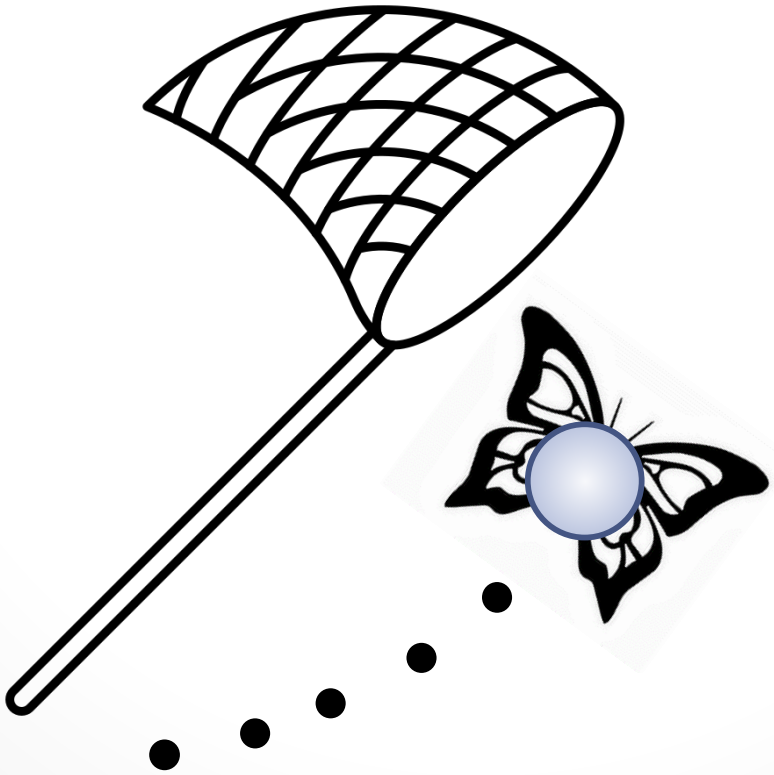
A caccia di farfalle:

Uniamo i puntini per scoprirne le proprietà!

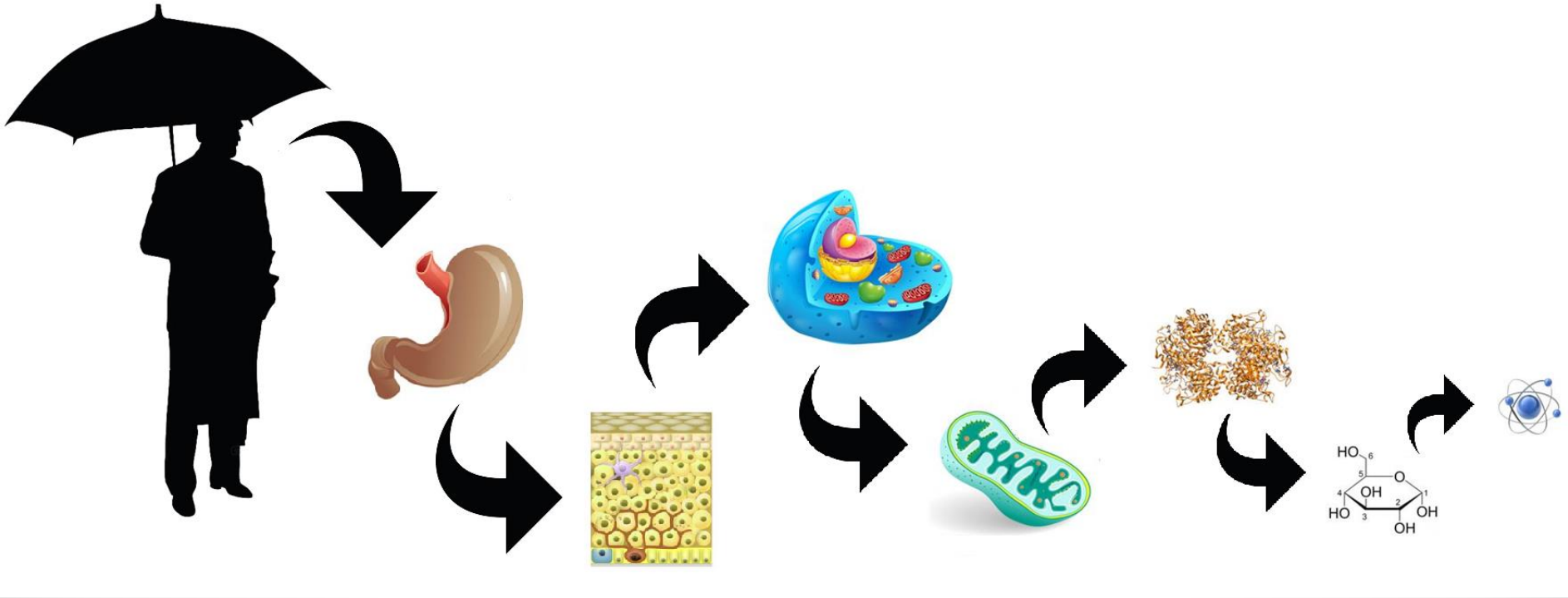
A caccia di ~~farfalle~~ particelle:

Uniamo i puntini per scoprirne le proprietà!

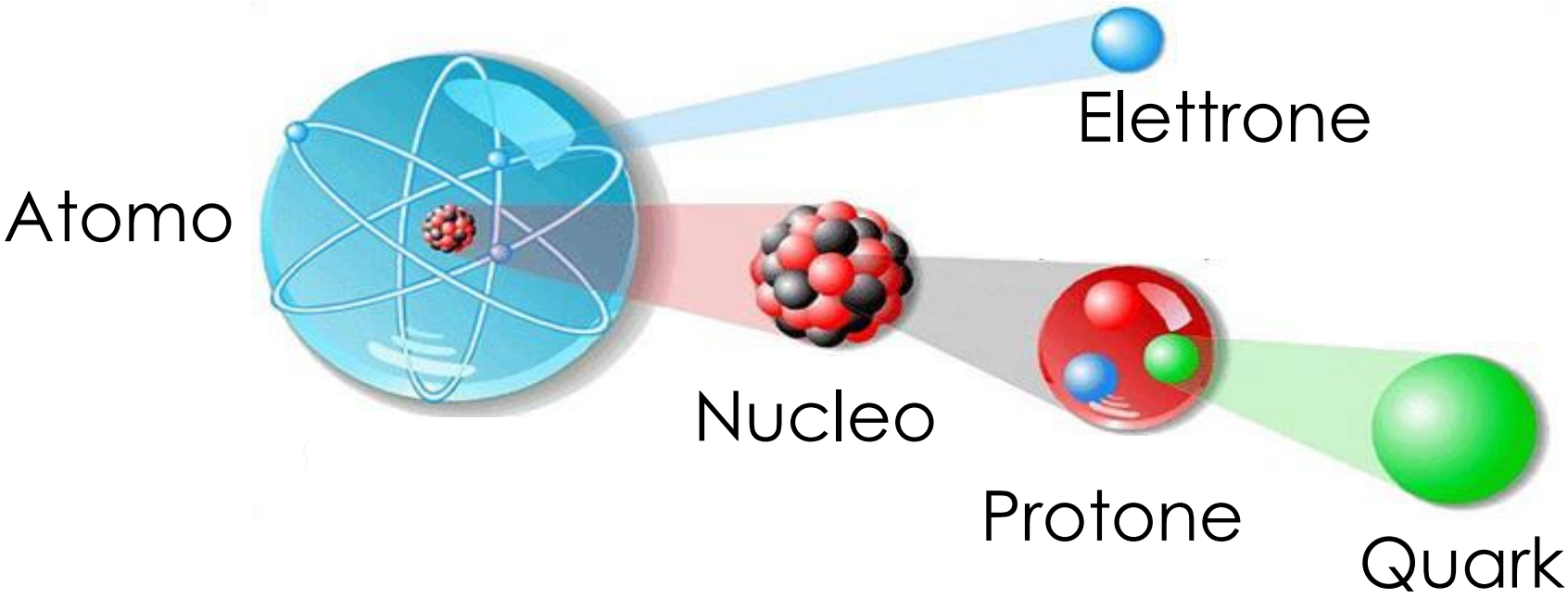


Di cosa siamo fatti?

Di cosa siamo fatti?

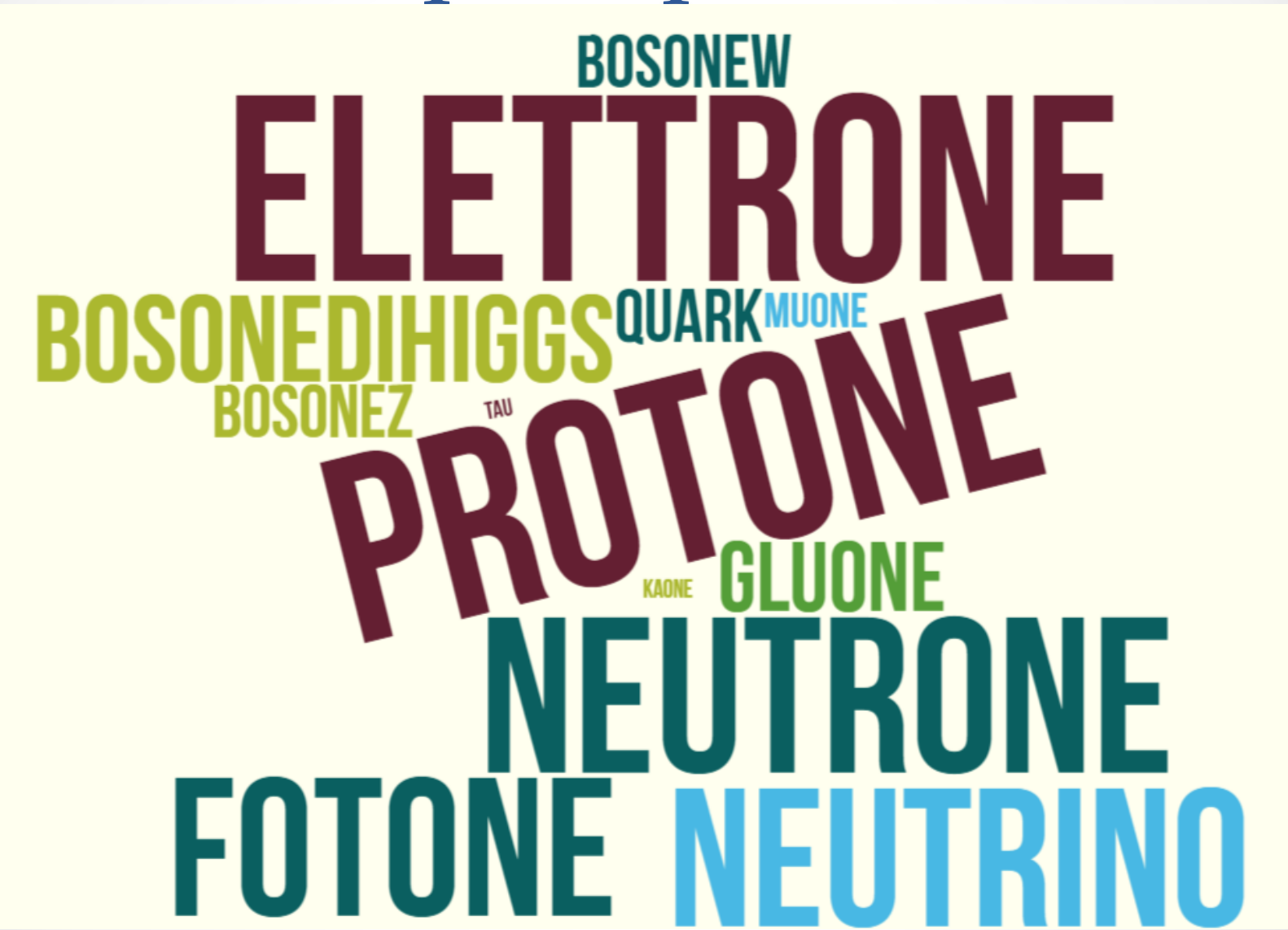


Guardiamo più in dettaglio!



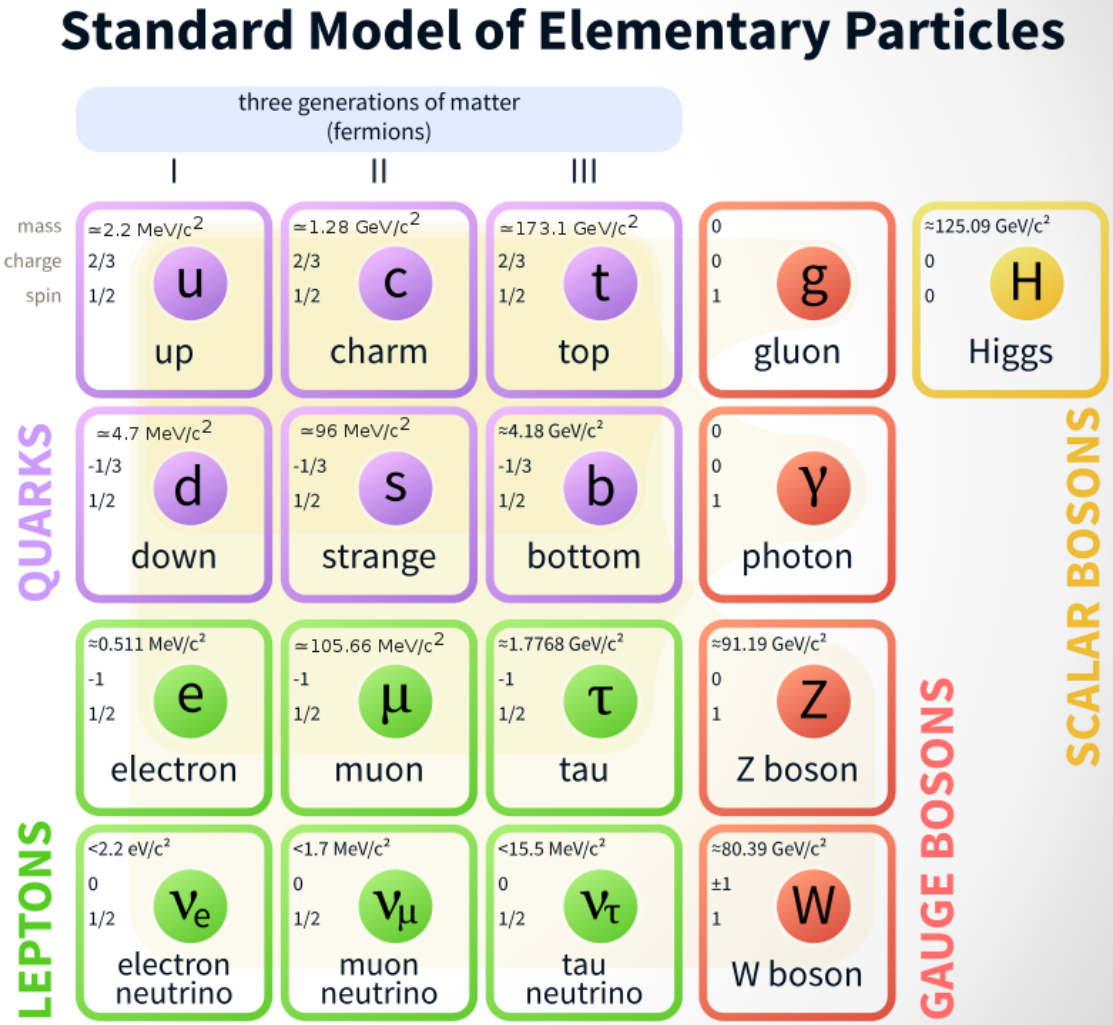
Tutta la materia che ci circonda è composta da elettroni e da quark

