

# STUDIO DEL DECADIMENTO DEL MUONE CON I TELESCOPI DI EEE

**Il gruppo EEE@Buonarroti:**

**S.Acampora, D.Birindelli, V.Campera, A.Ciampi, D. De Ranieri,  
A.Felici, G.Gemmi, L.Liotta, G.Michelotti, D.Naso, I. Naurotski,  
E.Niccolai, E.Pizzorusso, K.Progri**

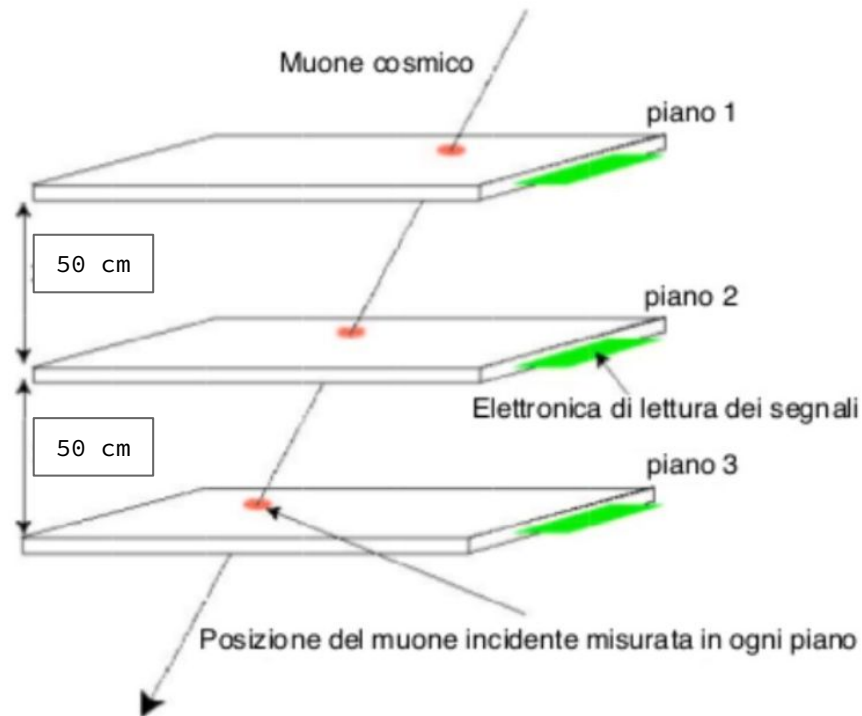
# SOMMARIO

- Ricostruzione delle tracce in EEE
- Il Decadimento del Muone
- Decadimenti “visibili” e “invisibili”
- Selezione di eventi con decadimento e loro caratteristiche
- Ricostruzione del vertice di decadimento e misura di  $\tau$
- Alcuni Event Display
- Conclusioni



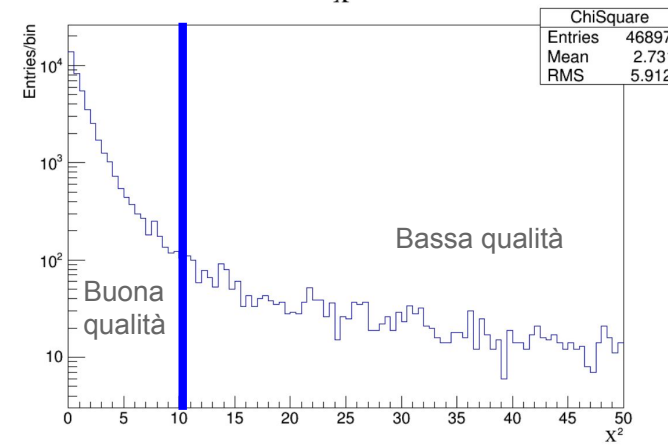
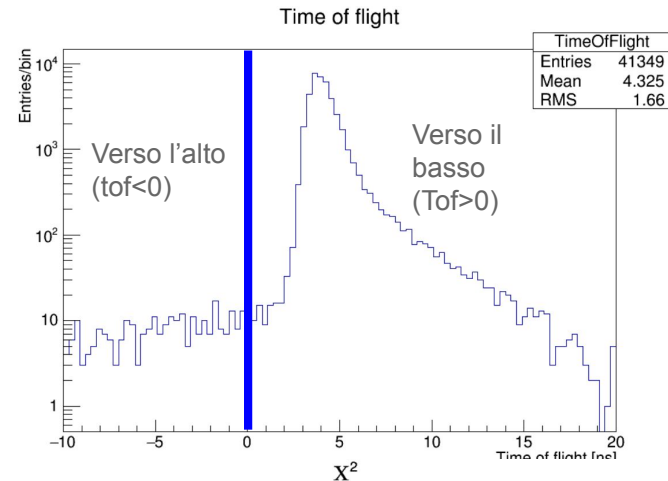
# RICOSTRUZIONE DELLE TRACCE NEI TELESCOPI DI EEE

- I telescopi di EEE sono costituiti da **tre rivelatori planari a gas (camere)** posti parallelamente alla distanza di 50 cm
- una traccia “valida” è composta da **tre hits** (una per ogni camera)
- Il software di ricostruzione genera **ROOT files che contengono informazioni dettagliate sugli eventi registrati** dal rivelatore



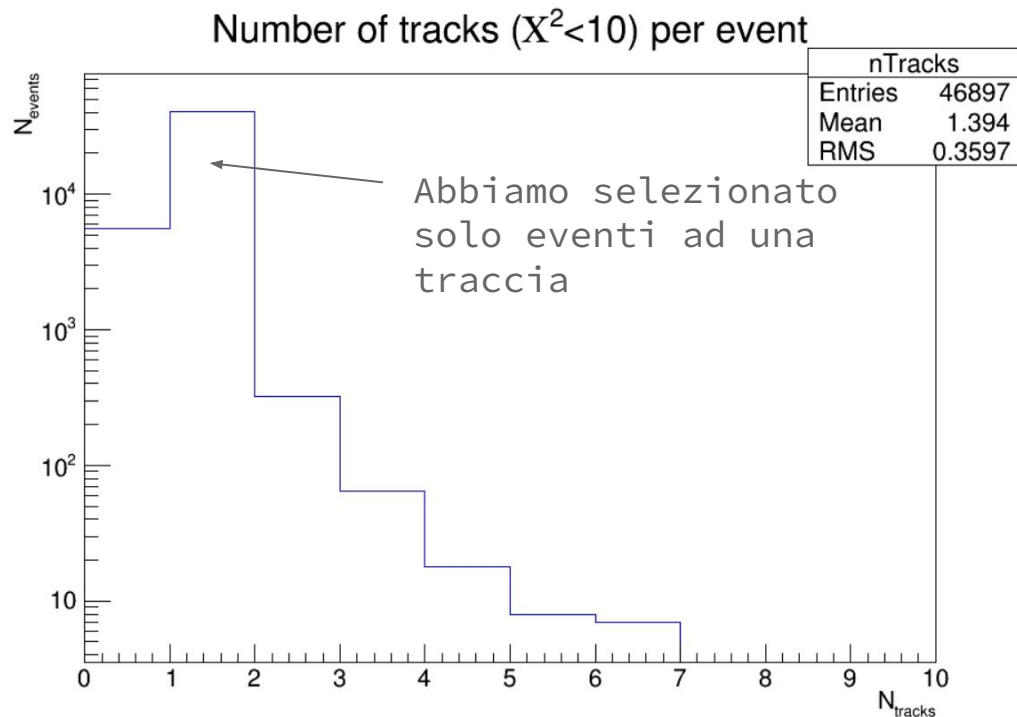
# CATALOGAZIONE DELLE TRACCE: DIREZIONE E VARIABILI

- Le tracce vengono salvate in forma **parametrica**, attraverso un punto di riferimento e la loro direzione
- La variabile **TimeOfFlight** permette di analizzare le tracce in base alla **direzione di propagazione** (verso il basso o verso l'alto)
- La variabile **ChiSquare** monitora la qualità delle tracce
  - **ChiSquare  $\approx 1$**  traccia di alta qualità
  - **ChiSquare  $\gg 1$**  traccia di bassa qualità



