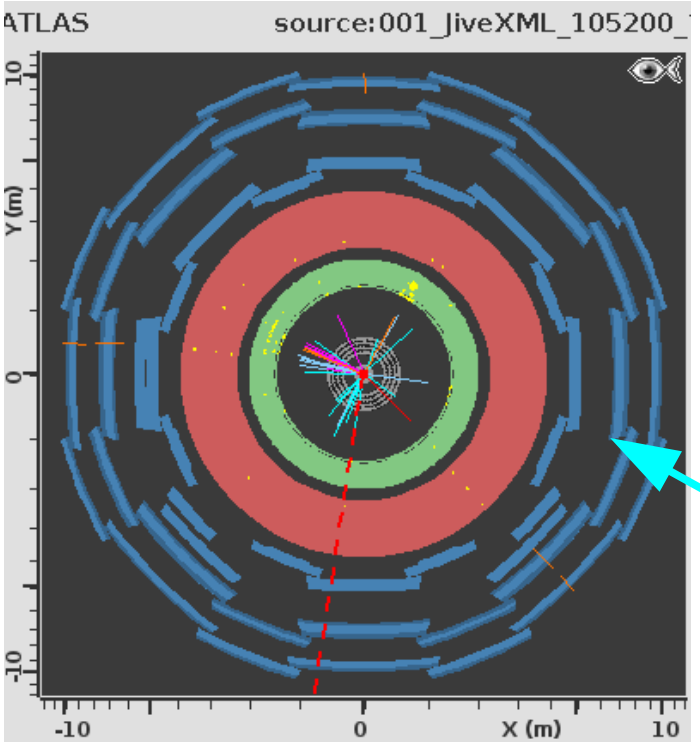
Informazioni di principale interesse per l'esercizio



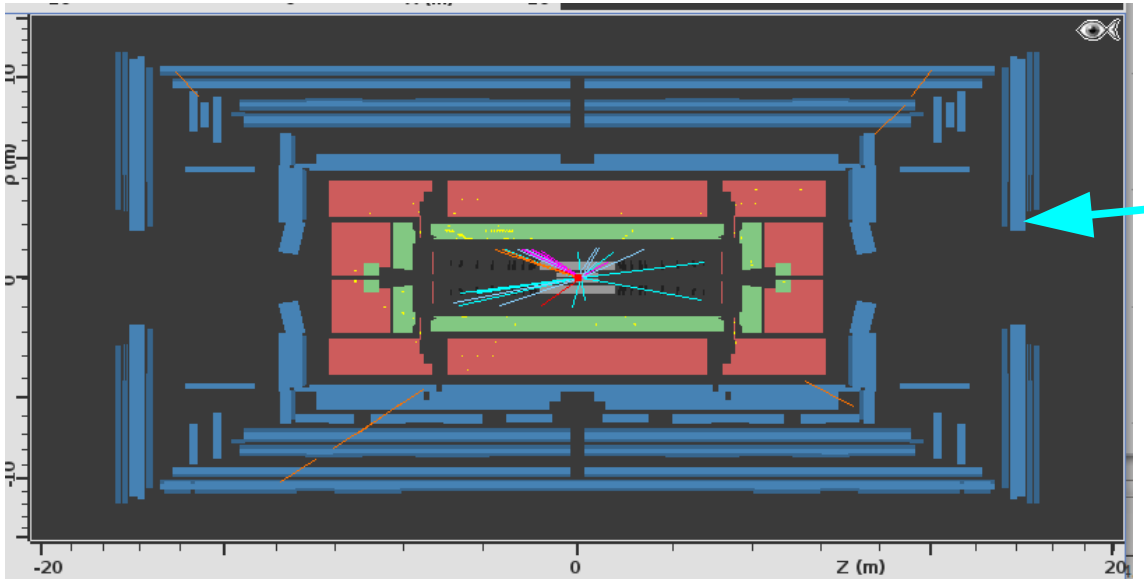
Calorimetro elettromagnetico (zona verde interna) rivelazione di elettroni (e^-) & positroni (e^+)



Informazioni di principale interesse per l'esercizio

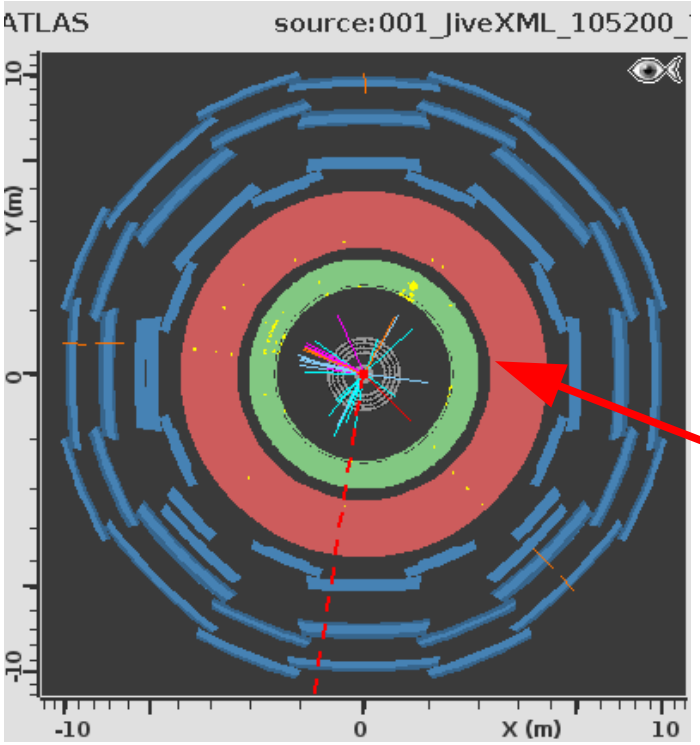


Calorimetro elettromagnetico (zona verde interna) rivelazione di elettroni (e^-) & positroni (e^+)



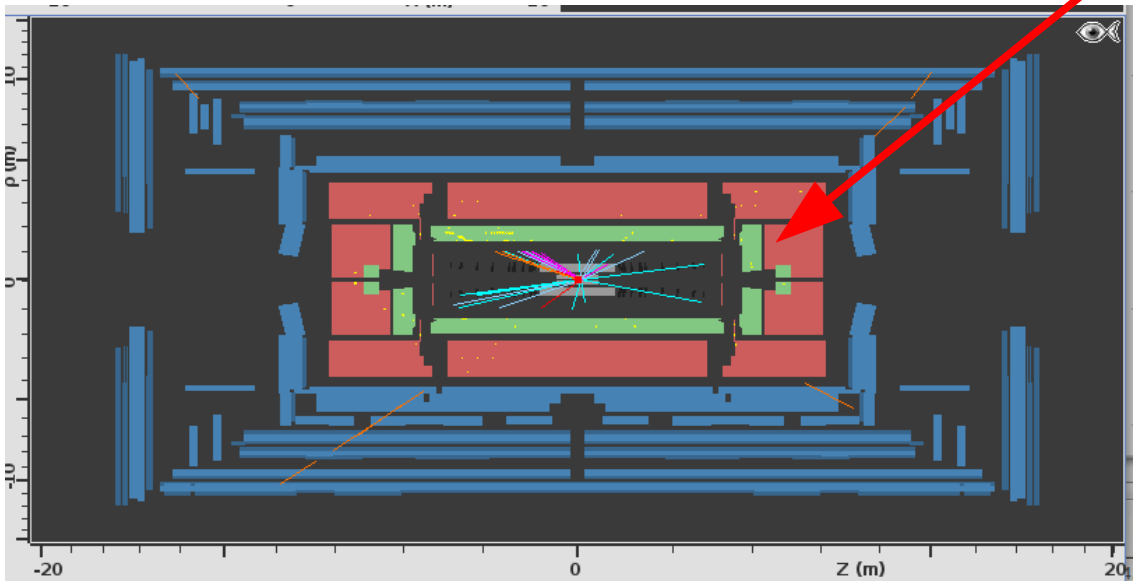
Rivelatore muonico (zona blu esterna) rivelazione di muoni (μ^-) & antimuoni (μ^+)

Informazioni di principale interesse per l'esercizio



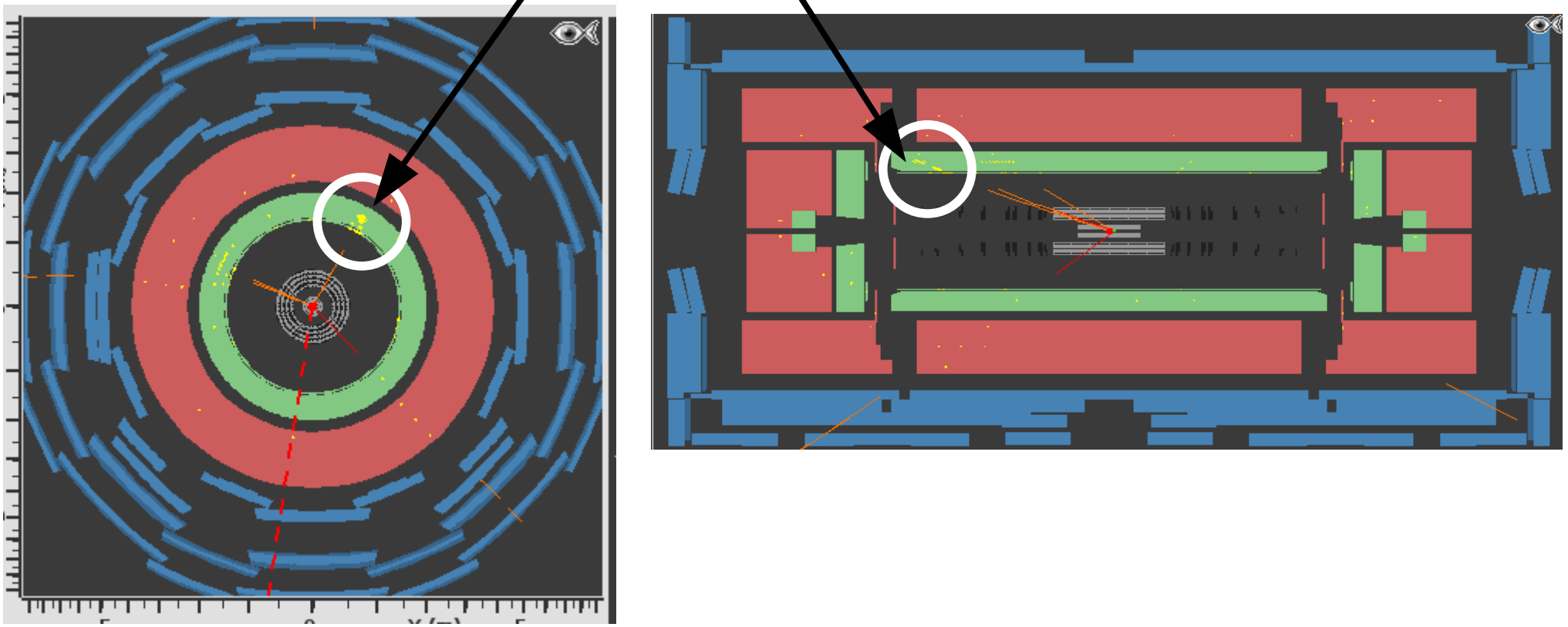
Calorimetro elettromagnetico (zona verde interna) rivelazione di elettroni (e^-) & positroni (e^+)

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



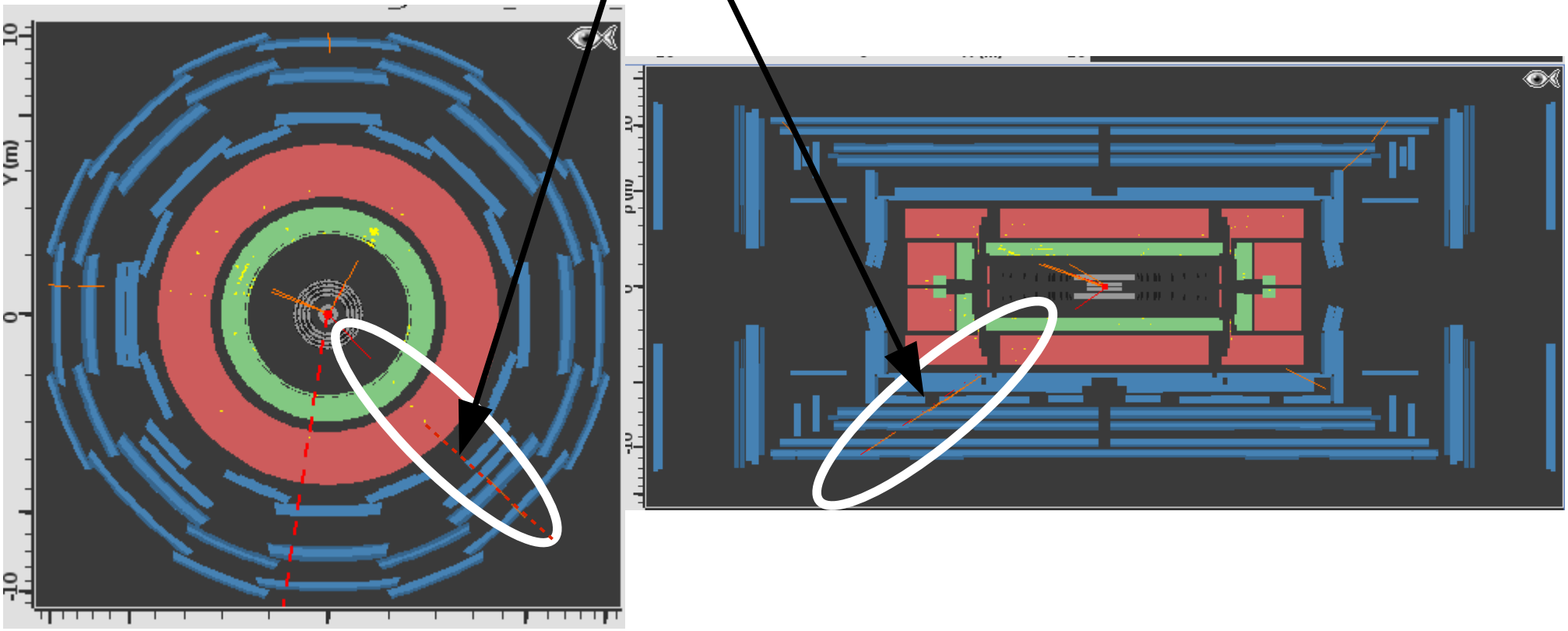
Rivelatore muonico (zona blu esterna) rivelazione di muoni (μ^-) & antimuoni (μ^+)

