



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI UDINE

hic sunt futura



# I bosoni Z e Higgs: ricostruiamoli assieme con il rivelatore ATLAS!

Dr. Michele Pinamonti  
(INFN, Sezione di Trieste)



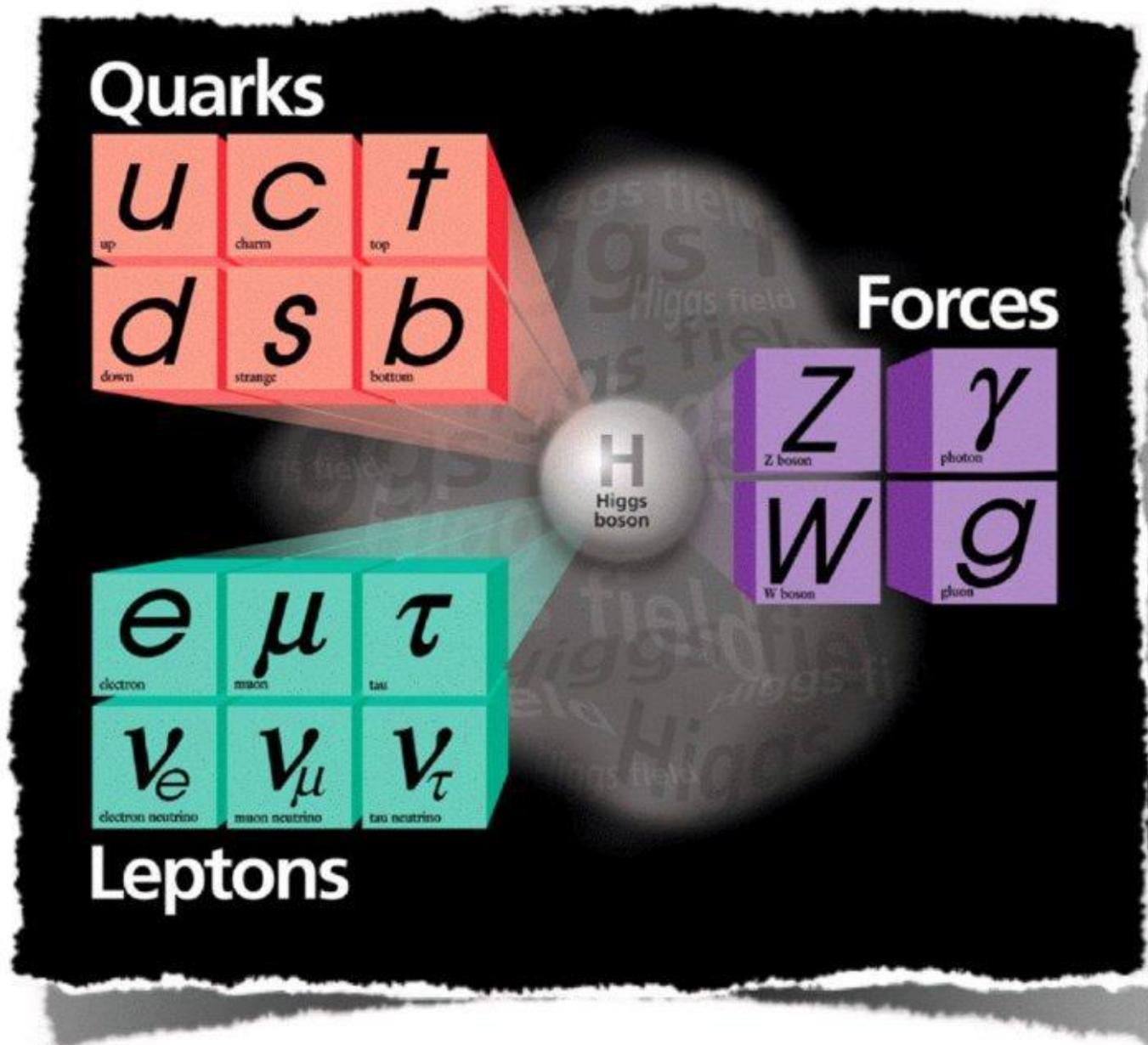
Università di Udine  
21/02/2024



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI UDINE

hic sunt futura

# LE PARTICELLE DEL MODELLO STANDARD





UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI UDINE

hic sunt futura

# LE PARTICELLE DEL MODELLO STANDARD

## QUARKS



**UP QUARK**  
A teeny little point inside the proton and neutron, it is friends forever with the down quark.



**CHARM QUARK**  
A second generation quark, it is charmed, indeed.



**TOP QUARK**  
This heavyweight champion doesn't live long enough to make friends with anyone.

**DOWN QUARK**  
A tiny little point inside the proton and neutron, it is friends forever with the up quark.



**STRANGE QUARK**  
Why is this second generation quark so strange?



**BOTTOM QUARK**  
This third generation quark is puttin' on the pounds.



## LEPTONS

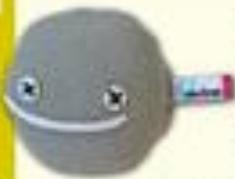
**ELECTRON-NEUTRINO**  
These miniscule bandits like to steal away energy and escape detection.



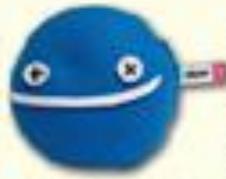
**MUON-NEUTRINO**  
A slightly heavier bandit than its sibling to the left.



**TAU-NEUTRINO**  
Wily and sneaky, this bandit is the newest particle to arrive at the Zoo.



**ELECTRON**  
A familiar friend, this negatively charged, busy f'ill guy likes to bond.



**MUON**  
A "heavy electron" who lives fast and dies young.



**TAU**  
A "heavy muon" who could stand to lose a little weight.

## FORCE CARRIERS



**PHOTON**

The "light" wave we know and love.



**GLUON**

The "glue" of the strong nuclear force.



**W BOSON**

**Z BOSON**

As the carrier particles of the weak nuclear force, they're downright cool.

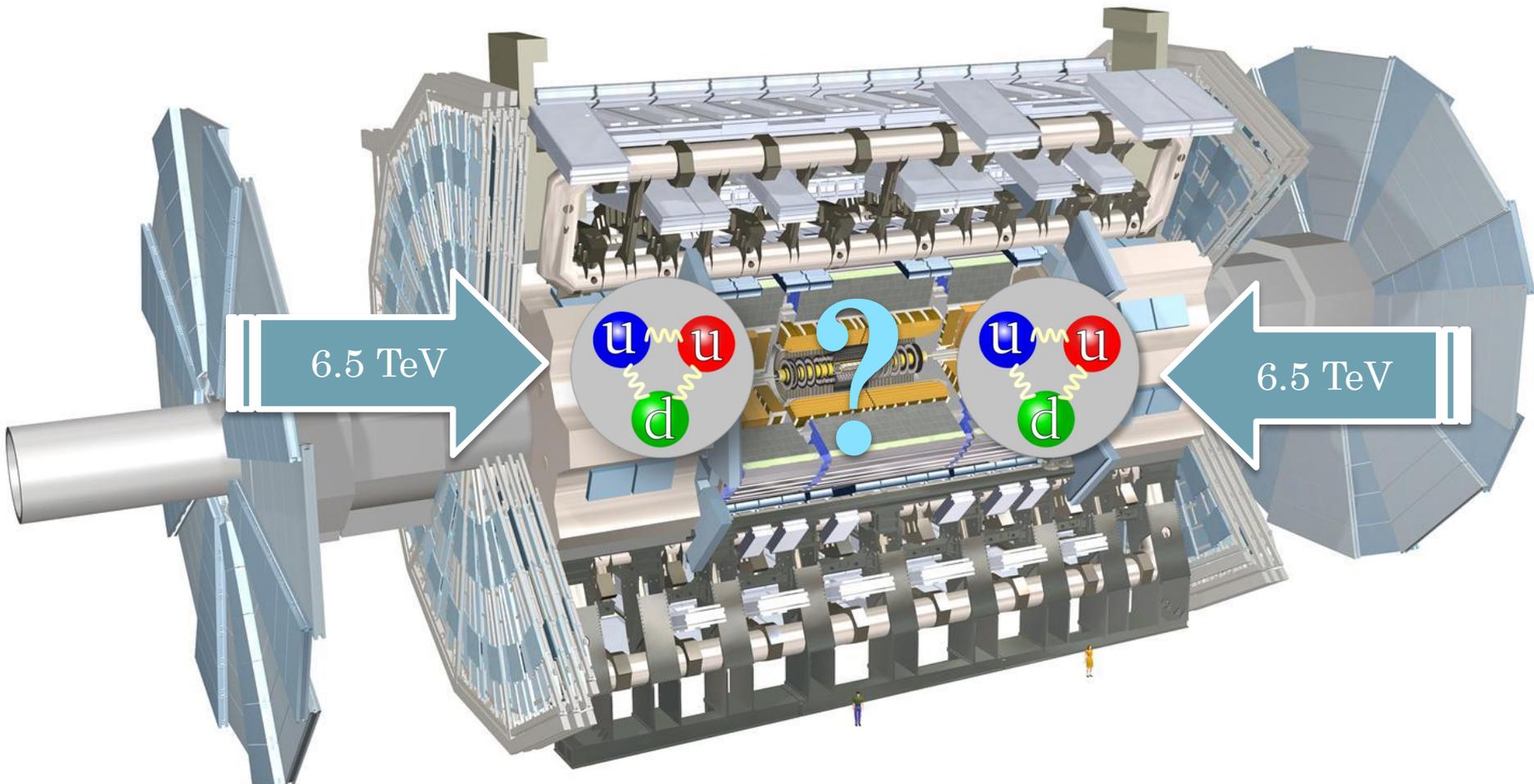


UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI UDINE

hic sunt futura

## COSA SUCCEDDE IN UNO SCONTRO $pp$ ?

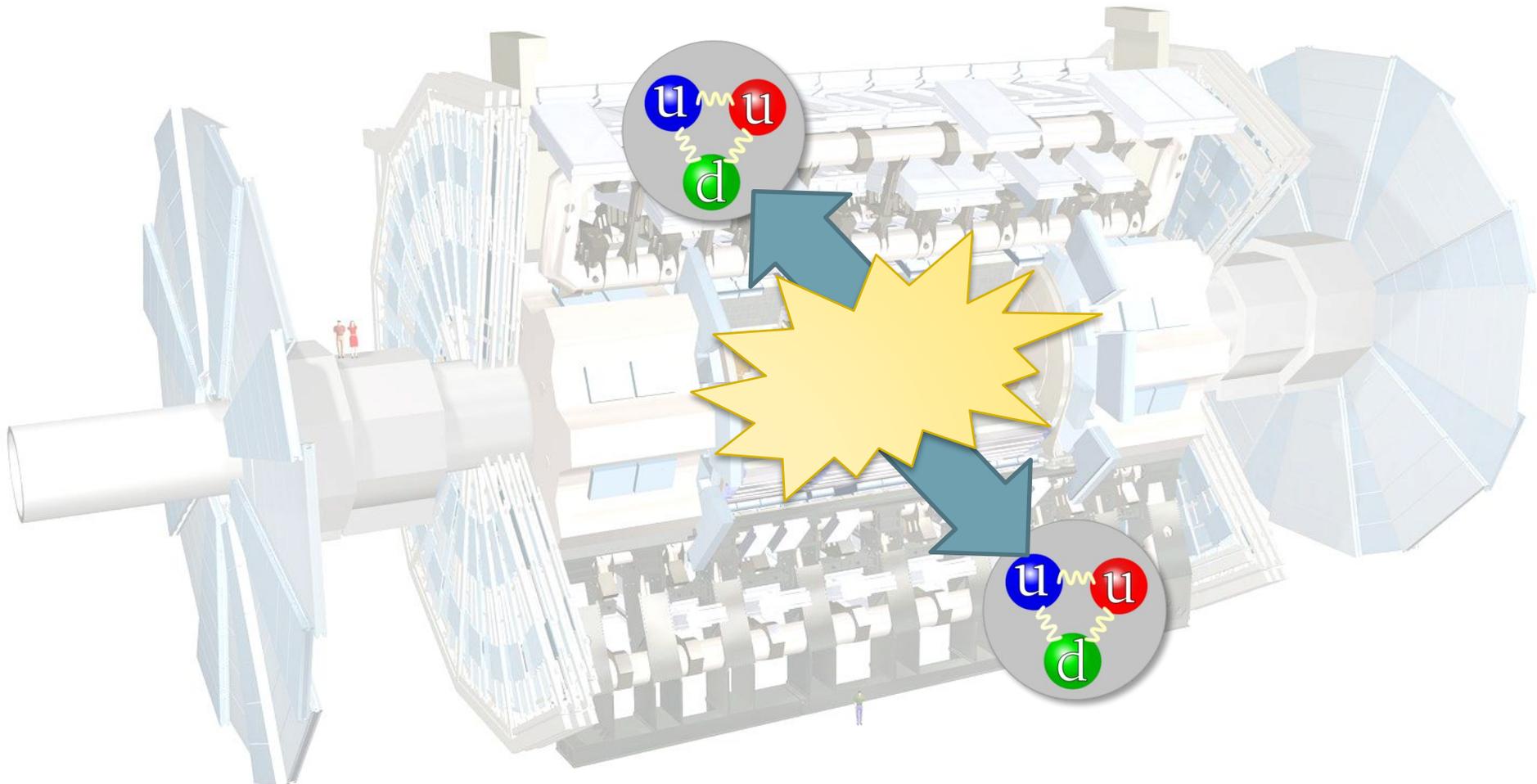
*“Evento” di collisione*





## COSA SUCCEDDE IN UNO SCONTRO $pp$ ?

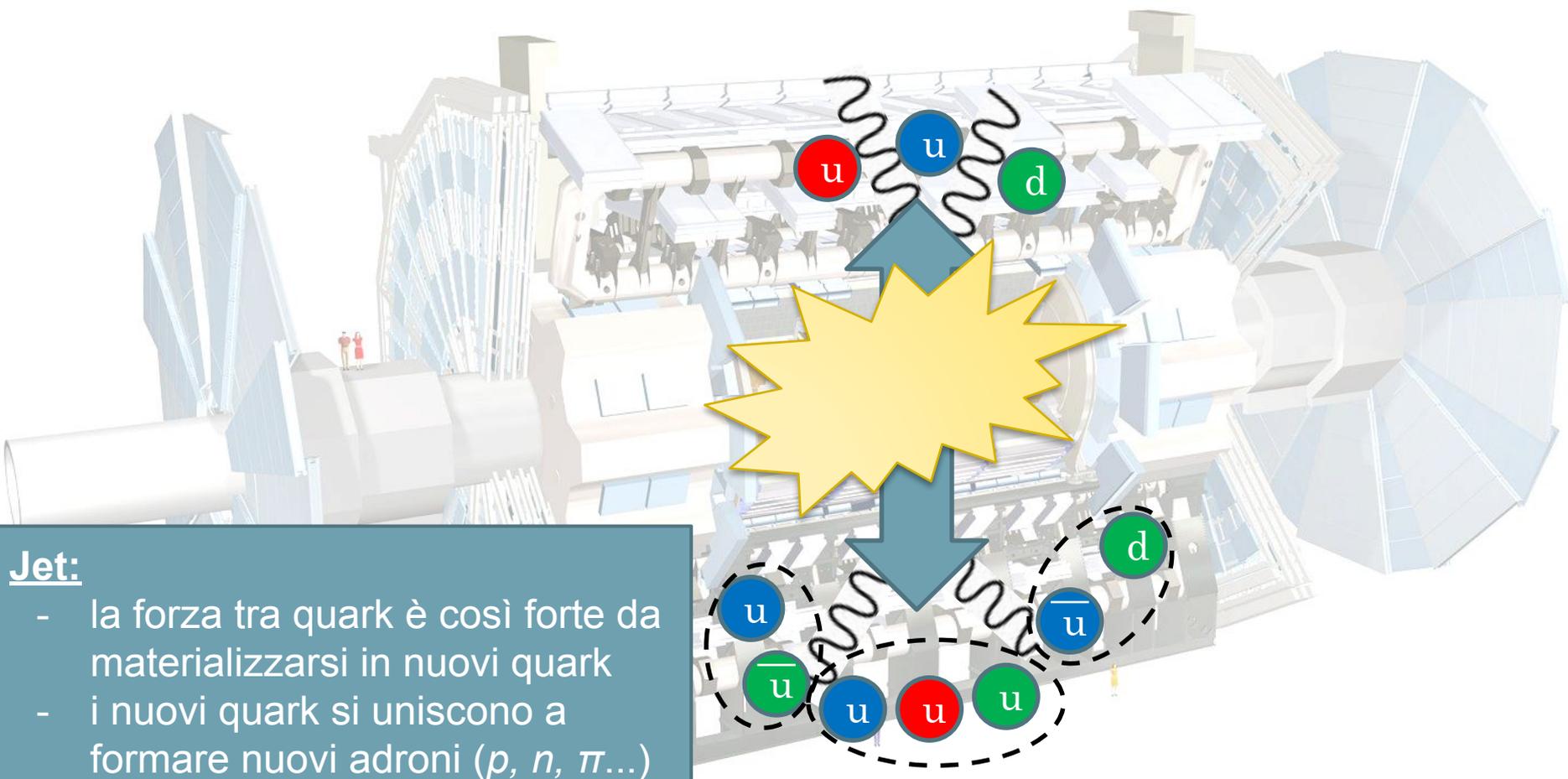
- Scattering elastico





## COSA SUCCEDDE IN UNO SCONTRO $pp$ ?

- Scattering elastico
- Scattering anelastico



### Jet:

- la forza tra quark è così forte da materializzarsi in nuovi quark
- i nuovi quark si uniscono a formare nuovi adroni ( $p$ ,  $n$ ,  $\pi$ ...)

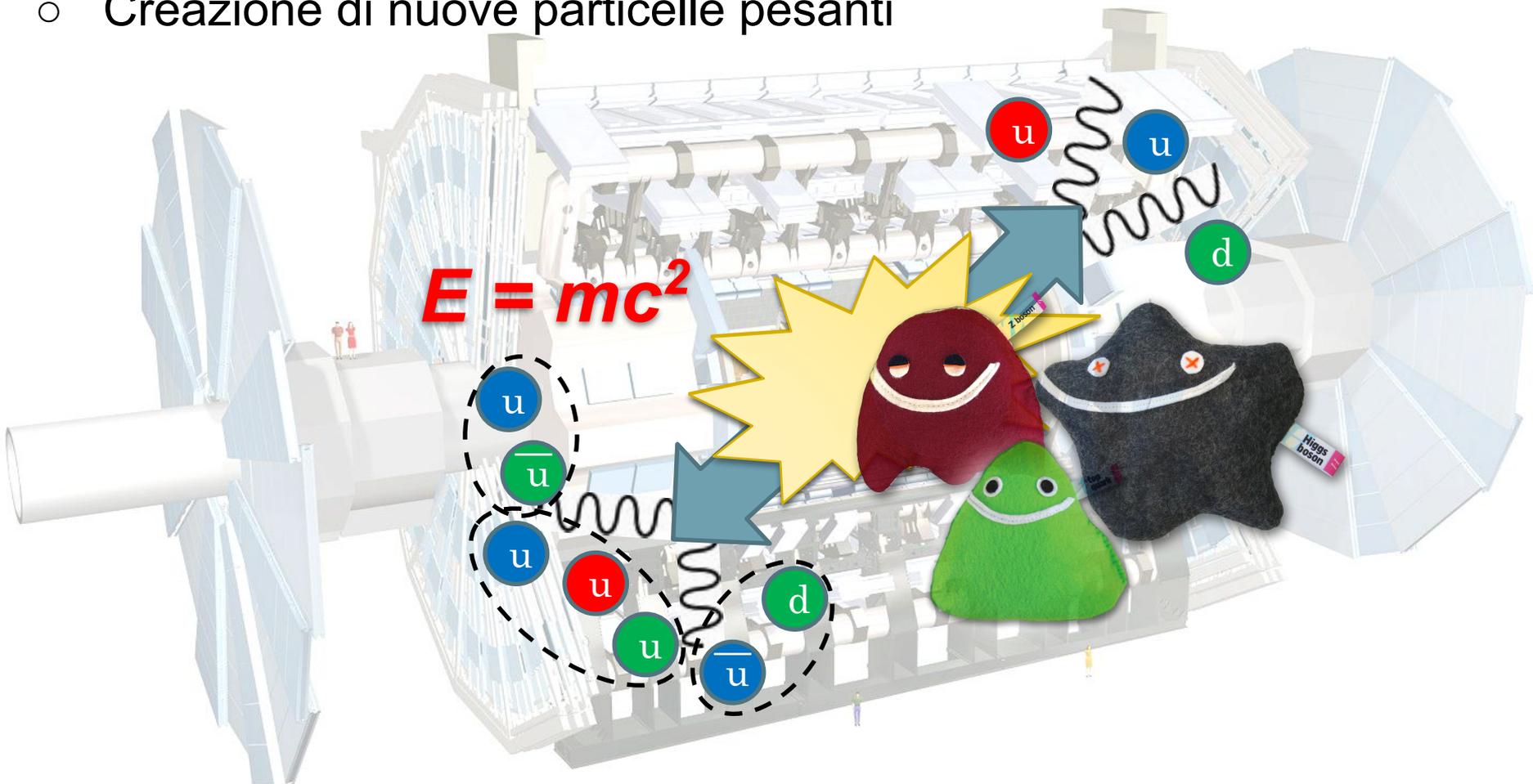


UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI UDINE

hic sunt futura

## COSA SUCCEDE IN UNO SCONTRO $pp$ ?

- Scattering elastico
- Scattering anelastico
- Creazione di nuove particelle pesanti

