



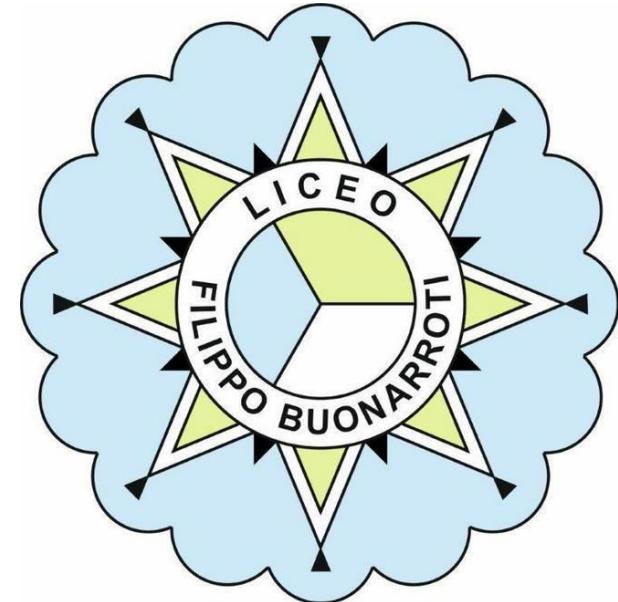
STUDIO DEL DECADIMENTO DEL MUONE CON I TELESCOPI DI EEE

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

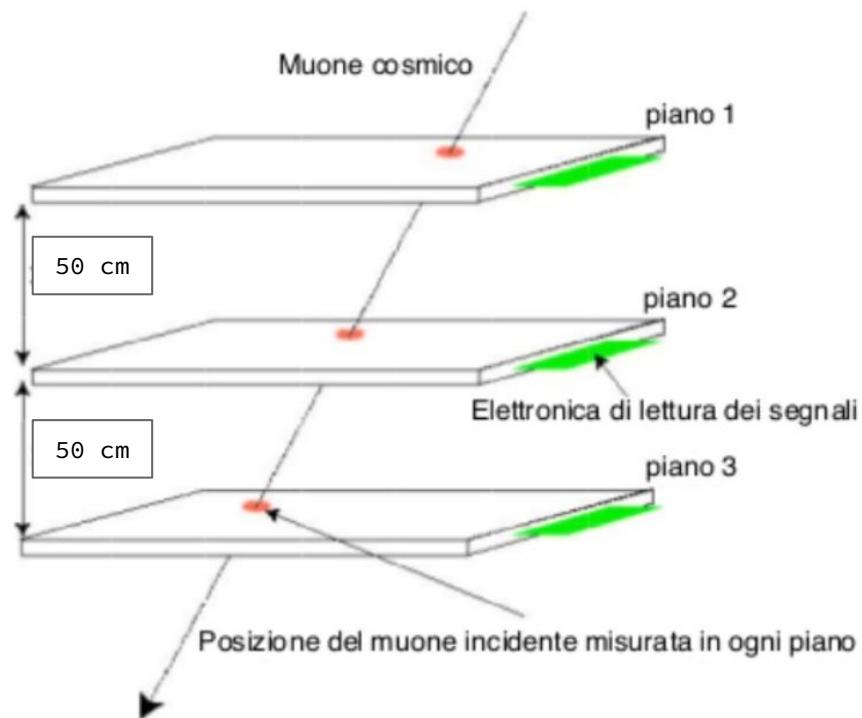
SOMMARIO

- 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 τ
- Alcuni Event Display
- Conclusioni