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



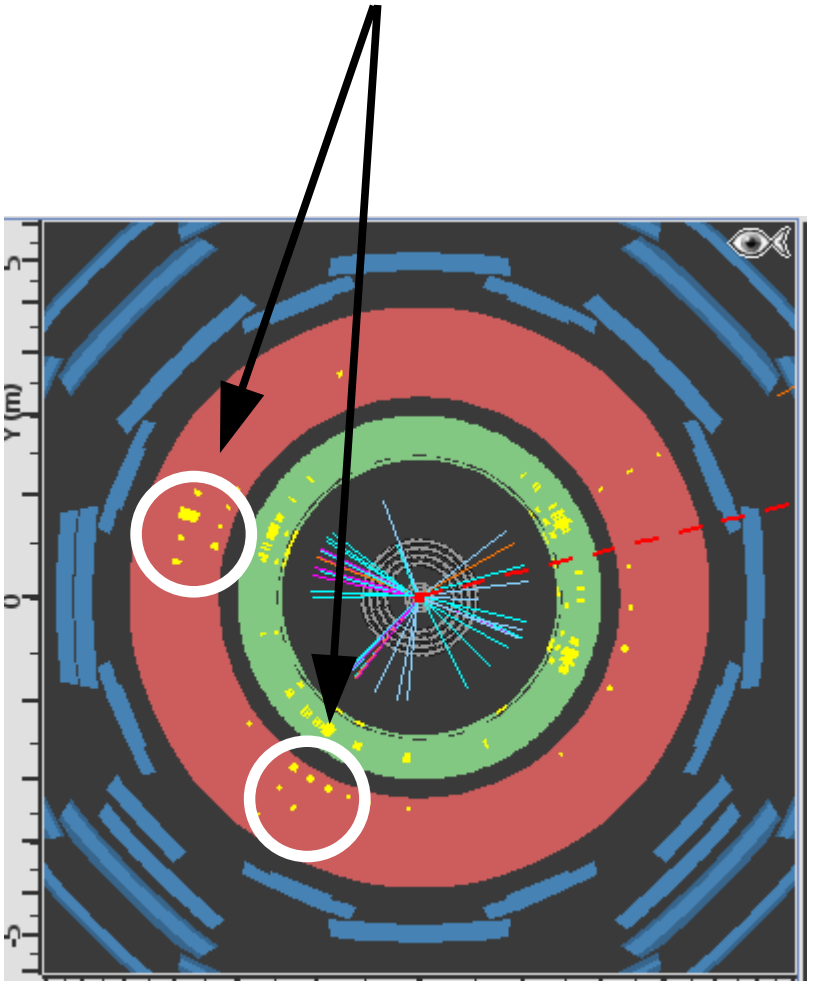
Identificazione di elettroni e positroni

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



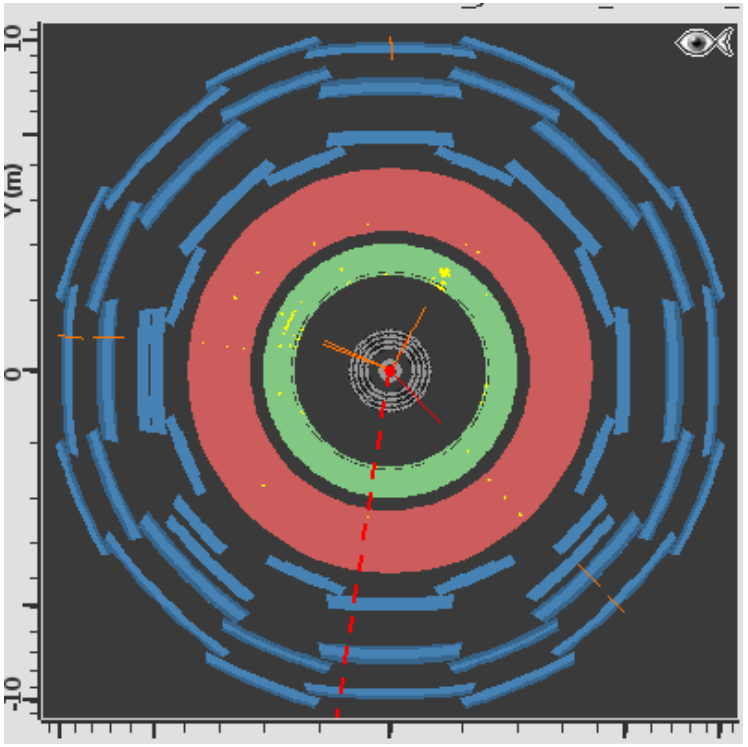
Identificazione di muoni e antimuoni

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



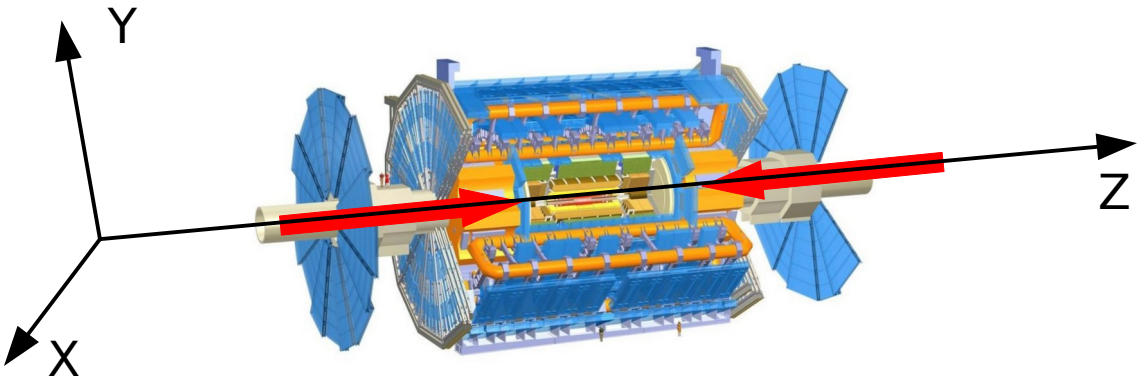
Identificazione di adroni (in jet)

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.



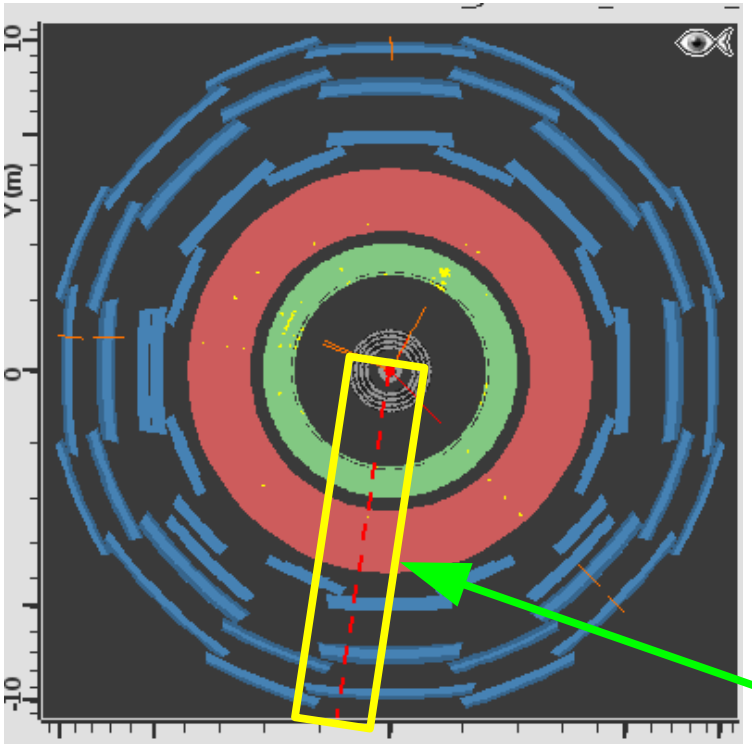
- Se viene creato un neutrino, esso non può essere rivelato direttamente perchè interagisce molto debolmente con la materia.

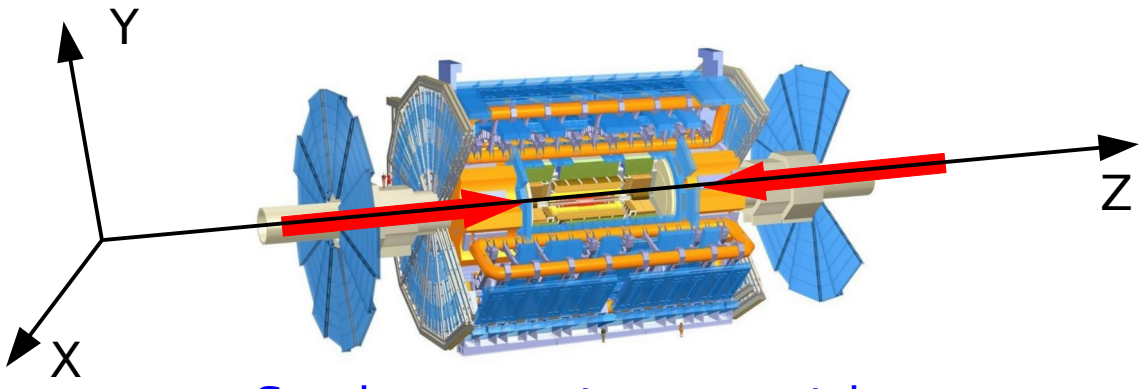
- Tuttavia il suo impulso è dedotto dopo un'accurata misurazione dell'impulso di tutte le altre particelle da cui si può dedurre anche la sua Energia Mancante (Missing Energy Transverse → MET).

Identificazione dei neutrini 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.

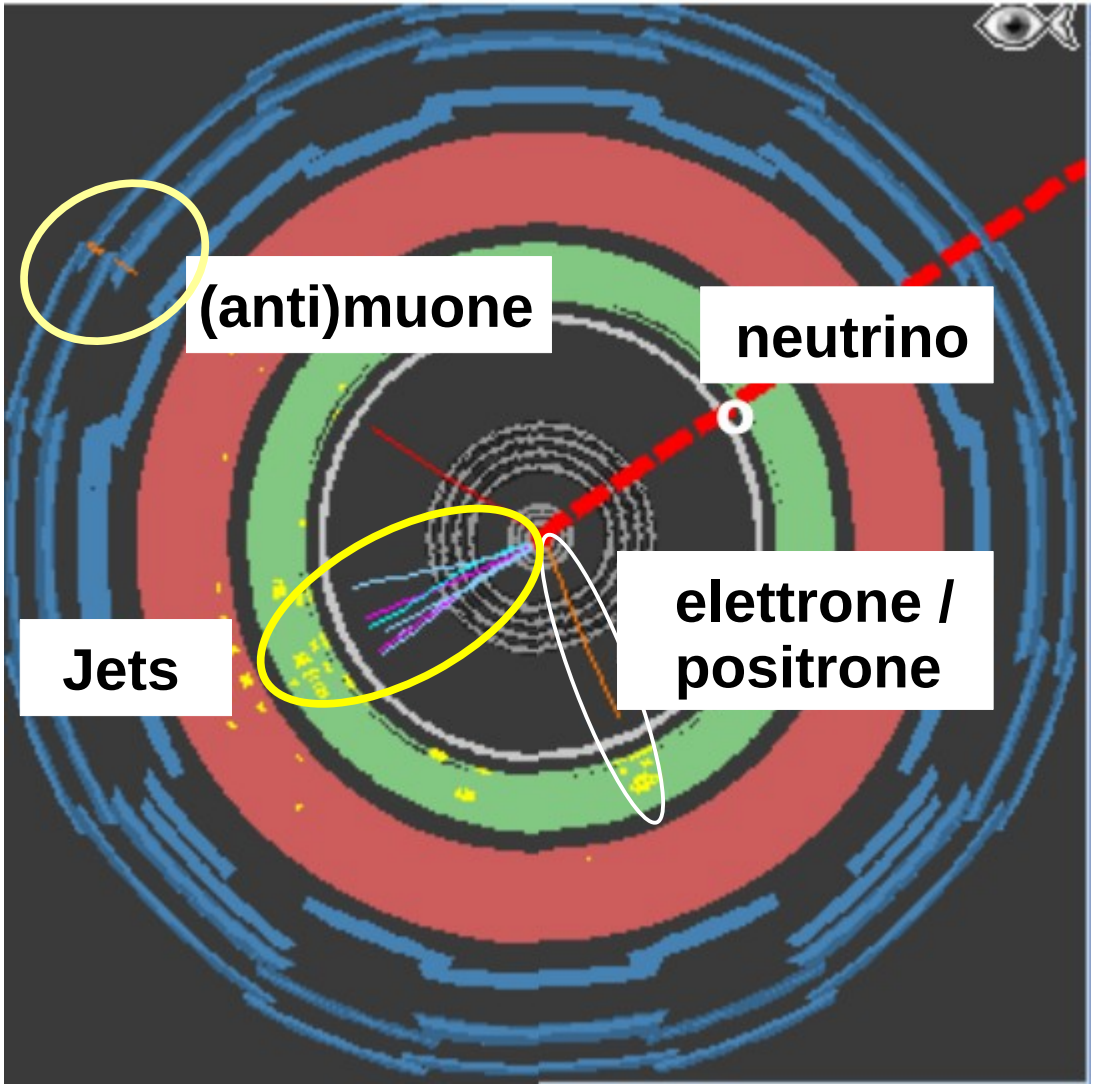




- Se viene creato un neutrino, esso non può essere rivelato direttamente perchè interagisce molto debolmente con la materia.

- 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).

In sintesi: identificazione tracce delle particelle nei rivelatori



Foglio delle misure

Analisi dati di ATLAS - **Set di dati**: …

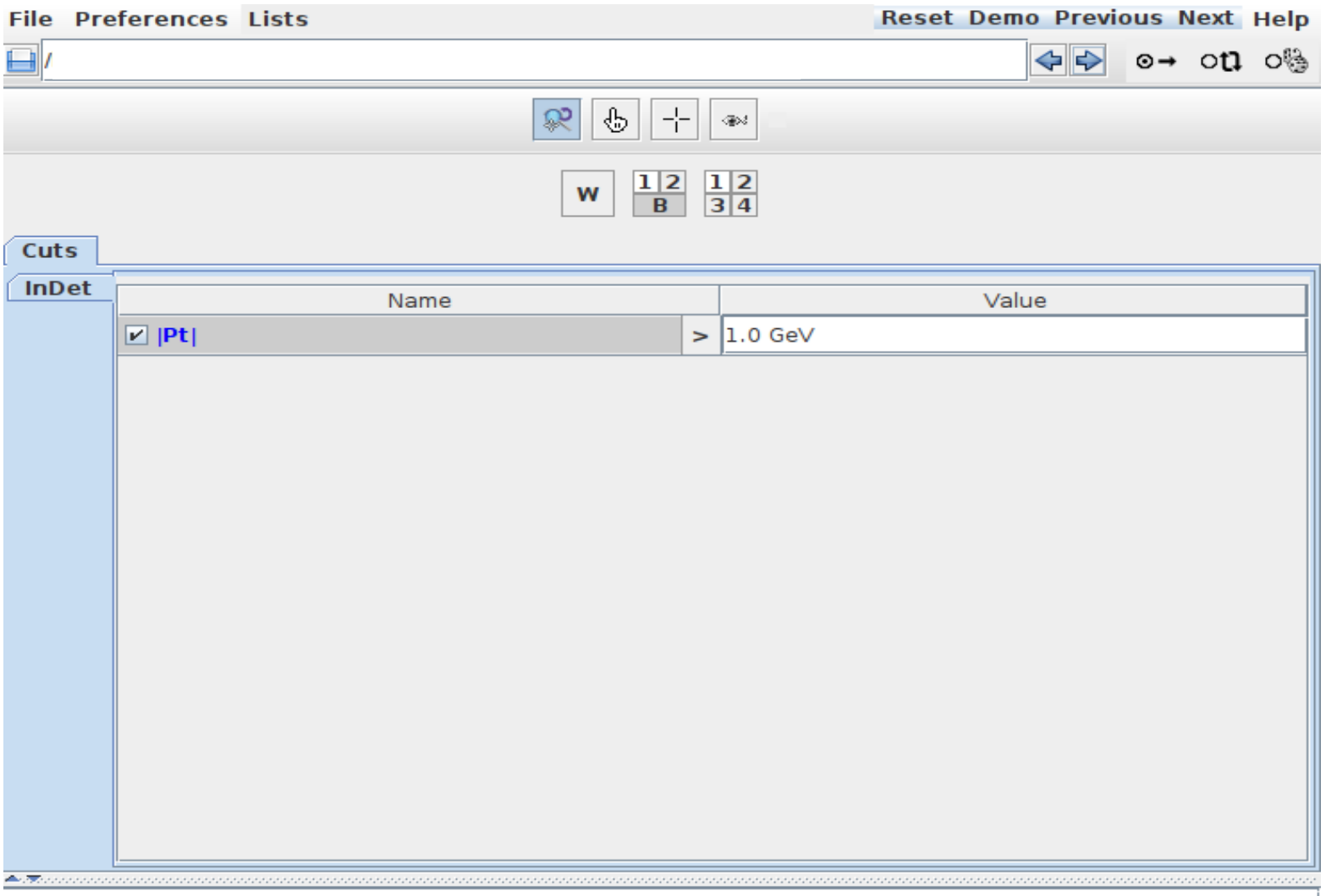
	segnale con uno solo leptone ($l = e / \mu$) $W \to l + \nu$				segnale con due leptoni l^+l^-		Fondo (Back-ground)	Commenti
Evento	$W^+ \to e^+ + \nu$	$W^- \to e^- + \nu$	$W^+ \to \mu^+ + \nu$	$W^- \to \mu^- + \nu$	$W^+W^- \to l^+\nu l^-\nu$	Angolo $\Delta\varphi_{ll}$		
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								
26								
27								
28								
29								
30								
31								
32								
33								
34								
35								
36								
37								
38								
39								
40								
41								
42								
43								
44								
45								
46								
47								
48								
49								
50								
Totale								