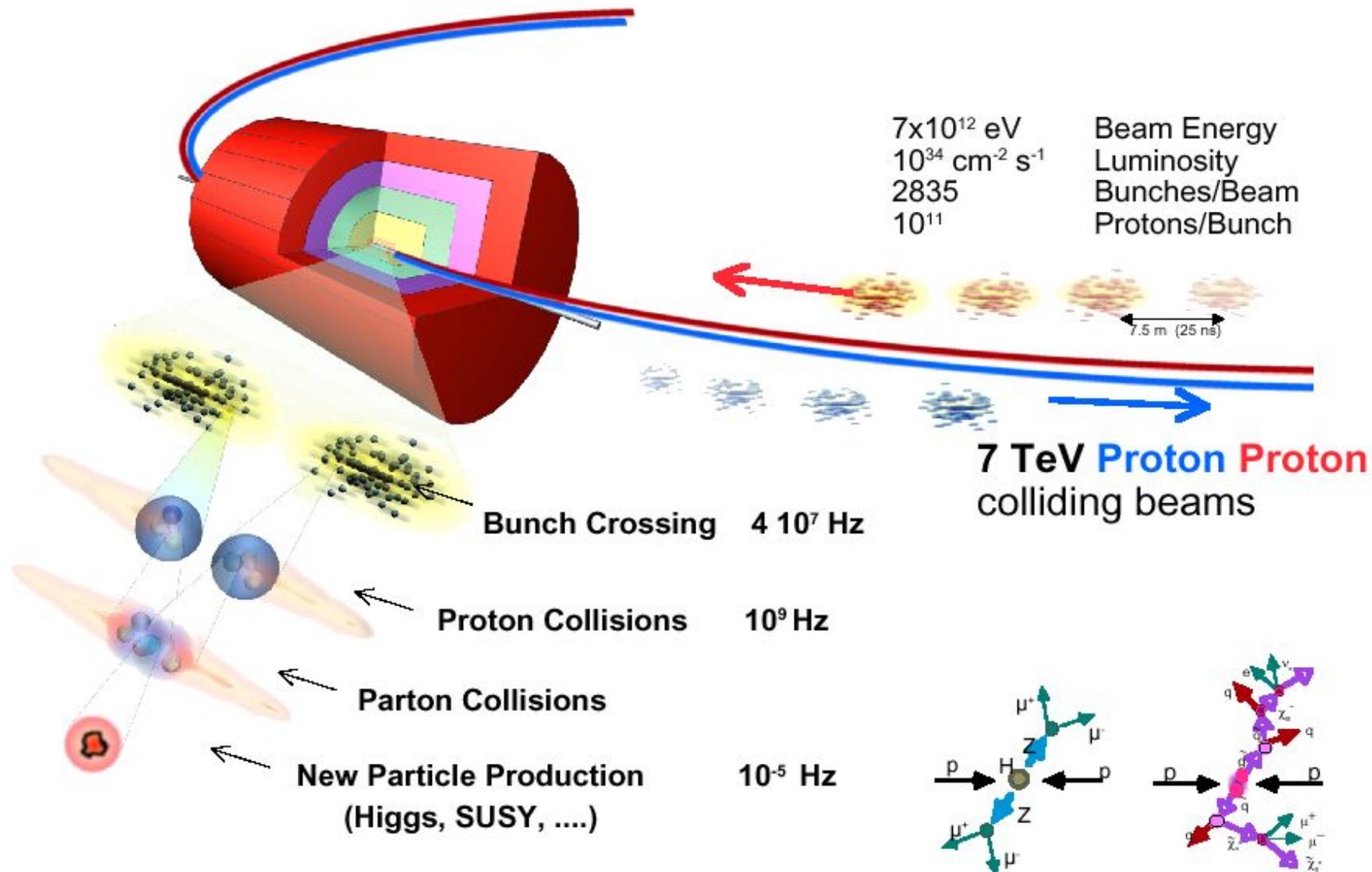




UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI UDINE

hic sunt futura

## COSA SUCCEDE IN UNO SCONTRO $pp$ ?



**Selection of 1 event in 10,000,000,000,000**



## COME SI PUO' "VEDERE" LE PARTICELLE?

- La maggior parte delle particelle sono **instabili**
- Le particelle molto **pesanti** (come i bosoni Z e Higgs) decadono *immediatamente*  
(dopo  $3 \times 10^{-25} = 0.000000000000000000000000000003$  sec)
- Il **decadimento** conserva:
  - la carica elettrica
  - l'energia (e ricordiamo che  $E = mc^2$ )

### Bosone Z:

- carica elettrica = 0
- massa =  $91 \text{ GeV}/c^2$



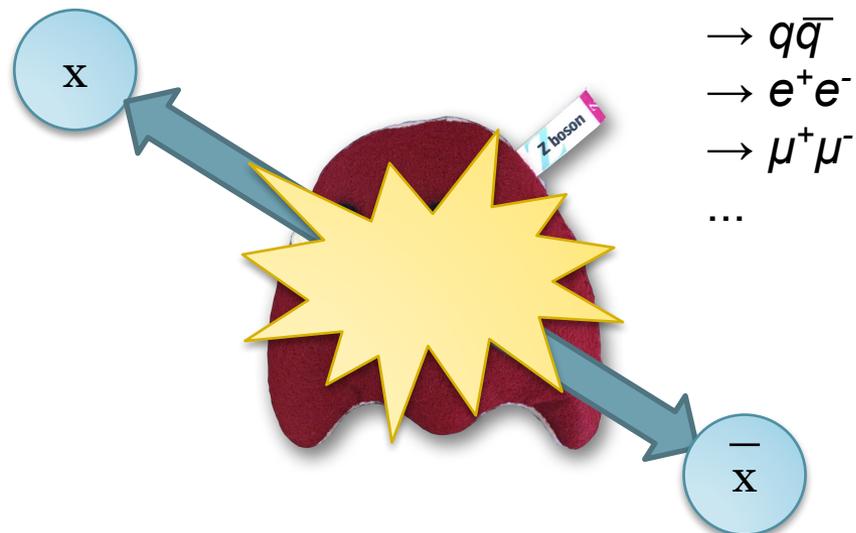


## COME SI PUO' "VEDERE" LE PARTICELLE?

- La maggior parte delle particelle sono **instabili**
- Le particelle molto **pesanti** (come i bosoni Z e Higgs) decadono *immediatamente*  
(dopo  $3 \times 10^{-25} = 0.000000000000000000000000000003$  sec)
- Il **decadimento** conserva:
  - la carica elettrica
  - l'energia (e ricordiamo che  $E = mc^2$ )

### Bosone Z:

- carica elettrica = 0
- massa =  $91 \text{ GeV}/c^2$

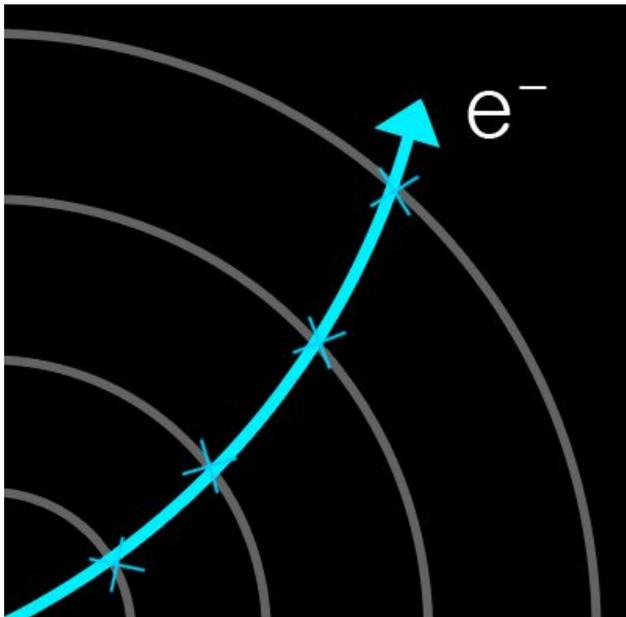




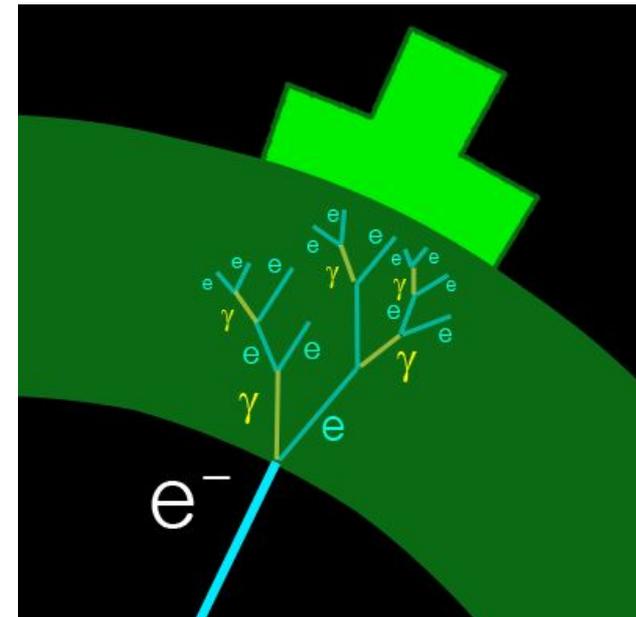
## COME SI PUO' "VEDERE" LE PARTICELLE?

- Per *vedere e misurare* particelle *stabili* → **rivelatori di particelle**
  - ➔ di diverso tipo e con diverse tecnologie, che possono:
    - vedere diversi tipi di particelle, in un ampio raggio di energie
    - misurare diverse proprietà (energia, direzione, carica...)
- Due tipi principali:

### “Tracciatori”



### “Calorimetri”





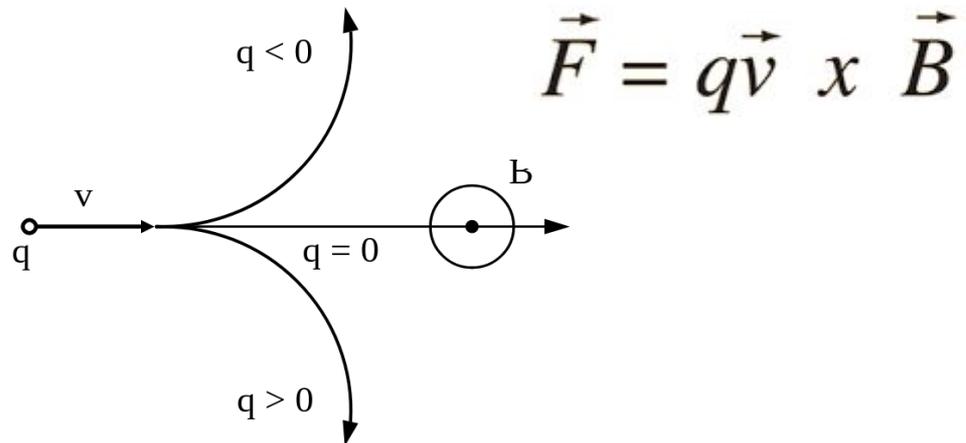
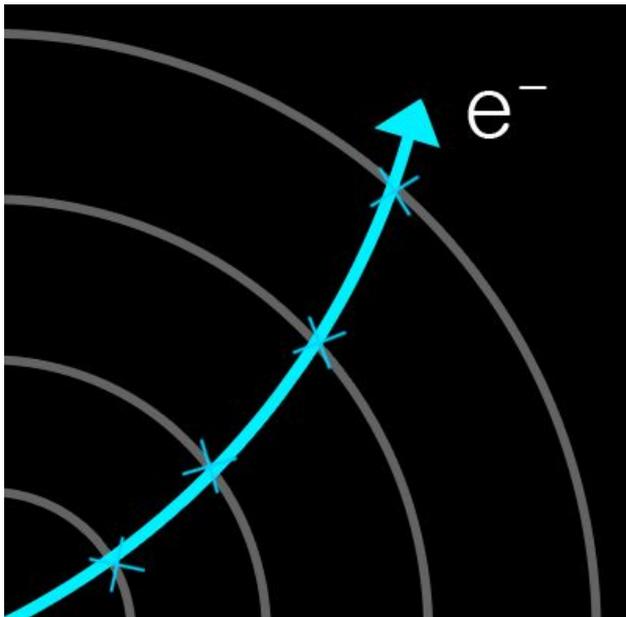
UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI UDINE

hic sunt futura

## COME SI PUO' "VEDERE" LE PARTICELLE?

- strati sottili  $\Rightarrow$  minima perturbazione del moto delle particelle
- determinazione precisa della **traiettoria**
- immersi in **campo magnetico**  $\Rightarrow$  misura di **impulso**
  - direzione della curvatura  $\Rightarrow$  segno della **carica elettrica**

### “Tracciatori”



#### Tecnologia:

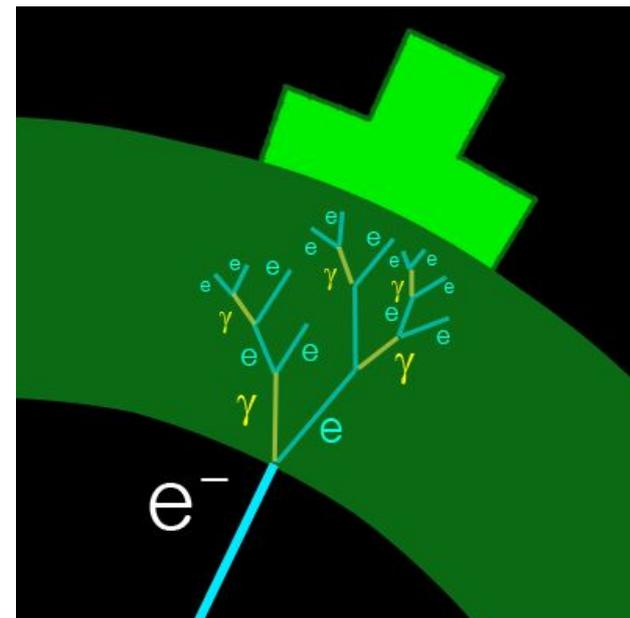
- rivelatori al silicio (es. pixel)
- camere proporzionali (rivelatori a gas)



## COME SI PUO' "VEDERE" LE PARTICELLE?

- strati pesanti e spessi ⇒ **fermare** particelle
- particelle interagiscono col materiale e depositano **tutta** la loro **energia cinetica** → raccolta e misurata
- spesso costruiti diversamente per fermare e misurare:
  - elettroni e fotoni (**EM-Cal**)
  - o particelle adroniche (**Had-Cal**)

### "Calorimetri"



#### Tecnologia:

- materiali pesanti come "assorbitori" (metalli)
- materiali attivi → spesso scintillatori

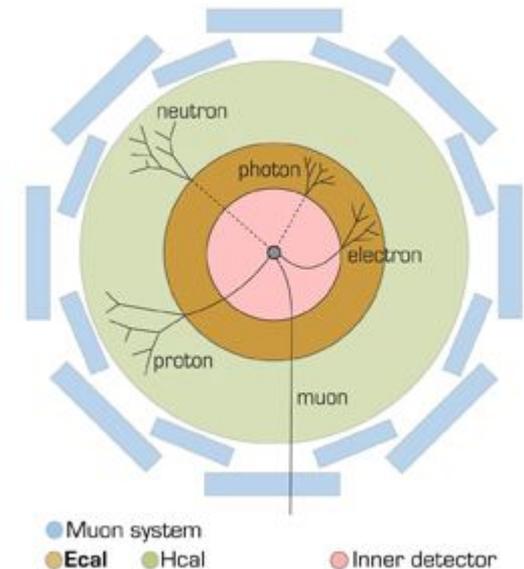
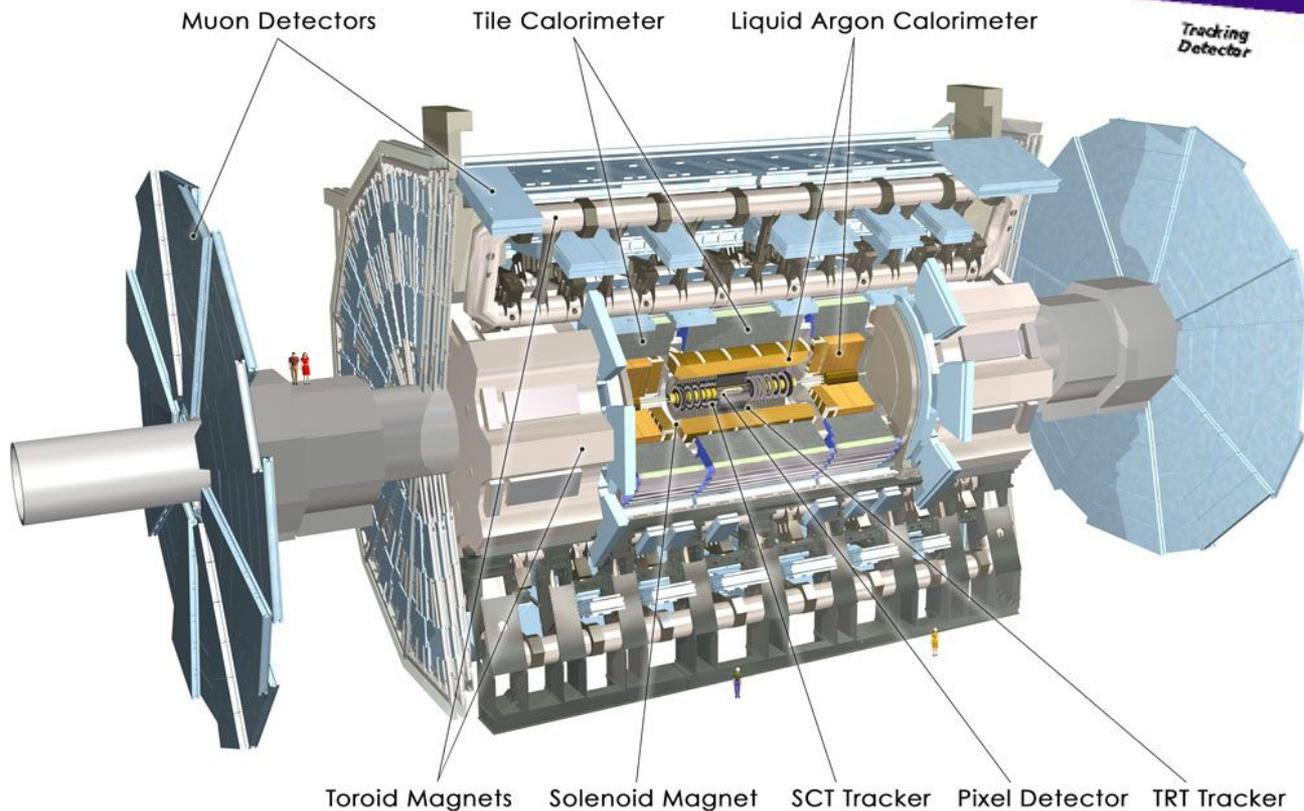
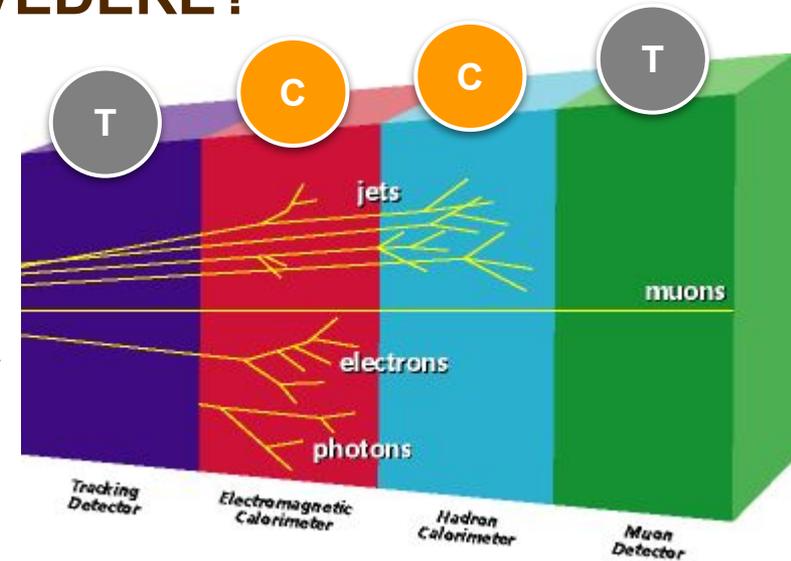


UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI UDINE

hic sunt futura

## COSA POSSIAMO VEDERE?

- ATLAS è costruito con diversi **strati** di diversi *sotto-rivelatori*
- può vedere e misurare quasi tutti i tipi di particelle stabili