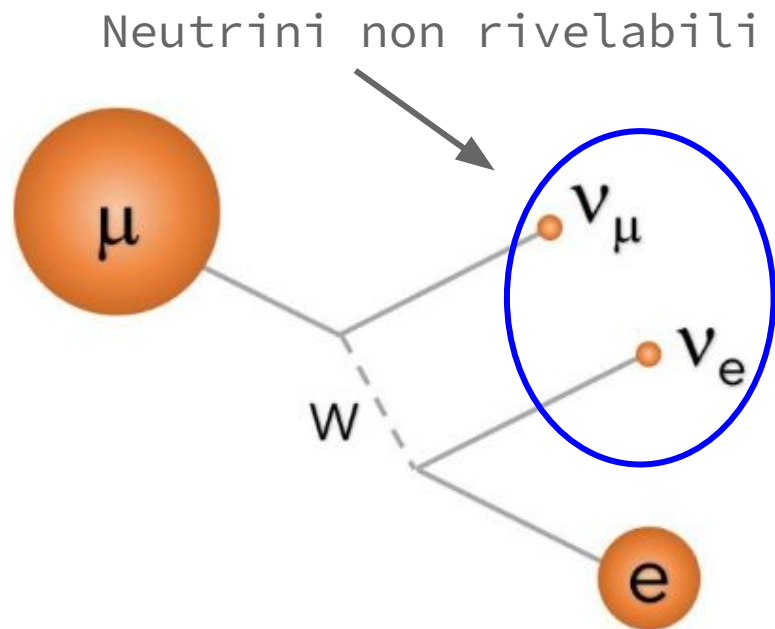
# NUMERO DI TRACCE PER EVENTO

- Gli eventi registrati possono contenere una, nessuna o molteplici tracce
- Gli eventi vuoti sono caratterizzati da **trigger** con i quali non è possibile ricostruire una traccia
- **Per il corrente studio abbiamo selezionato eventi con una sola traccia**



# IL DECADIMENTO DEL MUONE

- Il Muone è una particella instabile che **decade in un elettrone e due neutrini** tramite Interazione Debole
- Dei prodotti di decadimento, solo l'elettrone può essere rivelato con i telescopi di EEE
- La costante tempo del decadimento,  $\tau$ , vale circa  $2 \mu\text{s}$



**$\mu$  MEAN LIFE  $\tau$**

VALUE ( $10^{-6}$  s)

DOCUMENT ID

**$2.1969811 \pm 0.0000022$  OUR AVERAGE**

[https://pdg.lbl.gov/2025/listings/contents\\_listings.ht](https://pdg.lbl.gov/2025/listings/contents_listings.ht)

ml

# DATI UTILIZZATI E SCOPO DELLO STUDIO

## Dati Utilizzati:

- I dati utilizzati corrispondono al **Telescopio di Arezzo, tutto il mese di Marzo 2020**
  - Grazie a **Edoardo Bossini** per averci fornito i dati!
- **Circa 40 Milioni di eventi! (6,8 GB in 832 ROOT files)**

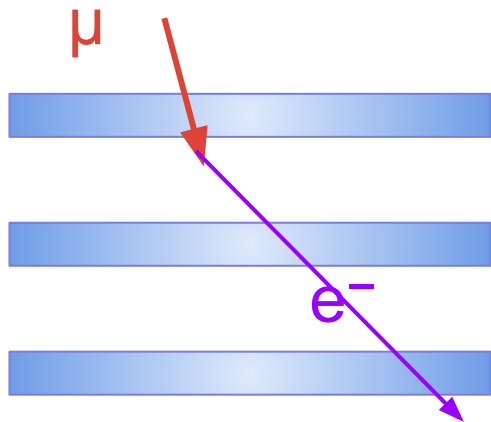
## Scopo dello studio:

- Selezionare un campione di decadimenti “visibili” del muone
- Produrre Event Display (fotografie) dei decadimenti per ispezionare questi interessanti eventi in modo manuale
- Stimare il numero di decadimenti visibili che un rivelatore può registrare in un giorno di presa dati
- Fare esperienza di coding (supportato da AI) e analisi dati

# DECADIMENTI VISIBILI E INVISIBILI PER I TELESCOPI EEE

## Decadimento Invisibile

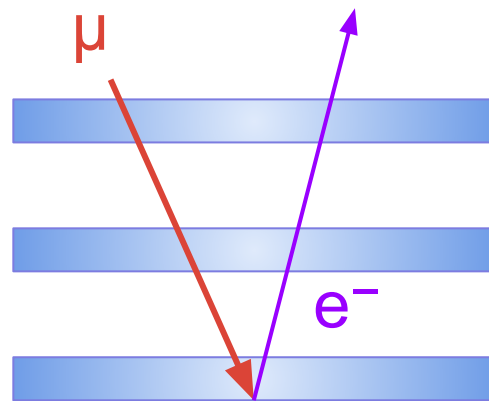
Se il muone decade in volo il decadimento è invisibile. Il telescopio vede una traccia singola (non c'è distinzione fra hits del muone e dell'elettrone)



**Per la conservazione della quantità di moto, il muone si deve fermare prima di poter decadere in un elettrone che va verso l'alto**

## Decadimento Visibile

Per avere un decadimento visibile l'elettrone deve decadere nella direzione opposta di quella di volo del muone ed attraversare i tre piani sensibili (il muone deve essere fermo, o quasi)