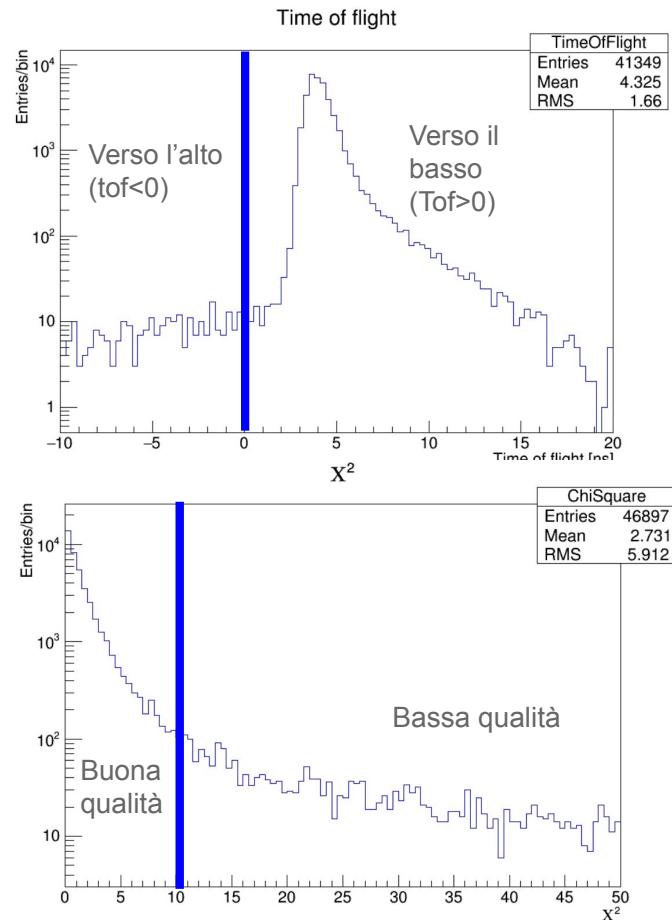
RICOSTRUZIONE DELLE TRACCE NEI TELESCOPI DI EEE

- 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**



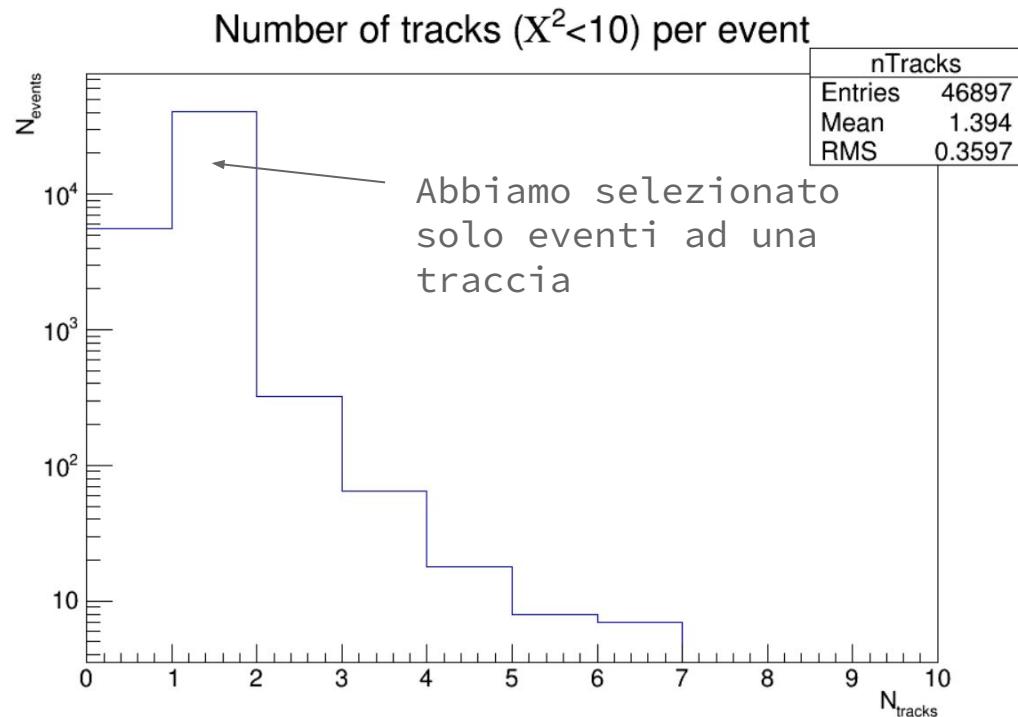
CATALOGAZIONE DELLE TRACCE: DIREZIONE E VARIABILI

- 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 ≈ 1 traccia di alta qualità
 - ChiSquare >> 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

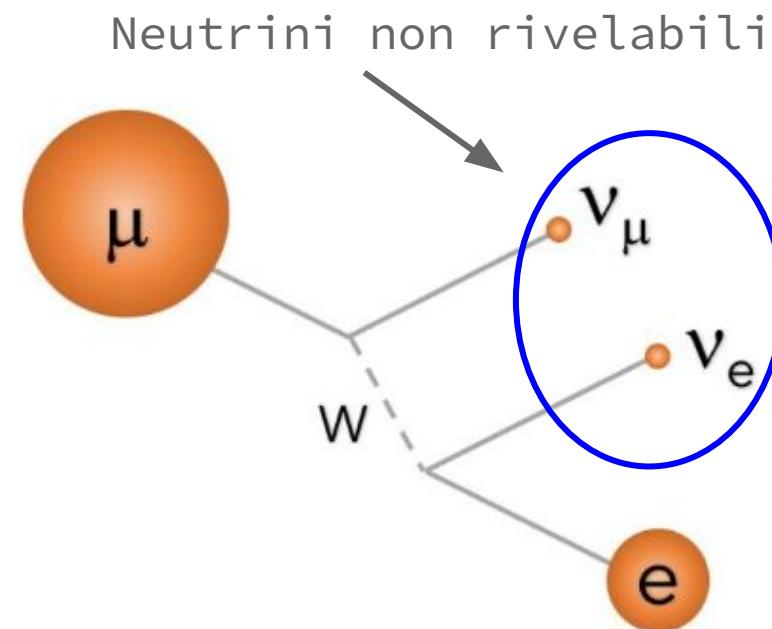
- Il Muone è una particella instabile che **decade in un elettrone e due neutrini** tramite Interazione Debole
- Dei prodotti di decadimento, solo l'elettrone può essere rivelato con i telescopi di EEE
- La costante tempo del decadimento, τ , vale circa 2 μs

μ MEAN LIFE τ

VALUE (10^{-6} s)

2.1969811 ± 0.0000022 OUR AVERAGE

https://pdg.lbl.gov/2025/listings/contents_listings.html



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)**

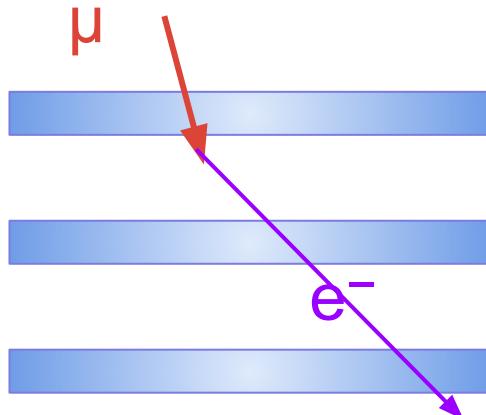
Scopo dello studio:

- 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

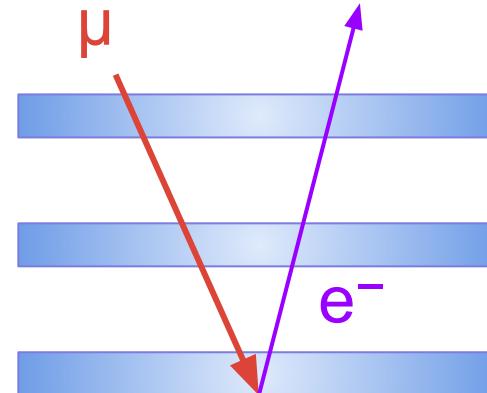
Se il muone decade in volo il decadimento è invisibile. Il telescopio vede una traccia singola (non c'è distinzione fra hits del muone e dell'elettrone)



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

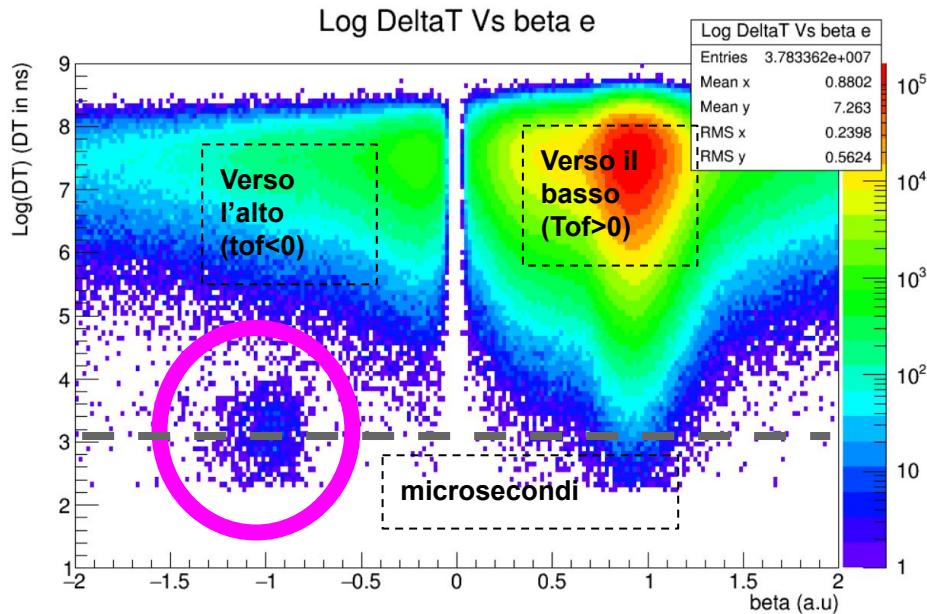
Per avere un decadimento visibile l'elettrone deve decadere nella direzione opposta di quella di volo del muone ed attraversare i tre piani sensibili (il muone deve essere fermo, o quasi)