…Esempi di particelle…



Organizzazione delle particelle

- 3 “famiglie” di quarks
- 3 “famiglie” di leptoni
- La materia che ci compone è quella della prima “famiglia”
- Le altre sono “repliche” della prima con masse maggiori (ed instabili)
- Fotoni, gluoni, bosoni W e Z, trasmettono le interazioni



…alcune proprietà delle particelle…

Carica elettrica

energia

Vita media

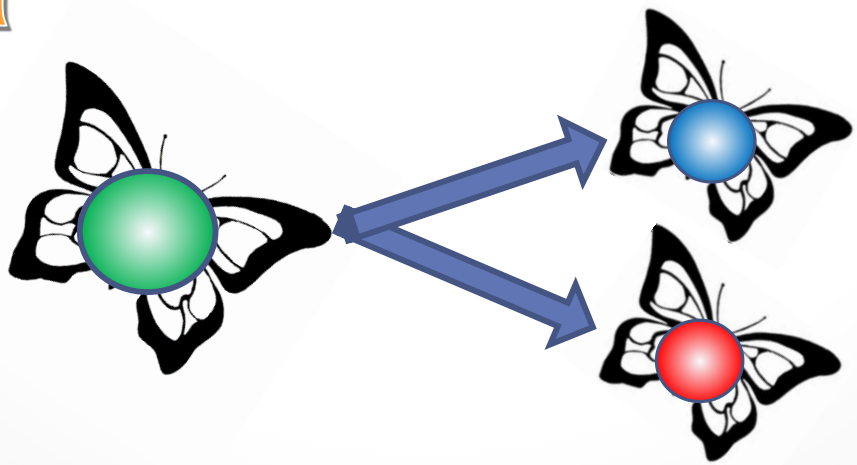
impulso

Spin

Sapore

Massa

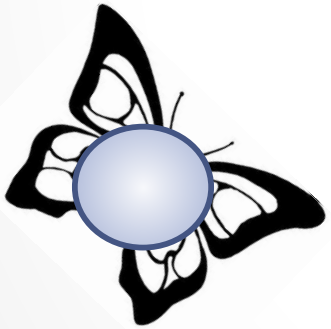
Colore



Cosa serve per studiare una particella?

Particella

(presente in natura o creata in laboratorio)



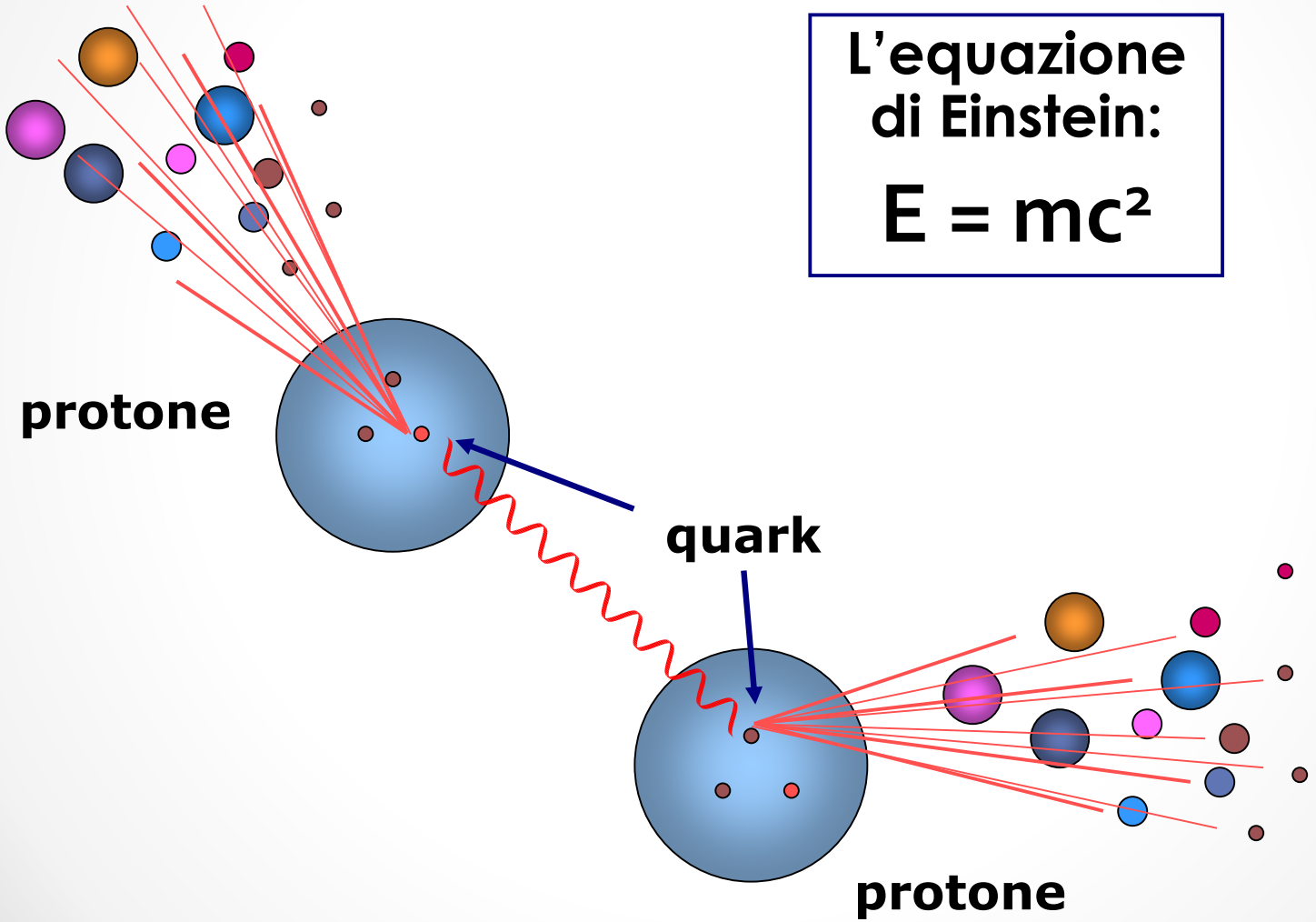
Rivelatore

(strumento in grado di osservare l'interazione)

Interazione

(tra la particella e l'ambiente)

Come produciamo le particelle?

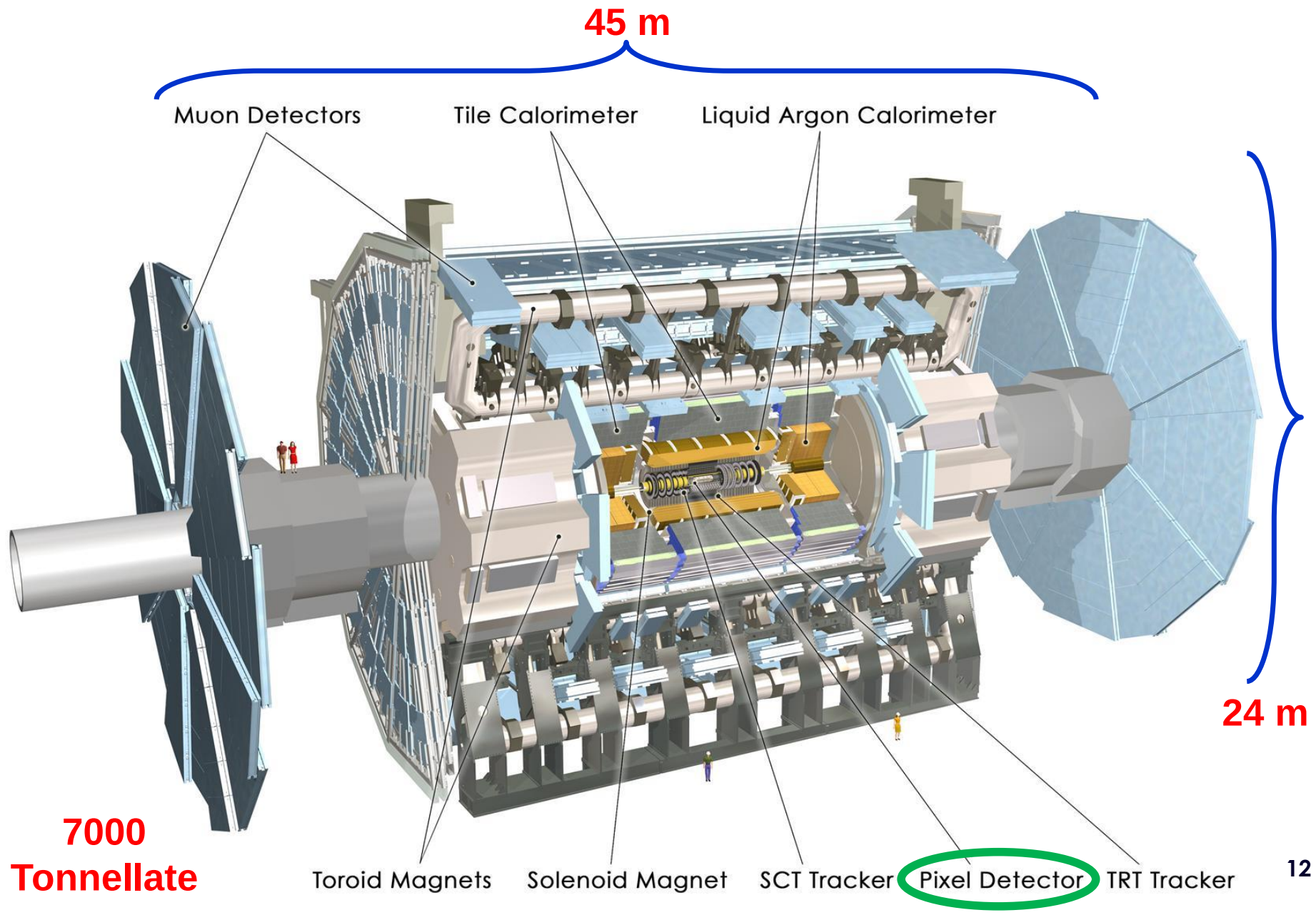


L'acceleratore LHC al CERN di Ginevra

- L'acceleratore più grande al mondo (27 km di circonferenza).
- Due fasci di protoni ad altissima energia (13 TeV, 13000 volte la massa del protone) viaggiano a velocità prossime a quelle della luce.

- I fasci collidono in quattro punti. Intorno ad essi si stati costruiti dei rivelatori per osservare cosa viene prodotto nelle collisioni.

Il nostro microscopio (il rivelatore ATLAS)



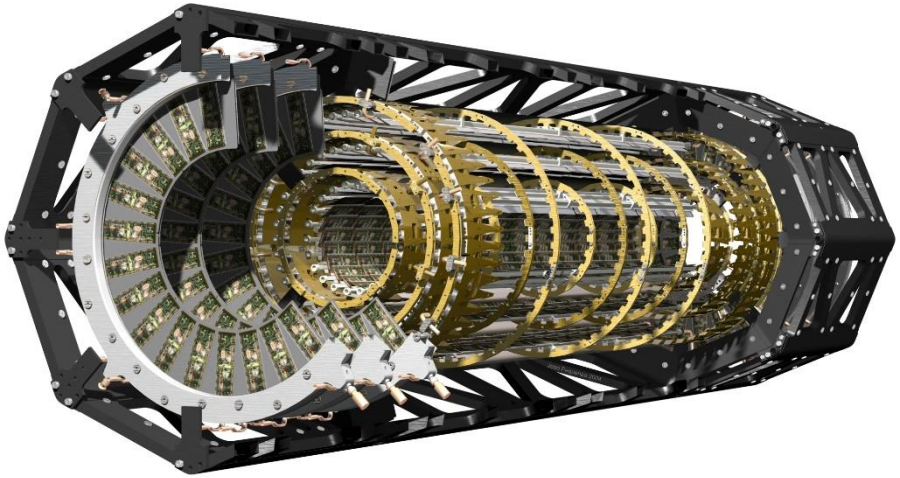
Il segnale lasciato dalle particelle

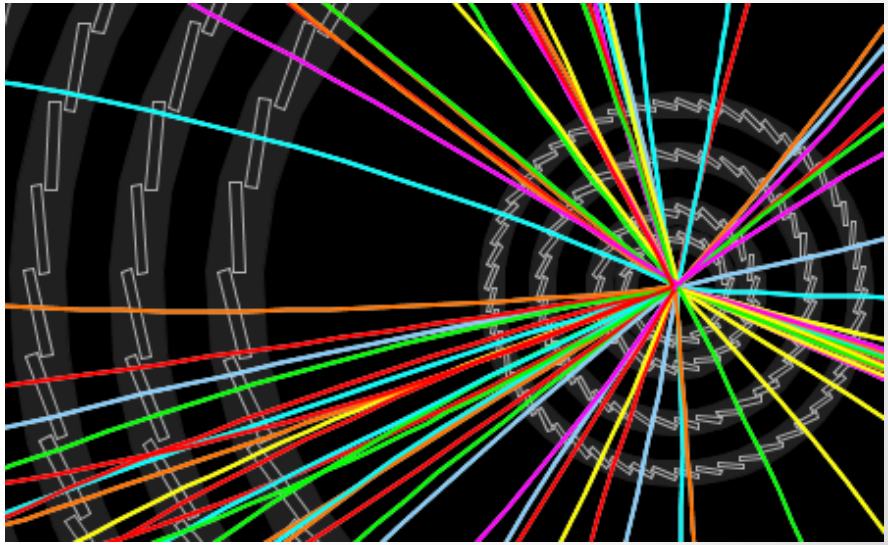
Molti tipi diversi di rivelatori di particelle

Progettati per misurare
una o più proprietà della particella
...posizione, carica elettrica, traiettoria, energia...

