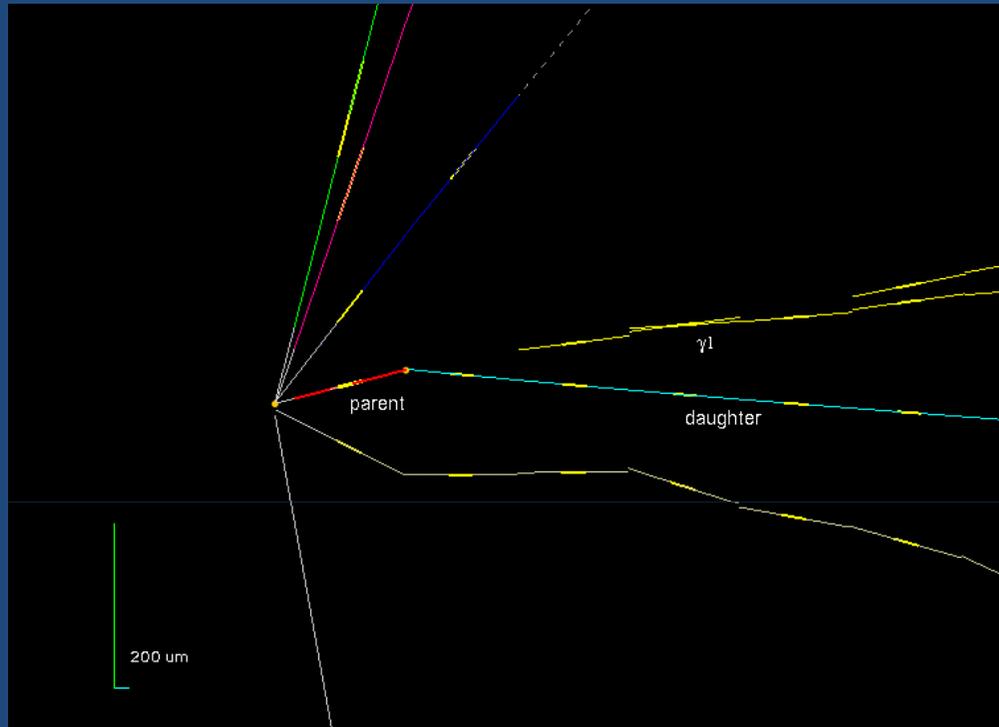


Gli eventi di neutrino nelle emulsioni nucleari



Giovanni De Lellis

University "Federico II" of Naples and INFN

Gli inizi della tecnica delle emulsioni

- 1896 Bequerel scopre la radioattività osservando l'annerimento di lastre fotografiche a causa di sali di uranio
- 1910 Kinoshita osserva tracce di particelle α
- Importanti sviluppi sulla sensibilità delle emulsioni negli anni 30' e 40' grazie al gruppo di Bristol guidato da Powell che riuscì a sviluppare emulsioni sensibili agli elettroni
- Emulsioni originariamente da 50 μm (parallele alla direzione delle particelle)
- Ricerca per sviluppare emulsioni più spesse (fino a 1mm) che contenessero le particelle cariche prodotte
- Dopo la seconda guerra mondiale, fervida collaborazione tra gruppi universitari e industrie fotografiche (Kodak, Ilford)

La scoperta del pione

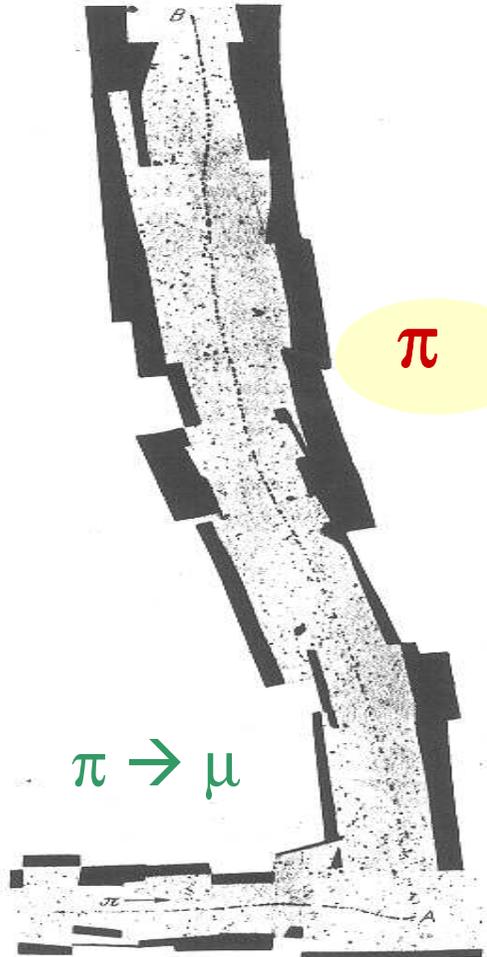
Studio dei raggi cosmici su aereo a circa 9 km e a Pic du Midi

Emulsioni di 600 μm con nuova gelatina per registrare il passaggio di particelle ionizzanti.
Con queste emulsioni esposte a raggi cosmici, Powell risolse nel 1947 il mistero del mesone di Yukawa

π

Lattes, Muirhead, Occhialini and Powell,
OBSERVATIONS ON THE TRACKS OF SLOW MESONS IN
PHOTOGRAPHIC EMULSIONS, Nature 159 (1947) 694.

$\pi \rightarrow \mu$



Powell ricevette il premio Nobel per la Fisica nel 1950.

Nella presentazione il Comitato sottolineò la semplicità dell'apparato utilizzato

Le emulsioni nucleari in un esperimento

Usate per instrumentare la regione del bersaglio di un apparato sperimentale per lo studio delle proprietà delle particelle incidenti e/o dei prodotti delle loro interazioni.

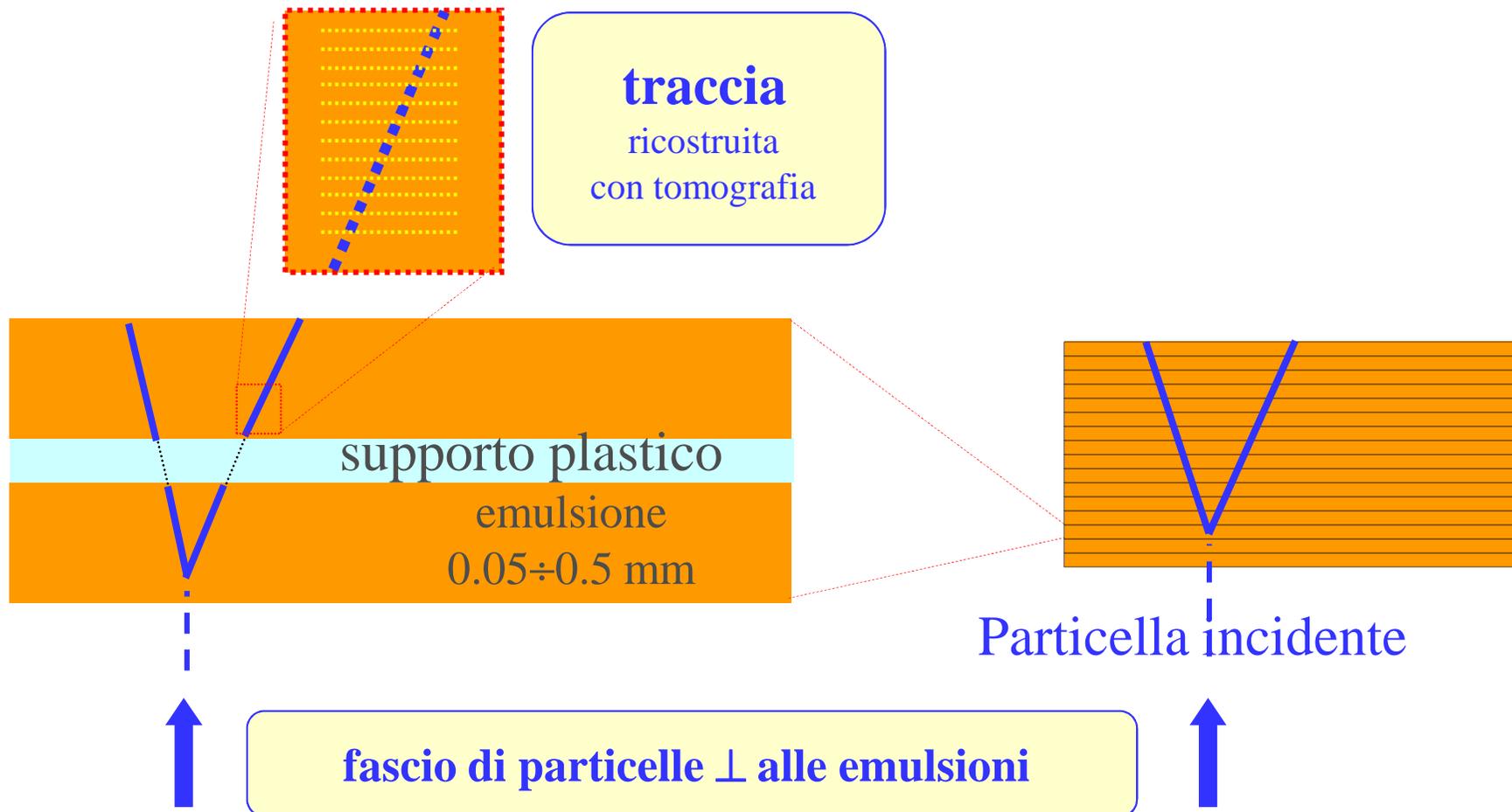
Due modalità:

- “Bulk”: bersaglio completamente costituito da film di emulsioni
- Emulsion Cloud Chamber (ECC): bersaglio costituito da materiale passivo intervallato con emulsioni nucleari che fungono da tracciatore di risoluzione micrometrica

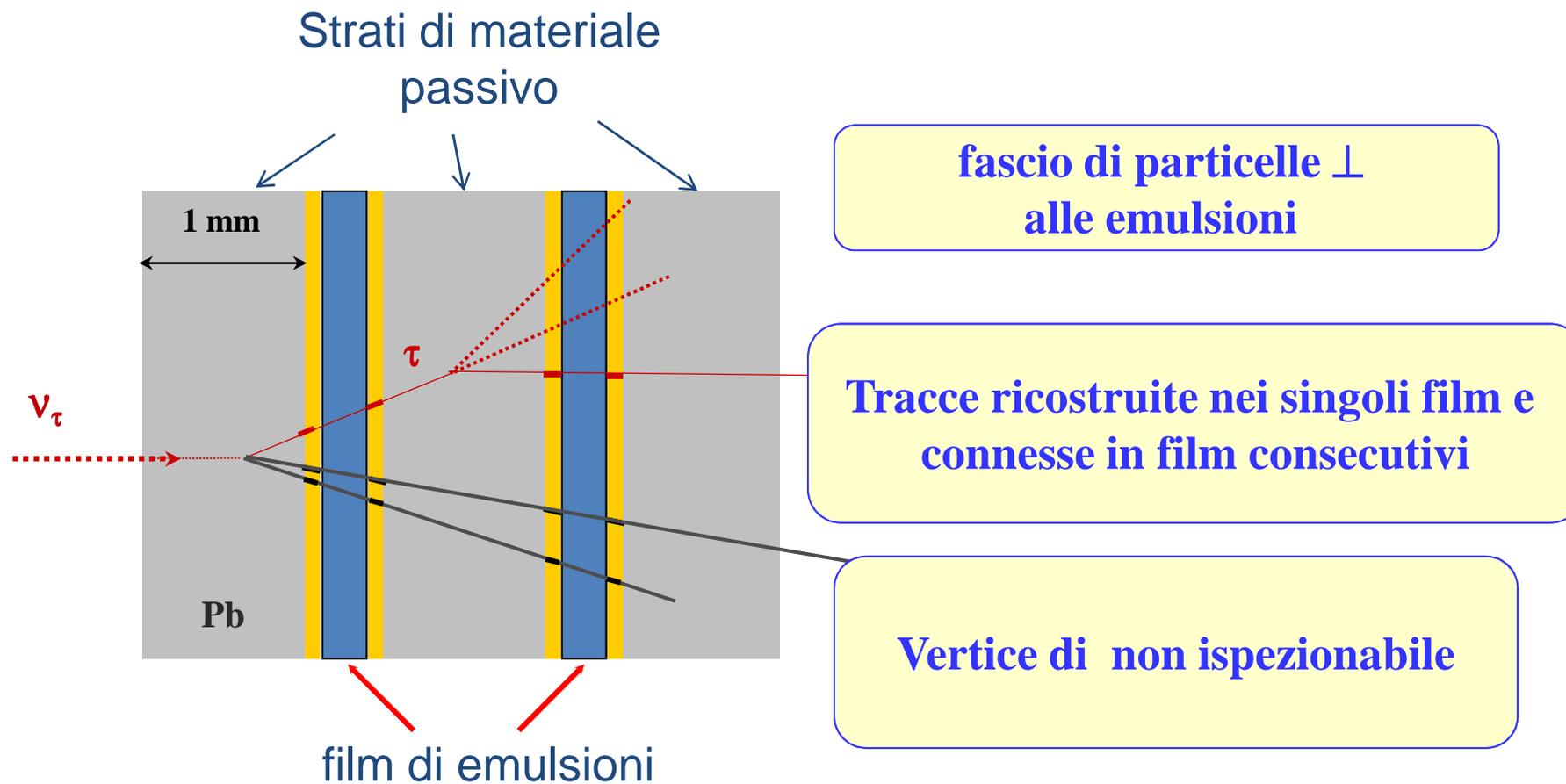
Le Emulsioni in modalità “bulk”

film di emulsioni

bersaglio attivo
(costituito da fogli di emulsioni)



Le Emulsioni in modalità ECC



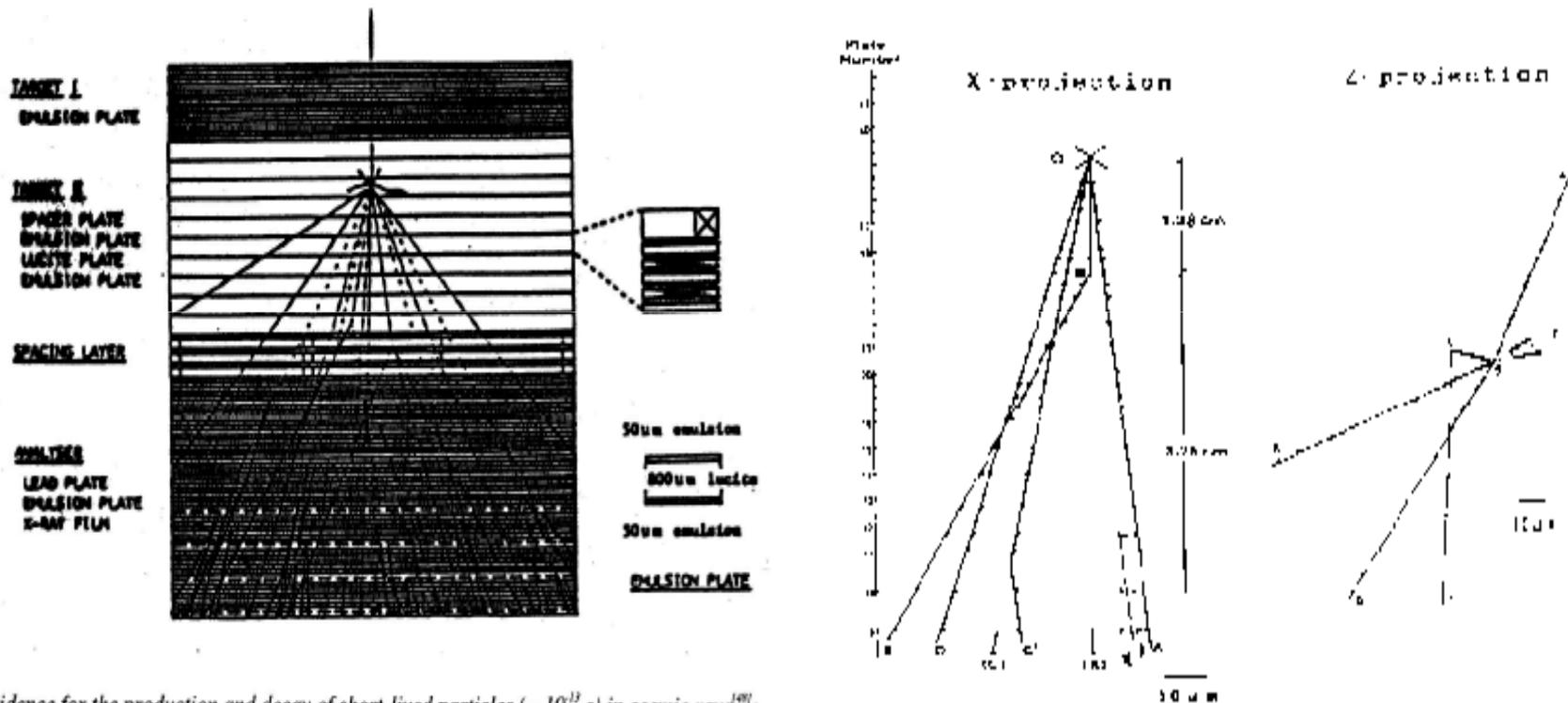
Differenze nei due approcci

- “Bulk”: ispezione visiva al microscopio distingue decadimenti da interazioni adroniche (rinculo e/o evaporazione nucleare) , combinati con rivelatori elettronici per misura temporale, misure cinematiche e riconoscimento del muone
- ECC: bersaglio compatto e relativamente economico, elevata massa (bassi flussi e/o sezione d'urto), misure cinematiche della quantità di moto attraverso la deflessione Coulombiana multipla nel materiale passivo, identificazione di sciame elettromagnetici . Rivelatori elettronici usati per restringere area di scansione

Prima osservazione del “charm”

A POSSIBLE DECAY IN FLIGHT OF A NEW TYPE PARTICLE

Niu et al., Prog.Theor.Phys.46 (1971) 1644-1646.