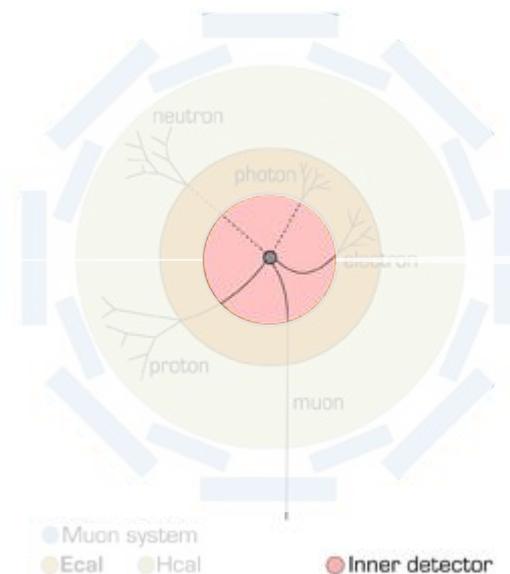
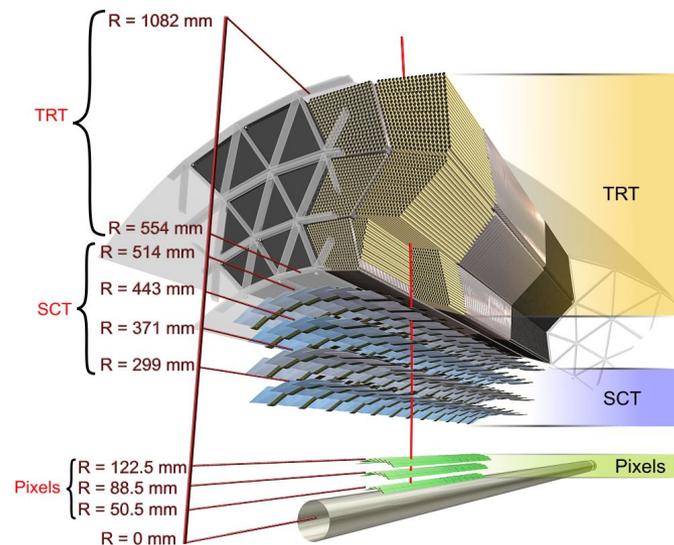
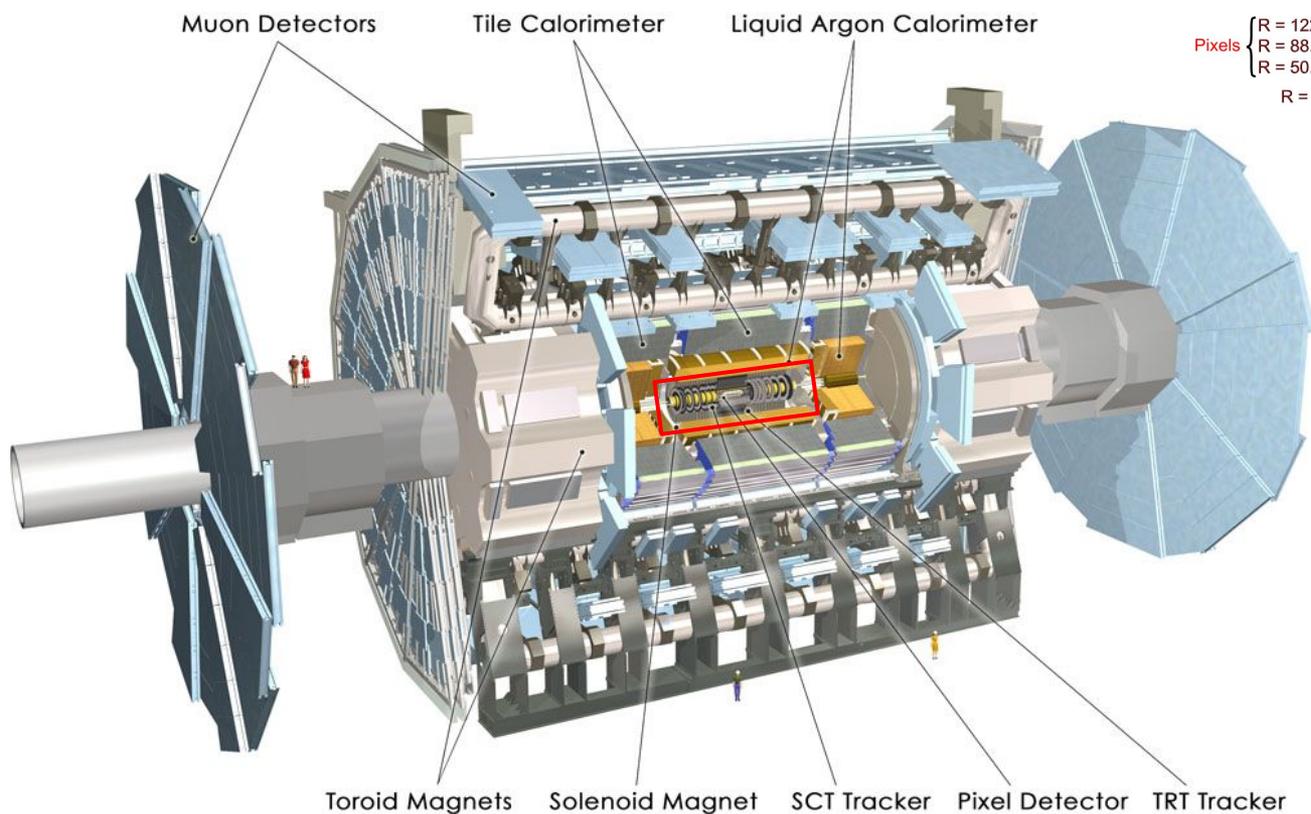
UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI UDINE

hic sunt futura

# SOTTO-RIVELATORI

T

## Il Tracciatore Interno





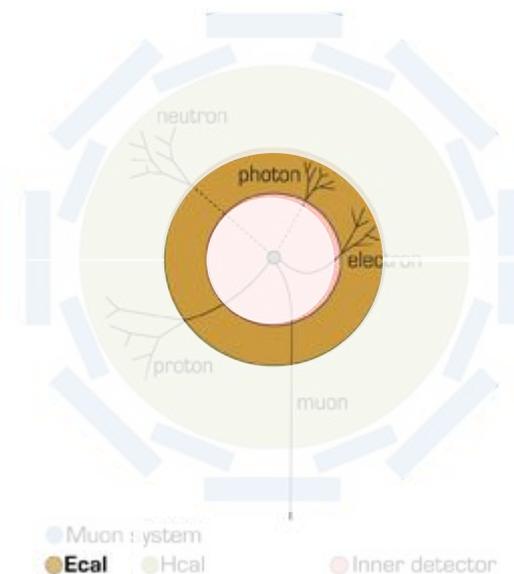
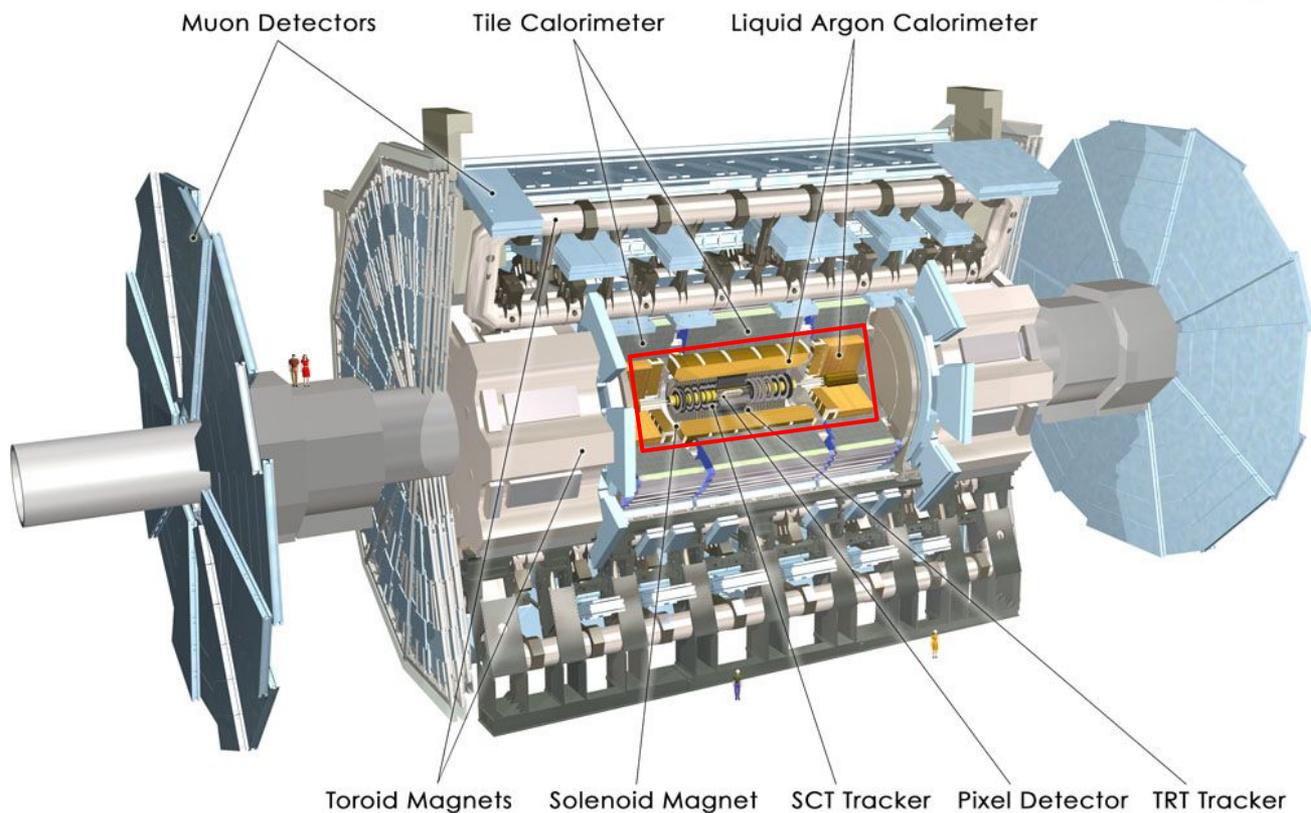
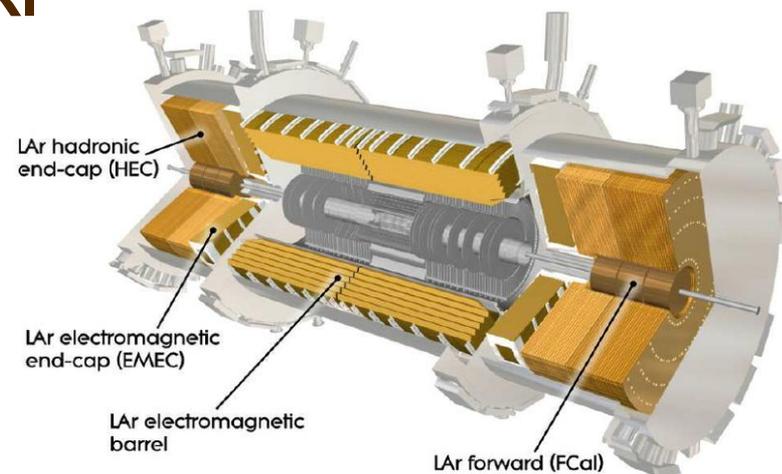
UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI UDINE

hic sunt futura

## SOTTO-RIVELATORI

C

### Il Calorimetro Elettro-Magnetico



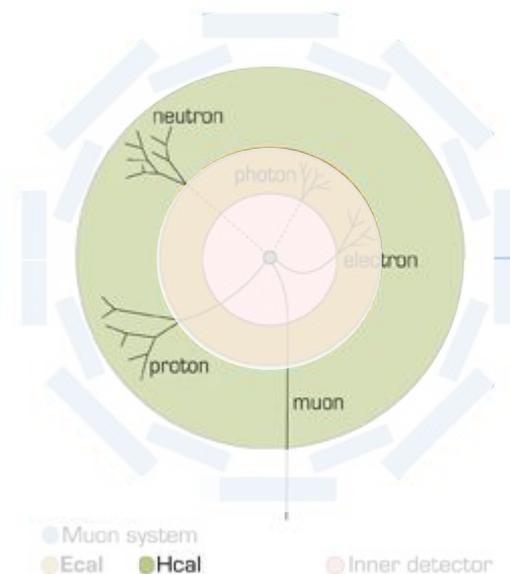
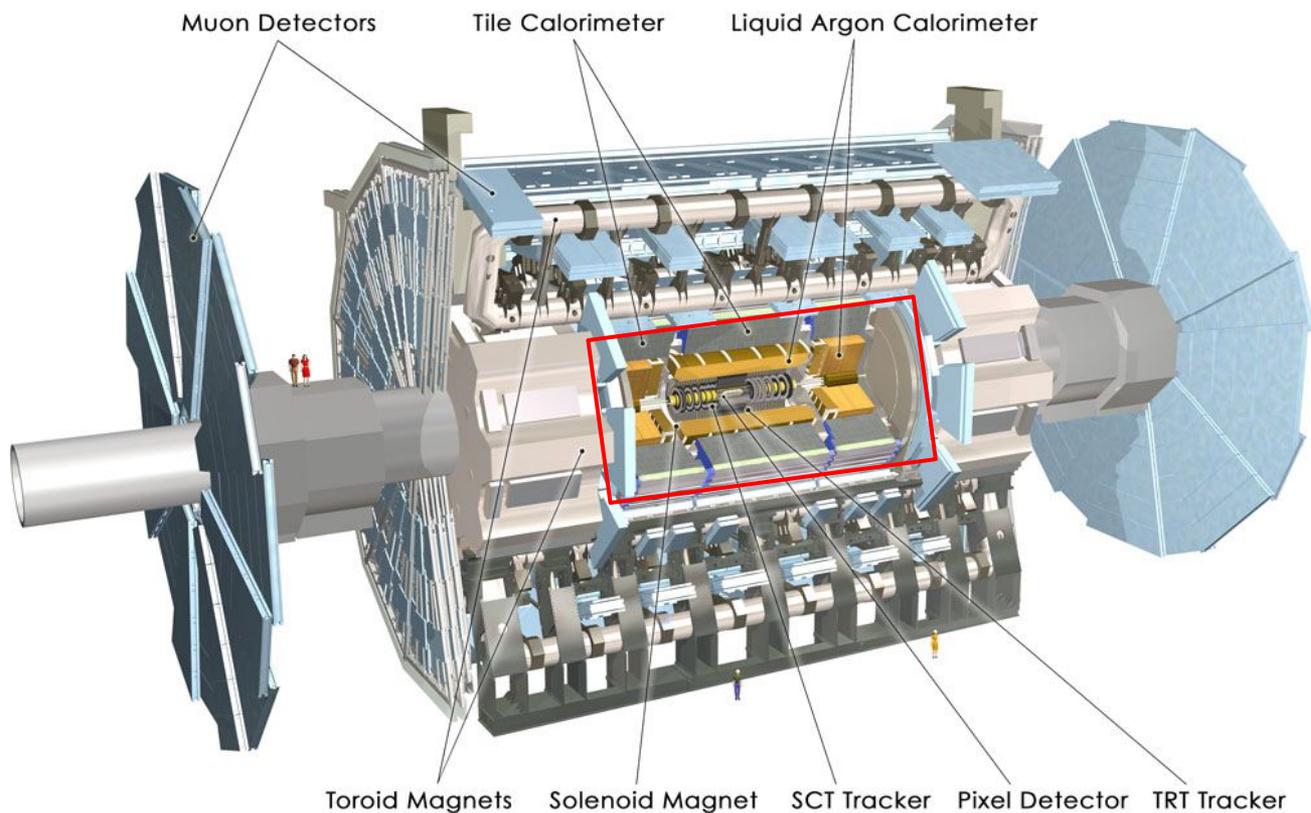
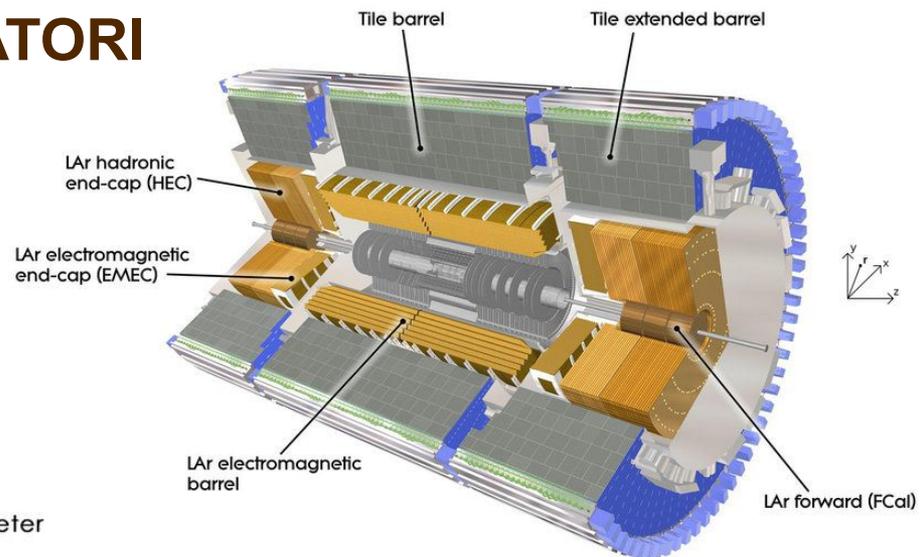


UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI UDINE

hic sunt futura

## SOTTO-RIVELATORI

### **Il Calorimetro Adronico**



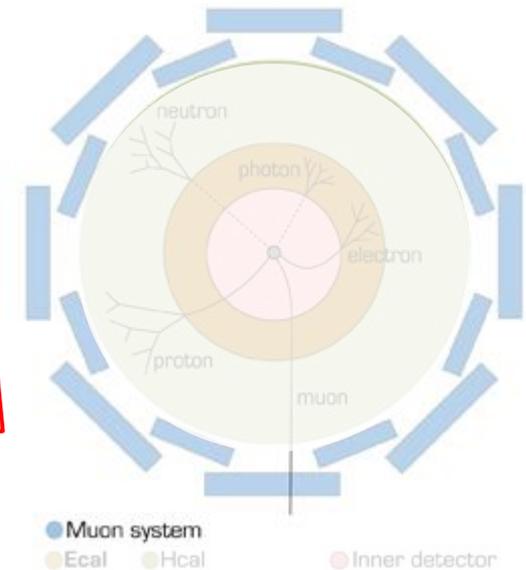
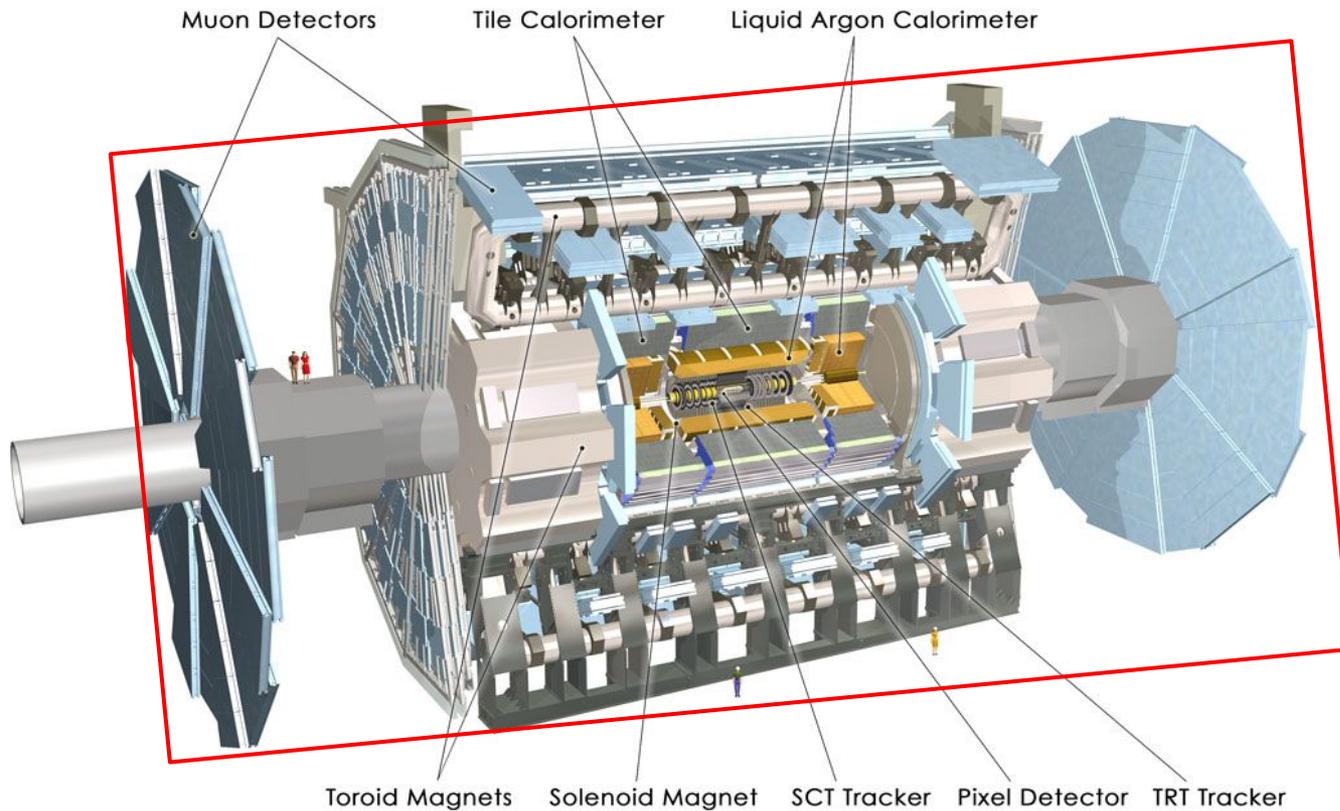
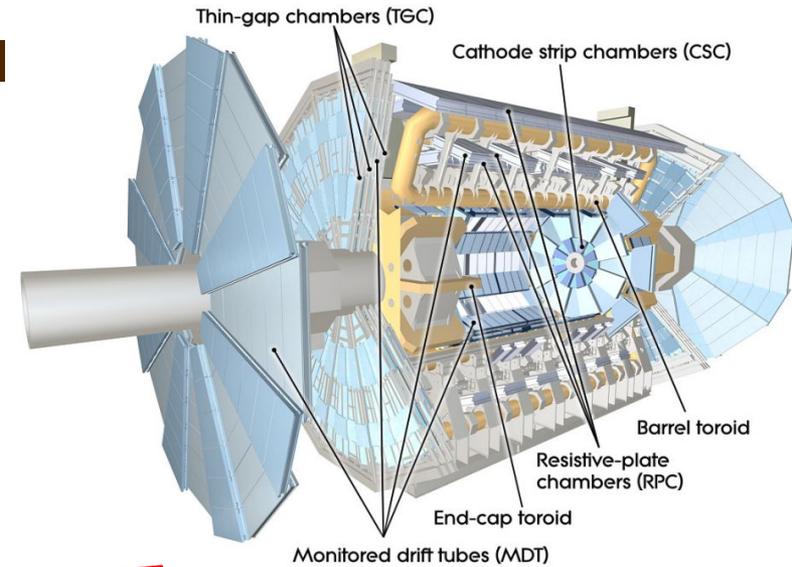


UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI UDINE

hic sunt futura

# SOTTO-RIVELATORI

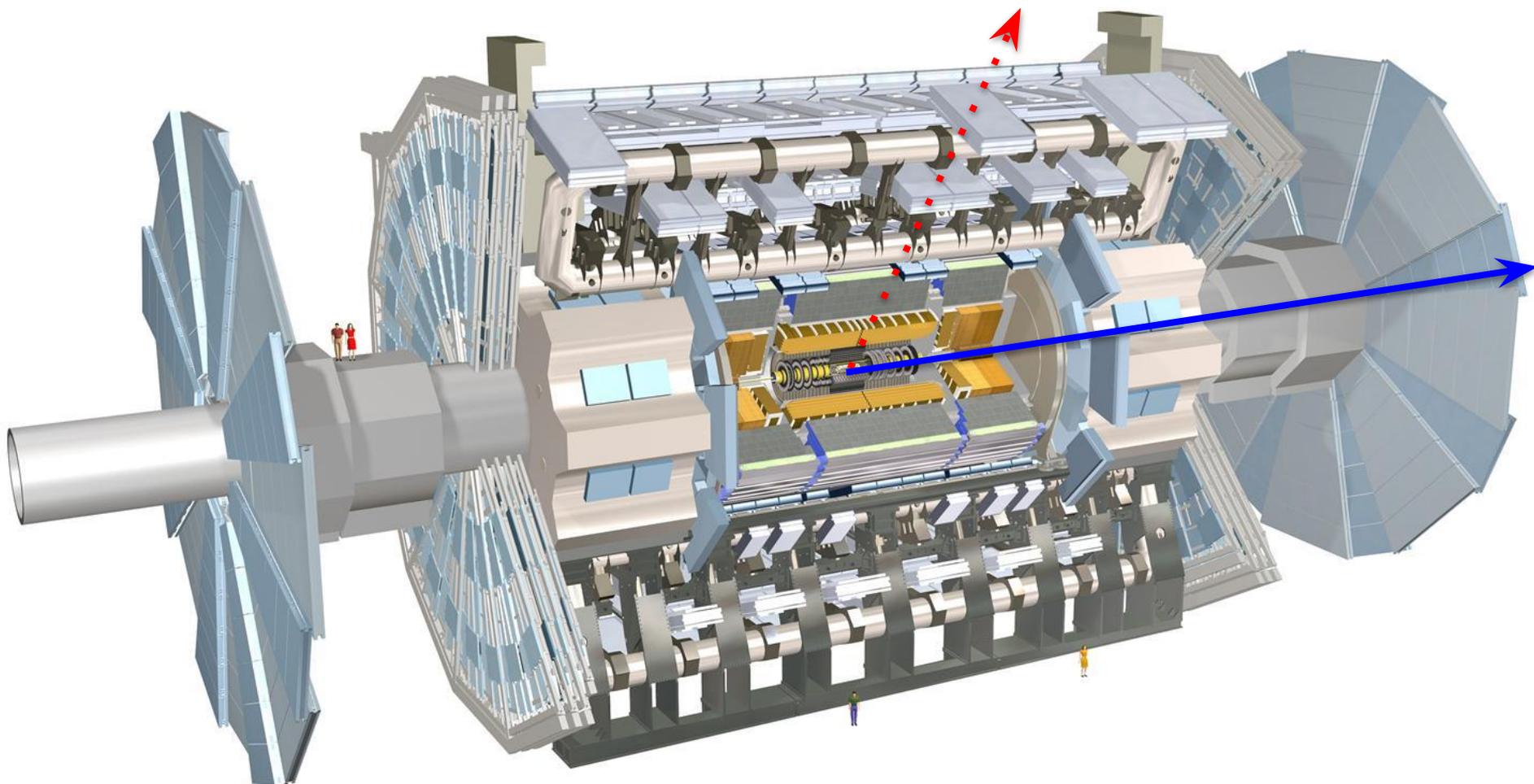
## T Lo Spettrometro per Muoni





## COSA NON POSSIAMO VEDERE?

- **Neutrini** (o nuove particelle che interagiscono solo *debolmente*)
- Particelle troppo “**in avanti**” / troppo vicine alla direzione dei fasci





UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI UDINE

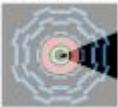
hic sunt futura

# COME APPAIONO LE PARTICELLE IN ATLAS?

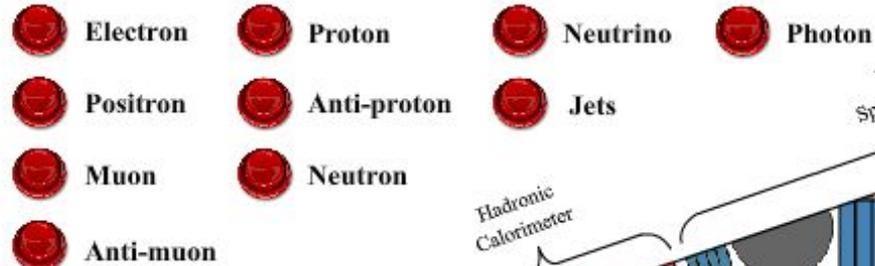
[https://atlas.physicsmasterclasses.org/it/zpath\\_playwithatlas.htm](https://atlas.physicsmasterclasses.org/it/zpath_playwithatlas.htm)

## ATLAS

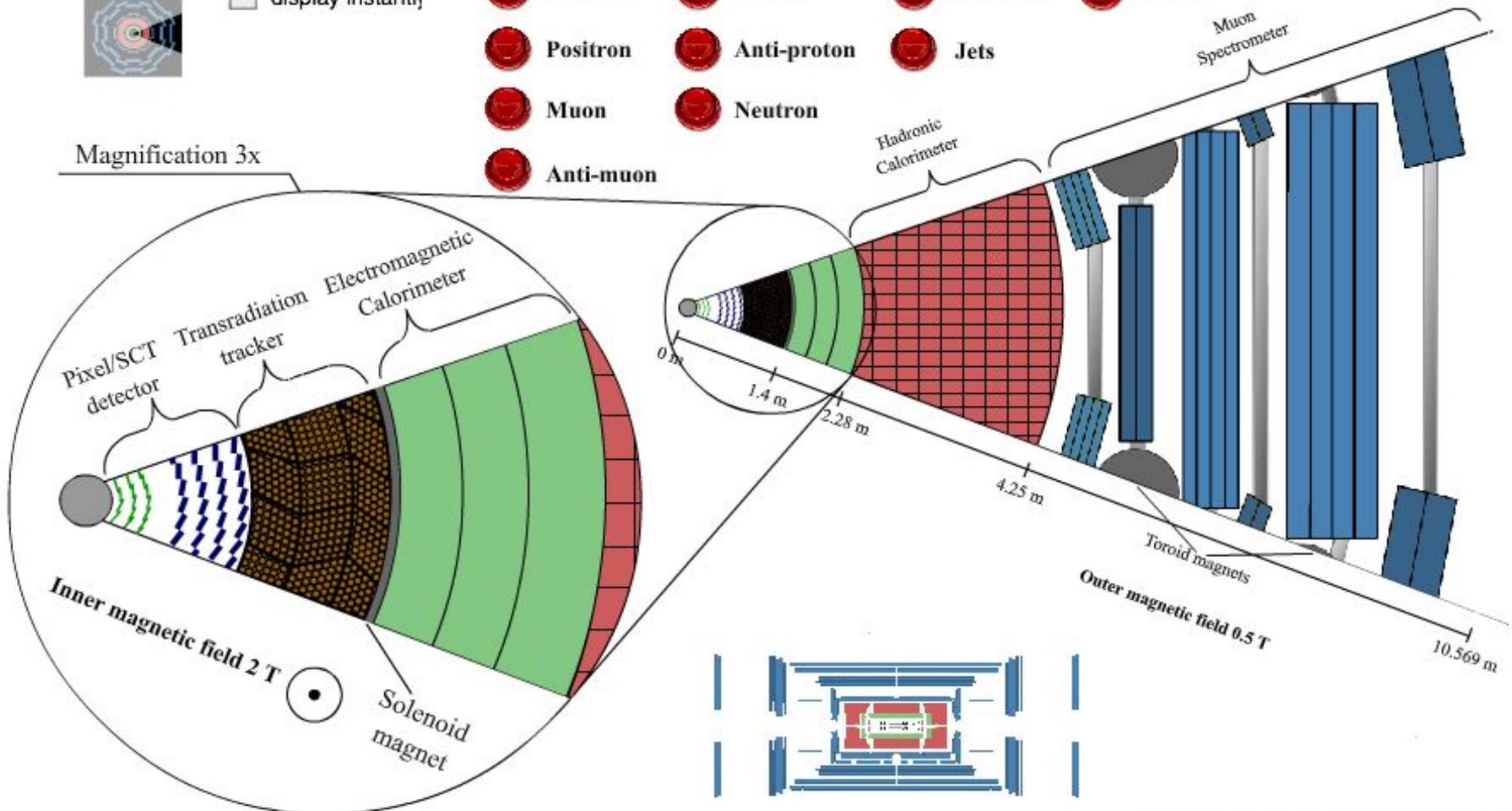
animation



display instantly



Magnification 3x

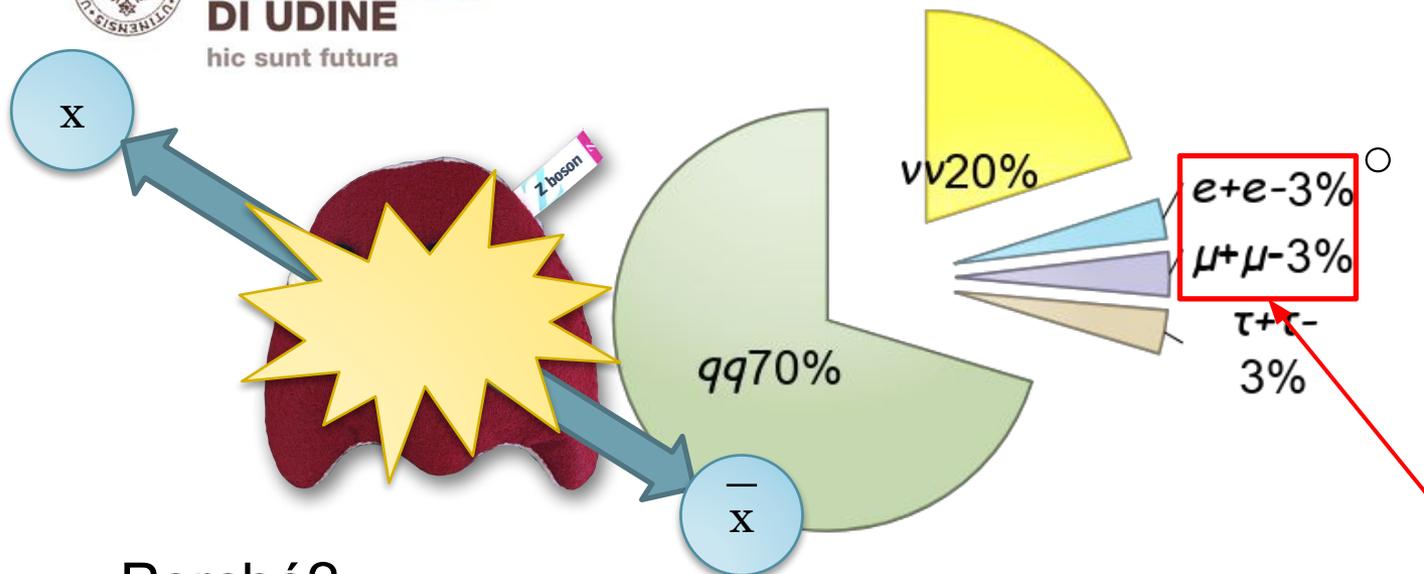




UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI UDINE

hic sunt futura

## COME POSSIAMO RICOSTRUIRE IL BOSONE Z?



- Perché?

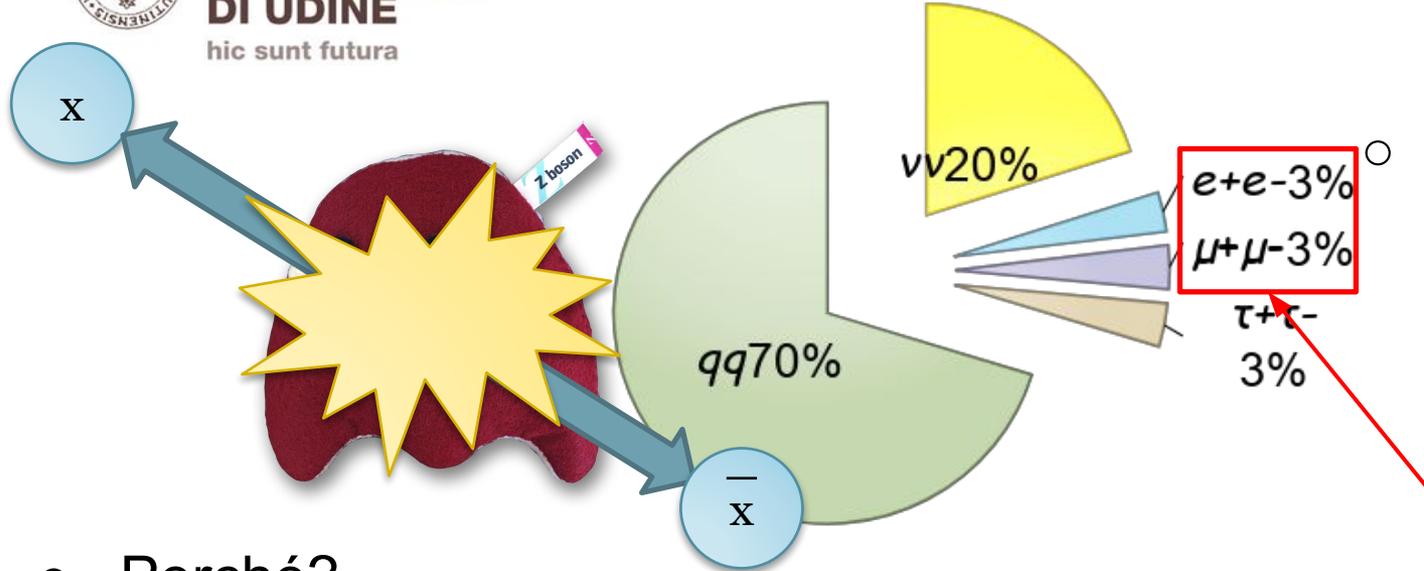
Di tutti i possibili decadimenti del bosone Z, scegliamo di cercare solo questi



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI UDINE

hic sunt futura

## COME POSSIAMO RICOSTRUIRE IL BOSONE Z?



Di tutti i possibili decadimenti del bosone Z, scegliamo di cercare solo **questi**

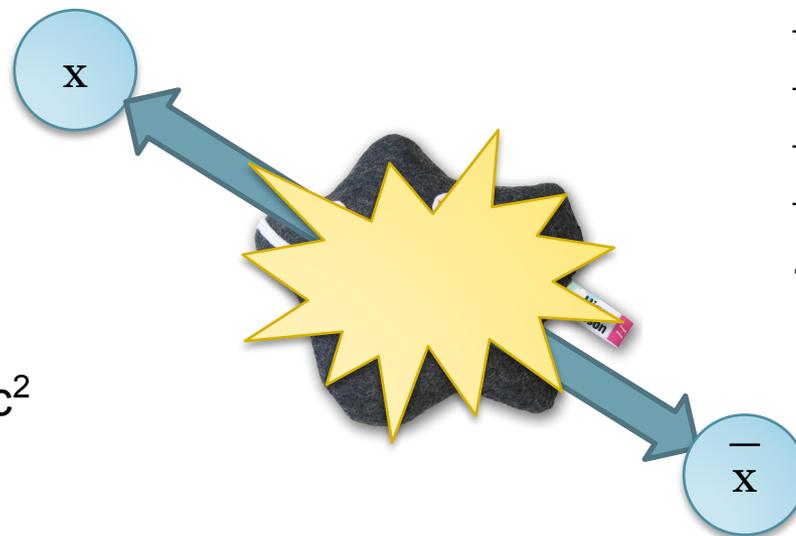
- Perché?
  - ATLAS può misurare elettroni e muoni con grande precisione
  - si può distinguere eventi  $Z \rightarrow ee / \mu\mu$  da eventi di “fondo” con produzione di soli *jet*
- Ricostruzione della **massa invariante**:
  - sfruttando la conservazione dell’energia e dell’impulso
  - si può determinare la massa della particella *madre* a partire dalle particelle *figlie*

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



## E IL BOSONE DI HIGGS?

- Il bosone di Higgs è in qualche modo *speciale*:
  - ➔ preferisce decadere in particelle più pesanti possibile



→  $b\bar{b}$   
 →  $\tau^+\tau^-$   
 →  $W^+W^-$   
 →  $ZZ$   
 →  $\gamma\gamma$   
 ...

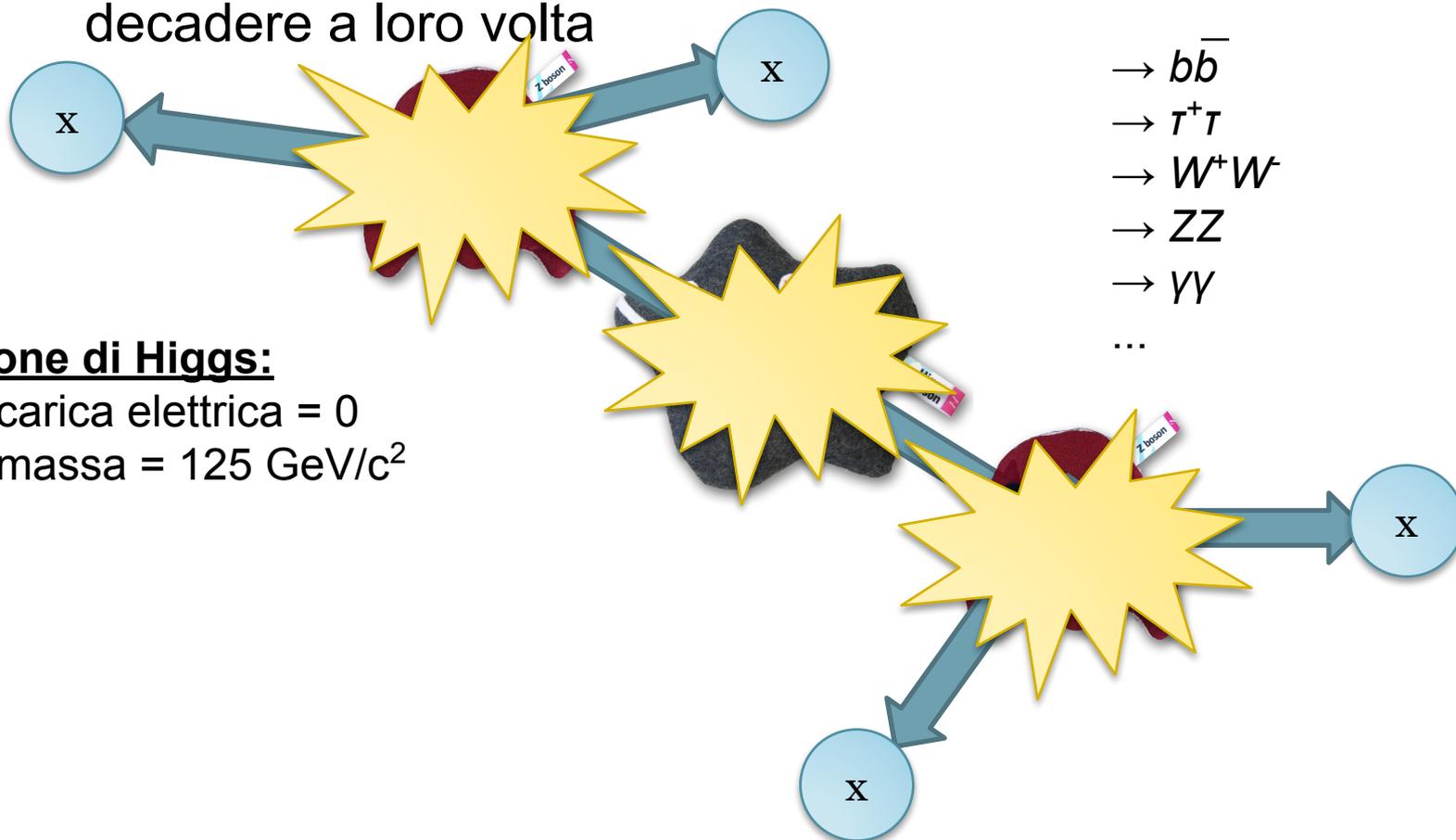
### Bosone di Higgs:

- carica elettrica = 0
- massa =  $125 \text{ GeV}/c^2$



## E IL BOSONE DI HIGGS?

- Il bosone di Higgs è in qualche modo *speciale*:
  - ➔ preferisce decadere in particelle più pesanti possibile
  - ➔ alcune di queste particelle pesanti possono essere **instabili** e decadere a loro volta



### Bosone di Higgs:

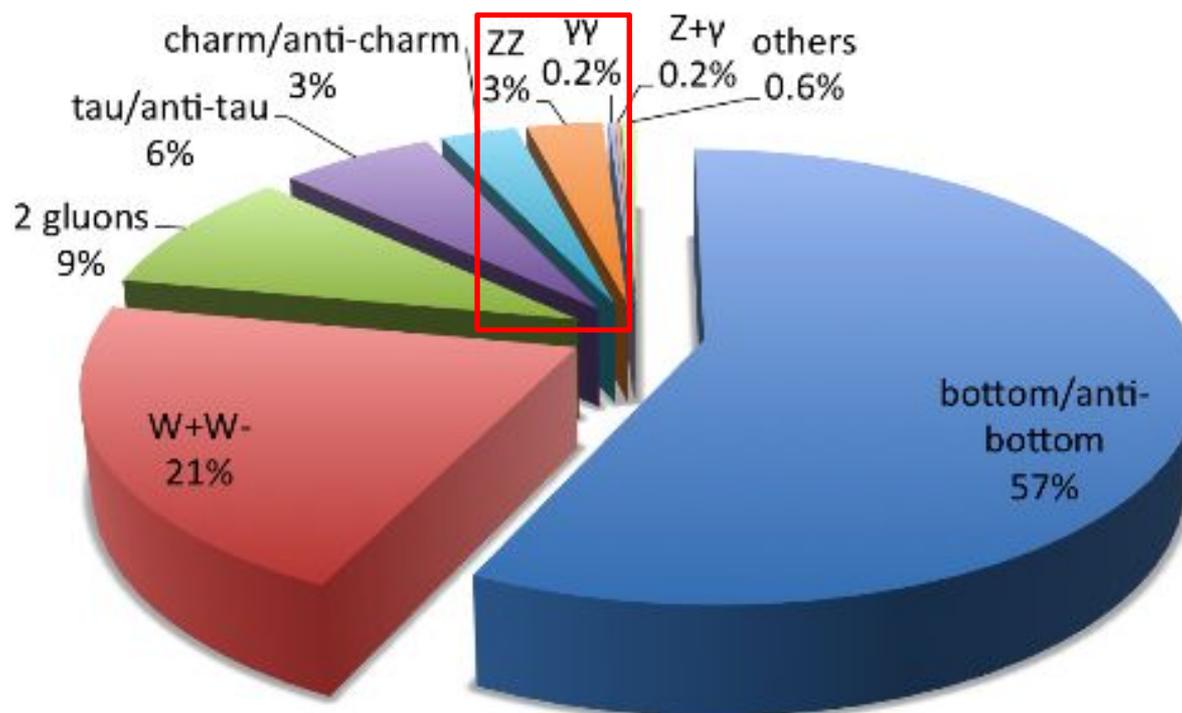
- carica elettrica = 0
- massa =  $125 \text{ GeV}/c^2$



## E IL BOSONE DI HIGGS?

- Di nuovo, preferiamo processi più rari (ma *puliti!*)  $\Rightarrow$  cerchiamo:
  - $\rightarrow$   $H \rightarrow$  due fotoni
  - $\rightarrow$   $H \rightarrow ZZ \rightarrow$  quattro *leptoni* (elettroni o muoni)

Decays of a 125 GeV Standard-Model Higgs boson



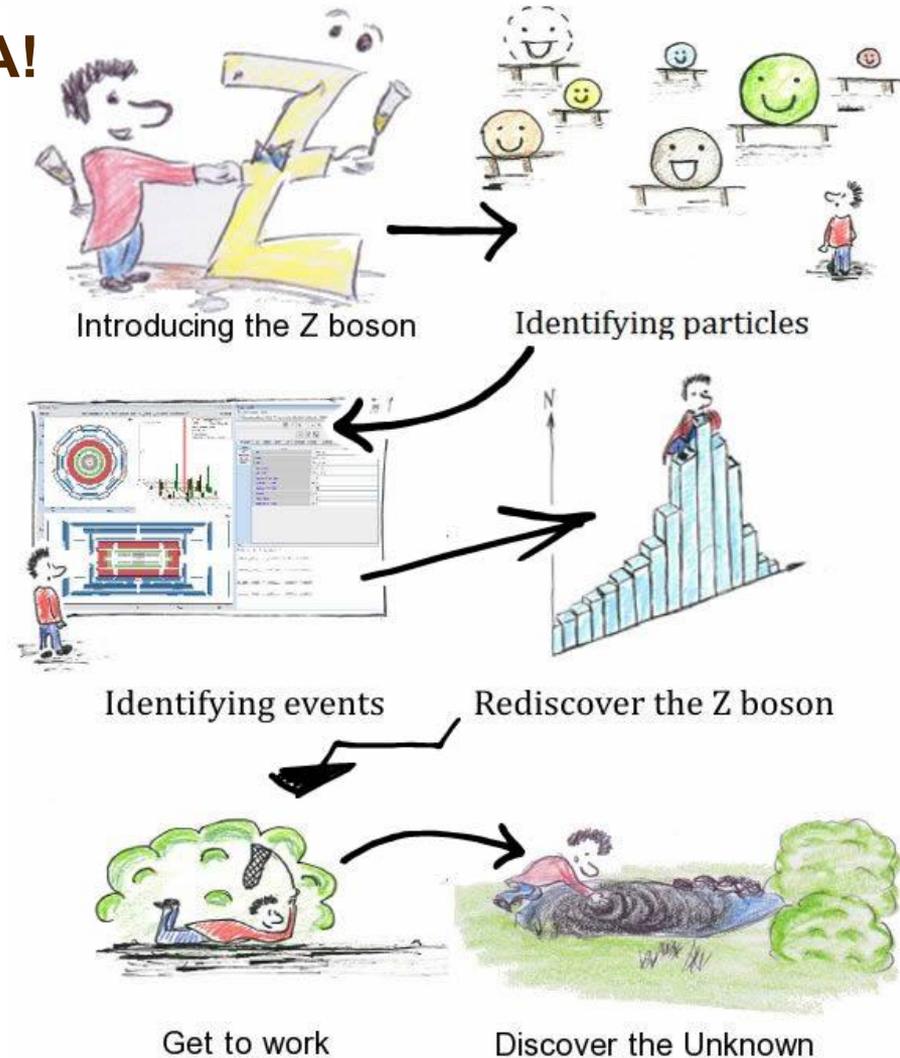


UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI UDINE

hic sunt futura

## NELLA PRATICA!

- Useremo il software **Hypatia**
  - un “*visualizzatore di eventi*”
- Per ogni evento di collisione (dati reali di ATLAS!) mostra una **diapositiva interattiva**, da cui possiamo:
  - vedere le **traiettorie** delle particelle rivelate
  - **distinguere** vari tipi di particelle
  - **combinare** coppie di particelle e ricostruire ipotetiche particelle madri (bosoni Z o Higgs? ...)





UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI UDINE

hic sunt futura

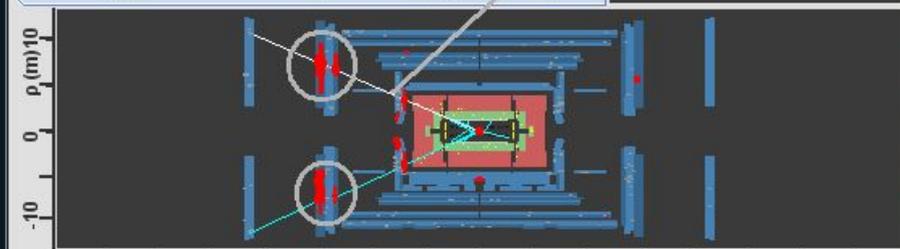
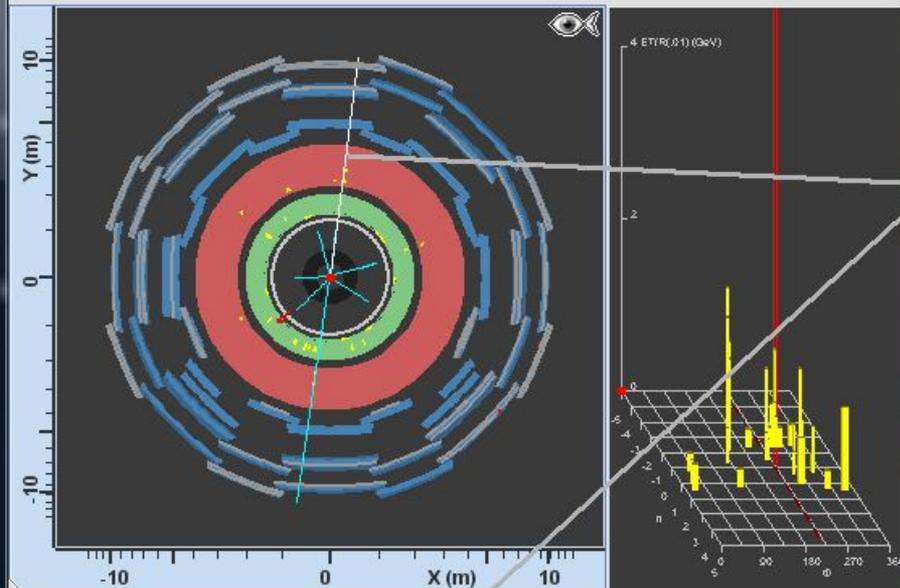
# HYPATIA

Hybrid pupils' analysis tool for interactions in ATLAS - version 6.0 - Invariant Mass Window

File Name	ETMis [GeV]	Track	P [GeV]	+/-	Pt [GeV]	$\phi$	$\eta$	M(2 $\eta$ ) [GeV]	M(4 $\eta$ ) [GeV]	e/ $\mu$
00036_JiveXML_166964_987982.xml	19.626	Tracks 3	112.6	+	49.4	1.441	-1.464	95.325		$\mu$
		Tracks 69	96.8	-	45.9	-1.720	-1.378			$\mu$

Canvas Window - File: 00036\_JiveXML\_166964\_987982.xml Run: 166964 Event: ...

ATLAS 2010-10-18 04:39:34 CEST run:166964 ev:987982 HYPATIA



HYPATIA - Track Momenta Window

Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	$\phi$	$\theta$
Tracks 3	+	112.57	49.42	1.441	2.687
Tracks 69	-	96.83	45.88	-1.720	2.648
Tracks 127	-	37.93	30.81	1.803	0.948
Tracks 128	+	25.73	12.70	0.303	2.625
Tracks 134	+	121.30	89.22	-0.597	2.315
Tracks 136	-	34.18	8.63	-3.123	0.255
Tracks 154	+	14.19	8.35	-2.346	2.513
Tracks 176	-	13.53	12.74	0.259	1.915

HYPATIA - Control Window

Parameter Control	Interaction and Window Control	Output Display
Projection	Data	Cuts
InDet	InDet	Calo
Calo	Calo	MuonDet
MuonDet	MuonDet	Objects
Objects	Objects	Geometry
ATLAS	ATLAS	

Name	Value
<input checked="" type="checkbox"/>  Pt	> 5.0 GeV
<input type="checkbox"/>  d0	< 2.5 mm
<input type="checkbox"/>  z0	< 20.0 cm
<input type="checkbox"/>  d0 Loose	< 2.0 cm
<input type="checkbox"/>  z0-zVtx	< 2.5 mm



