

Masterclasses 2025 Parma

Presentazione dell'esercizio pratico **ATLAS W path**

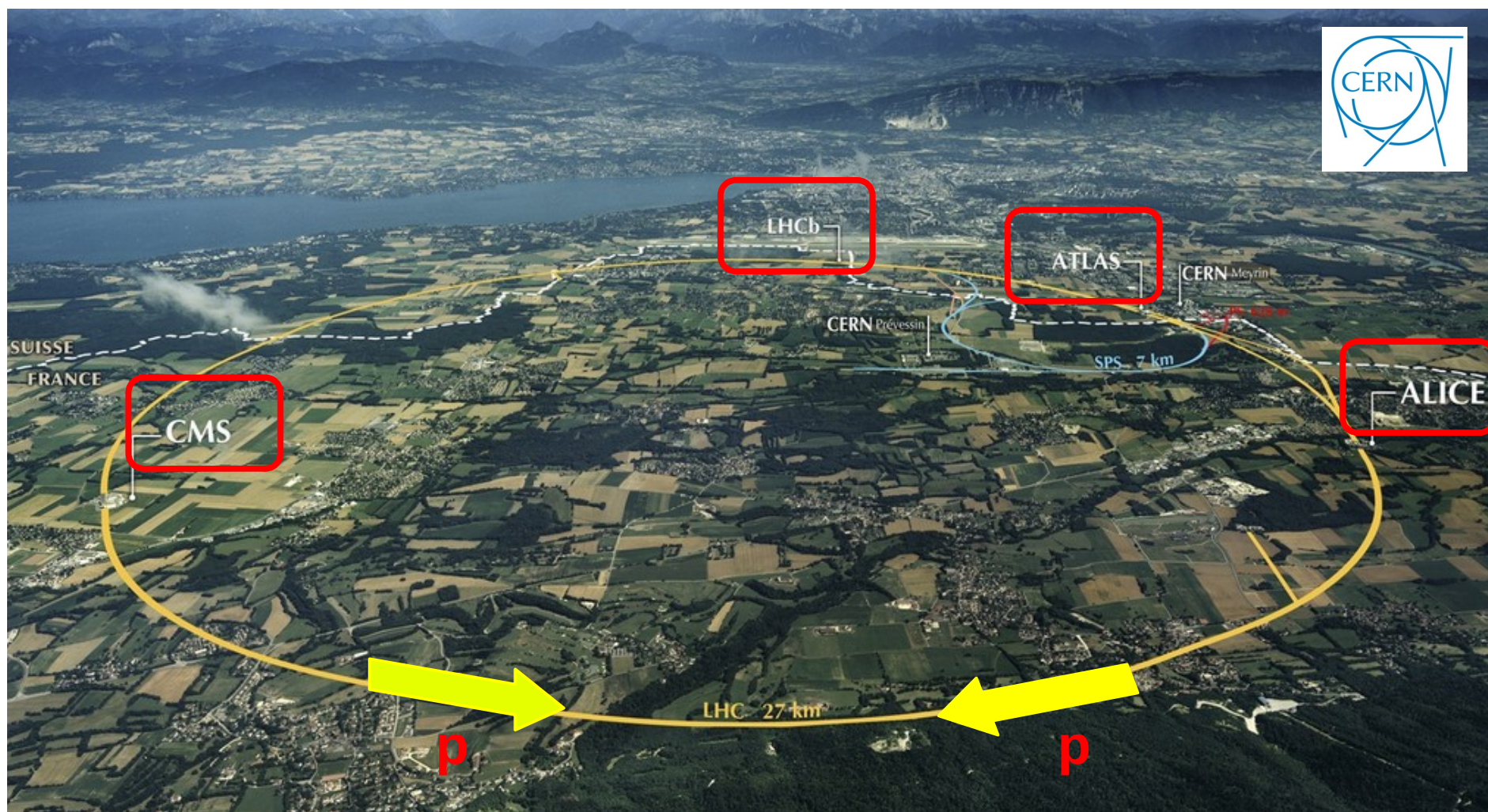
Petros Dimopoulos

Parma, 3 aprile 2025



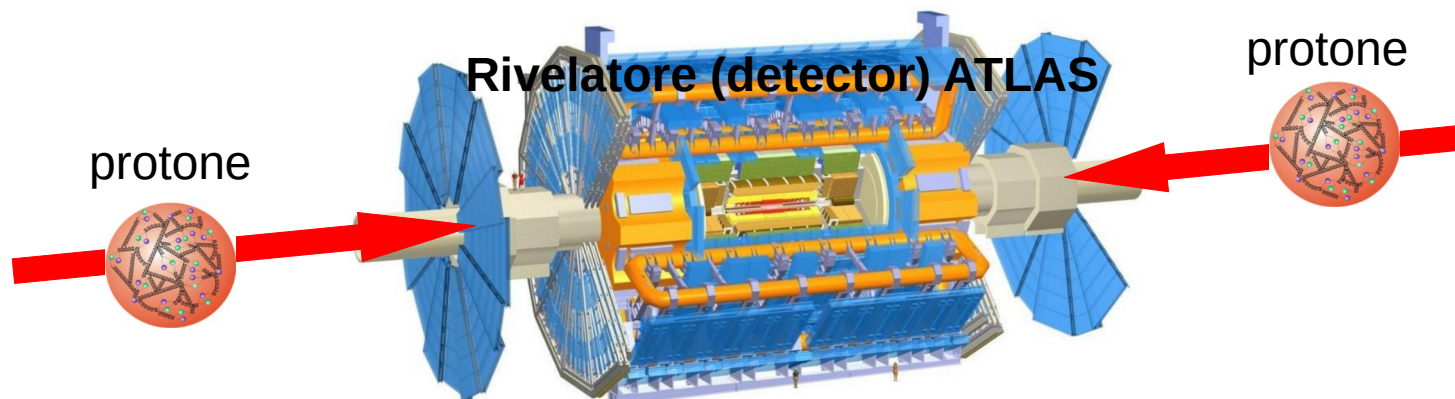
Large Hadron Collider (LHC) - CERN

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 principali 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**

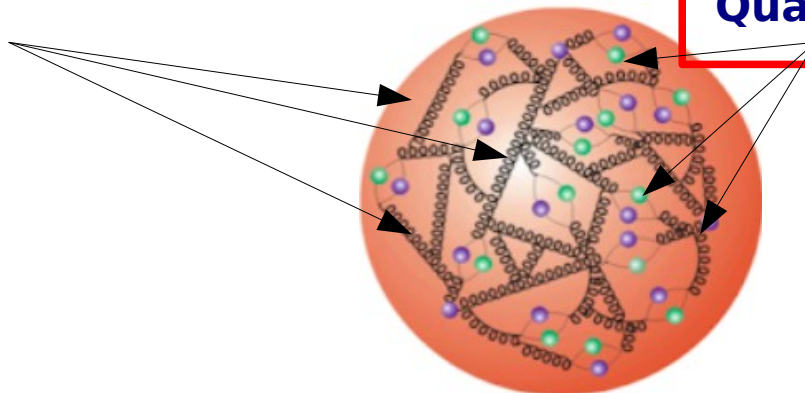
Uno dei quattro grandi esperimenti di LHC è quello di **ATLAS**
(**A** Toroidal **LHC** **A**pparatu**S**)



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

Gluoni g

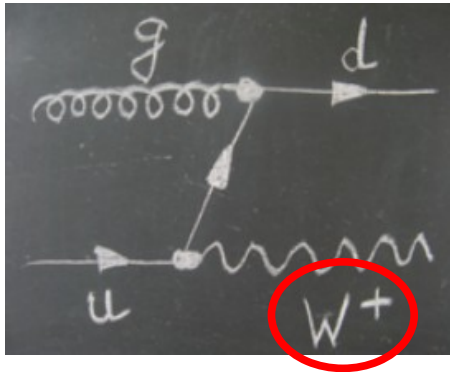
Quark in due tipi **u** (up) e **d** (down)



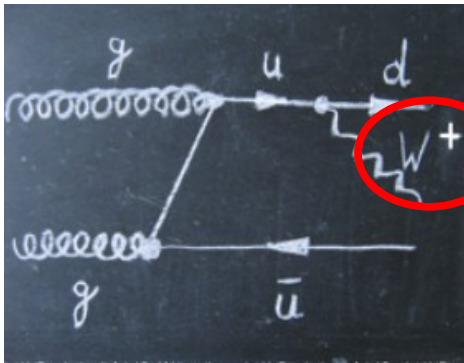
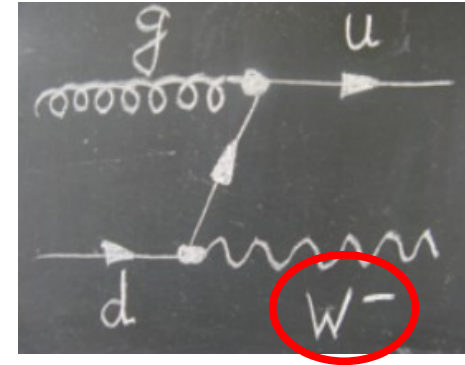
Grazie alla conversione **energia - massa** nuove particelle, diverse da quelle originarie, vengono create con la collisione.

Interazioni fra quark & gluoni

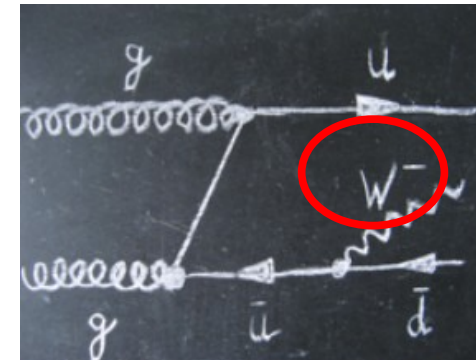
e.g.



collisione
fra
quark e
gluone



collisione
fra
gluone e
gluone

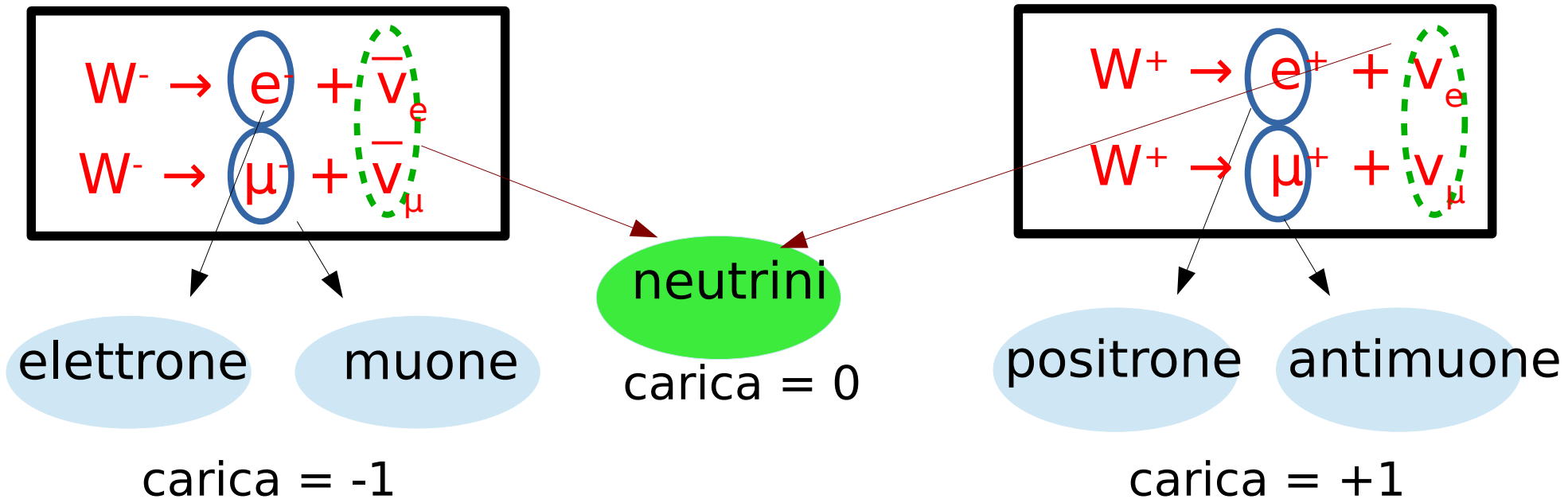


Fra i prodotti della collisione si trovano le particelle W^+ e W^-
(mediatori dell'interazione elettrodebole)

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.