Foglio delle misure

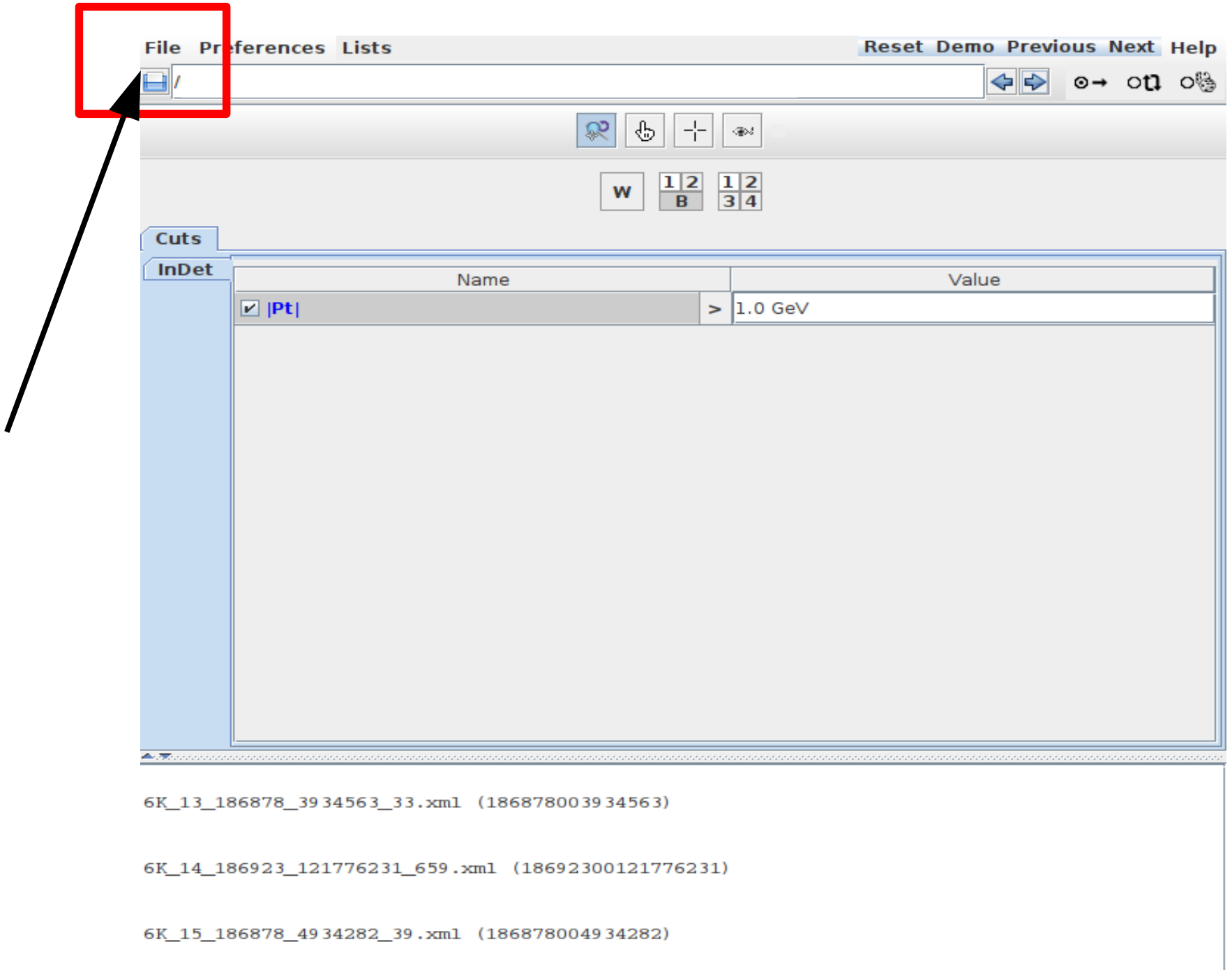
Analisi dati di ATLAS - Set di dati: ...(e.g **9A**)

	segnale con uno solo leptone ($l = e / \mu$) $W \rightarrow l + \nu$				segnale con due leptoni l^+l^-		Fondo (Back-ground)	Commenti
Evento	$W^+ \rightarrow e^+ + \nu$	$W^- \rightarrow e^- + \nu$	$W^+ \rightarrow \mu^+ + \nu$	$W^- \rightarrow \mu^- + \nu$	$W^+W^- \rightarrow l^+ \nu l^- \nu$	Angolo $\Delta\varphi_{ll}$		
1		√						
2				√				
3							√	
4	√							
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								

Linee guida per l’uso del pannello di controllo



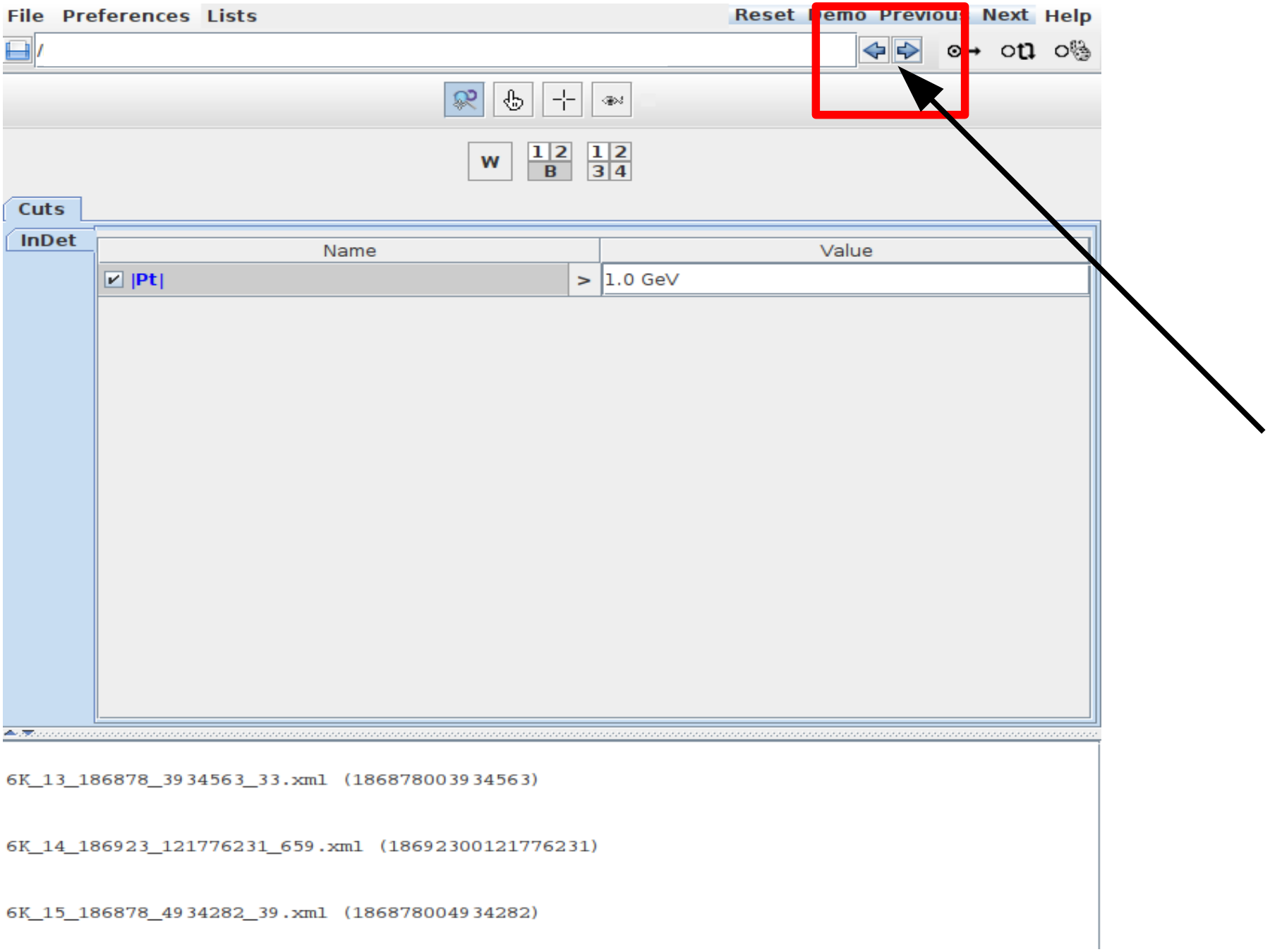
Caricare il set di dati



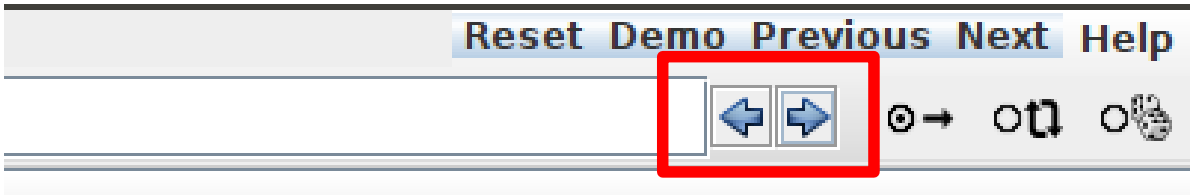
Caricare il set di dati

- Cliccare su **File** e scegliere **Read events locally** poi caricare il set di dati **assegnato** e.g. **9F.zip** e così via.

Avanti – indietro nei dati



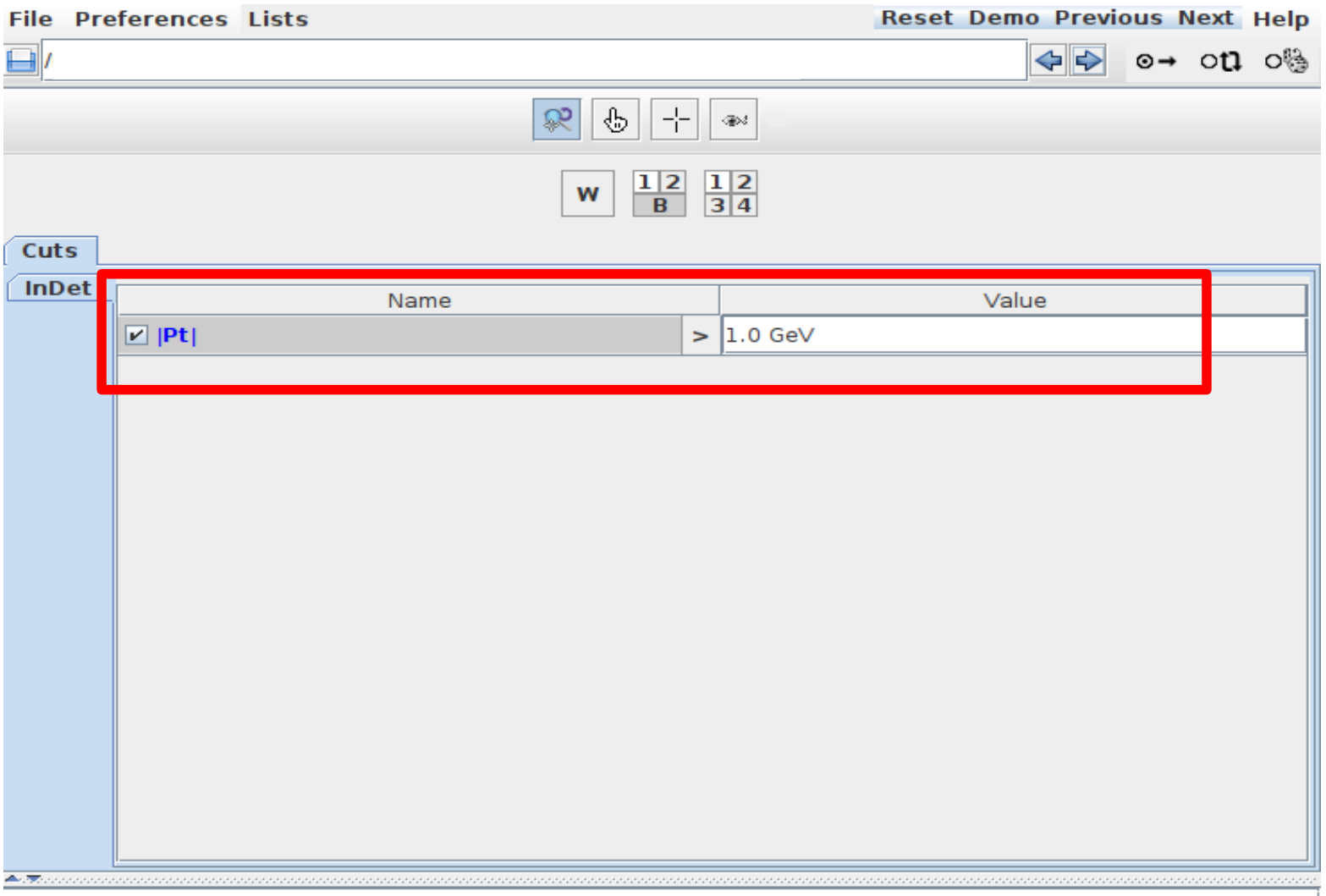
Avanti – indietro nei dati



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

  freccia destra → avanti, freccia sinistra → indietro.