I rivelatori di tracciamento (tracciatori) sono utilizzati per ricostruire la traiettoria (curva) delle particelle cariche elettricamente

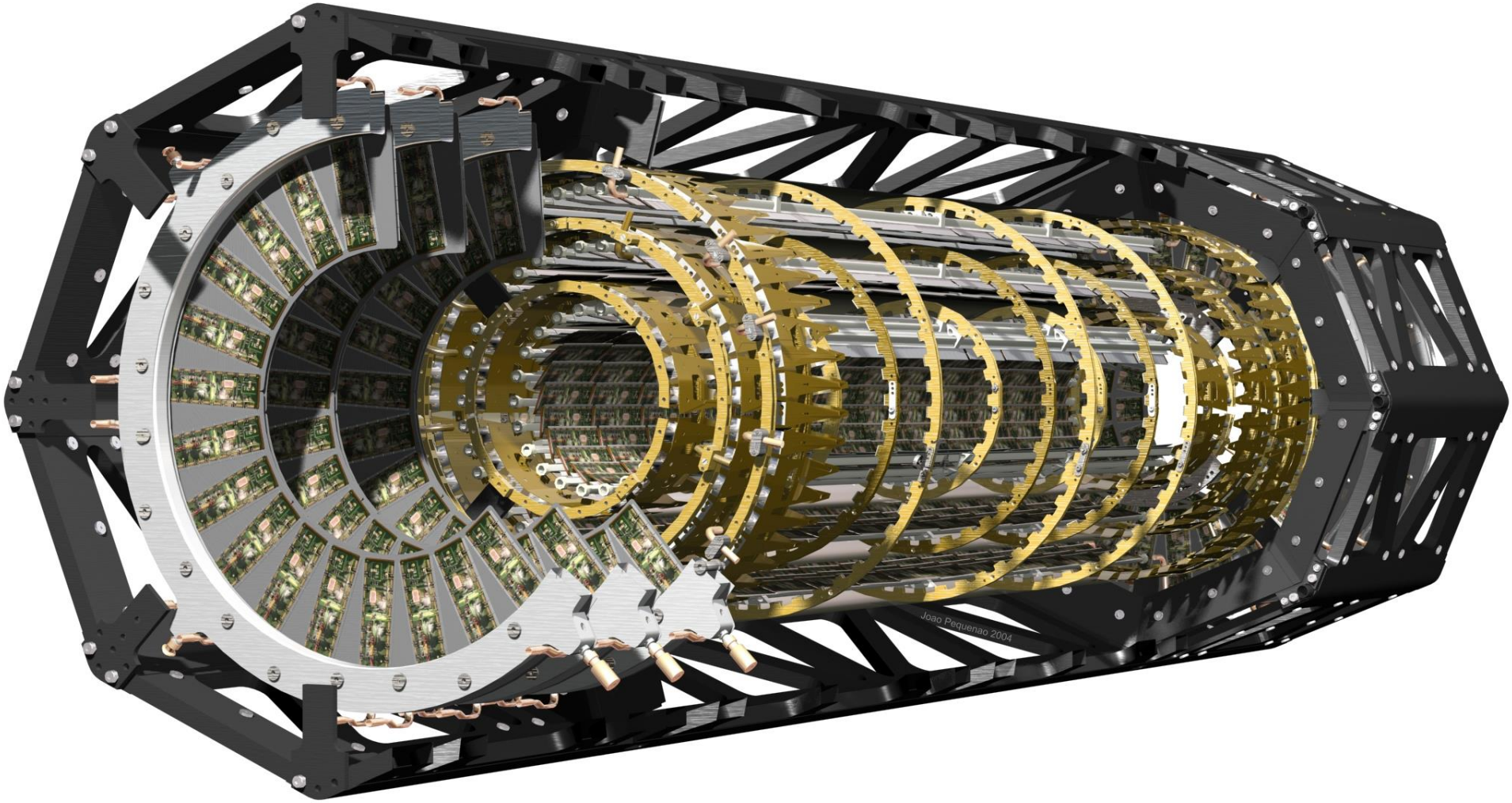
Esempio: rivelatore a Pixel dell'esperimento ATLAS





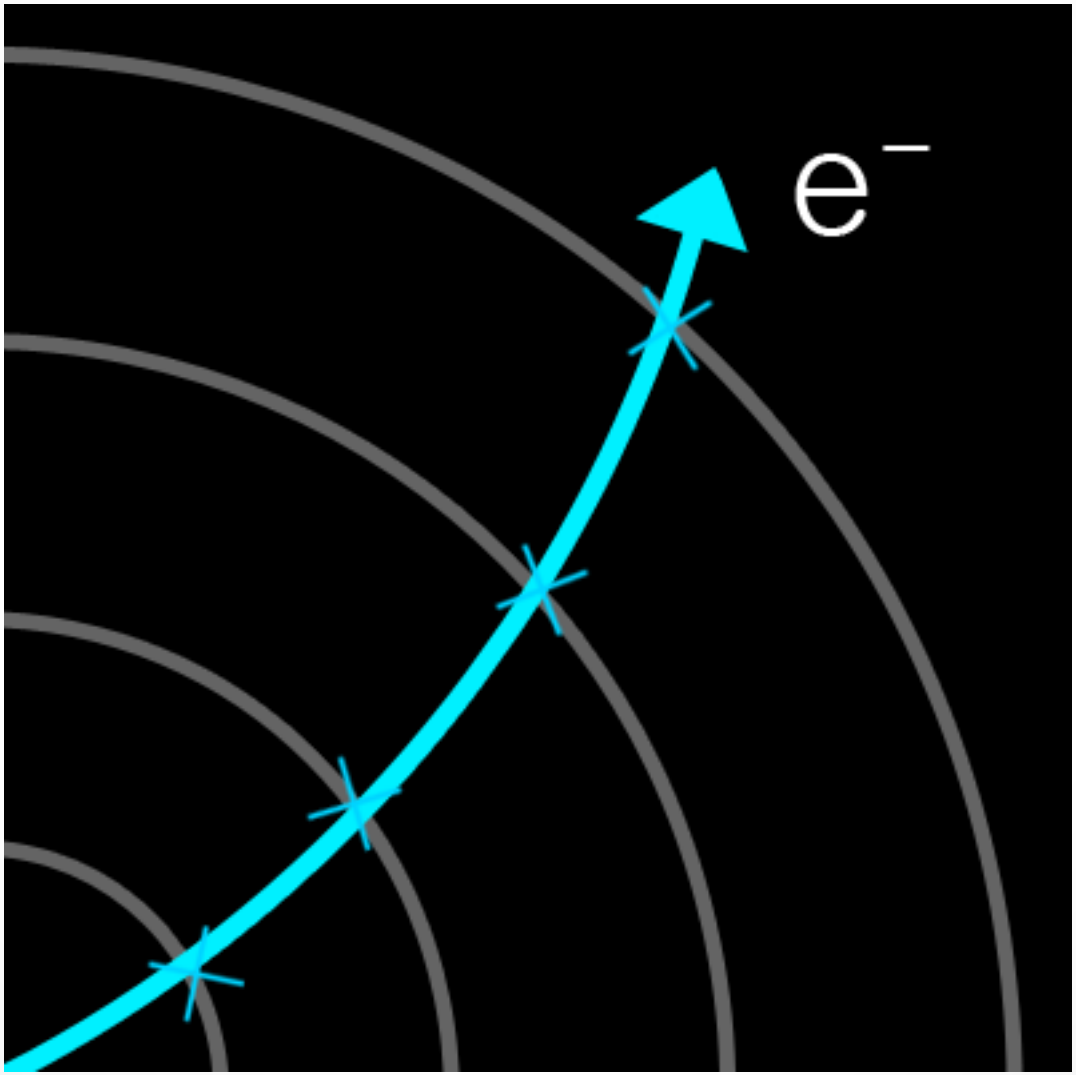
I rivelatori traccianti di ATLAS

Le particelle lasciano un punto su ogni strato (strati concentrici)



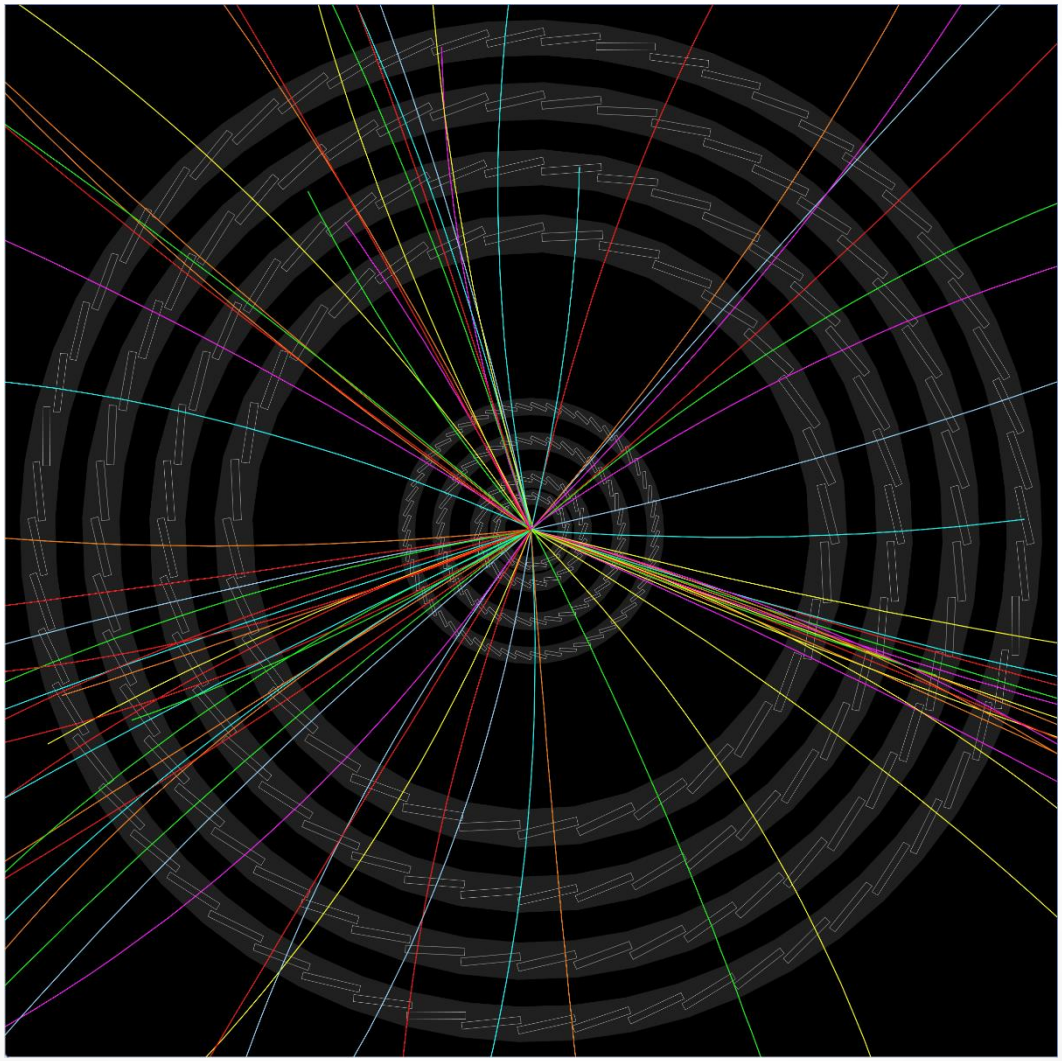
Il segnale lasciato in un tracciatore

Traiettoria curva di un elettrone in presenza di campo magnetico



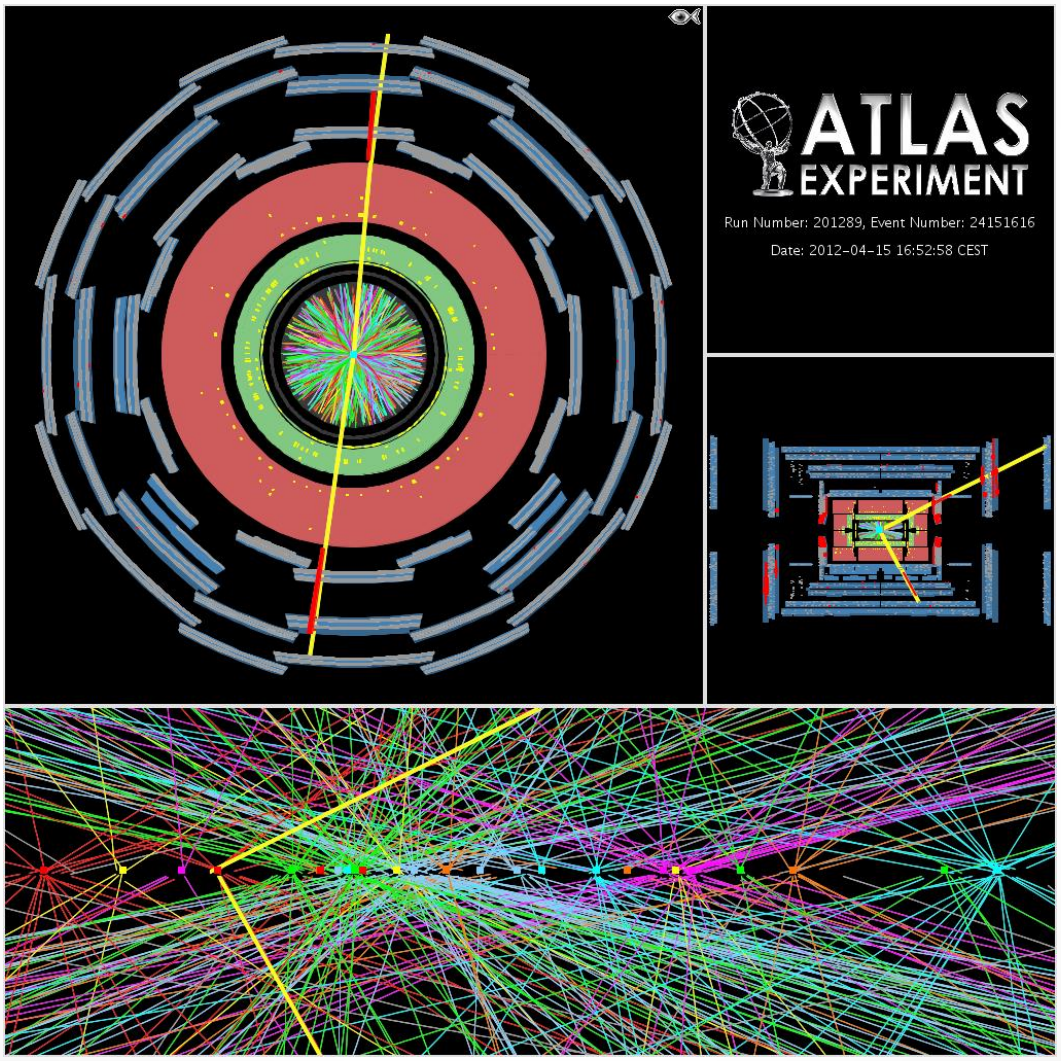
Cosa vediamo nelle collisioni tra protoni