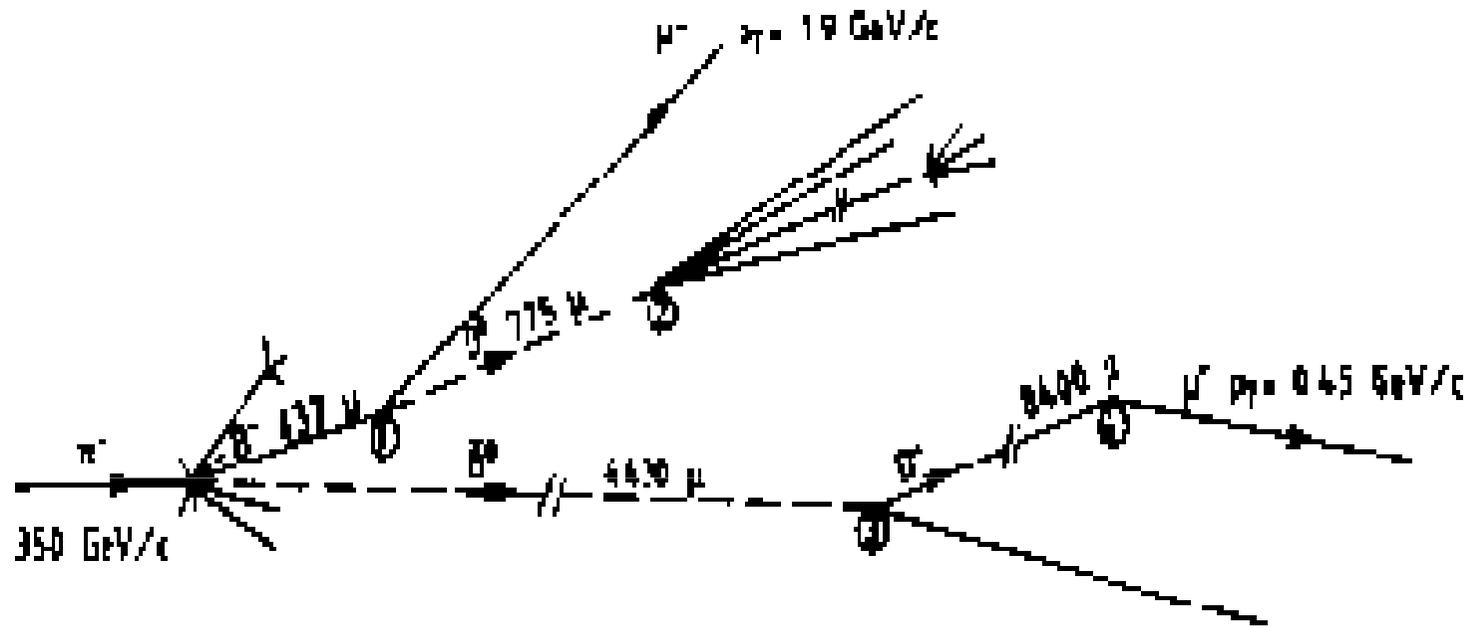


(a) First evidence for the production and decay of short-lived particles ($\sim 10^{-13}$ s) in cosmic rays¹⁴⁰¹;
(b) the event was observed in an emulsion chamber.

DISCOVERY OF A NARROW RESONANCE IN $E^+ E^-$ ANNIHILATION

Phys.Rev.Lett.33:1406-1408,1974

Prima osservazione diretta del “beauty” e del suo decadimento

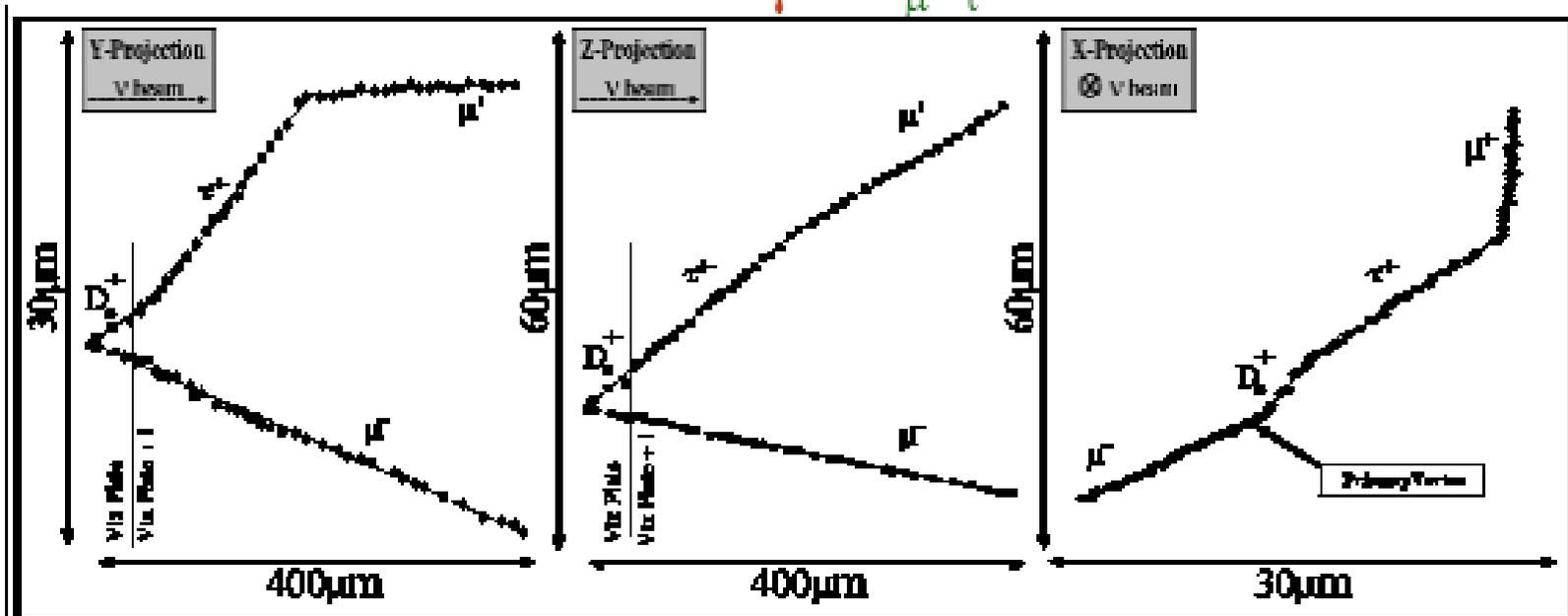


*Due particelle con quark “beauty” sono create e decadono (10^{-12} s)
generando particelle con “charm” che a loro volta decadono*

***DIRECT OBSERVATION OF THE DECAY OF BEAUTY PARTICLES
INTO CHARM PARTICLES, Phys. Lett. B158 (1985) 186, Esperimento
WA75, CERN***

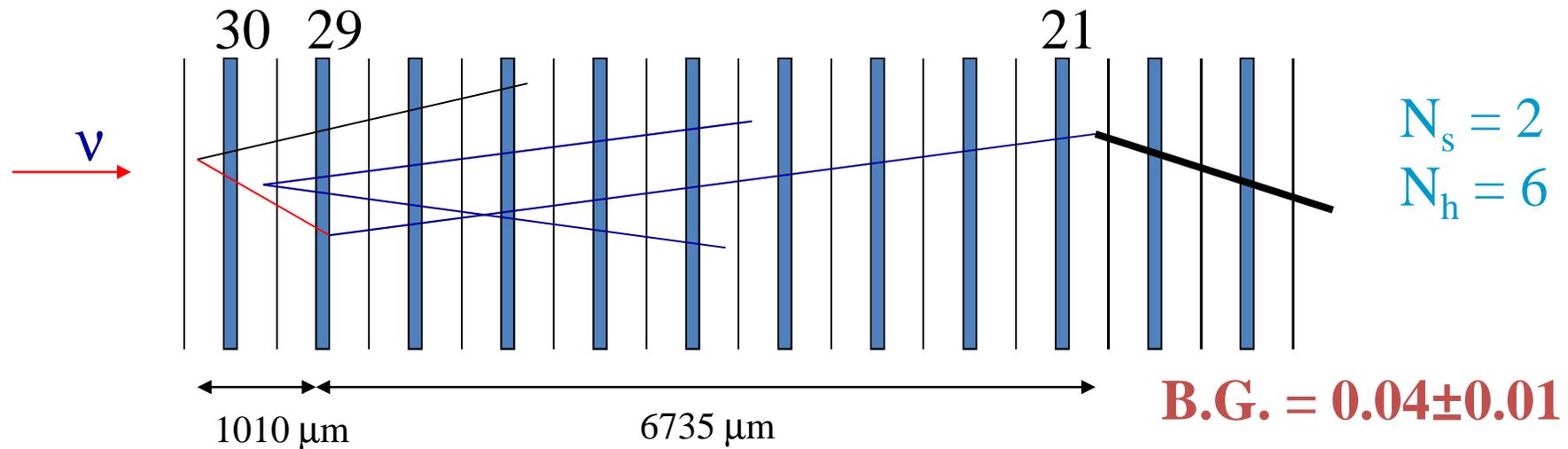
Diffractive D_s production in CHORUS tecnica "bulk"

Phys. Lett. B 435 (1998) 458, CHORUS Coll.



Prima osservazione della produzione associata di charm in CC (CHORUS)

Phys. Lett B 539 (2002) 188, CHORUS Coll.



D^0 f.l. = $340 \mu\text{m}$

1st vertex

$\theta_{\text{kink}} = 420 \text{ mrad}$
f.l. = $1010 \mu\text{m}$

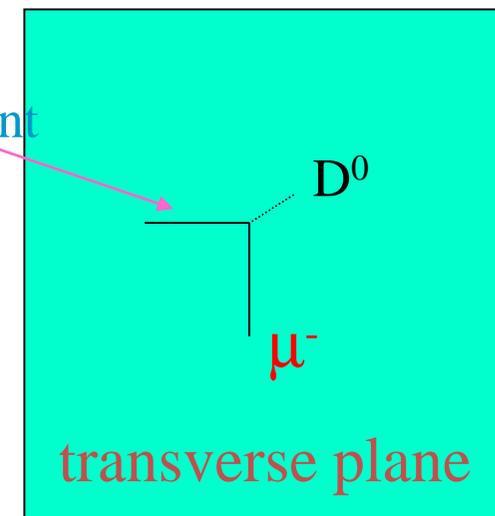
2ry vertex

$\theta_2 = 310 \text{ mrad}$
f.l. = $7560 \mu\text{m}$

kink parent

$p\beta = 500^{+180}_{-110} \text{ MeV}/c$ } $P = 0.78 \text{ GeV}/c$

$dE/dx \rightarrow \text{proton}$ } $P_{\perp} > 330 \text{ MeV}/c$



Produzione associata di charm in NC

European Physical Journal C52 (2007) 543, CHORUS Coll.

$N_s = 6$

$N_h = 1$ (gray)