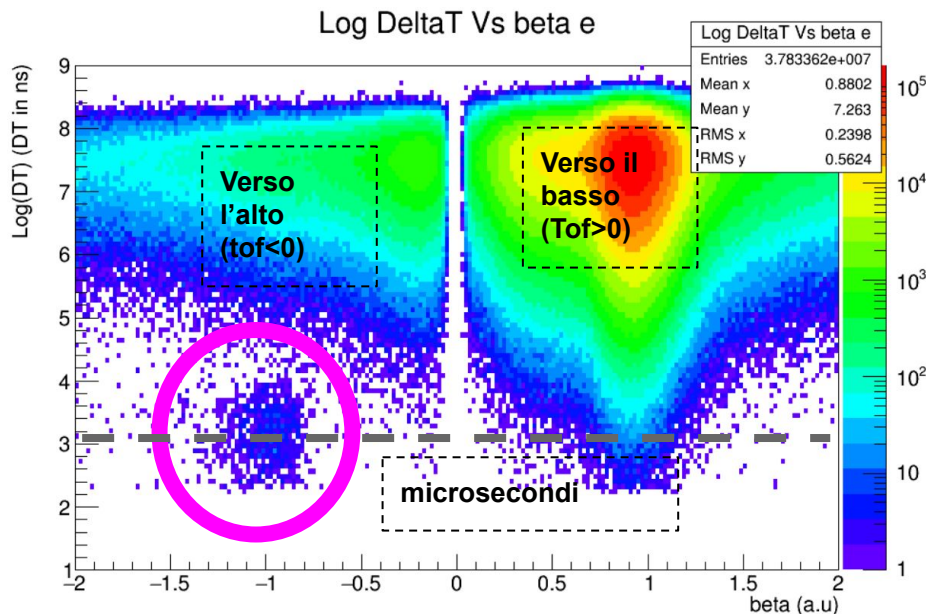




# DISTANZA TEMPORALE FRA DUE EVENTI VS BETA

- Seguendo l'esempio di N.I.M A abbiamo usato il plot  $\text{Log}(\text{DT})$  Vs Beta per identificare i possibili decadimenti del muone
- Selezione eventi:
  - $4 < \text{Log}(\text{DT}) < 2$  e  $\text{beta} -1.5 < \text{beta} < -0.5$
  - tagli solo su tracce con beta negativo
- Se una traccia passa questi tagli è un **candidato elettrone** e si seleziona la traccia dell'evento precedente come **candidato muone**. **L'insieme delle due tracce è un candidato decadimento**
- **Efficienza**  $(2082/39001887) = 5.2 \pm 0.1 \cdot 10^{-5}$

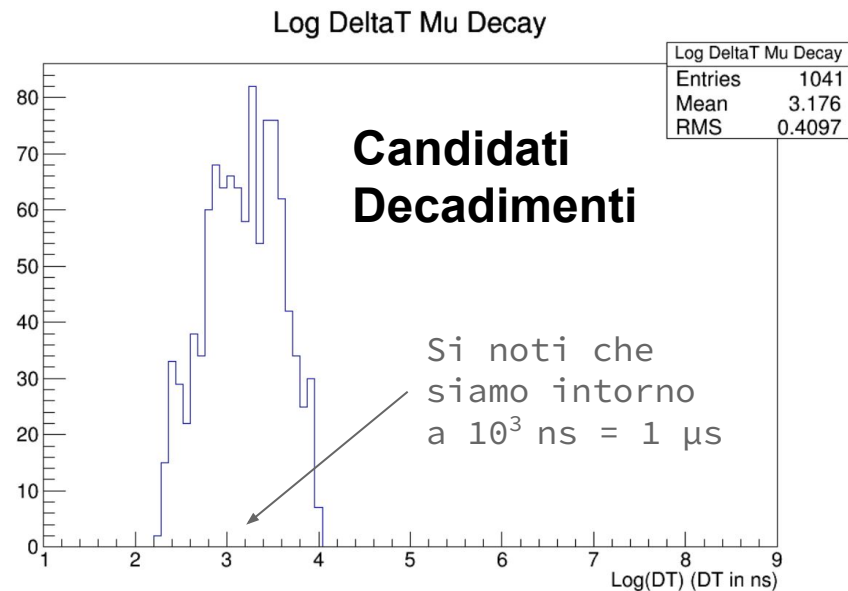
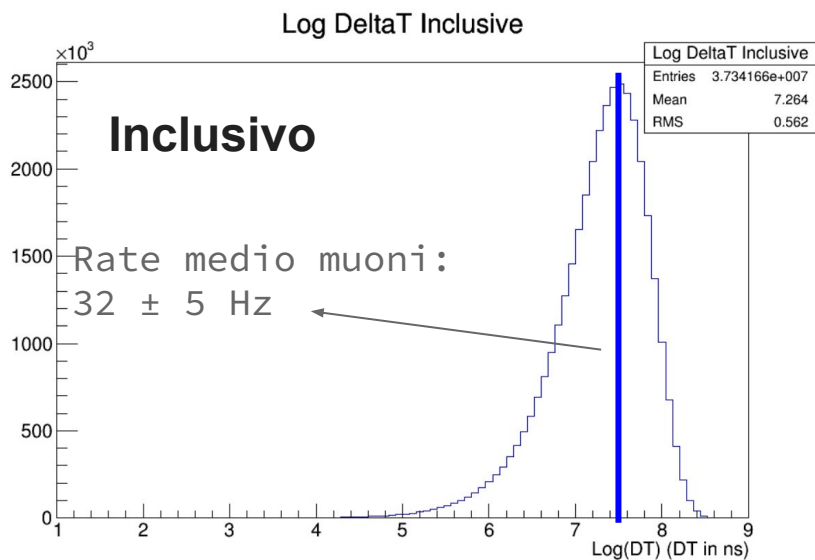
Alle tracce verso l'alto si assegna un beta negativo per distinguerle



Vedere: N.I.M. A 816 (2016) 142-148

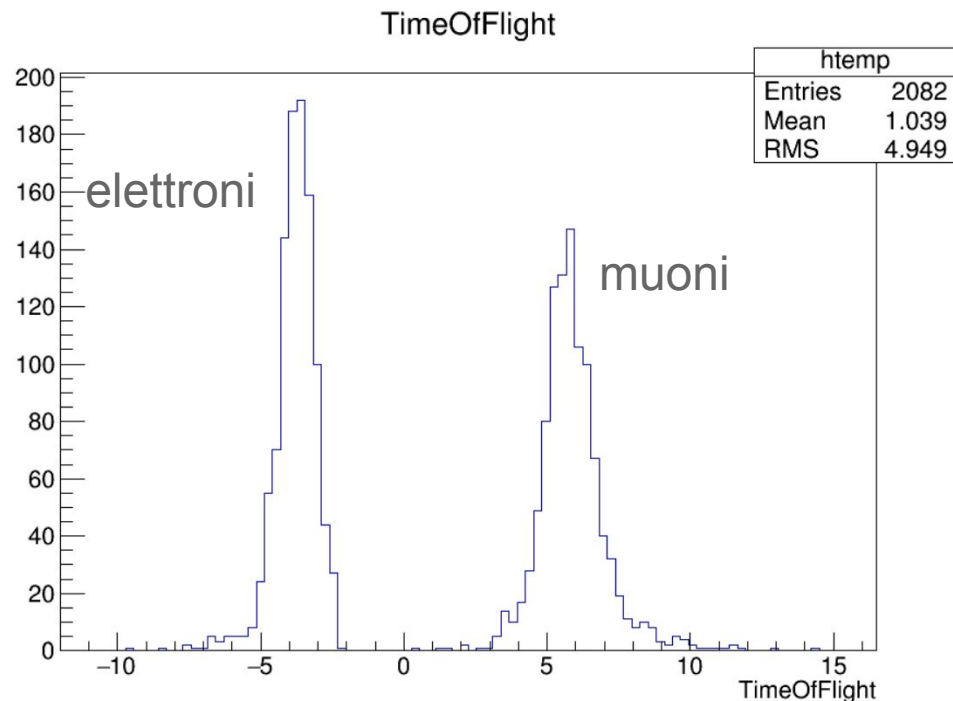
# DISTANZA TEMPORALE FRA EVENTI SUCCESSIVI

- La variabile DT misura l'intervallo di tempo fra un evento e il precedente in nanosecondi
- Si usa il Log poiché DT varia su diversi ordini di grandezza



