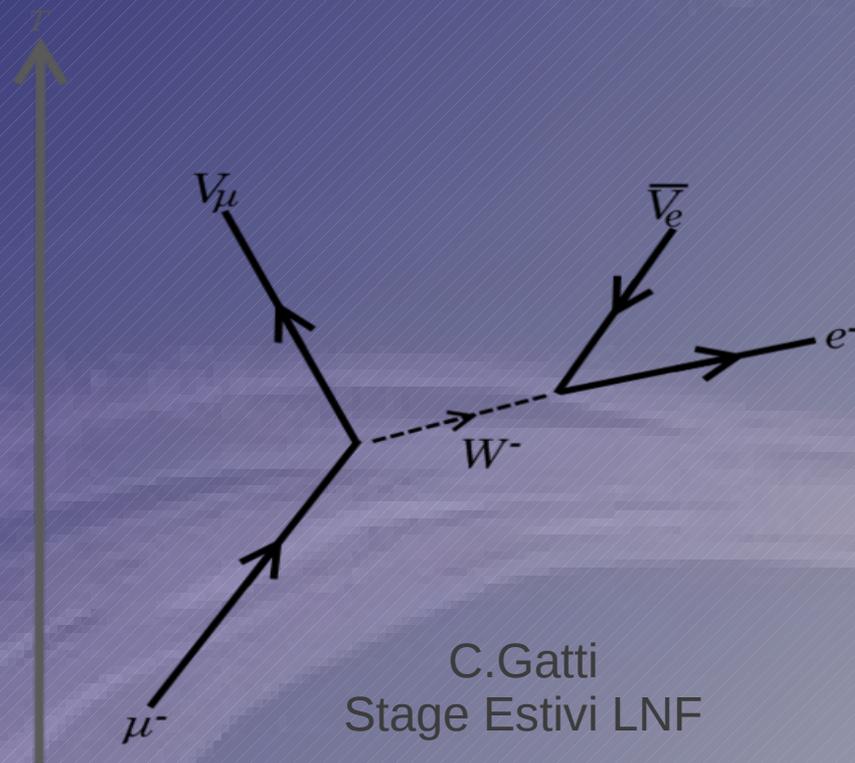


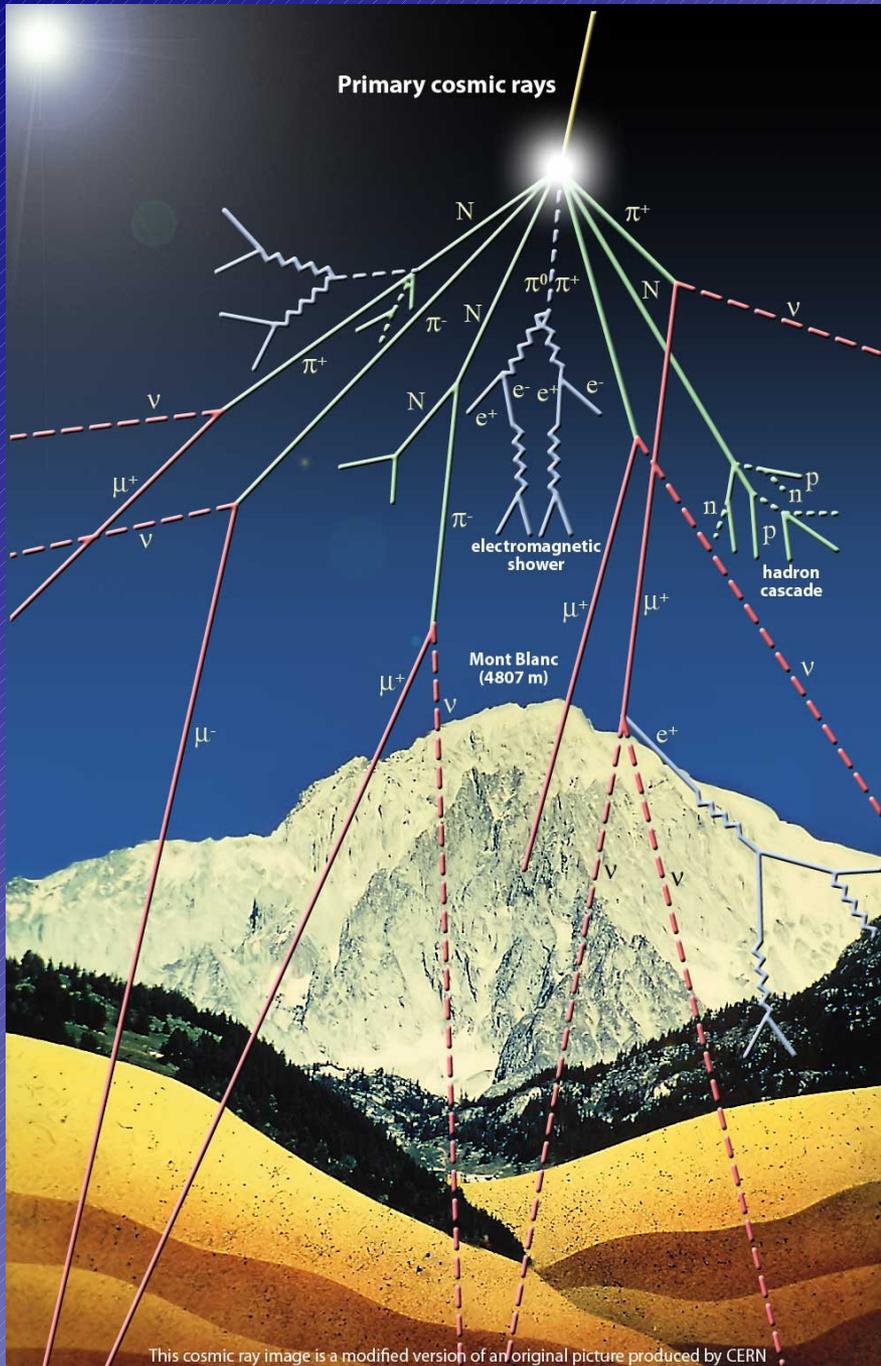
La Misura della Vita Media del Muone



C.Gatti
Stage Estivi LNF

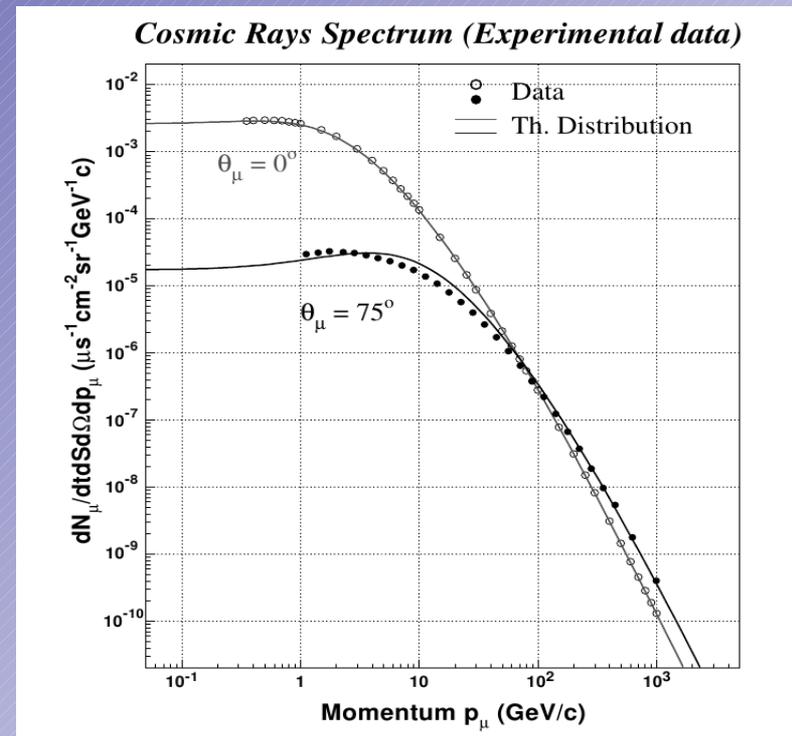


La sorgente dei μ

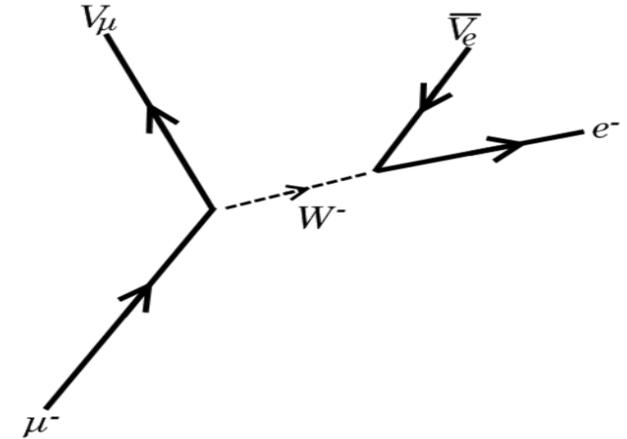
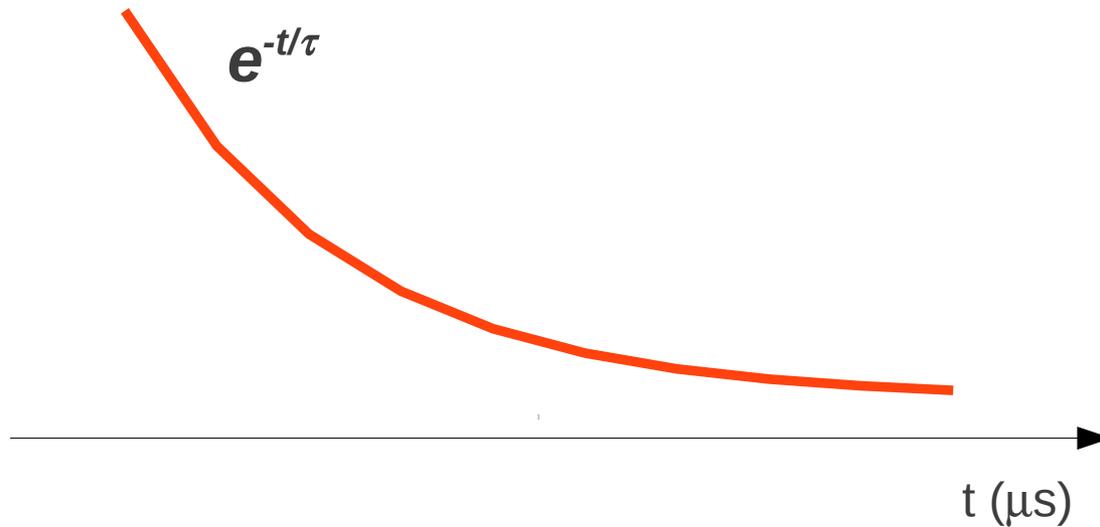


$$I \sim 1 \text{ min}^{-1} \text{ cm}^{-2}$$

I muoni sono prodotti in abbondanza negli sciami adronici prodotti dagli urti con l'atmosfera dai raggi "cosmici" primari provenienti dallo spazio.



Il decadimento del μ

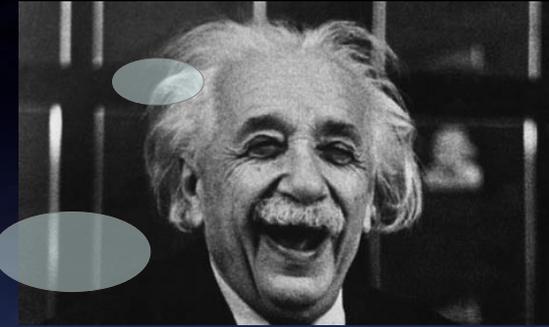


Il muone ha **in ogni istante** una probabilità $\Delta t/\tau$ di decadere, nell'intervallo di tempo Δt successivo, in un elettrone e due neutrini, dove τ è la sua **vita media** ($\sim 2.2 \mu\text{s}$). La probabilità che **non** decada (*sopravviva*) al tempo $t=\Delta t$ è: $(1-\Delta t/\tau)$. Che sopravviva al tempo $t=2\Delta t$: $(1-\Delta t/\tau)^2$; $t=3\Delta t$ $(1-\Delta t/\tau)^3$ etc. etc..

In generale per $t=N\Delta t$:

$$p(t)=(1-t/N\tau)^N \Rightarrow e^{-t/\tau}$$

La dilatazione dei tempi propri



μ

$h=10 \text{ km}$

Tempo di volo:

$$T=10 \text{ km}/c=33 \mu\text{s}\sim 16\tau$$

Probabilità di sopravvivenza:

$$e^{-T/\tau}=3\times 10^{-7}=0.0000003$$

Il tempo per il muone scorre più lentamente del nostro di un fattore pari alla sua energia diviso la sua massa: $T_{\mu}=T/\gamma$ dove $\gamma=E/m_{\mu}$.

