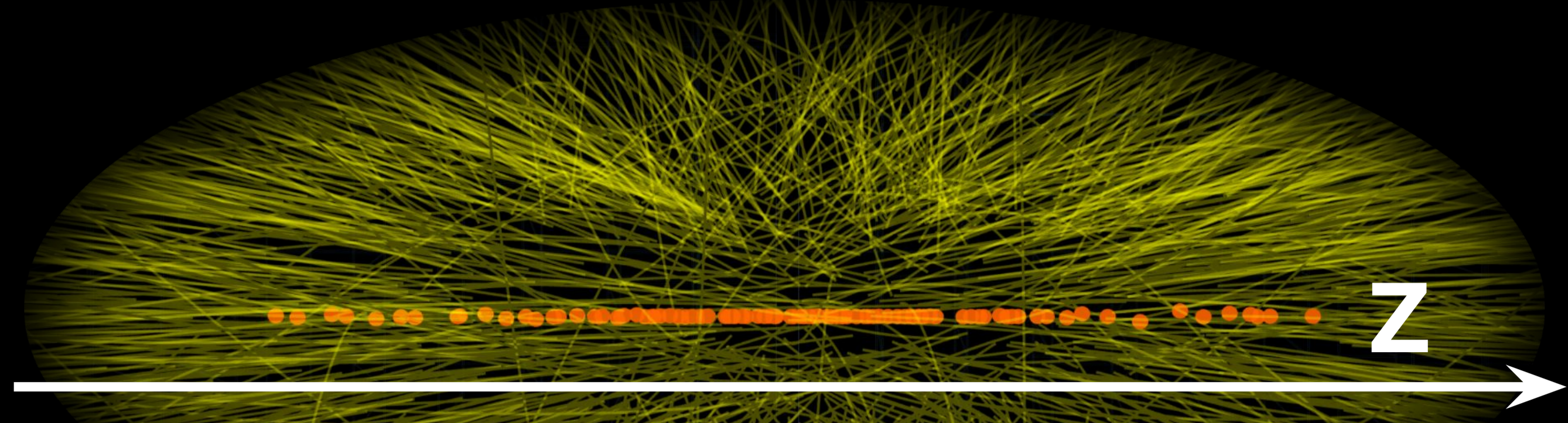
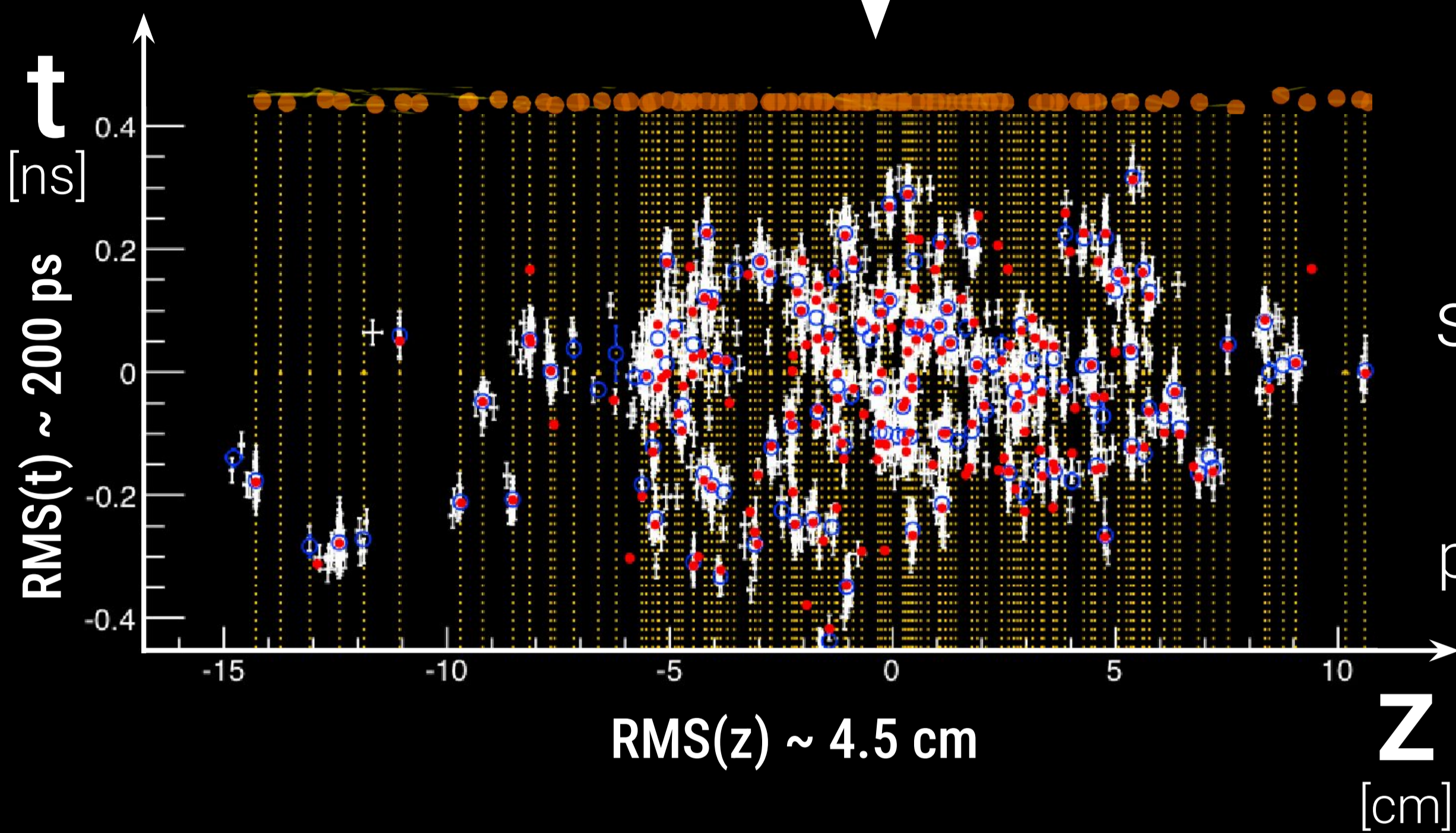