# CARATTERISTICHE DEGLI EVENTI SELEZIONATI

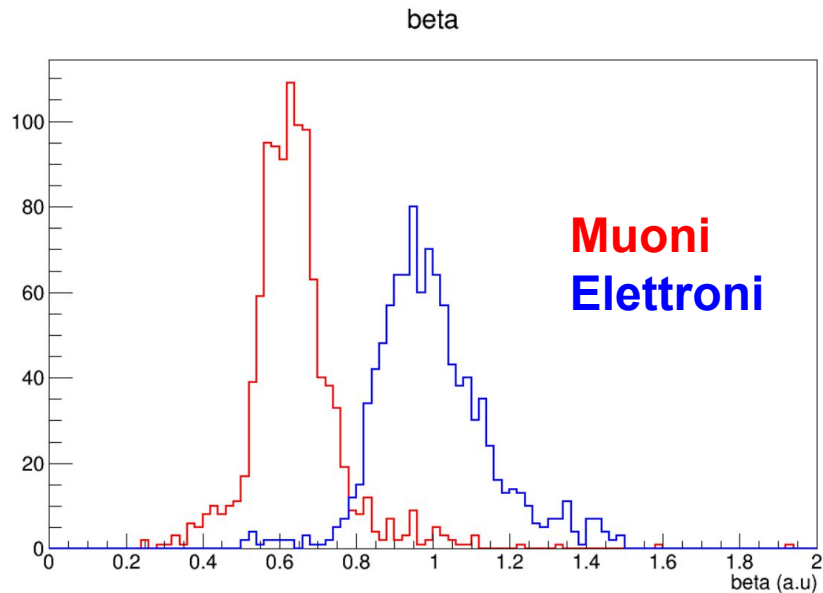
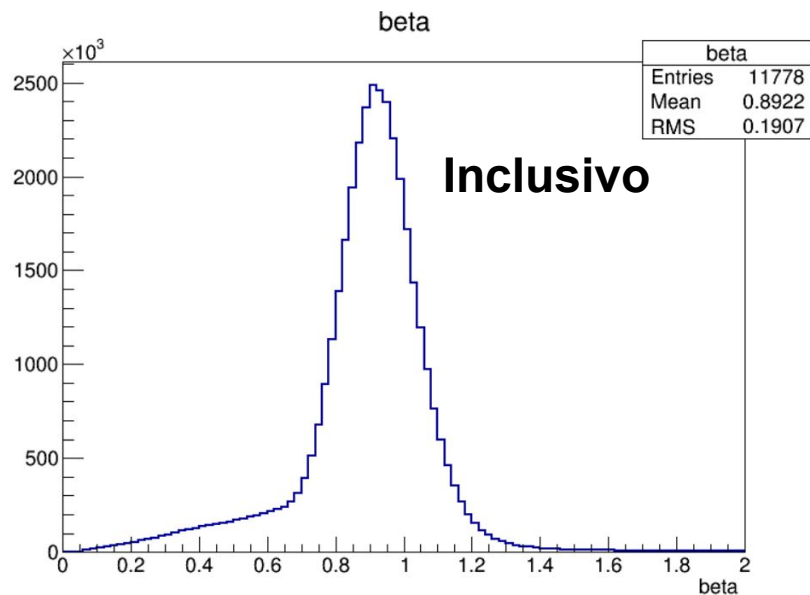
- Nella figura a destra la variabile **TimeOfFlight**, una misura del tempo impiegato dalle particelle per attraversare il telescopio
- Il tempo è negativo per particelle che vanno verso l'alto (candidati elettroni)
- Elettroni sono più veloci dei corrispondenti Muoni



Per gli elettroni TimeOfFlight è intorno a 3.5 ns, mentre per i muoni il picco è intorno a 6 ns

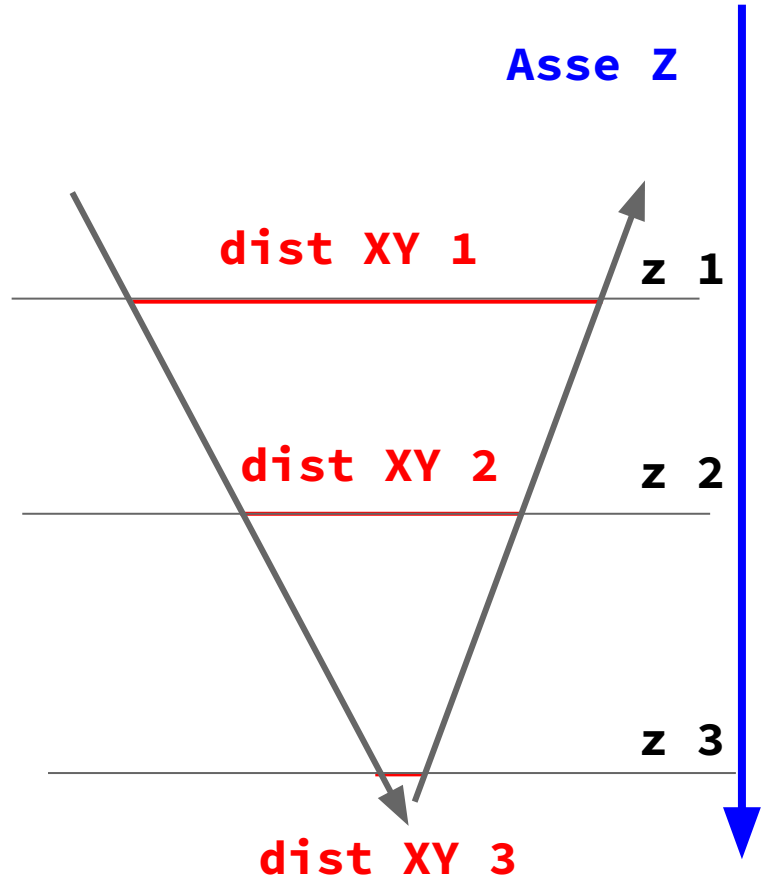
# CARATTERISTICHE DEGLI EVENTI SELEZIONATI (II)

I plot rappresentano il fattore  $\beta$  ( $v/c$ ), valori di  $\beta$  maggiori di 1 sono da attribuire alla risoluzione finita del rivelatore