Per $E\sim 3 \text{ GeV}$ ($m_{\mu}=105 \text{ MeV}$): $\gamma=3/0.105\sim 29$

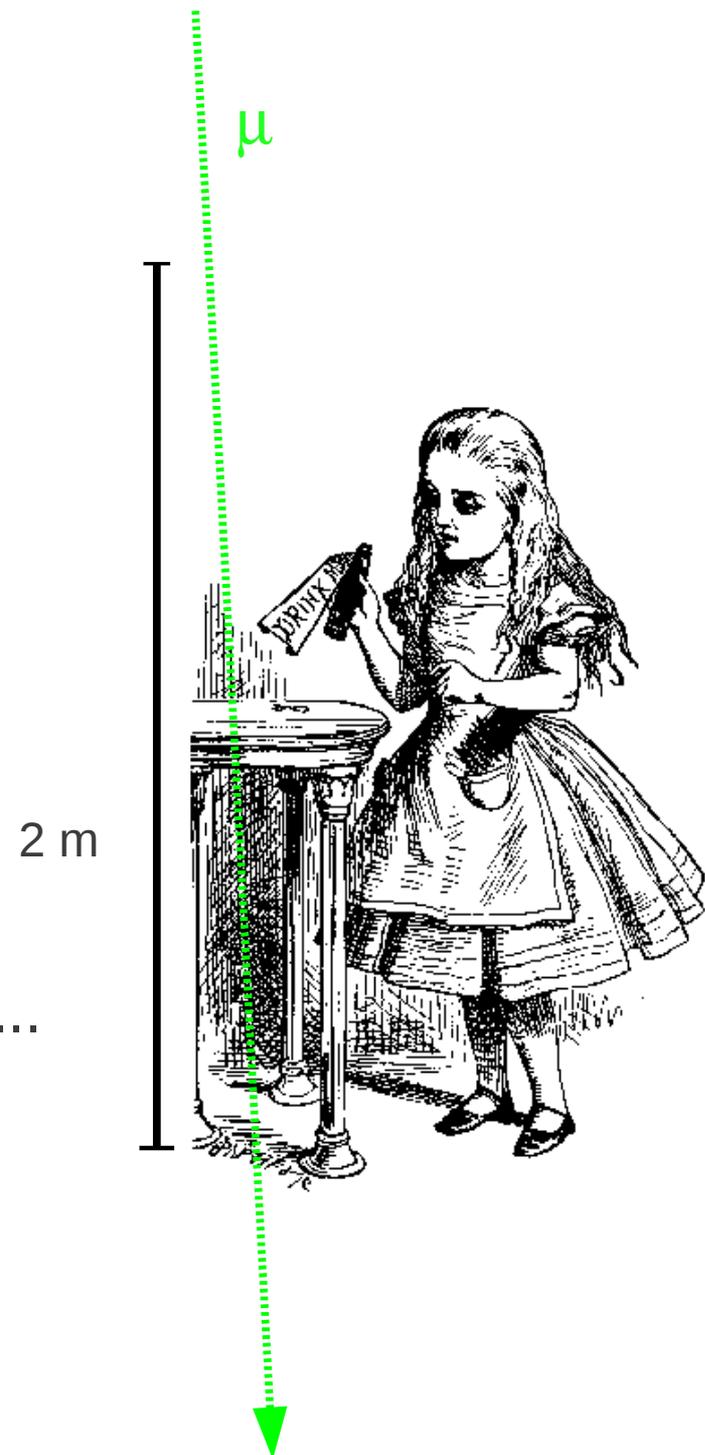
$$e^{-T/\gamma\tau}=e^{-33/(29*2.2)}=0.6 \Rightarrow 60\% \text{ di sopravvivenza!}$$

$c\sim 3\times 10^8 \text{ m/s}$

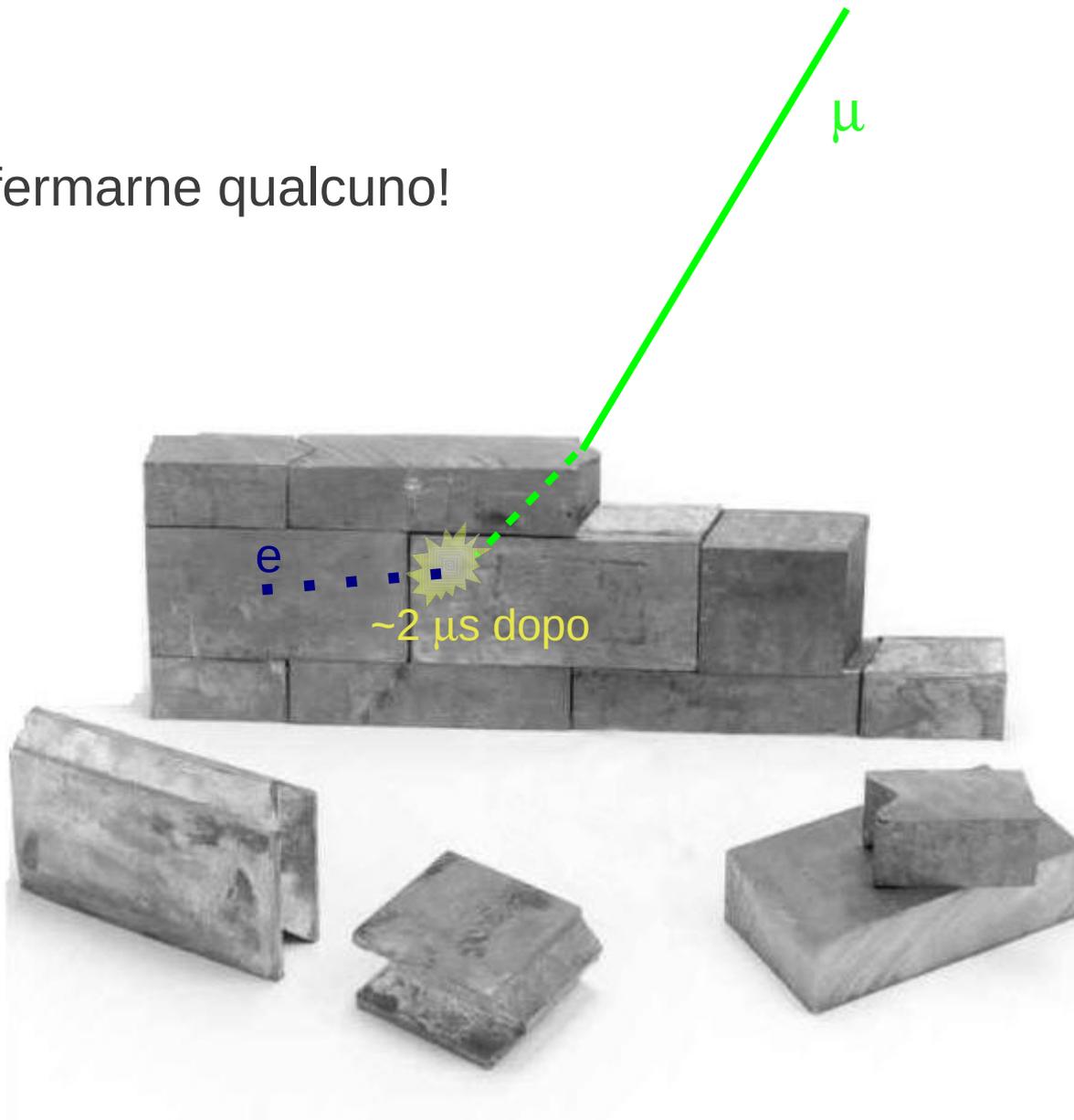


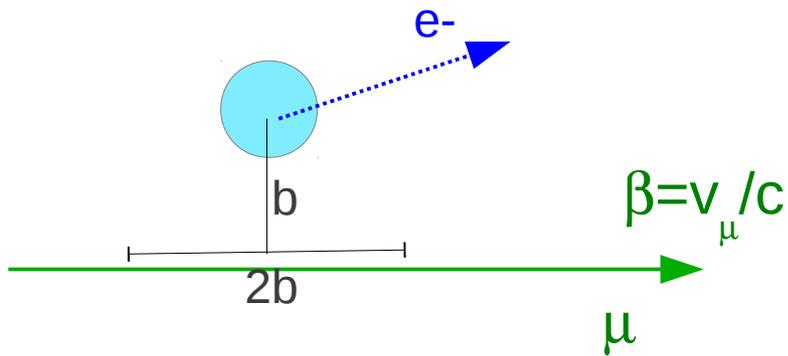
In 2 metri sopravvive circa il
99.99999999% dei muoni pari ad **un
decadimento ogni 317 anni per cm²**.

Ma *purtroppo* abbiamo solo 2 settimane ...



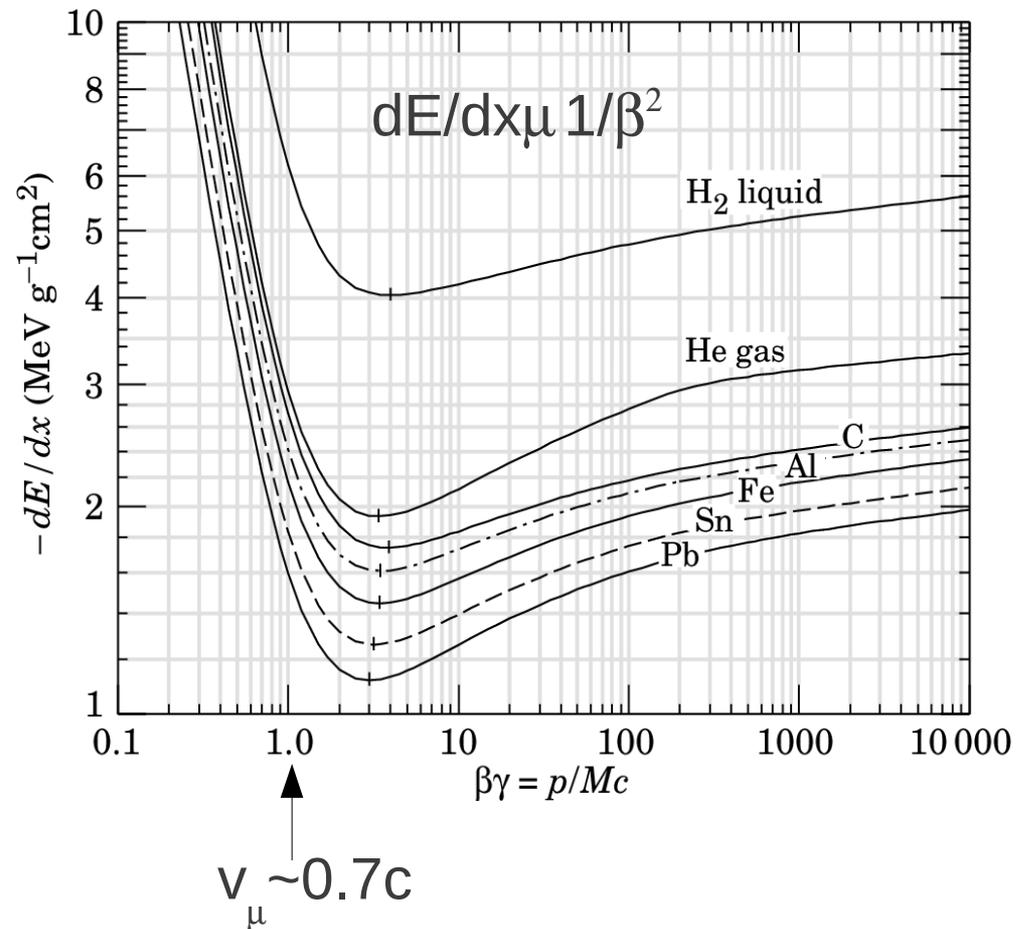
... meglio fermarne qualcuno!