DISTANZA TEMPORALE FRA DUE EVENTI VS BETA

- Seguendo l'esempio di N.I.M A abbiamo usato il plot Log(DT) Vs Beta per identificare i possibili decadimenti del muone
- Selezione eventi:
 - $4 < \text{Log}(DT) < 2$ 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** $(2082/39001887) = 5.2 \pm 0.1 \cdot 10^{-5}$

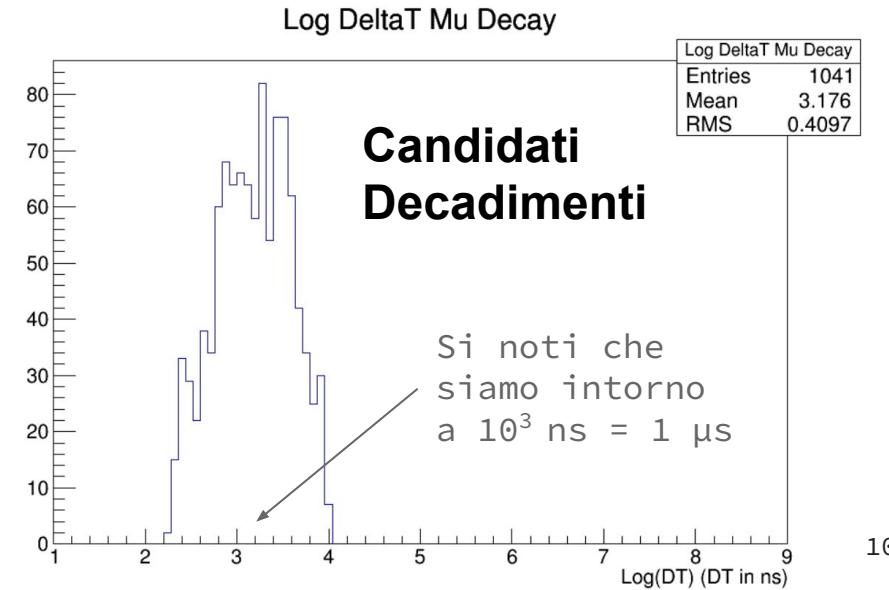
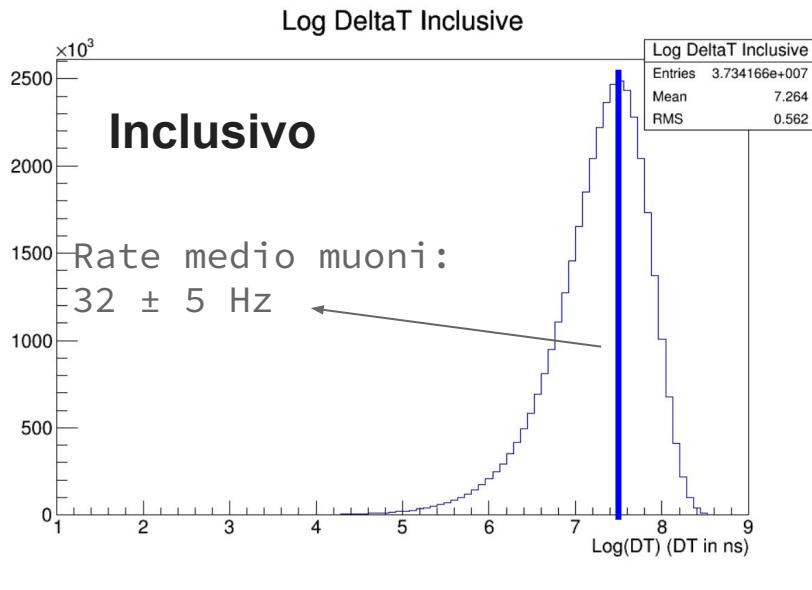
Alle tracce verso l'alto si assegna un beta negativo per distinguerle