Tracce di particelle cariche attraversano i piani dei rivelatore traccianti



Bosone Z visto dal rivelatore ATLAS

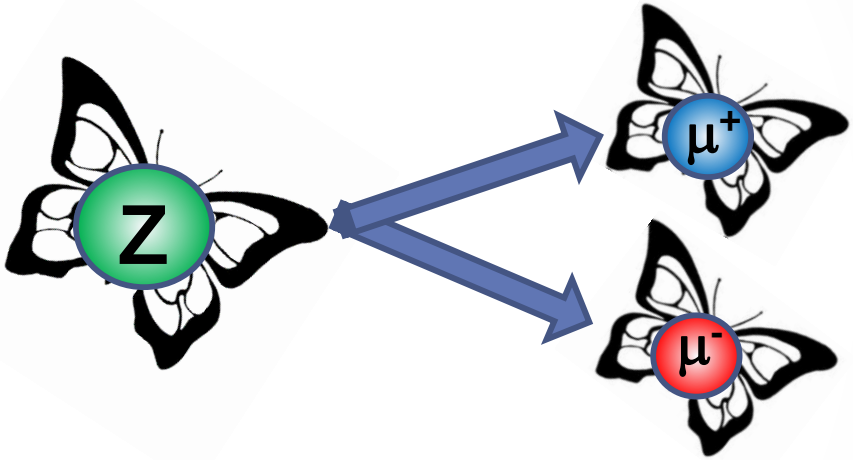
Tracce di particelle prodotte in una collisione tra protoni



Gioco 1

- **Identificare le tracce delle due particelle figlie nel decadimento:**

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

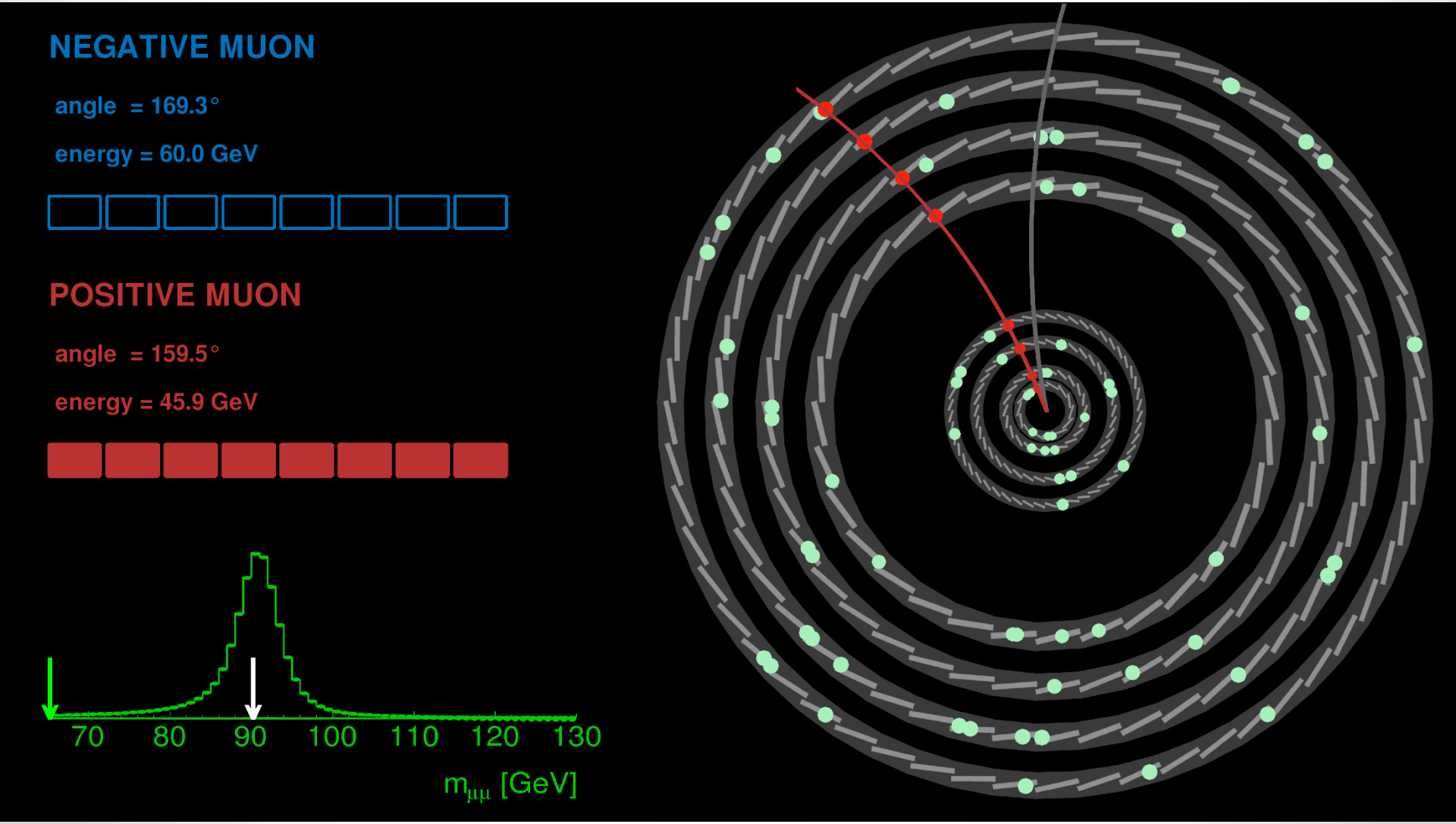


- **La curvatura delle traiettorie dà informazioni sulla carica elettrica e sull'energia delle particelle.**

- **Dall'energia e dalla direzione delle particelle si ricava la massa della particella madre: il bosone Z.**

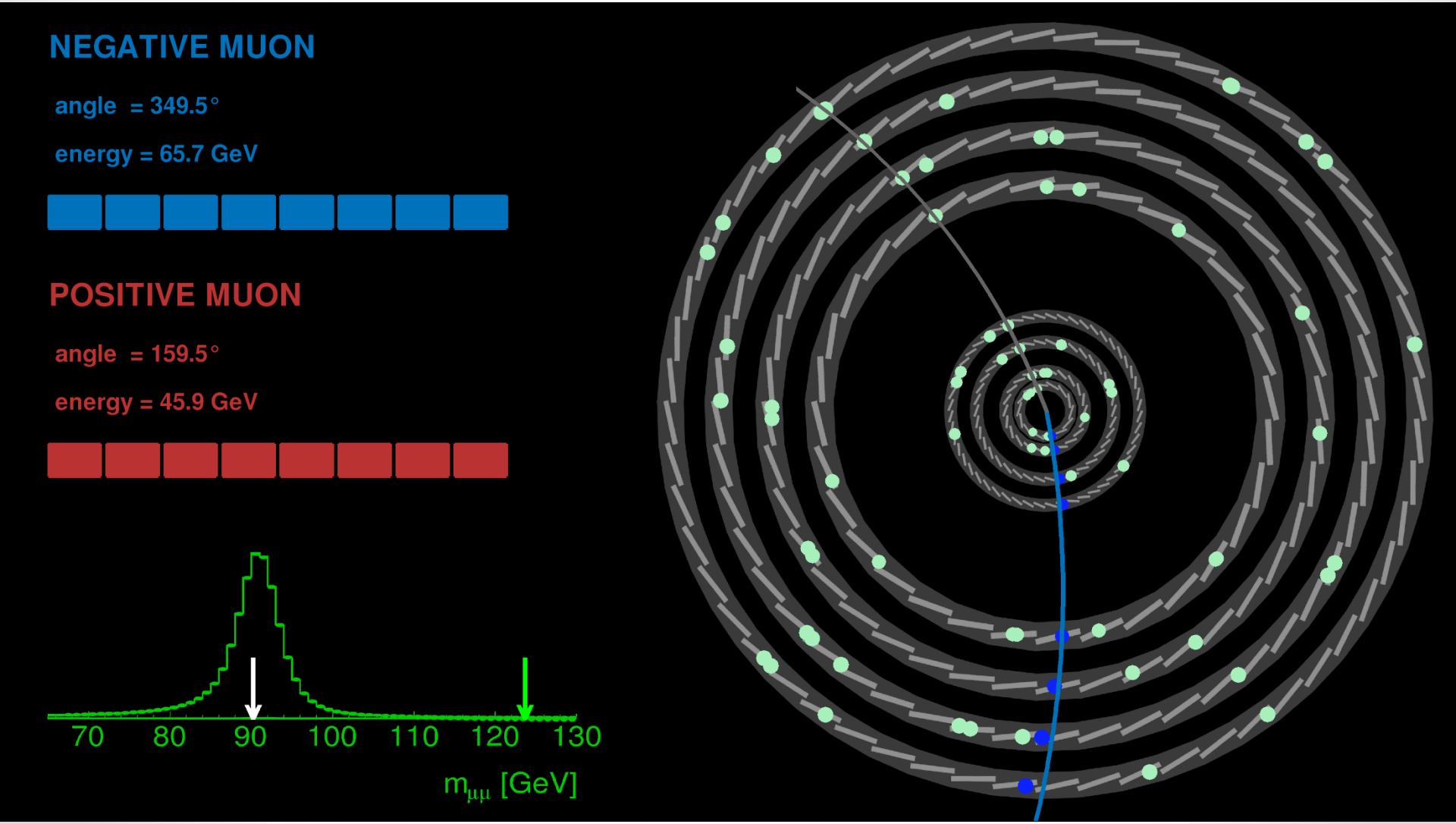
Gioco 1: Obiettivo

Individuare la traiettoria percorsa dalla particella sulla base dei punti lasciati sugli strati del rivelatore



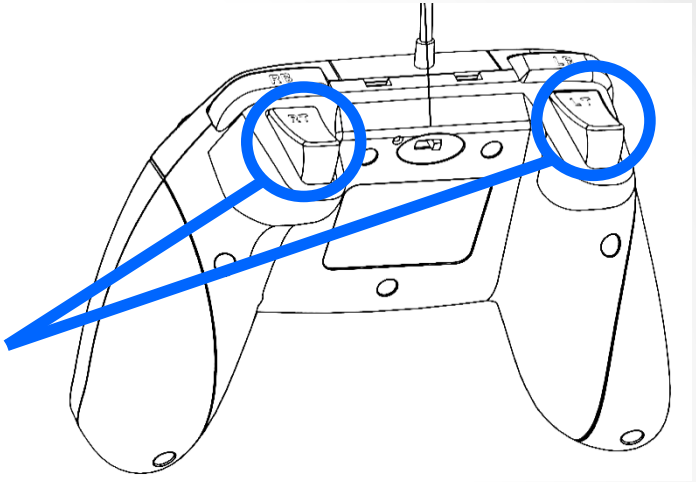
Gioco 1: Obiettivo

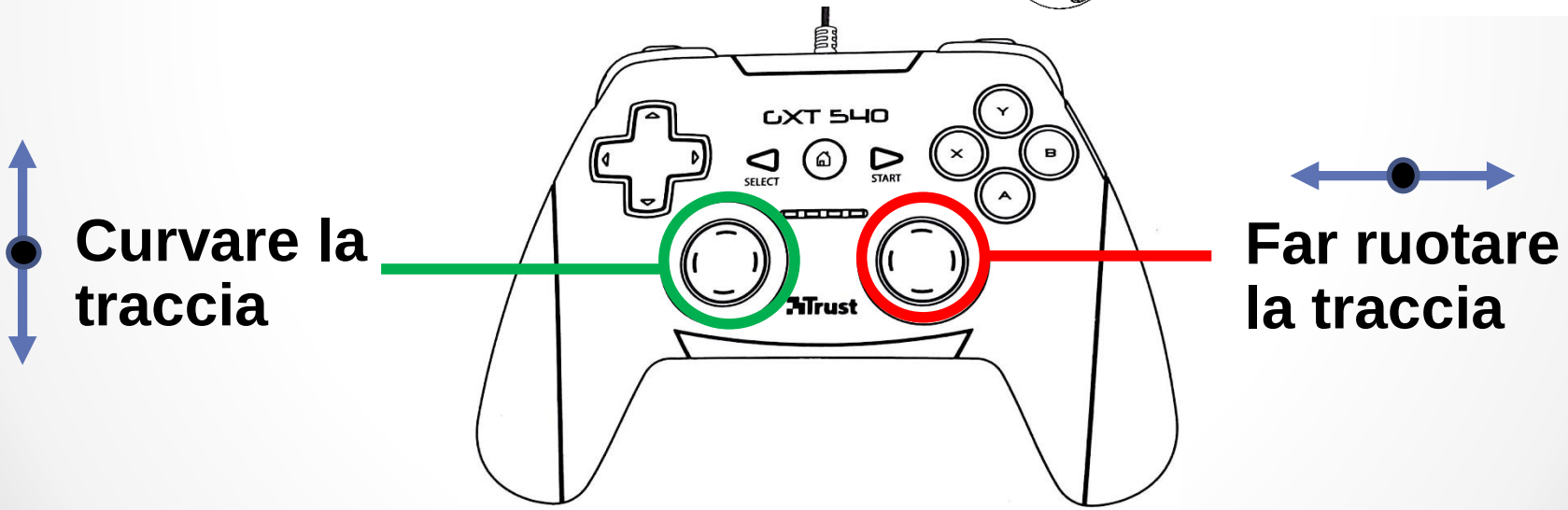
Individuare la traiettoria percorsa dalla particella sulla base dei punti lasciati sugli strati del rivelatore