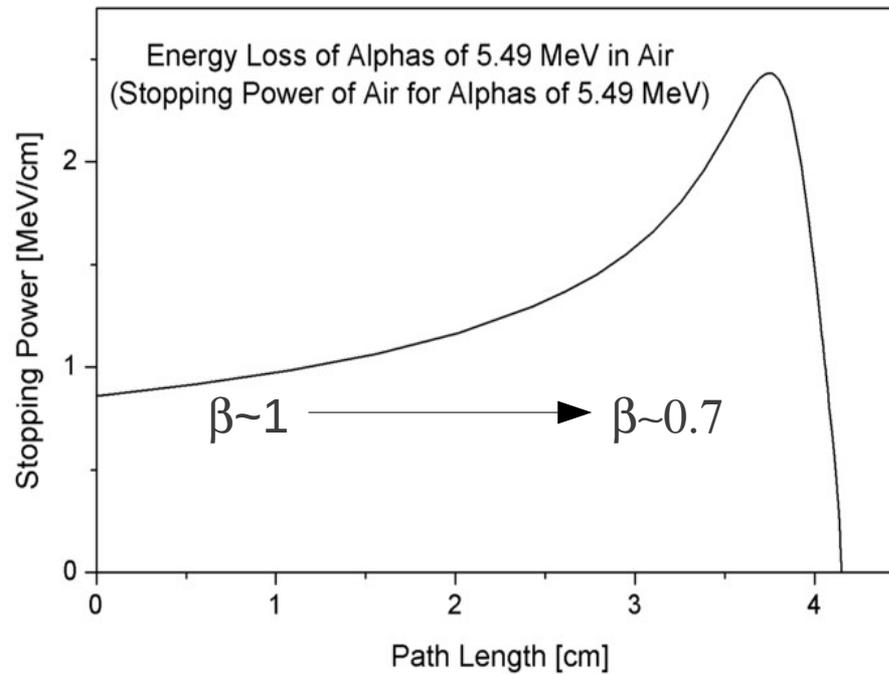
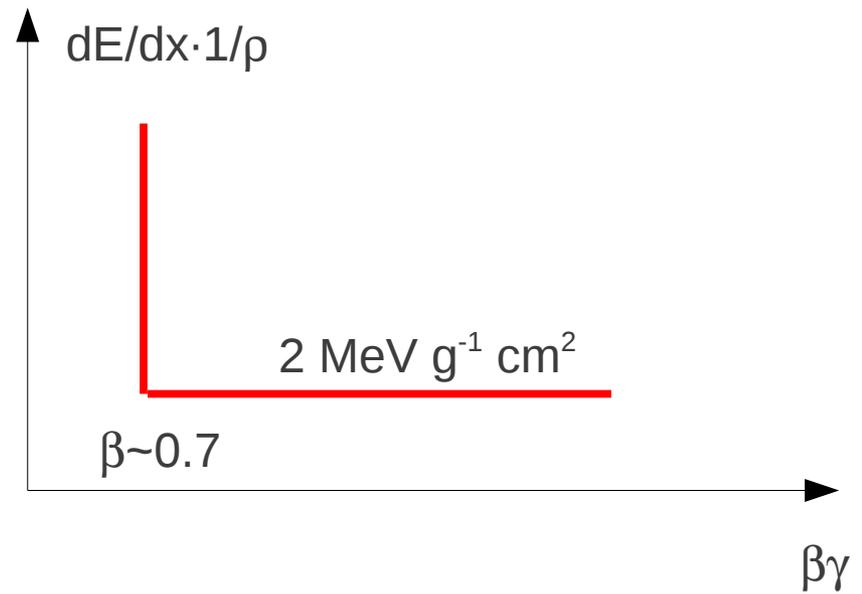
$$m_e v_e = F \Delta t = e E 2b / v_\mu$$

$$\Delta E = \frac{1}{2} m_e v_e^2 = \frac{1}{v_\mu^2}$$

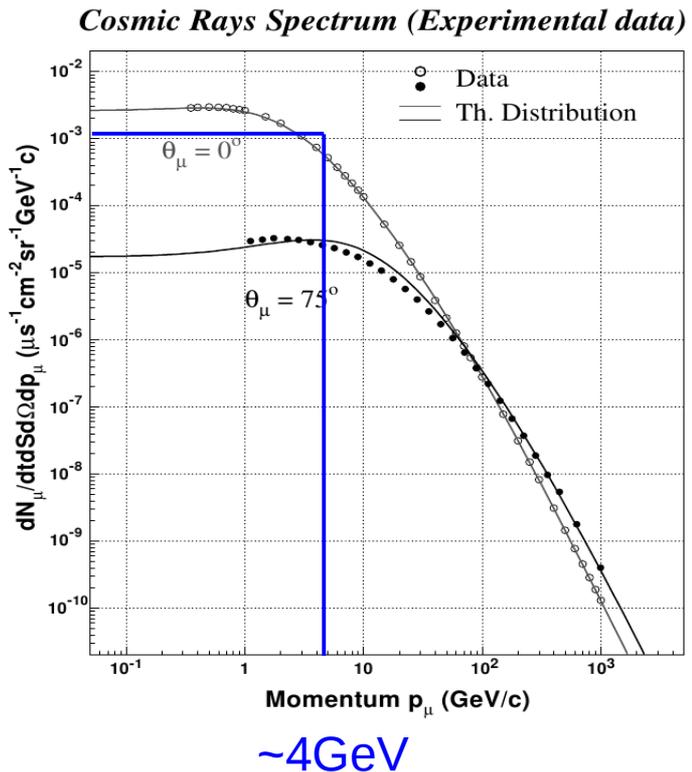


Il muone urta gli elettroni della materia che lo circonda trasferendogli impulso ($dp = F dt$). Se b è la minima distanza dall'elettrone, allora la maggior parte dell'impulso viene trasferita quando il muone transita in una regione lunga $2b$ attorno al punto di minimo approccio. Quindi il trasferimento di impulso avviene in un tempo $\Delta t = 2b / v_\mu$. Ne deriva che l'energia acquistata dall'elettrone (e quindi persa dal muone) è proporzionale a $1/v_\mu^2$.

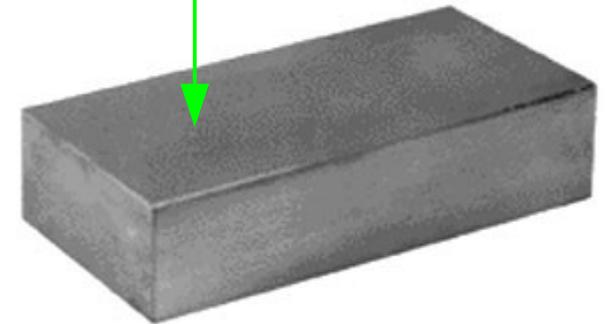
Finché $\beta \sim 1$ il muone perde sempre la stessa quantità di energia per cm di materia attraversata. Appena la velocità scende a $\sim 0.7c$ il muone perde velocemente tutta la sua energia cinetica residua.



Quanti μ si fermano in 5 cm di Fe?



5 cm



$$\Delta E = (dE/dx)_{Fe} \rho h = 1.451 \times 7.84 \times 5 = 57 \text{ MeV}$$

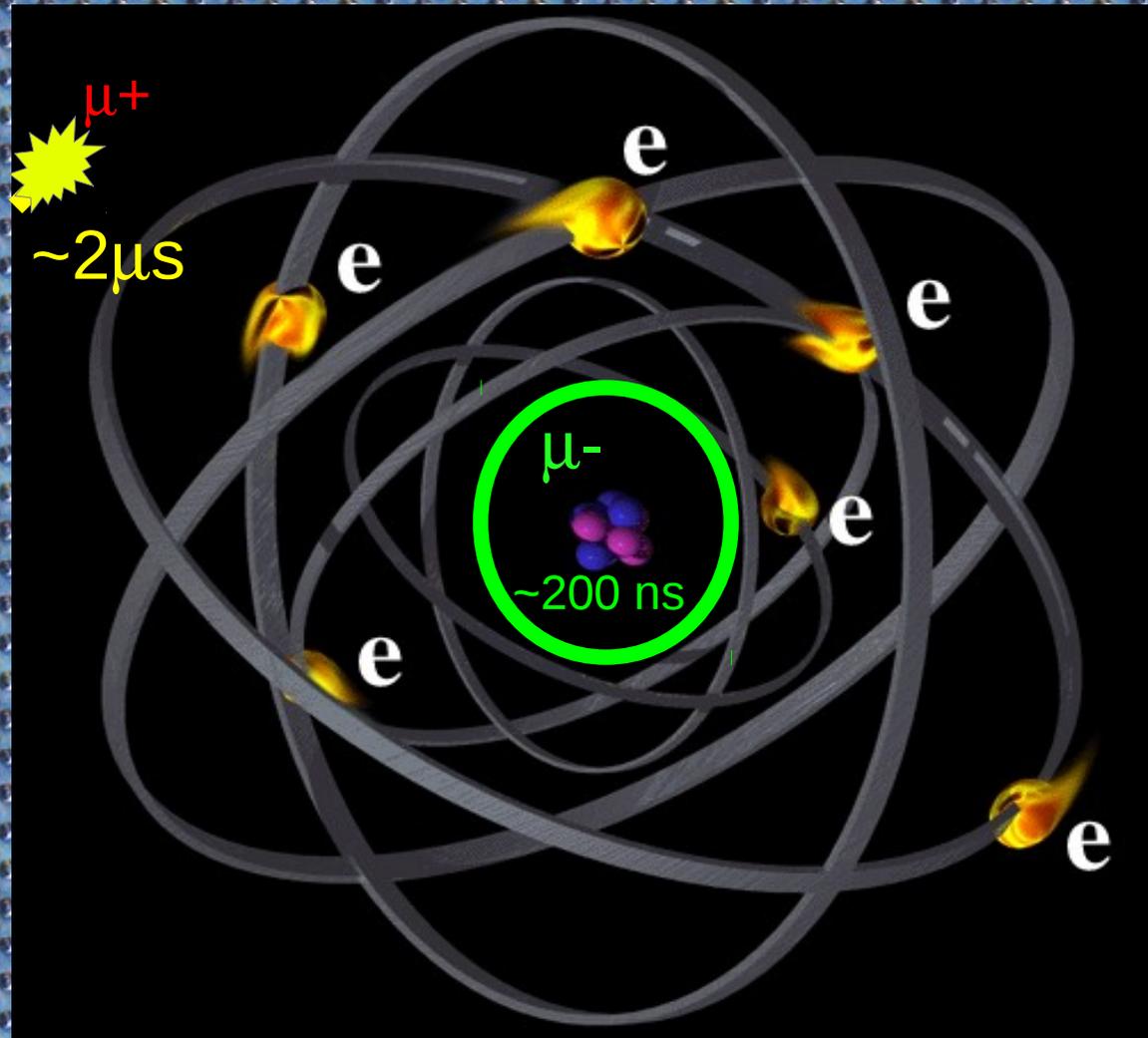
Se assumiamo che lo spettro energetico dei muoni è costante fino a $\sim 4 GeV$ e poi nullo, la frazione di muoni fermati in 5 cm di Fe è pari a:

$$57 MeV / 4 GeV \sim 1 \div 2\%$$

Torna con quanto visto in laboratorio?

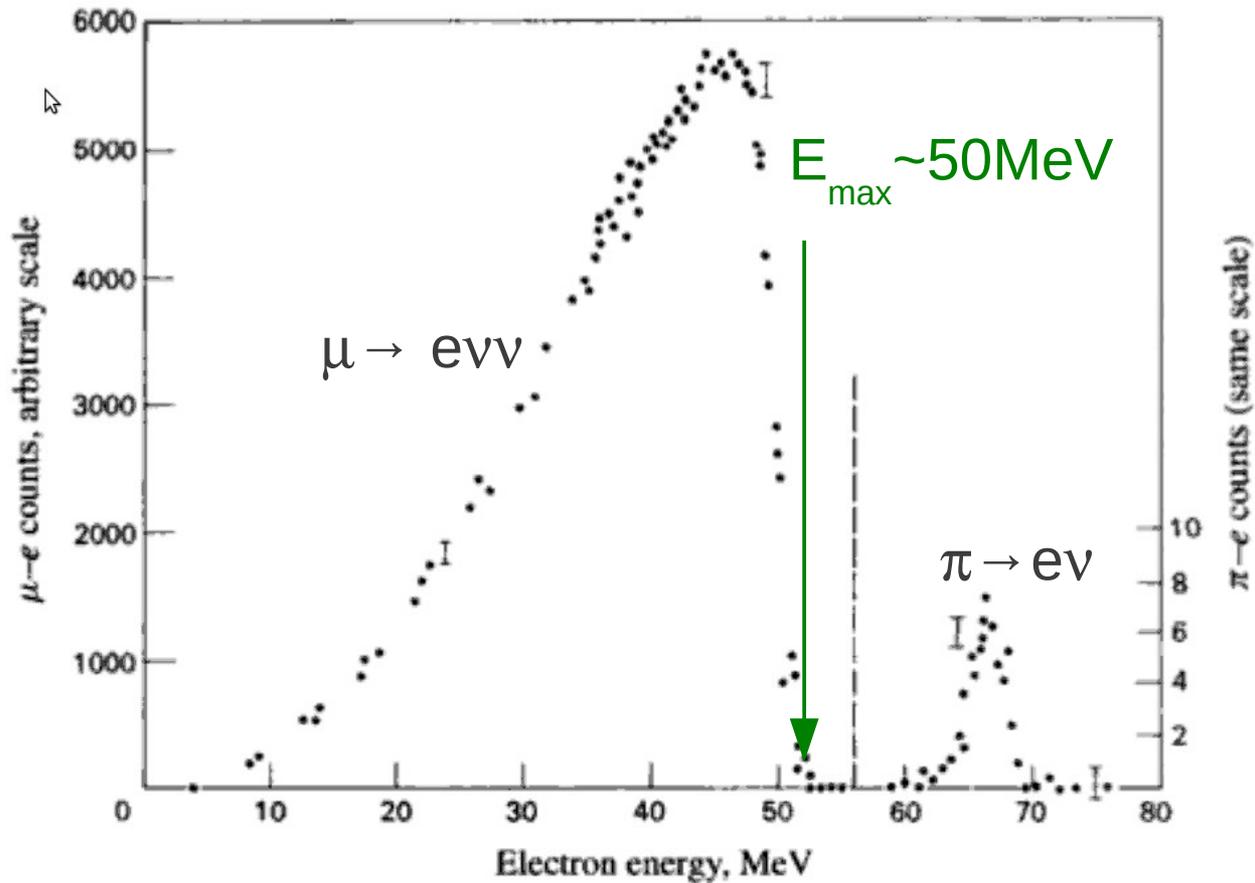


All'interno del ferro i muoni negativi vengono attratti dai nuclei (positivi) degli atomi circostanti e in seguito assorbiti. Il tutto in un tempo pari a circa 200 ns. Al contrario i muoni positivi sono respinti dai nuclei e non vengono assorbiti. Decadranno quindi in $e^+ \nu \nu$.