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

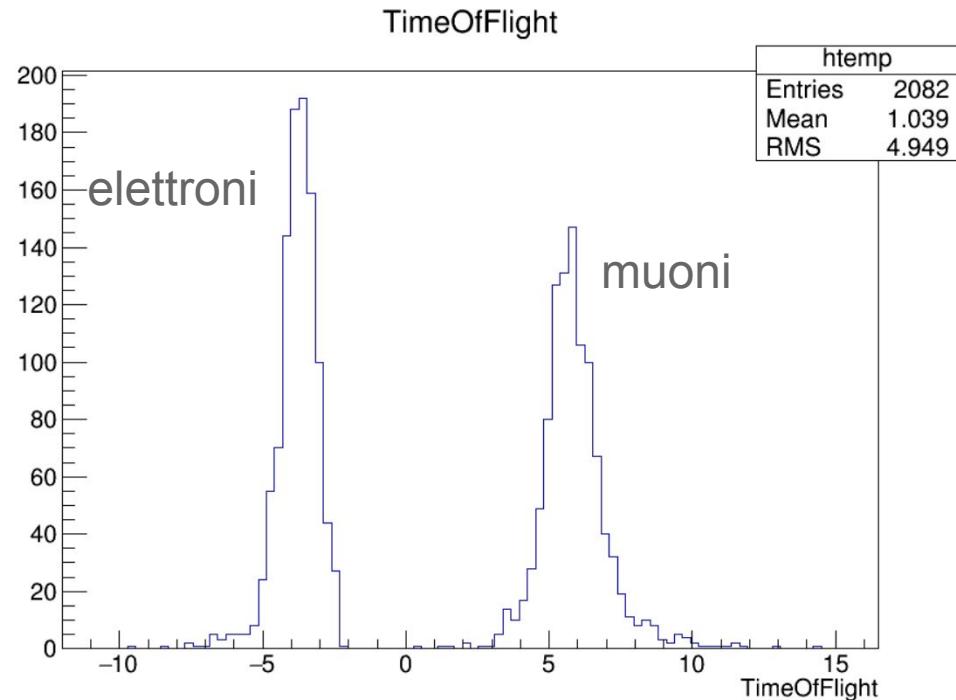
DISTANZA TEMPORALE FRA EVENTI SUCCESSIVI

- 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

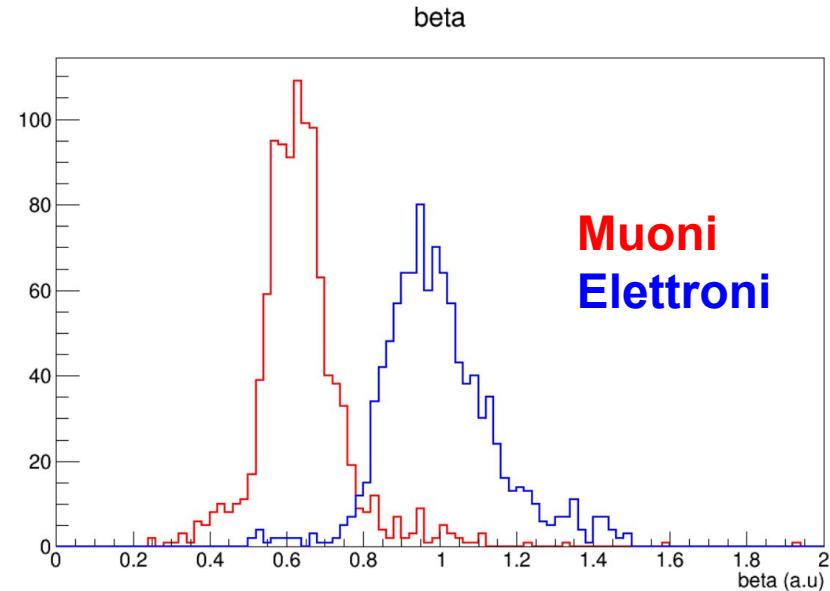
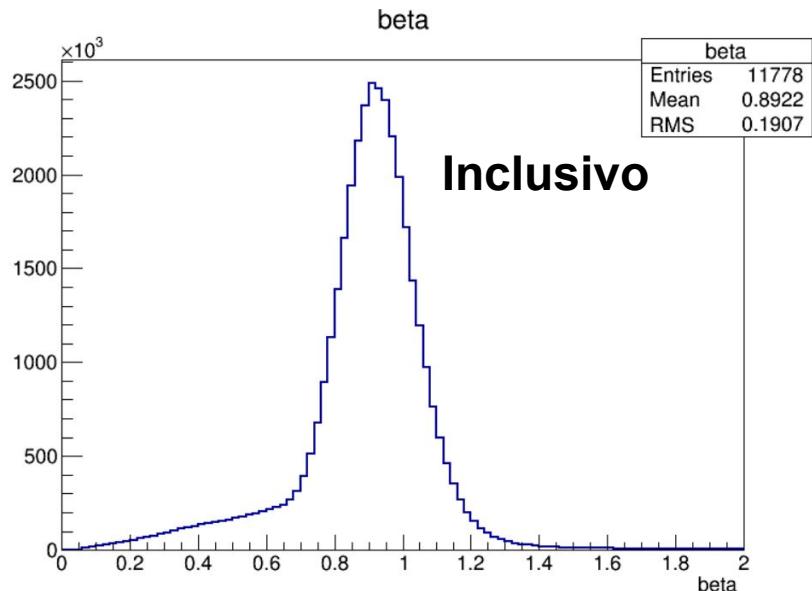
- Nella figura a destra la variabile **TimeOfFlight**, una misura del tempo impiegato dalle particelle per attraversare il telescopio
- Il tempo è negativo per particelle che vanno verso l'alto (candidati elettroni)
- Elettroni sono più veloci dei corrispondenti Muoni



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

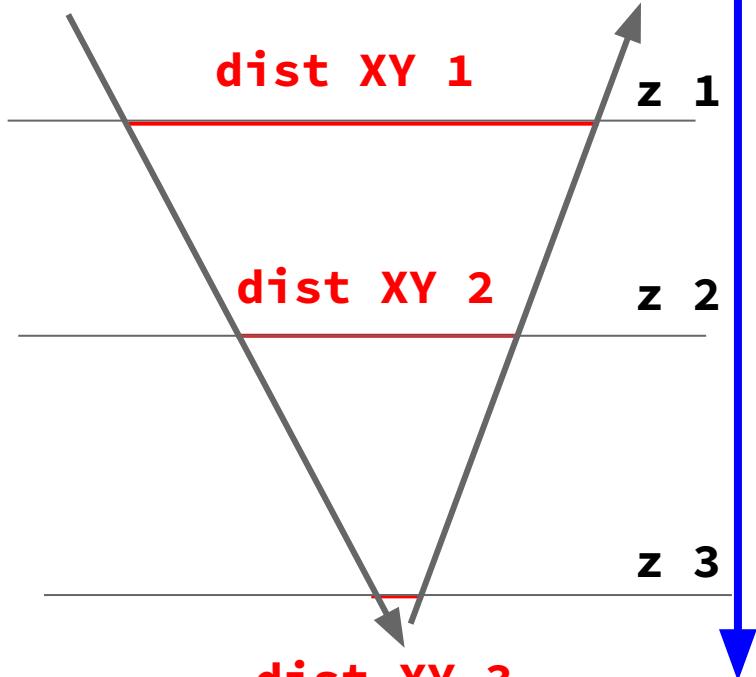
CARATTERISTICHE DEGLI EVENTI SELEZIONATI (II)