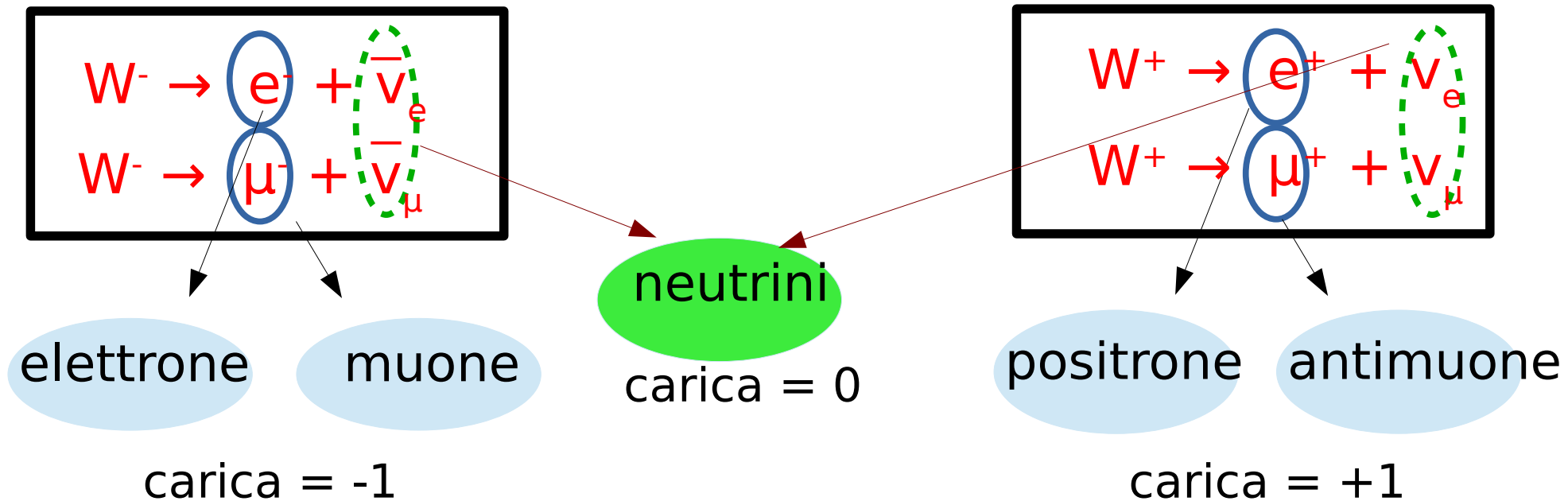
1. Decadimento di W^+ e W^- in leptoni



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

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



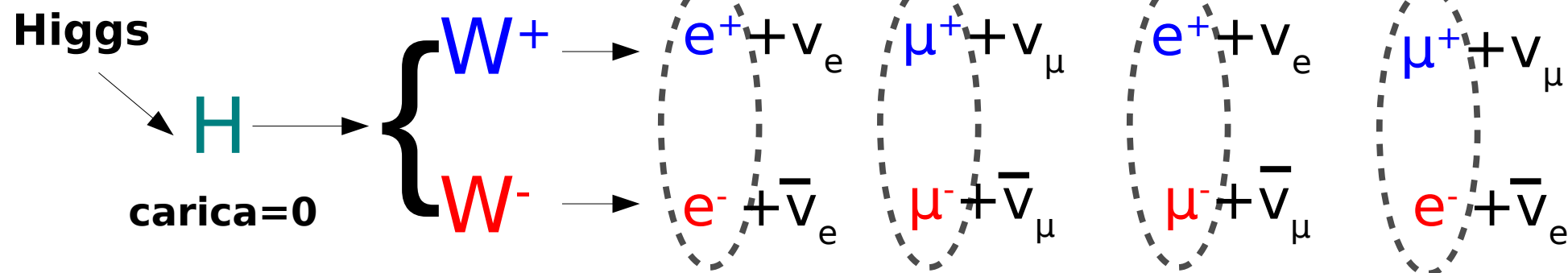
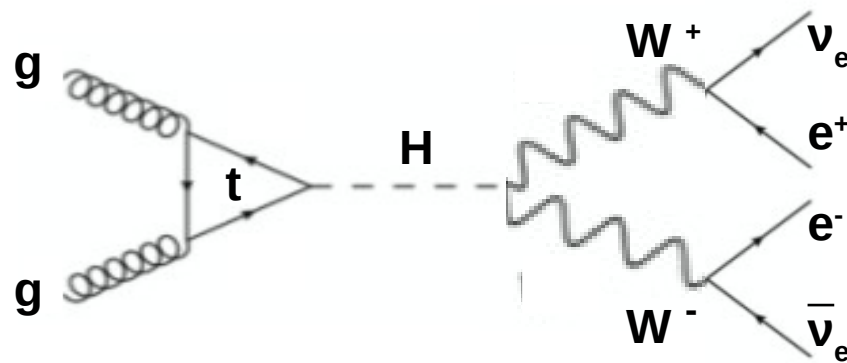
$\left\{ \begin{array}{l} e^- \\ e^+ \\ \mu^- \\ \mu^+ \end{array} \right\}$

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 $W^+ W^-$

e.g.



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^- (tramite la rivelazione dei loro prodotti)

➡ 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^-** (tramite la rivelazione dei loro prodotti)

L'esercizio



INTERNATIONAL MASTERCLASSES



Parma

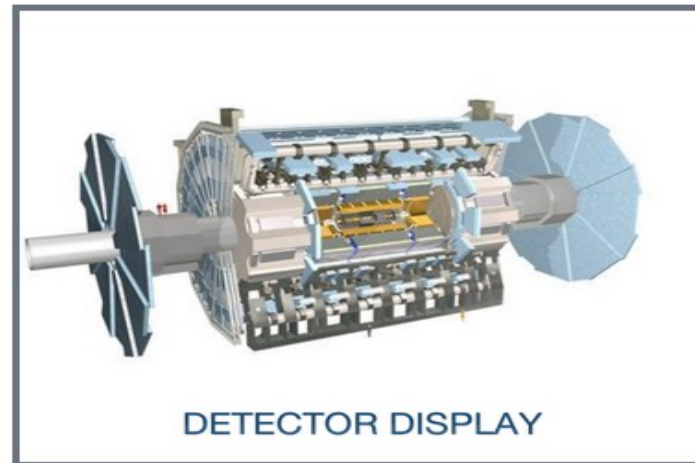
Group

9

9A

W

Z



Tracer

<https://tracer-mc.web.cern.ch/>

Foglio di misure

Analisi dati di ATLAS - Set di dati: ...

	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 $\Delta\phi_{ll}$		
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								

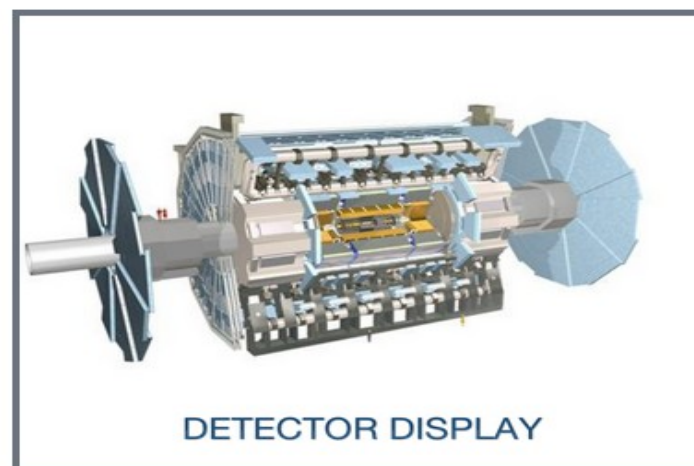
L'esercizio



INTERNATIONAL MASTERCLASSES



Parma Group 9 9A W Z



Tracer

<https://tracer-mc.web.cern.ch/>

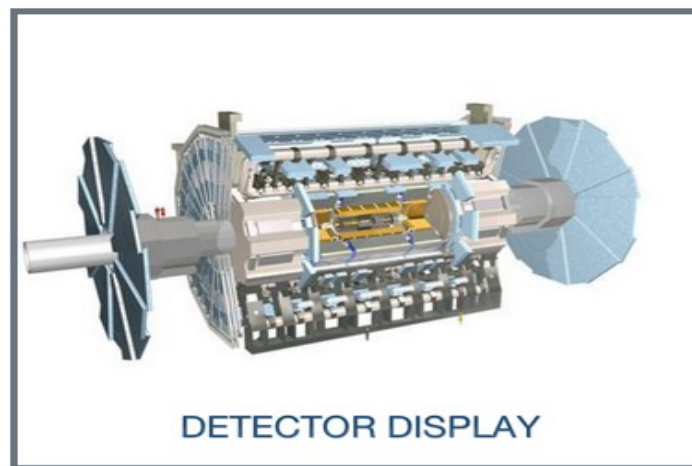
L'esercizio



INTERNATIONAL MASTERCLASSES



Parma Group 9 9A W Z

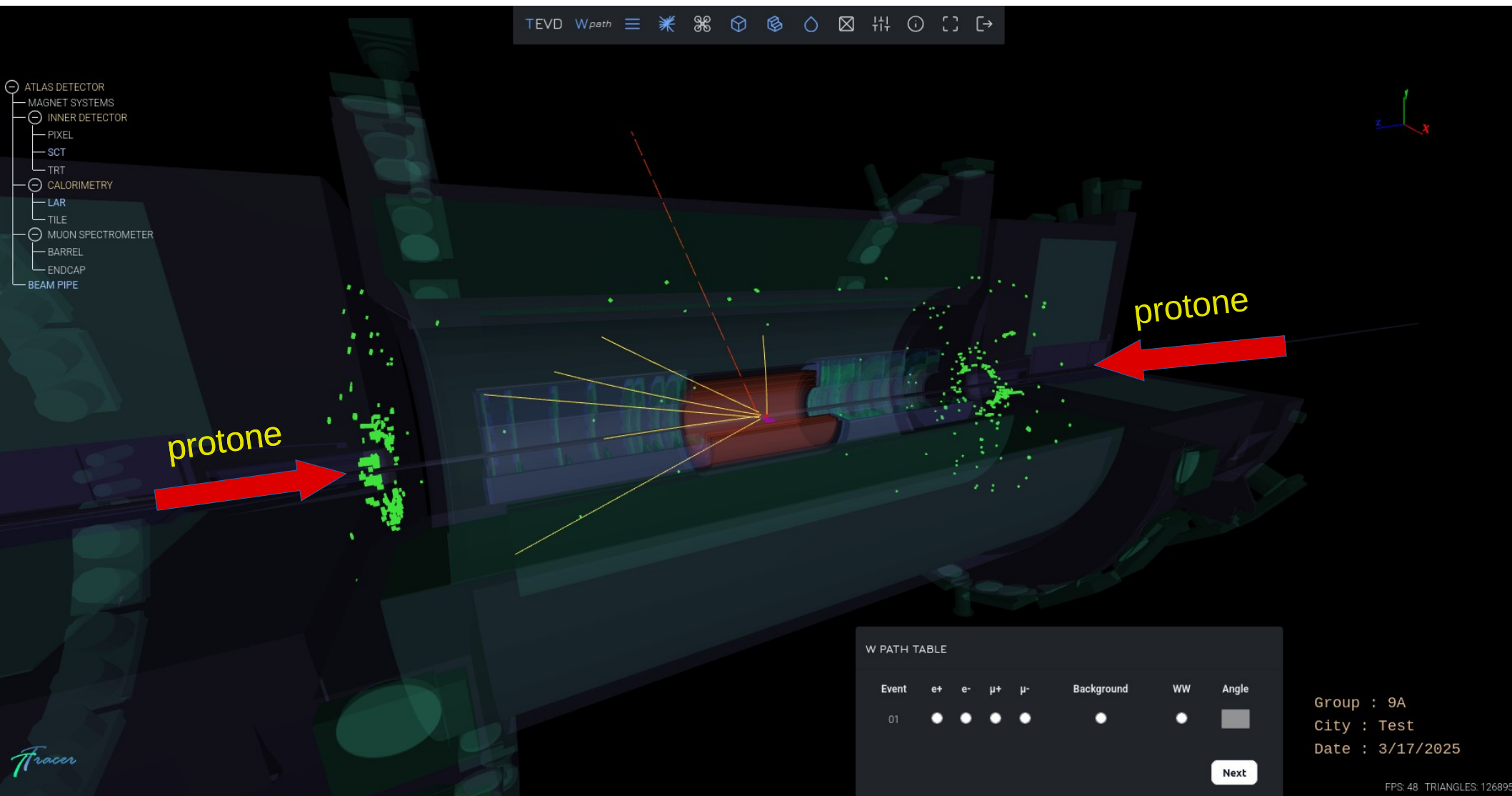


Tracer

CLICK

<https://tracer-mc.web.cern.ch/>

Vista iniziale dell'evento

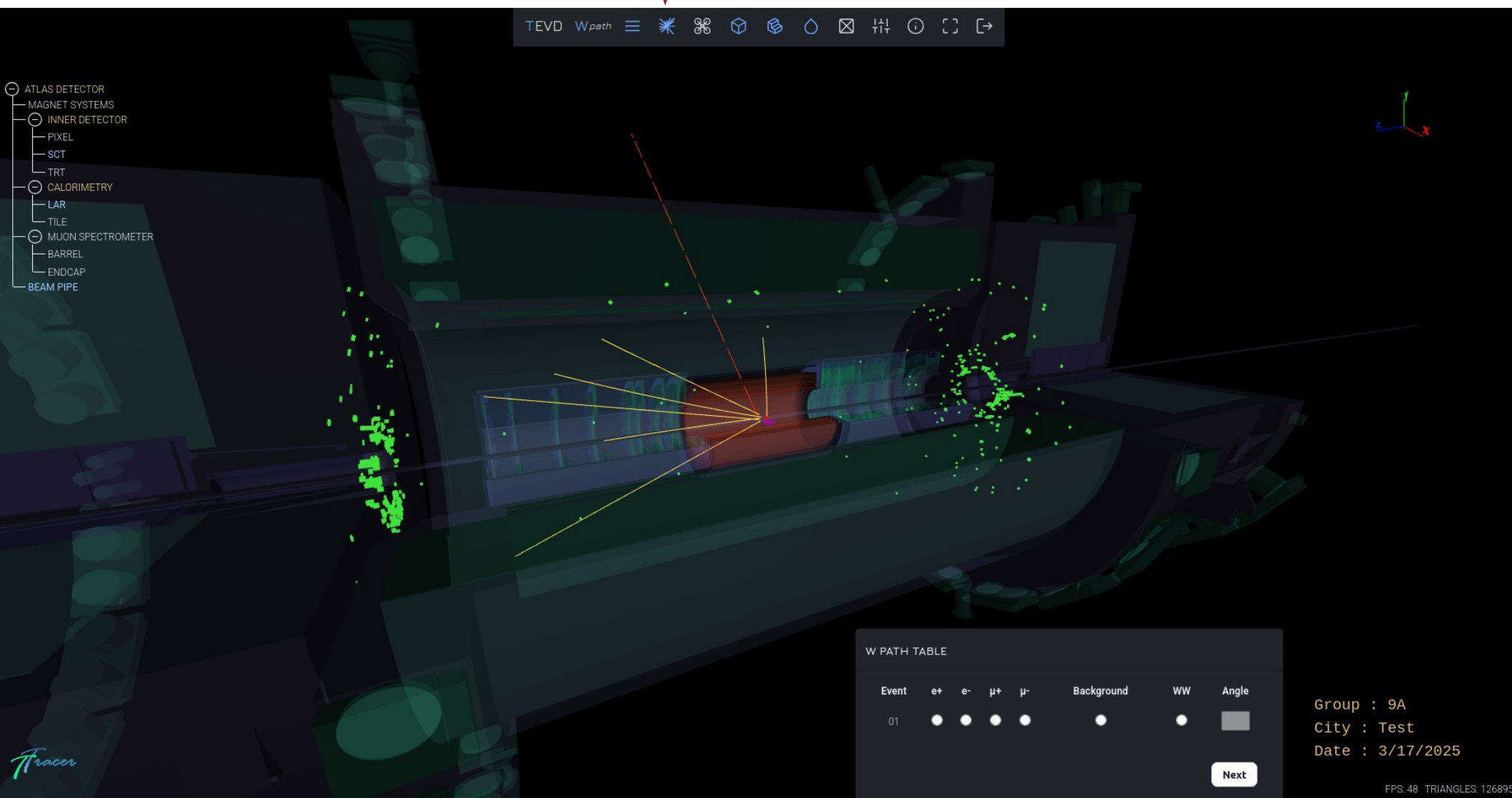


(Una breve parentesi)

- I due fasci di protoni contengono **100 miliardi di protoni**; **11 mila giri/sec**;
- **1 miliardo di collisioni/sec** ciascuna delle quali produce varie particelle; tutto equivale a 1PB (10^{15} bytes) /sec;
- **ATLAS**: per scelta fatta al volo (grazie all'elettronica avanzata) si salvano informazioni solo per **200 eventi (di interesse) al secondo** ~ 200 MB/sec;
- Per analizzare gli eventi nell'ambito di un certo problema fisico bisogna applicare dei *tagli* e.g. di energia che permettono di scartare i dati irrilevanti e tenere soltanto quelli rilevanti per il problema sotto studio.