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI UDINE

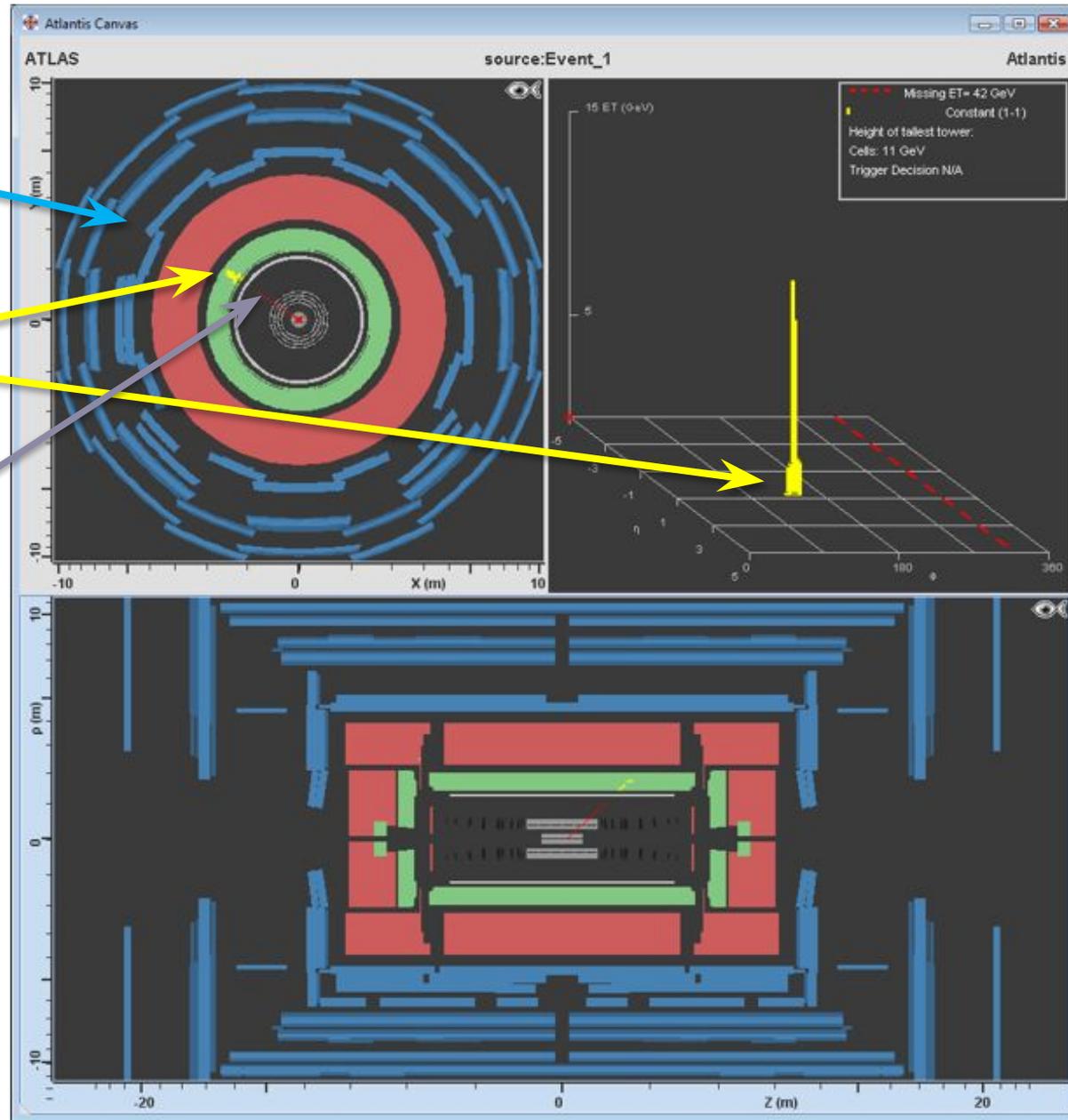
hic sunt futura

# ELETTRONI

no energia nell'  
Had-Cal

energia nell'  
EM-Cal

traccia isolata



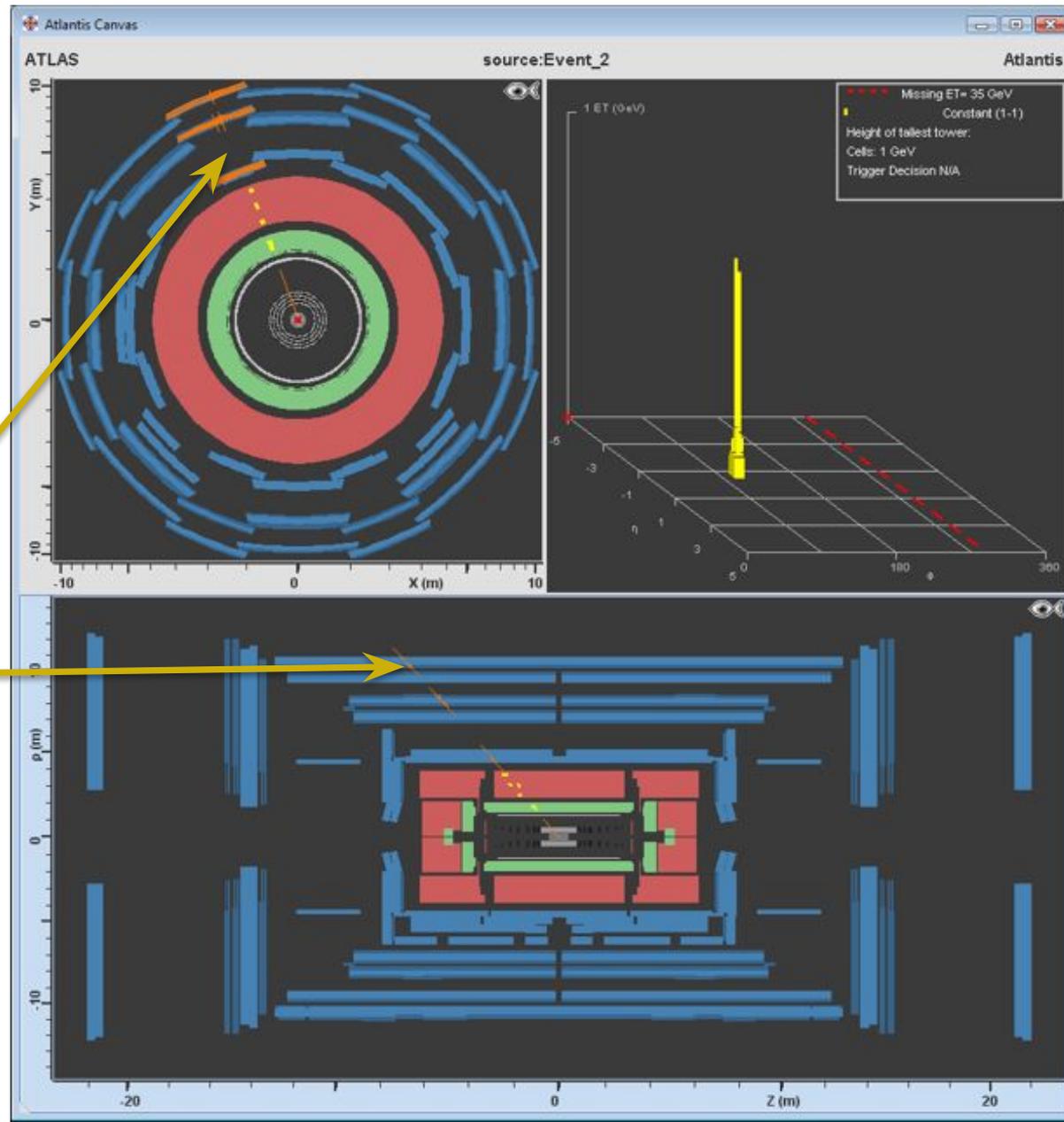


UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI UDINE

# MUONI



traccia isolata  
nello spettrometro  
per muoni



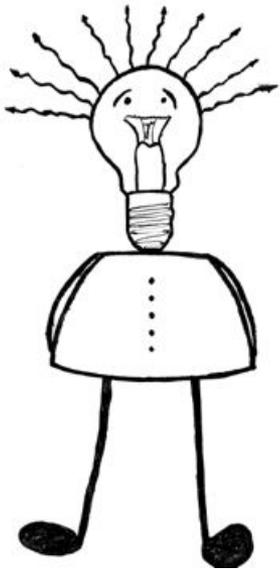


UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI UDINE

hic sunt futura

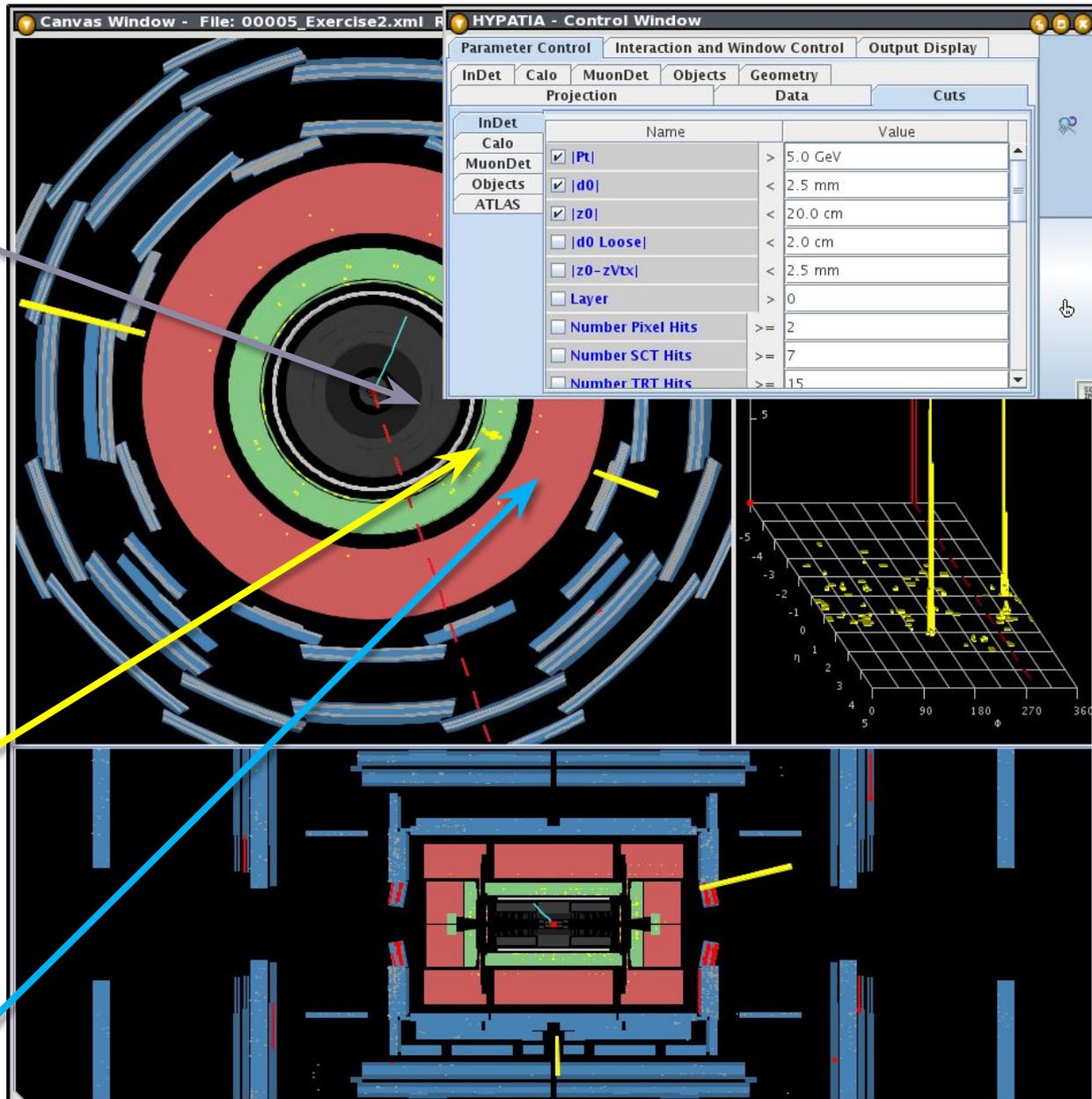
# FOTONI

no tracce  
energetiche  
associate



energia nell'  
EM-Cal

no energia nell'  
Had-Cal



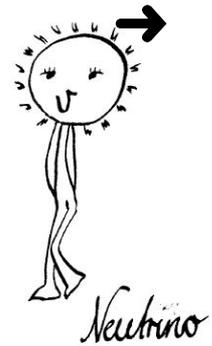


UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI UDINE

hic sunt futura

## NEUTRINI

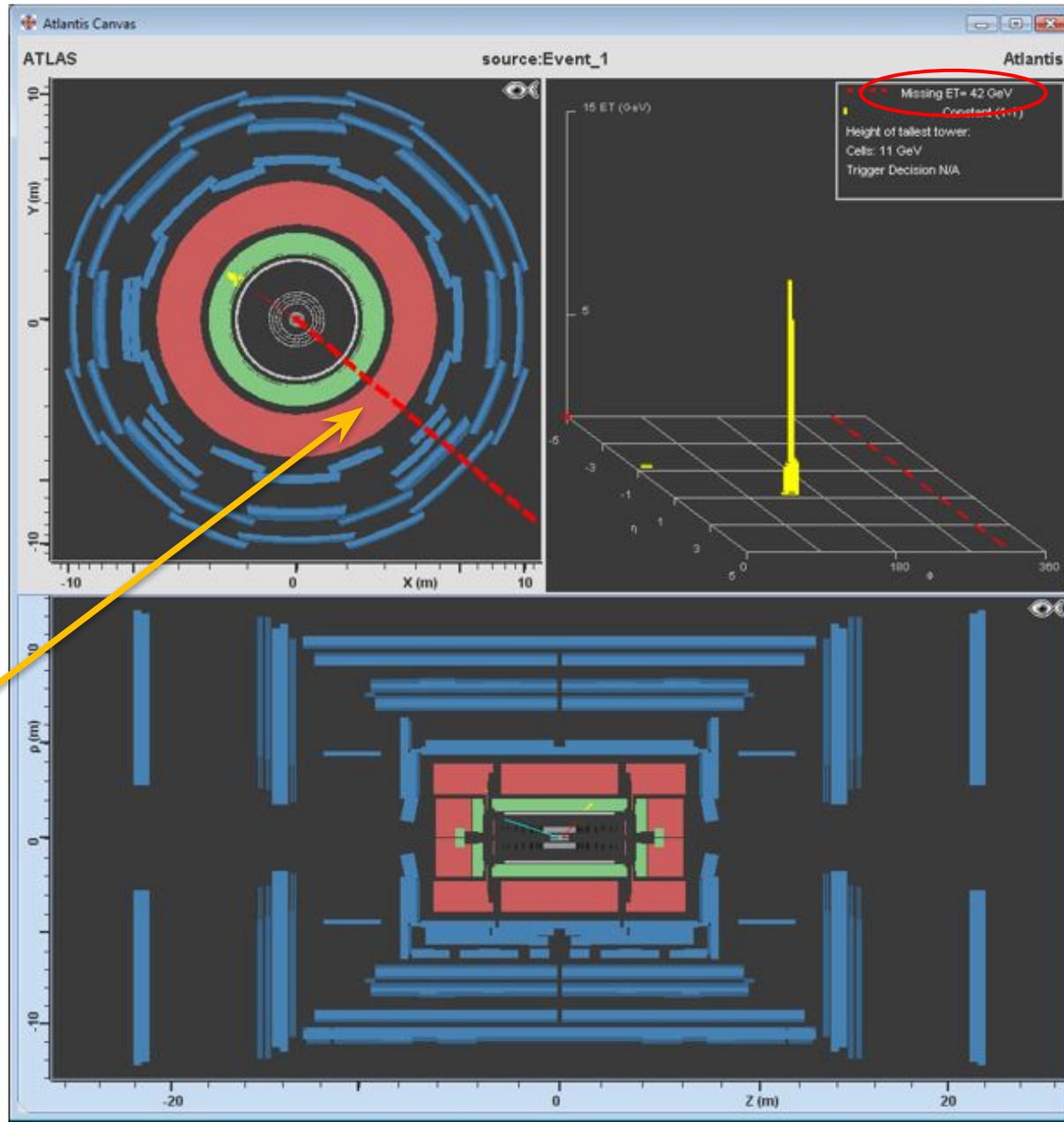
- I neutrini non vengono rivelati direttamente



→ ma possono essere visti / ricostruiti come impulso / energia mancante

guardare al valore di *Missing ET* nell'evento!

- I nostri bosoni Z e Higgs **non** dovrebbero avere *Missing ET*...





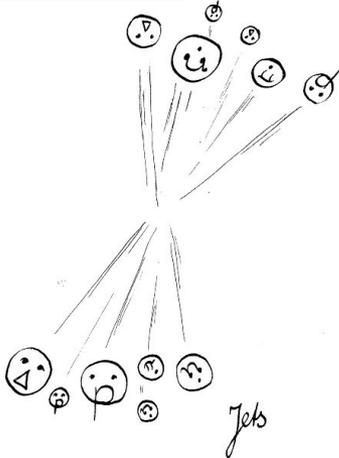
UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI UDINE

hic sunt futura

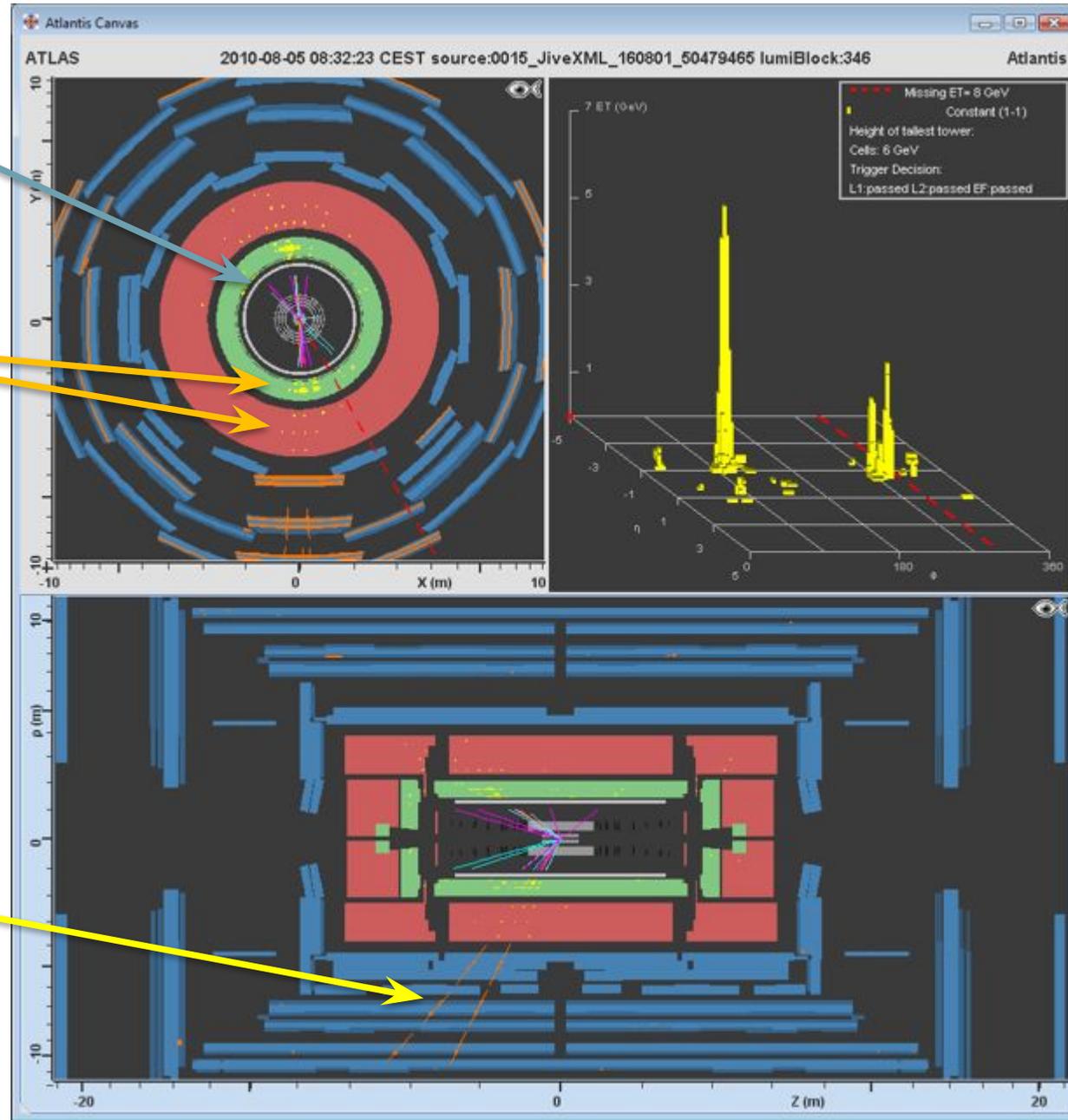
JET

molte tracce  
concentrate

energia in  
entrambi i  
calorimetri



- Possono esserci  
**muoni dentro a jet:**  
→ **non li vogliamo  
selezionare  
come muoni!**





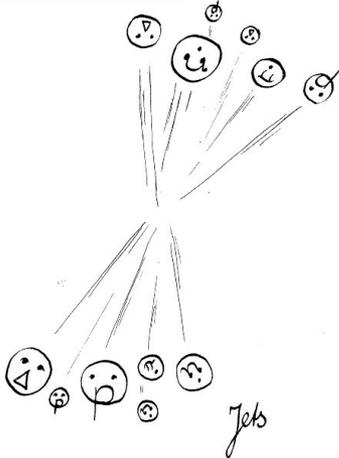
UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI UDINE

hic sunt futura

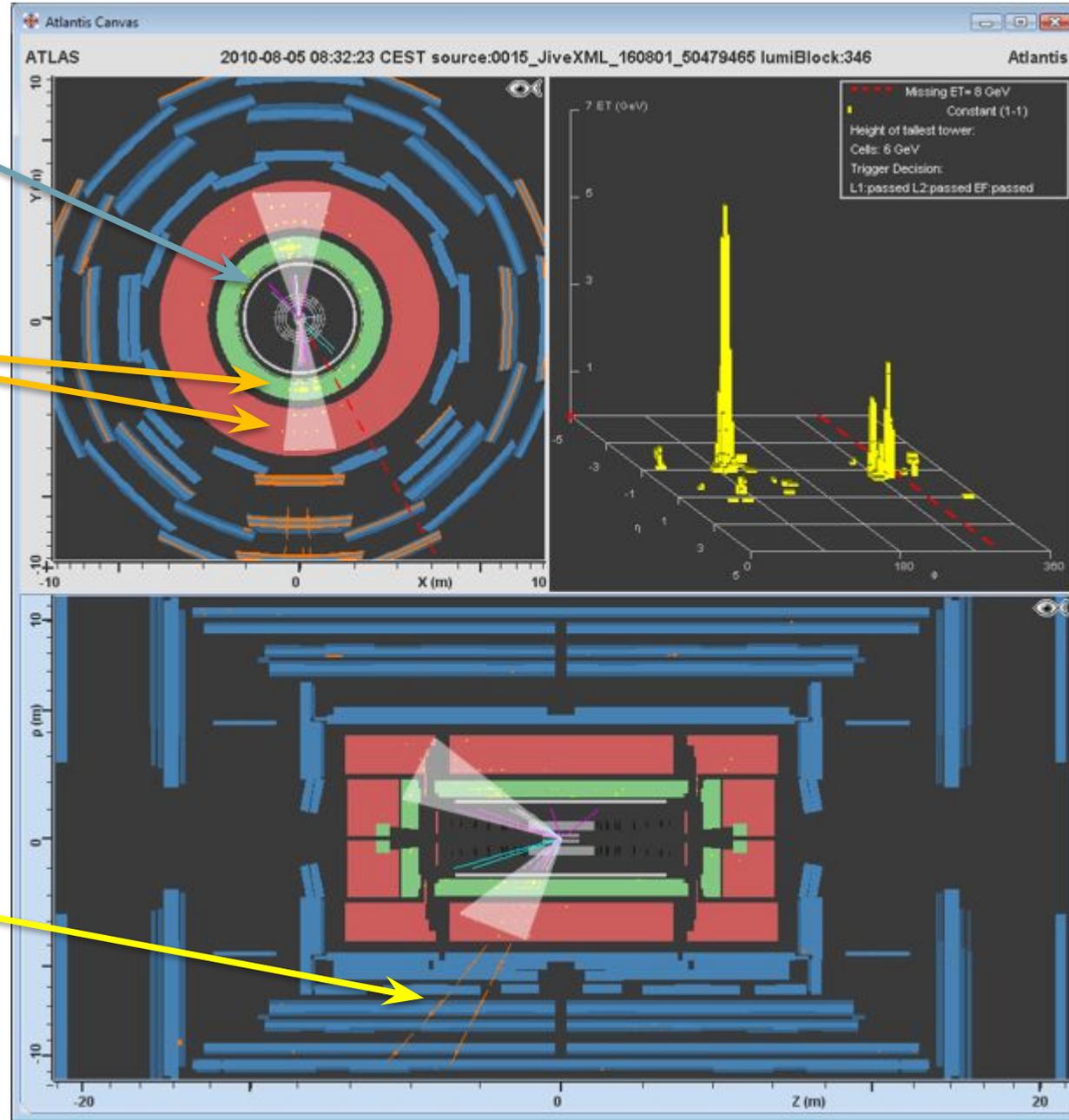
JET

molte tracce  
concentrate

energia in  
entrambi i  
calorimetri

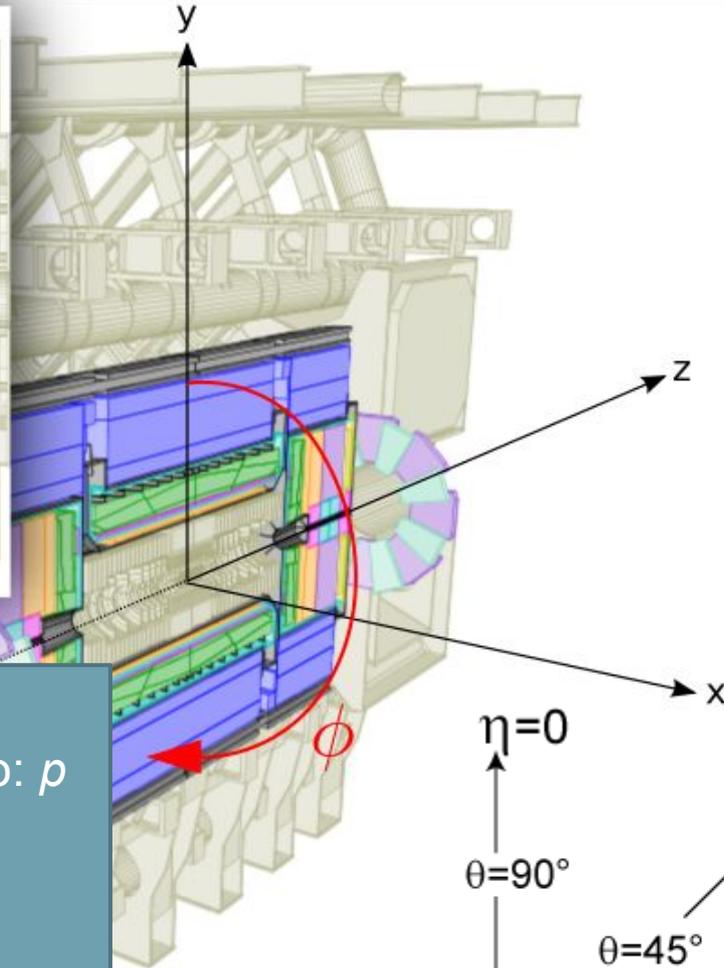
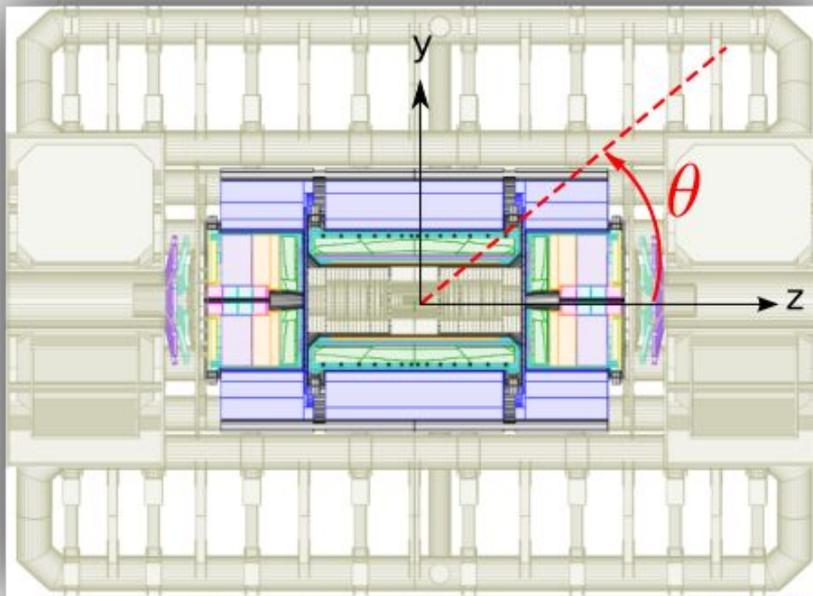


- Possono esserci  
**muoni dentro a jet:**  
→ **non li vogliamo  
selezionare  
come muoni!**



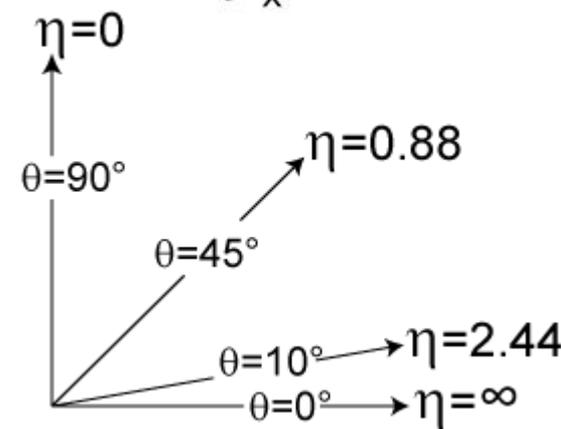


## COORDINATE IN ATLAS



### Useremo:

- Impulso / quantità di moto / momento:  $p$
- Impulso trasversale:  $p_T$
- $$p_T = \sqrt{p_x^2 + p_y^2}$$
- Angolo nel piano trasverso:  $\varphi$
- Angolo rispetto a z:  $\theta$
- $$\eta = -\ln(\tan(\theta/2))$$



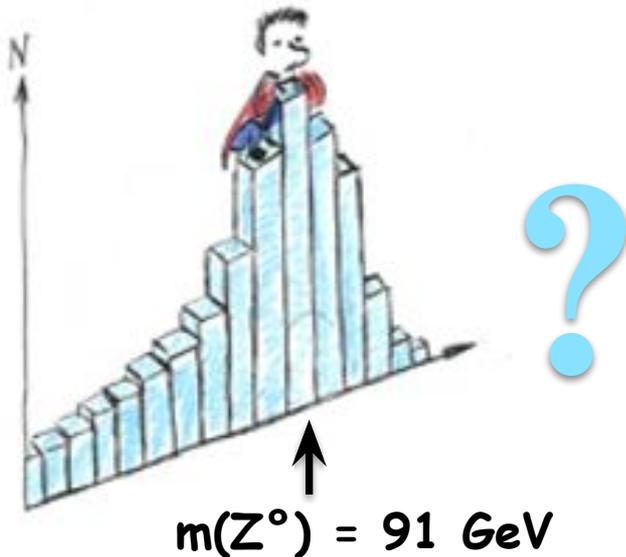
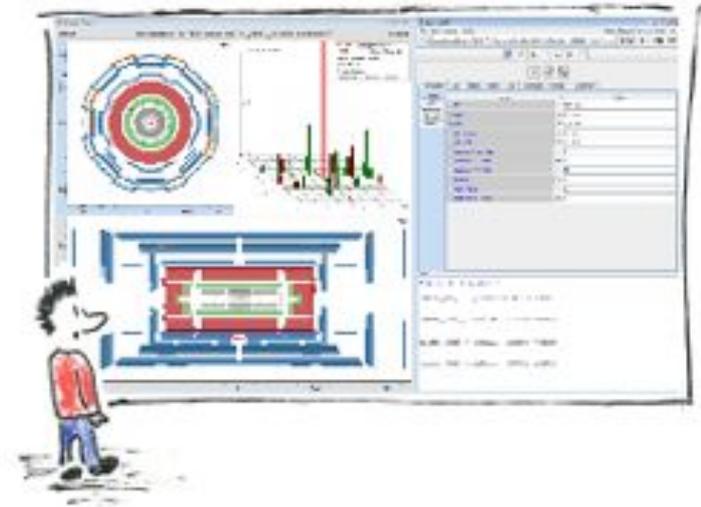


UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI UDINE

hic sunt futura

## RI-SCOPRIRE IL BOSONE Z ...

- Il nostro esercizio consisterà in:
  - selezionare **eventi** “buoni”
  - selezionare **coppie** di elettroni, muoni e fotoni
  - riempire **istogrammi** con i valori di massa invariant



- se facciamo le cose correttamente, dovremmo vedere un “**picco**” attorno al valore nominale della massa del bosone Z
- ma potremmo vedere qualcosa di diverso o qualcosa in più!