Nella fase di High Luminosity di LHC, ci aspettiamo circa **200 interazioni simultanee** per collisione (**pileup**)

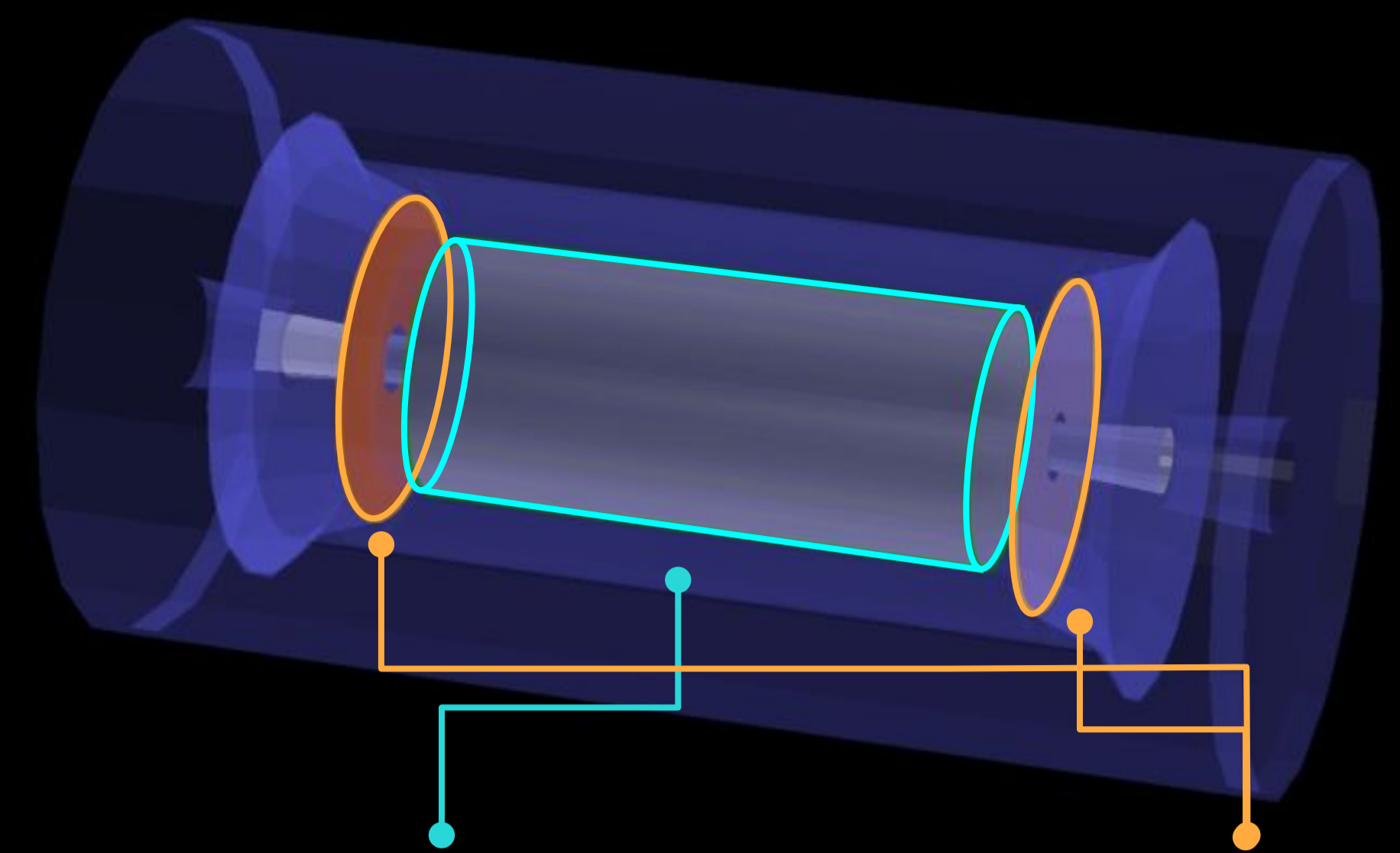


misurando il **tempo** dei vertici

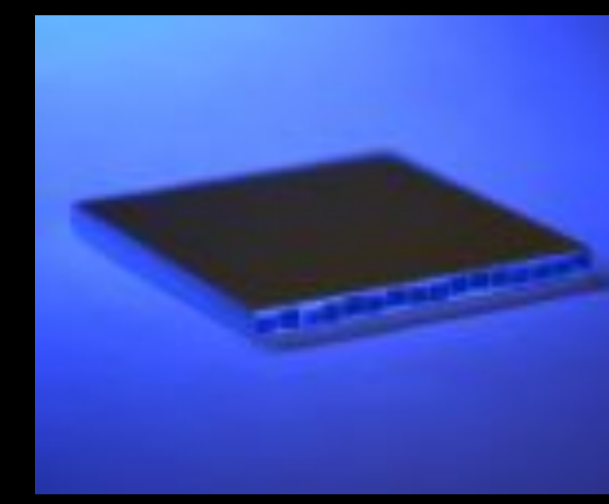


Con una risoluzione di **~30 ps** sulle **tracce** possiamo tornare ad un pileup efficace pari a quello attuale