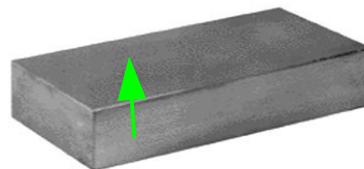
Attenzione! Se il μ^- decade entro 200 ns potreste vedere degli e^- uscire dal ferro.

Distribuzione dell'energia dei positroni dal decadimento del μ



Assumendo che l'elettrone perde energia nella materia come il muone, quanti cm percorre nel ferro?

5 cm I



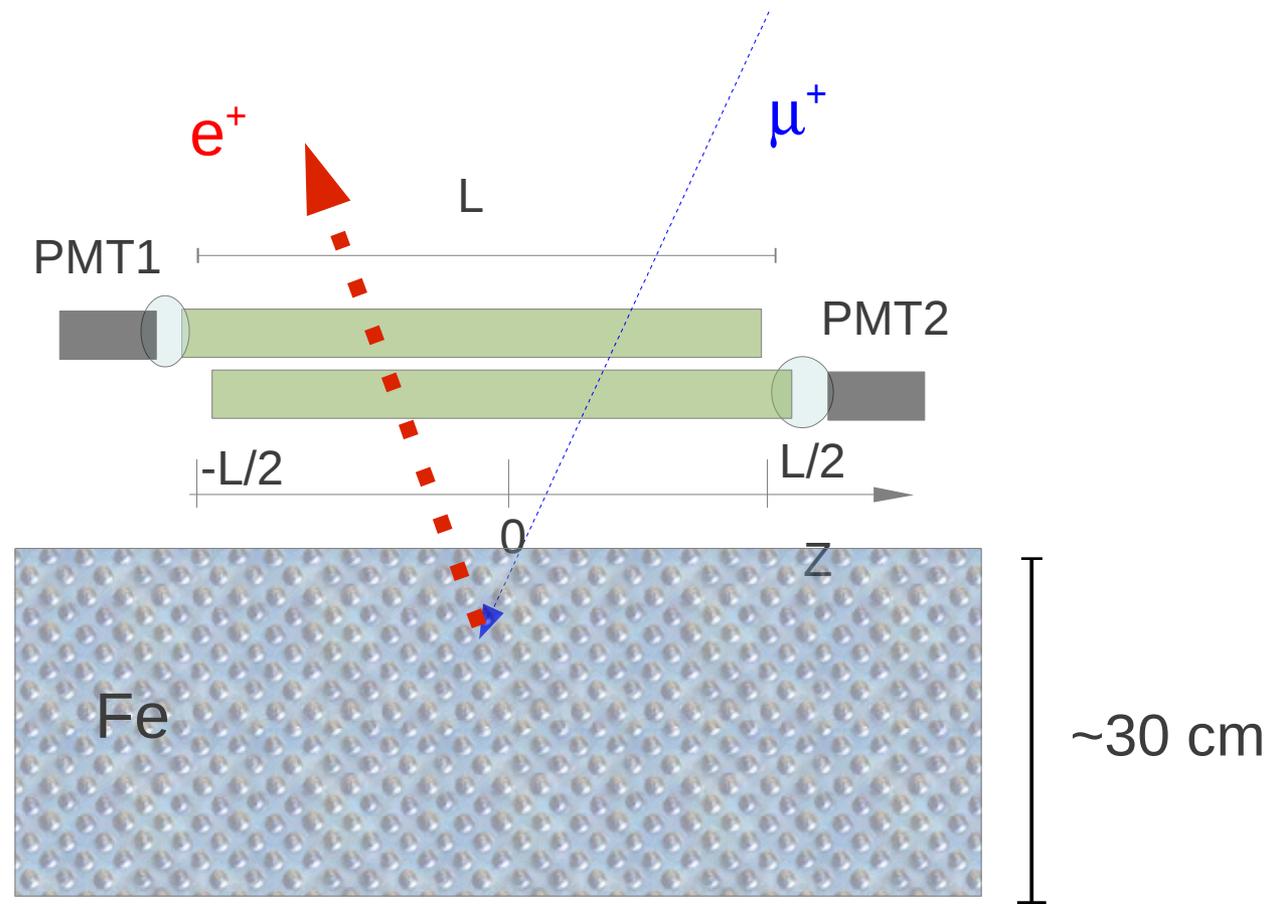
5 minuti per un caffè ...



www.shutterstock.com · 75202609

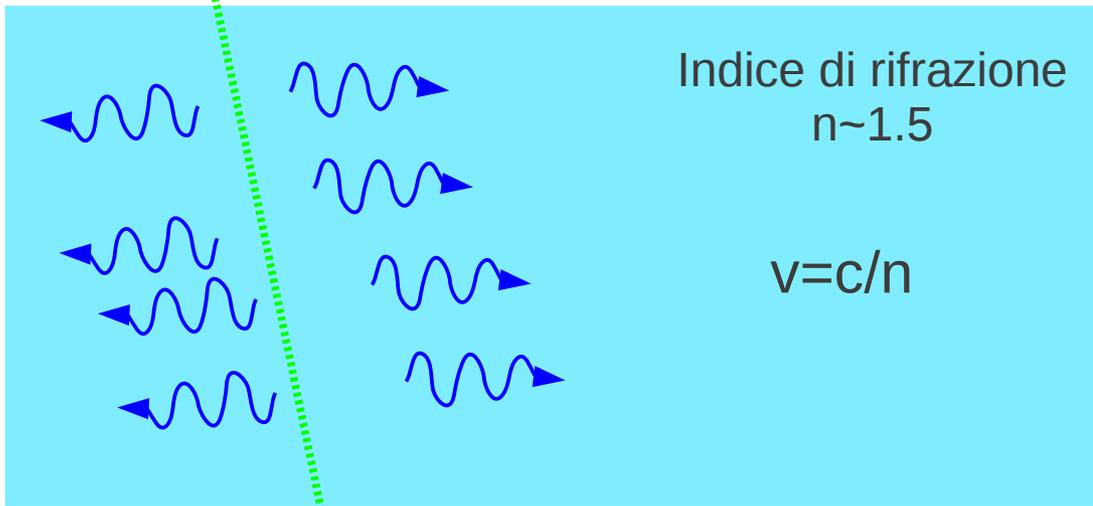
Il rivelatore



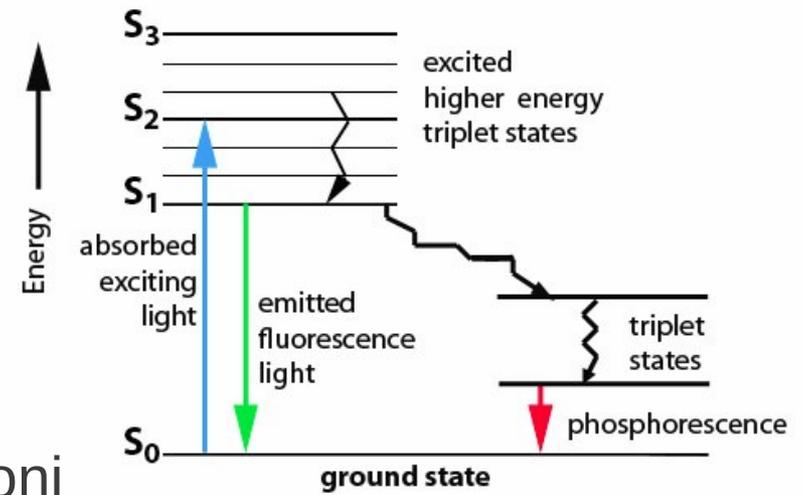


Scintillatori plastici

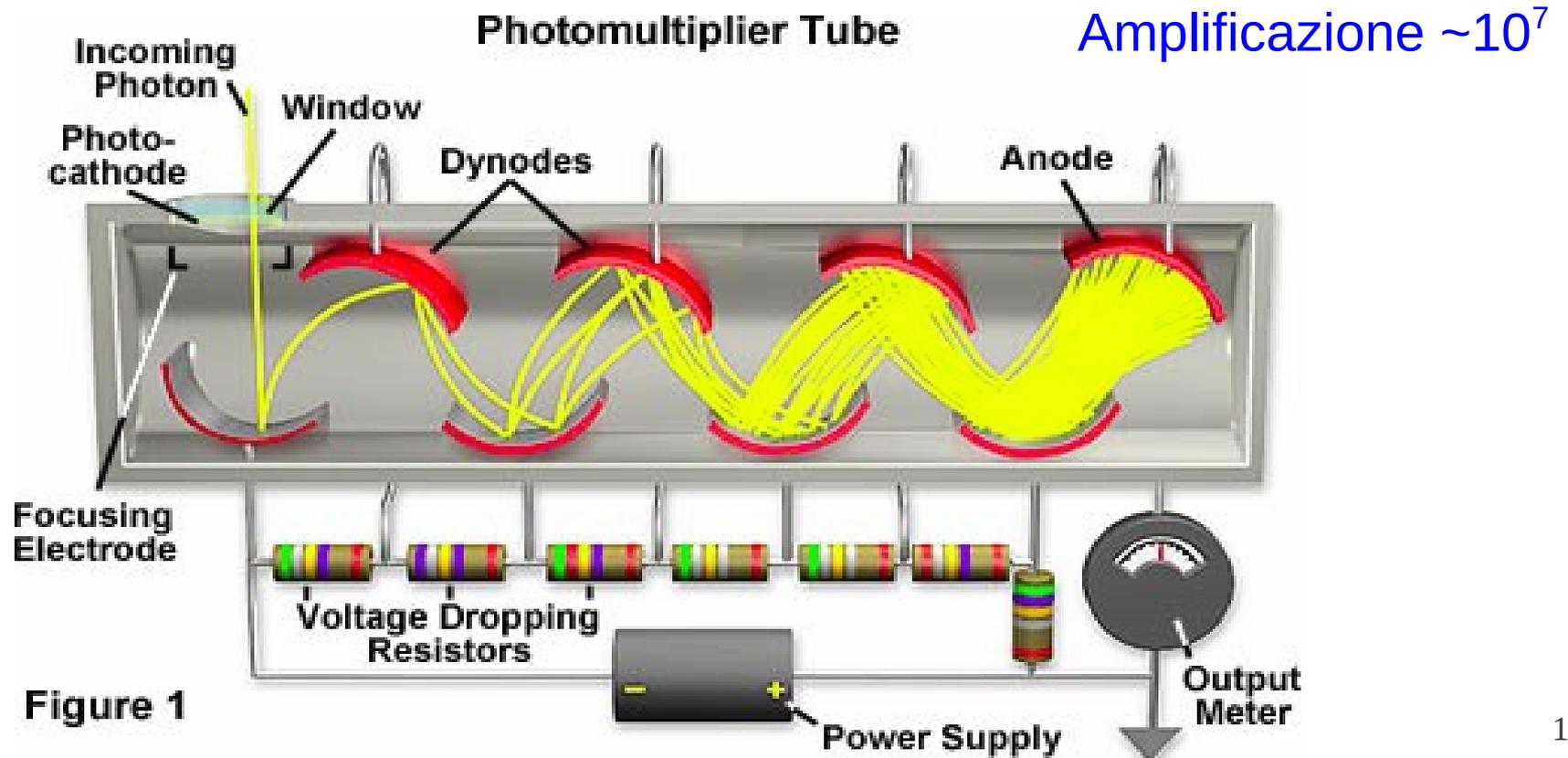
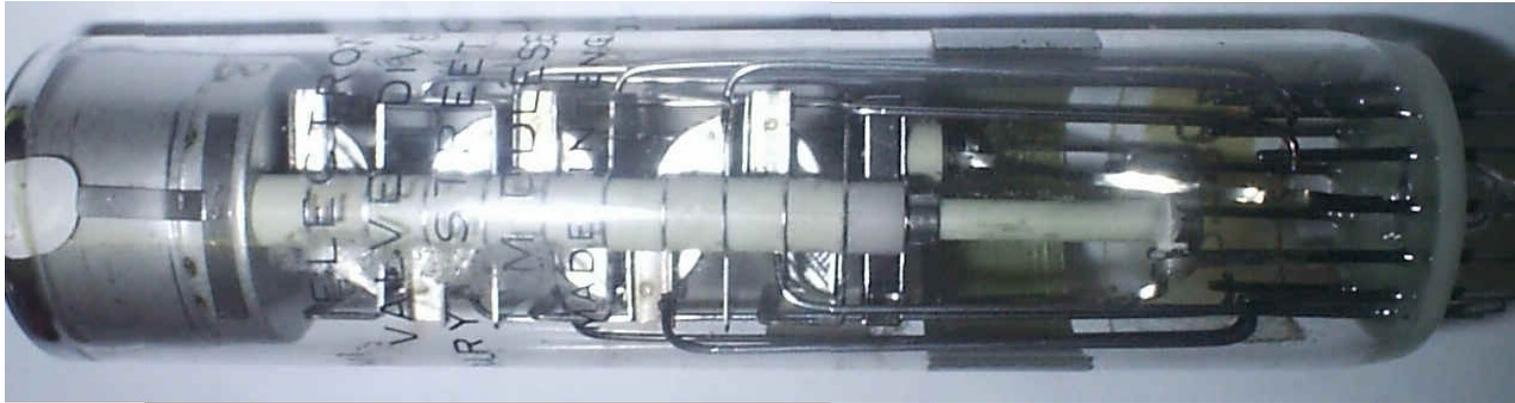
Una particella carica che attraversa un materiale scintillante, eccita il moto vibrazionale delle molecole che, diseccitandosi, emettono luce visibile. Circa **1 fotone ogni 100 eV** depositati.