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



RICOSTRUZIONE DEL VERTICE

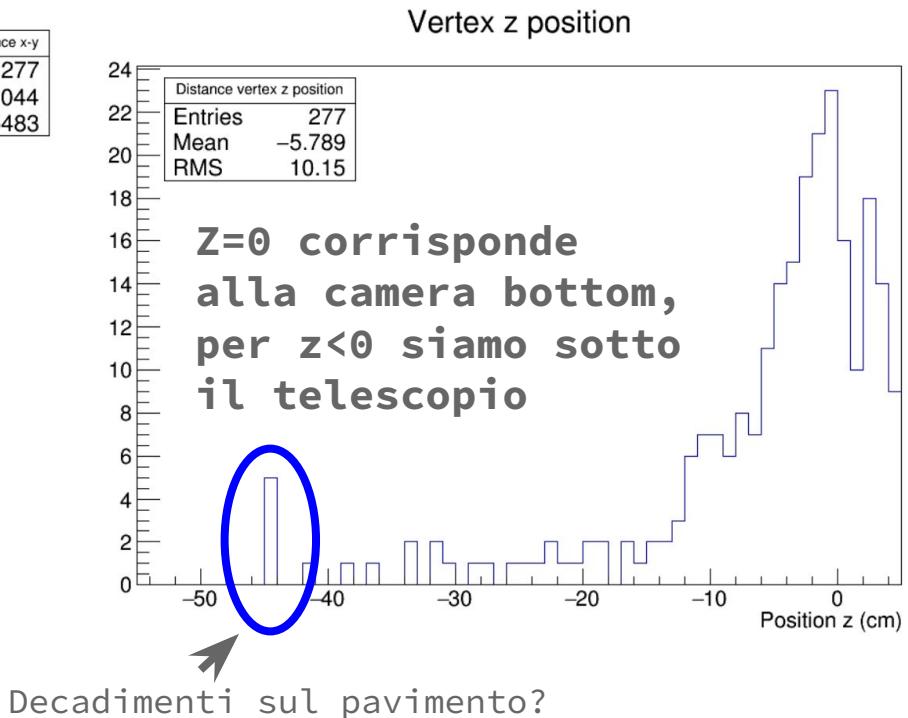
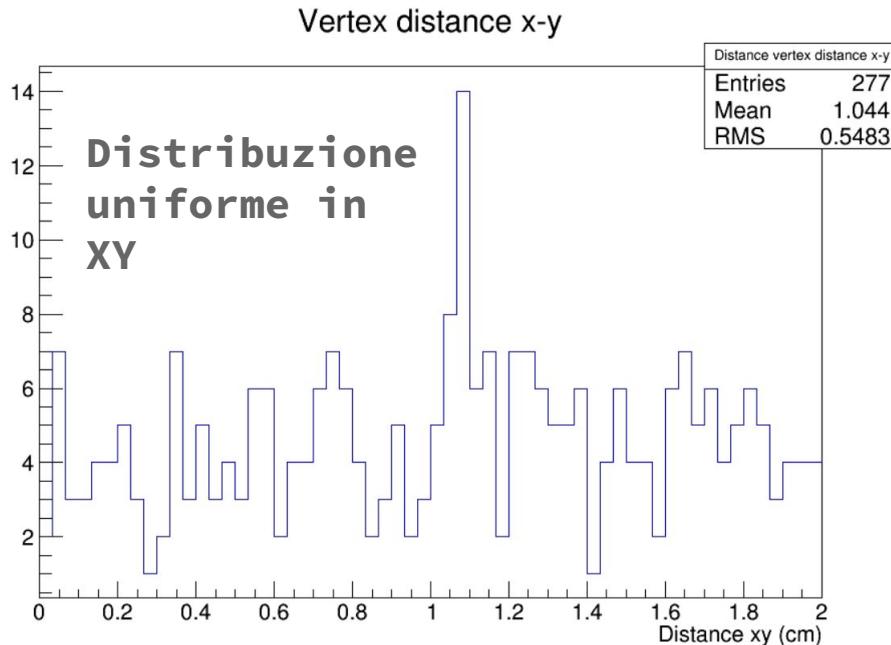
- Abbiamo sfruttato il fatto che le tracce hanno entrambe direzione verticale
- **Si cercano le intersezioni su un piano a $Z=\text{cost}$ e si calcola la distanza degli hit in XY**
- Il piano $Z=\text{cost}$ si muove verso il basso (**da 5 cm sopra la camera Bottom fino a 50 cm al di sotto di questa**)
- Se la distanza XY sul corrente piano risulta $< 2 \text{ cm}$ 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!