Gioco 1: Istruzioni

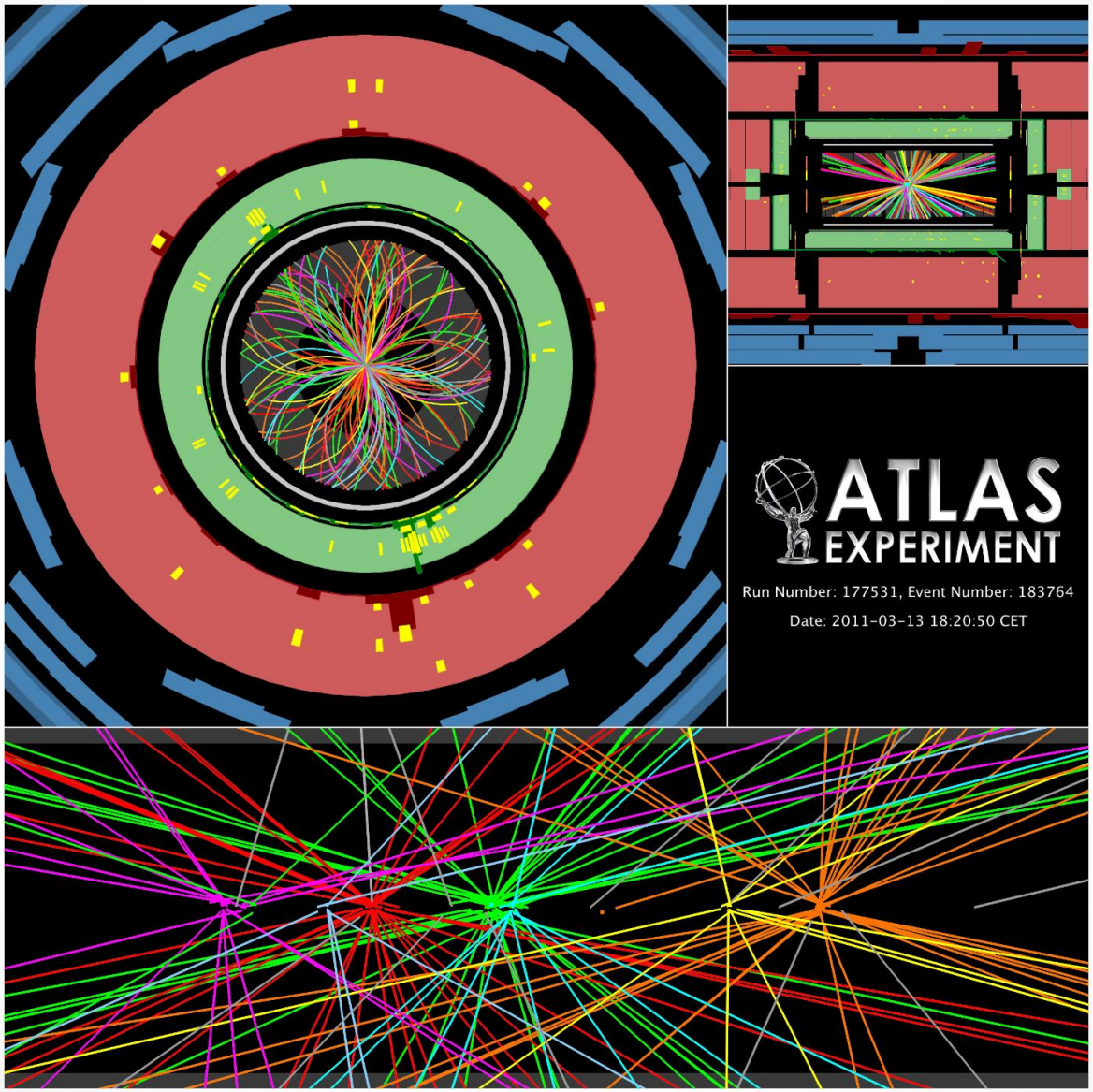
- **Utilizzare il gamepad!**
  - Cambiare traccia



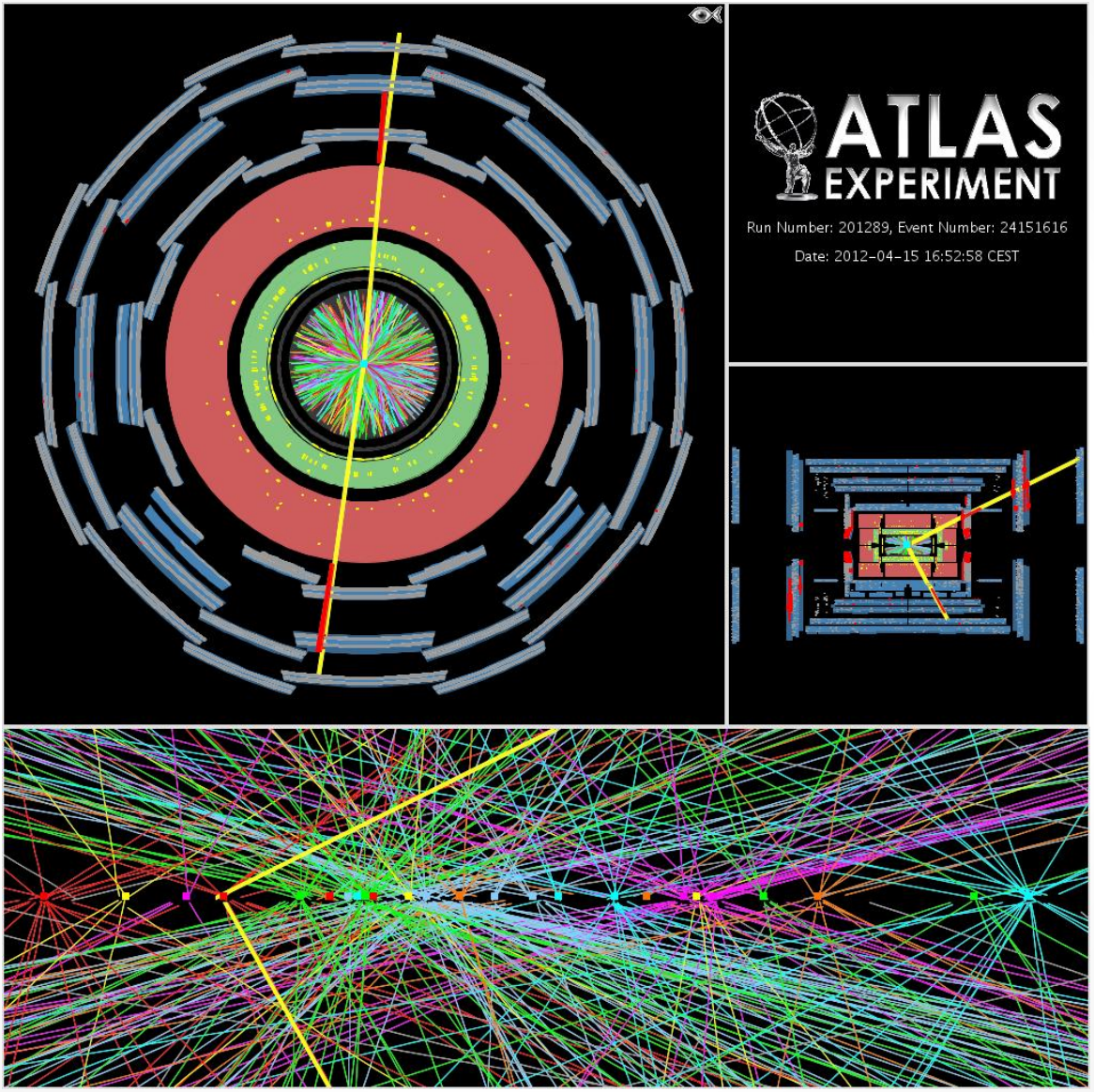


Attenzione: ad ogni livello, il numero di collisioni aumenterà!

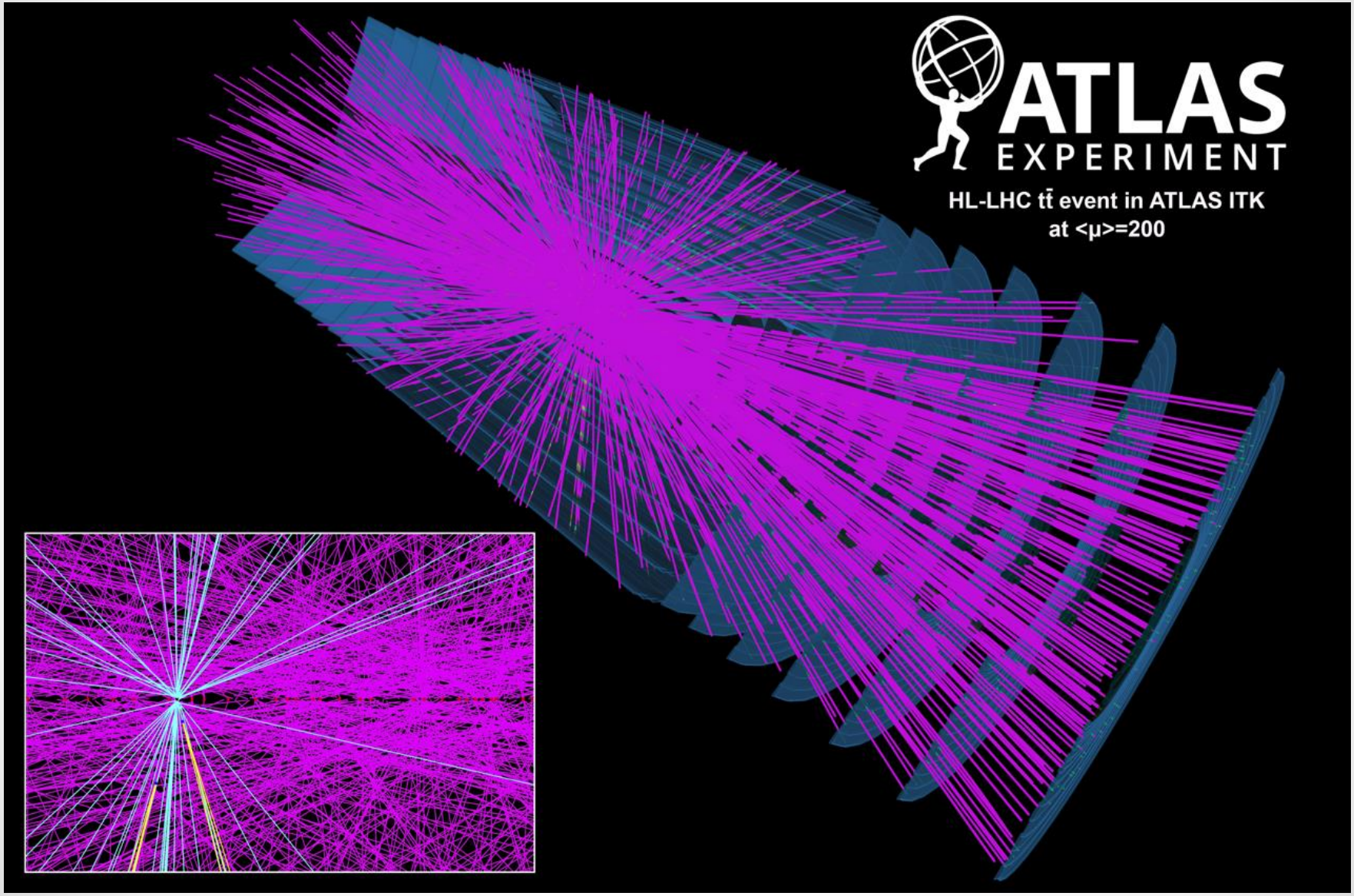
7 collisioni (2011)



25 collisioni (2012)



200 collisioni (2026)



Il gruppo ATLAS di Genova

La selezione delle collisioni

- **Non in tutte le collisioni protone-protone vengono create particelle "interessanti".**
- **Un complicato ma veloce sistema di selezione (trigger) permette di identificare e registrare le collisioni più interessanti.**
- **Tipicamente si salva 1 collisione ogni 40 mila!**
- **<u>Bisogna salvare quella giusta!</u>**

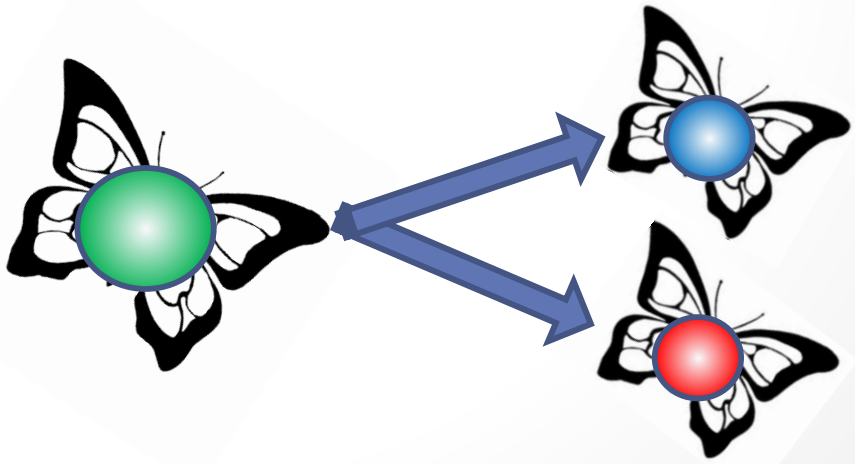
Gioco 2

- **Salviamo gli eventi con 2 muoni**

…potrebbero venire dal decadimento del bosone Z
…oppure da altri processi interessanti (Bosone di Higgs)