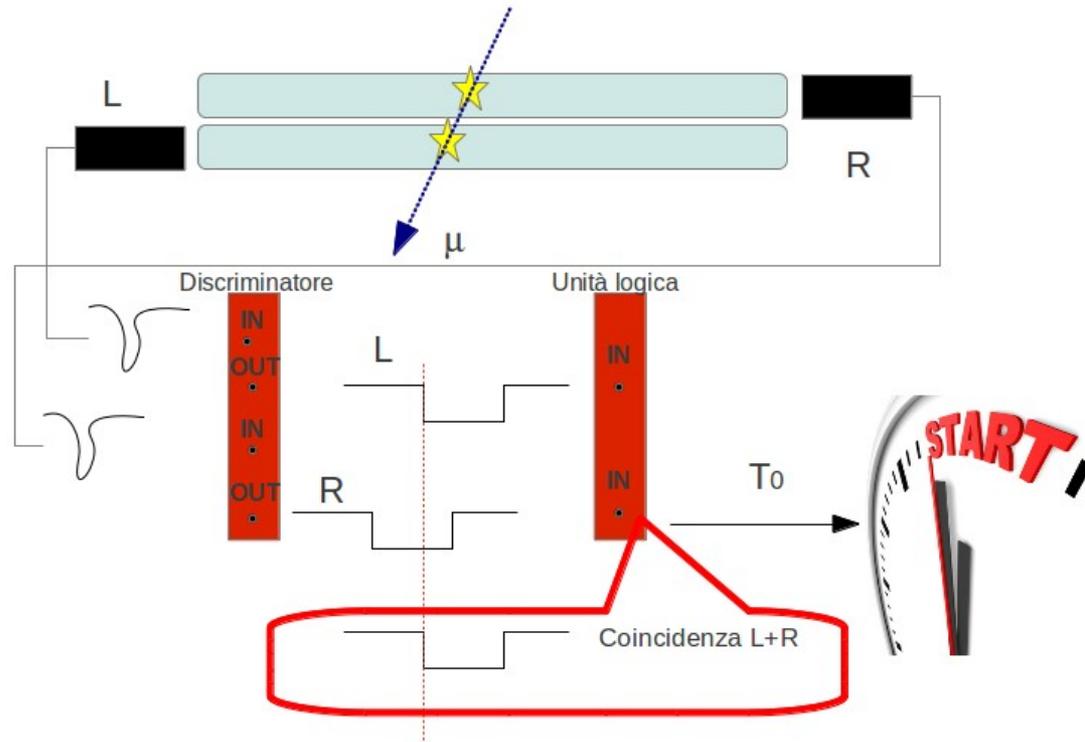


$$dE/dx \sim 2 \text{ MeV/cm} \Rightarrow 2 \text{ MeV}/100 \text{ eV} \sim 2000 \text{ fotoni}$$

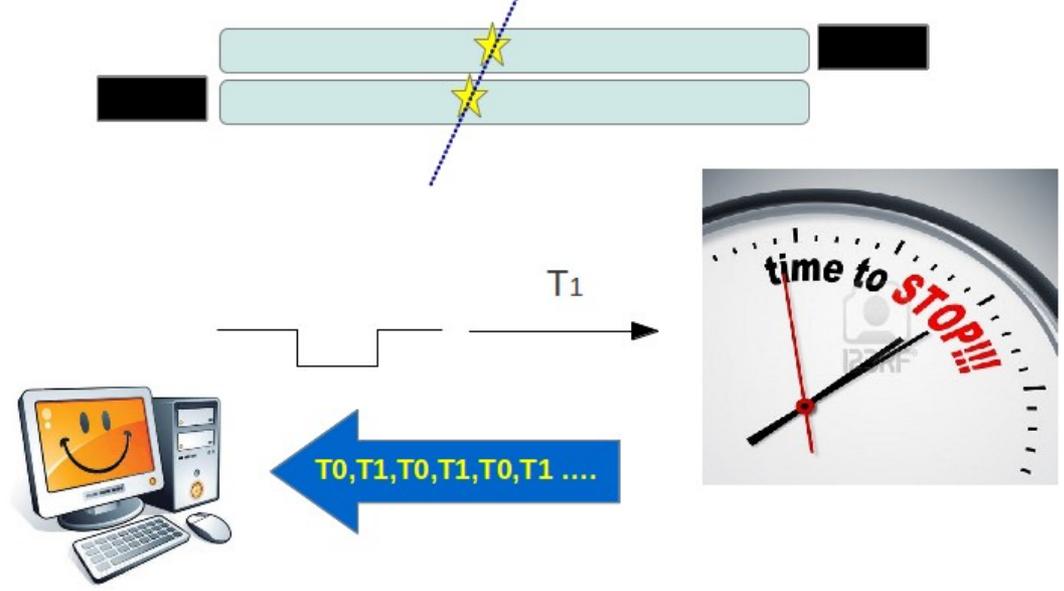


I fototubi

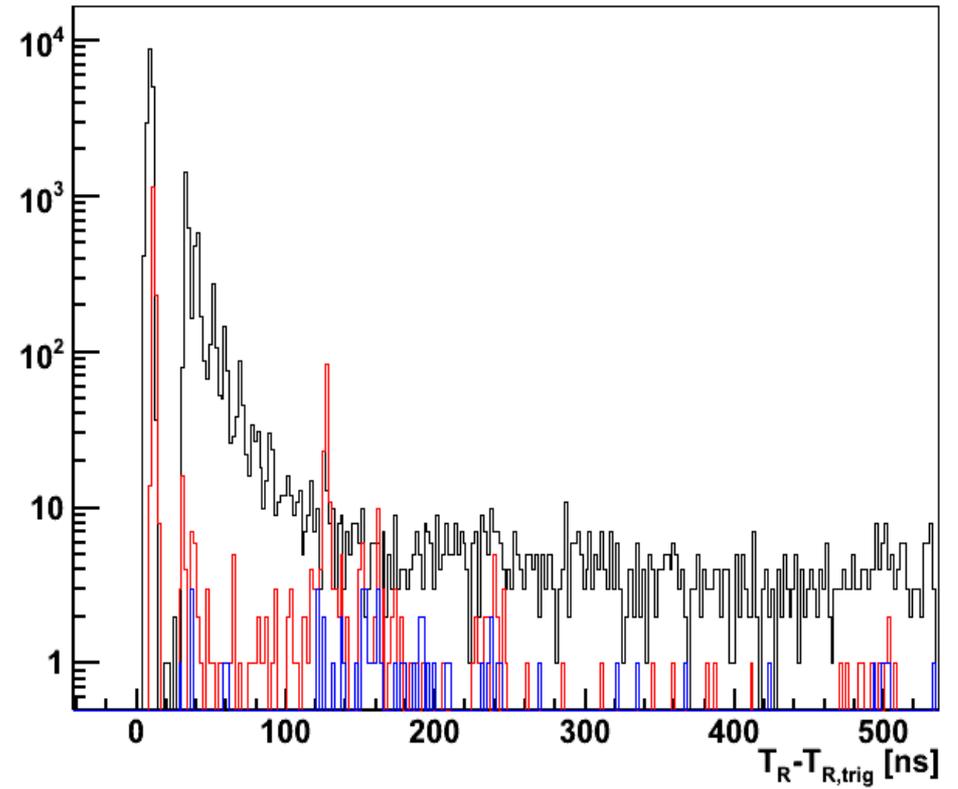
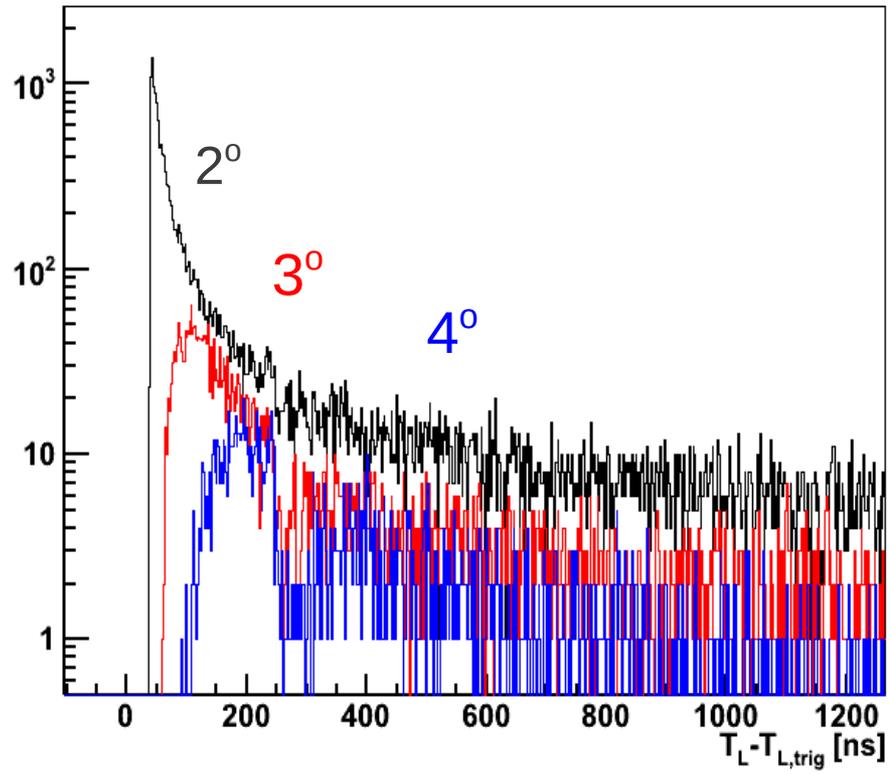