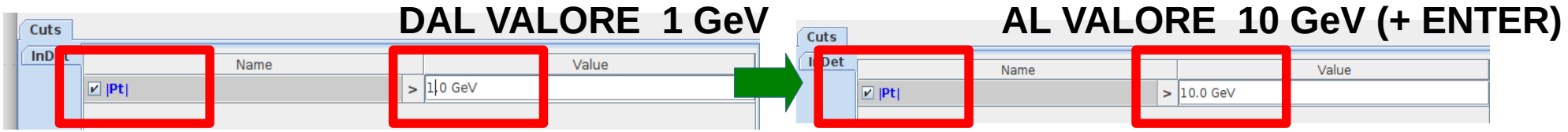
Aggiustare il valore di soglia dell'impulso P_t

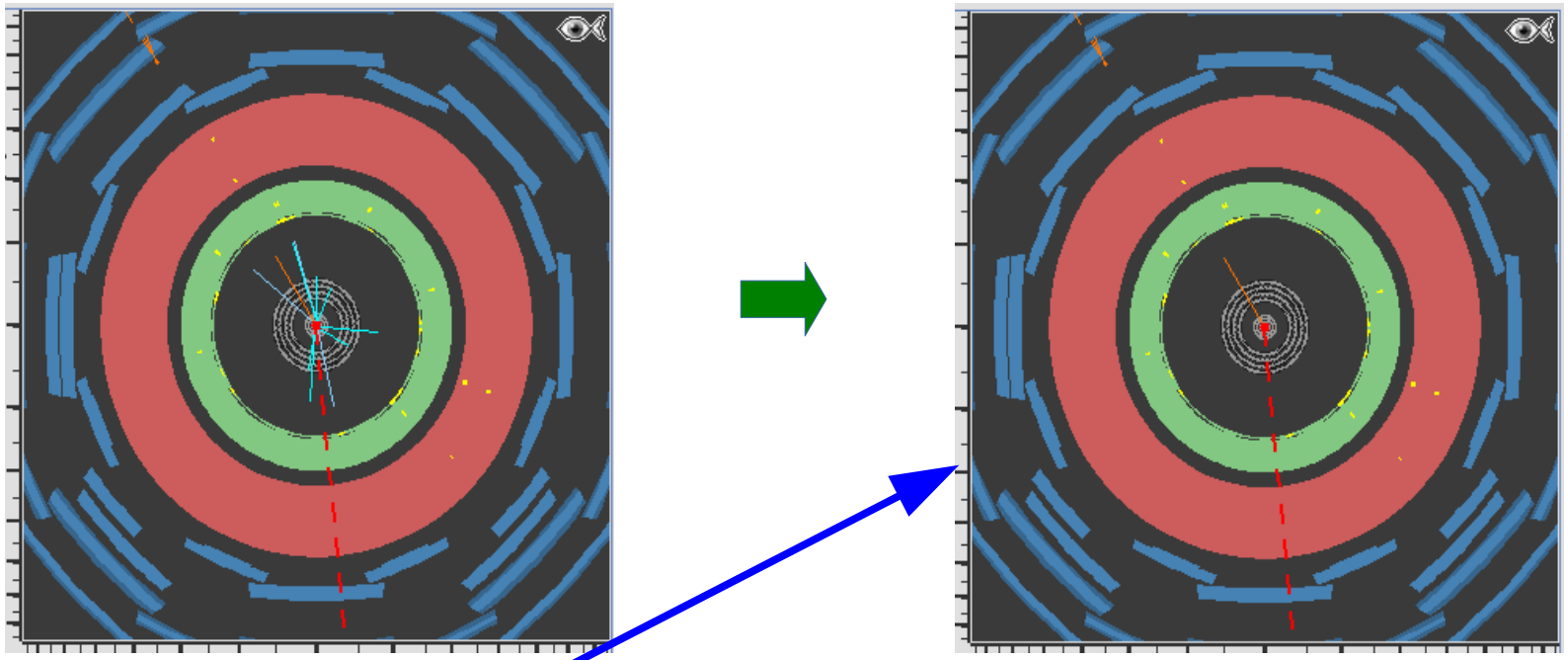



```
6K_13_186878_39 34563_33.xml (18687800 39 34563)

6K_14_186923_121776231_659.xml (18692300121776231)

6K_15_186878_49 34282_39.xml (18687800 49 34282)
```

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

---



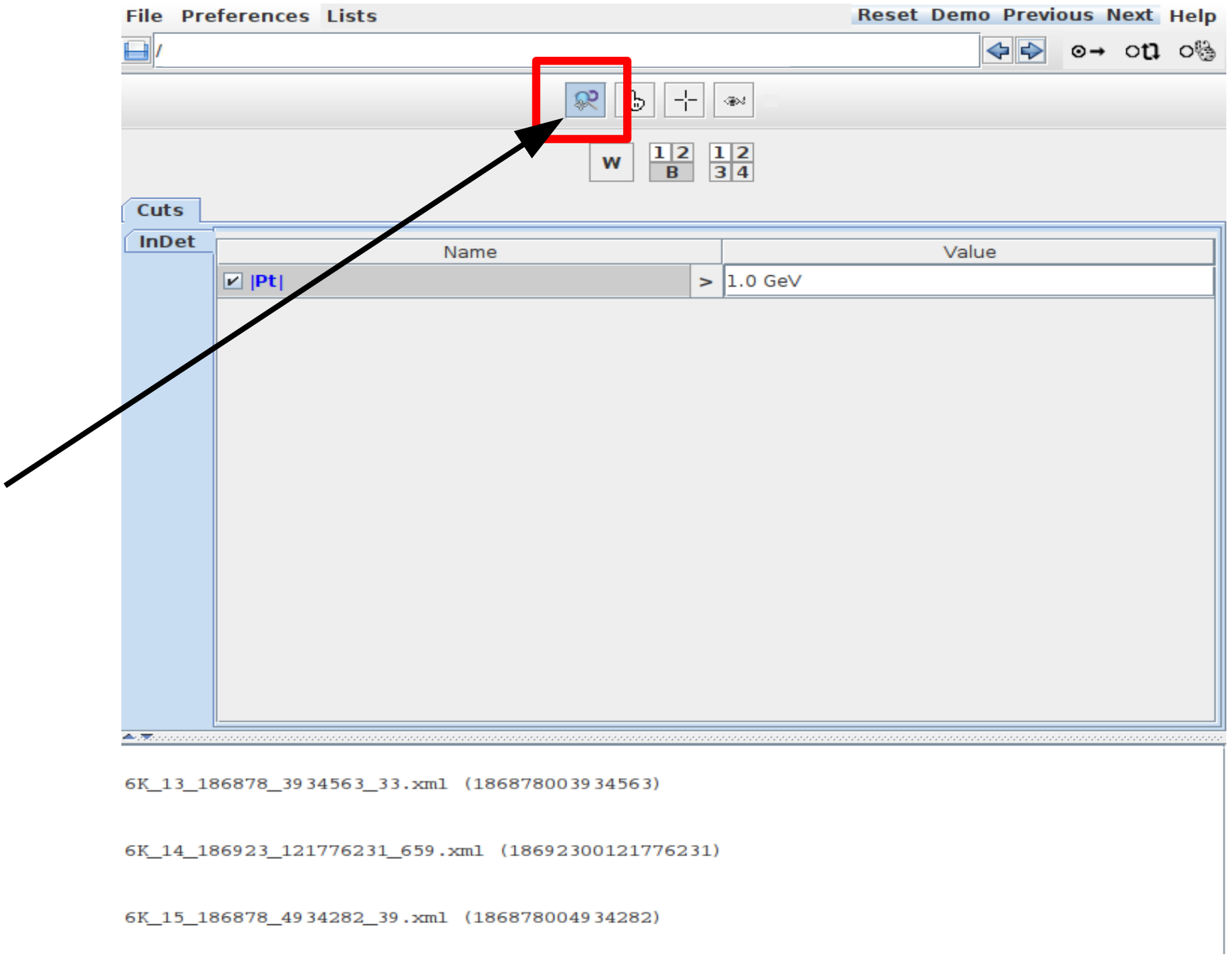


prima

dopo

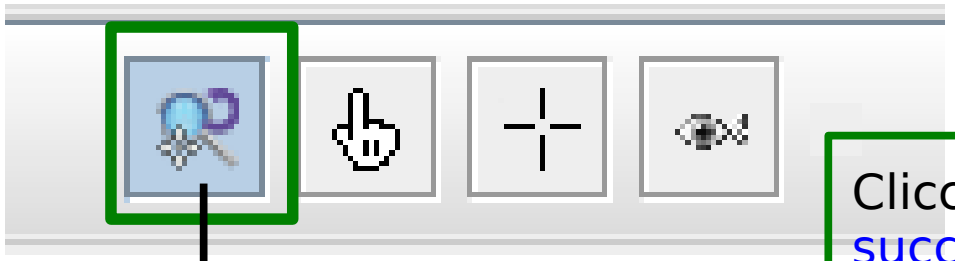
Immagine semplificata che mostra gli eventi che possono essere di interesse

Funzioni molto utili: Zoom

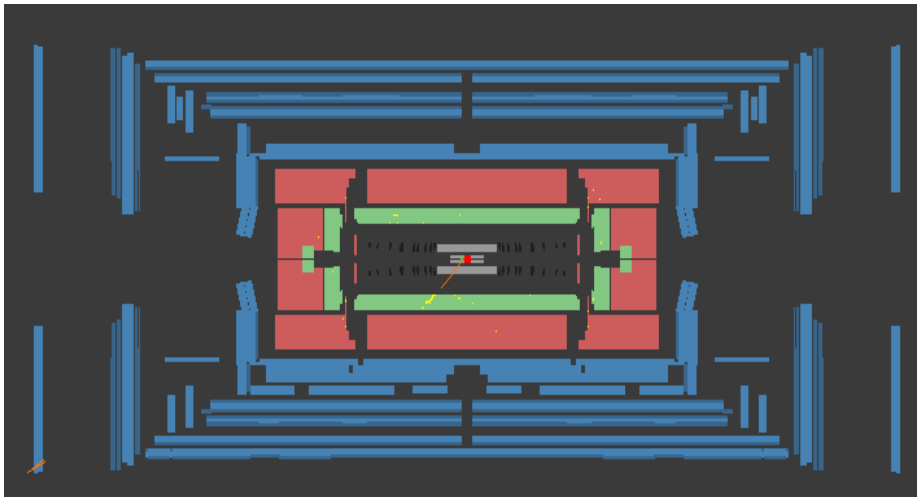


Funzioni molto utili

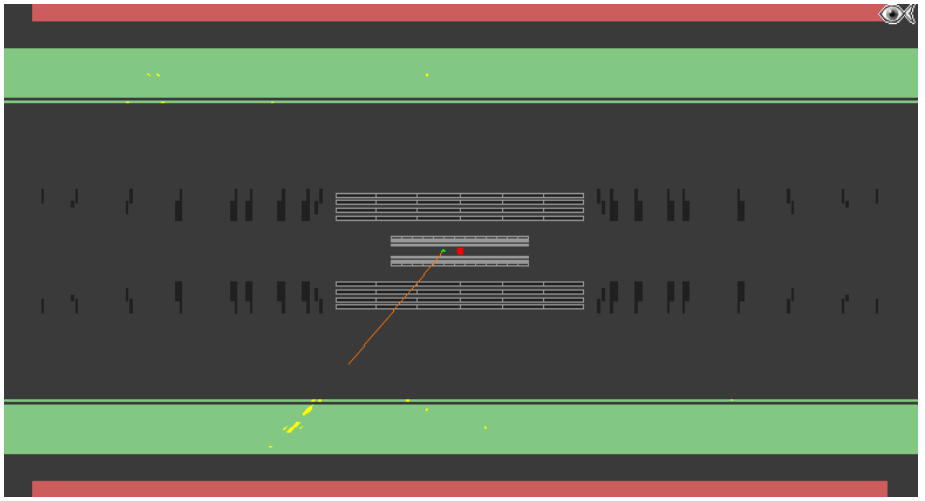
1.



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.



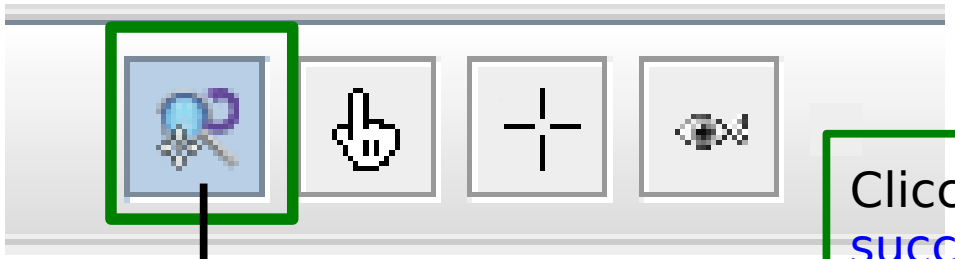
senza zoom



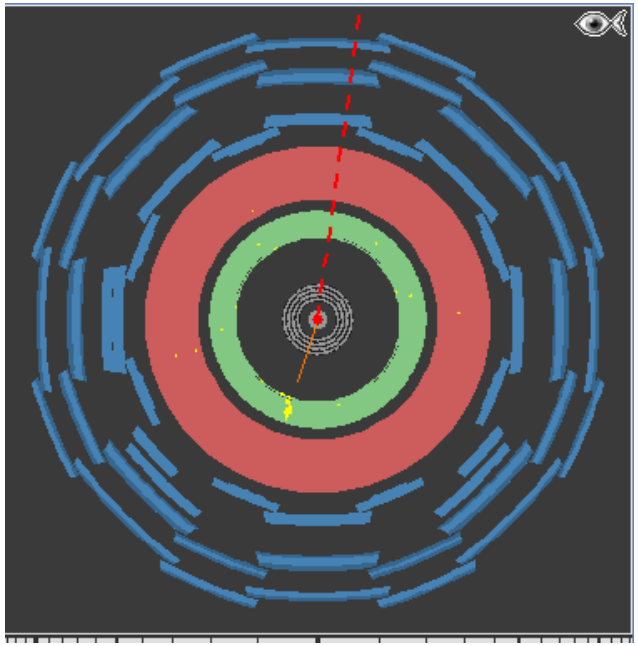
con zoom

Funzioni molto utili

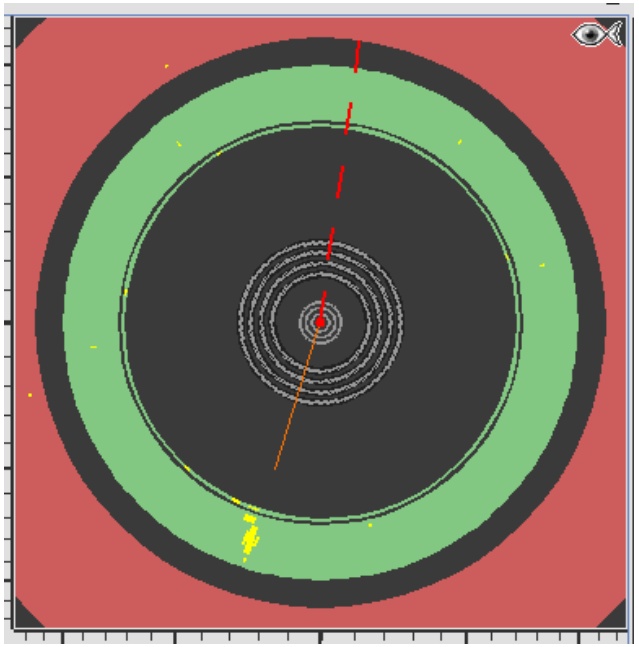
1.



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.