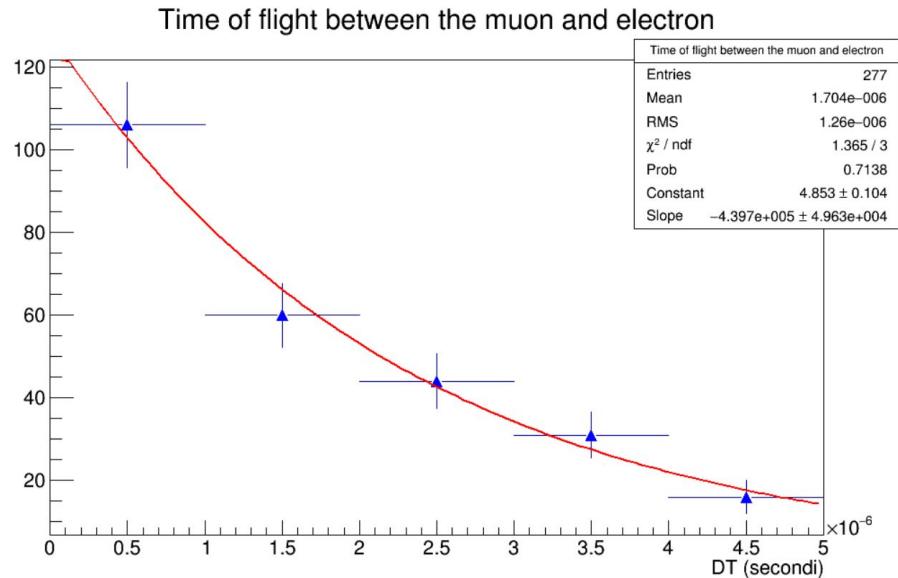
SAMPLE FINALE: POSIZIONE DEL VERTICE

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



SAMPLE FINALE: TEMPO DI DECADIMENTO

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

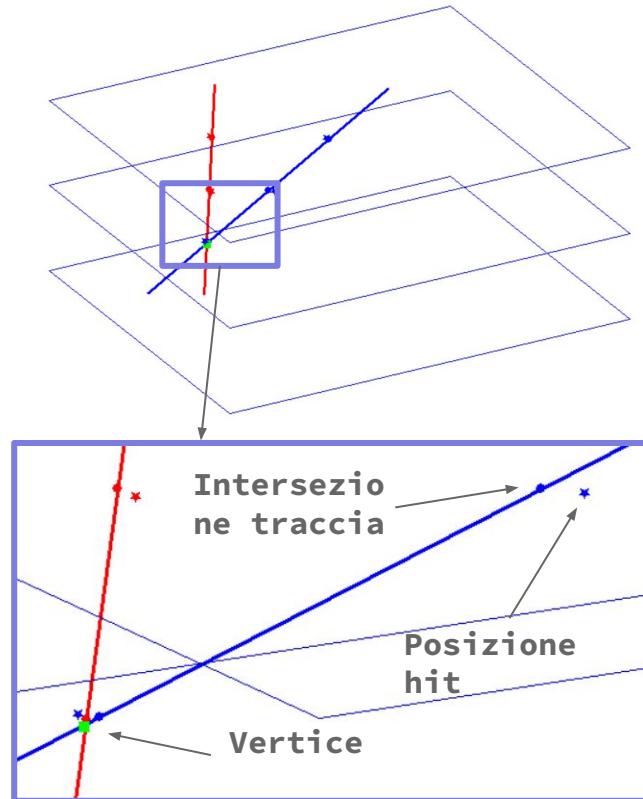


$$N(t) = N_0 \cdot e^{-t/\tau}$$

ALCUNI EVENT DISPLAY

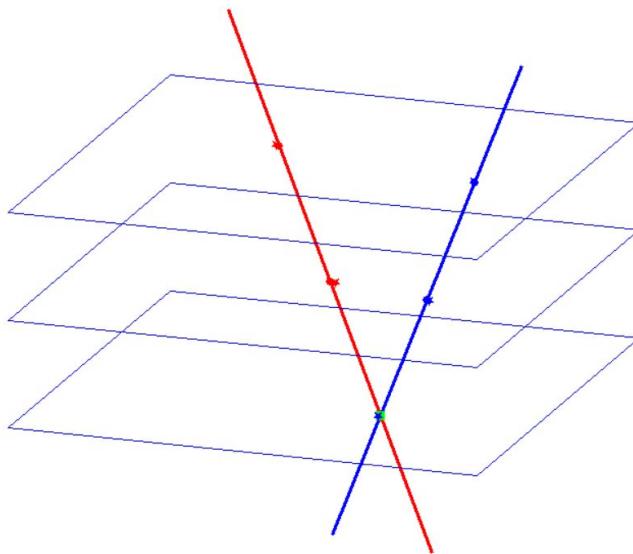
LEGENDA PER GLI EVENT DISPLAY: EVENTO N. 277

- Si rimane con 277 decadimenti (100 tagliando su $\chi^2 < 10$)
- Per ogni evento si rappresenta la traccia del **Muone** e dell'**Elettrone**, 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

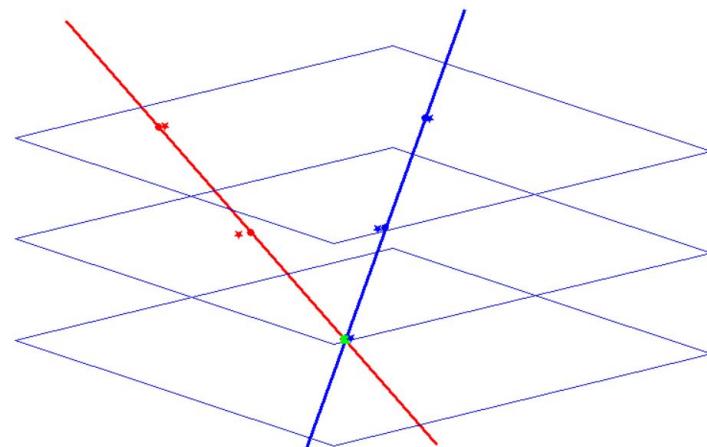


ALCUNI EVENTI DI BUONA QUALITÀ

ChiSq<10 per ognuna delle due tracce



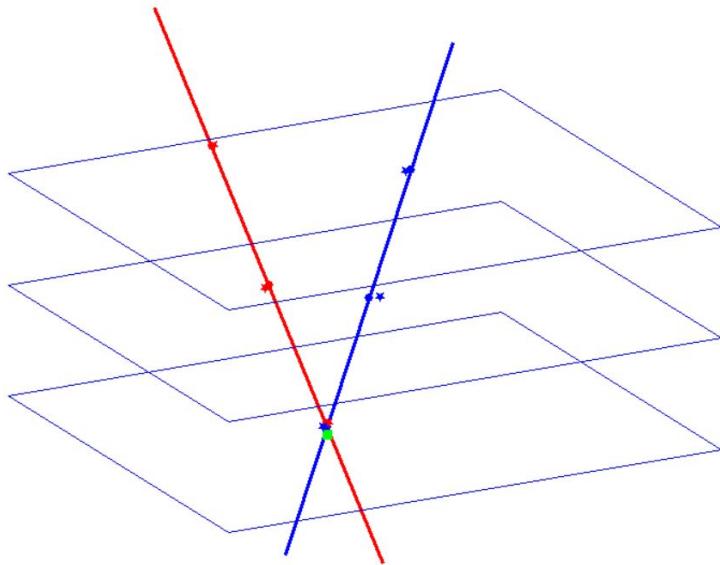
Vertice: (x = 47.46, y = 25.24, z = 0.60 cm, distxy = 0.18cm)



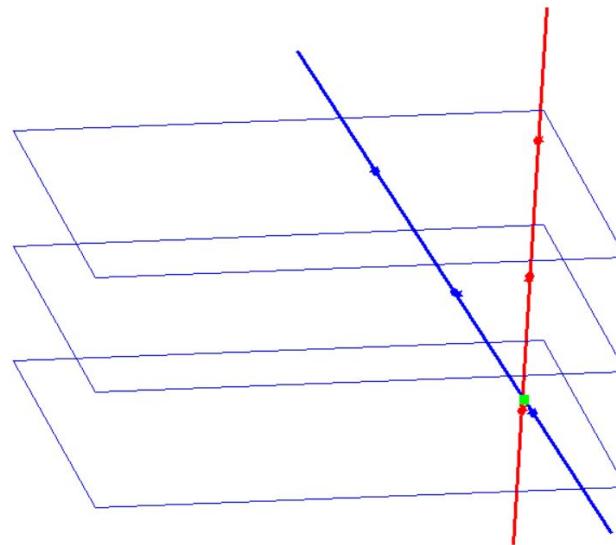
Vertice: (x = 64.70, y = 39.20, z = -0.20 cm, distxy = 0.55cm)

ALCUNI EVENTI DI BUONA QUALITÀ (II)

Se volete vederli tutti, vi diamo il ROOT file!

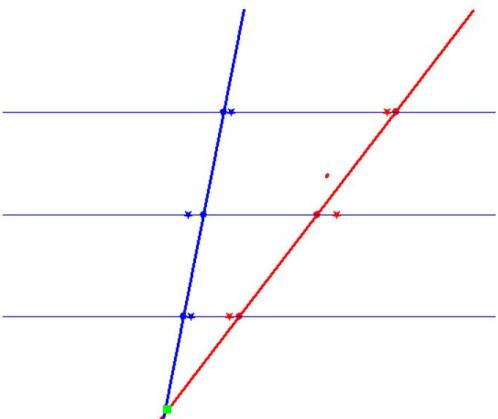


Vertice: (x = 76.64, y = 45.70, z = -3.20 cm, distxy = 1.03cm)