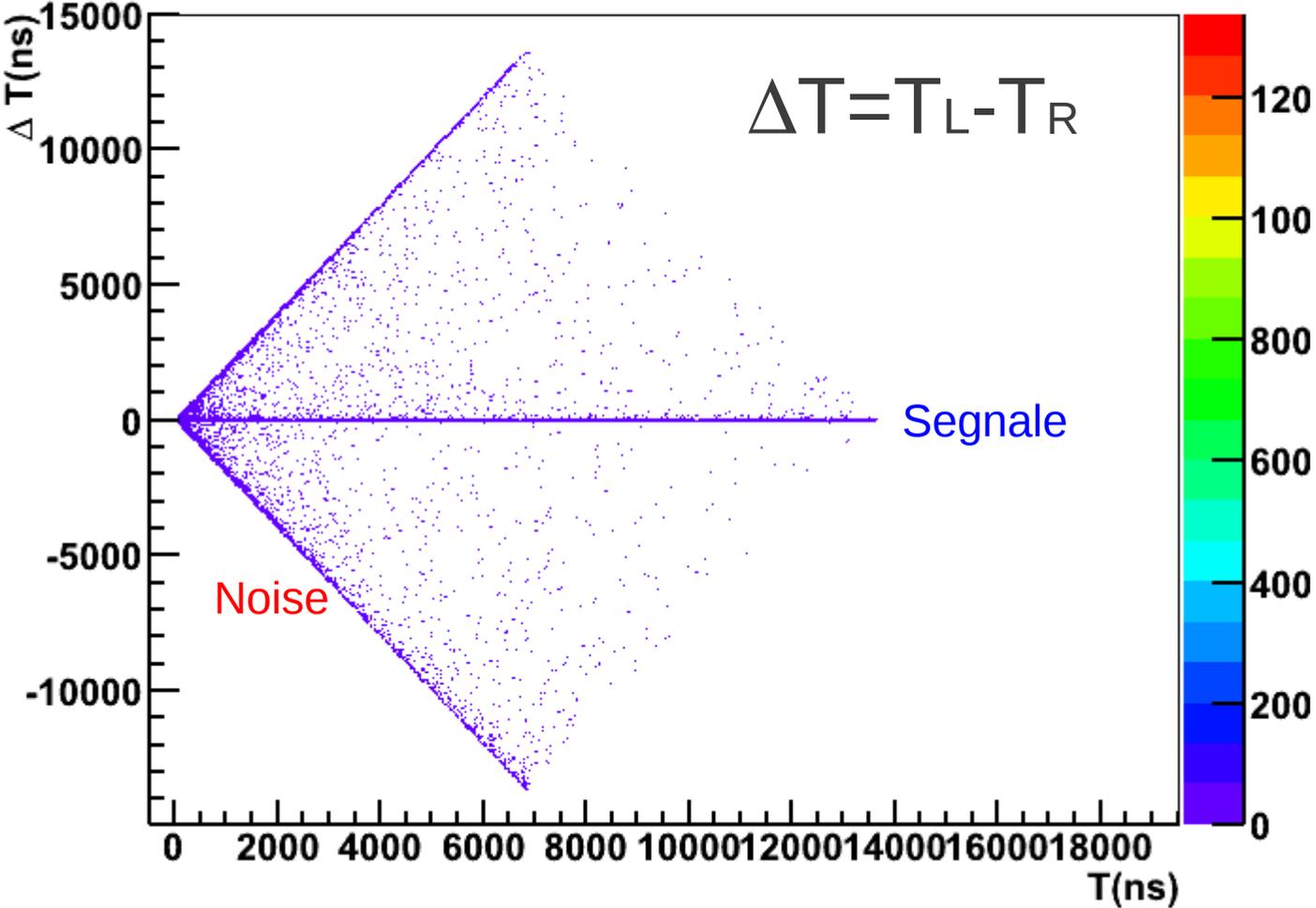
Qualche μs dopo ... e



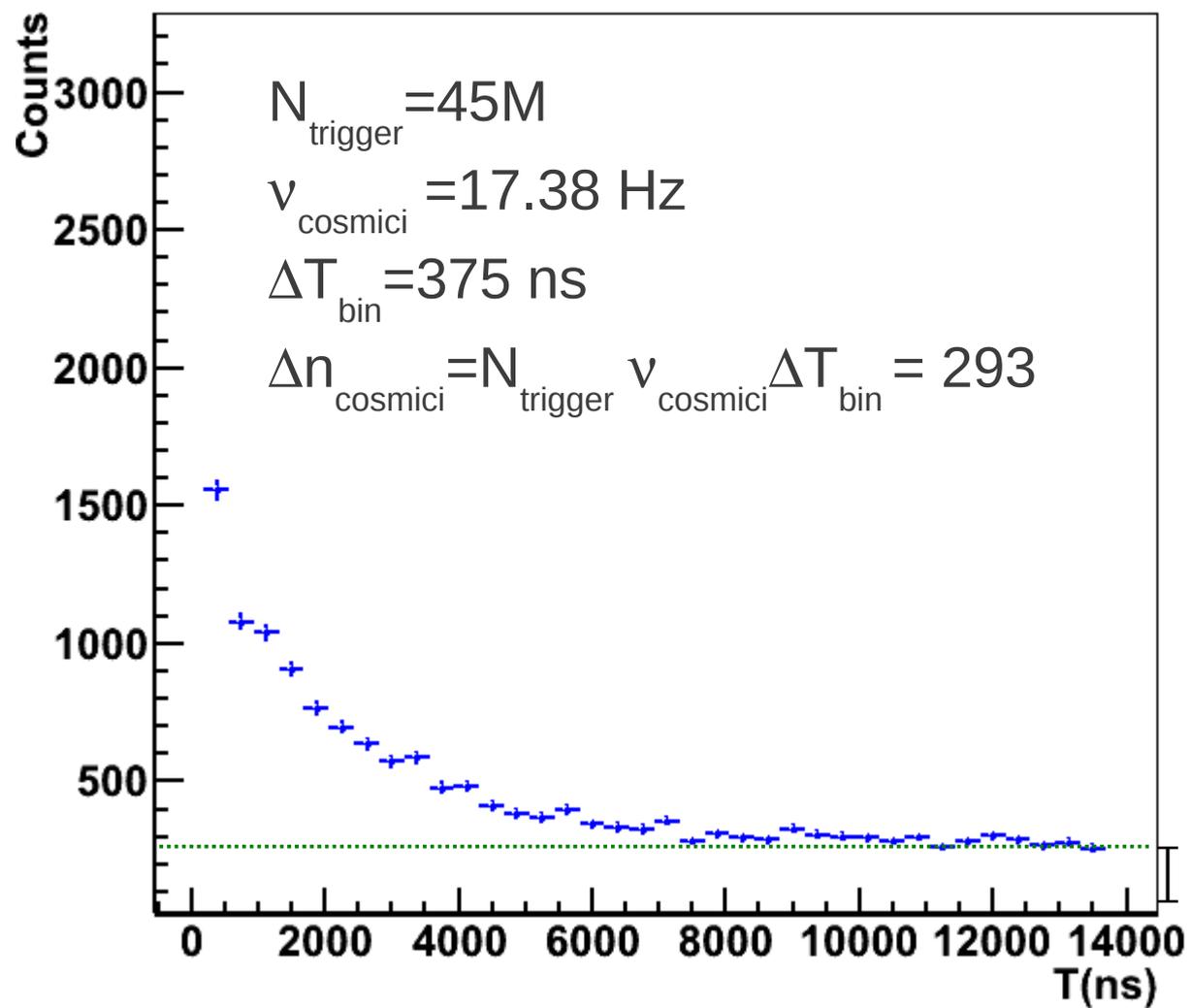
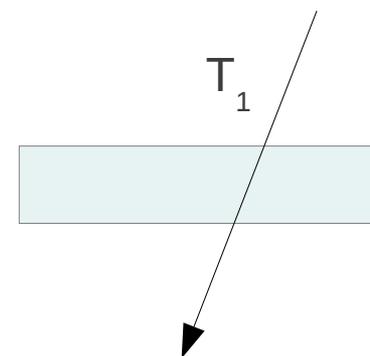
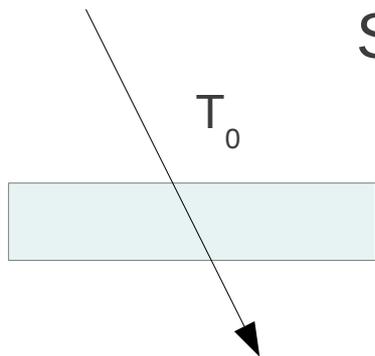
Distribuzione conteggi



Correlazione ΔT vs T per ogni possibile combinazione di hits secondari

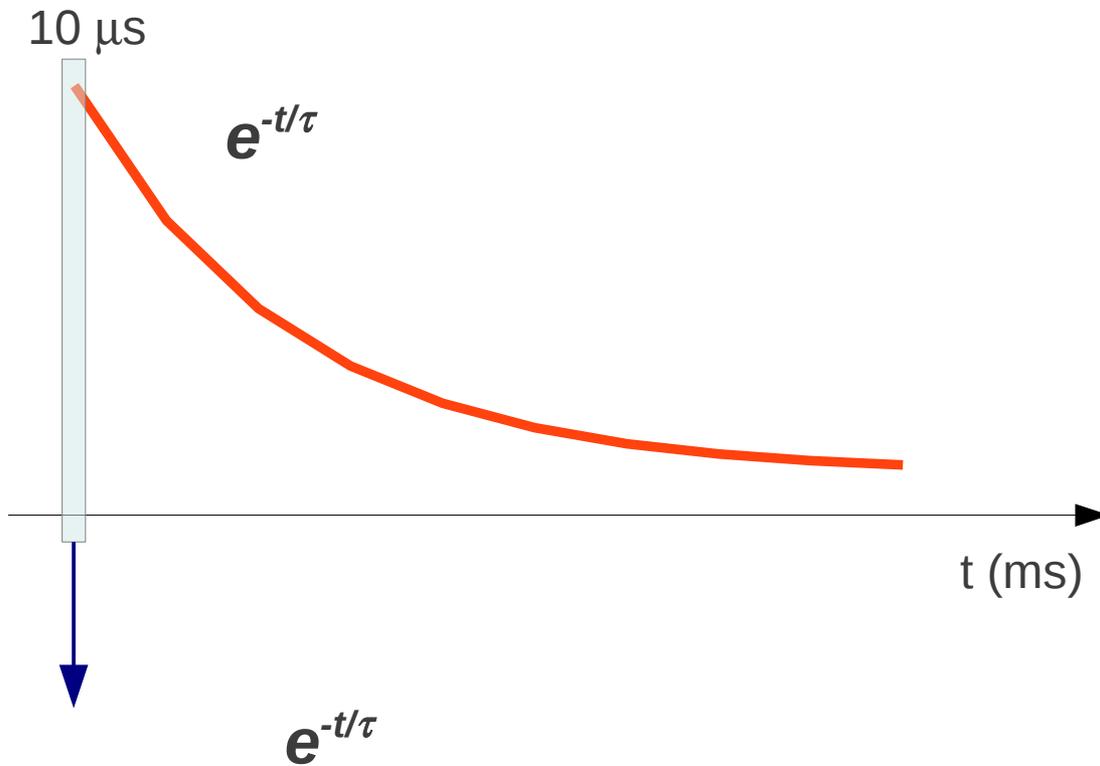


Stima fondo da cosmici consecutivi



$\Delta N_{\text{cosmici}}$

Tempo medio tra due cosmici $\tau \sim 6$ ms



Alla scala dei μs è praticamente una costante



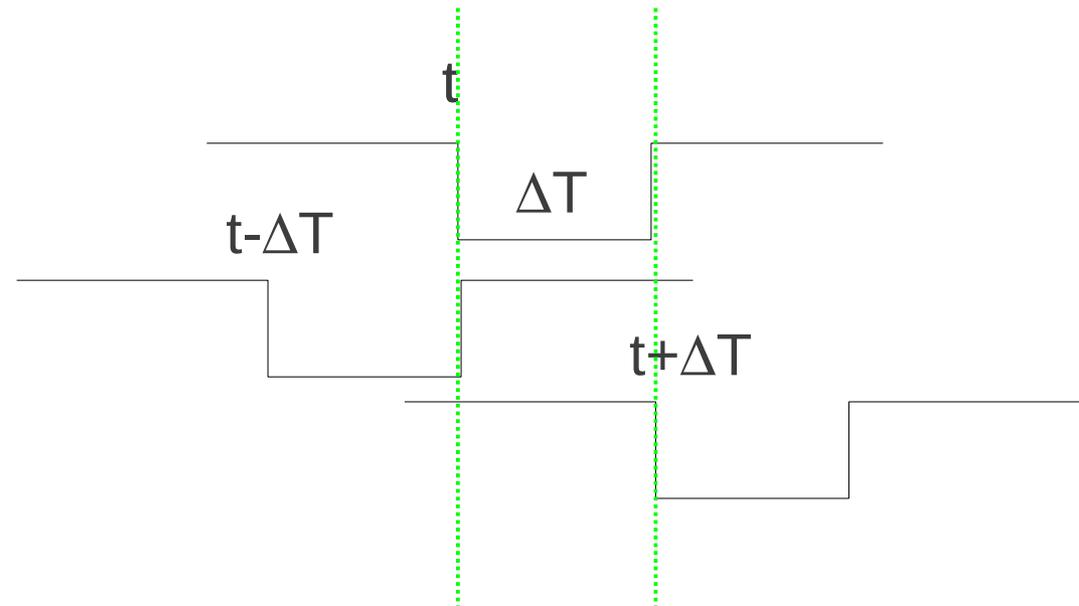
Coincidenze accidentali

A causa di fluttuazioni termiche si hanno segnali spuri dai fototubi. Per questo i conteggi in singola sono maggiori delle coincidenze.