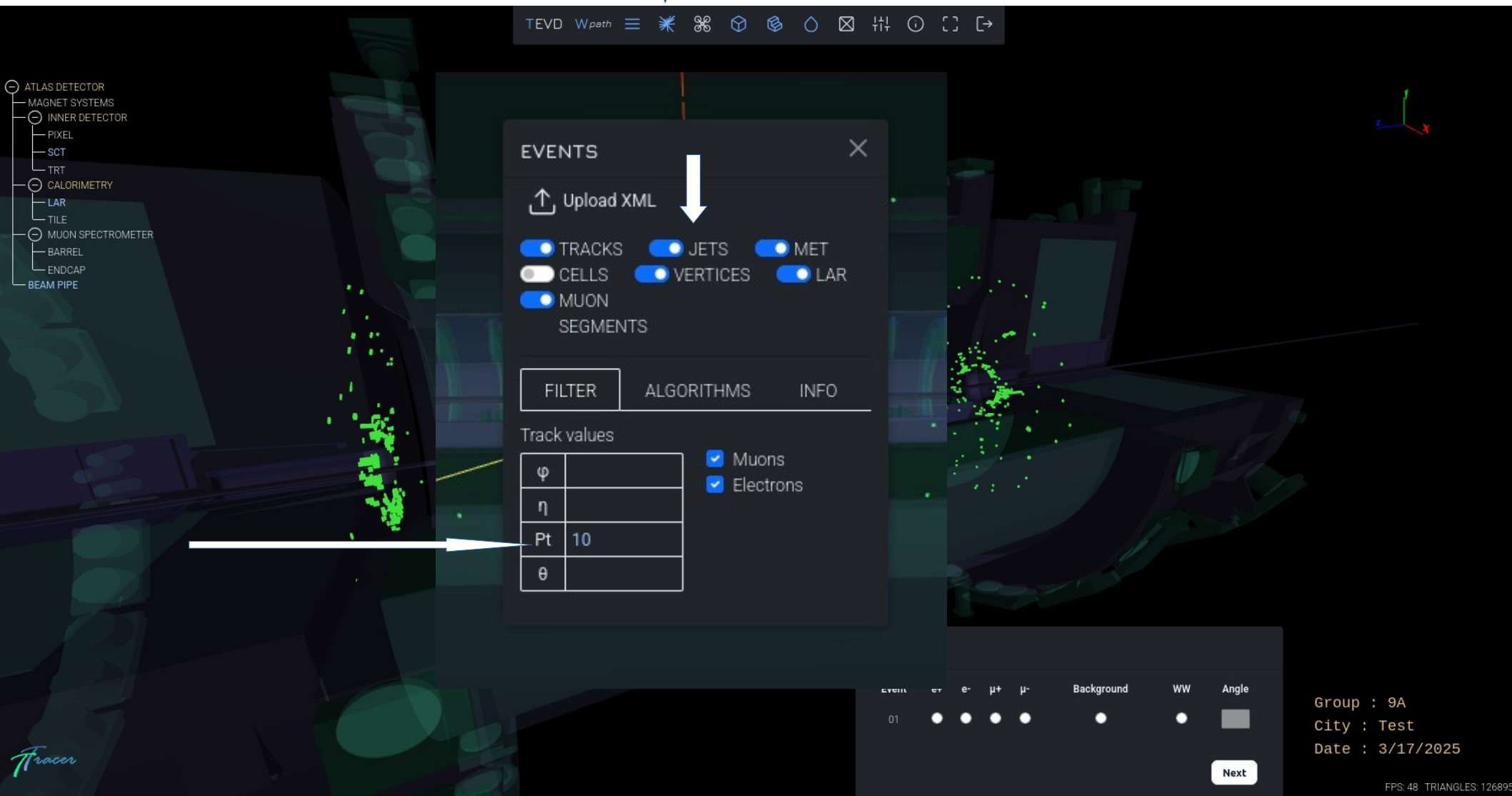
SELEZIONARE IL MENU

Click!

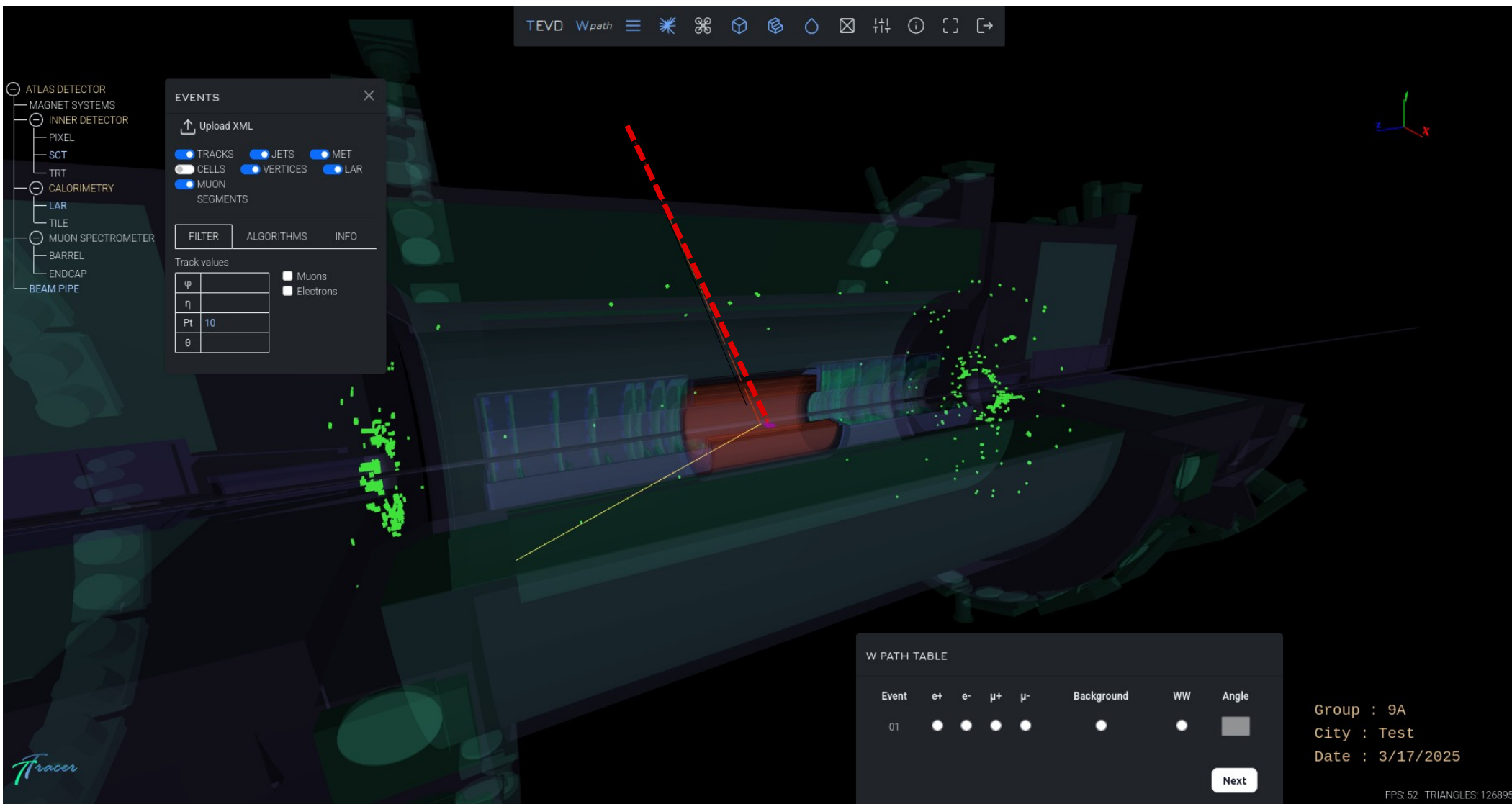


SELEZIONARE IL MENU

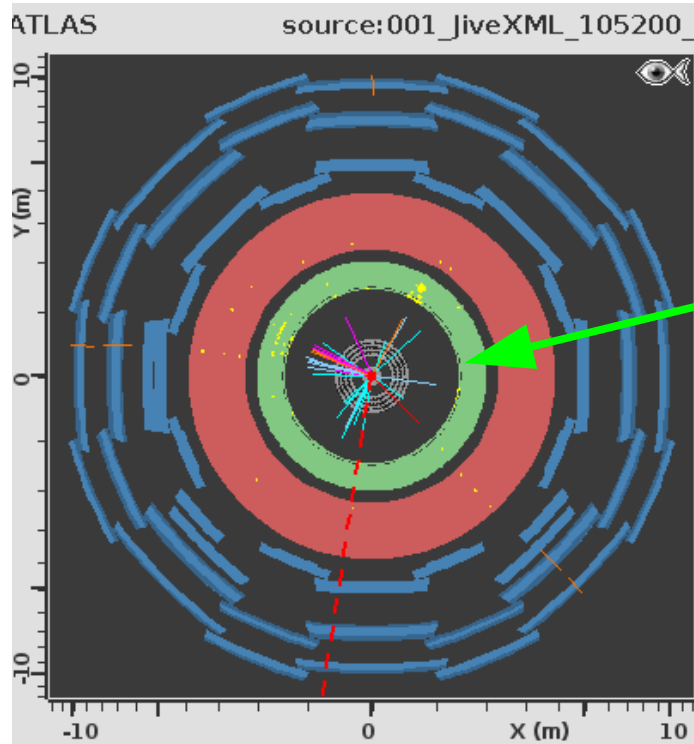
Click!



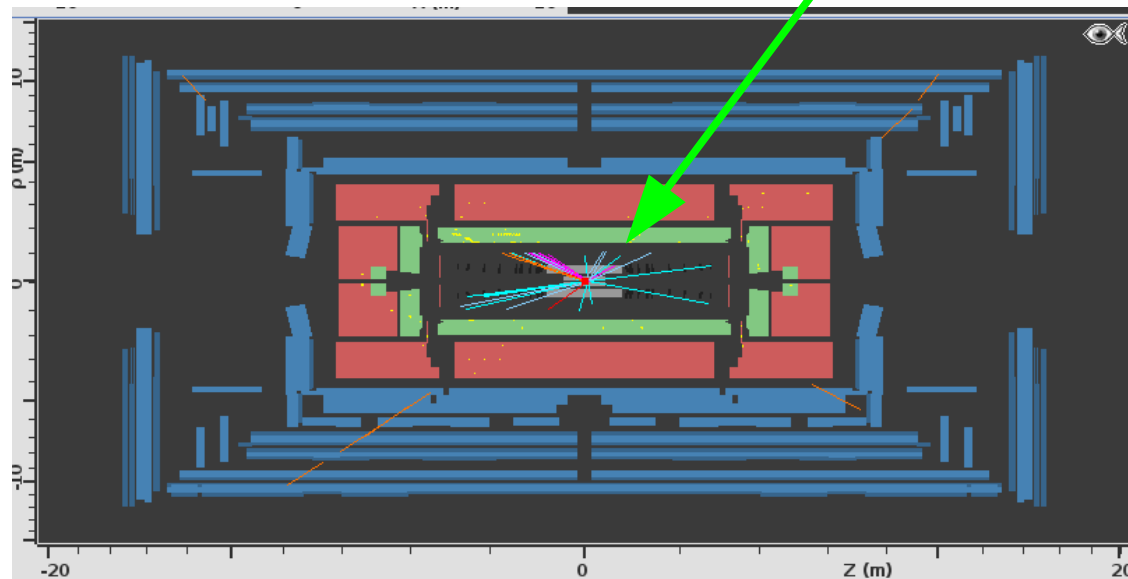
Visione semplificata con gli eventuali eventi di interesse



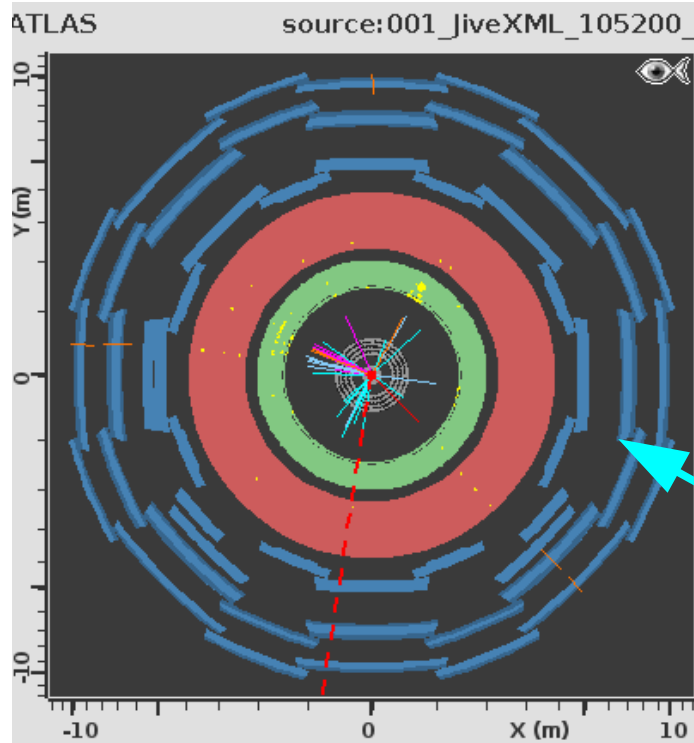
Rivelatore ATLAS (46m x 25m x 25m, 7000 tonnellate)