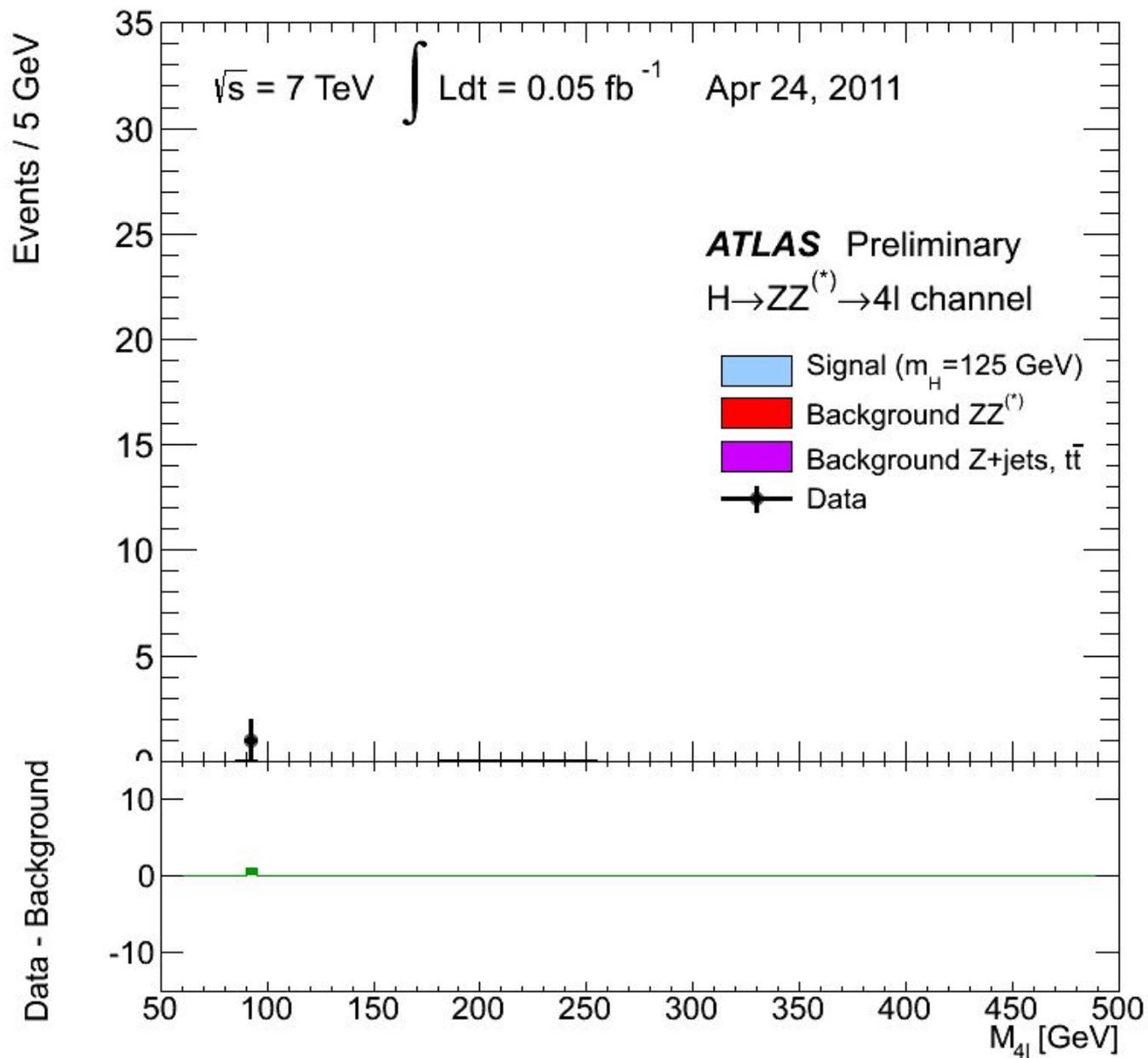
## ... E IL BOSONE DI HIGGS

- Gli eventi di produzione del bosone di Higgs sono molto rari  
→ ciascuno di voi vedrà pochi *candidati* bosone di Higgs
- Per scoprire il bosone di Higgs ci è voluto tempo!



**UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI UDINE**

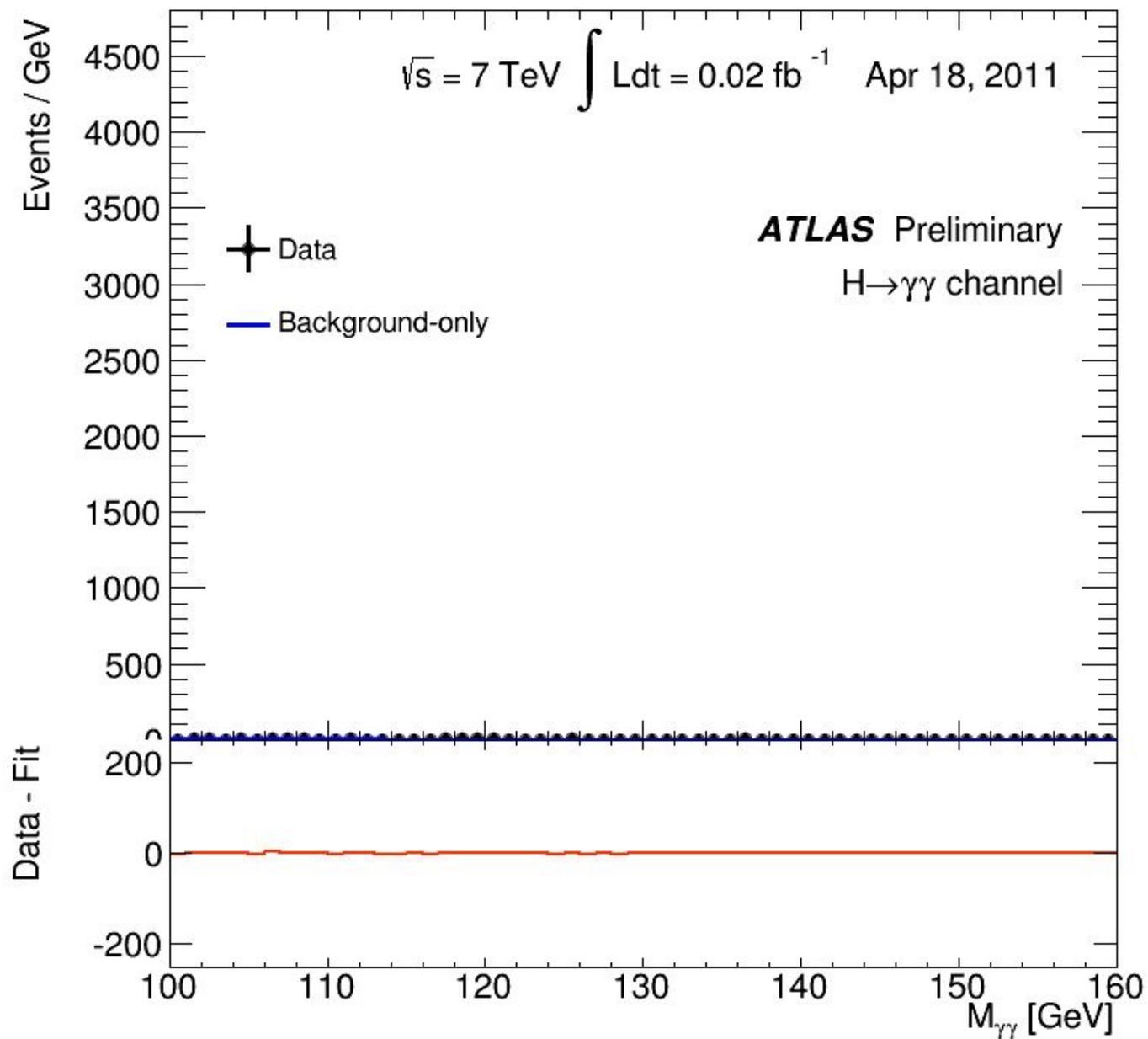
hic sunt futura





UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI UDINE

hic sunt futura





UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI UDINE

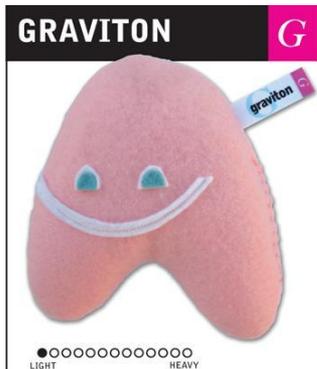
hic sunt futura

## SCOPRIRE NUOVA FISICA

- Molte nuove teorie predicono l'esistenza di nuove particelle...  
→ ... ancora più pesanti dei bosoni Z e Higgs!

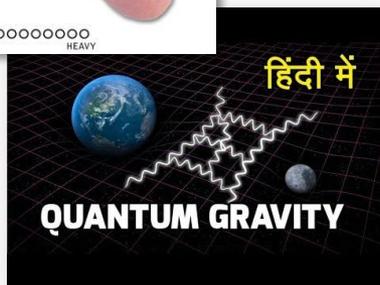
- **Il bosone Z':**

- fratello pesante del bosone Z (quanto pesante?)
- stesse modalità di decadimento dello Z
  - come distinguerli?



- **Il gravitone:**

- stati eccitati del gravitone potrebbero avere grande massa ed essere prodotti all' LHC
  - ... e decadere in modo simile al bosone di Higgs!





**UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI UDINE**

hic sunt futura

## AL LAVORO!



- E ricordate:
  - lavoro di squadra
  - ci vuole tempo per far pratica
  - pensare in modo critico
  - non siate timidi: fate domande e chiedete aiuto!



**UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI UDINE**

hic sunt futura



- Mettetevi a gruppi di 2
  - ➔ ogni gruppo ha:
    - un PC
    - un foglietto con una lettera e un numero (questi identificano il data-set che analizzerete!)

## DATASET 5 D

```
--|-- --  
--|...  
--|...
```





## CREDENZIALI DI ACCESSO

- Account PC:
  - ➔ username = fisica
  - ➔ password = 21022024
- Per il sito delle Masterclass (quando richiesto):
  - ➔ username = ippog
  - ➔ password = imc





UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI UDINE

hic sunt futura

## IL SITO INTERNET DELLE MASTERCLASS

- Aprire un browser web
- Andare a questo indirizzo:  
→ <http://physicsmasterclasses.org/>

International Particle Physics Outreach Group

INTERNATIONAL  
MASTERCLASSES  
hands on particle physics

Home

- Information for High School Students
- Information for Teachers and Educators
- Information for Institutes and Physicists
- Schedule
- Intl. Day of Women and Girls in Science
- My Country
- Physics
- In the Media
- Published Papers
- Archive
- Contributors
- Contact Us

International Masterclasses  
20<sup>th</sup> International Masterclasses 2024

ATLAS

ALICE

BELLE II

MINERvA

Particle Therapy

Pierre Auger

- Navighiamo seguendo:  
→ ATLAS  
→ su "Languages" → Italiano  
→ Esercizio Z (in alto)



- Guardiamoci intorno...



Pagina principale

Esercizio W

Esercizio Z

## Esercizio Z

*Benvenuto al percorso Z! Qui conoscerai delle particelle, il bosone Z e il bosone di Higgs, e quanto sono importanti per la nostra comprensione della Natura. Per la loro ricerca utilizzerai dati very raccolti da ATLAS al Large Hadron Collider (LHC) del CERN.*

*Prima di incominciare questo compito, ti guideremo in un viaggio alla scoperta delle strutture più piccole conosciute dall'uomo: le particelle elementari. Vedrai come esse possono essere prodotte nelle collisioni tra protoni a LHC, e imparerai come identificare le particelle elementary con il rivelatore ATLAS. Infine, effettuerai una vera misura di fisica su dati realmente raccolti da ATLAS: identificherai i bosoni Z e altre particelle più leggere e misurerai le loro proprietà! Avrai la possibilità di cercare il bosone di Higgs in modo del tutto analogo a quanto hanno fatto i fisici di ATLAS. Ti accorgerai quindi di aver imparato a utilizzare uno strumento per scoprire l'ignoto!*

## Esercizio Z

Introduzione al bosone Z

Introduzione al Bosone di Higgs

Nuova Fisica

Identificazione delle particelle

Identificazione degli eventi

Cercare e scoprire tramite la ricostruzione della massa

Al lavoro!

**Centro informazioni**

- Fermatevi a “Visualizzazione con Hypatia”





- Sotto "Esercizio Z" (a destra), selezioniamo:
  - ➔ Al lavoro!
  - ➔ Dati e strumenti

### Dati e strumenti

Per effettuare la misura avrai bisogno di:

1. Un programma di visualizzazione degli eventi: HYPATIA- Clicca qui per il [download](#) se non lo hai ancora fatto. Fai partire HYPATIA.
2. Un campione di dati: sono disponibili migliaia di eventi, suddivisi in pacchetti da 50 eventi ciascuno. Ad ogni gruppo viene assegnato un pacchetto. Se stai partecipando a una Masterclass Internazionale troverai il campione di dati, contrassegnato dalla lettera e dal numero che ti sono stati assegnati, [qui](#).

- NB: estrarre il contenuto dell'archivio che avete scaricato!!



## SCARICARE I DATI

2. Un campione di dati: sono disponibili migliaia di eventi, suddivisi in pacchetti da 50 eventi ciascuno. Ad ogni gruppo viene assegnato un pacchetto. Se stai partecipando a una Masterclass Internazionale troverai il campione di dati, contrassegnato dalla lettera e dal numero che ti sono stati assegnati, **qui**.

Date	Inst/Datasets							Inst/Datasets							Inst/Datasets						
09.02 (IDWGS)	Valencia IFIC	<u>1</u>	<u>2</u>					Alexandria	<u>3</u>	<u>4</u>					Rome, Tor Vergata	<u>7</u>	<u>8</u>				
15.02	Lecce	<u>1</u>	<u>2</u>					Zilina	<u>3</u>	<u>4</u>					Geneva, University	<u>5</u>	<u>6</u>				
16.02	Naples	<u>1</u>	<u>2</u>					Grenoble	<u>3</u>	<u>4</u>					Graz	<u>5</u>	<u>6</u>				
17.02	Konya	<u>1</u>	<u>2</u>					Aveiro	<u>3</u>	<u>4</u>											
20.02	Braganca	<u>1</u>	<u>2</u>					Colmar	<u>3</u>	<u>4</u>					Rome, Sapienza	<u>5</u>	<u>6</u>				
21.02	Nitra	<u>1</u>	<u>2</u>					Vila Real	<u>3</u>	<u>4</u>					Udine	<u>5</u>	<u>6</u>				
23.02	Innsbruck	<u>1</u>	<u>2</u>					Olomouc	<u>3</u>	<u>4</u>					Rome, Tor Vergata	<u>5</u>	<u>6</u>				

- Scaricare **SOLO** il dataset corrispondente al proprio gruppo!!!



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI UDINE

hic sunt futura

HYPATIA

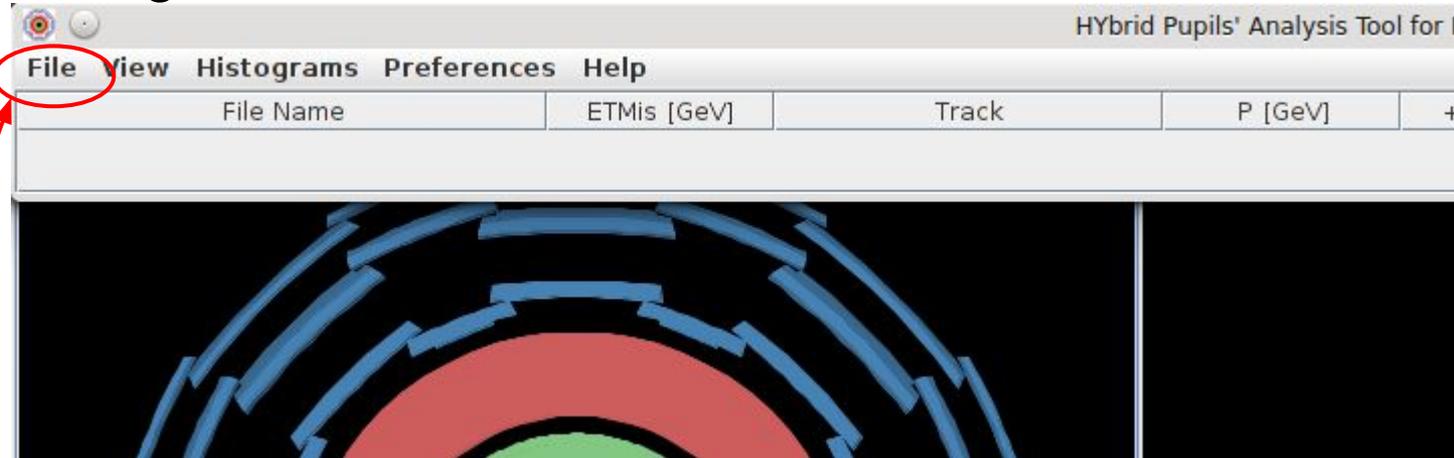
- Per avviare Hypatia:
  - ➔ andare nella directory di Hypatia
  - ➔ doppio-click su Hypatia\_7.4\_Masterclass\Hypatia\_7.4\_Masterclass

The screenshot displays the Hypatia software interface, which is used for analyzing particle tracks in ATLAS. The main window, titled "Hybrid Pupils' Analysis Tool for Interactions in ATLAS - version 7.4 - Invariant Mass Window", shows a top menu bar with "File", "View", "Histograms", "Preferences", and "Help". Below the menu is a toolbar with various analysis tools. The main canvas is divided into several panels: a large circular detector view on the left, a 3D grid plot on the right, and a detailed track momenta window on the right side. The track momenta window, titled "HYPATIA - Track Momenta Window", displays a table of track parameters for seven tracks. The table includes columns for Track ID, +/- sign, P [GeV], Pt [GeV], phi, and theta. The control window, titled "HYPATIA - Control Window", shows a "Parameter Control" section with checkboxes for "Status", "InDet", "Calo", "MuonDet", and "Objects", all of which are checked.

Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	$\phi$	$\theta$
Tracks 0	-	11,68	4,28	-1,319	0,375
Tracks 1	+	126,06	39,41	-2,413	0,318
Tracks 2	+	4,57	4,56	-2,783	1,649
Tracks 3	-	167,90	53,01	0,906	0,321
Tracks 4	-	1,34	1,33	-2,949	1,475
Tracks 5	-	1,75	1,74	-3,090	1,645
Tracks 6	+	18,61	3,94	-1,818	0,214



- **Non** considerare gli eventi caricati all'avvio!



- Andiamo invece su:
  - ➔ File
  - ➔ Read event locally
- Navigare finché non troviamo il dataset che ci interessa e selezioniamo il file .xml (o .zip)



# LE FINESTRE DI HYPATIA

- Suggerimento: aggiustare la grandezza delle finestre!