$$\nu_{\text{noise}} \sim 100 \text{ Hz}$$

$$\Delta T = 70 \text{ ns}$$

$$\nu_{\text{fake}} = \nu_{\text{noise}}^2 \cdot 2\Delta T = 1.4 \text{ mHz}$$

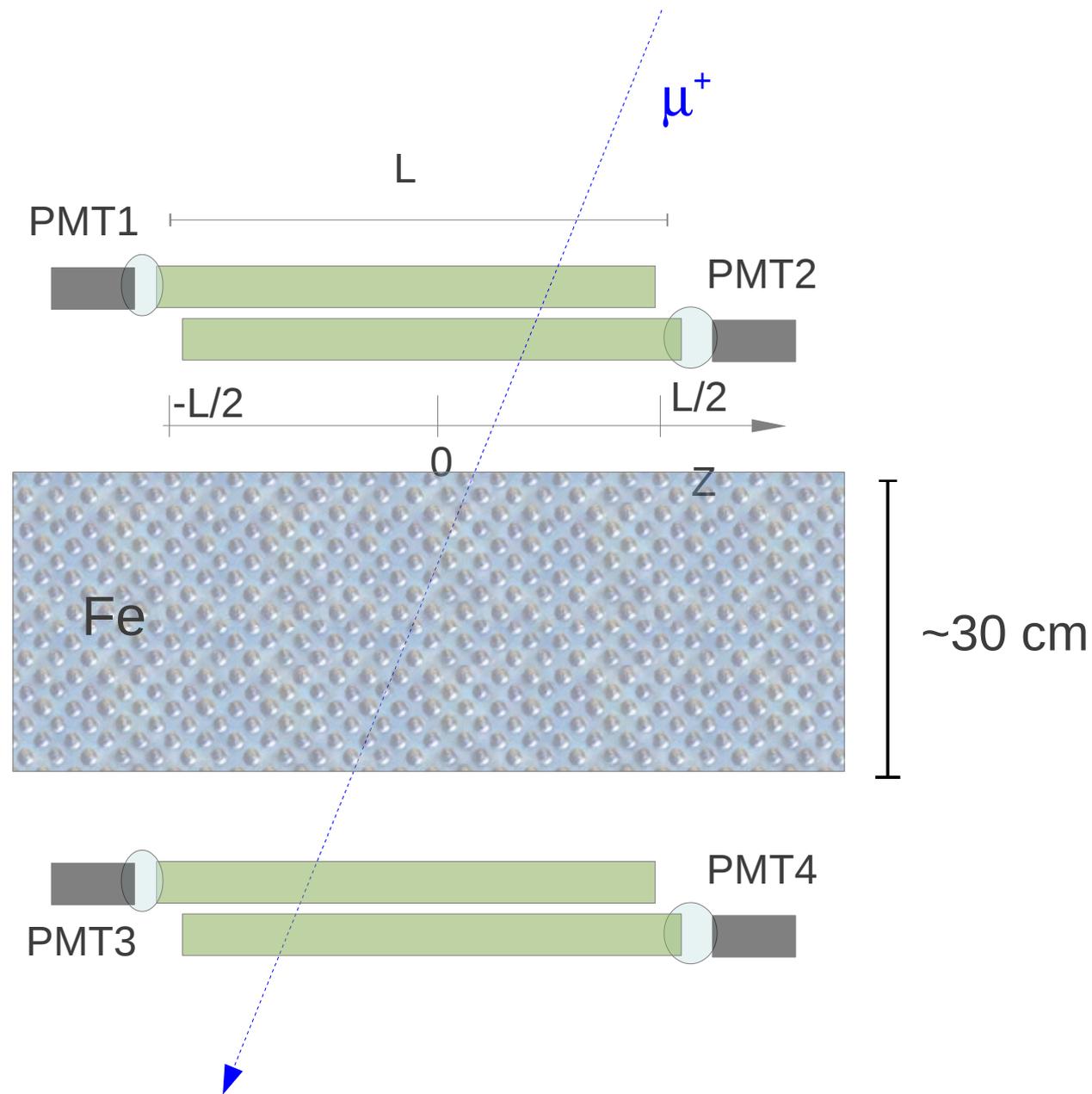


In un bin da 375 ns si ha quindi una probabilità: $1.4 \times 10^{-3} \cdot 375 \times 10^{-9} = 5 \times 10^{-10}$

Su 45M eventi di trigger mi aspetto:

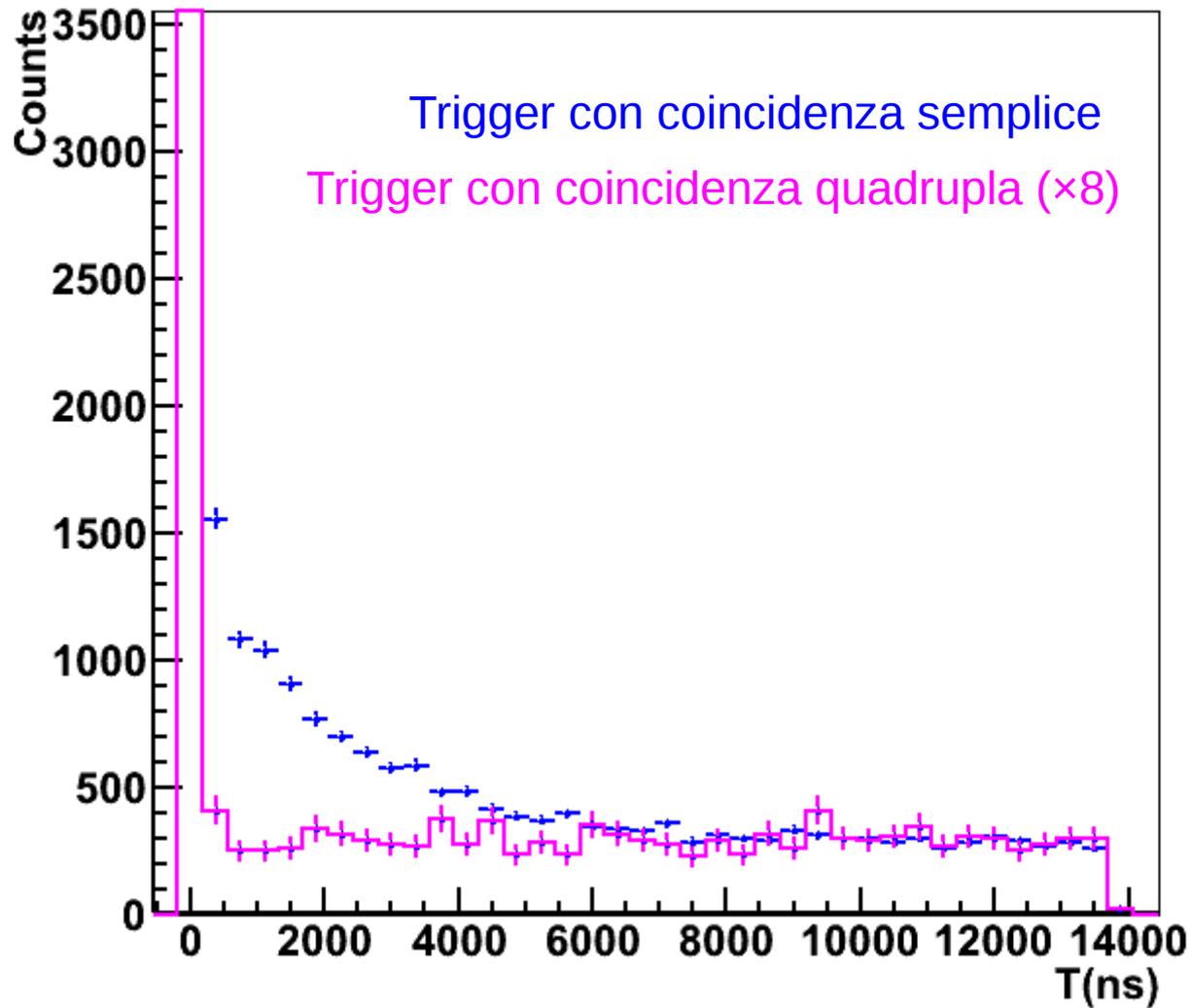
$$45\text{M} \times 5 \times 10^{-10} = 0.02 \text{ coincidenze fake per bin.}$$

Coincidenze quaduple (ovvero muoni che non si fermano)

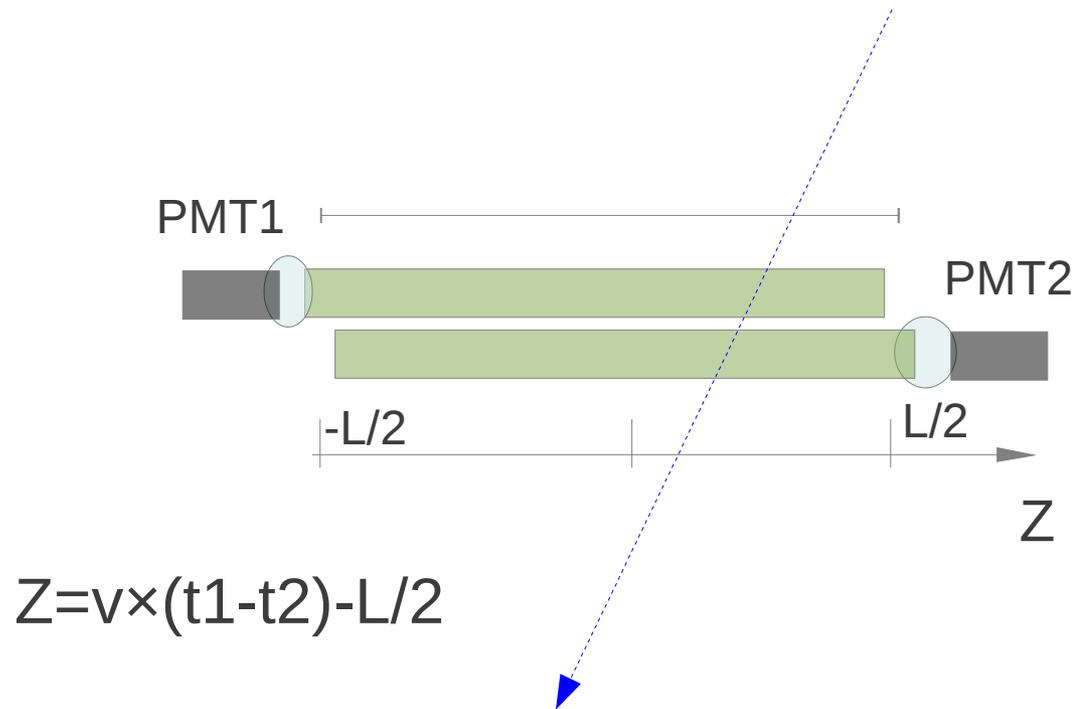


Il 10% (accettanza geometrica) dei cosmici che colpiscono i contatori 1 e 2 colpiscono anche quelli 3 e 4. 23

Trigger rinforzato con coincidenze quadruple per assicurarsi che il muone non si ferma nel ferro. Non devo vedere decadimenti del μ .