4Vee @ pl 17

FL = 884 μm

C3 @ pl 17

FL = 426 μm

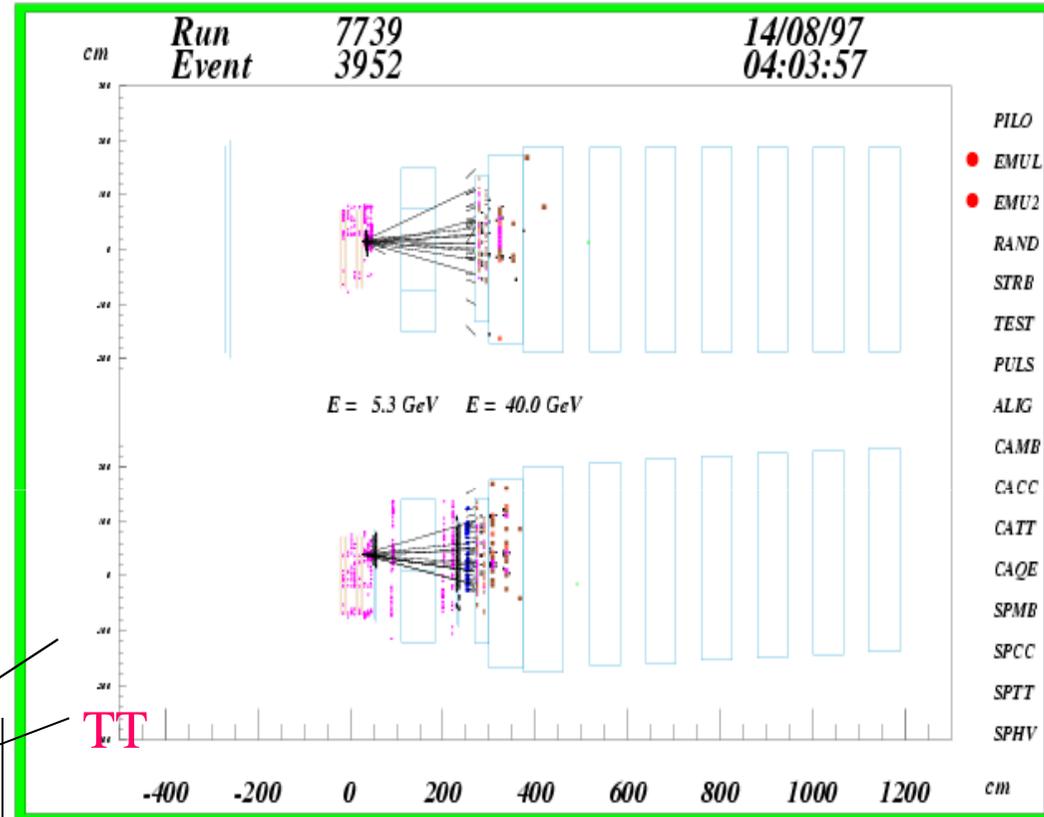


PLATE 18

PLATE 17

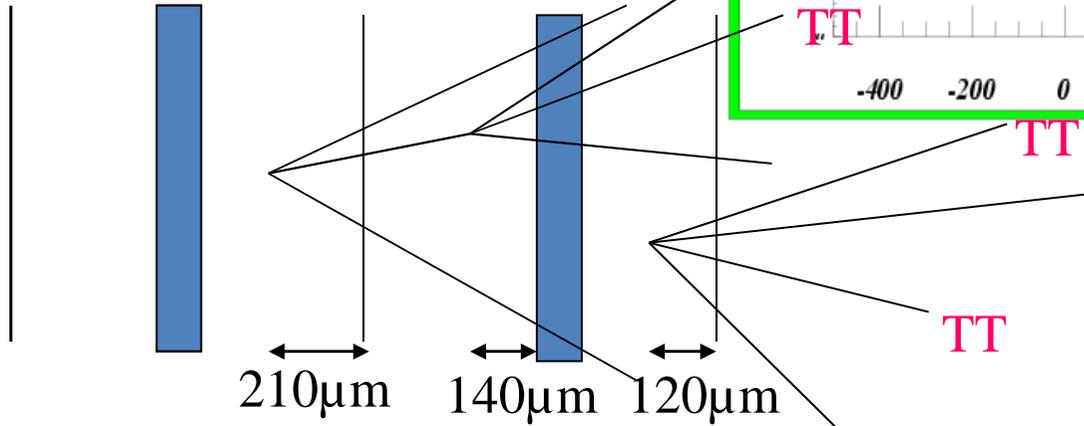
210 μm

140 μm

120 μm

TT

TT

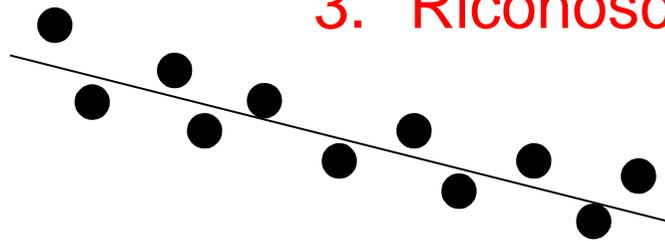


Precisione micrometrica in posizione

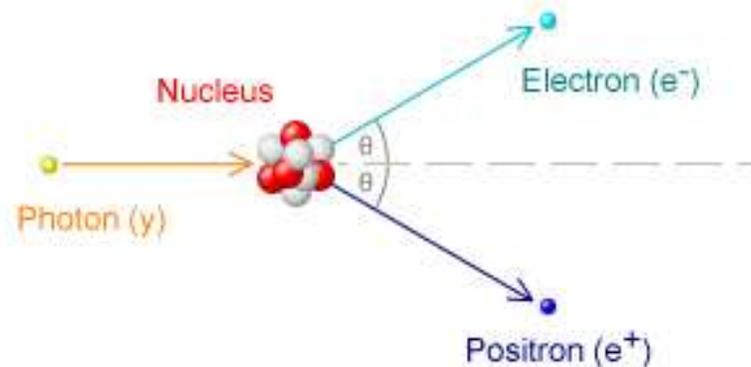
- accurata definizione topologica
- particelle a vita breve ($10^{-15} \div 10^{-12}$ s)

Ma anche

1. Misura della densità di grani $\propto dE/dx$
2. Accurata misura delle deflessioni angolari (mrad)
3. Riconoscimento di coppie elettrone-positrone



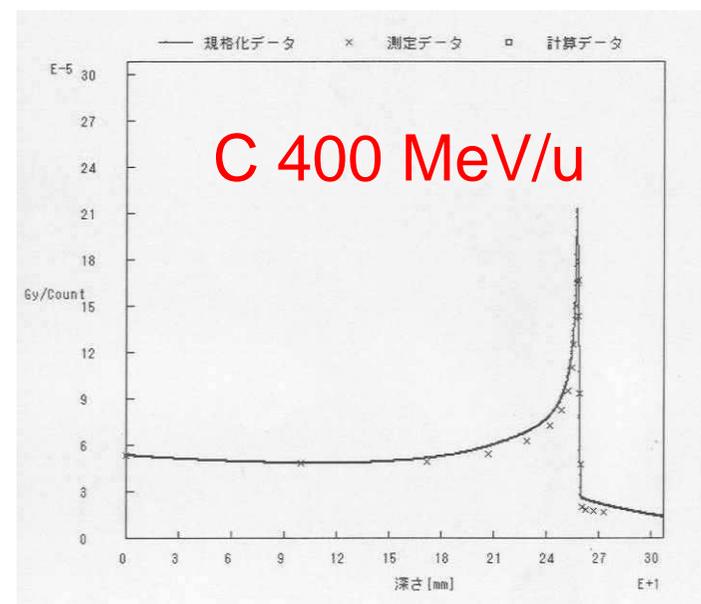
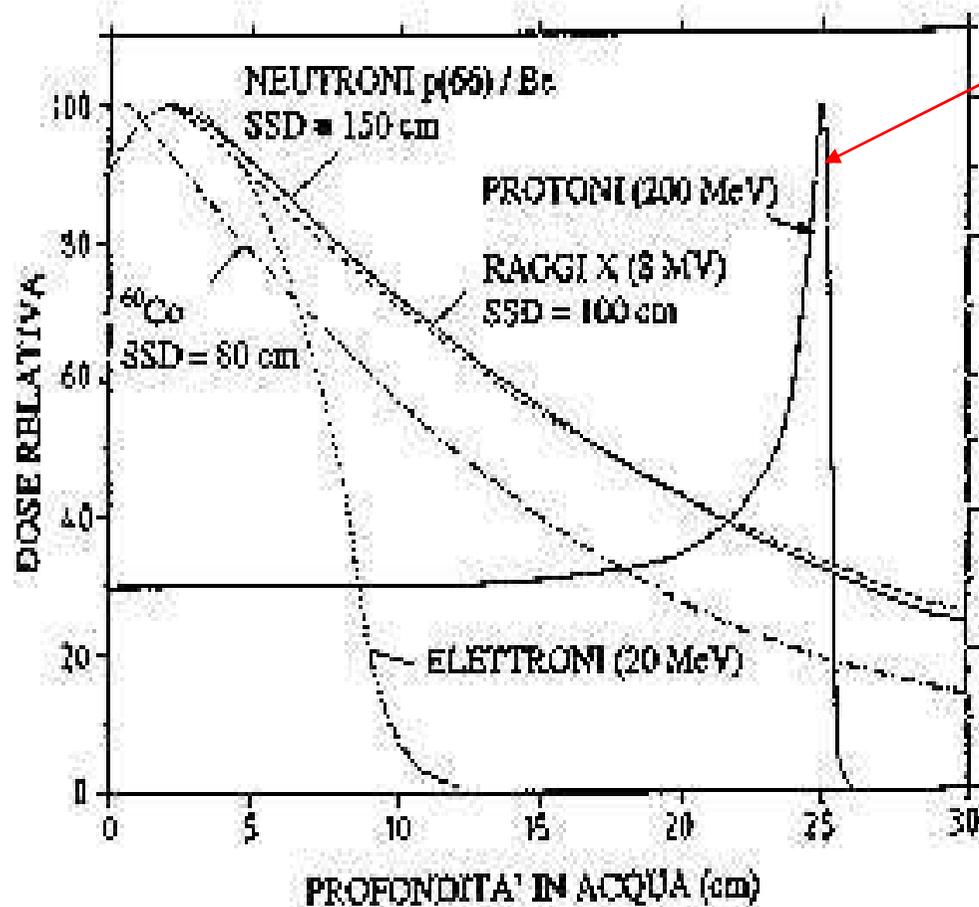
grani lungo la
traiettoria



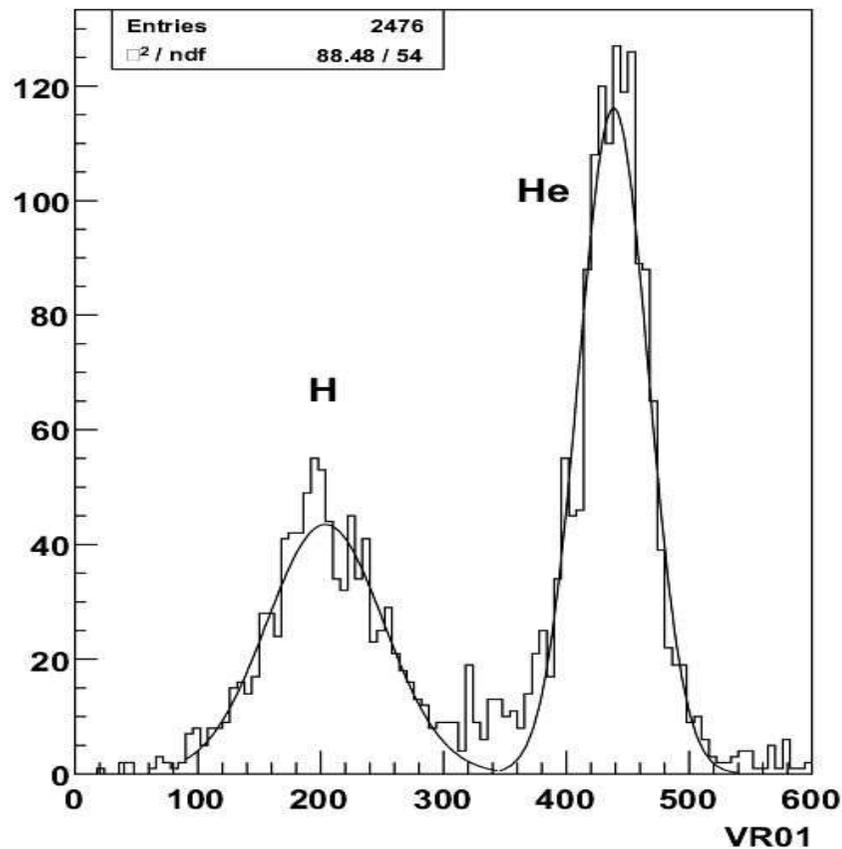
Applicazioni anche alla fisica medica

Protoni e ioni Carbonio usati in adroterapia (picco di Bragg)

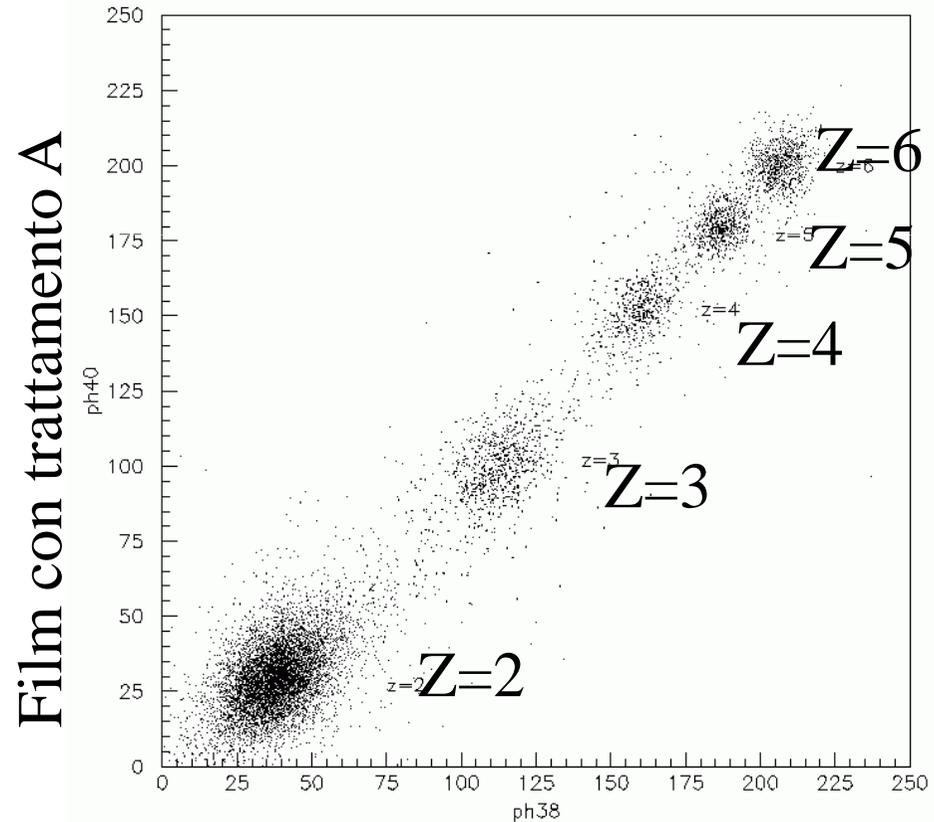
Scarsa conoscenza delle loro interazioni lungo il cammino



Rivelazione (topologica) delle interazioni degli ioni Carbonio prima del picco di Bragg e identificazione dei prodotti attraverso la misura della ionizzazione

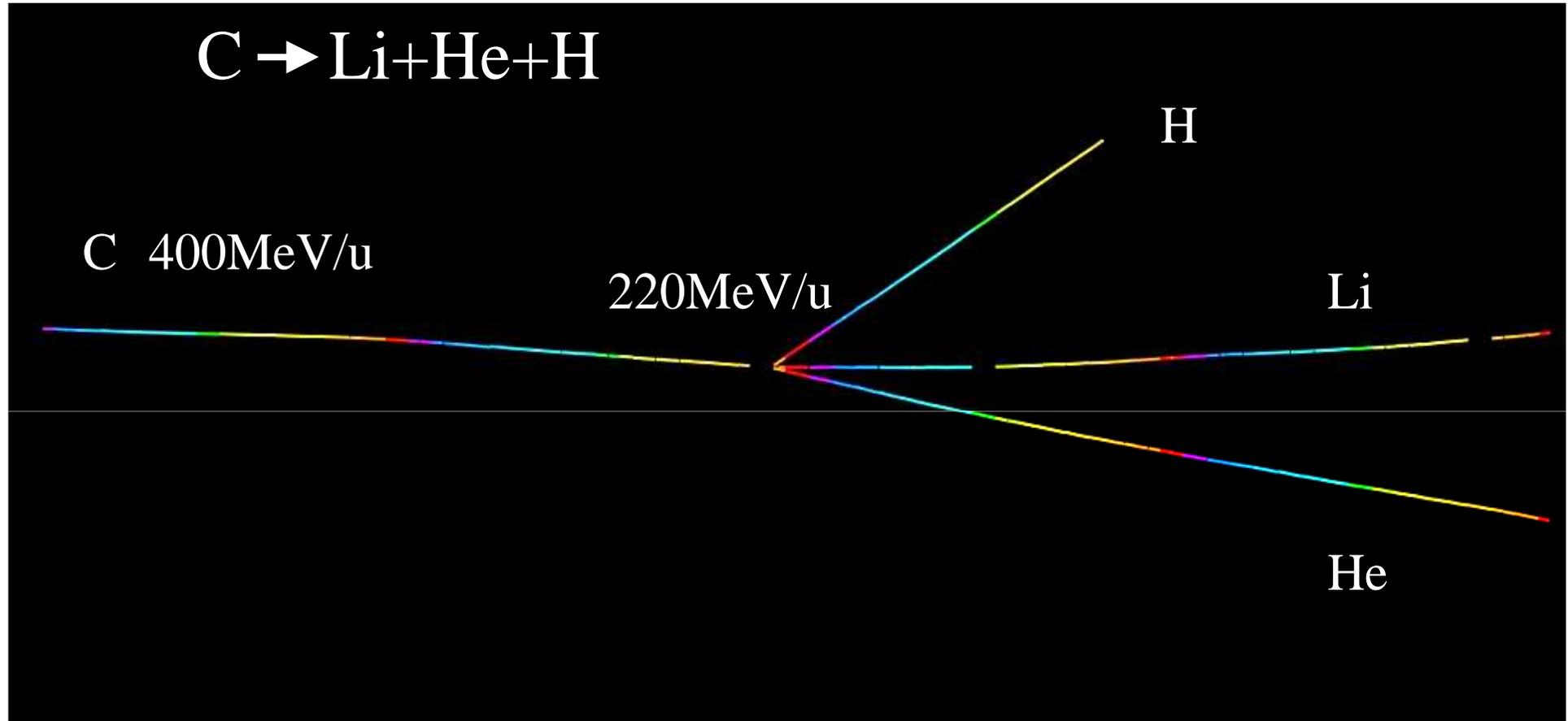


Film sensibili alle m.i.p.