Mip Timing Detector

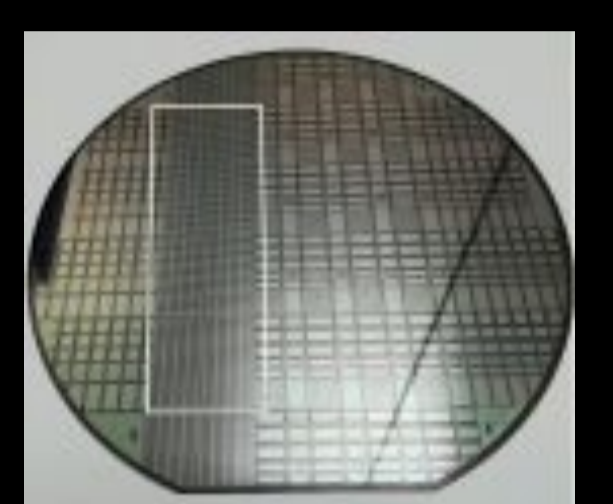


Barrel Timing Layer



Cristalli LYSO + SiPM

Endcap Timing Layer



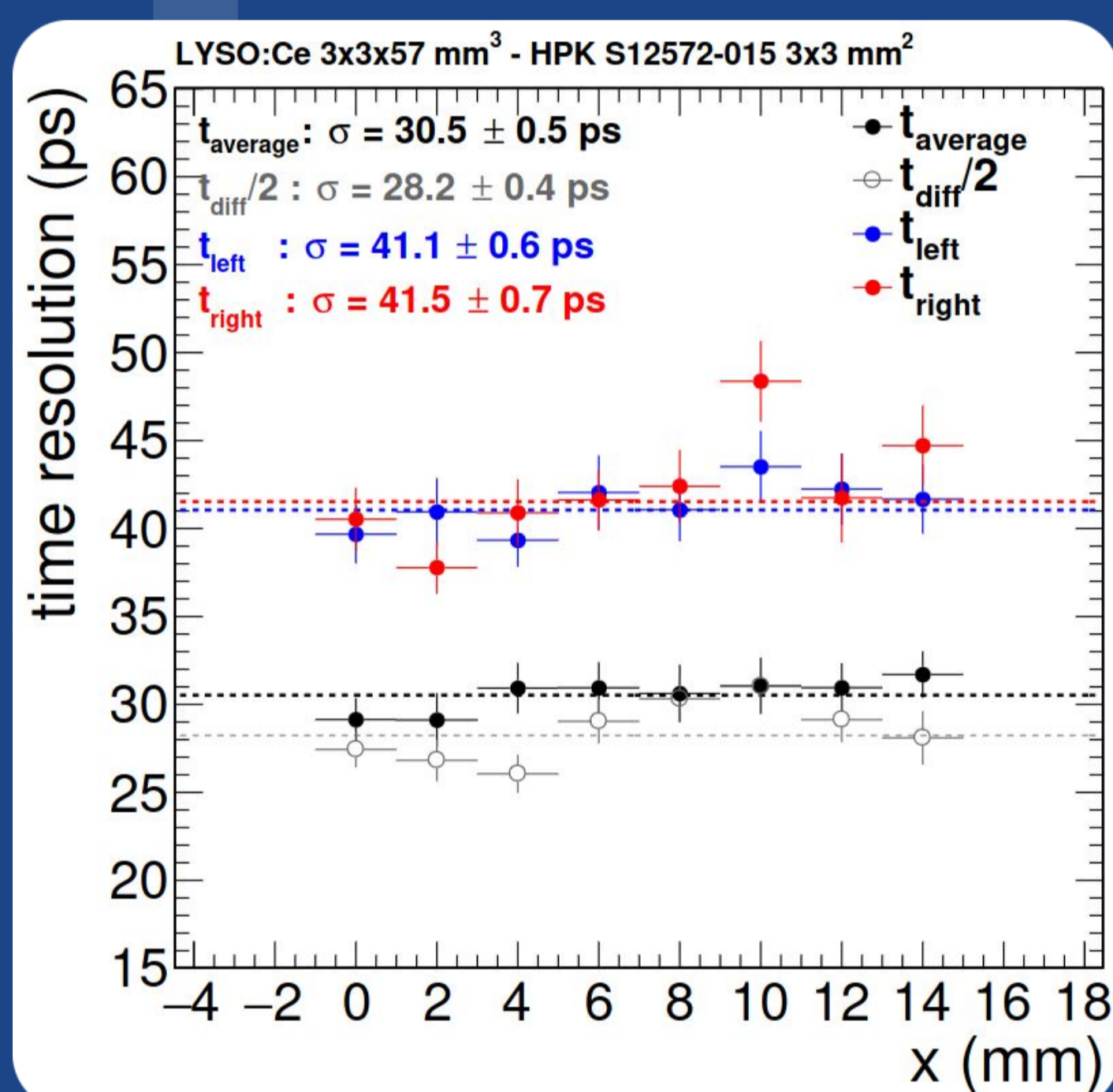
Low Gain Avalanche Photodiodes

L'esperimento CMS introdurrà il nuovo rivelatore MTD tra tracciatore e calorimetro elettromagnetico, aggiungendo alle osservabili misurate il **tempo di arrivo** di **particelle cariche** con la precisione necessaria.