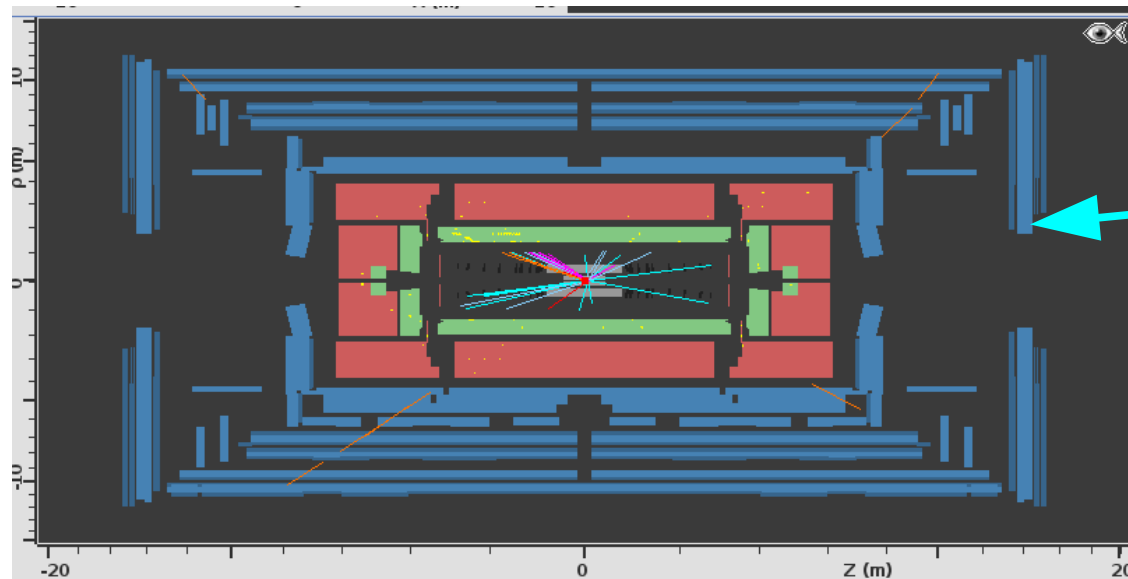
**Calorimetro elettromagnetico
rivelazione di **elettroni** (e^-) &
di **positroni** (e^+)**



Rivelatore ATLAS (46m x 25m x 25m, 7000 tonnellate)

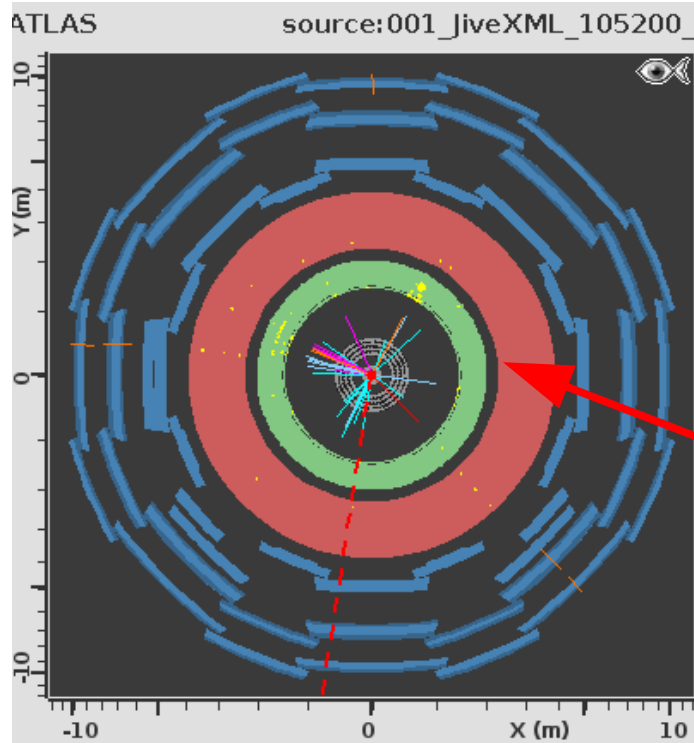


Calorimetro elettromagnetico
rivelazione di **elettroni** (e^-) &
di **positroni** (e^+)



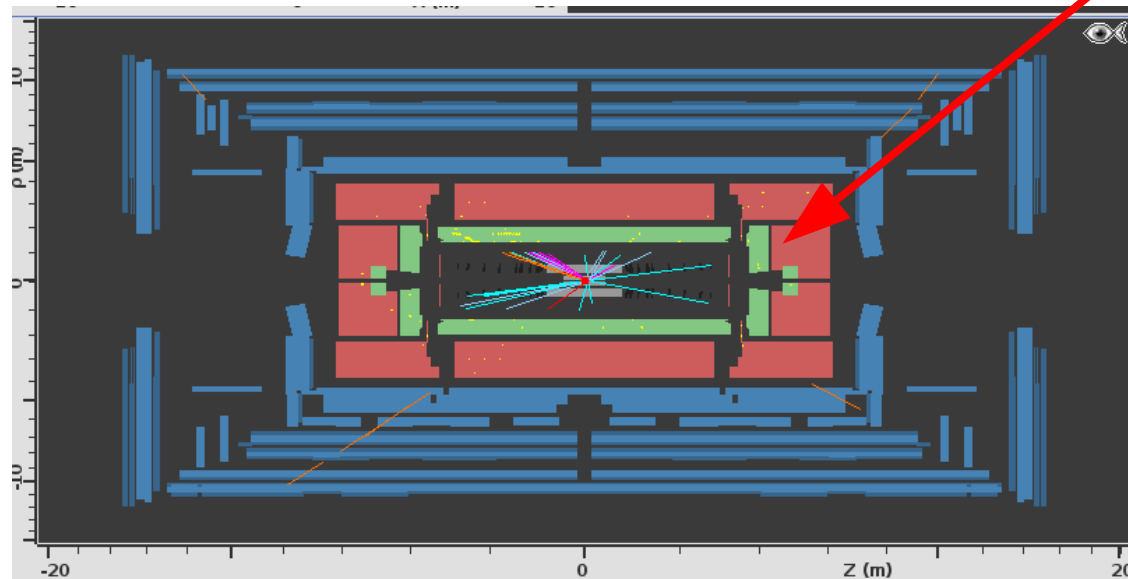
Rivelatore muonico
rivelazione di **muoni** (μ^-) &
di **antimuoni** (μ^+)

Rivelatore ATLAS (46m x 25m x 25m, 7000 tonnellate)



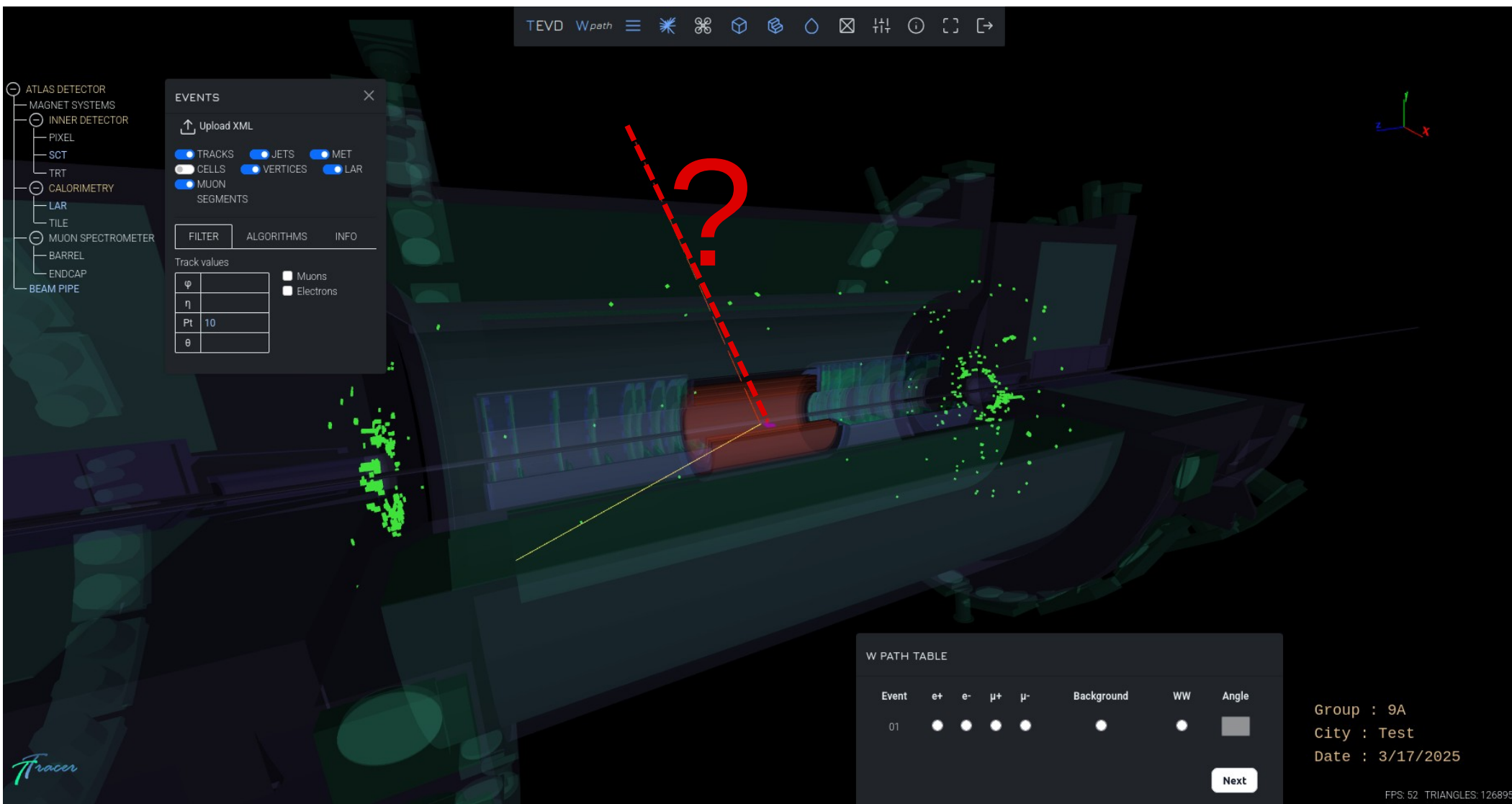
Calorimetro elettromagnetico
rivelazione di **elettroni (e^-)** &
di **positroni (e^+)**

Calorimetro adronico
rivelazione di (**jets di**) **adroni**

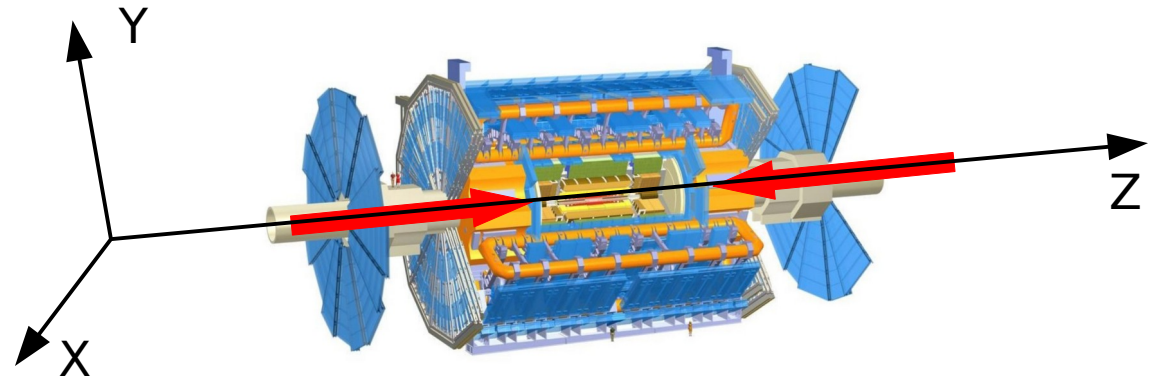
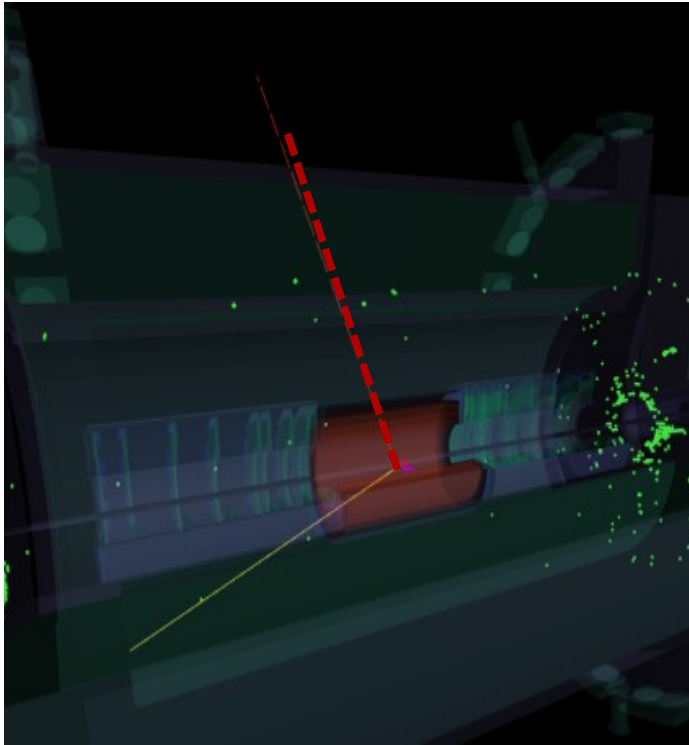


Rivelatore muonico
rivelazione di **muoni (μ^-)** &
di **antimuoni (μ^+)**

Visione semplificata con gli eventuali eventi di interesse



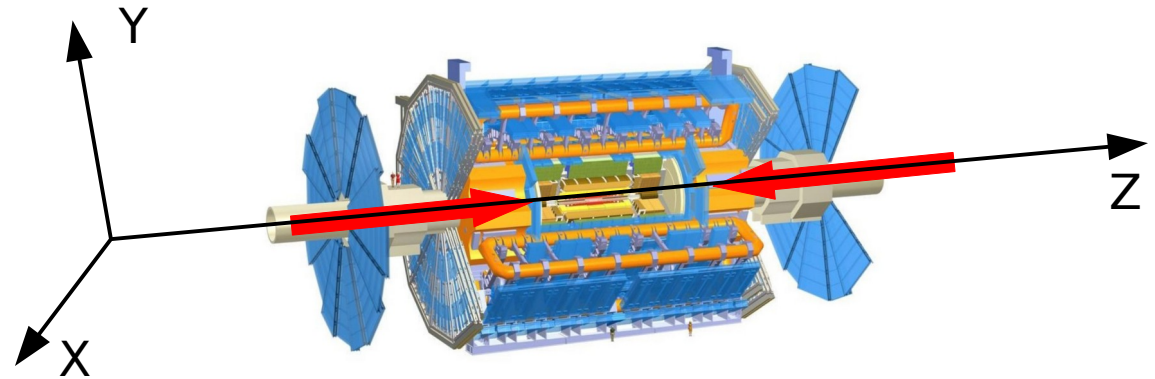
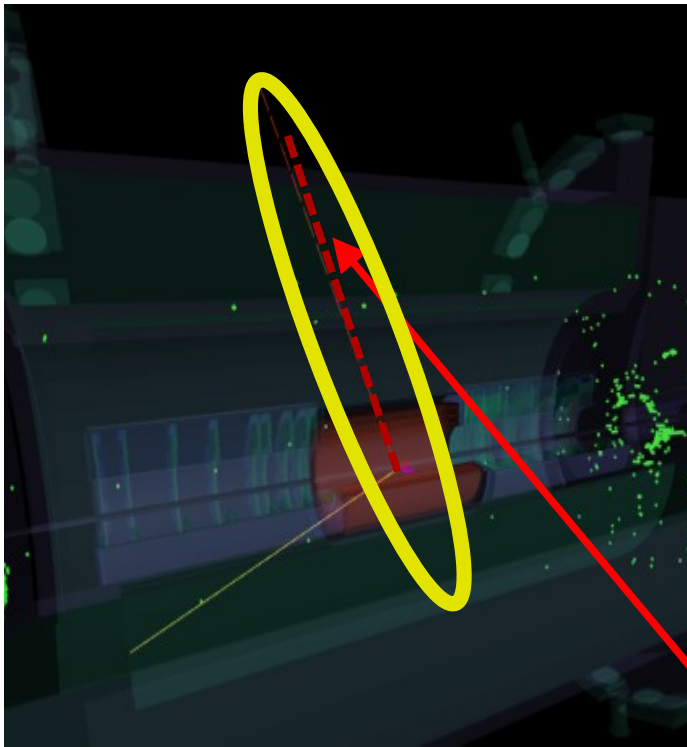
Identificazione dei neutrini attraverso l'[energia mancante](#)



- 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**).