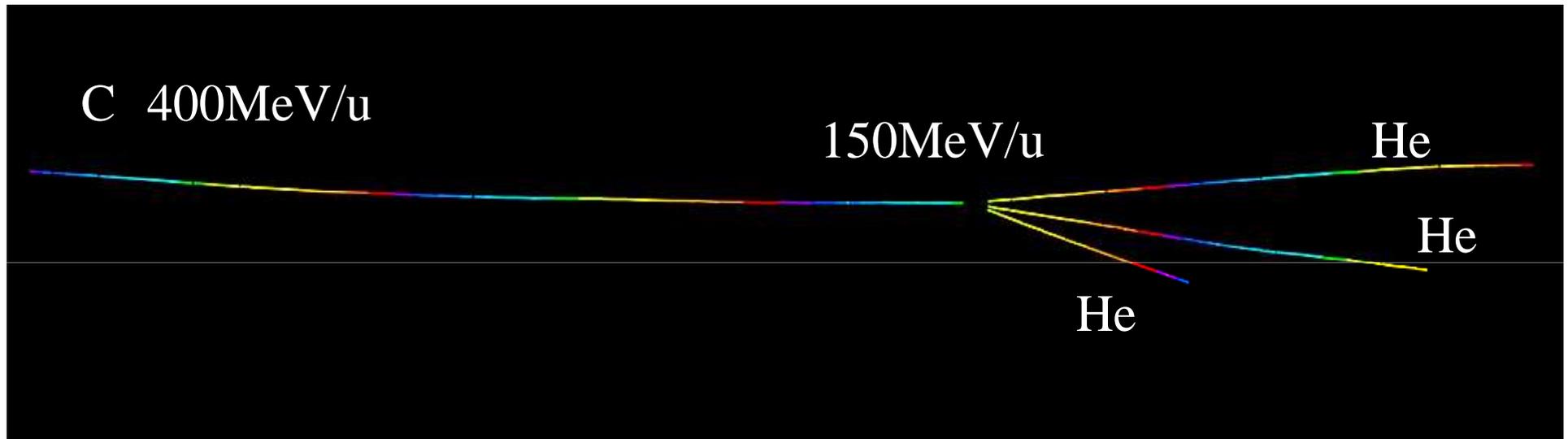


Film con trattamento B

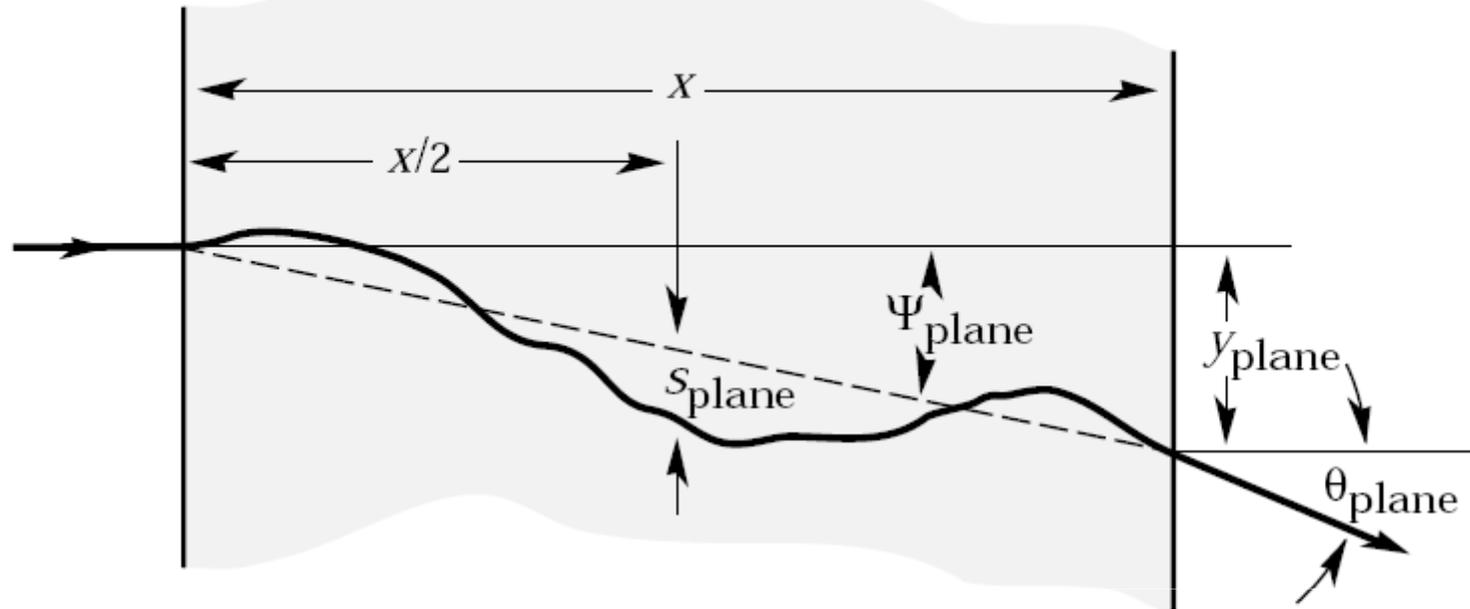
Interazione di uno ione Carbonio



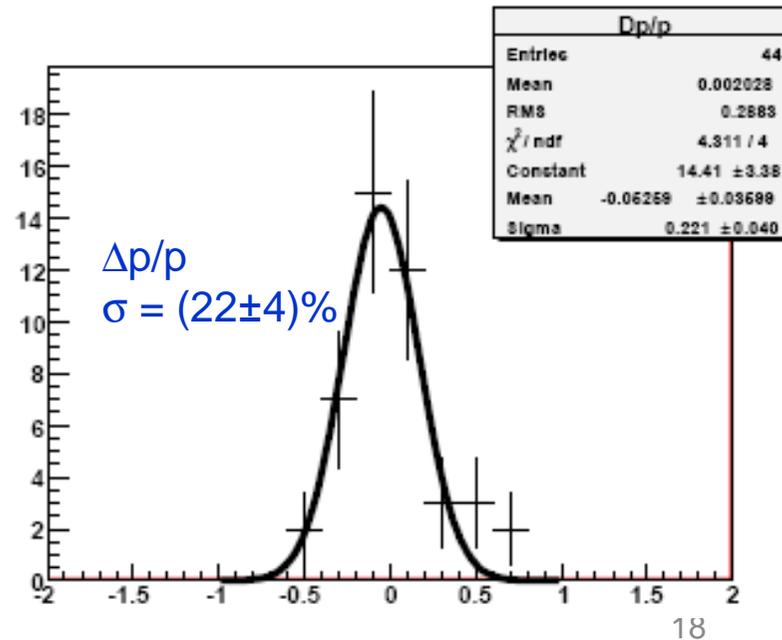
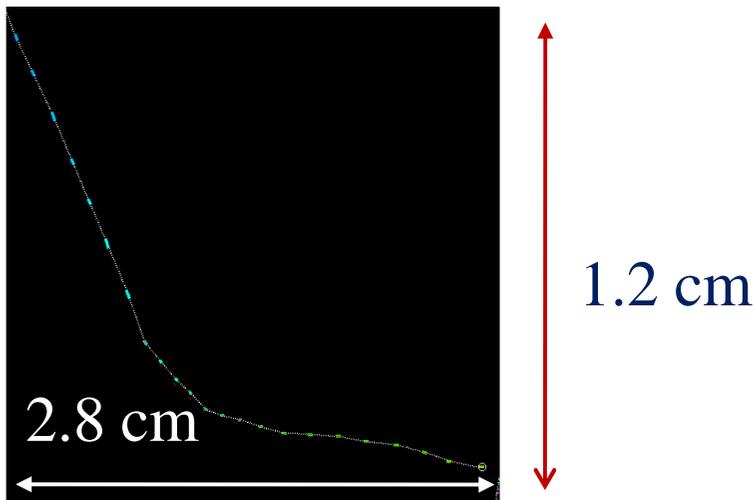
Altra interazione di uno ione Carbonio



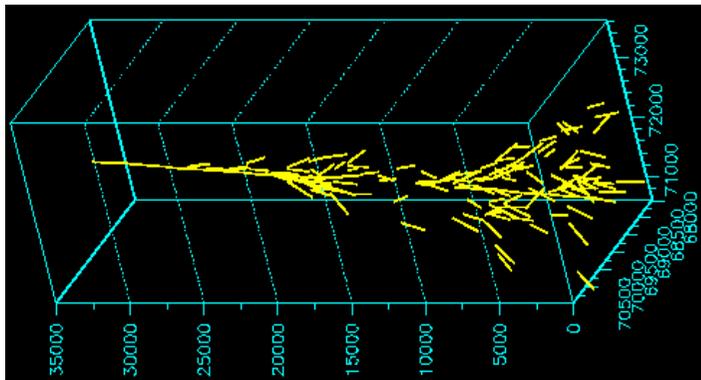
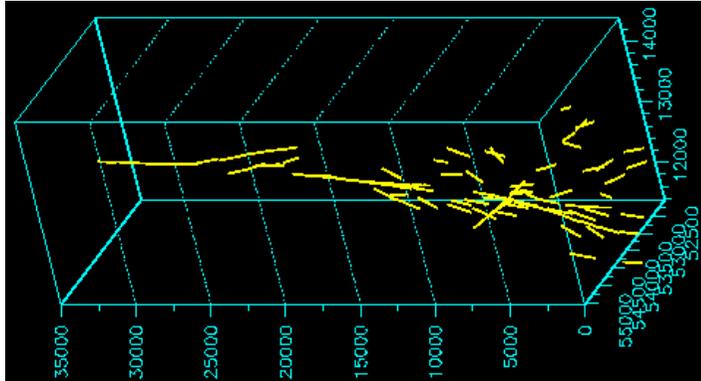
Diffusione Coulombiana multipla per misurare la quantità di moto



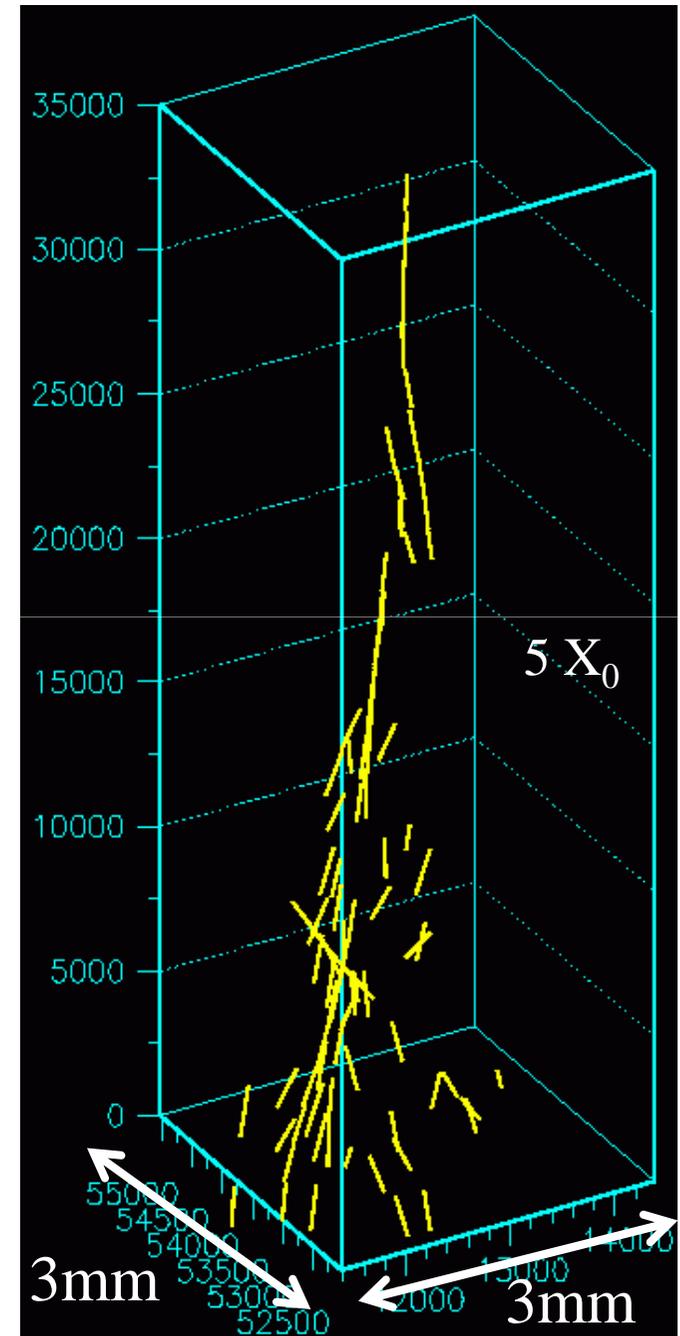
$$\theta_0 = \frac{13.6 \text{ MeV}}{\beta c p} z \sqrt{x/X_0} \left[1 + 0.038 \ln(x/X_0) \right]$$