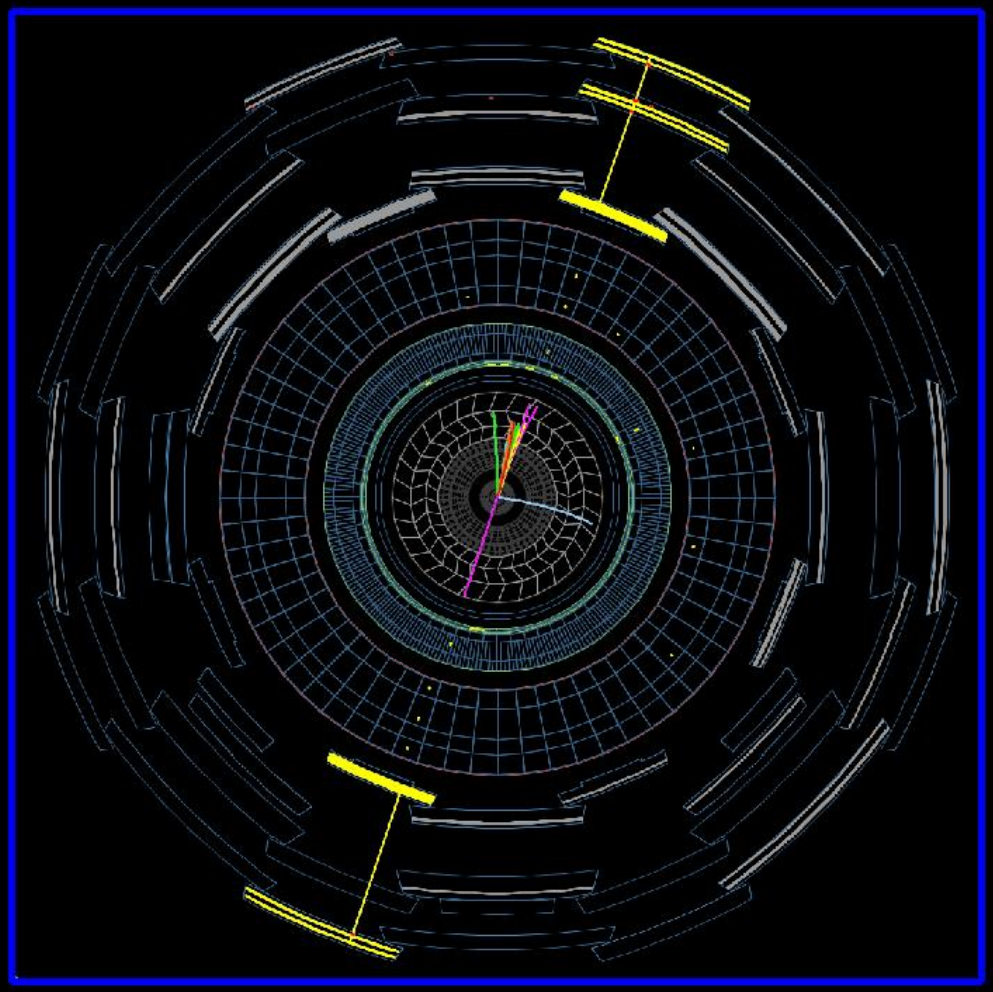
$Z \rightarrow \mu^+\mu^-$

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



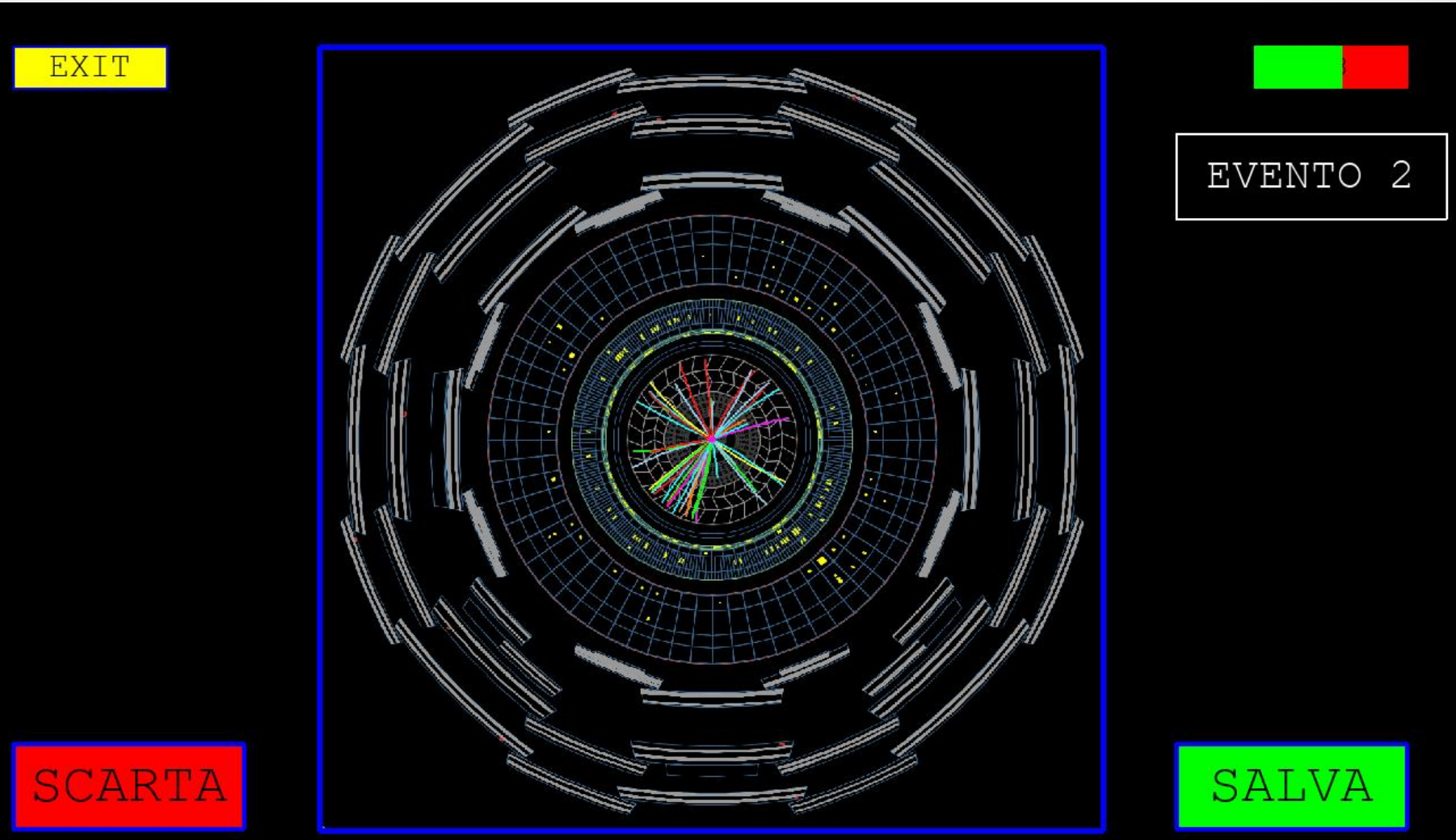
Gioco 2: Obiettivo

Salvare le collisioni che contengono 2 muoni



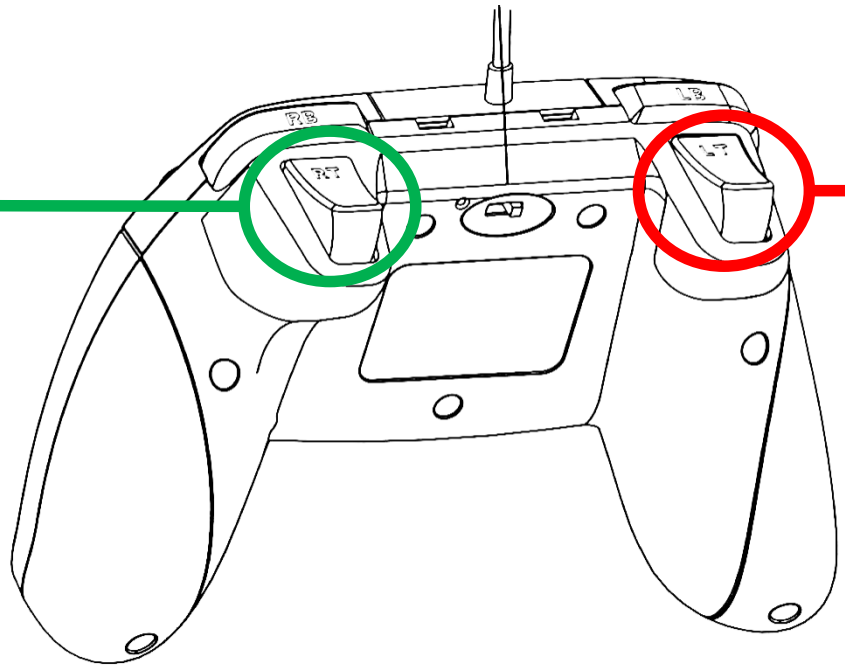
Gioco 2: Obiettivo

Scartare le collisioni che contengono 0 muoni



Gioco 2: Istruzioni

- **Utilizzare il gamepad!**

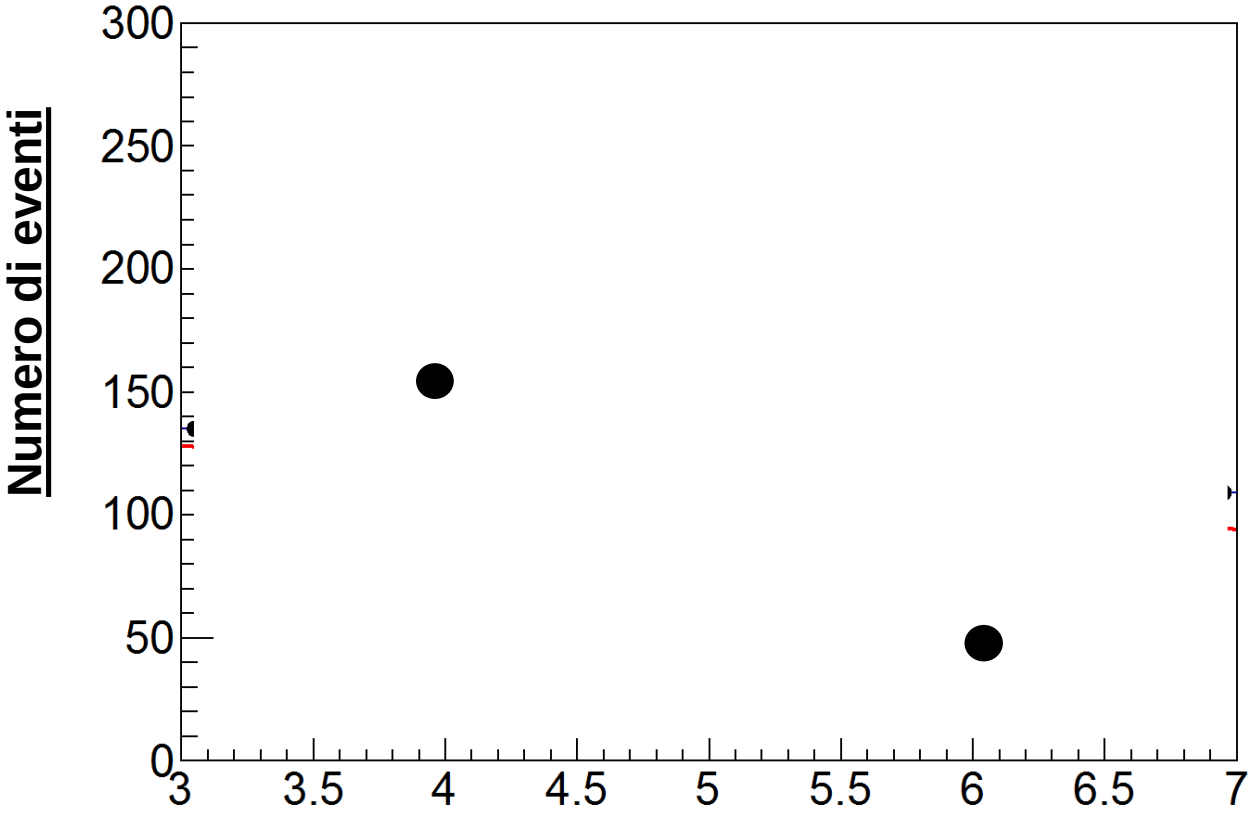


- **Salvare evento**
- **Scartare evento**

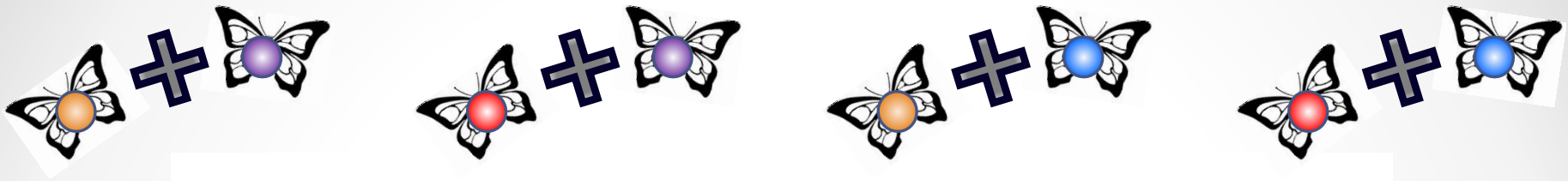
Attenzione: durante il gioco, la velocità aumenterà!