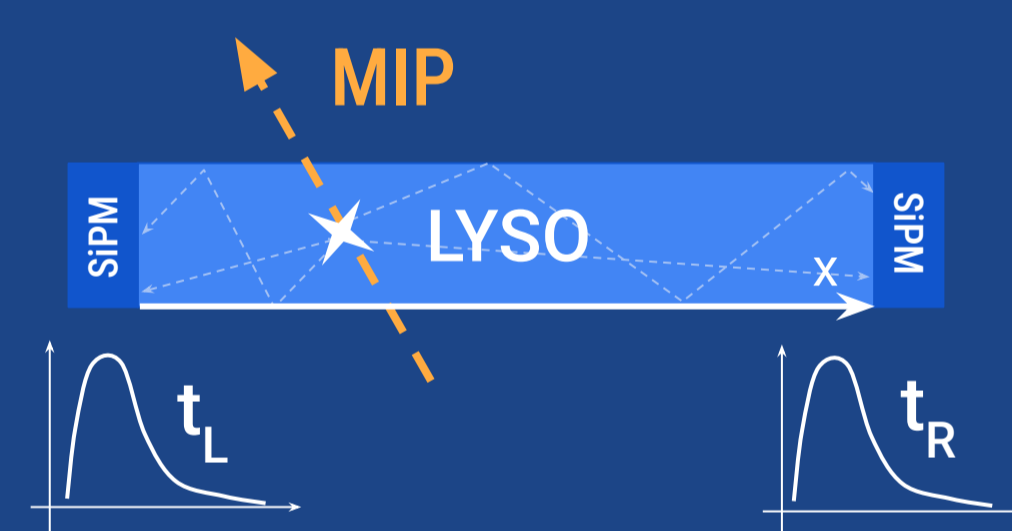
Come si passa dalla misura in MTD alla ricostruzione dei vertici?

Ricostruzione hit MTD

Il segnale prodotto dal deposito di energia della particella permette di misurarne il **tempo di arrivo**:



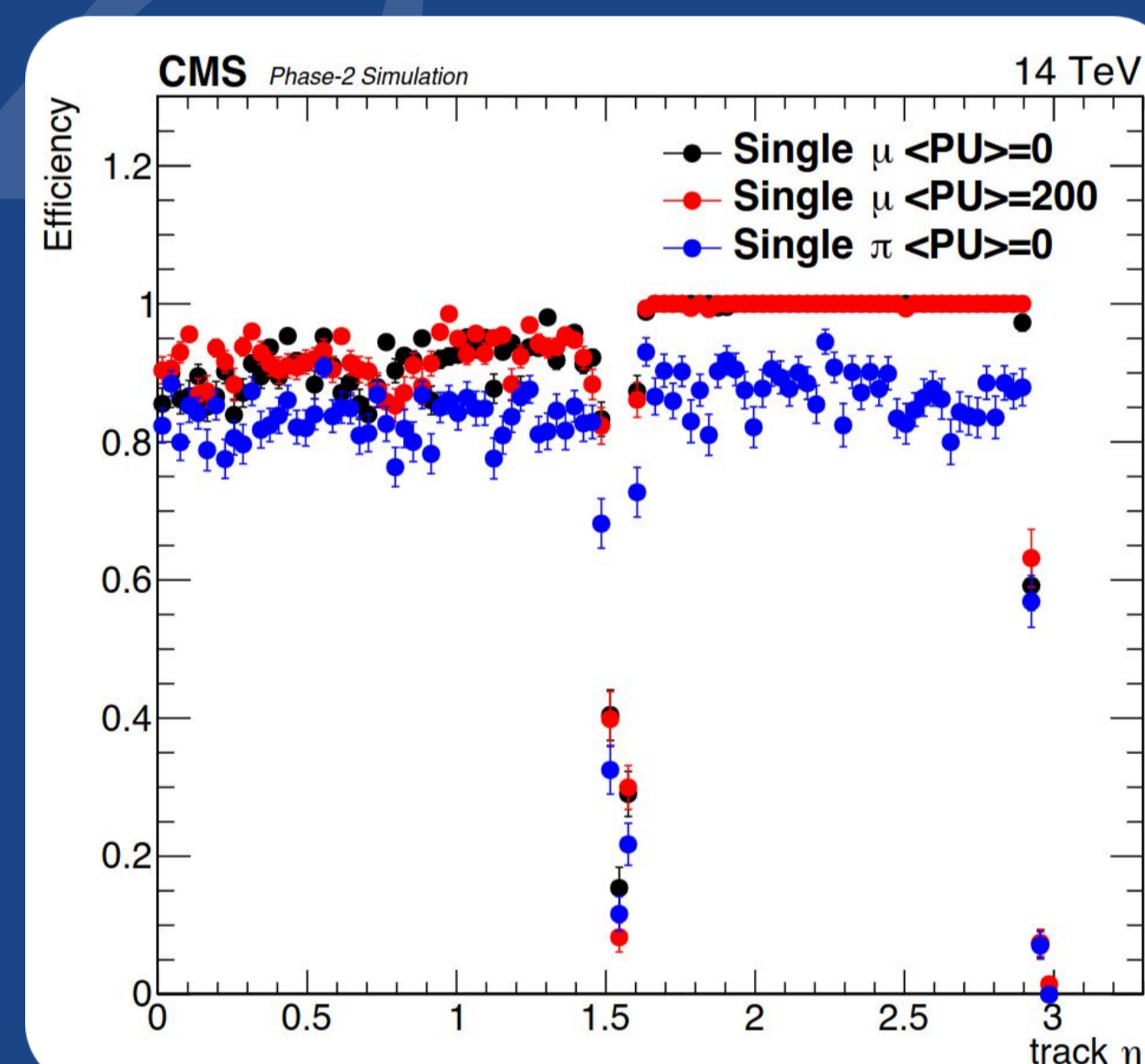
e.g. BTL



$\sigma(t_{\text{MTD}}) \sim 30-40 \text{ ps}$

Associazione tracce ↔ hit MTD

La **traccia** di ciascuna particella carica viene **associata** ad un **hit di MTD** (compatibilità spaziale e temporale)



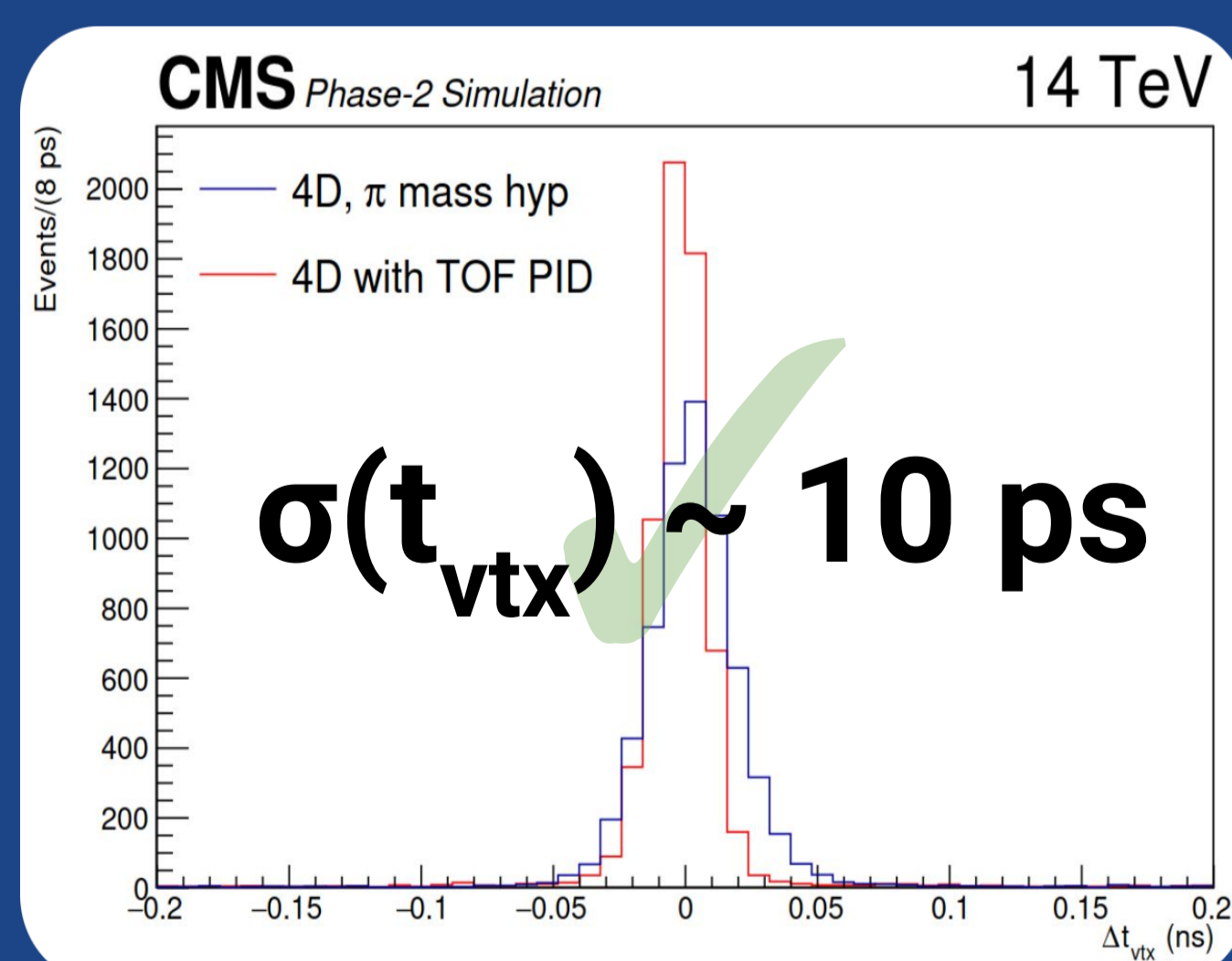
Per la ricostruzione del vertice, va ricostruito il **tempo** della traccia **alla linea di fascio**: la traccia viene quindi **propagata** all'indietro calcolandone

il **tempo di volo** (Time of Flight, TOF) sotto una certa **ipotesi di massa**, usando la misura del **momento** fornita dal tracciatore.