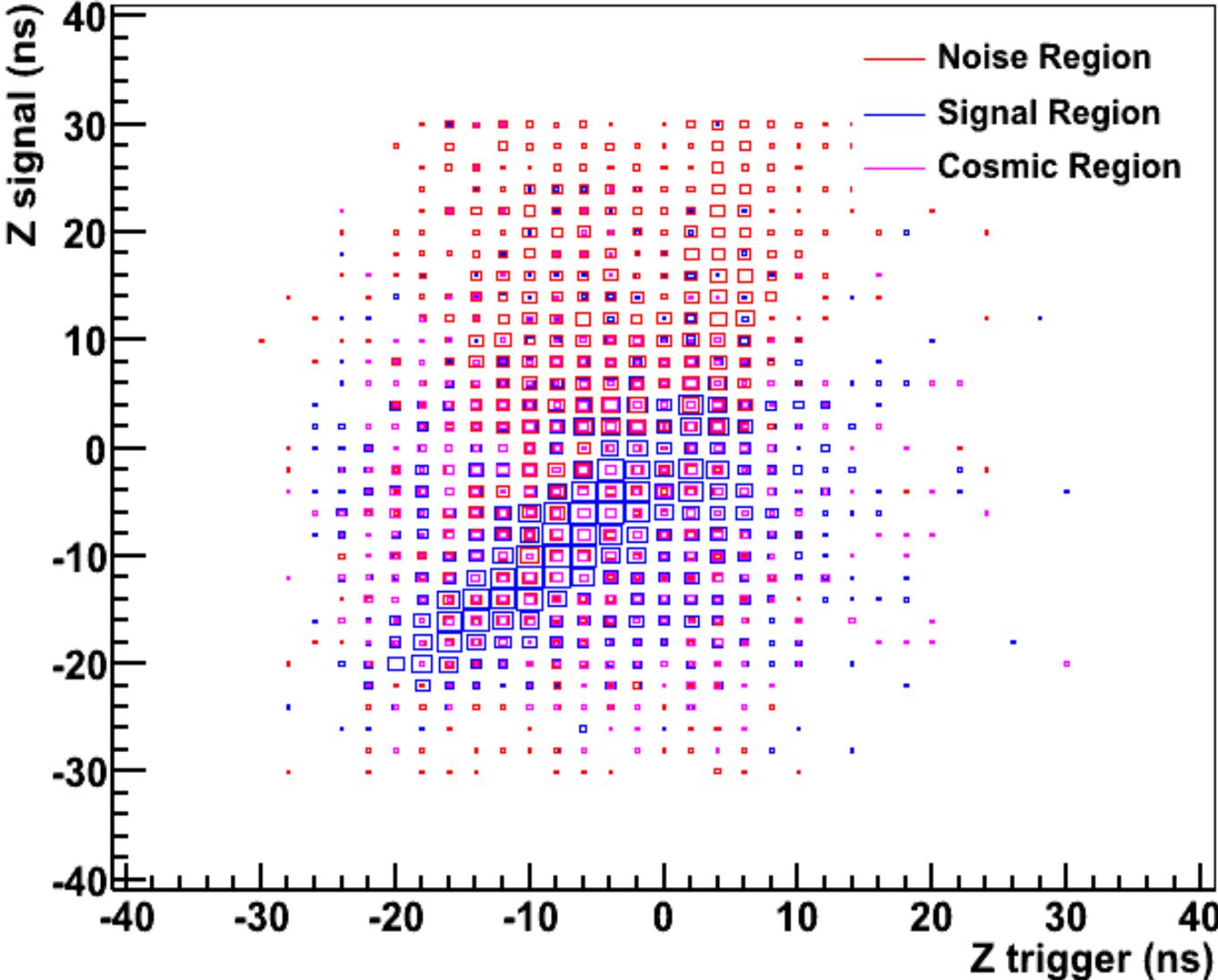


Correlazioni in Z

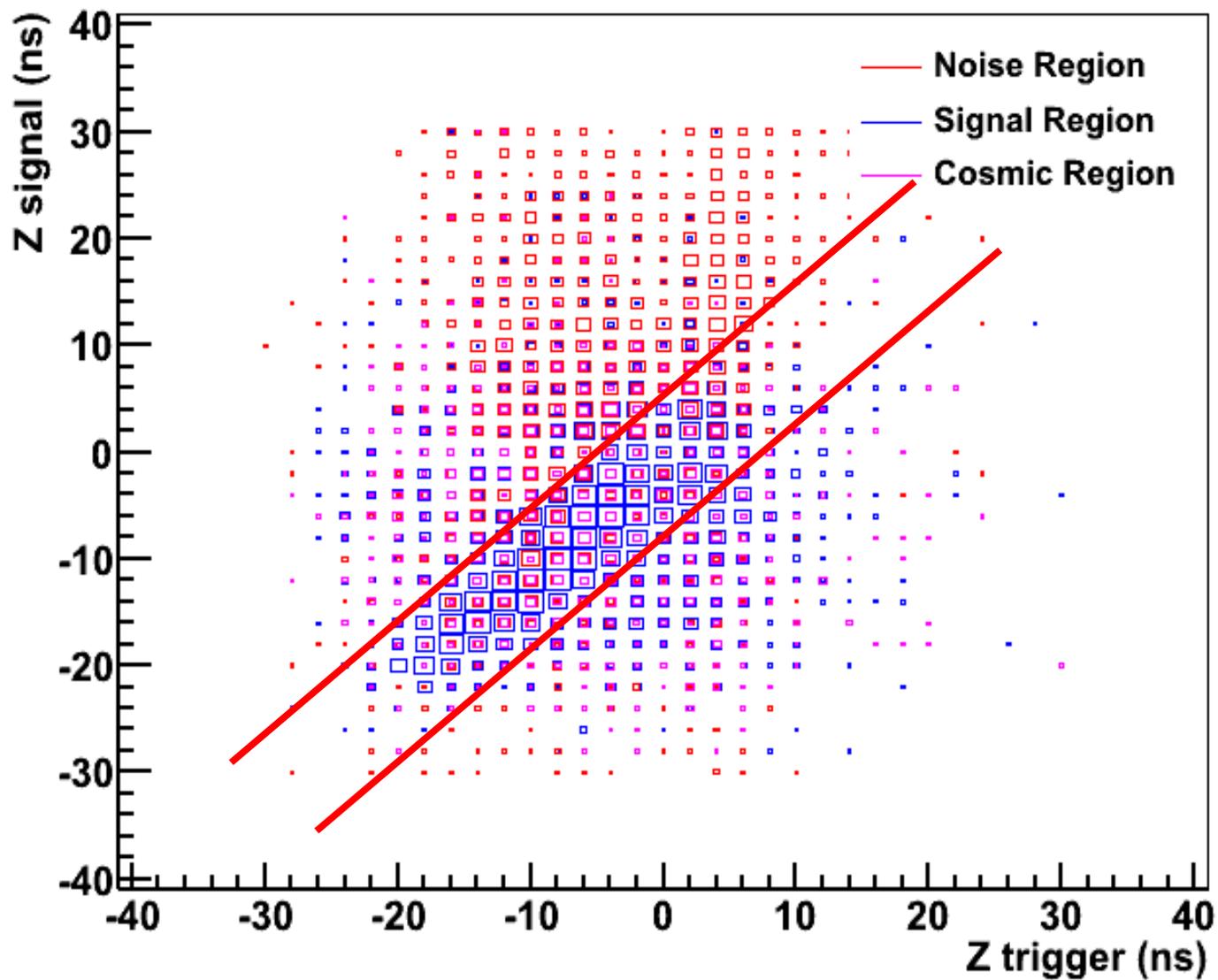


Dalla differenza dei tempi di propagazione della luce negli scintillatori possiamo calcolare la posizione in cui c'è stato il passaggio della particella ionizzante.

Correlazioni in Z

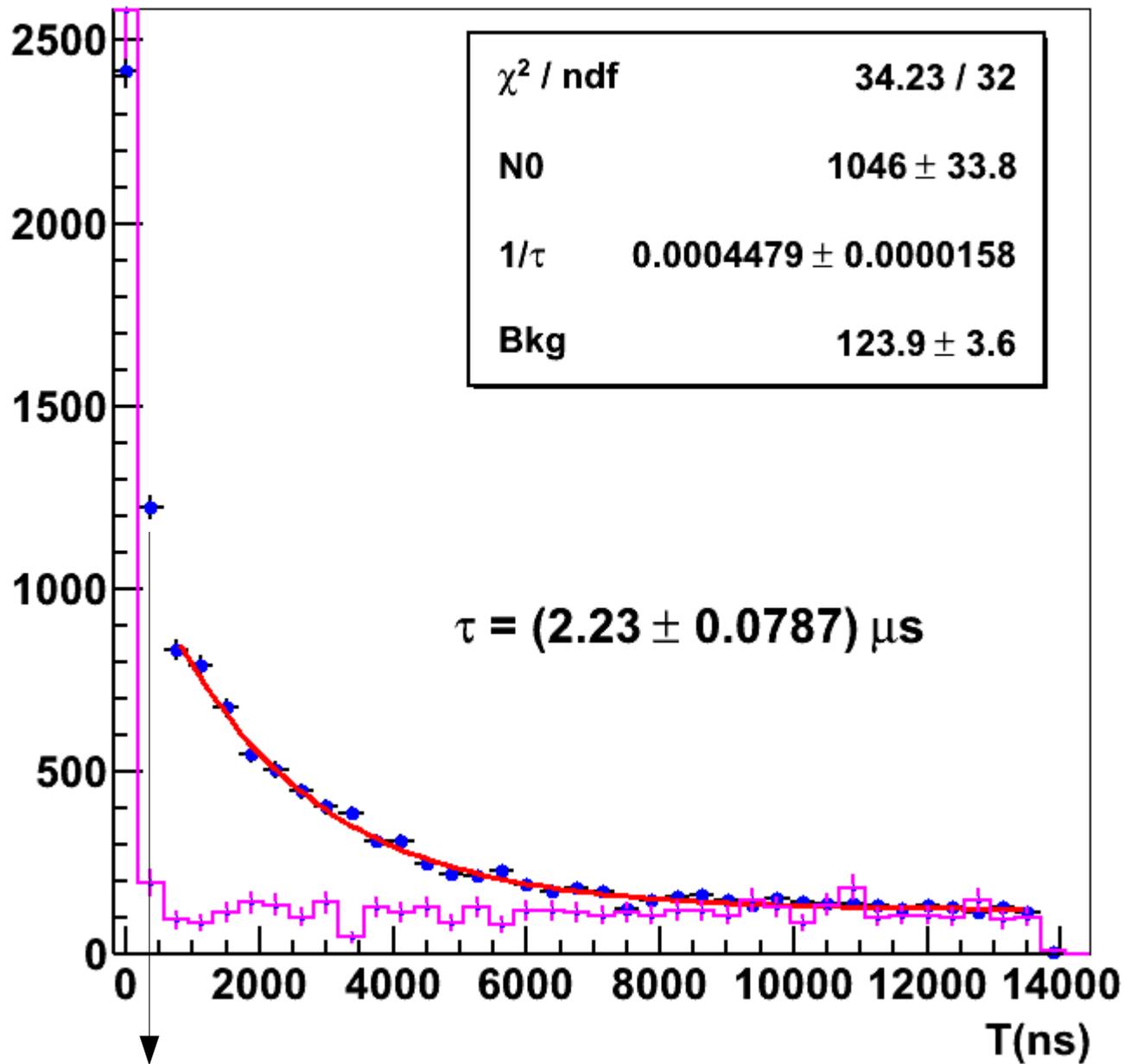


Correlazioni in Z



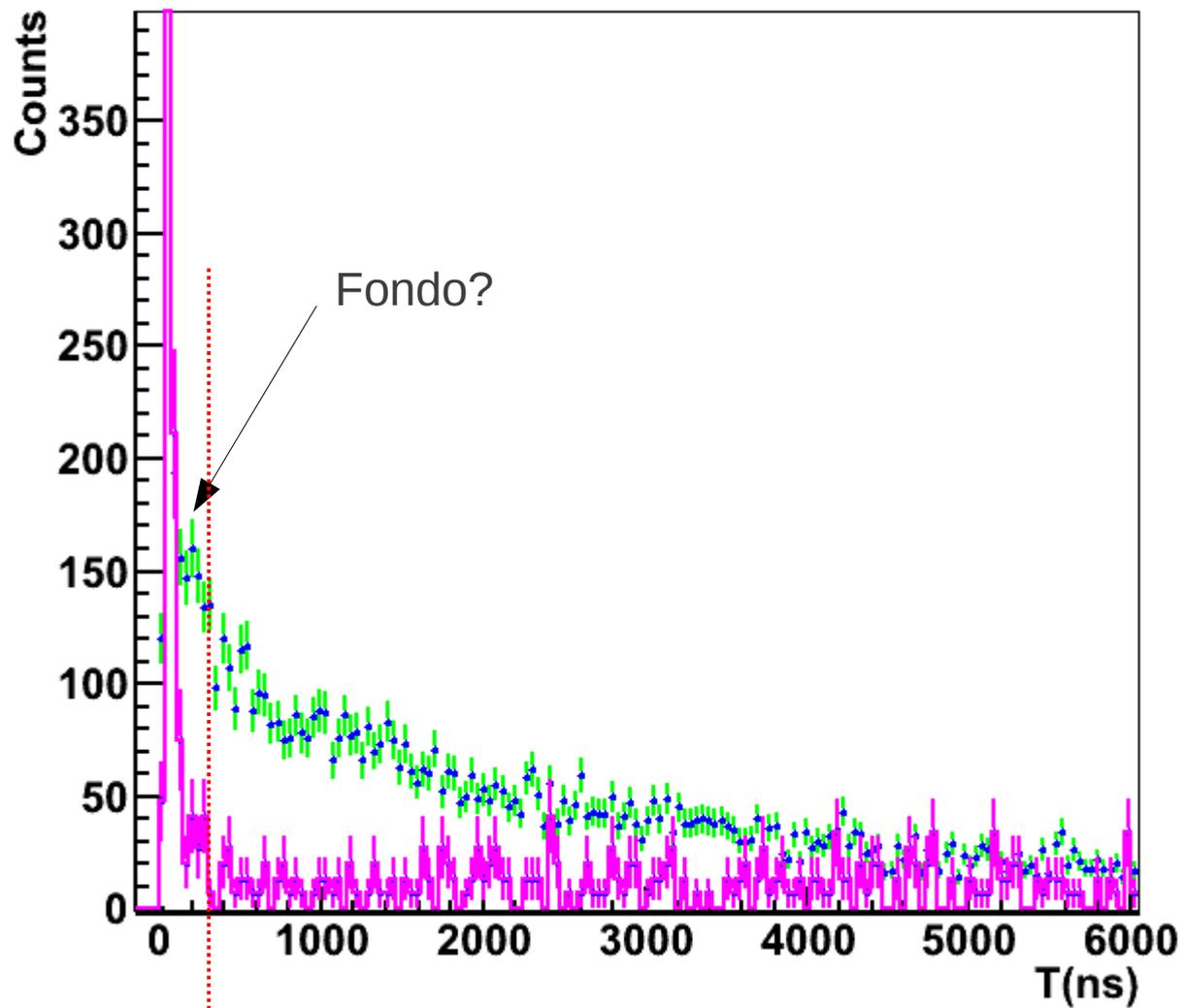
Seleziono eventi sulla bisettrice per rigettare cosmici e noise

Fit con esponenziale + costante



Bin a 375 ns. Più alto a causa di noise correlato?

Binning più fine (37.5 ns)



Noise correlato al massimo fino a 300 ns

Potrebbe anche essere il contributo del decadimento dei μ^- .