Sciame elettromagnetico

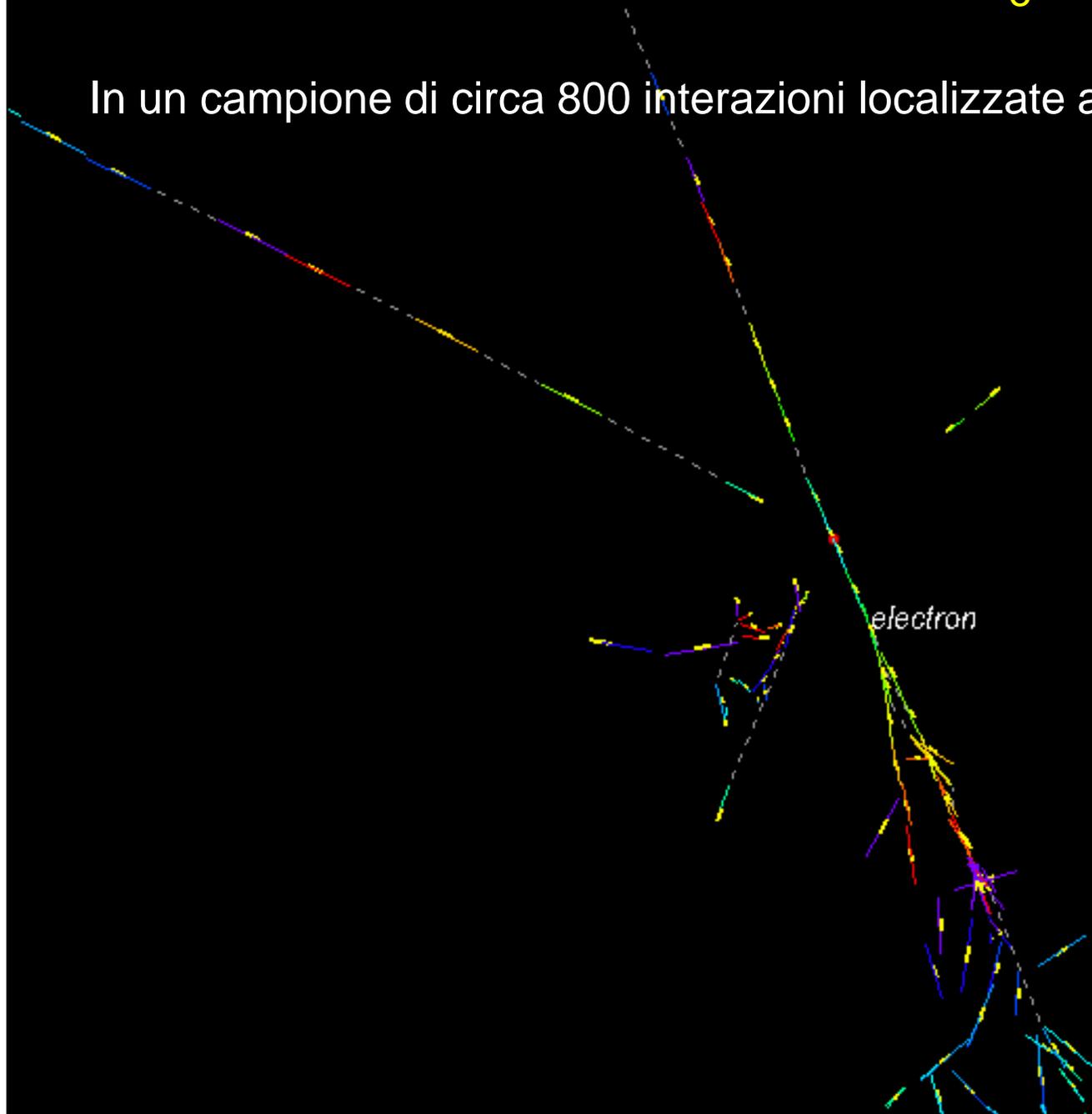


Misura dell'energia in modo calorimetrico

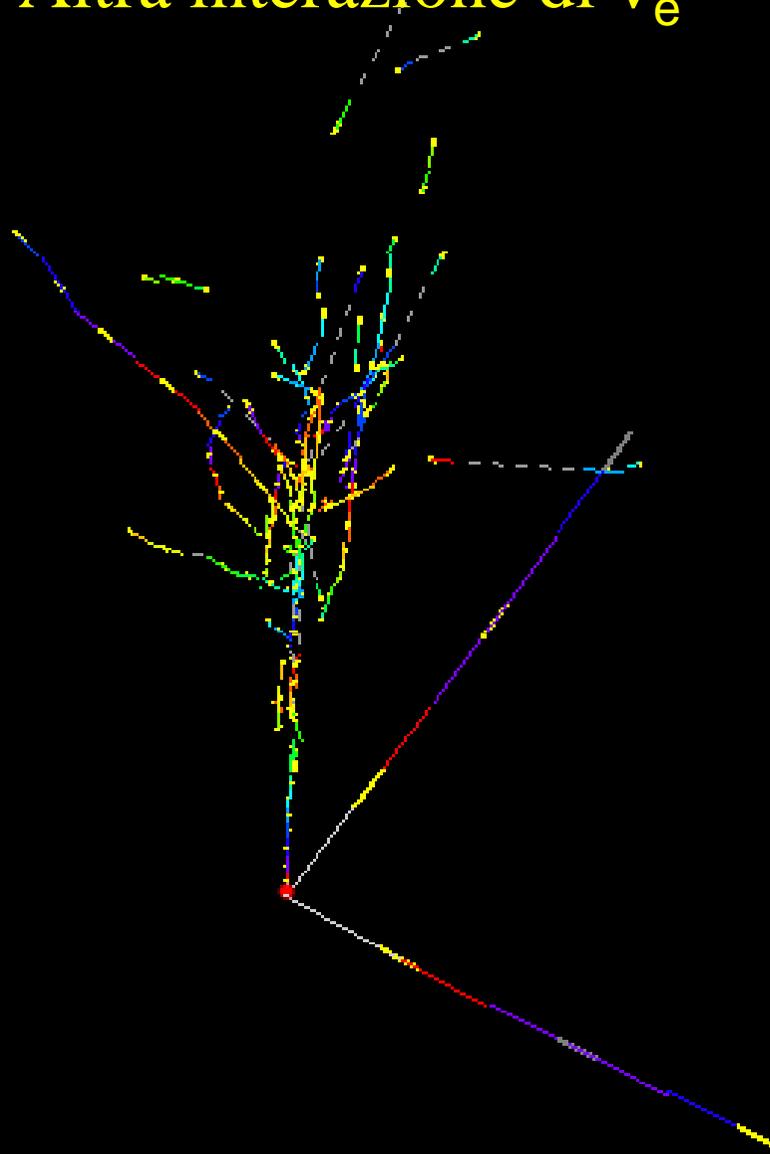


Interazione di ν_e

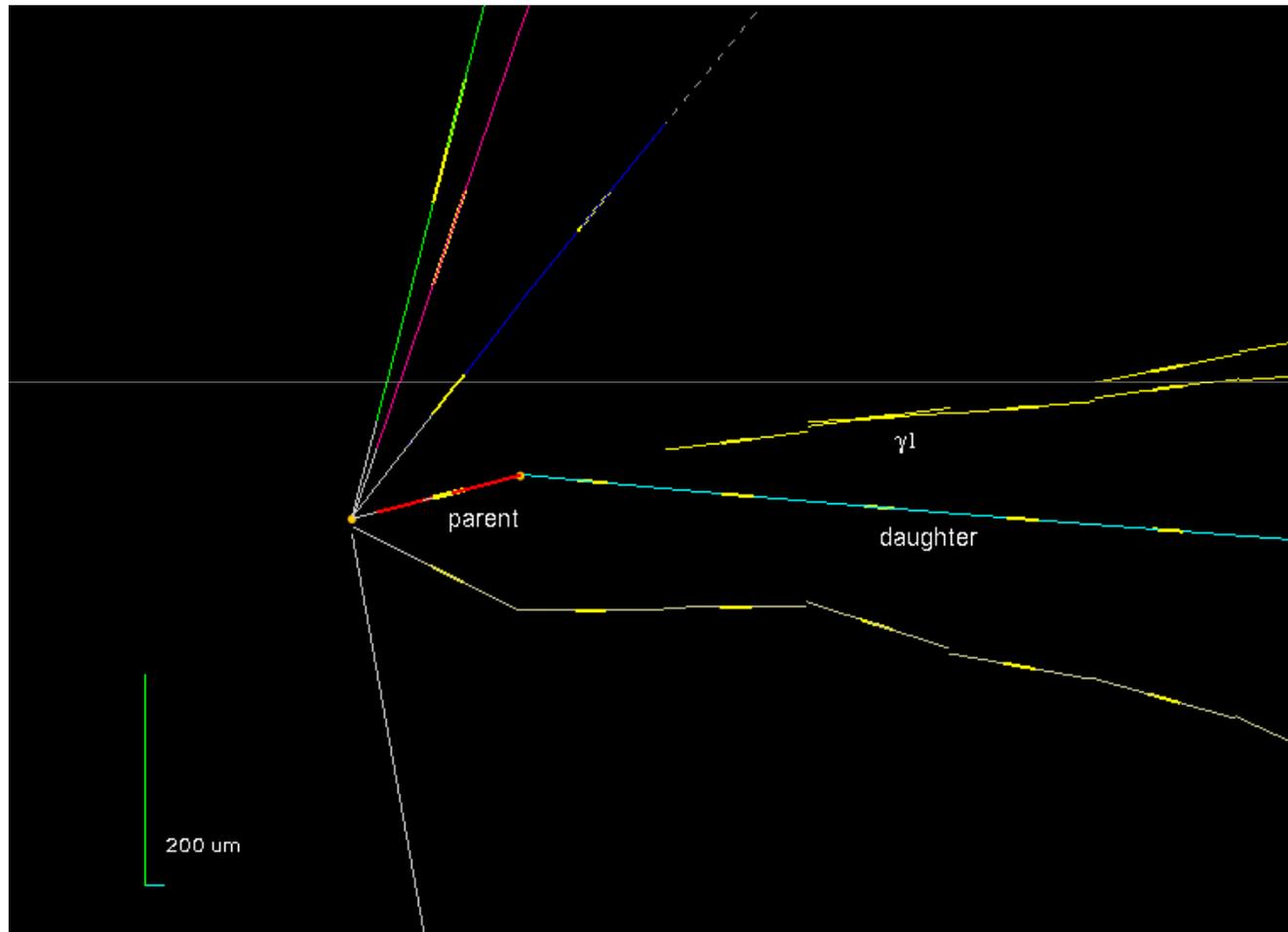
In un campione di circa 800 interazioni localizzate abbiamo rivelato **6 ν_e**



Altra interazione di ν_e

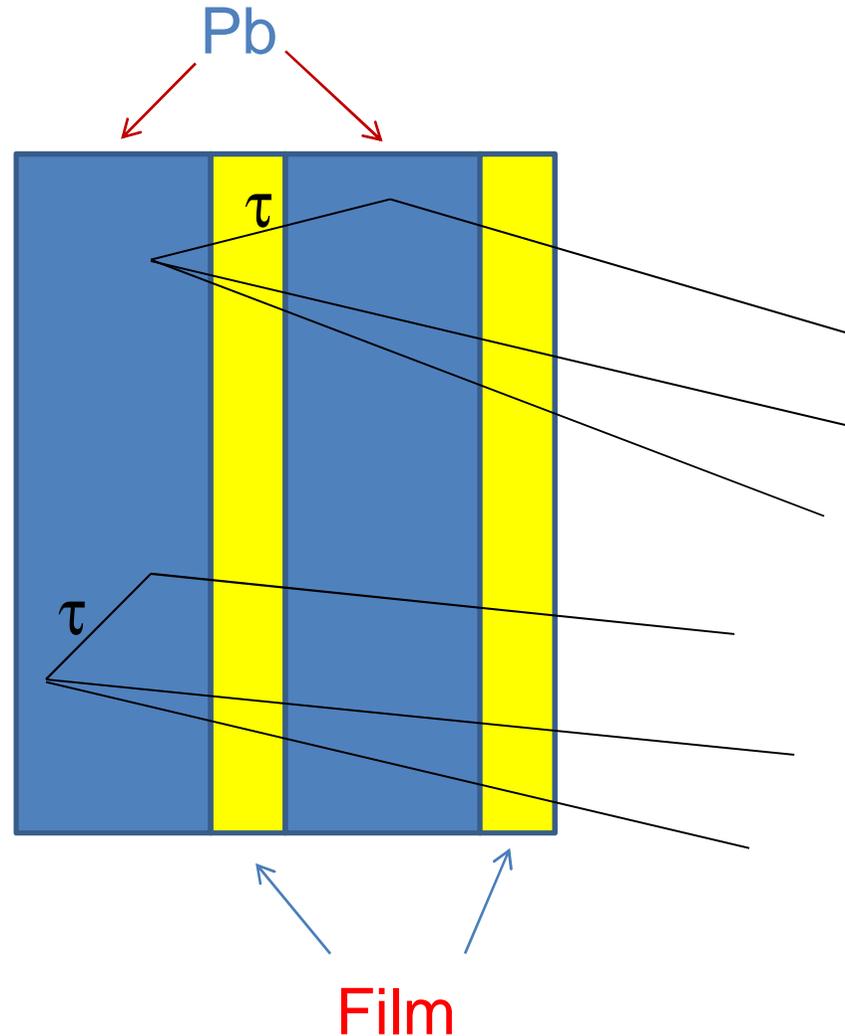


Ricerca del ν_τ in OPERA

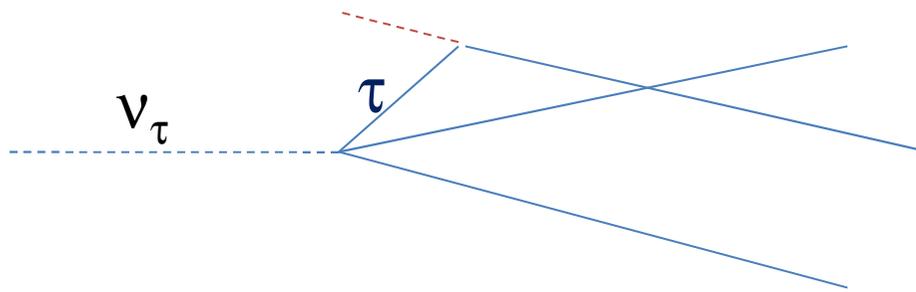


Topologia di decadimento del τ

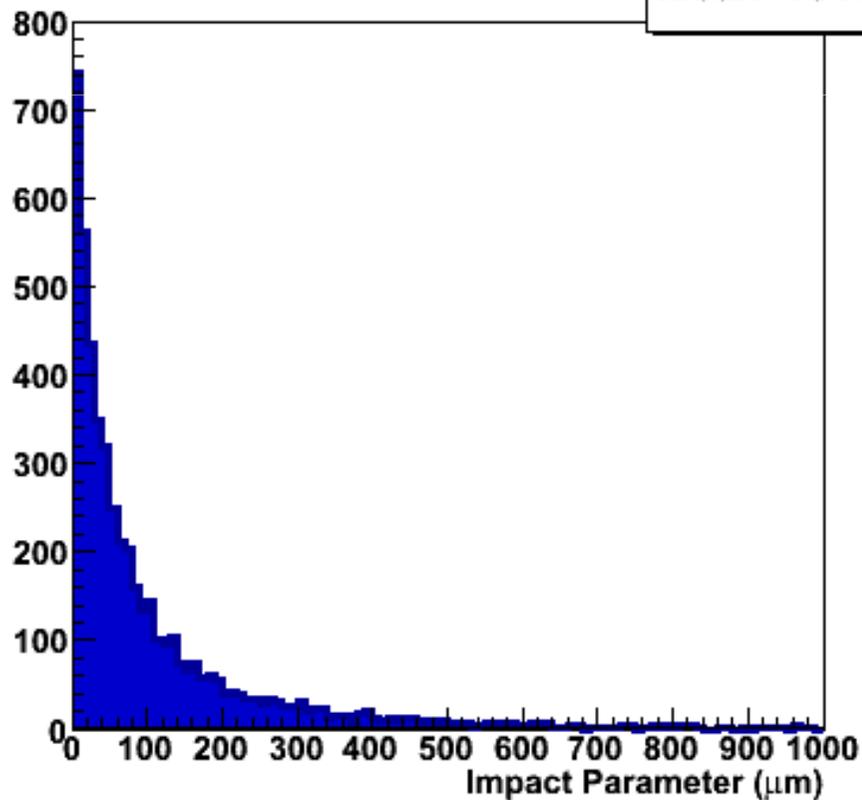
- τ attraversa un film prima di decadere e si nota un cambio di direzione
- τ decade prima di lasciare una traccia e si osserva un parametro di impatto non nullo rispetto al vertice



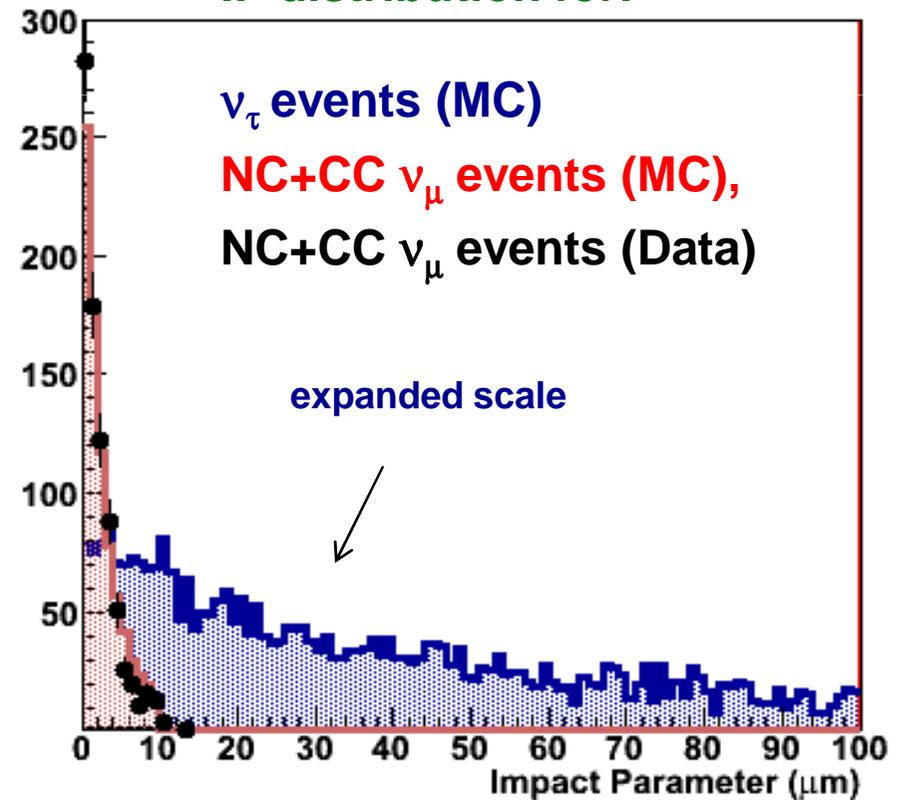
Identificazione topologica del decadimento: misura del parametro di impatto al vertice