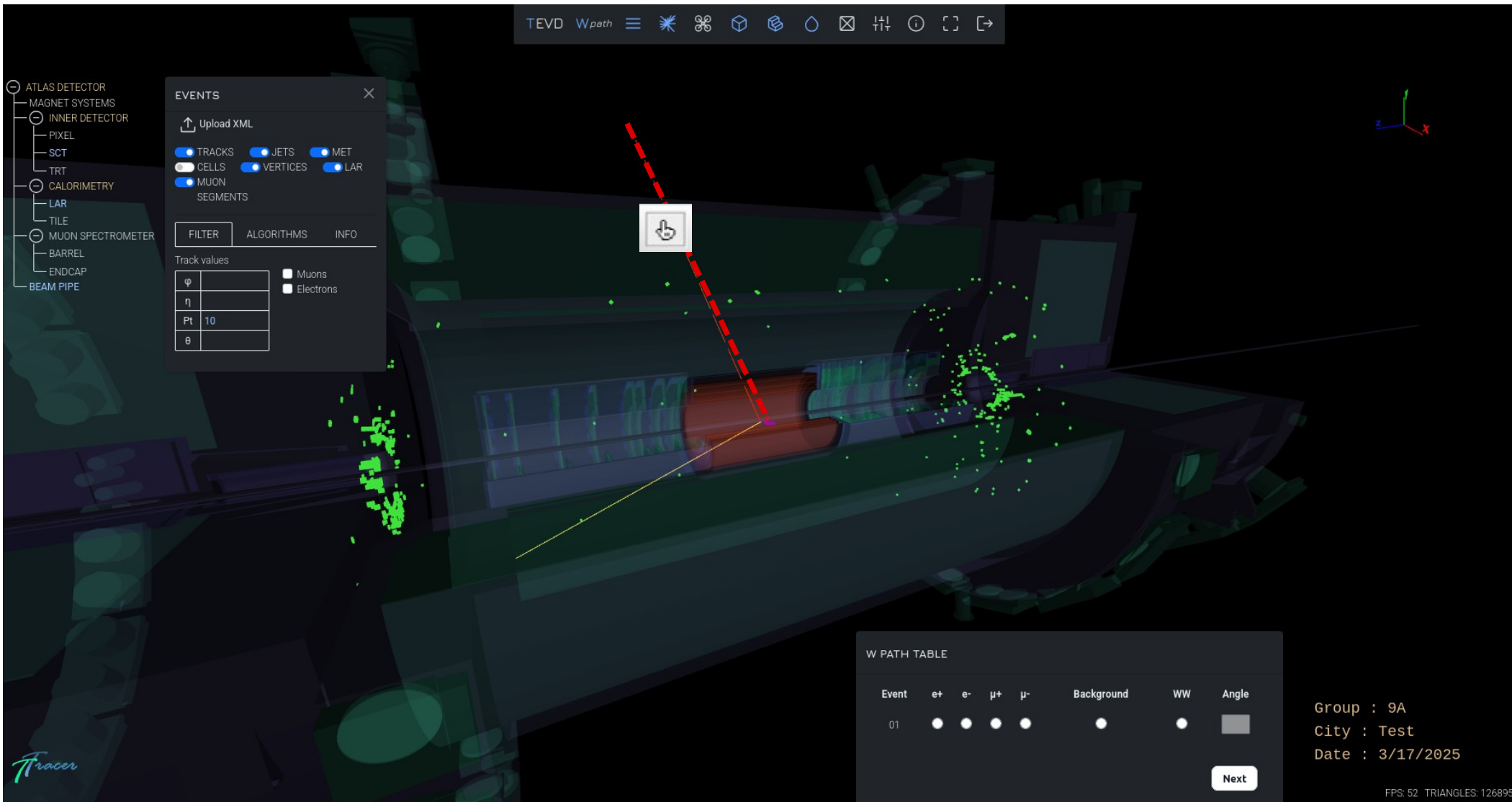
Identificazione dei neutrini attraverso l'[energia mancante](#)

- 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.

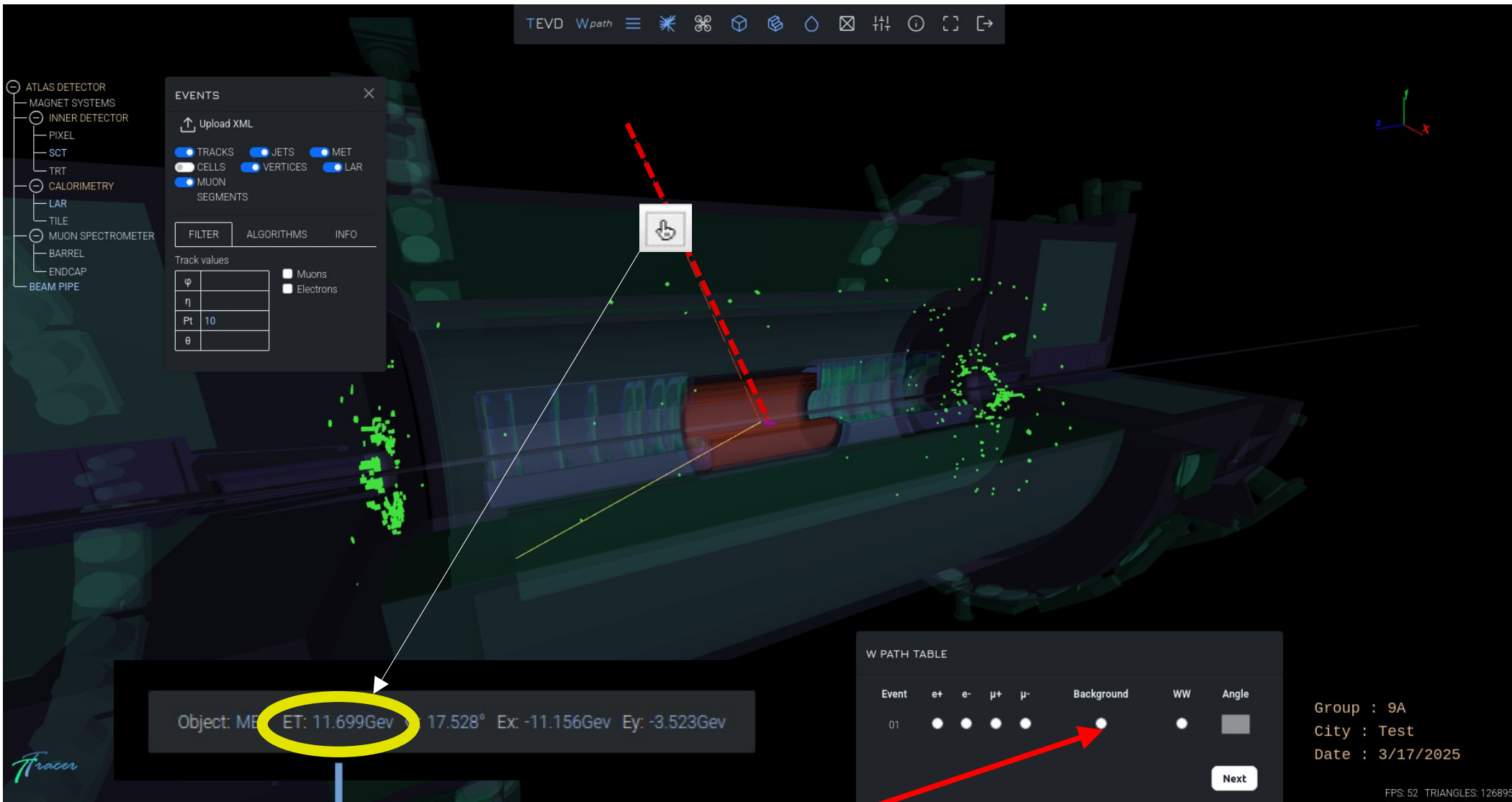


- Se viene creato un neutrino, esso non può essere rivelato direttamente perchè interagisce molto debolmente con la materia.
- Tuttavia il suo impulso è dedotto dopo un'accurata misurazione dell'impulso di tutte le altre particelle da cui si può dedurre anche la sua [Energia Mancante](#) (Missing Energy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

Controllare il valore di MET



Controllare il valore di MET



Valore < 20 GeV ??

Controllare il valore di MET

ATLAS DETECTOR
MAGNET SYSTEMS
INNER DETECTOR
PIXEL
SCT
TRT
CALORIMETRY
LAR
TILE
MUON SPECTROMETER
BARREL
ENDCAP
BEAM PIPE

EVENTS

Upload XML

TRACKS JETS MET
CELLS VERTICES LAR
MUON SEGMENTS

FILTER ALGORITHMS INFO

Track values

φ
 η
Pt 10
 θ

☐ Muons
☐ Electrons

Analisi dati di ATLAS - Set di dati: ...

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								
5								

Object: MET ET: 11.699Gev η : 17.528° Ex: -11.156Gev Ey: -3.523Gev

W PATH TABLE

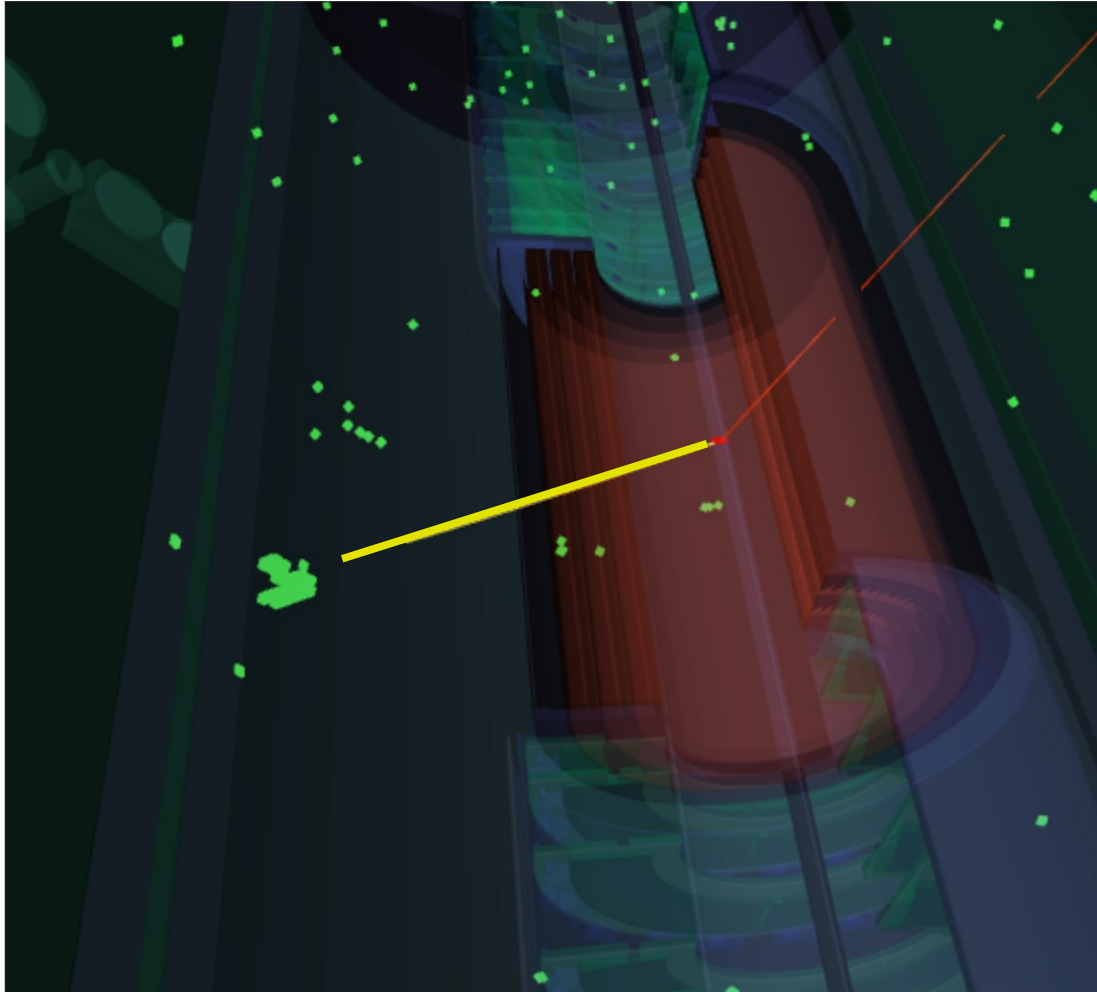
Event	e+	e-	μ^+	μ^-	Background	WW	Angle
01	●	●	●	●	●	●	■

Group : 9A
City : Test
Date : 3/17/2025

FPS: 52 TRIANGLES: 126895

Valore < 20 GeV ??