# RICOSTRUZIONE DEL VERTICE

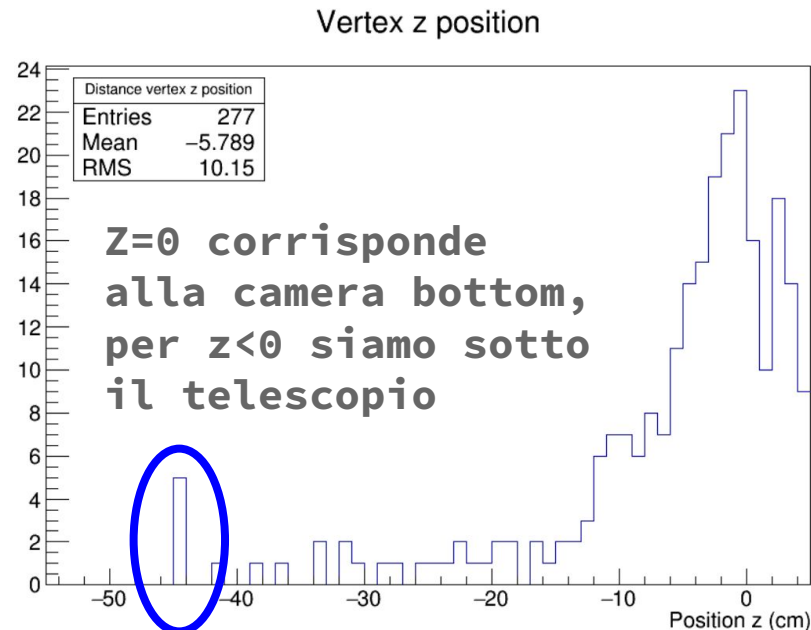
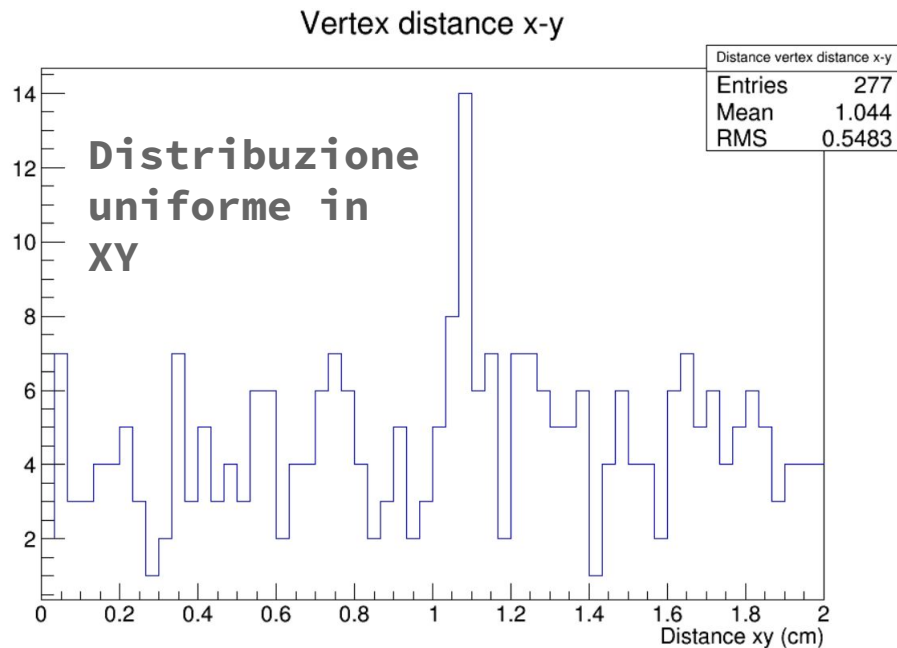
- Abbiamo sfruttato il fatto che le tracce hanno entrambe direzione verticale
- **Si cercano le intersezioni su un piano a  $Z=\text{cost}$  e si calcola la distanza degli hit in XY**
- Il piano  $Z=\text{cost}$  si muove verso il basso (**da 5 cm sopra la camera Bottom fino a 50 cm al di sotto di questa**)
- Se la distanza XY sul corrente piano risulta  $< 2$  cm allora le coordinate del vertice sono date dal punto medio fra gli hits in XY e la Z del piano corrispondente all'ultima iterazione



**Se dist XY ha un minimo  $< 2\text{cm}$  abbiamo un vertice!**

# SAMPLE FINALE: POSIZIONE DEL VERTICE

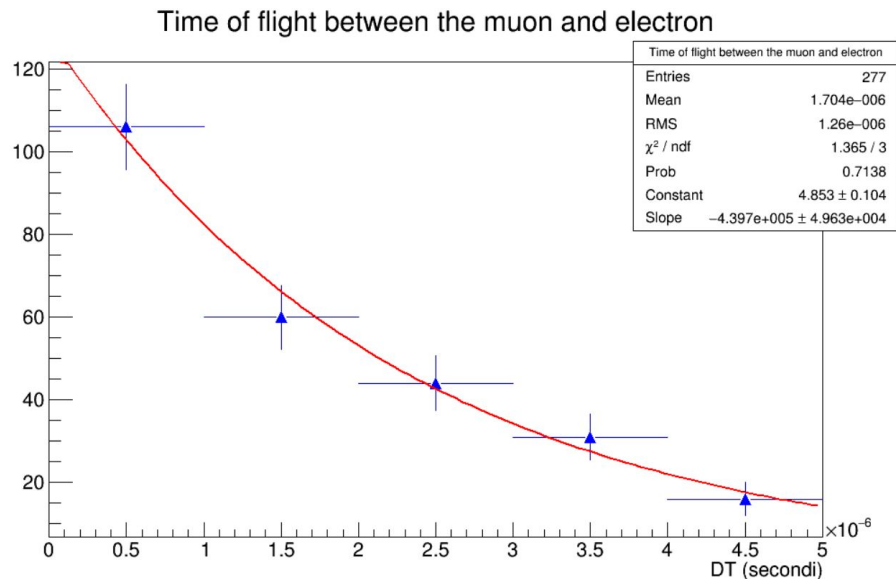
Restano solo 277 eventi, sotto la posizione del vertice in XY e Z



Decadimenti sul pavimento?

# SAMPLE FINALE: TEMPO DI DECADIMENTO

- La differenza temporale fra le due tracce (muone ed elettrone) è una misura del tempo di decadimento del muone
- $\tau = 2,3 \pm 0,2 \mu\text{s}$  (Valore estratto da fit esponenziale)
- Ottimo accordo con il valore atteso di **2,197  $\mu\text{s}$** !