Hybrid Pupils' Analysis tool for interactions in ATLAS - version 7.4 - Invariant Mass Window

File Name	ETMis [GeV]	Track	P [GeV]	+/-	Pt [GeV]	$\phi$	$\eta$	M(2) [GeV]	M(eeee) [GeV]	M(eemm) [GeV]	M(mmmm) [GeV]	e/m/g
liveXML_106051_1950731.xml	13,877	Tracks 0	11,7	-	4,3	-1,319	1,661	13,699			110,863	e
		Tracks 1	126,1	+	39,4	-2,413	1,830					e
		Tracks 2	4,6	+	4,6	-2,783	-0,078	45,411				m
		Tracks 3	167,9	-	53,0	0,906	1,820					m

Canvas Window - File: liveXML\_106051\_1950731.xml Run: 106051 Event: 19...

Finestra Principale

- mostra la lista degli eventi selezionati
- per ogni evento mostra la lista degli oggetti

Tracks					
Tracks 0	-	11,68	4,28	-1,319	0,375
Tracks 1	+	126,06	39,41	-2,413	0,318
Tracks 2	+	4,57	4,56	-2,783	1,649
Tracks 3	-	167,90	53,01	0,906	0,321
Tracks 4	-	1,34	1,33	-2,949	1,475
Tracks 5	-	1,75	1,74	-3,090	1,645
Tracks 6	+	18,61	3,94	-1,818	0,214

HYPATIA - Control Window

Parameter Control Interaction and Window Control Output Display

Projection Data Cuts InDet Calo MuonDet Objects Geometry

Data	Name	Value
<input checked="" type="checkbox"/>	Status	
<input checked="" type="checkbox"/>	InDet	
<input checked="" type="checkbox"/>	Calo	
<input checked="" type="checkbox"/>	MuonDet	
<input checked="" type="checkbox"/>	Objects	



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI UDINE

hic sunt futura

# LE FINESTRE DI HYPATIA

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

File View Histograms Preferences Help

File Name	ETMis [GeV]	Track	P [GeV]	+/-	Pt [GeV]	$\phi$	$\eta$	M(2) [GeV]	M(eeee) [GeV]	M(eemm) [GeV]	M(mmmm) [GeV]	e/m/g
jiveXML_106051_1950731.xml	13,877	Tracks 0	11,7	-	4,3	-1,319	1,661	13,699			110,863	e
		Tracks 1	126,1	+	39,4	-2,413	1,830					e
		Tracks 2	4,6	+	4,6	-2,783	-0,078	45,411				m
		Tracks 3	167,9	-	53,0	0,906	1,820					m

Canvas Window - File: jiveXML\_106051\_1950731.xml Run: 106051 Event: 19...

HYPATIA - Track Momenta Window

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

ETMis: 13,877 GeV  $\phi$ : 0,785 rad Collection: MET\_RefFinal

ML\_106051\_1950731.xml

Physics Objects

Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	$\phi$	$\theta$
Tracks 0	-	11,68	4,28	-1,319	0,375
Tracks 1	+	126,06	39,41	-2,413	0,318
Tracks 2	+	4,57	4,56	-2,783	1,649
Tracks 3	-	167,90	53,01	0,906	0,321
Tracks 4	-	1,34	1,33	-2,949	1,475
Tracks 5	-	1,75	1,74	-3,090	1,645
Tracks 6	+	18,61	3,94	-1,818	0,214

HYPATIA - Control Window

Parameter Control Interaction and Window Control Output Display

Projection Data Cuts InDet Calo MuonDet Objects Geometry

Data

Name	Value
<input checked="" type="checkbox"/> Status	
<input checked="" type="checkbox"/> InDet	
<input checked="" type="checkbox"/> Calo	
<input checked="" type="checkbox"/> MuonDet	
<input checked="" type="checkbox"/> Objects	

Finestra grafica



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI UDINE

hic sunt futura

# LE FINESTRE DI HYPATIA

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

File View Histograms Preferences Help

File Name	ETMis [GeV]	Track	P [GeV]	+/-	Pt [GeV]	$\phi$	$\eta$	M(2) [GeV]	M(eeee) [GeV]	M(eemm) [GeV]	M(mmmm) [GeV]	e/m/g
jiveXML_106051_1950731.xml	13,877	Tracks 0	11,7	-	4,3	-1,319	1,661	13,699			110,863	e
		Tracks 1	126,1	+	39,4	-2,413	1,830					e
		Tracks 2	4,6	+	4,6	-2,783	-0,078	45,411				m
		Tracks 3	167,9	-	53,0	0,906	1,820					m

Canvas Window - File: jiveXML\_106051\_1950731.xml Run: 106051 Event: 19...

HYPATIA - Track Momenta Window

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

ETMis: 13,877 GeV  $\phi$ : 0,785 rad Collection: MET\_RefFinal

events/events4.zip#jiveXML\_106051\_1950731.xml

Tracks Physics Objects

Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	$\phi$	$\theta$
Tracks 0	-	11,68	4,28	-1,319	0,375
Tracks 1	+	126,06	39,41	-2,413	0,318
Tracks 2	+	4,57	4,56	-2,783	1,649
Tracks 3	-	167,90	53,01	0,906	0,321
Tracks 4	-	1,34	1,33	-2,949	1,475
Tracks 5	-	1,75	1,74	-3,090	1,645
Tracks 6	+	18,61	3,94	-1,818	0,214

Lista di tracce

HYPATIA - Control Window

Parameter Control Interaction and Window Control Output Display

Projection Data Cuts InDet Calo MuonDet Objects Geometry

Data

Name	Value
<input checked="" type="checkbox"/> Status	
<input checked="" type="checkbox"/> InDet	
<input checked="" type="checkbox"/> Calo	
<input checked="" type="checkbox"/> MuonDet	
<input checked="" type="checkbox"/> Objects	



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI UDINE

hic sunt futura

# LE FINESTRE DI HYPATIA

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

File View Histograms Preferences Help

File Name	ETMis [GeV]	Track	P [GeV]	+/-	Pt [GeV]	$\phi$	$\eta$	M(2) [GeV]	M(eeee) [GeV]	M(eemm) [GeV]	M(mmmm) [GeV]	e/m/g
liveXML_106051_1950731.xml	13,877	Tracks 0	11,7	-	4,3	-1,319	1,661	13,699				e
		Tracks 1	126,1	+	39,4	-2,413	1,830					e
		Tracks 2	4,6	+	4,6	-2,783	-0,078	45,411				m
		Tracks 3	167,9	-	53,0	0,906	1,820					m

Canvas Window - File: liveXML\_106051\_1950731.xml Run: 106051 Event: 19...

HYPATIA - Track Momenta Window

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

ETMis: 13,877 GeV  $\phi$ : 0,785 rad Collection: MET\_RefFinal

events/events4.zip/liveXML\_106051\_1950731.xml

Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	$\phi$	$\theta$
Tracks 0	-	11,68	4,28	-1,319	0,375
Tracks 1	+	126,06	39,41	-2,413	0,318
Tracks 2	+	4,57	4,56	-2,783	1,649
Tracks 3	-	167,90	53,01	0,906	0,321
Tracks 4	-	1,34	1,33	-2,949	1,475
Tracks 5	-	1,75	1,74	-3,090	1,645
Tracks 6	+	18,61	3,94	-1,818	0,214

HYPATIA - Control Window

Parameter Control Interaction and Window Control Output Display

Projection Data Cuts InDet Calo MuonDet Objects Geometry

Name	Value
<input checked="" type="checkbox"/> Status	
<input checked="" type="checkbox"/> InDet	
<input checked="" type="checkbox"/> Calo	
<input checked="" type="checkbox"/> MuonDet	
<input checked="" type="checkbox"/> Objects	

Finestra strumenti



- Torniamo al sito
- Concentriamoci sull'esercizio preliminare:



## Esercizio Z

1.

Introduzione al bosone Z
Introduzione al Bosone di Higgs
Nuova Fisica
Identificazione delle particelle
Il rivelatore ATLAS
Giochiamo!
Visualizzazione con HYPATIA
Identificazione delle particelle
Esercitazione pratica
Identificazione degli eventi
Cercare e scoprire tramite la ricostruzione della massa
Al lavoro!



- Torniamo al sito
- Concentriamoci sull'esercizio preliminare:



## Esercizio Z

1.

Introduzione al bosone Z
Introduzione al Bosone di Higgs
Nuova Fisica
Identificazione delle particelle
Il rivelatore ATLAS
Giochiamo!
Visualizzazione con HYPATIA
Identificazione delle particelle
Esercitazione pratica
Identificazione degli eventi
Cercare e scoprire tramite la ricostruzione della massa
Al lavoro!

2.

Introduzione al bosone Z
Introduzione al Bosone di Higgs
Nuova Fisica
Identificazione delle particelle
Identificazione degli eventi
Quando i protoni collidono
Eventi Z
Eventi Higgs
Eventi di fondo
Visualizzazione degli eventi
Esercitazione pratica
Cercare e scoprire tramite la ricostruzione della massa
Al lavoro!

Per questo ci serve qualche altra slide...



## COME PROCEDERE

- Per ogni evento dovremo:
  - cercare elettroni, muoni e fotoni
  - in base al risultato della ricerca, decidere se l'evento appartiene a una delle categorie:
    - tipo  $Z \rightarrow e^+e^- / \mu^+\mu^-$
    - tipo  $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4\text{-leptoni}$
    - tipo  $H \rightarrow \gamma\gamma$
  - se “sì” (!!), **selezionare** i vari  $e/\mu/\gamma$ 
    - saranno salvati nella finestra principale
  - se “no”, l'evento è un evento di “fondo”
    - passare al **prossimo evento**

per rimuovere  
oggetti selezionati  
erroneamente

Track	+/-	P [GeV]	Pt
Tracks 0	-	216,96	42,63
Tracks 76	+	93,33	42,90

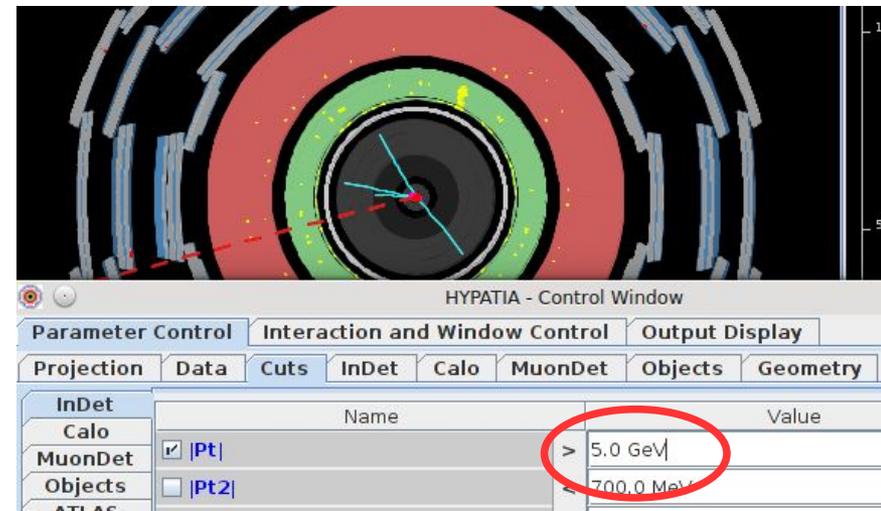
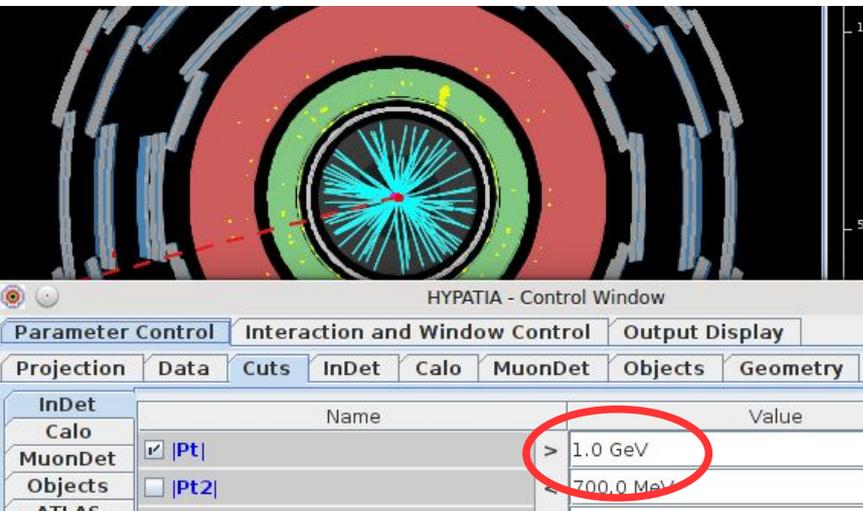


- Controllare il  $p_T$ :
  - i prodotti di decadimento dei bosoni Z e Higgs tipicamente hanno alto  $p_T$
  - $p_T$  relativamente alto significa  $\sim > 10 \text{ GeV}/c$
  - in caso di dubbio tra diverse tracce da selezionare, scegliere quelle a più alto  $p_T$
  
- La carica elettrica:
  - coppie di particelle devono avere carica opposta
  - in eventi Higgs → 4-leptoni l'ordine è importante:
    - $+ - + - \rightarrow \text{yes}$
    - $+ - - + \rightarrow \text{yes}$
    - $+ + - - \rightarrow \text{no!}$



## TRUCCHI

- Alzare la soglia del pT minimo visualizzato
  - ➔ questo ripulisce la vista e ci aiuta a fare chiarezza
  - ➔ per farlo, andare nella finestra strumenti e cercare “Parameter Control”, “Cuts”



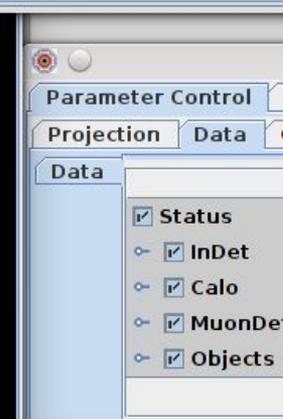
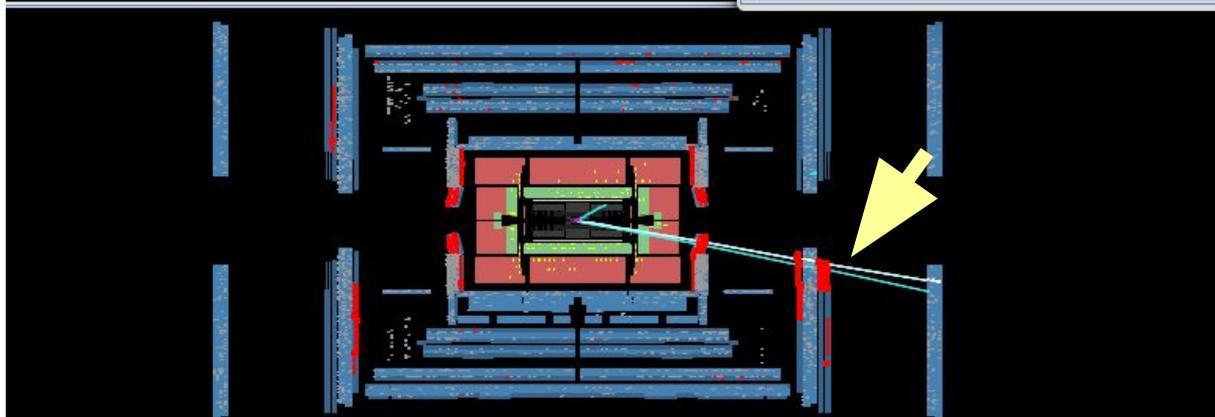
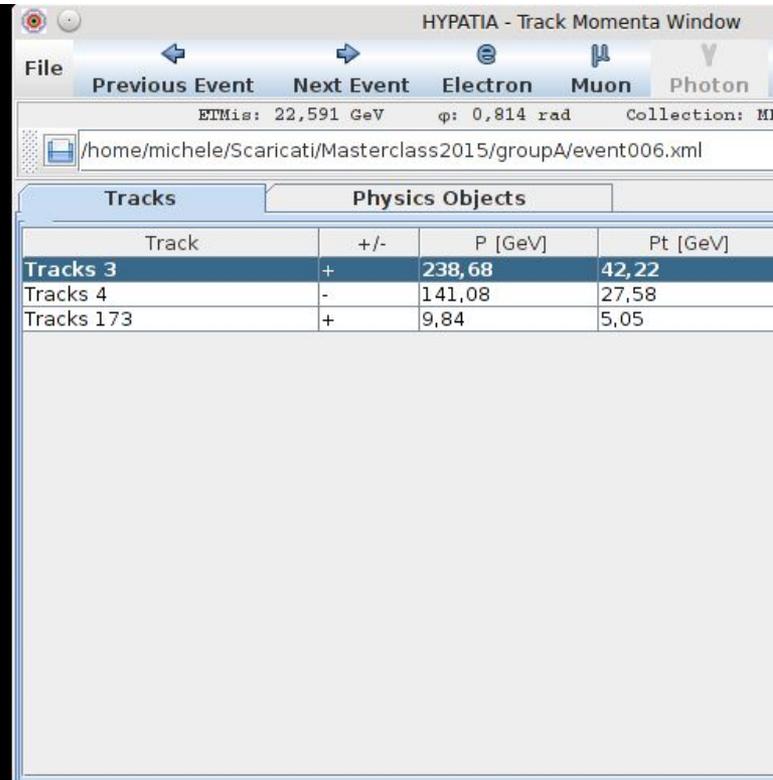
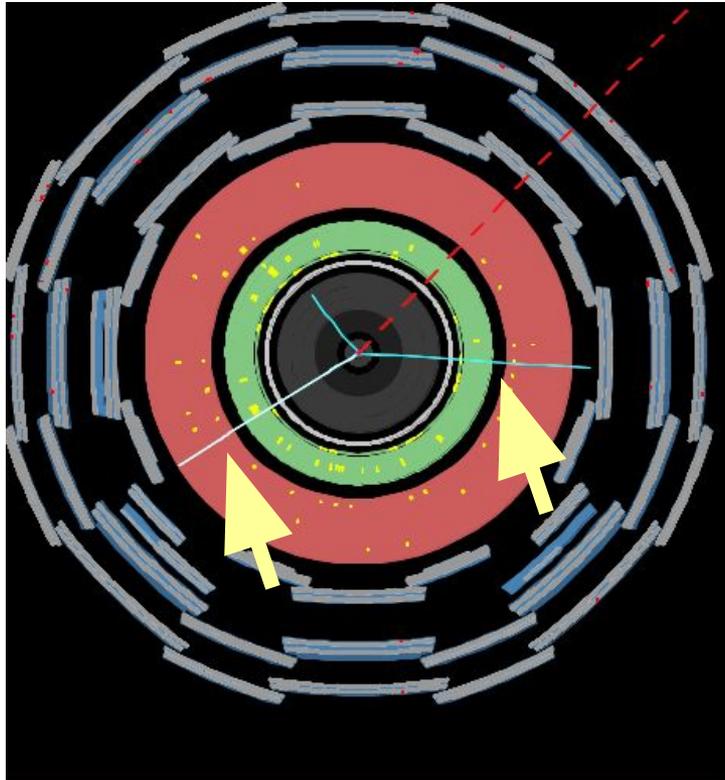


UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI UDINE

hic sunt futura

## TRUCCHI

- Fare attenzione a muoni non-centrali...





## INDICAZIONI FINALI

- Non fate caso ai valori di massa invariante mentre collezionate gli eventi
  - selezionate eventi in base alla presenza o meno di  $e/\mu/\gamma$ , NON in base ai valori di massa invariante
  - ad esempio tente eventi anche se la massa invariante dei 4-leptoni è 10 GeV, o 1000 GeV!!

event004.xml	173,818	Tracks 0	605,3	-	582,0	2,195	-0,282	944,102			m
		Tracks 2	383,5	+	380,6	-0,908	-0,123				m
event005.xml	26,783	Tracks 3	58,2	-	37,7	0,707	-1,001	88,235		109,073	m
		Tracks 4	79,7	+	57,0	-1,794	-0,864				m
		Tracks 13	14,5	+	11,7	-2,513	-0,686	18,954			e
		Tracks 180	9,8	-	9,3	-0,295	-0,348				e

- guarderemo dopo la distribuzione dei valori delle masse



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI UDINE

hic sunt futura

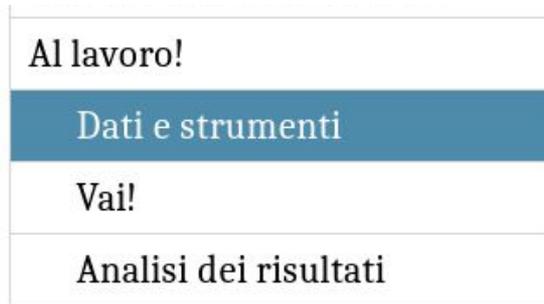
**PRONTI, ATTENTI, VIA!**

- Avete 50 eventi per gruppo
- Tempo: avete tempo **fino alle 15:30**

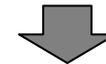


## ESPORTARE IL FILE DEI RISULTATI

- “File” → “**Export invariant masses**” → salvare il file nella directory di lavoro
- Poi, dal sito web:



“3. Una pagina per produrre il plot dei risultati: **apri-la qui**”



### OPlOT - Introduction

Introduction

OPlOT::CERN

OPlOT::Fermilab

- Quindi:
  - selezionare “student”
  - inserire le credenziali d'accesso:
  - selezionare la data di oggi, “Udine”, gruppo
  - caricare i file:

**username = ippog**  
**password = imc**

Upload your file:

Scegli file

Nessun file selezionato

Submit