Rivelazione elettrone/positrone



Rivelazione elettrone/positrone



elettrone

pT > 20 GeV

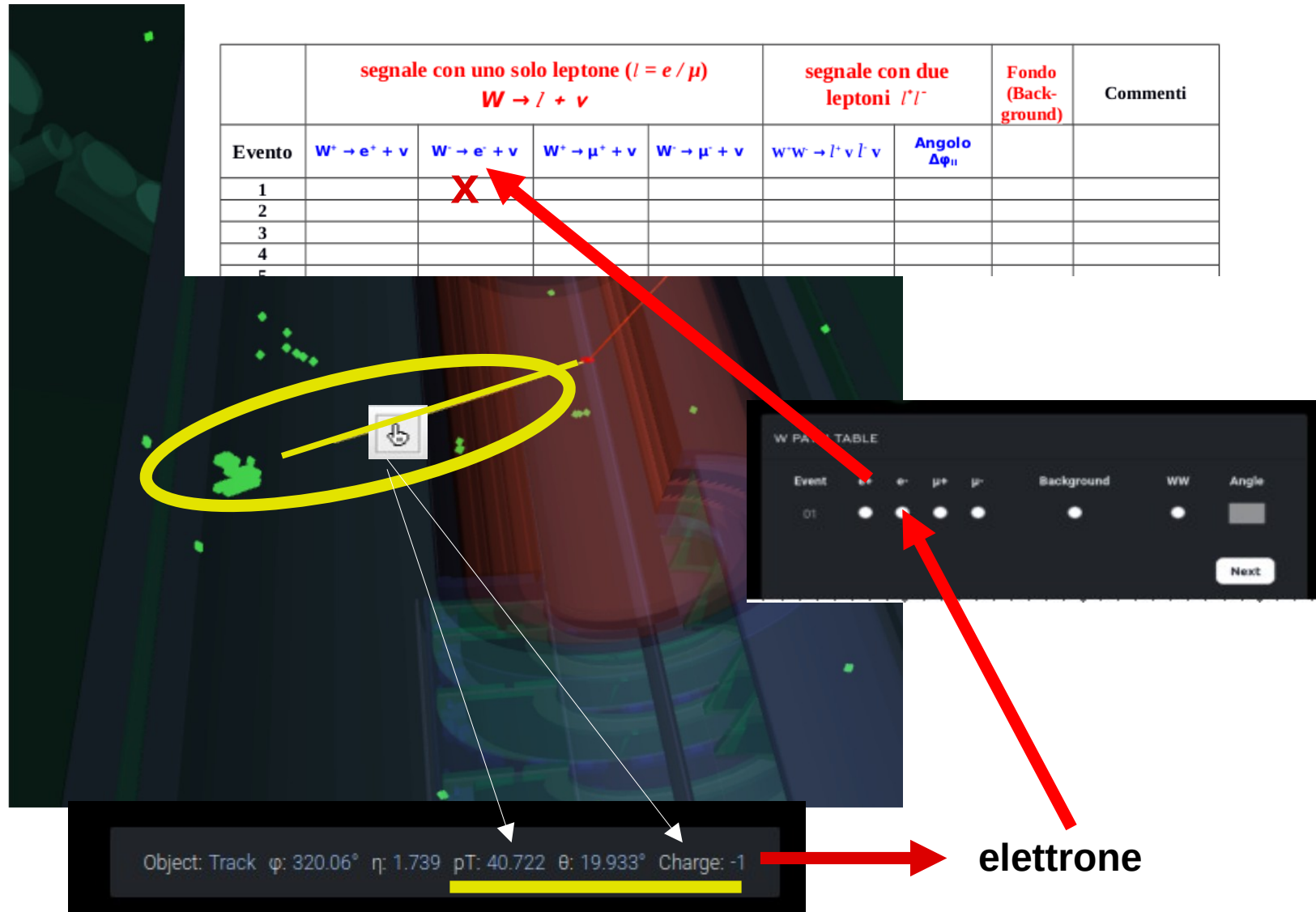
Rivelazione elettrone/positrone



$p_T > 20 \text{ GeV}$

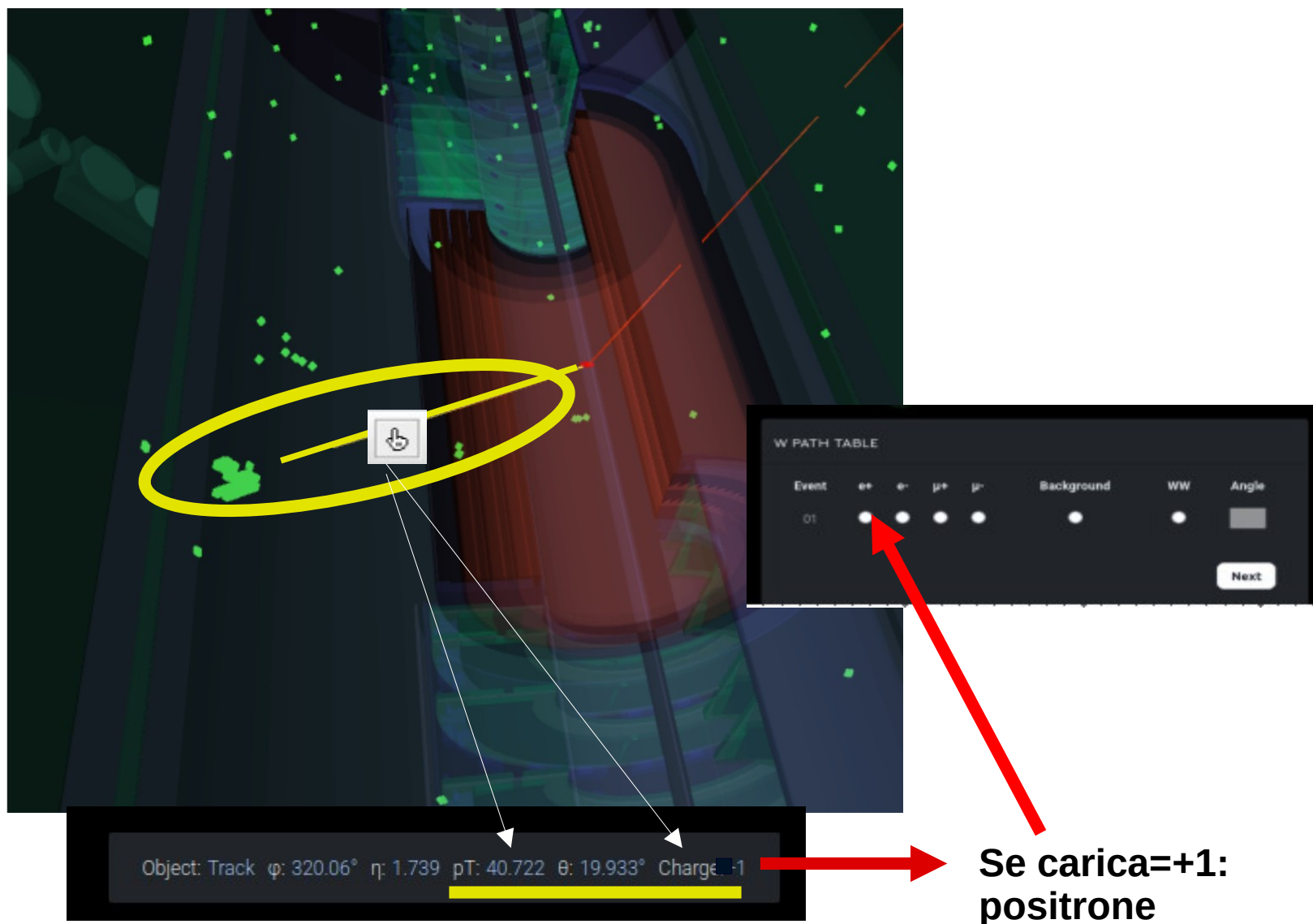
Rivelazione elettrone/positrone

Analisi dati di ATLAS - Set di dati: ...



pT > 20 GeV

Rivelazione elettrone/positrone

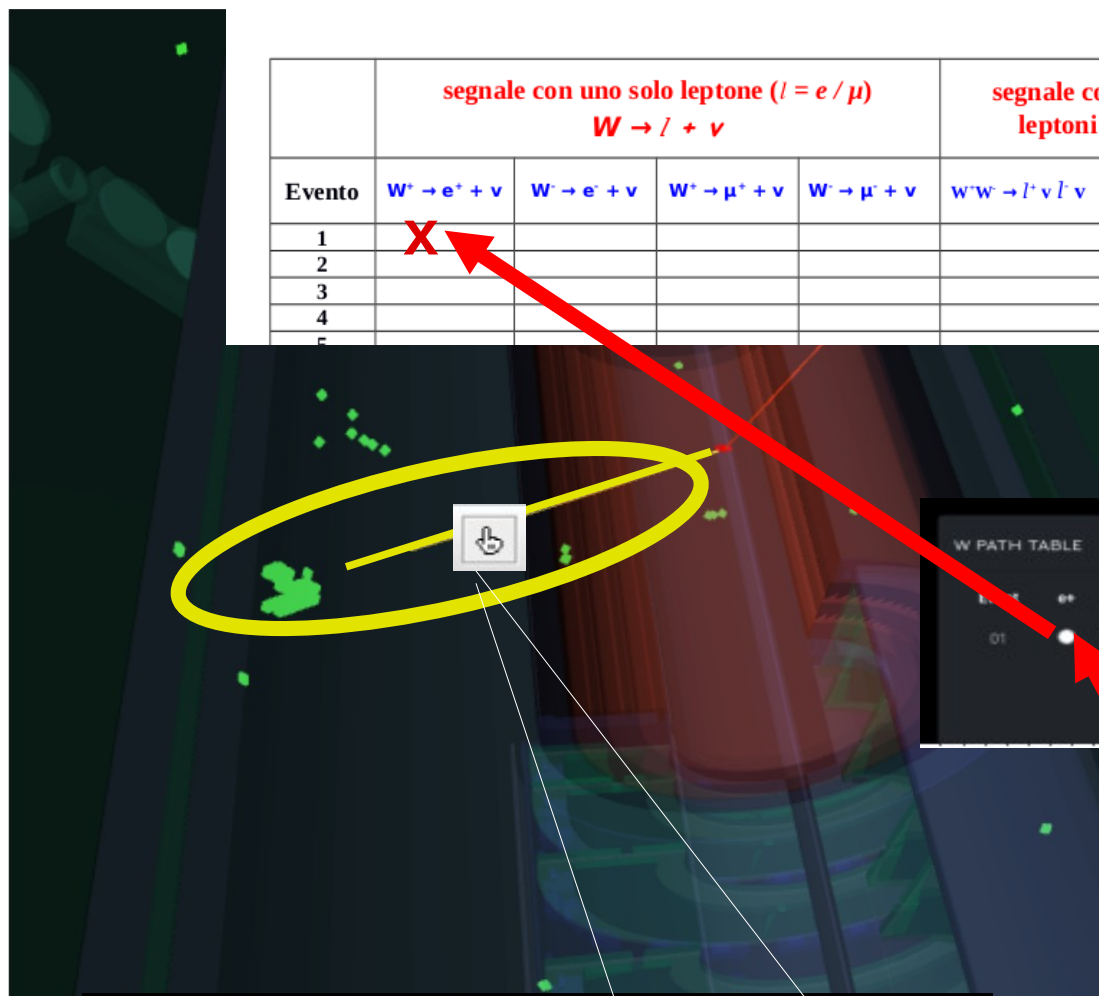


pT > 20 GeV

Rivelazione elettrone/positrone

Analisi dati di ATLAS - Set di dati: ...

	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 $\Delta\phi_{ll}$	
1	X						
2							
3							
4							
5							



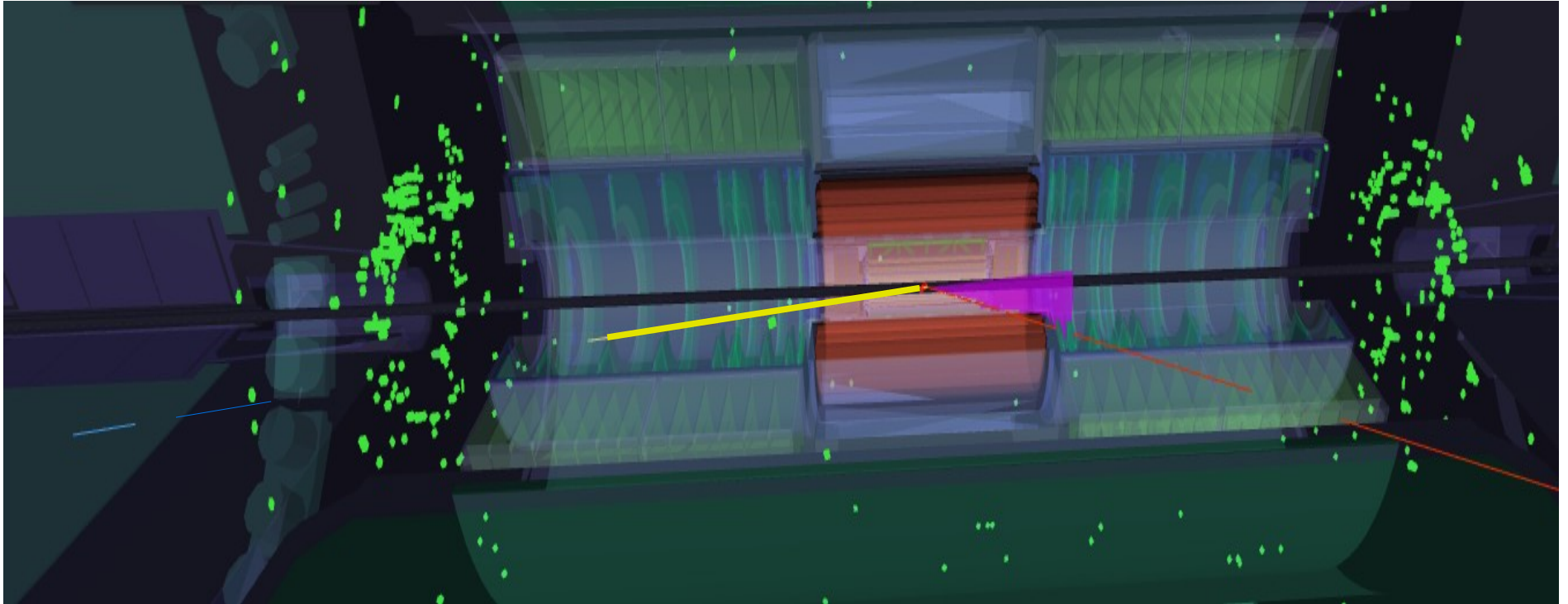
W PATH TABLE							
W^+	e^+	e^-	μ^+	μ^-	Background	WW	Angle
01	●	●	●	●	●	●	■