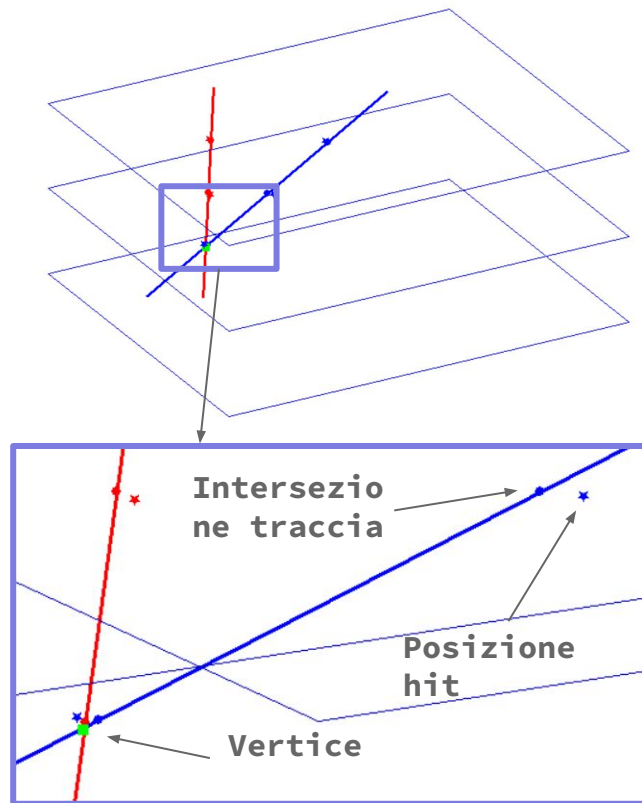
$$N(t) = N_0 \cdot e^{-t/\tau}$$

# ALCUNI EVENT DISPLAY



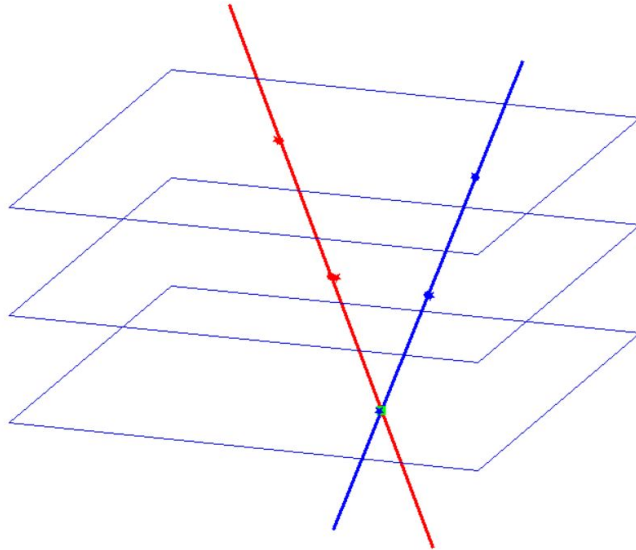
# LEGENDA PER GLI EVENT DISPLAY: EVENTO N. 277

- Si rimane con 277 decadimenti (100 tagliando su  $\chi^2 < 10$ )
- Per ogni evento si rappresenta la traccia del **Muone** e dell'**Eletttrone**, le camere sono rappresentate da tre piani paralleli distanti 50 cm
- Le Stelline ★ indicano gli hit registrati dal rivelatore (posizione misurata)
- I cerchietti ○ sono le intersezioni delle tracce con le camere (posizione attesa)
- Il pallino verde ● rappresenta la posizione ricostruita del Vertice
- Nel file ROOT gli event display sono navigabili in 3D

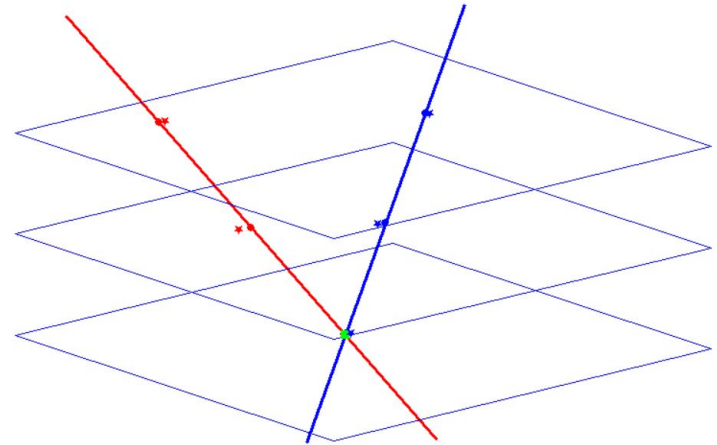


# ALCUNI EVENTI DI BUONA QUALITÀ

$\text{ChiSq} < 10$  per ognuna delle due tracce



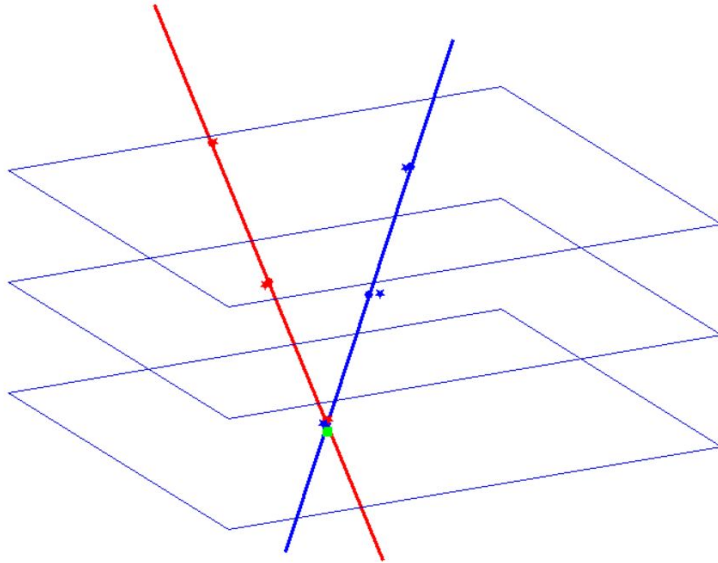
Vertice: (x = 47.46, y = 25.24, z = 0.60 cm, distxy = 0.18cm)



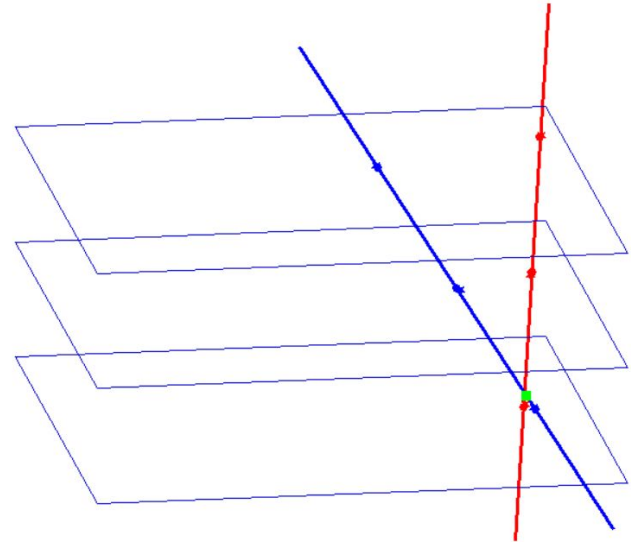
Vertice: (x = 64.70, y = 39.20, z = -0.20 cm, distxy = 0.55cm)

# ALCUNI EVENTI DI BUONA QUALITÀ (II)

Se volete vederli tutti, vi  
diamo il ROOT file!

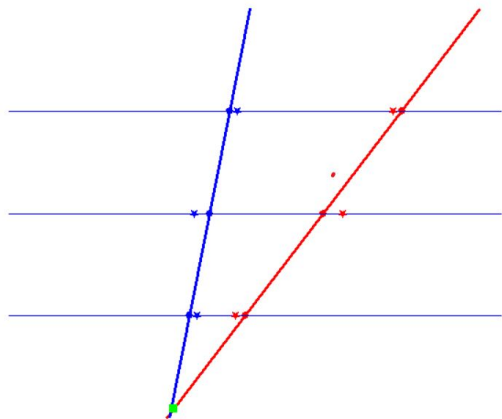


Vertice: (x = 76.64, y = 45.70, z = -3.20 cm, distxy = 1.03cm)

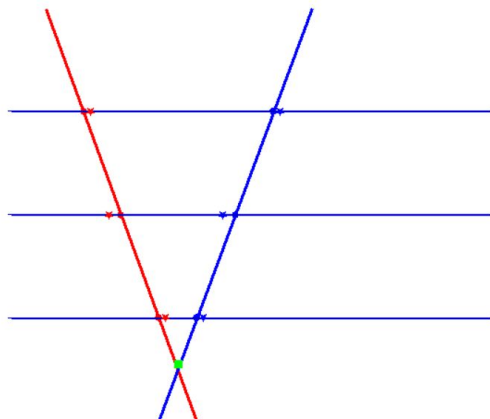


Vertice: (x = 133.63, y = 42.46, z = 4.80 cm, distxy = 1.92cm)