IP distribution for ν_τ events (MC)
Mean $104.3 \mu\text{m}$

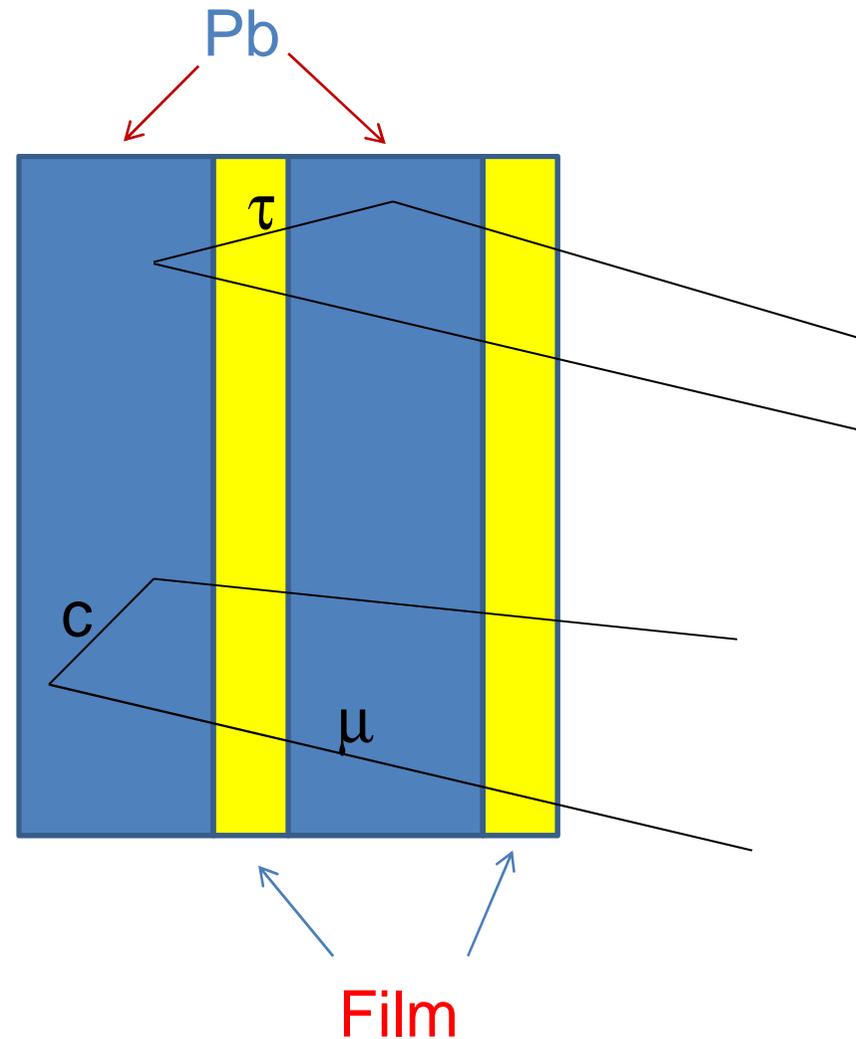


IP distribution for:

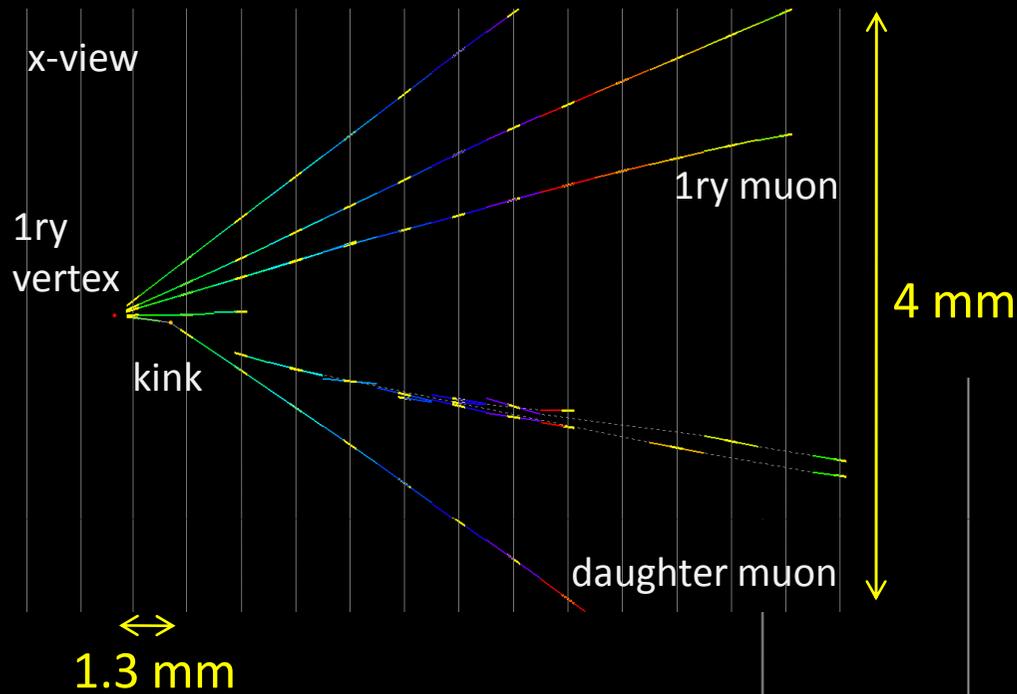


Il charm come dimostratore

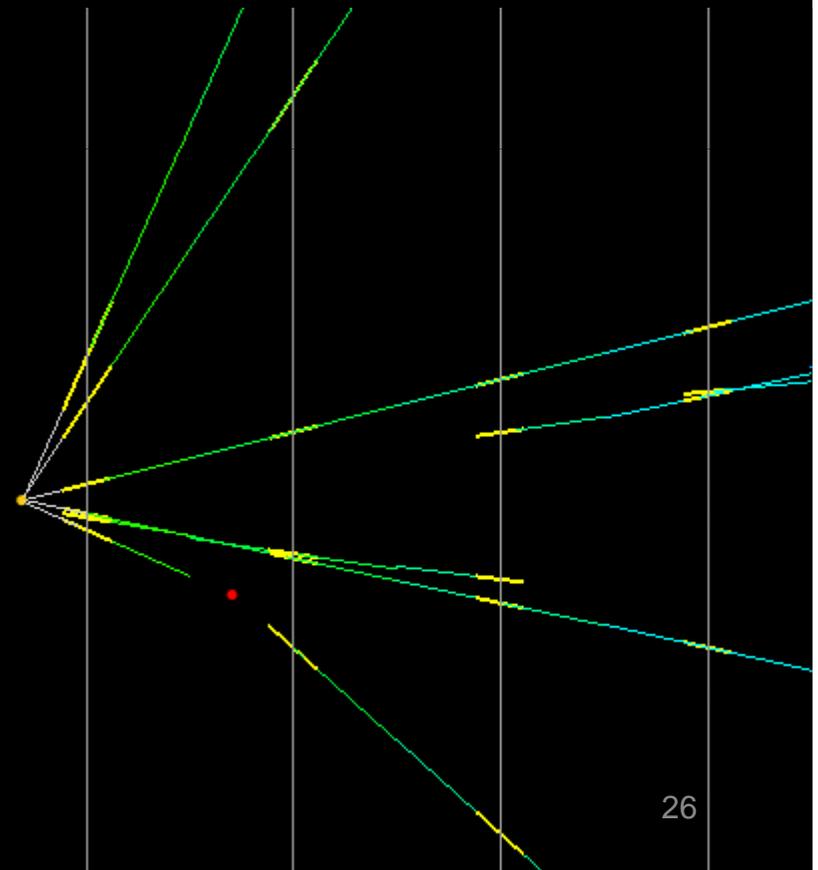
- Adroni con contenuto di charm hanno tempi di vita analoghi a quelli del τ
- Il processo di produzione di charm usato per controllare le efficienze di rivelazione



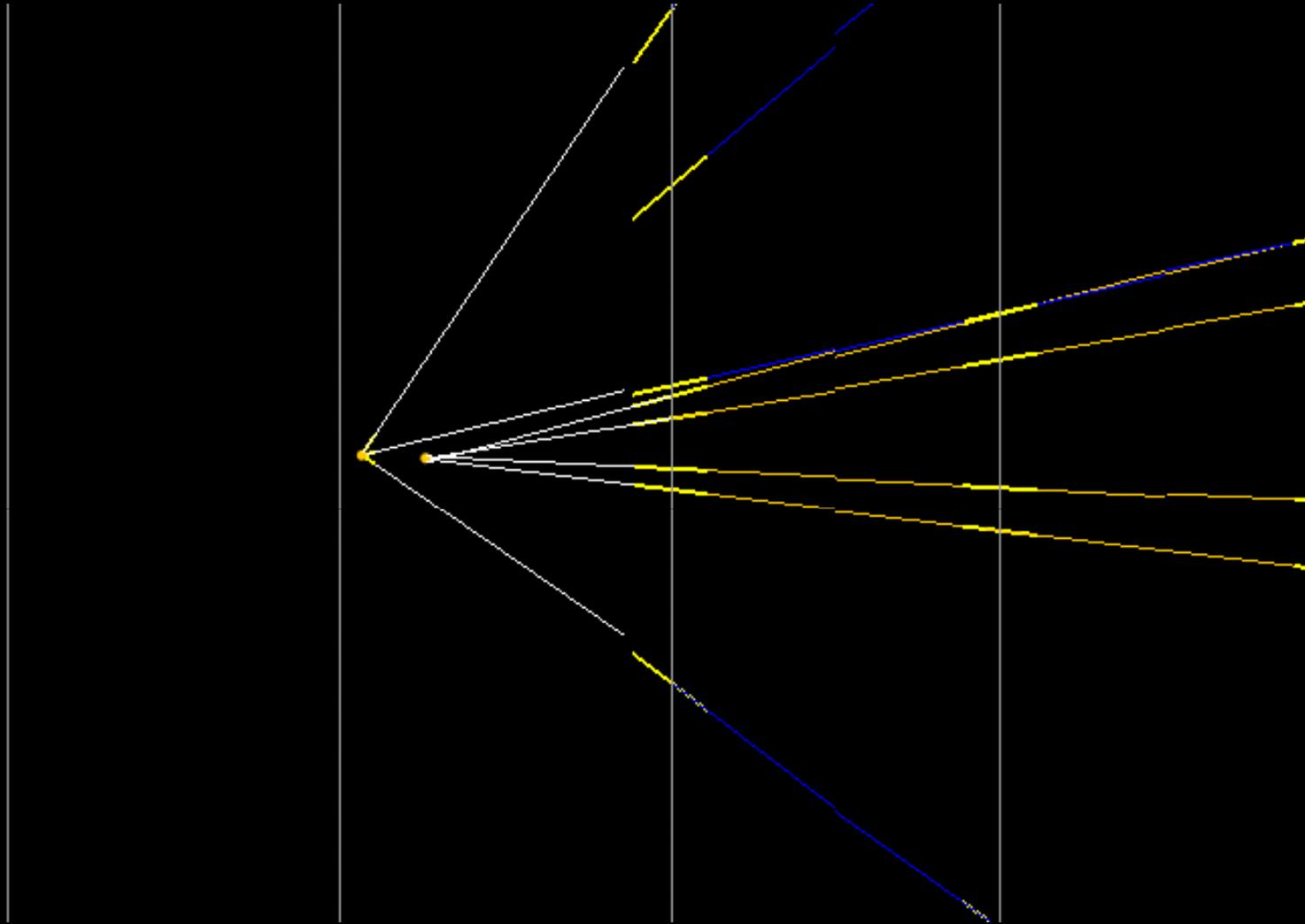
Charm candidate event (dimuon)



flight length: 1330 microns
kink angle: 209 mrad
IP of daughter: 262 microns
daughter muon: 2.2 GeV/c
decay Pt: 0.46 GeV/c

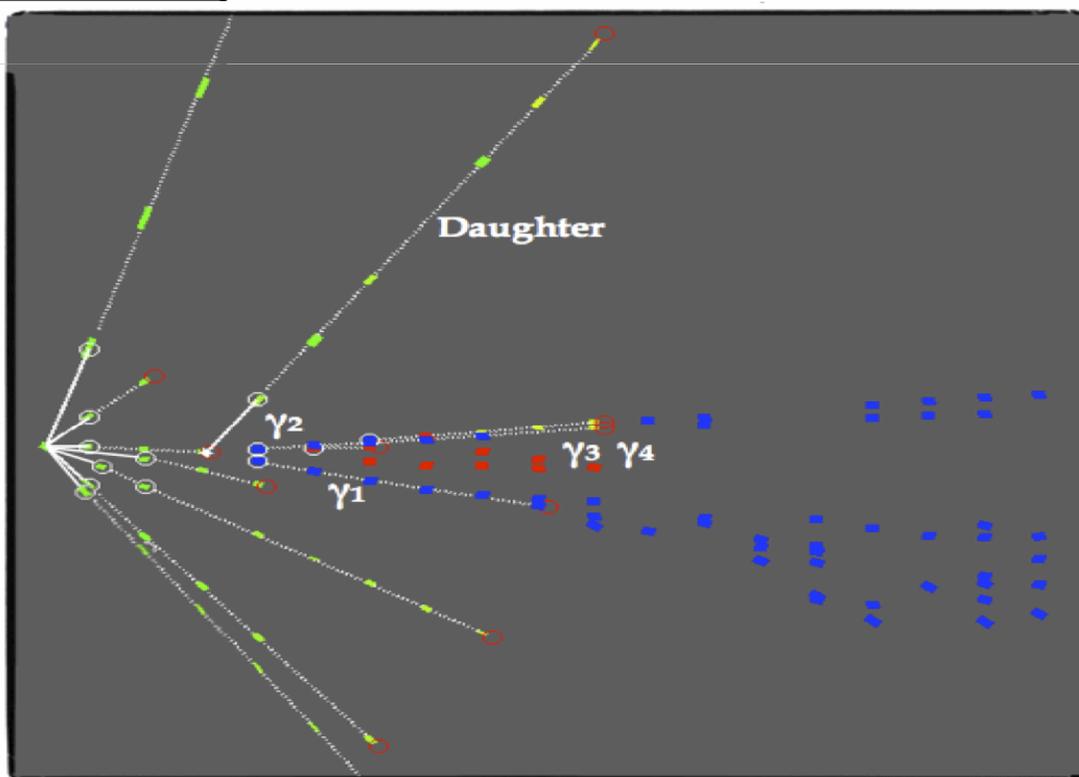
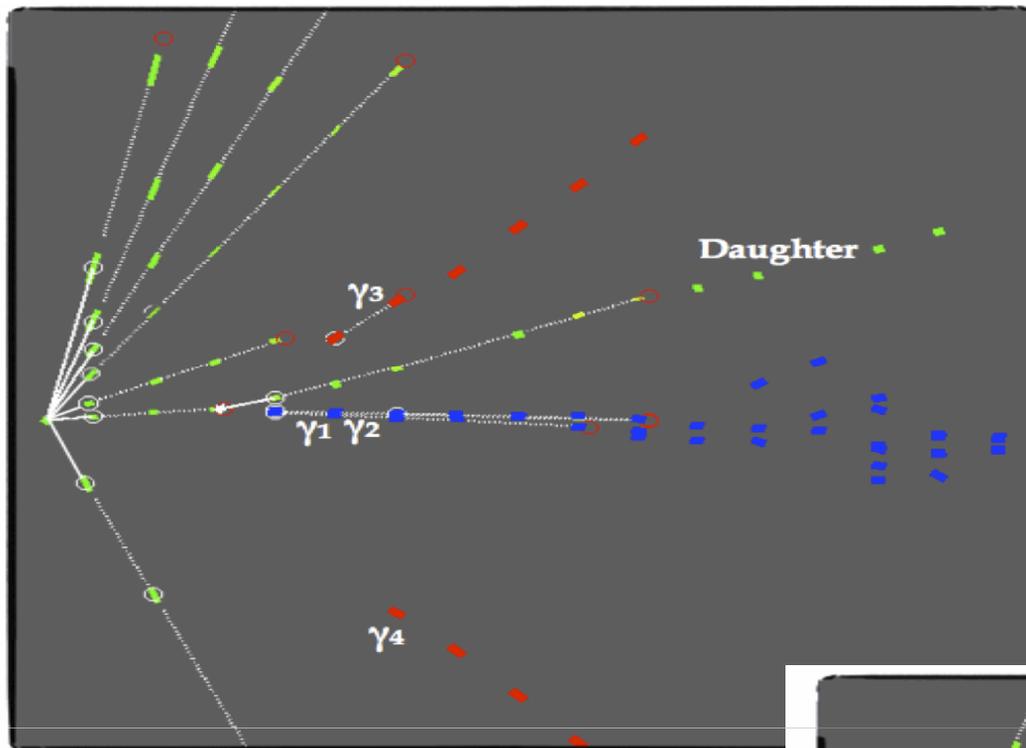


Charm candidate event (4-prong)