Object: Track ϕ : 320.06° η : 1.739 pT: 40.722 θ : 19.933° Charge: -1

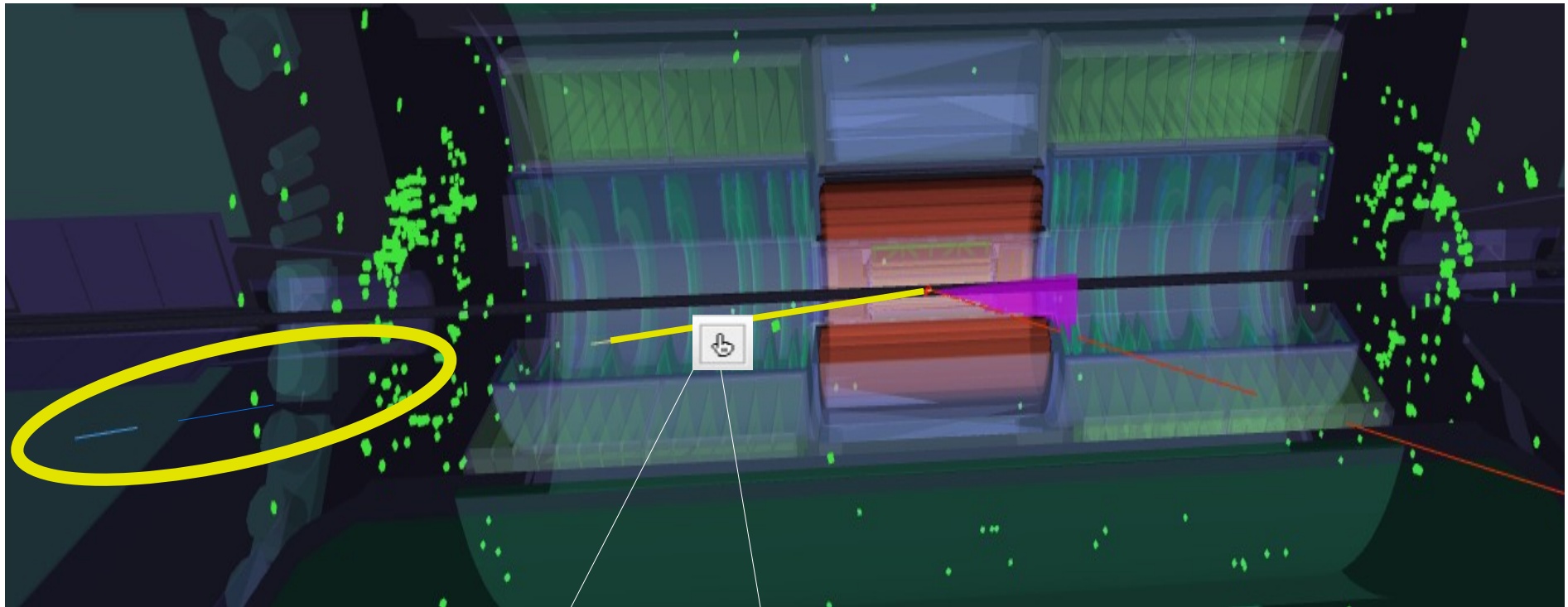
Se carica=+1:
positrone

pT > 20 GeV

Rivelazione muone/antimuone



Rivelazione muone/antimuone

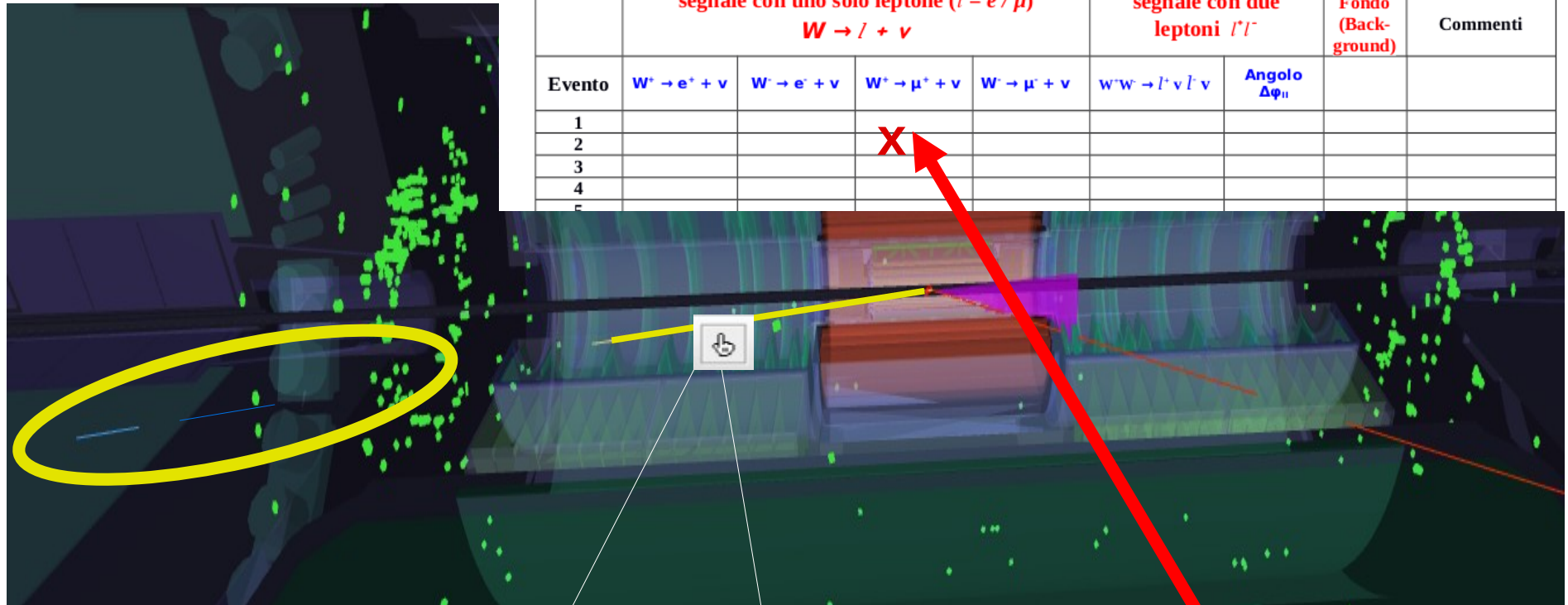
Object: Track ϕ : 259.617° η : 1.939 pT: 37.496 θ : 16.364° Charge: 1

Antimuone (carica positiva)

The screenshot shows the 'W PATH TABLE' interface. It has a table with columns: Event, e^+ , e^- , ν , $\bar{\nu}$, p^- , Background, WW, and Angle. The first row of data is labeled '01' and contains white dots in the e^+ , e^- , ν , and p^- columns. A red arrow points to the e^- column header. A 'Next' button is at the bottom right.

Rivelazione muone/antimuone

Analisi dati di ATLAS - Set di dati: ...



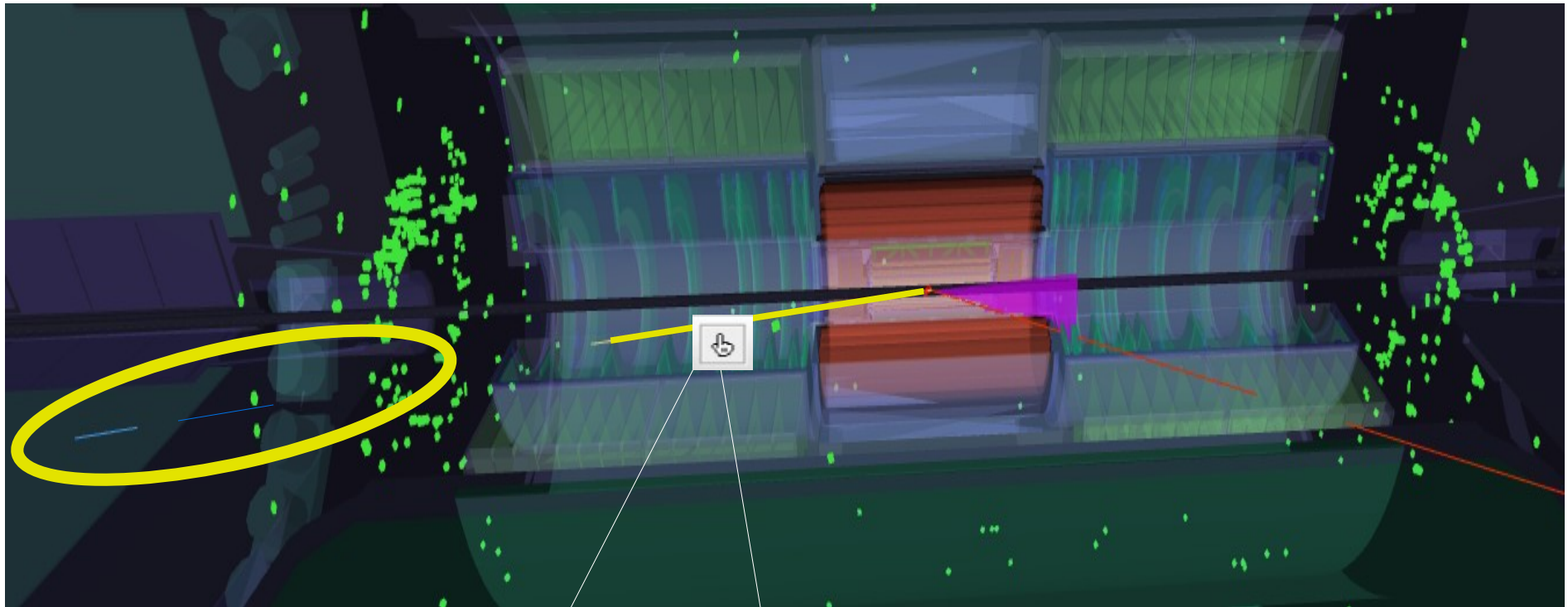
	segnale con uno solo leptone ($l = e / \mu$) $W \rightarrow l + \nu$				segnale con due leptoni $l^+ l^-$		Fondo (Back-ground)	Commenti
Evento	$W^+ \rightarrow e^+ + \nu$	$W^- \rightarrow e^- + \nu$	$W^+ \rightarrow \mu^+ + \nu$	$W^- \rightarrow \mu^- + \nu$	$W^+ W^- \rightarrow l^+ \nu l^- \nu$	Angolo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

Object: Track ϕ : 259.617° η : 1.939 pT: 37.496 θ : 16.364° Charge: 1

Antimuone (carica positiva)

W PATH TABLE						
Event	e^+	e^-	μ^-	Background	WW	Angle
01	●	●	●	●	●	■
						Next

Rivelazione muone/antimuone

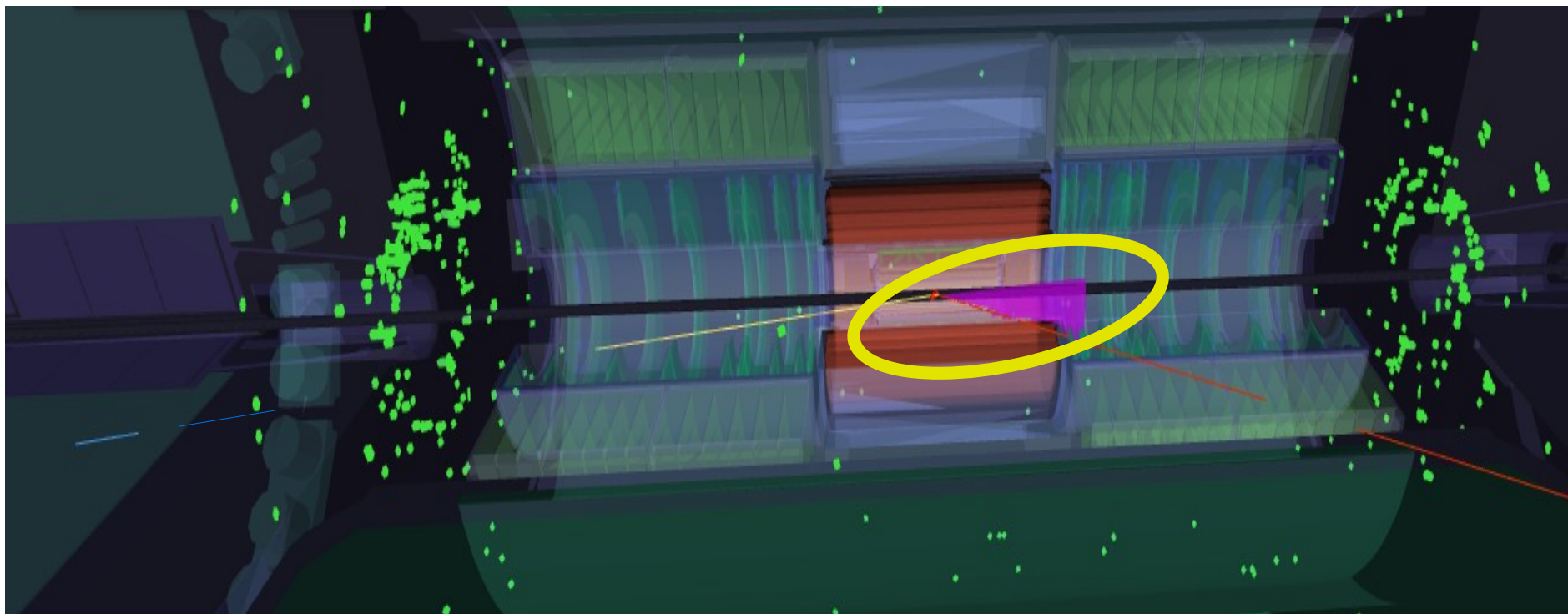
Object: Track ϕ : 259.617° η : 1.939 pT: 37.496 θ : 16.364° Charge: 1

Se: muone (carica negativa)

Event	e+	e-	p+	p-	Background	WW	Angle
01	●	●	●	●	●	●	

Next

Rivelazione jet adronico



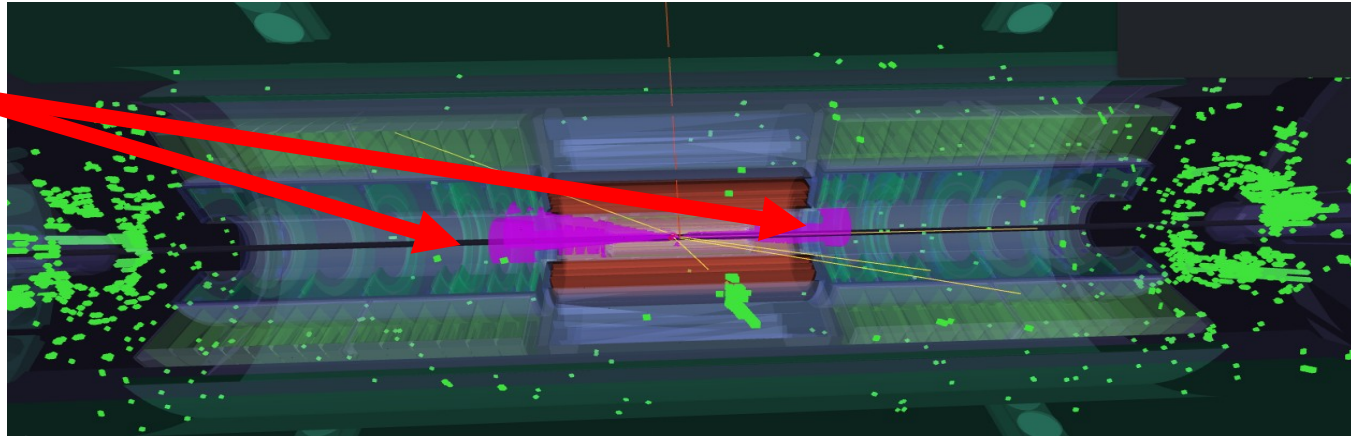
Sono di interesse per quanto riguarda il nostro esercizio gli eventi che generano al massimo un jet!