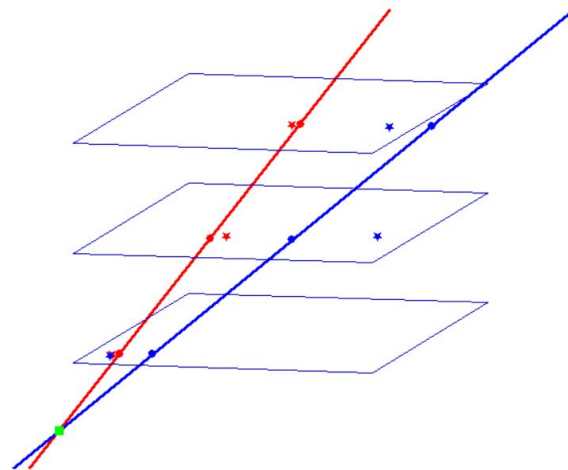
# ALCUNI EVENTI CON VERTICE LONTANO DALLA CAMERA



Vertice:  $(x = 49.60, y = 31.24, z = -45.00)$

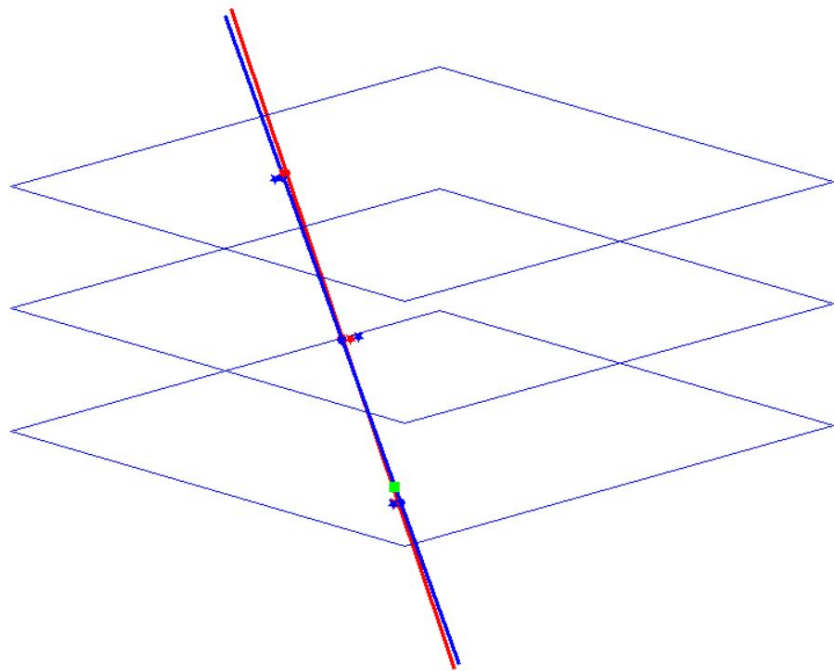


Vertice:  $(x = 59.74, y = 27.73, z = -22.40)$



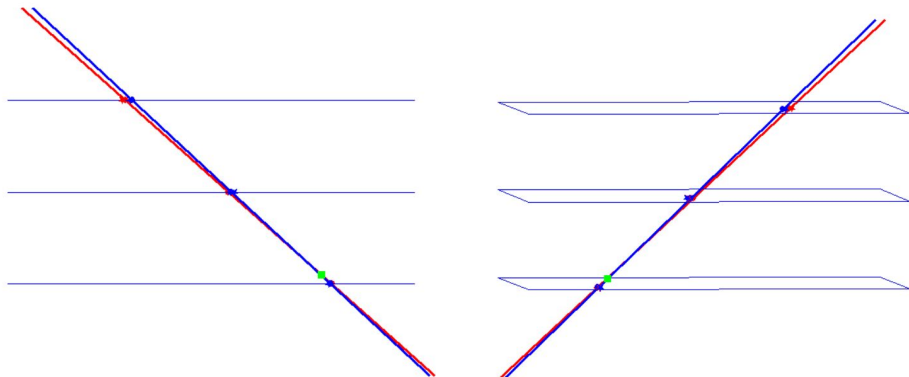
Vertice:  $(x = 11.01, y = -5.90, z = -33.40)$

# EVENTO BIZZARRO (N.151)



Vertice: (x = 123.44, y = 62.36, z = 5.00)

In questo evento le due tracce sono quasi sovrapposte, un (rarissimo) decadimento back-to-back o un problema di ricostruzione?



# CONCLUSIONI

- Abbiamo studiato il decadimento del Muone tramite i dati dei telescopi di EEE
- Abbiamo individuato **meno di 300 decadimenti** visibili su un sample di circa **30 milioni di eventi** (1 su 100.000),
  - Il totale corrisponde ad un mese di presa dati di un telescopio, che quindi in media registra circa 10 eventi di questo tipo al giorno
- Abbiamo prodotto **Event Display per i decadimenti**, utile ad un'ispezione "manuale" dei dati
- **Abbiamo stimato la costante  $\tau$  nel decadimento del Muone ottenendo un valore in ottimo accordo con le attese**
- Prossimamente: studio di eventi con più tracce tramite event display