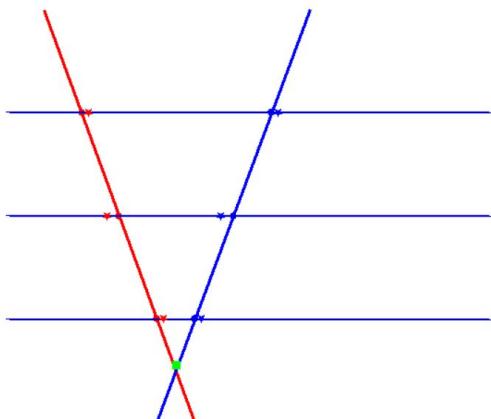


Vertice: (x = 133.63, y = 42.46, z = 4.80 cm, distxy = 1.92cm)

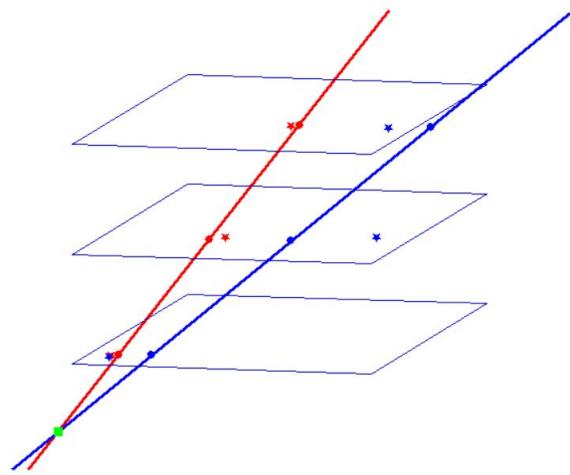
ALCUNI EVENTI CON VERTICE LONTANO DALLA CAMERA



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

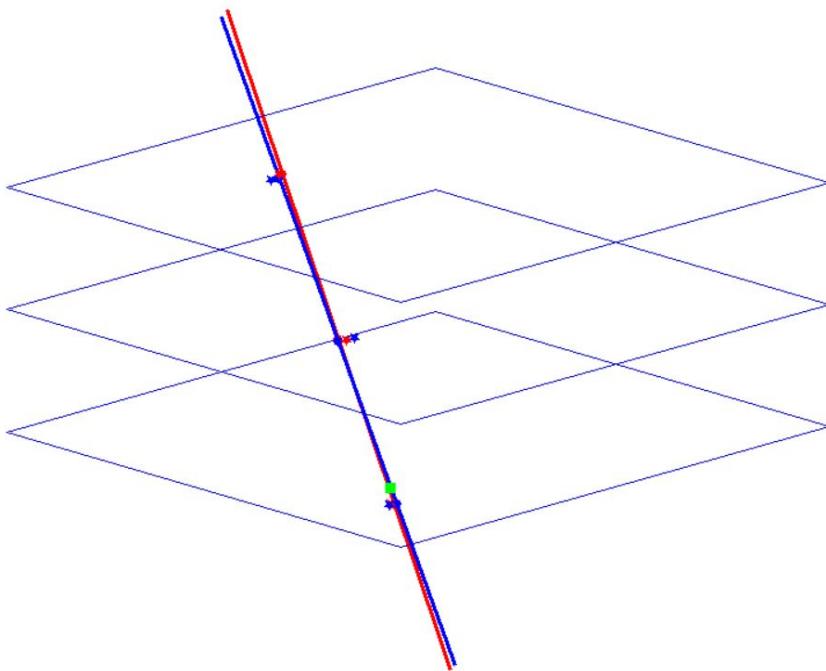


Vertice: ($x = 59.74$, $y = 27.73$, $z = -22.40$)



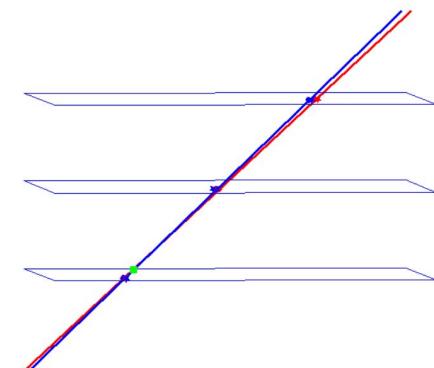
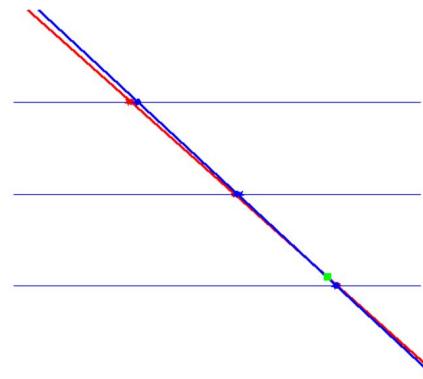
Vertice: ($x = 11.01$, $y = -5.90$, $z = -33.40$)

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 τ 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!

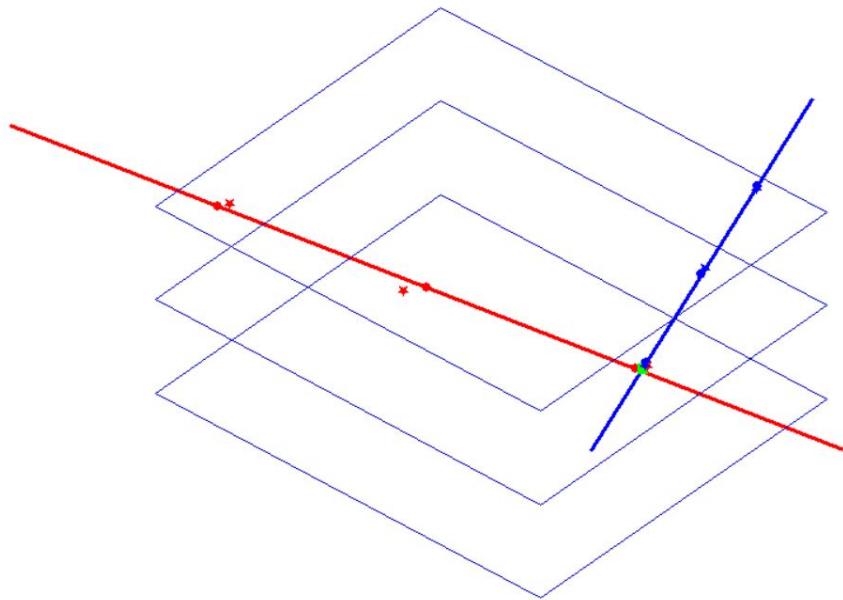


Visita il nostro sito:

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

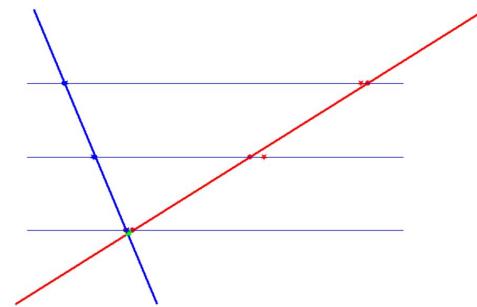
BACK-UP

EVENTO N.38



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

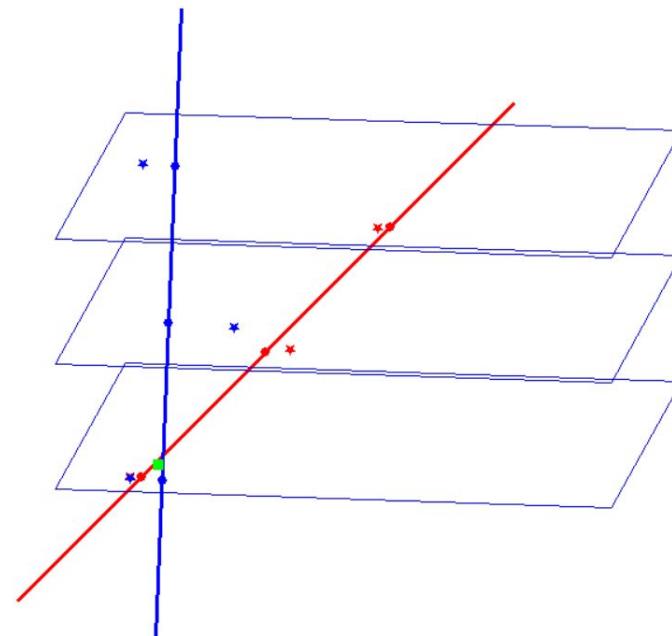
In questo evento abbiamo le traiettorie del muone e dell'elettrone ai due estremi opposti del primo livello dello scintillatore.



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

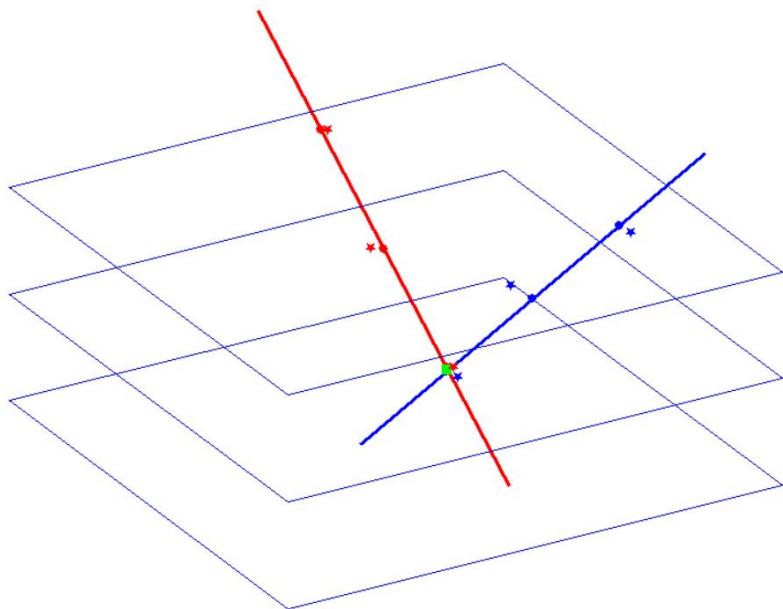
EFFETTO DELLA RICOSTRUZIONE: EVENTO N.249

- Questo evento è caratterizzato da hits (\star) distanti dalle intersezioni della traccia con le camere (\bullet) 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

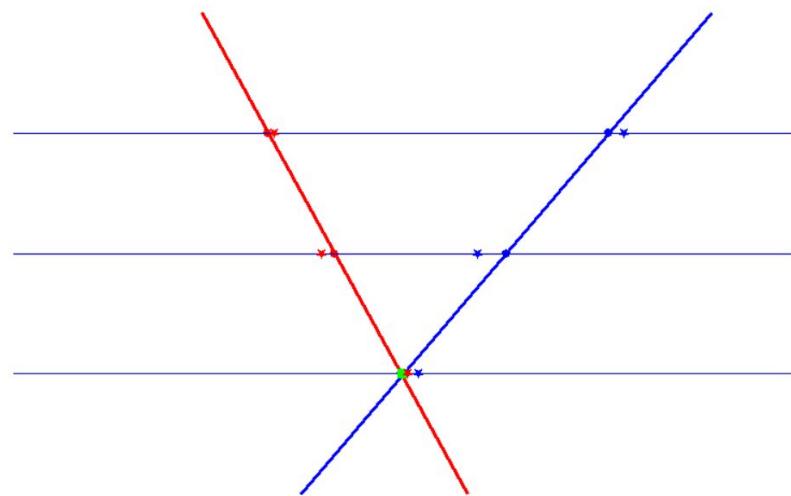


Vertice: (x = 18.41, y = 66.40, z = 5.00, distxy = 1.30)cm

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

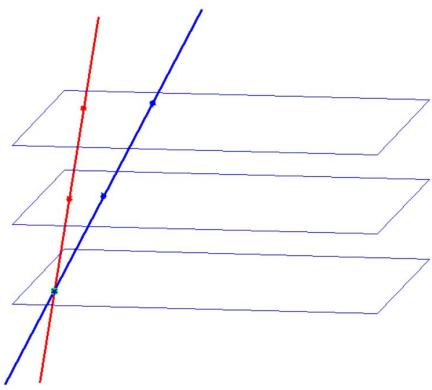


Vertice: (x = 109.02, y = 57.60, z = 0.00, distxy = 1.60)cm

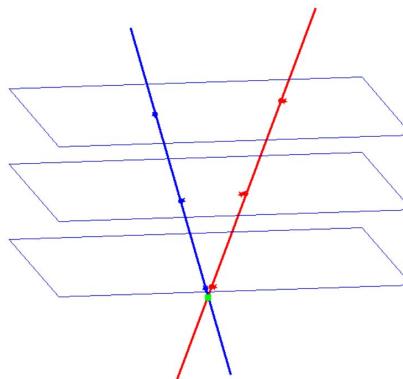


Vertice: (x = 109.02, y = 57.60, z = 0.00)

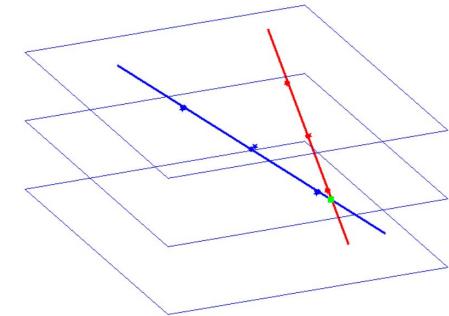
ALTRI EVENTI



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)