Eventi candidati per il Background

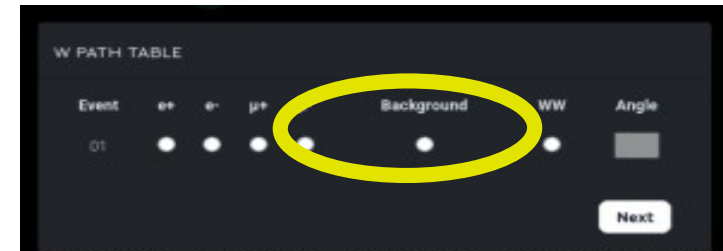
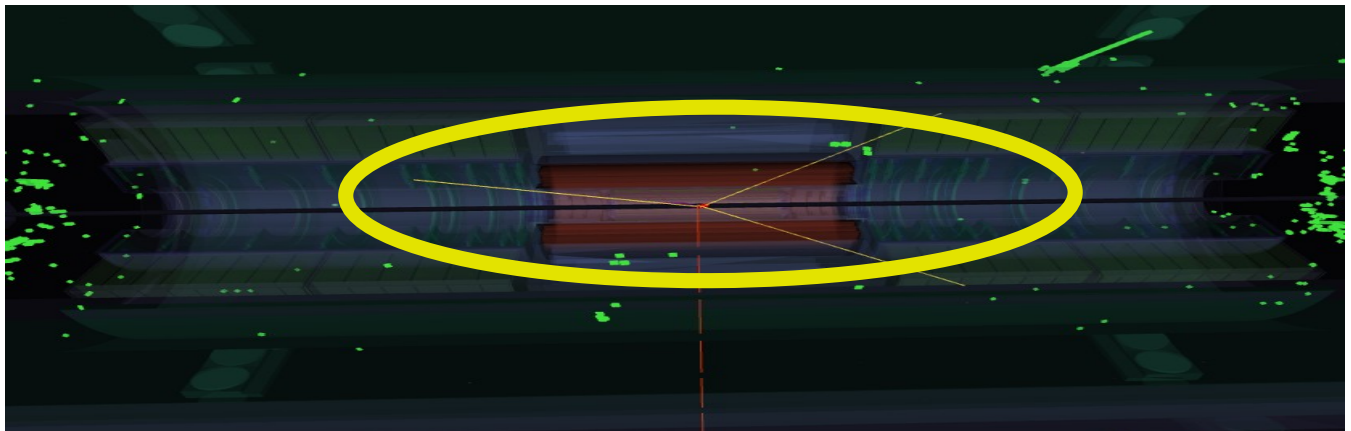
1. $\text{MET} < 20 \text{ GeV}$

2. $p_T < 20 \text{ GeV}$

3. Più di un jet

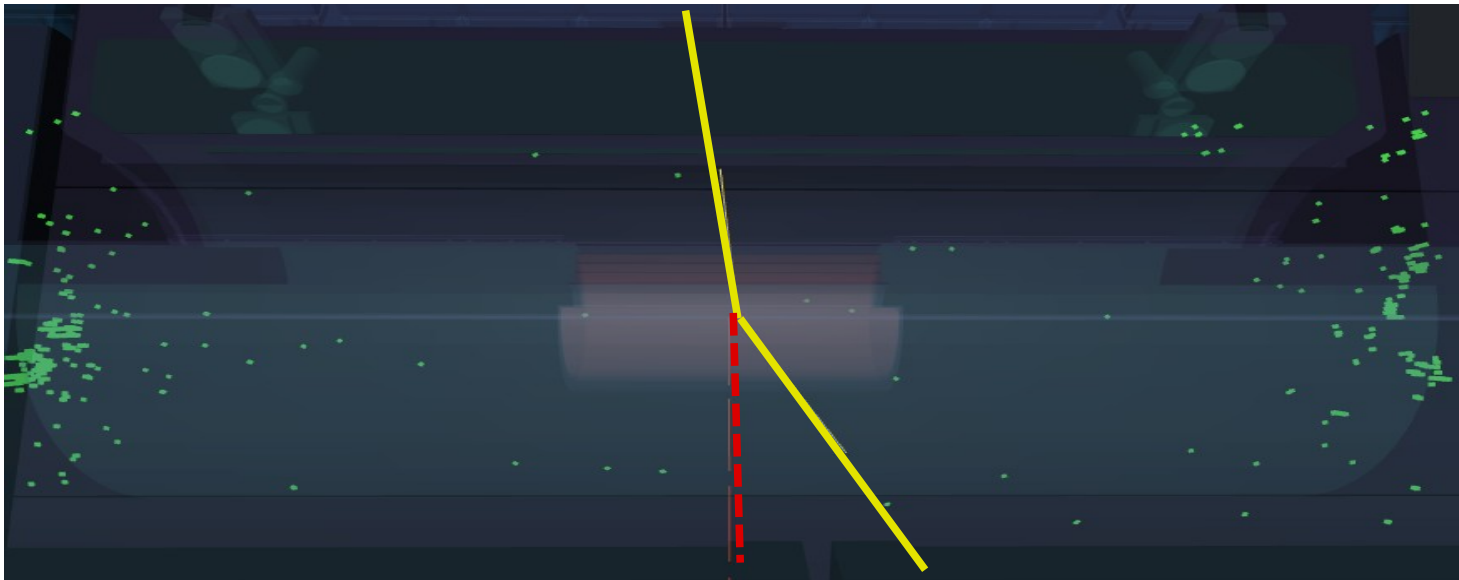


4. Più di due linee gialle (elettroni/positroni/(anti-)muoni)



Eventi con due particelle (e^+ / e^- / μ^+ / μ^-)

- In altre parole: presenza della particella di Higgs che decade in una coppia di W^{+-}
- In tal caso se devono trovare due particelle (**due** linee gialle nella grafica del rivelatore) e bisogna controllare se queste hanno **cariche opposte**.
(Se questo **non è vero** → evento di **background!**)



Eventi con due particelle ($e^+ / e^- / \mu^+ / \mu^-$)

- In altre parole: presenza della particella di Higgs che decade in una coppia di W^{+-}
- In tal caso se devono trovare due particelle (**due** linee gialle nella grafica del rivelatore) e bisogna controllare se queste hanno **cariche opposte**.
(Se questo **non è vero** → evento di **background!**)



CTRL +



+



Eventi con due particelle (e^+ / e^- / μ^+ / μ^-)

- In altre parole: presenza della particella di Higgs che decade in una coppia di W^{+-}
- In tal caso se devono trovare due particelle (**due** linee gialle nella grafica del rivelatore) e bisogna controllare se queste hanno **cariche opposte**.
(Se questo **non è vero** → evento di **background!**)



CTRL +



+



Object: Track φ : 74.655° η : 0.085 p_T : 56.117 θ : 85.160° Charge: -1

Object: Track φ : 249.623° η : -0.510 p_T : 33.224 θ : 118.015° Charge: 1

$\Delta\varphi$: 175

Eventi con due particelle (e^+ / e^- / μ^+ / μ^-)

- In altre parole: presenza della particella di Higgs che decade in una coppia di W^{+-}
- In tal caso se devono trovare due particelle (**due** linee gialle nella grafica del rivelatore) e bisogna controllare se queste hanno **cariche opposte**.
(Se questo **non è vero** → evento di **background**!)

W PATH TABLE

Event	e^+	e^-	μ^+	μ^-	Background	WW	Angle	
05	●	●	●	●	●	●		✍
06	●	●	●	●	●	●		✍
07	●	●	●	●	●	●		✍
08	●	●	●	●	●	●		✍
09	●	●	●	●	●	★		

Next

CTRL +



+



Object: Track ϕ : 74.655° η : 0.085 p_T : 56.117 θ : 85.160° Charge: -1

Object: Track ϕ : 249.623° η : -0.510 p_T : 33.224 θ : 118.015° Charge: 1

$\Delta\phi$: 175

Eventi con due particelle (e^+ / e^- / μ^+ / μ^-)

Analisi dati di ATLAS - Set di dati: ...

- In altre parole: presenza
- In tal caso se devono tr
rivelatore) e bisogna cor
(Se questo **non è vero**

	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 $\Delta\phi_{ll}$	
1							
2							
3							
4							
5							

W PATH TABLE

Event	e+	e-	μ^+	μ^-	Background	WW	Angle
05							
06							
07							
08							
09							

Next

CTRL +



+



Object: Track ϕ : 74.655° η : 0.085 pT: 56.117 θ : 85.160° Charge: -1

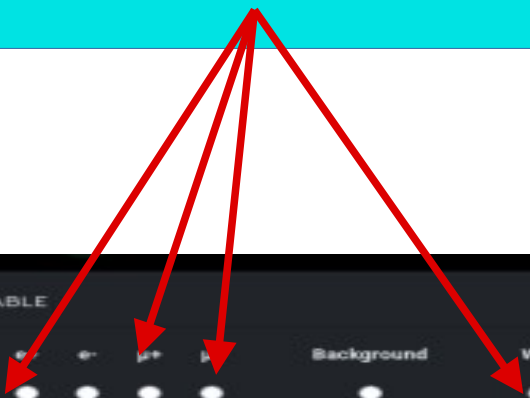
Object: Track ϕ : 249.623° η : -0.510 pT: 33.224 θ : 118.015° Charge: 1

$\Delta\phi$: 175

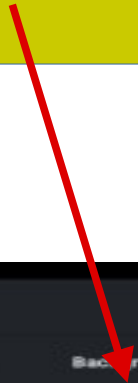
Riassunto

1. **Max. 1 jet adronico**
+
2. **MET** > 20 GeV
+
3. **pT** > 20 GeV: (max 2 particelle)
+
4. Selezione sulla base della **CARICA**

1. **Più di 1 jet adronico?**
oppure
2. **MET** < 20 GeV ?
oppure
3. **Più di 2 particelle (lin. gialle)?**
oppure
4. **pT** < 20 GeV

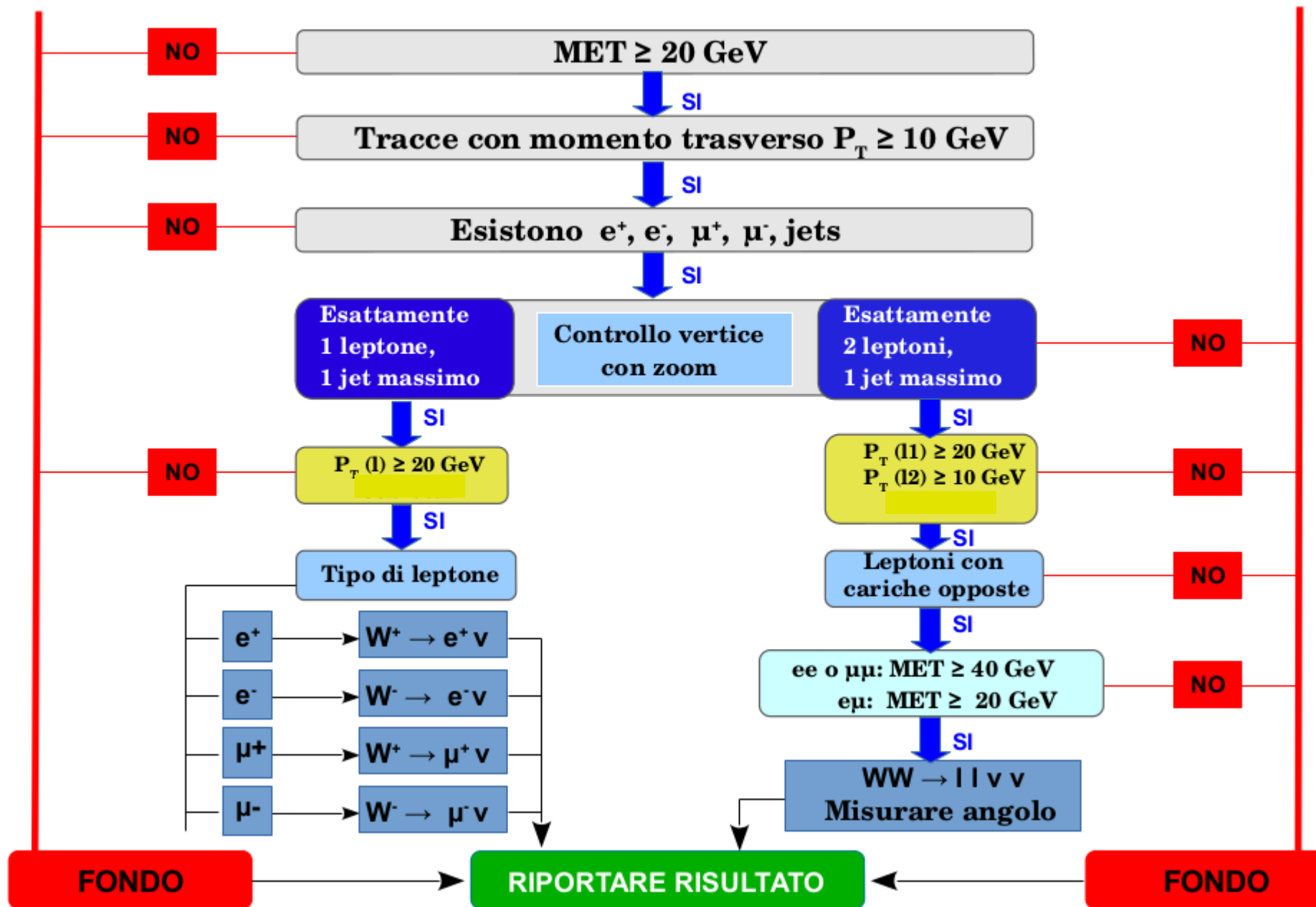


Event	e ⁺	e ⁻	μ ⁺	μ ⁻	Background	WW	Angle
01	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☐
							Next



Event	e ⁺	e ⁻	μ ⁺	μ ⁻	Background	WW	Angle
01	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☐
							Next

Sintesi delle informazioni utili per decidere il carattere dell'evento



<https://tracer-mc.web.cern.ch/>

In bocca al lupo e buon divertimento!