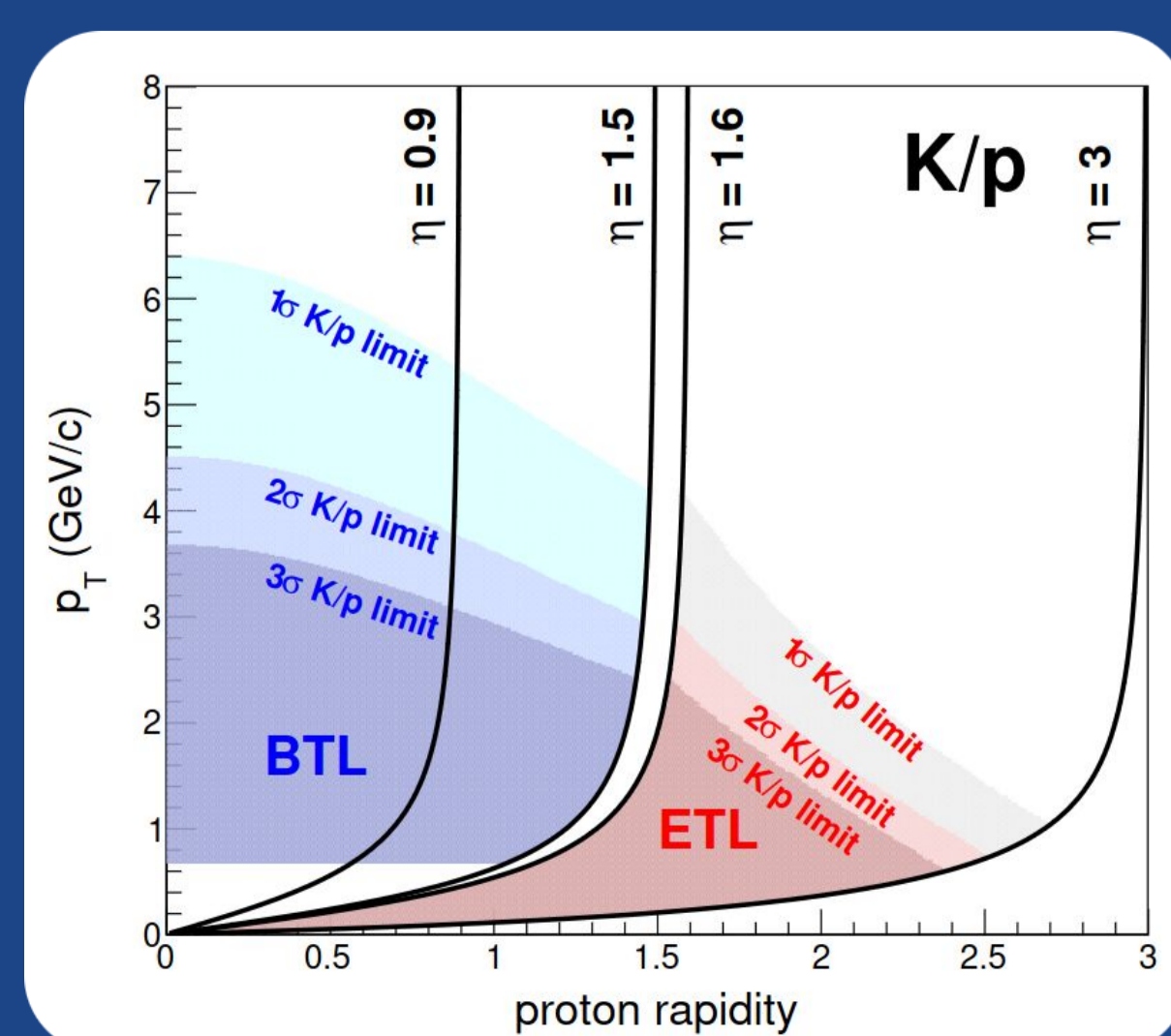
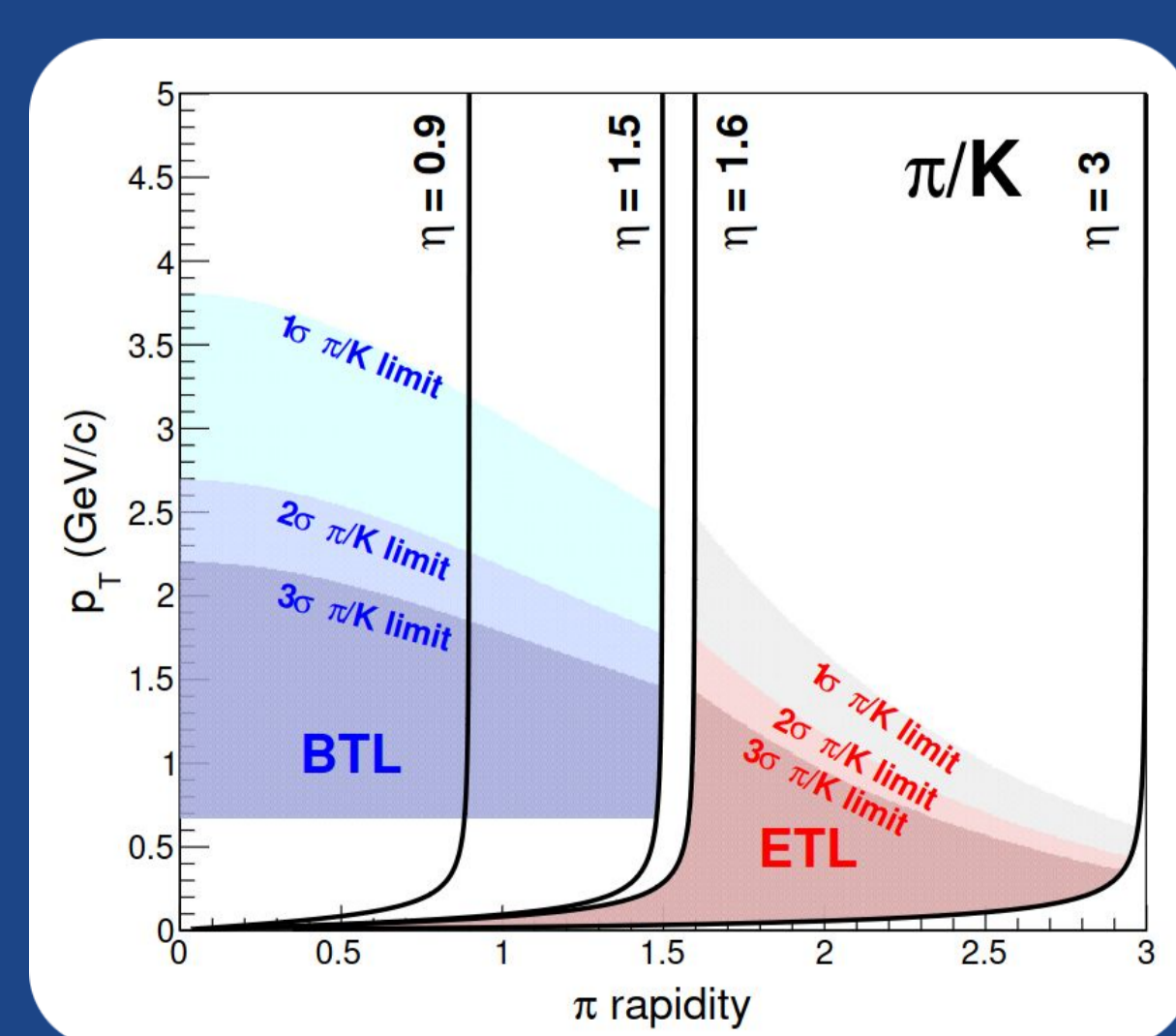
Clusterizzazione 4D tracce