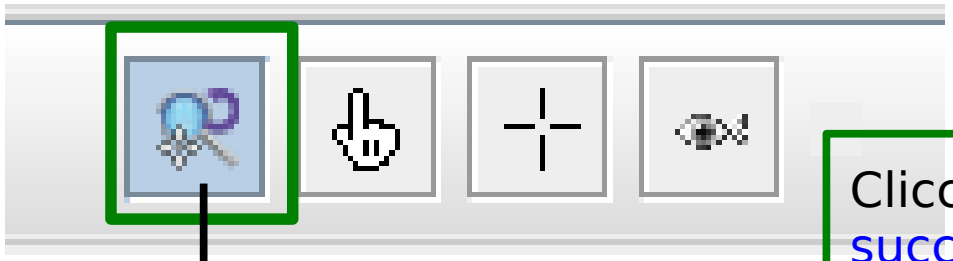
senza zoom



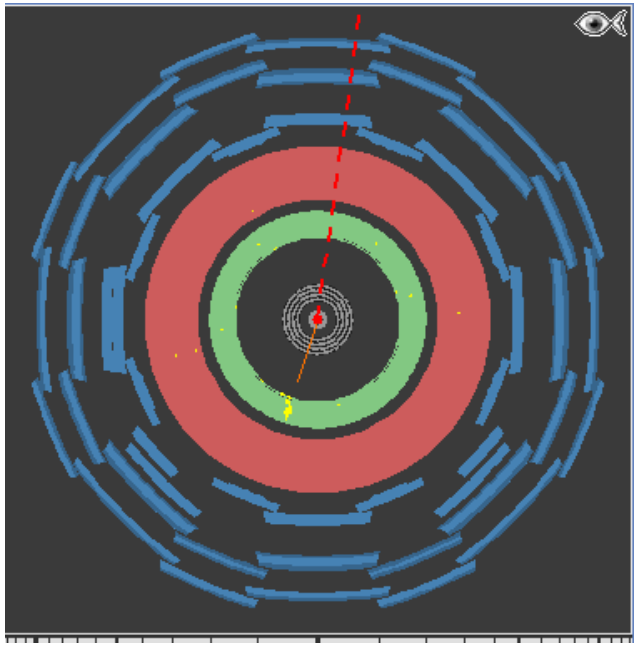
con zoom

Funzioni molto utili

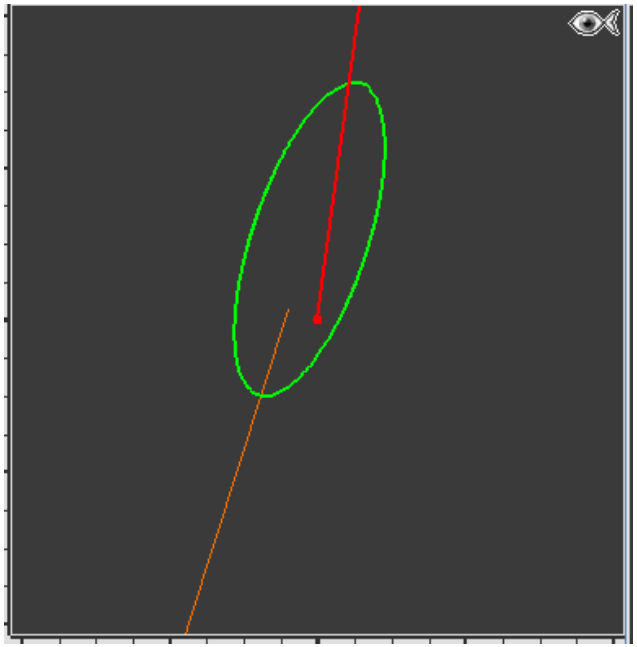
1.



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.



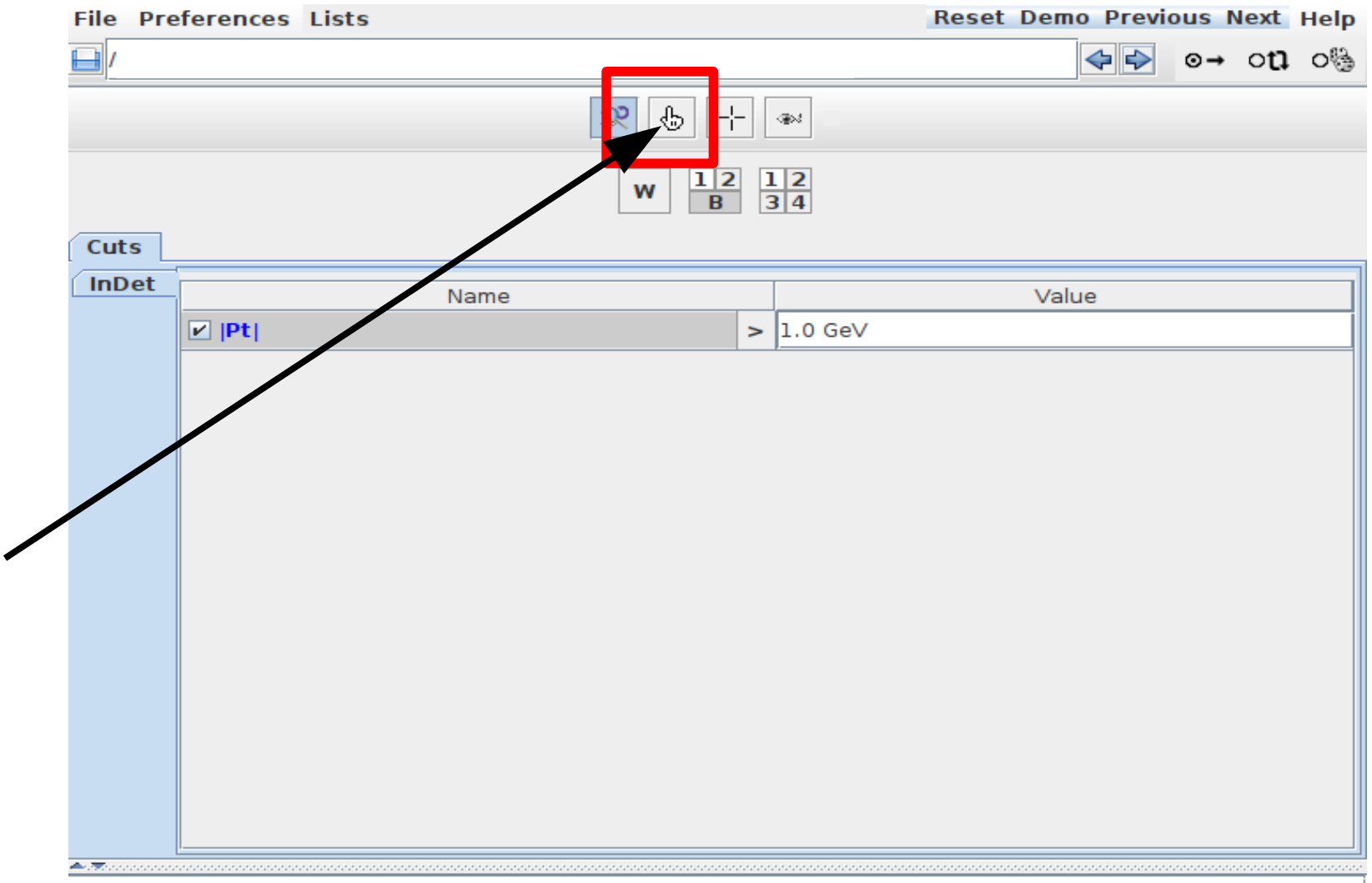
senza zoom



con molto zoom

si può vedere la regione dell'interazione

Funzioni molto utili: informazioni particelle



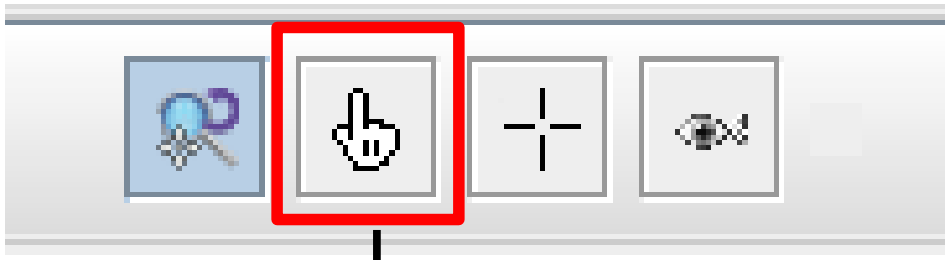
6K_13_186878_39 34563_33.xml (18687800 39 34563)

6K_14_186923_121776231_659.xml (18692300121776231)

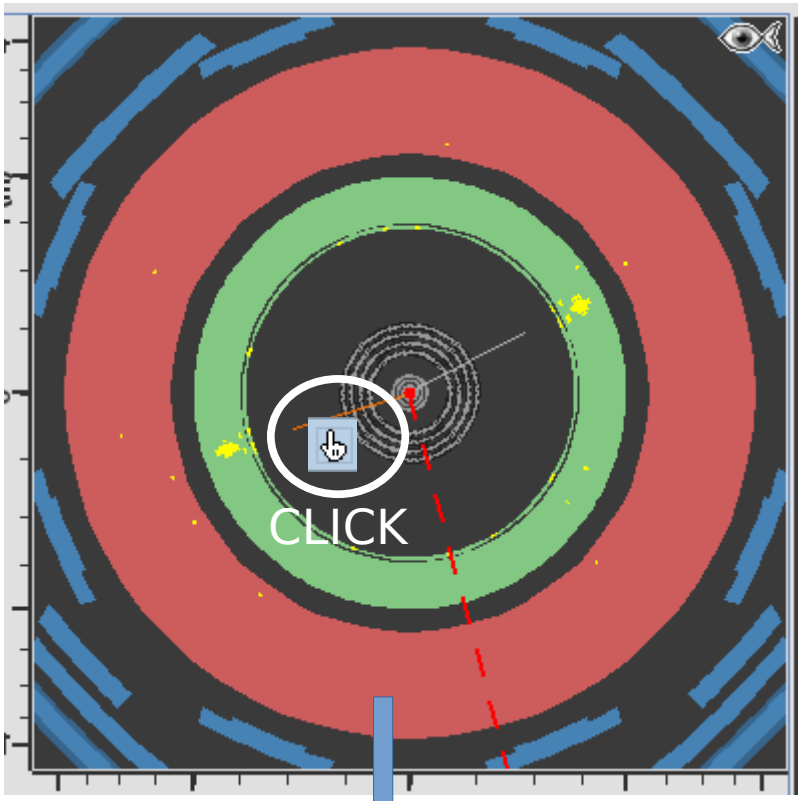
6K_15_186878_49 34282_39.xml (18687800 49 34282)

Funzioni molto utili

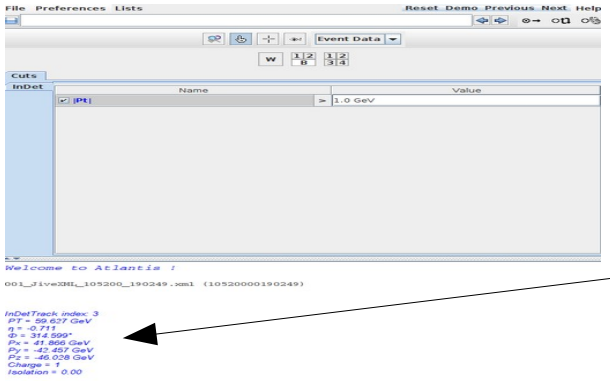
2.



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.



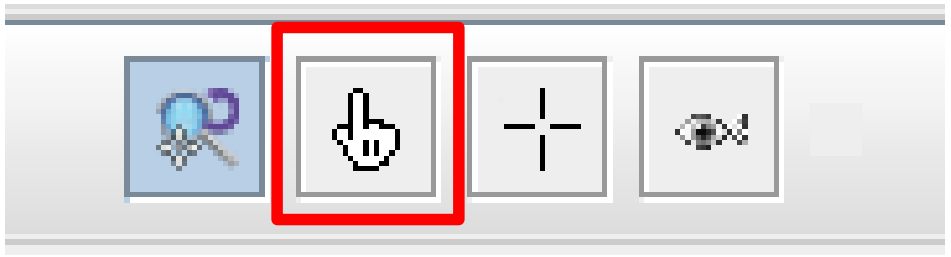
Risultato nella finestra di output

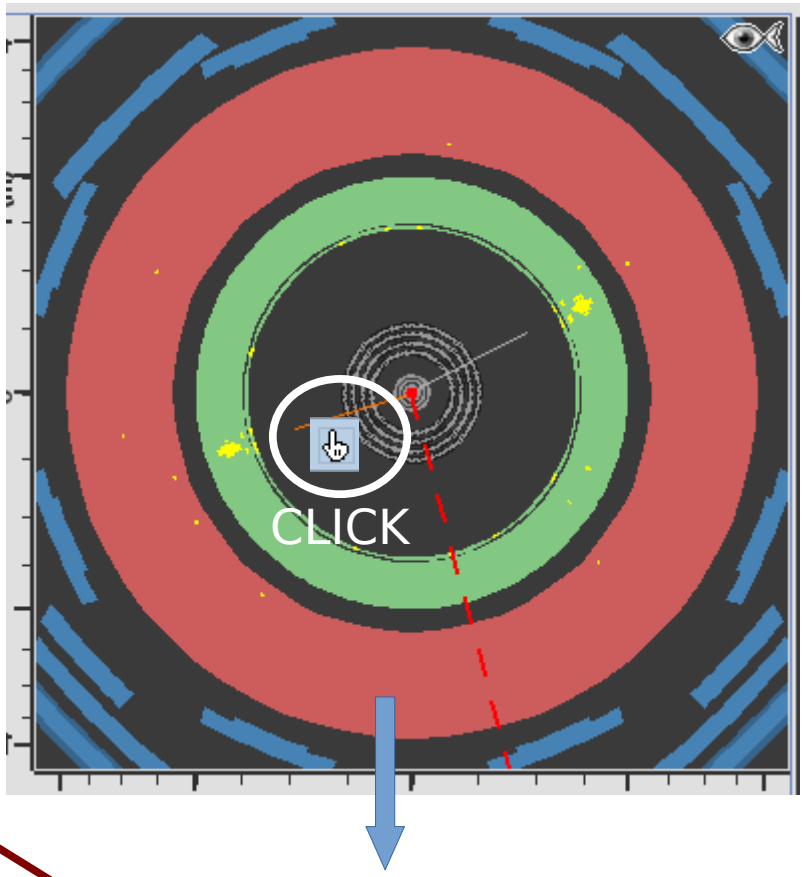


InDetTrack index: 37
PT = 36.706 GeV
η = -0.943
Φ = 196.926°
Px = -35.116 GeV
Py = -10.687 GeV
Pz = -39.975 GeV
Charge = -1
Isolation = 0.00

Funzioni molto utili

2.