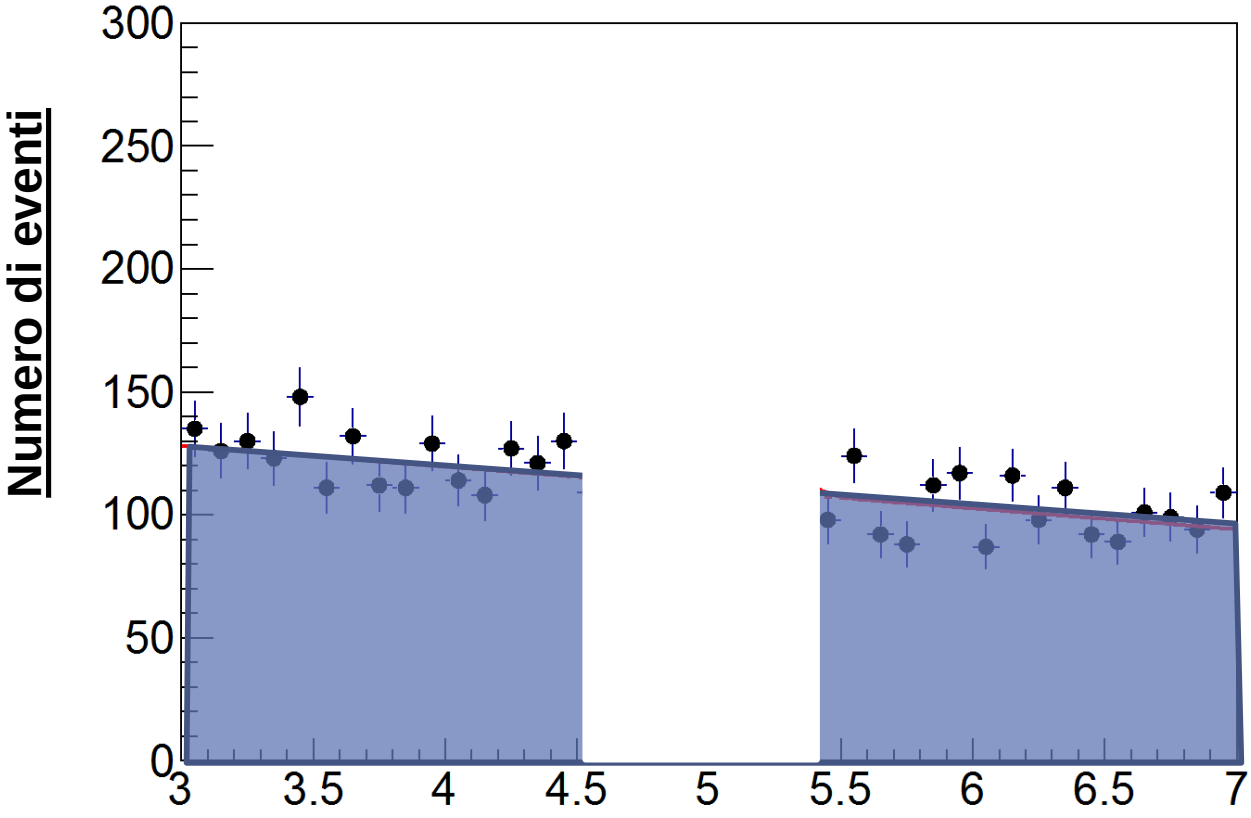
Istogramma di massa

- **Dopo aver ricostruito le tracce e selezionato gli eventi…**
- **I dati vengono analizzati statisticamente!**
- **Le informazioni delle collisioni vengono sintetizzate in istogrammi**

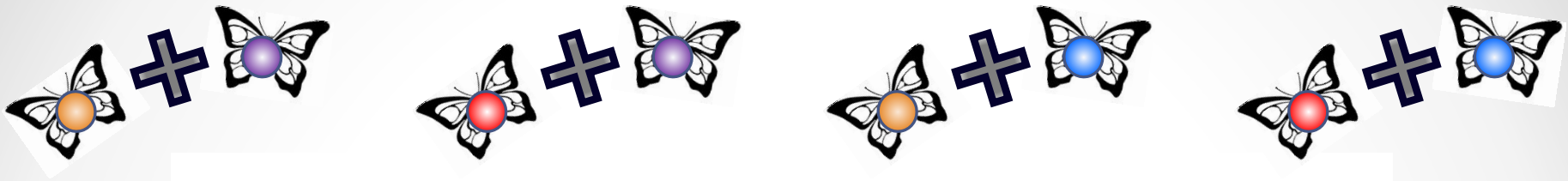


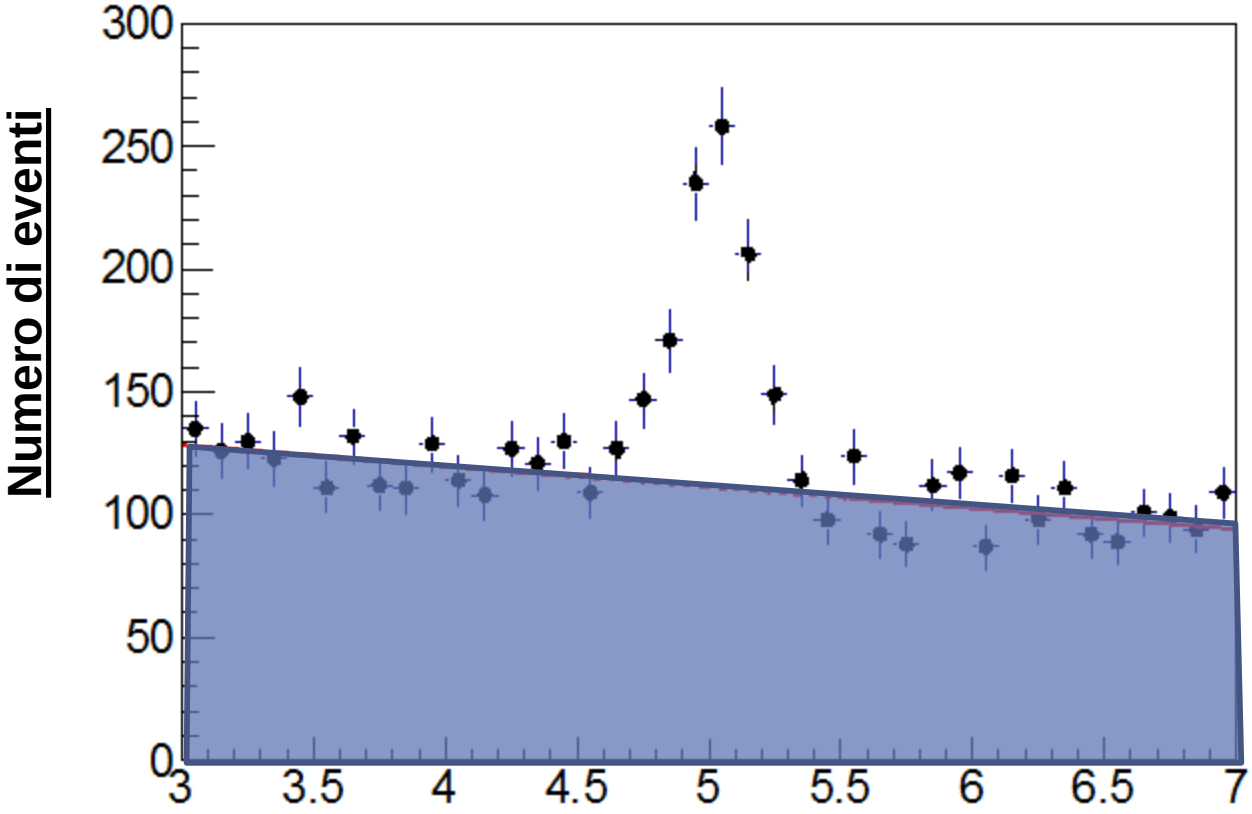
Combinazioni casuali di particelle figlie:



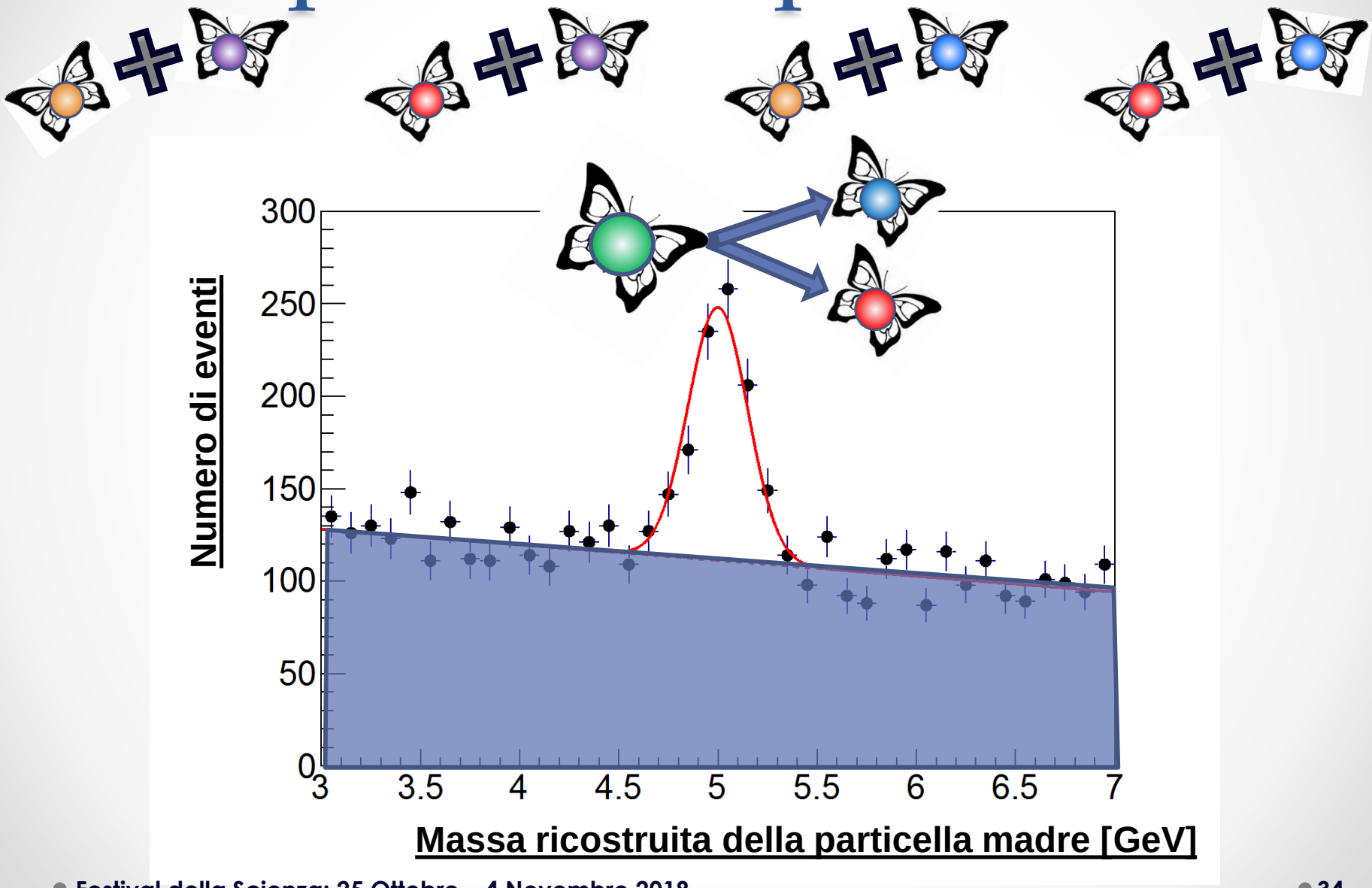


C'è qualcosa in più del previsto!

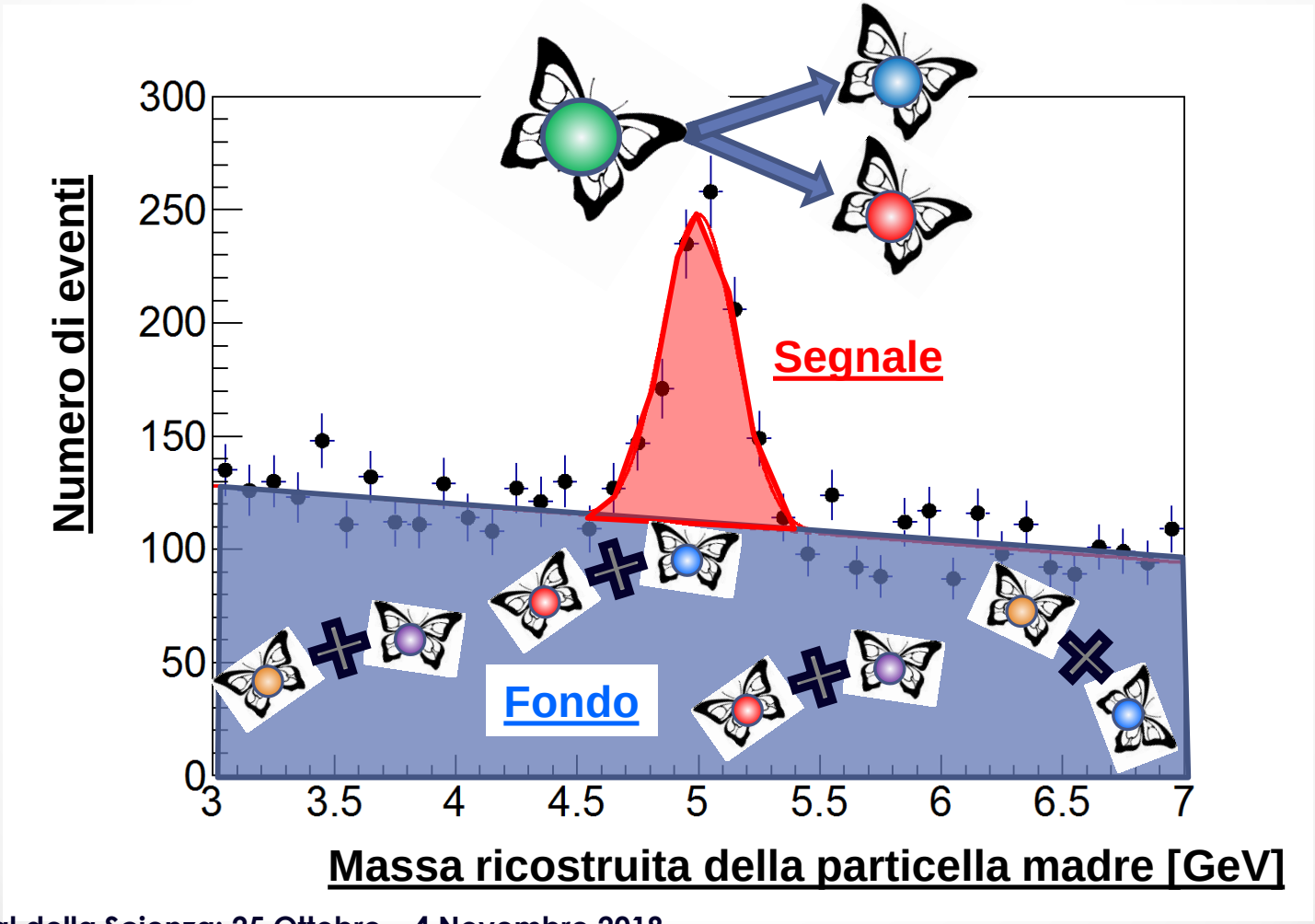




Scoperta una particella!