Data la **collezione** di tracce con i loro **tempi** e **posizioni** alla **linea di fascio**, questi vanno raggruppati (**clusterizzati**) a formare i vertici.

Alla ricostruzione del vertice è iterativamente connessa l'**identificazione delle particelle** (Particle Identification, PID), per cui viene scelta l'ipotesi che massimizza la compatibilità temporale con il vertice assegnato.



$\sigma(t_{\text{vtx}}) \sim 10 \text{ ps}$



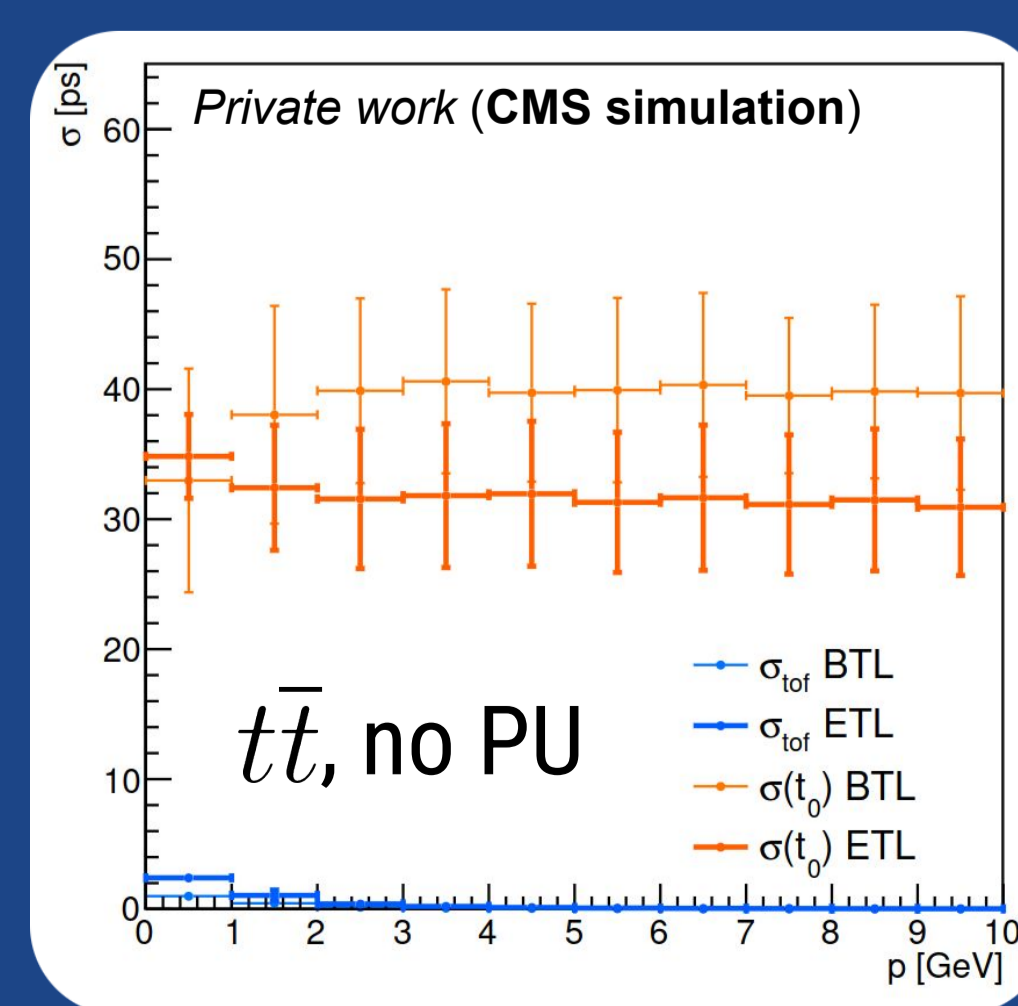
$$\sigma(t_{\text{track}}) \sim \sigma(t_{\text{MTD}}) \oplus \sigma_{\text{TOF}}$$