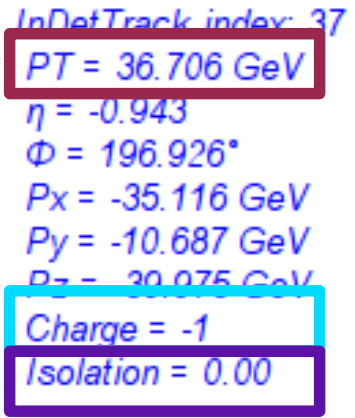
Valore dell'impulso della particella

> 20 GeV

Valore della carica della particella

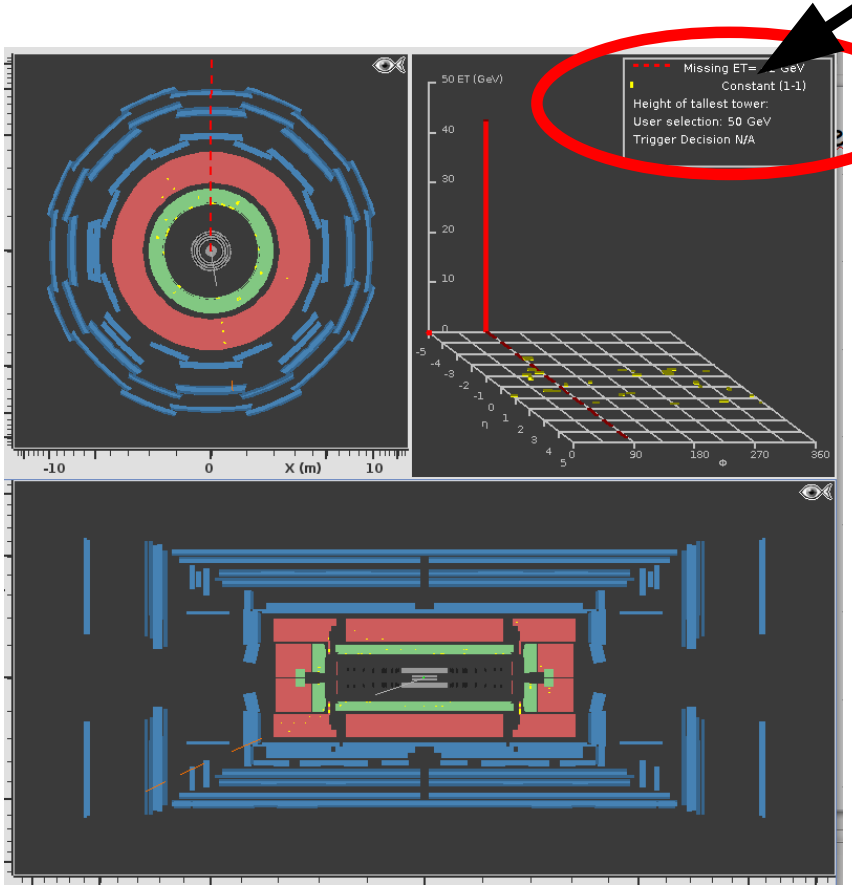
Indicatore dell'isolamento della particella da altri eventi (jet) nella vicinanza del punto dell'interazione

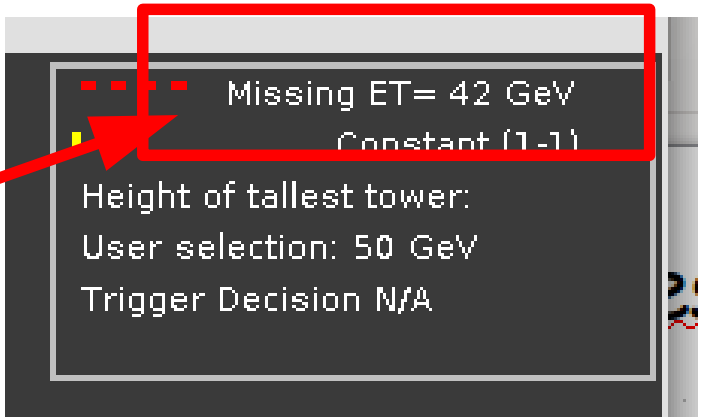
< 0.2



Qualche esempio … 1

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



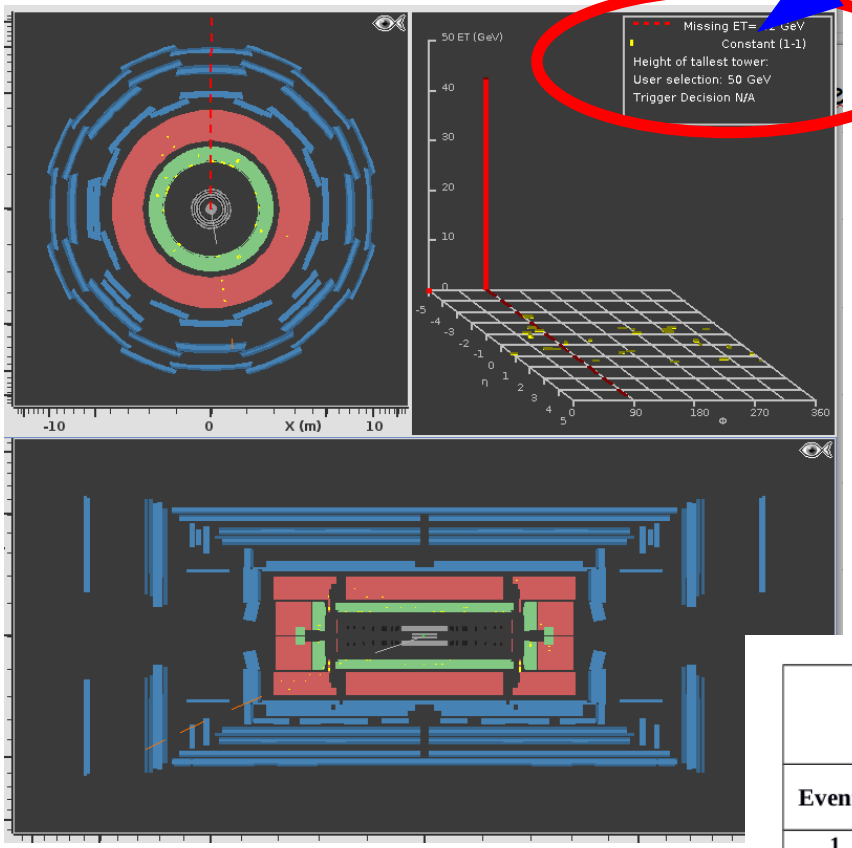


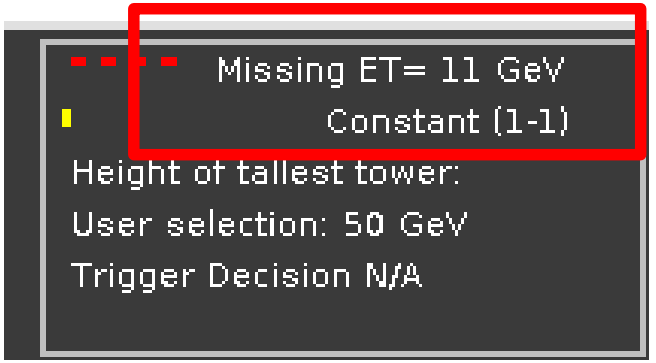
SE **Missing ET** > 20 GeV √

Si prosegue con l'analisi

Qualche esempio ... 1

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





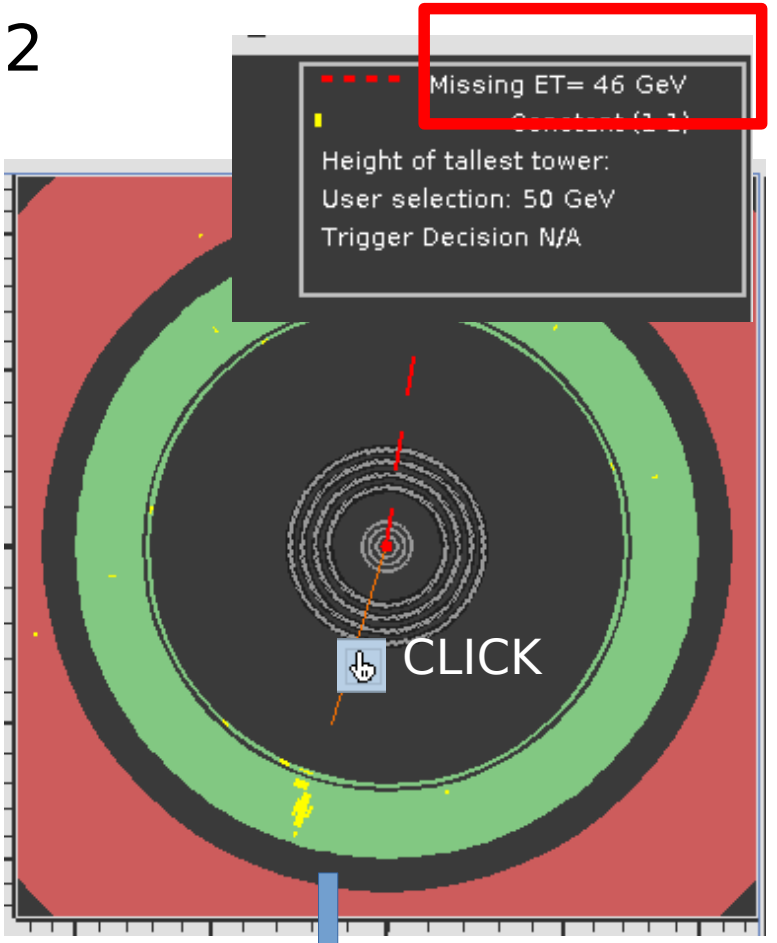
SE ~~**Missing ET > 20 GeV**~~

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

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^-

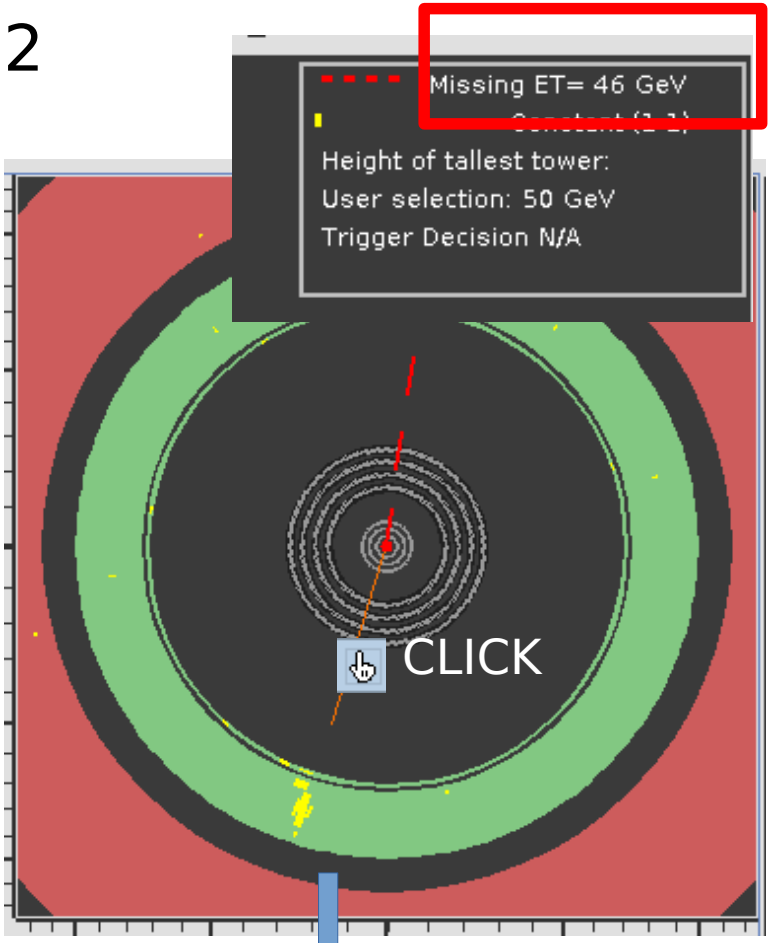


Risultato nella finestra di output

PT = 35.353 GeV
η = -0.515
Φ = 251.894°
Px = -10.987 GeV
Py = -33.602 GeV
Pz = -19.029 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^-

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

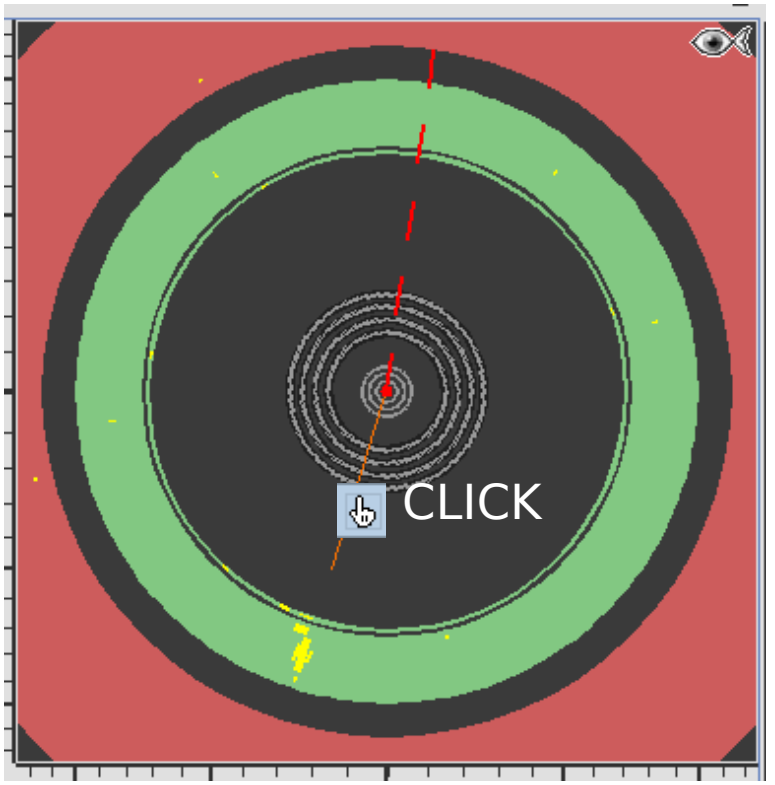
Risultato nella finestra di output

PT = 35.353 GeV
η = -0.515
Φ = 251.894°
Px = -10.987 GeV
Py = -33.602 GeV
Pz = -19.029 GeV
Charge = -1
Isolation = 0.00