Fondo + Segnale

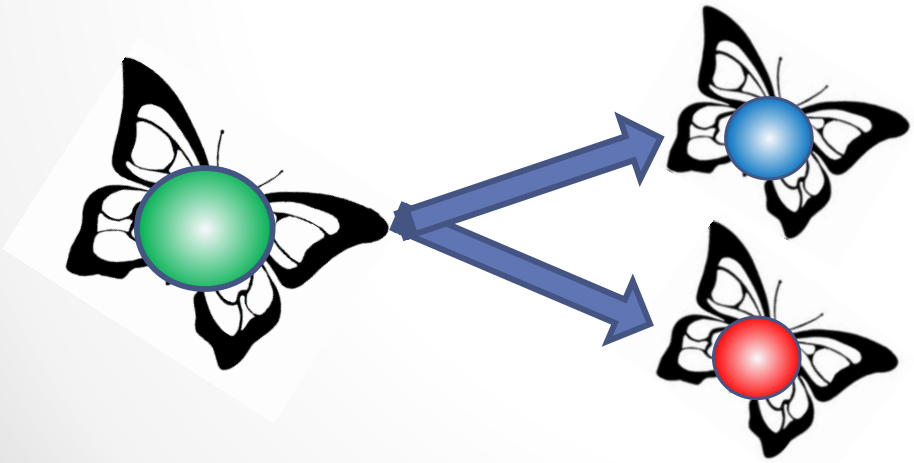


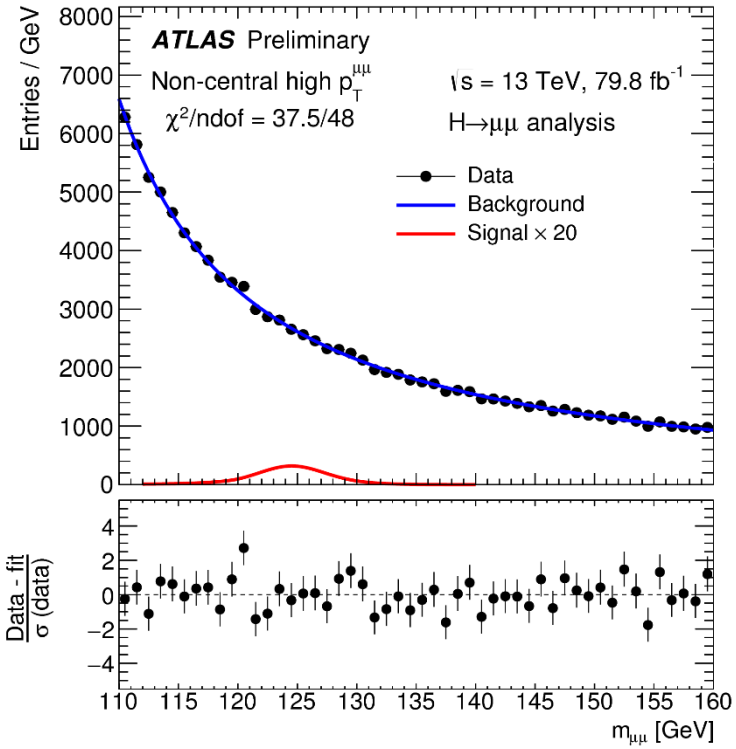
Gioco 3

- **Misuriamo quanti eventi abbiamo raccolto**
- **Quanto è frequente quella particella?**
- **La previsione è corretta?**

https://cds.cern.ch/record/2628763

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





Gioco 3: Obiettivo

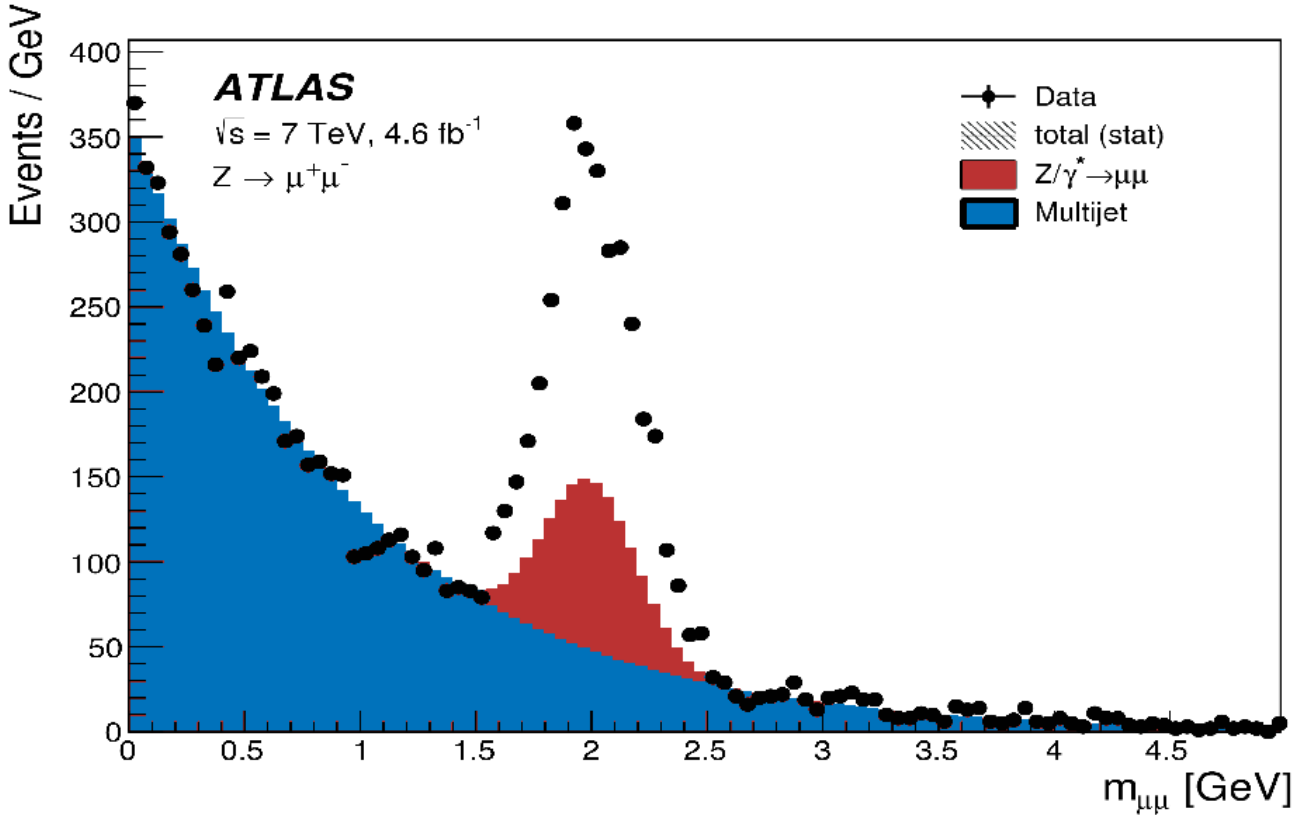
Adattare le distribuzioni statistiche ai dati sperimentali

PHYSICAL REVIEW D **85,** 072004 (2012)

Measurement of the inclusive $W^{\pm}$ and $Z/\gamma*$ cross sections in the e and μ decay channels in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector

Analysis Results

Signal #1
Mass = 2.0 GeV
Num = 1000



Match = 0.0%
Paper Rejected

Gioco 3: Obiettivo

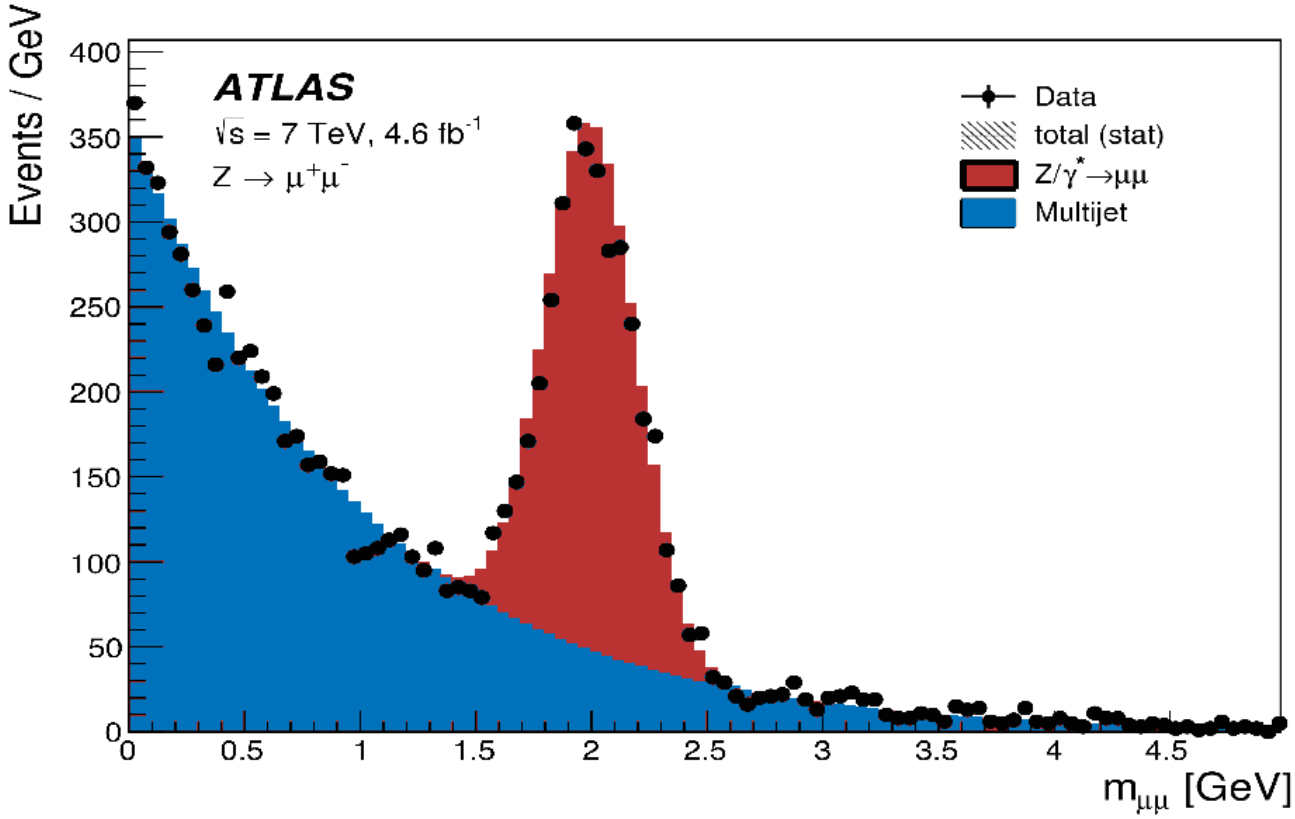
Adattare le distribuzioni statistiche ai dati sperimentali

PHYSICAL REVIEW D **85,** 072004 (2012)

Measurement of the inclusive $W^{\pm}$ and $Z/\gamma*$ cross sections in the e and μ decay channels in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector

Analysis Results

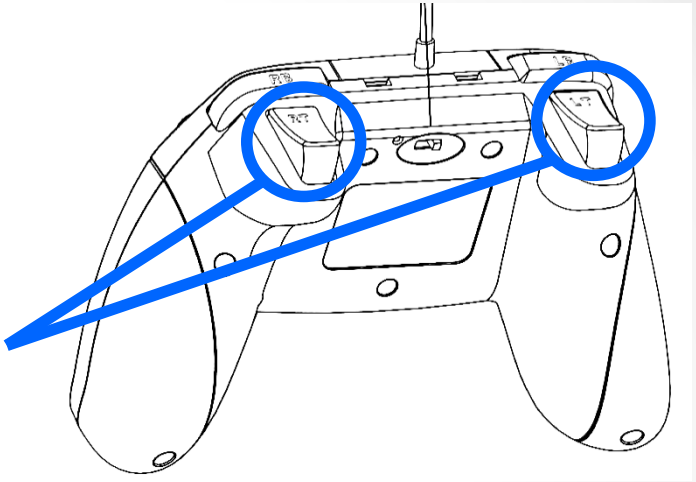
Signal #1
Mass = 2.0 GeV
Num = 3100

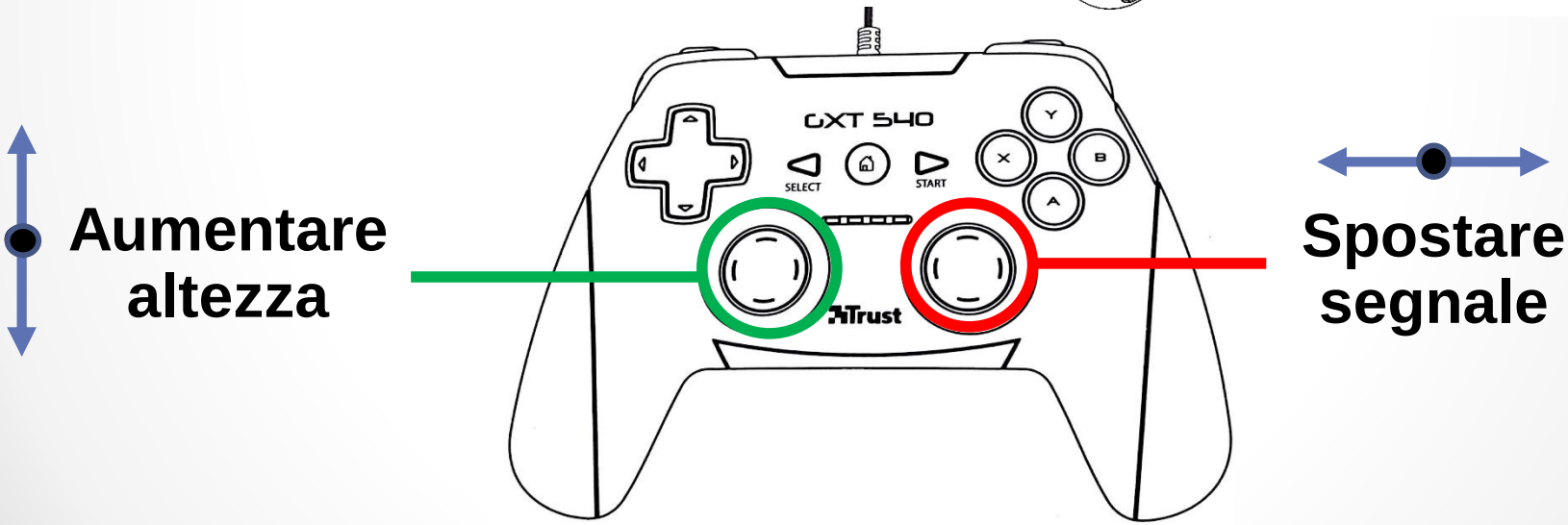


Match = 100%
Paper PUBLISHED!

Gioco 3: Istruzioni

- **Utilizzare il gamepad!**
  - **Passare da segnale a fondo**





Aumentare altezza

Spostare segnale

Attenzione: ad ogni livello, il numero di collisioni aumenterà!

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI GENOVA

Fine!

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
Sezione di Genova