# GRAZIE PER L'ATTENZIONE!



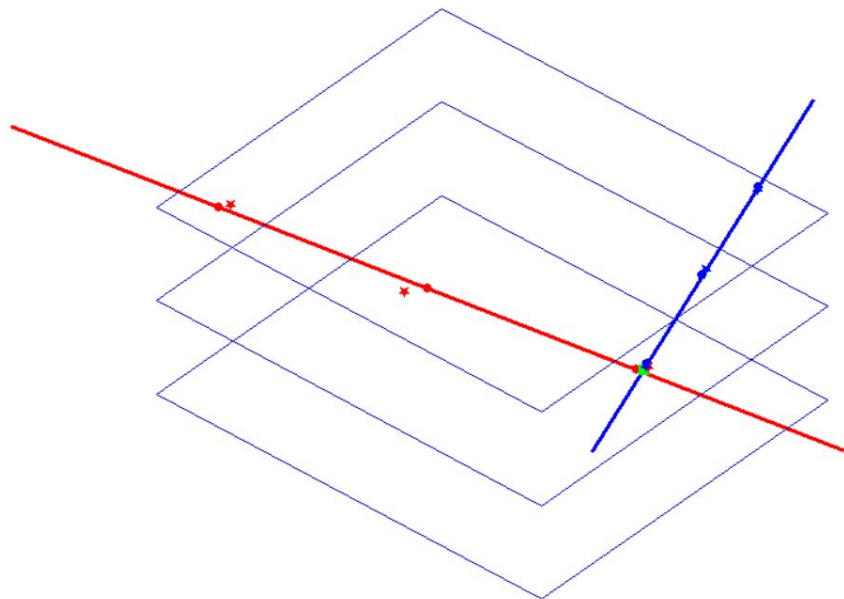
**Visita il nostro sito:**

<https://sites.google.com/liceofilippobuonarroti.it/eeeatbuonarroti/home-page>

BACK-UP

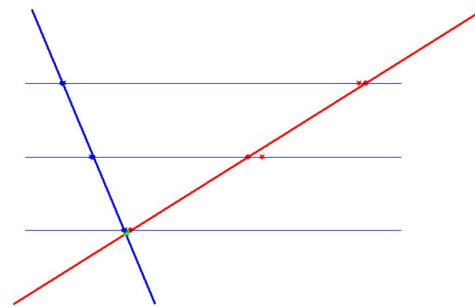


# EVENTO N.38



**Vertice:** (x = 51.11, y = 14.62, z = -1.40)

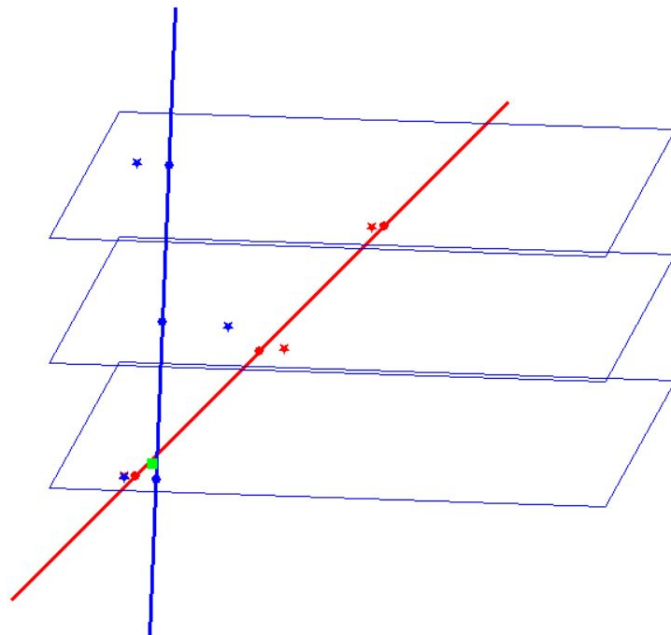
In questo evento abbiamo le traiettorie del muone e dell'elettrone ai due estremi opposti del primo livello dello scintillatore.



**Vertice:** (x = 51.11, y = 14.62, z = -1.40)

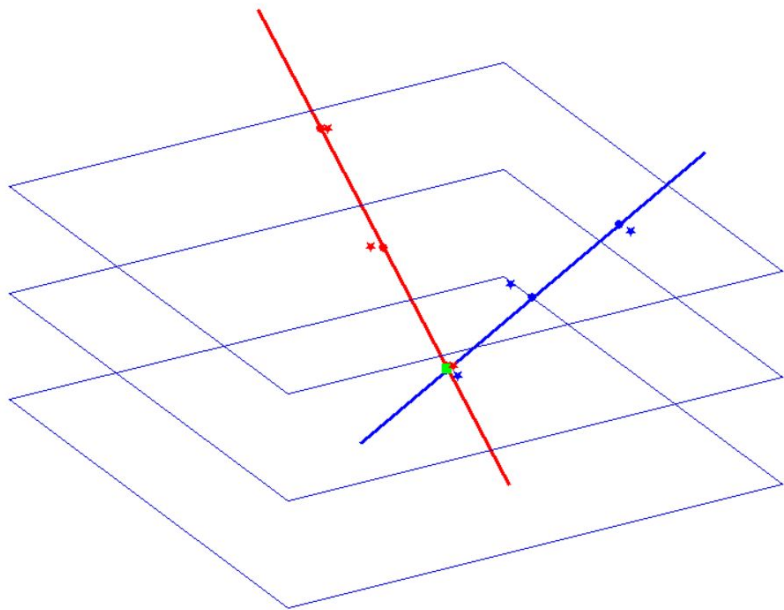
# EFFETTO DELLA RICOSTRUZIONE: EVENTO N.249

- Questo evento è caratterizzato da hits (★) distanti dalle intersezioni della traccia con le camere (◼) indicando una ricostruzione delle tracce di bassa qualità
- Ispezionare gli event display può essere utile per comprendere i limiti della ricostruzione delle tracce con soli tre punti

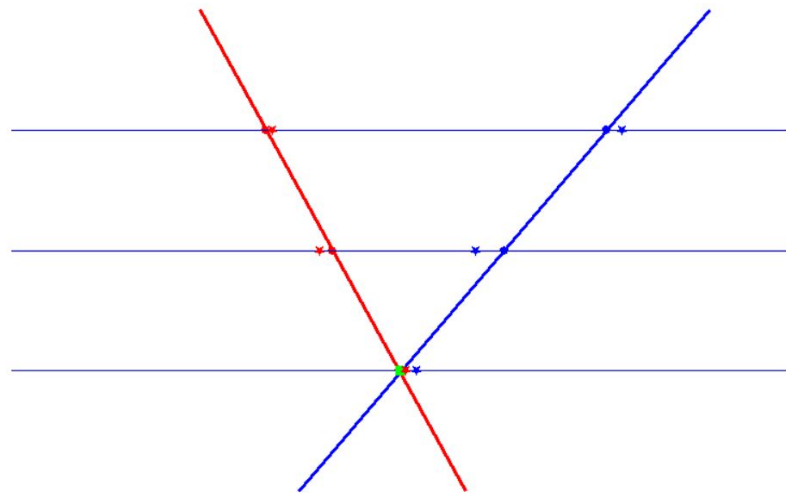


**Vertice: (x = 18.41, y = 66.40, z = 5.00, distxy = 1.30)cm**

# VERTICE SULLA CAMERA BOTTOM, $z=0$ : EVENTO N.234

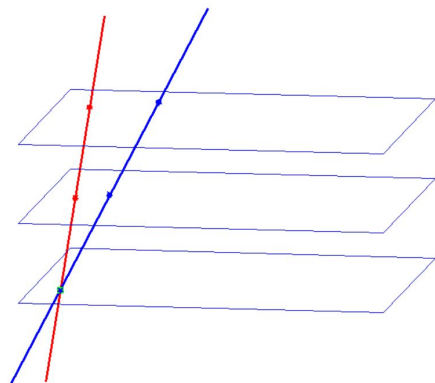


Vertice: (x = 109.02, y = 57.60, z = 0.00, distxy = 1.60)cm

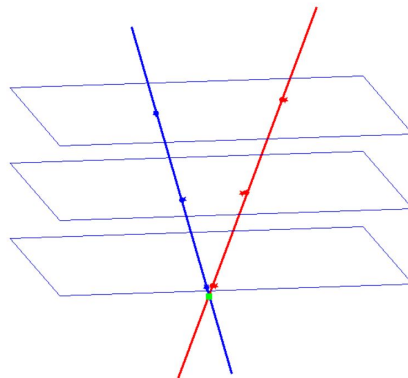


Vertice: (x = 109.02, y = 57.60, z = 0.00)

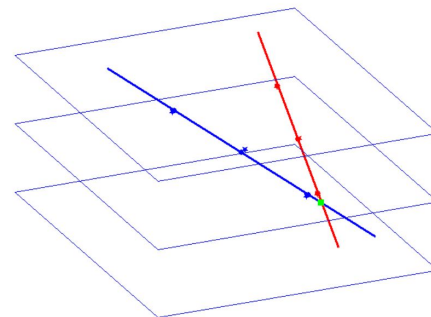
# ALTRI EVENTI



Vertice: (x = 11.89, y = 20.00, z = 0.00 cm, distxy = 0.57cm)



Vertice: (x = 64.49, y = 3.62, z = -5.40 cm, distxy = 0.74cm)



Vertice: (x = 50.64, y = 73.62, z = -8.40 cm, distxy = 1.00cm)