Qualche esempio … 3

Se

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

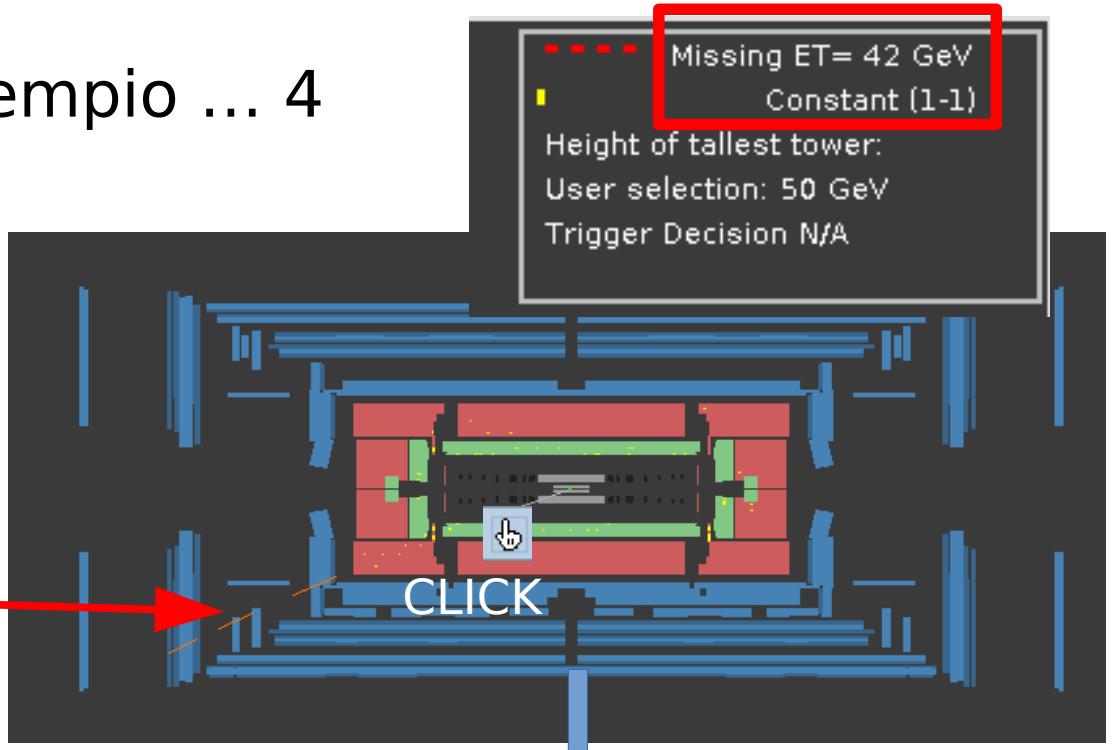


Elettrone del decadimento di W^-

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

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



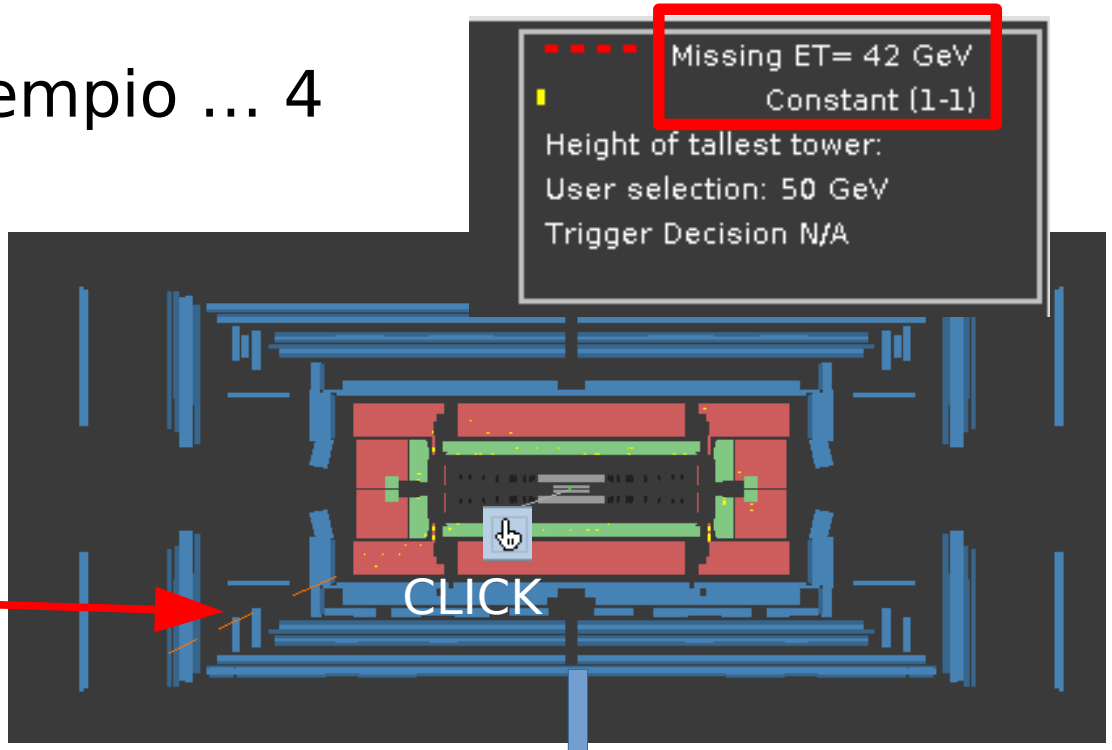
Risultato nella finestra di output

PT = 39.169 GeV
η = -1.291
Φ = 279.477°
Px = 6.449 GeV
Py = -38.634 GeV
Pz = -65.818 GeV
Charge = 1
Isolation = 0.03

Antimuone del decadimento di W^+

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



Risultato nella finestra di output

Antimuone del decadimento di W^+

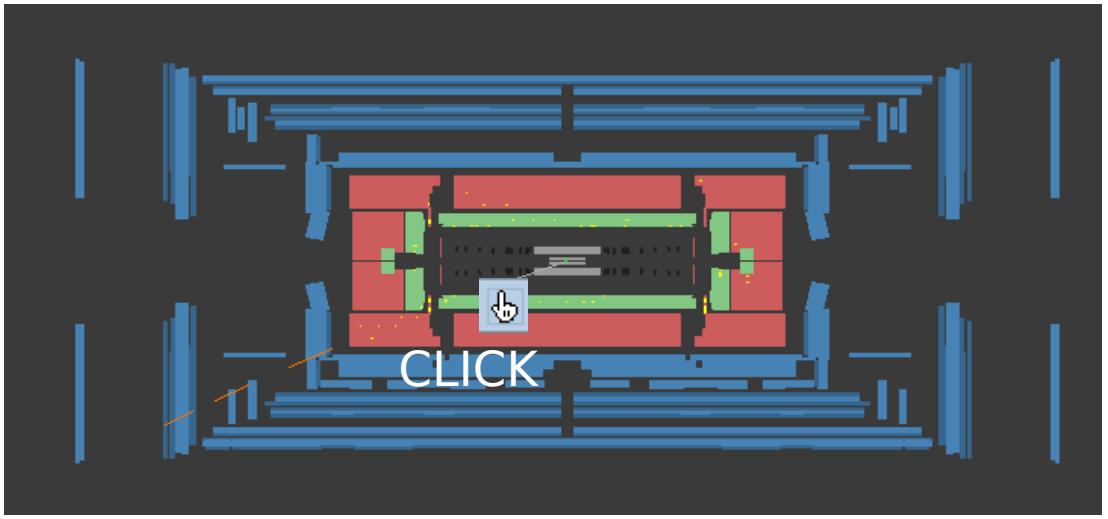
	segnale con uno solo leptone ($l = e / \mu$) $W \rightarrow l + \nu$				segnale con due leptoni l^+l^-		Fondo (Back-ground)	Commenti
Evento	$W^+ \rightarrow e^+ + \nu$	$W^- \rightarrow e^- + \nu$	$W^+ \rightarrow \mu^+ + \nu$	$W^- \rightarrow \mu^- + \nu$	$W^+W^- \rightarrow l^+ \nu l^- \nu$	Angolo $\Delta\varphi_{ll}$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

PT = 39.169 GeV
η = -1.291
Φ = 279.477°
Px = 6.449 GeV
Py = -38.634 GeV
Pz = -65.818 GeV
Charge = 1
Isolation = 0.03

Qualche esempio … 5

Se

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

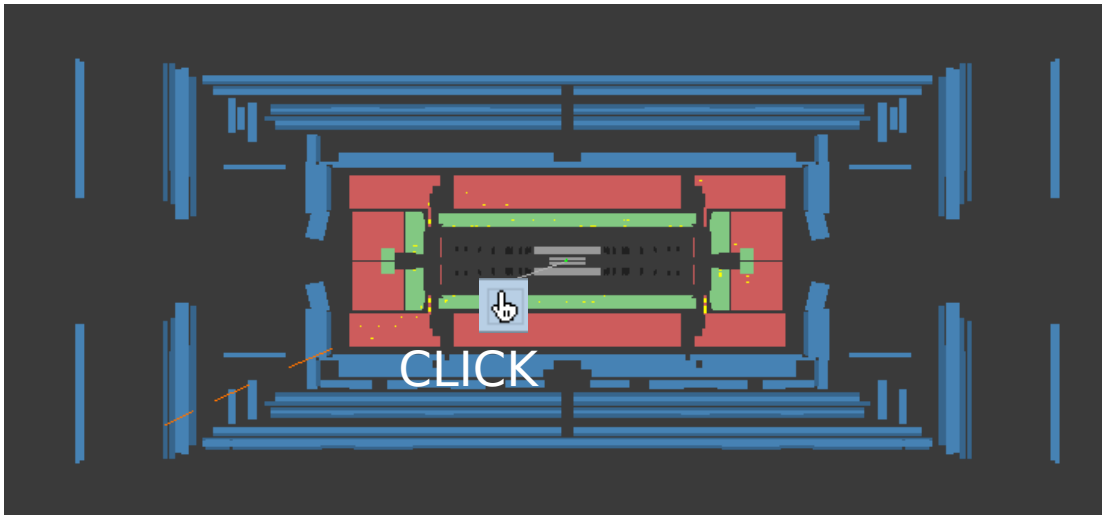


~~Antimuone del decadimento di~~ W^+

Qualche esempio … 5

Se

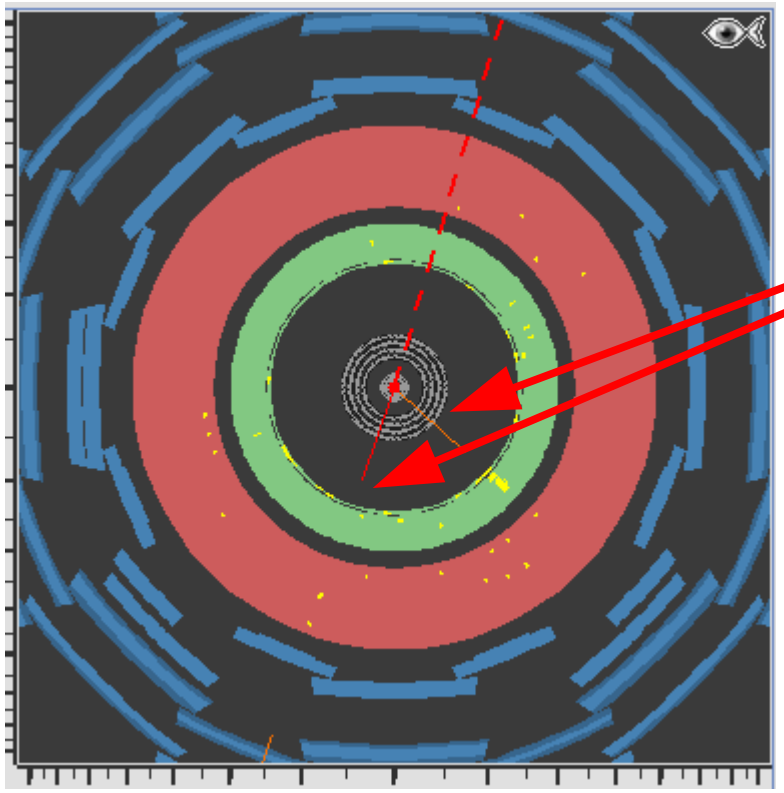
1. ~~Missing ET > 20 GeV~~ **oppure**
2. ~~Isolation=0.03 < 0.2~~ **oppure**
3. ~~PT > 20 GeV~~
4. Particella frenata nel rivelatore muonico
5. Carica positiva



~~Antimuone del decadimento di~~ W^+

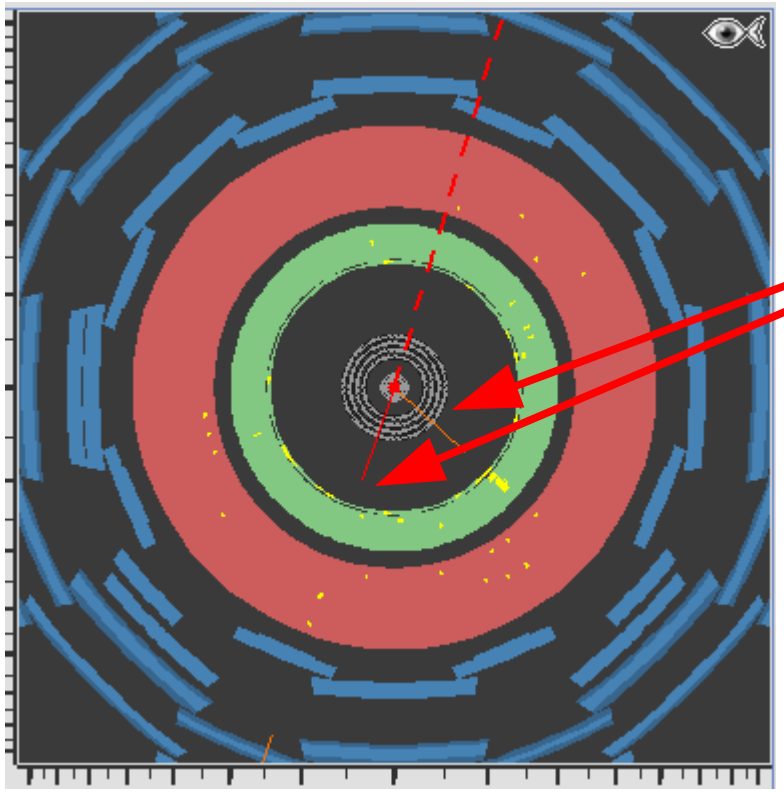
	segnale con uno solo leptone ($l = e / \mu$) $W \rightarrow l + \nu$				segnale con due leptoni l^+l^-		Fondo (Back-ground)	Commenti
Evento	$W^+ \rightarrow e^+ + \nu$	$W^- \rightarrow e^- + \nu$	$W^+ \rightarrow \mu^+ + \nu$	$W^- \rightarrow \mu^- + \nu$	$W^+W^- \rightarrow l^+ \nu\, l^- \nu$	Angolo $\Delta\varphi_{ll}$		
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]

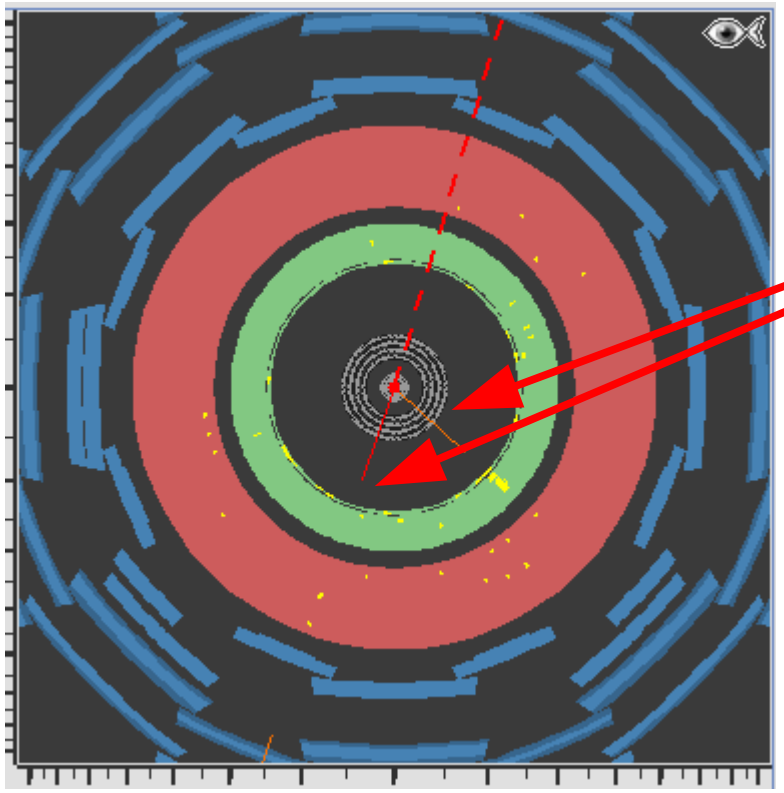


1. Bisogna controllare le relative informazioni dei due leptoni

2. Click con

su ciascuna linea

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



1. Bisogna controllare le relative informazioni dei due leptoni

2. Click con

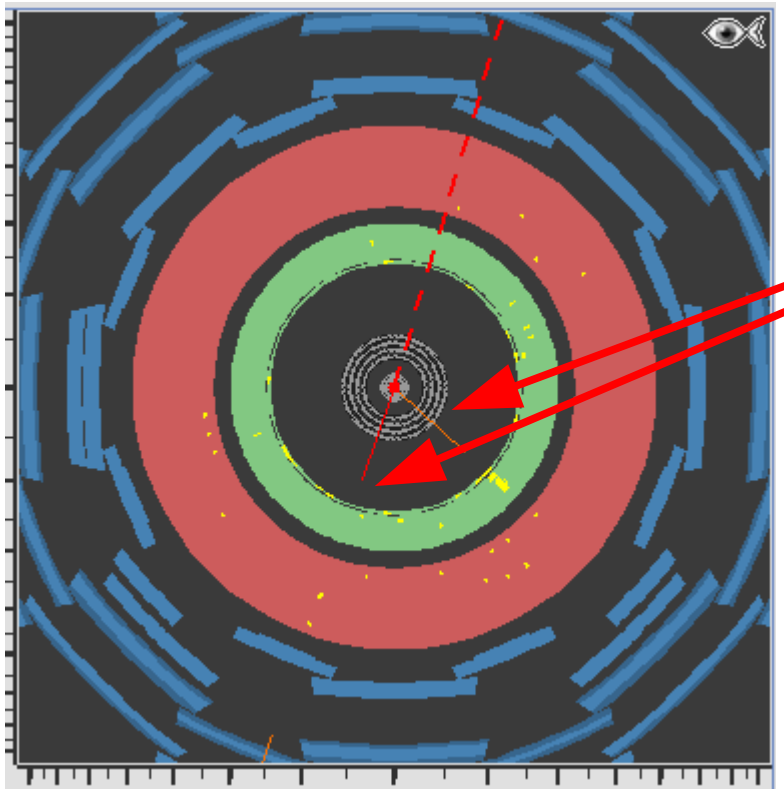
su ciascuna linea

InDetTrack index: 1	InDetTrack index: 2
PT = 15.493 GeV	PT = 49.113 GeV
η = -0.716	η = 0.194
Φ = 316.457°	Φ = 251.012°
Px = 11.230 GeV	Px = -15.980 GeV
Py = -10.673 GeV	Py = -46.440 GeV
Charge = -1	Charge = 1
Isolation = 0.00	Isolation = 0.00