Nota bene: le incertezze sulle tracce hanno effetto sul vertice

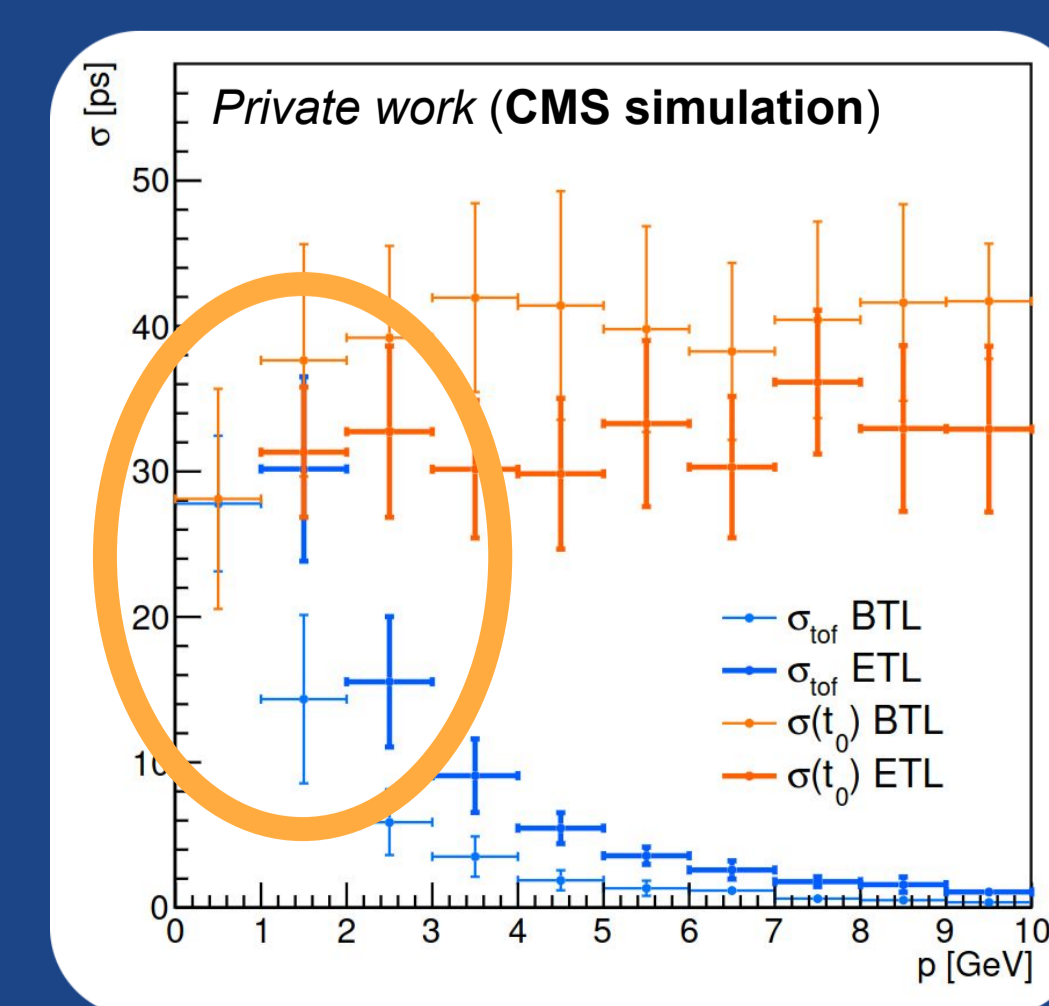
$\sigma(t_{\text{track}})$ **impatta**, oltre che l'efficienza di associazione hit MTD ↔ traccia e l'efficienza di identificazione della particella (PID), anche l'**incertezza finale sul tempo del vertice** $\sigma(t_{\text{vtx}})$: è necessario tenere sotto controllo ogni contributo per determinare la risoluzione del vertice in maniera ottimale.

$$\sigma_{\text{TOF}}(m) \approx \sigma_p \cdot \left| \frac{\partial \text{TOF}}{\partial p} \right| = \sigma_p \cdot \frac{\ell}{c} \cdot \frac{m^2}{p^2 \sqrt{p^2 + m^2}}$$

Pioni



Protoni



rilevante per particelle **a basso momento** e **pesanti**
 $\sigma_{\text{TOF}} \sim \mathcal{O}(10 \text{ ps})$ confrontabile con $\sigma(t_{\text{MTD}})$