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

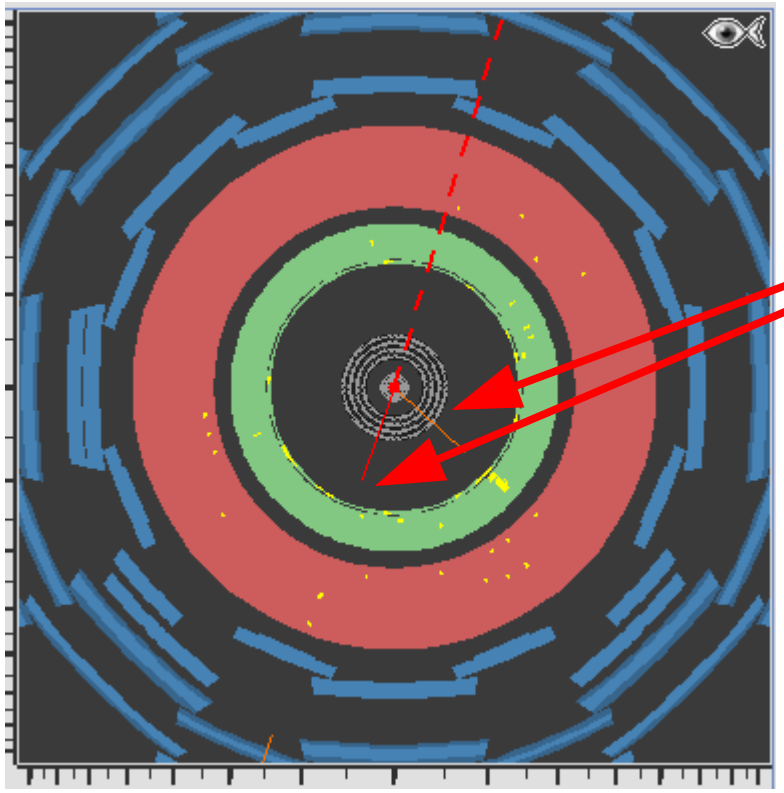
su ciascuna linea

InDetTrack index: 1	*InDetTrack index: 2*
PT = 15.493 GeV	*PT = 49.113 GeV*
η = -0.716	*η = 0.194*
Φ = 316.457°	*Φ = 251.012°*
Px = 11.230 GeV	*Px = -15.980 GeV*
Py = -10.673 GeV	*Py = -46.440 GeV*
Pz = -12.063 GeV	*Pz = 9.571 GeV*
Charge = -1	*Charge = 1*
Isolation = 0.00	*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

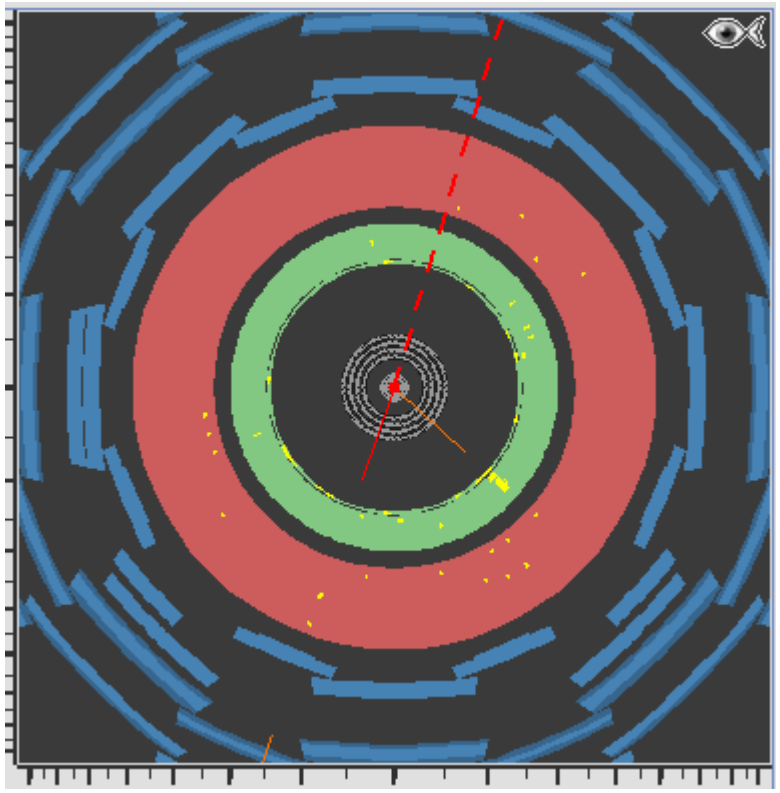
su ciascuna linea

InDetTrack index: 1	InDetTrack index: 2
PT = 15.493 GeV	PT = 49.113 GeV
η = -0.716	η = 0.194
Φ = 316.457°	Φ = 251.012°
Px = 11.230 GeV	Px = -15.980 GeV
Py = -10.673 GeV	Py = -46.440 GeV
Pz = -12.063 GeV	Pz = 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]



1. Bisogna controllare le relative informazioni dei due leptoni

2. Click con

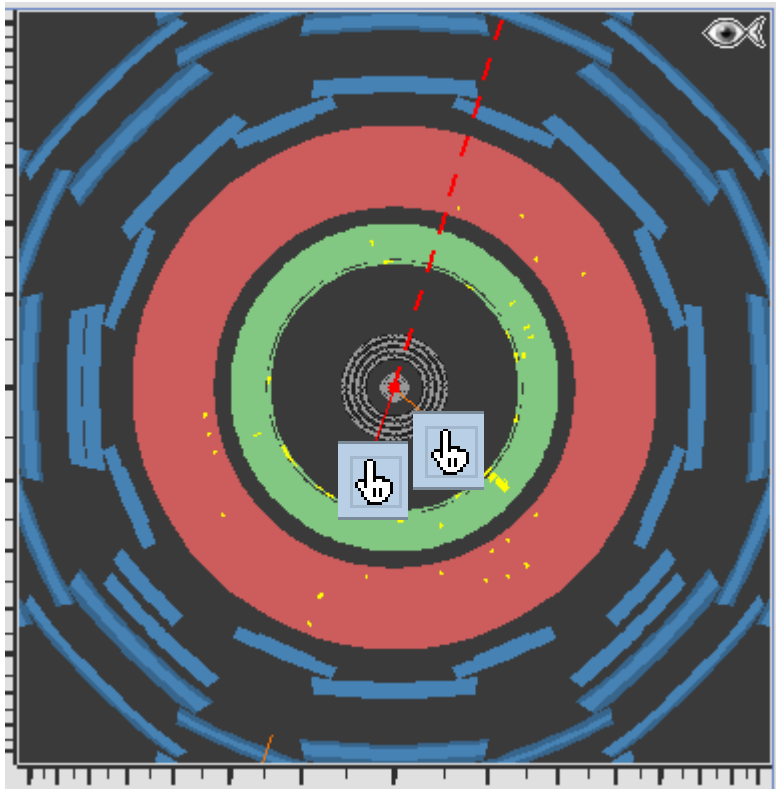
su ciascuna linea

InDetTrack index: 1
PT = 15.493 GeV
η = -0.716
Φ = 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
η = 0.194
Φ = 251.012°
Px = -15.980 GeV
Py = -46.440 GeV
Pz = 9.571 GeV
Charge = 1
Isolation = 0.00

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

Qualche esempio … 6 [Presenza di due leptoni]



Misurazione angolo fra i due leptoni

1. Scegliere

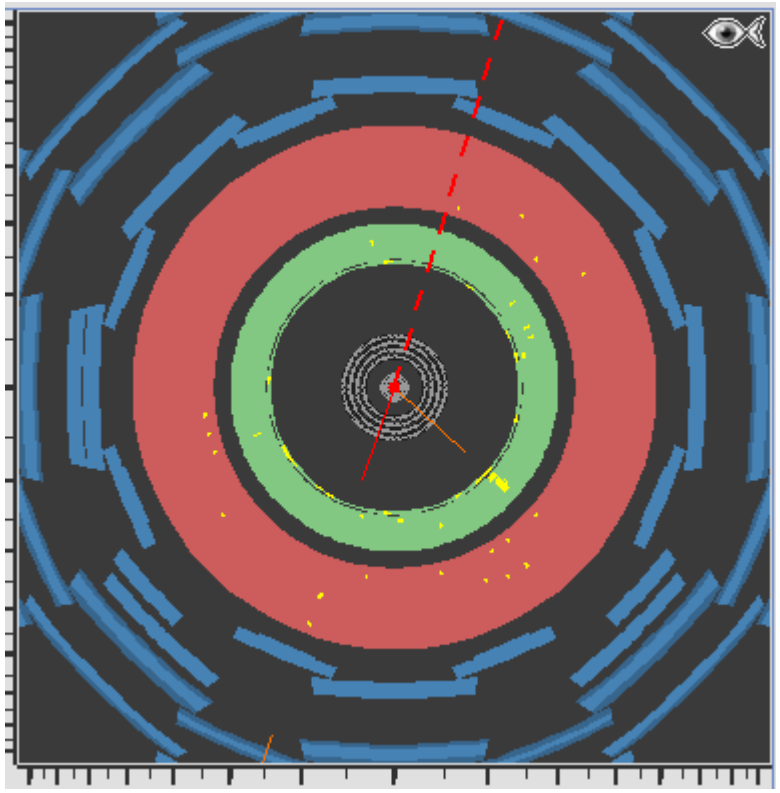
2. Tenere premuto il tasto **P**

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

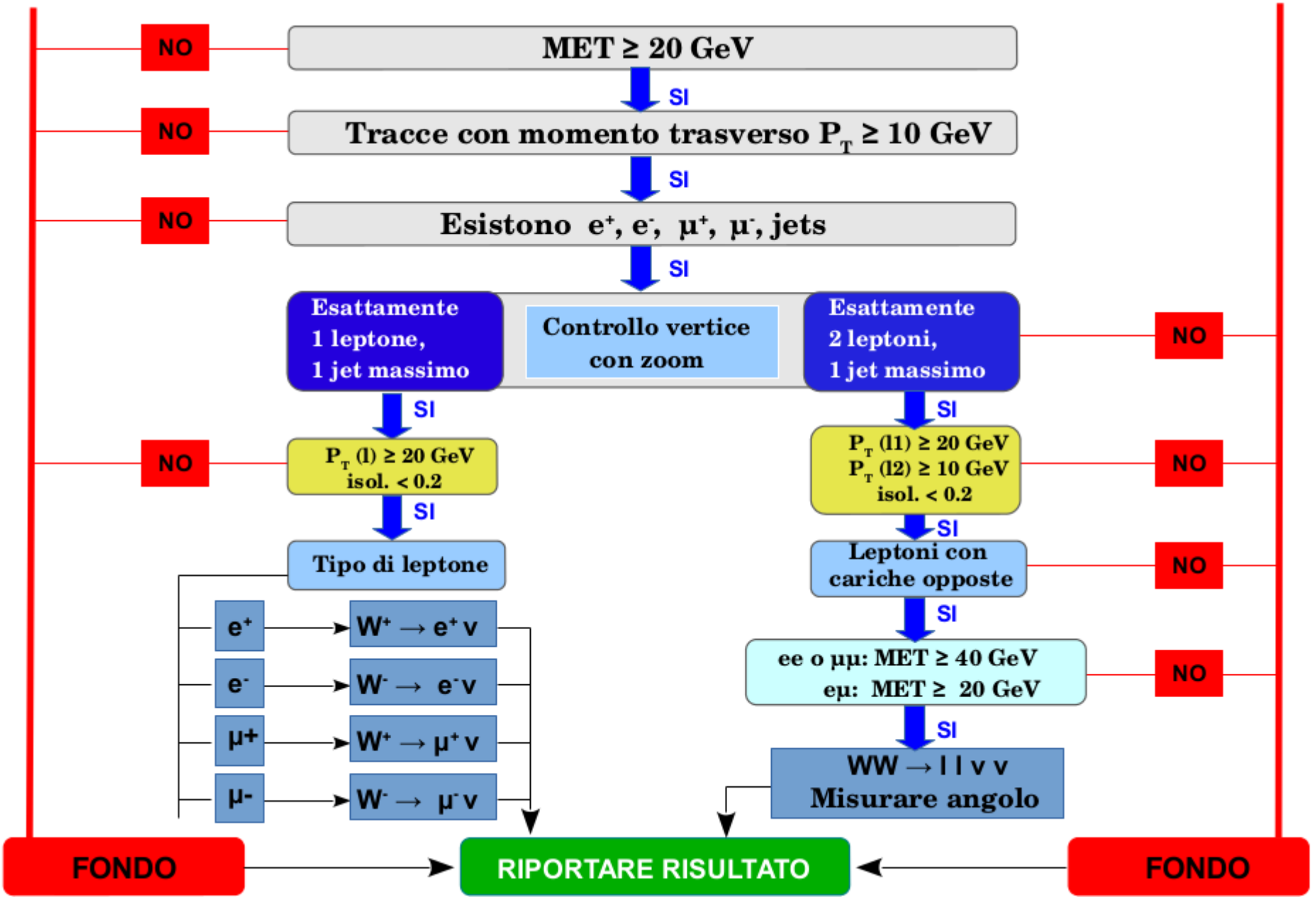
e poi CLICK sull'altra.

4. Leggere il risultato

$\Delta\Phi = 65.4°$ (1.142)

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

Sintesi delle informazioni utili per decidere il carattere dell'evento



In bocca al lupo e buon divertimento!