D₀ hypothesis: F.L.: 313.1 μm, φ : 173.2°, invariant mass: 1.7 GeV

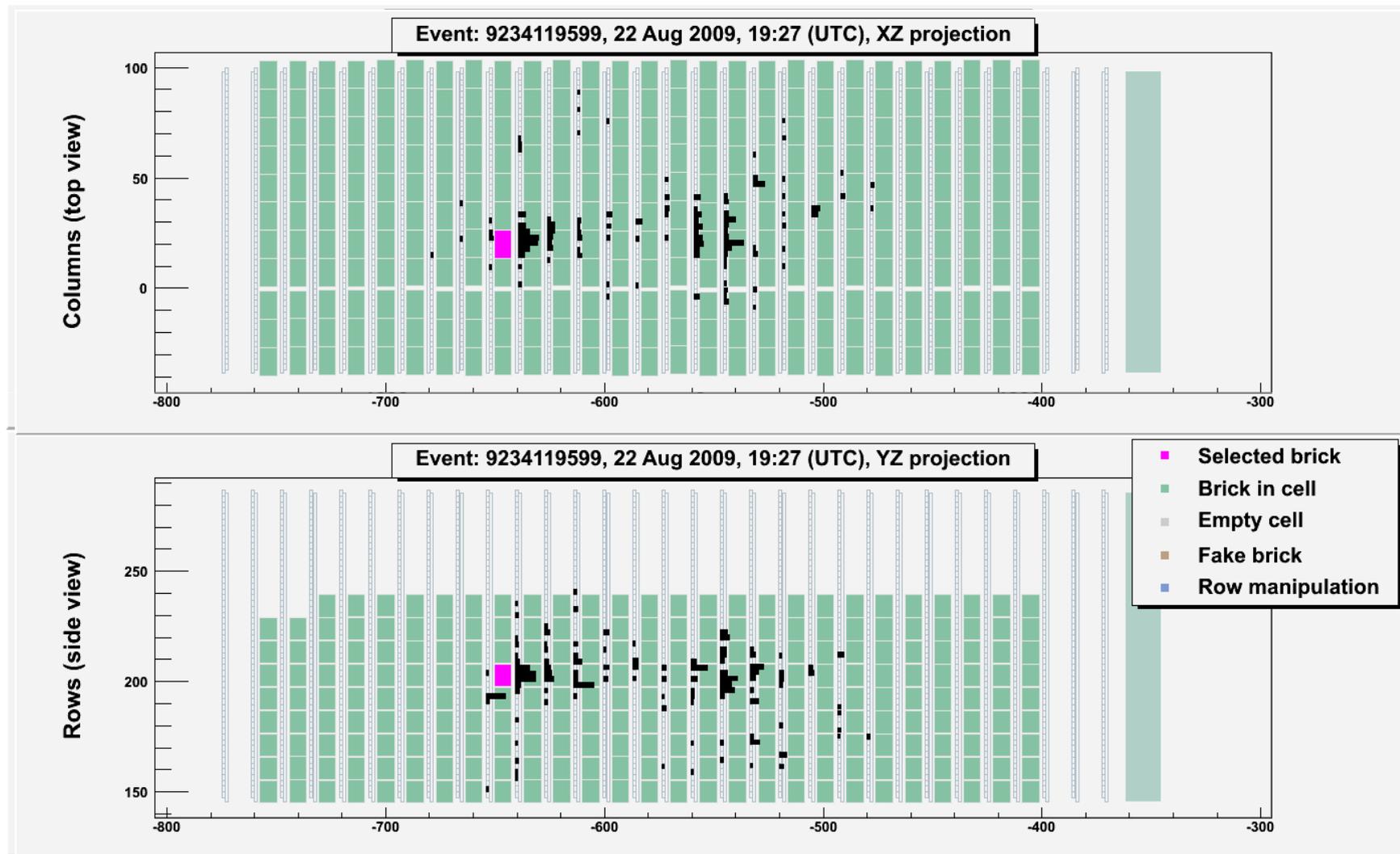
Decadimento di un adrone con charm in $h^+ 2\pi^0$



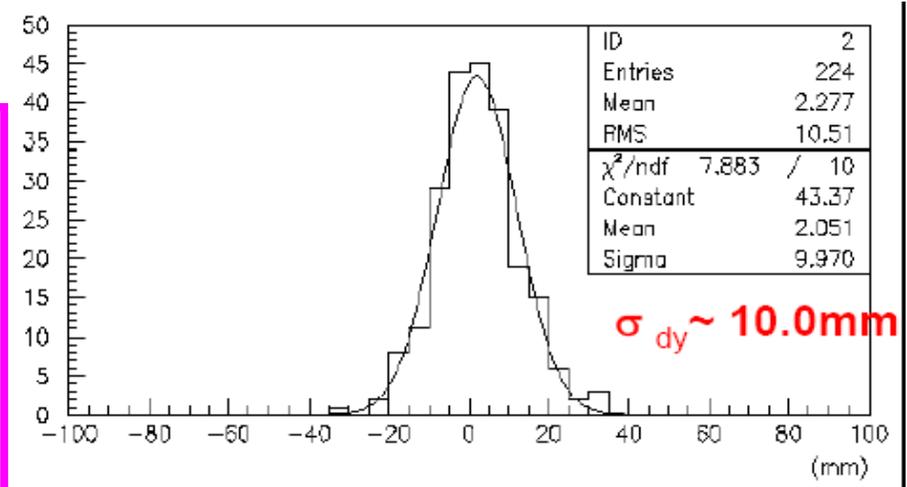
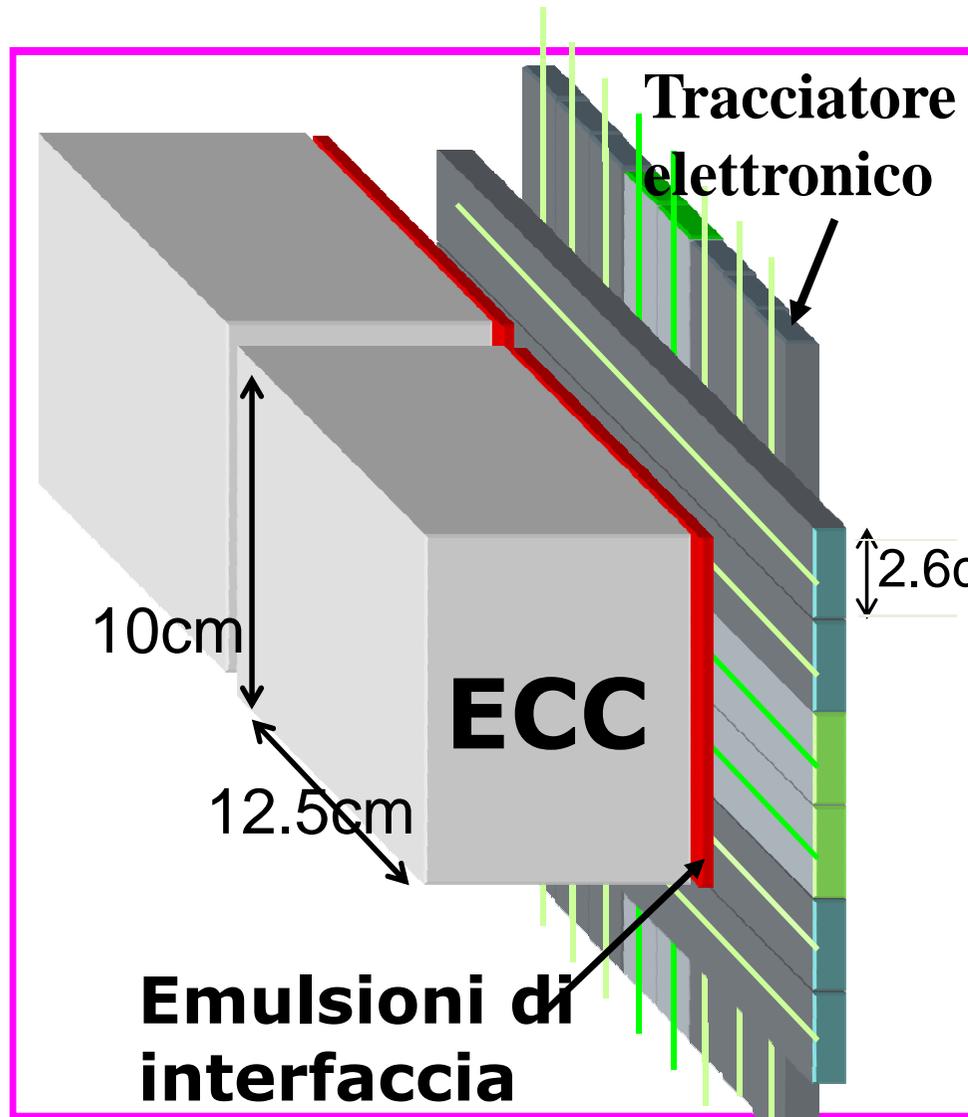
L'evento candidato v_τ

Evento (senza muone) come visto nel rivelatore elettronico

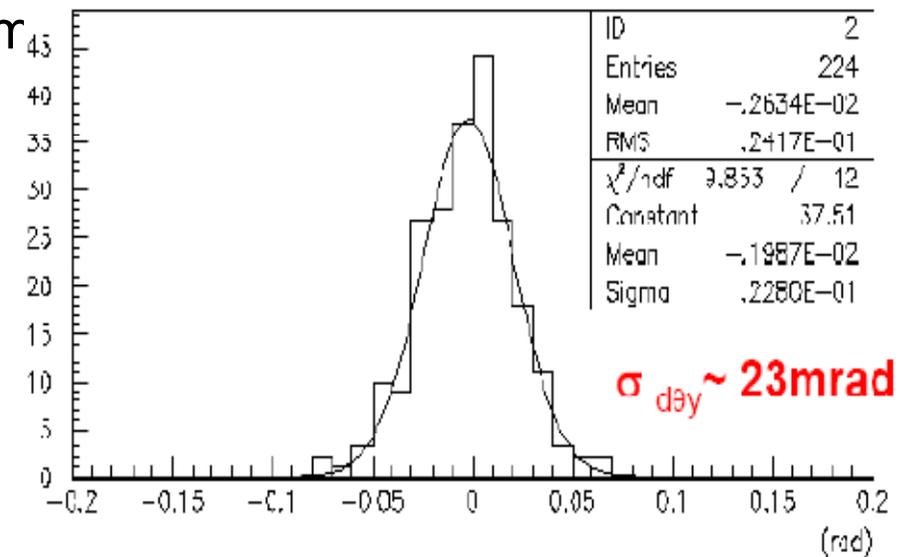
Interazione di neutrino avvenuta il 22 August 2009, 19:27



Emulsioni di interfaccia: dai rivelatori elettronici ($\sigma \sim 1 \text{ cm}$) al vertice di neutrino ($\sigma \sim 1 \mu\text{m}$)



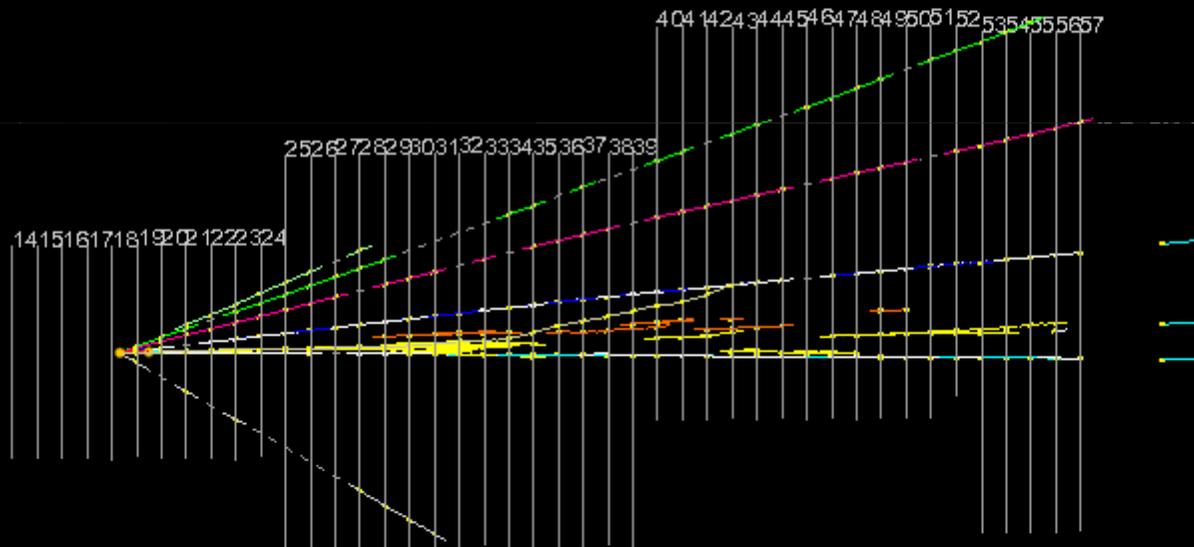
Accuratezza in posizione



Accuratezza angolare rivelatore elettronico

Dalle lastre di interfaccia al vertice

Ricostruzione di vertici e fotoni



Passi dell'analisi dell'evento

Osservato il cambio di direzione

Studio dettagliato:

- Ricerca di eventuali frammenti nucleari

- Ricerca di sciami da fotoni

- Misura delle quantità di moto

- Inseguimento delle tracce nei mattoni a valle

- Identificazione delle particelle

PL17

PL18

PL19

PL20

PL21

Primary vertex

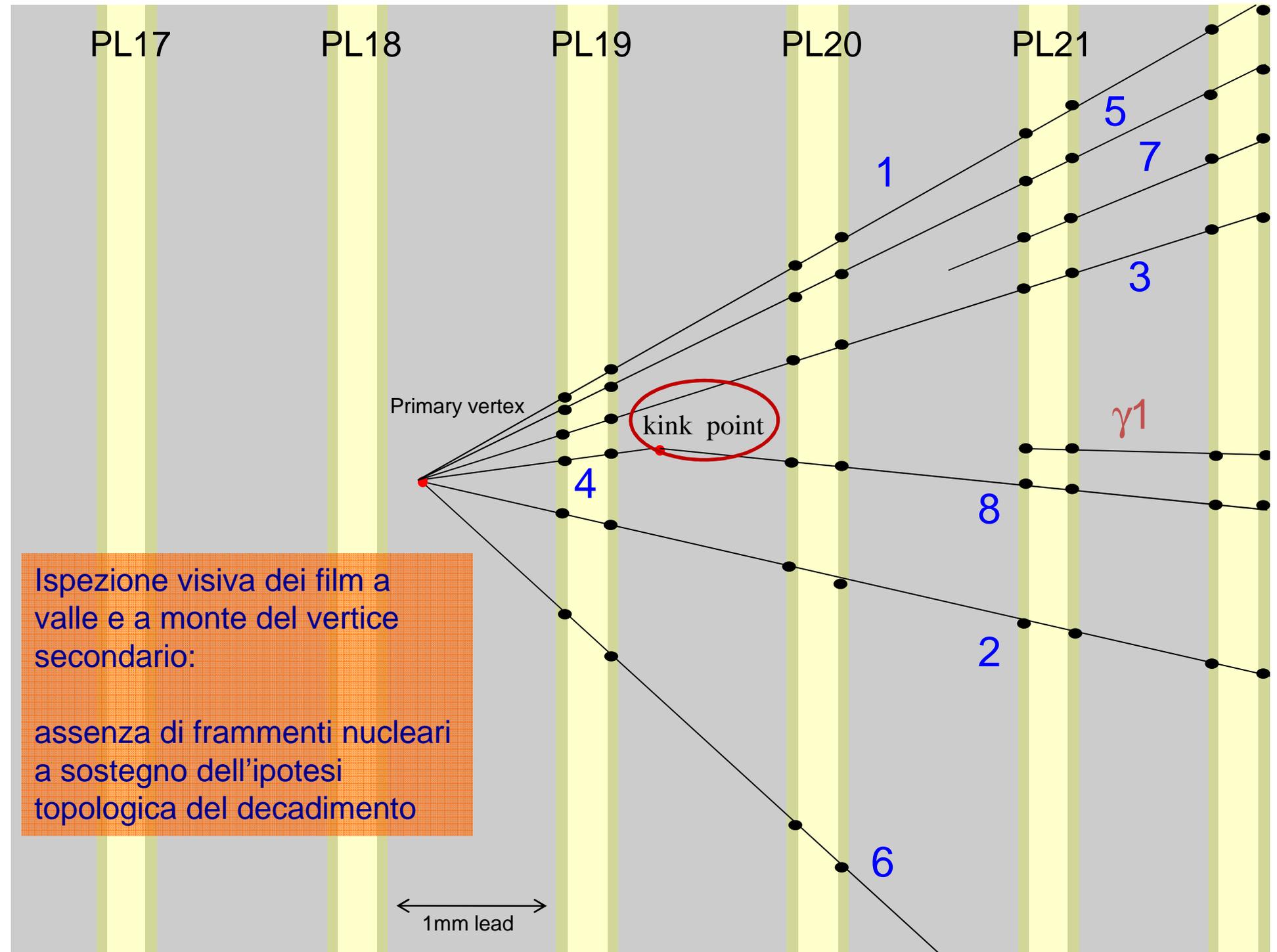
kink point

$\gamma 1$

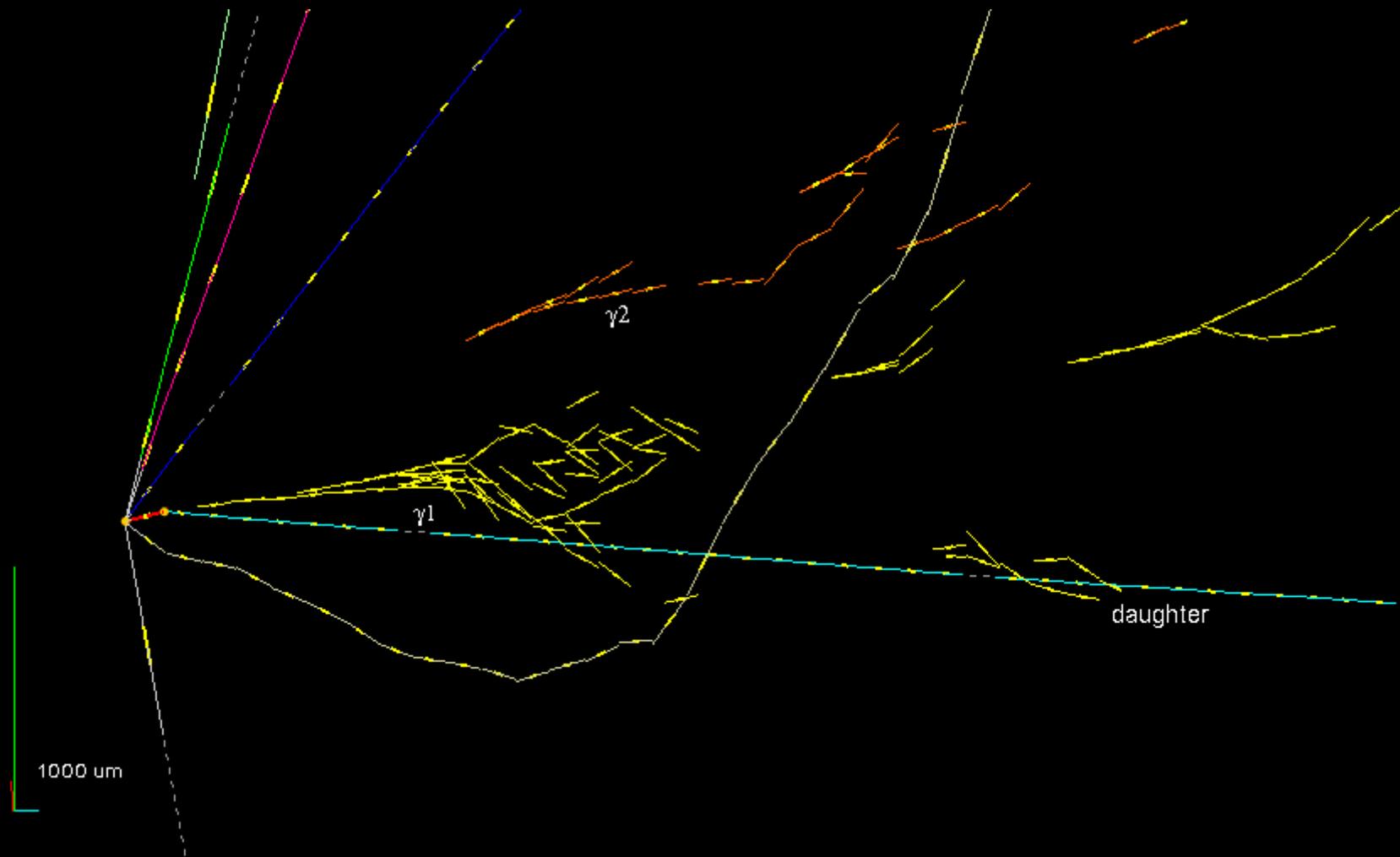
Ispezione visiva dei film a valle e a monte del vertice secondario:

assenza di frammenti nucleari a sostegno dell'ipotesi topologica del decadimento

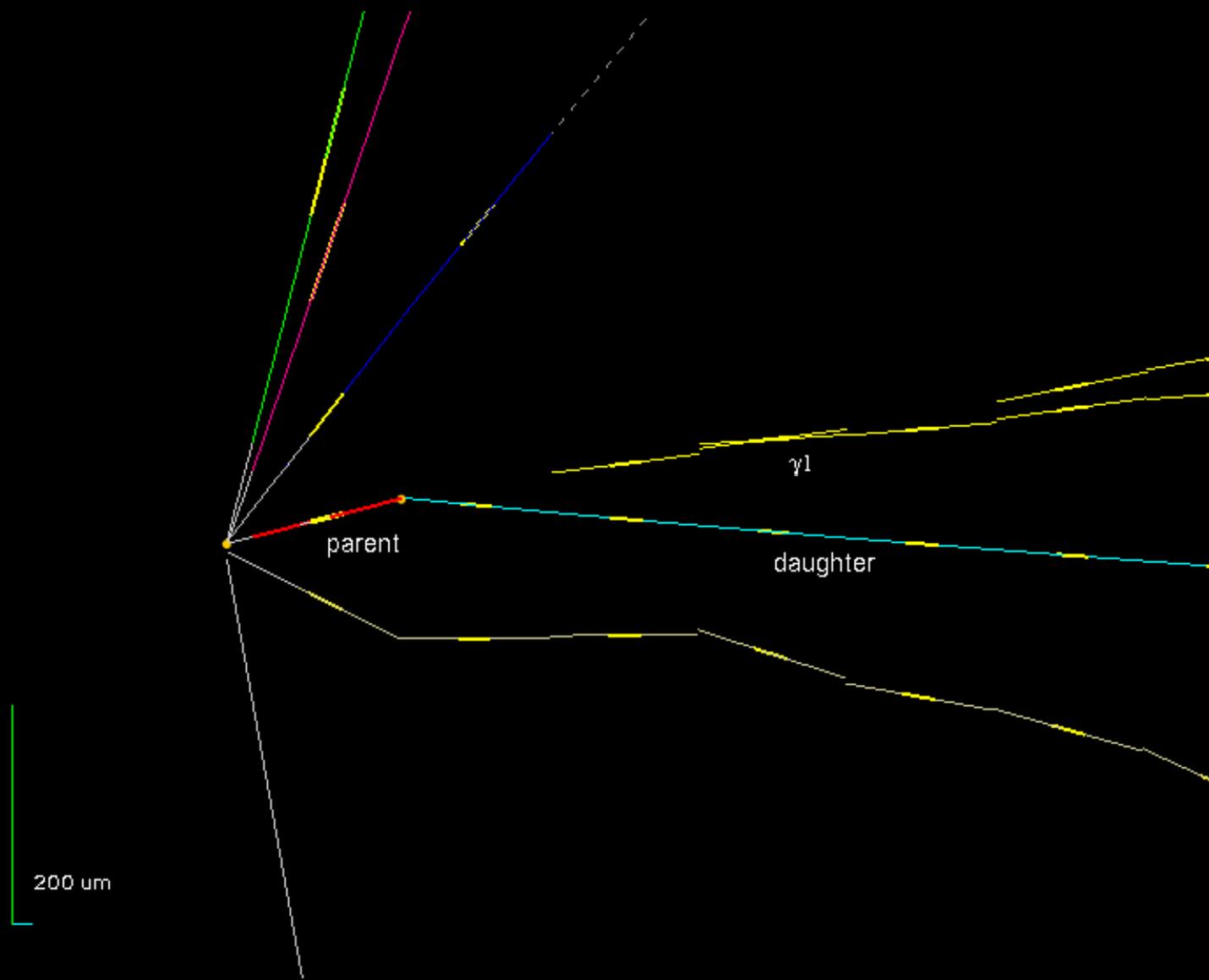
1mm lead



Le particelle secondarie

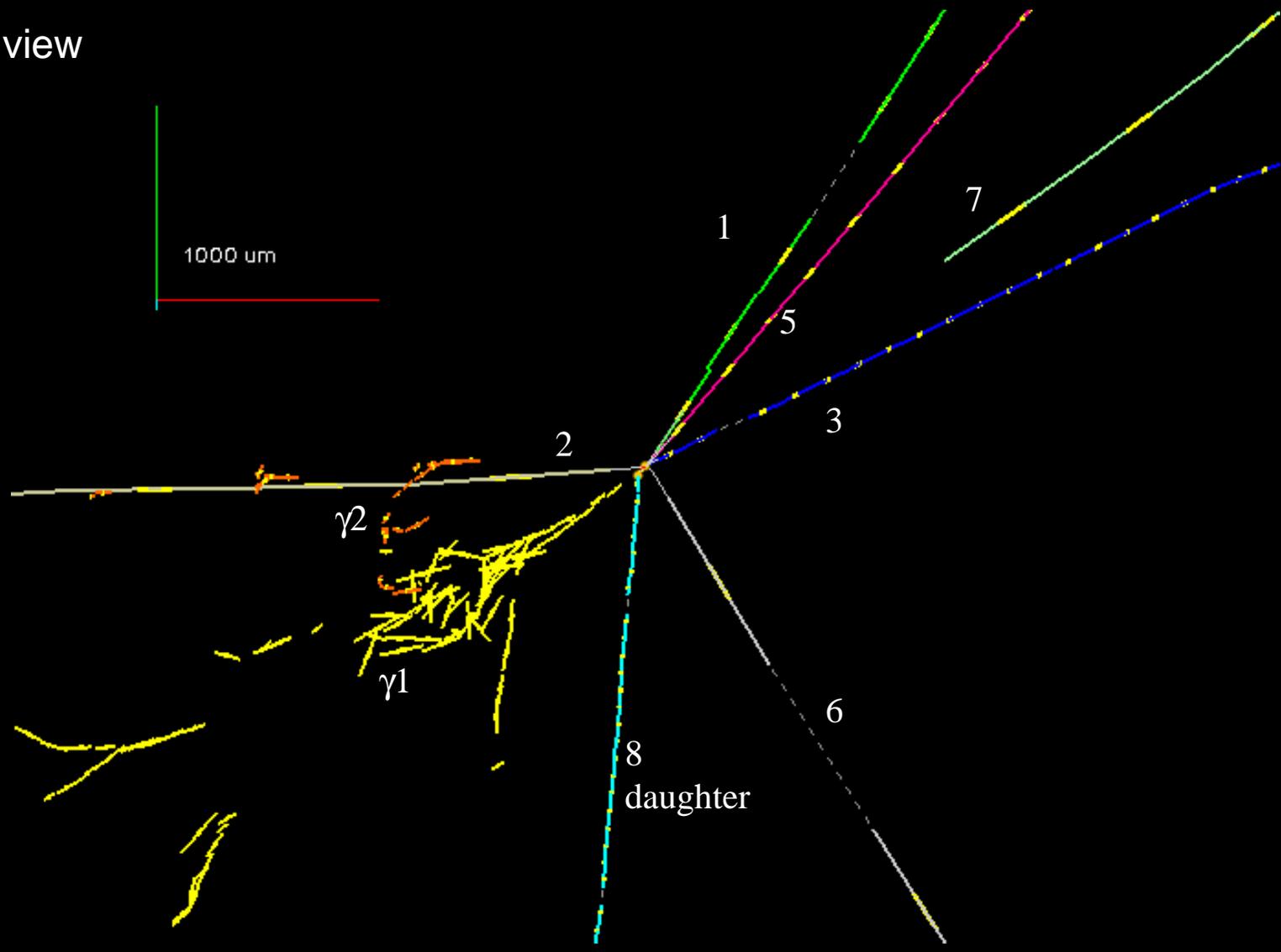


Vista laterale



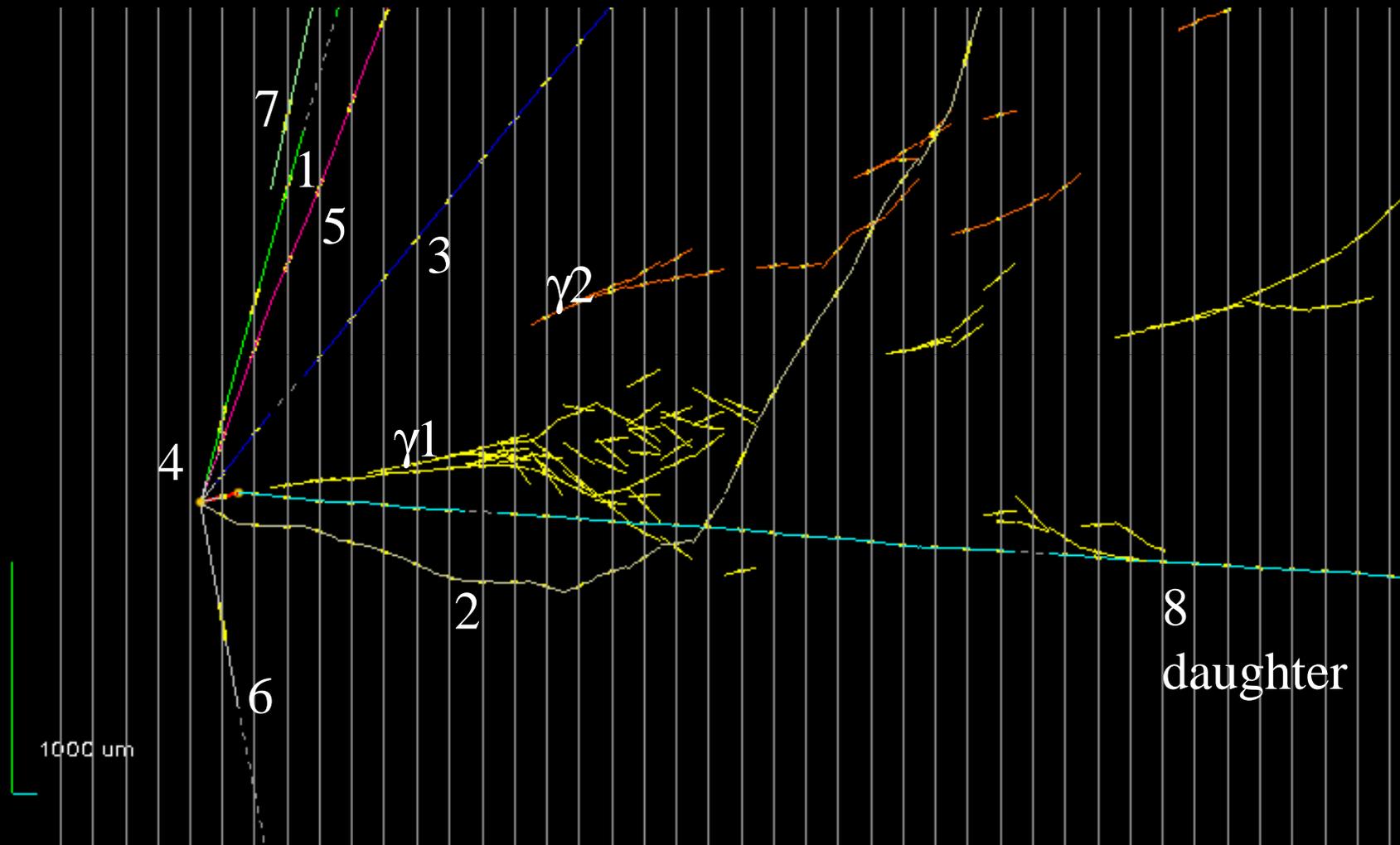
Caratteristiche topologiche

Beam view

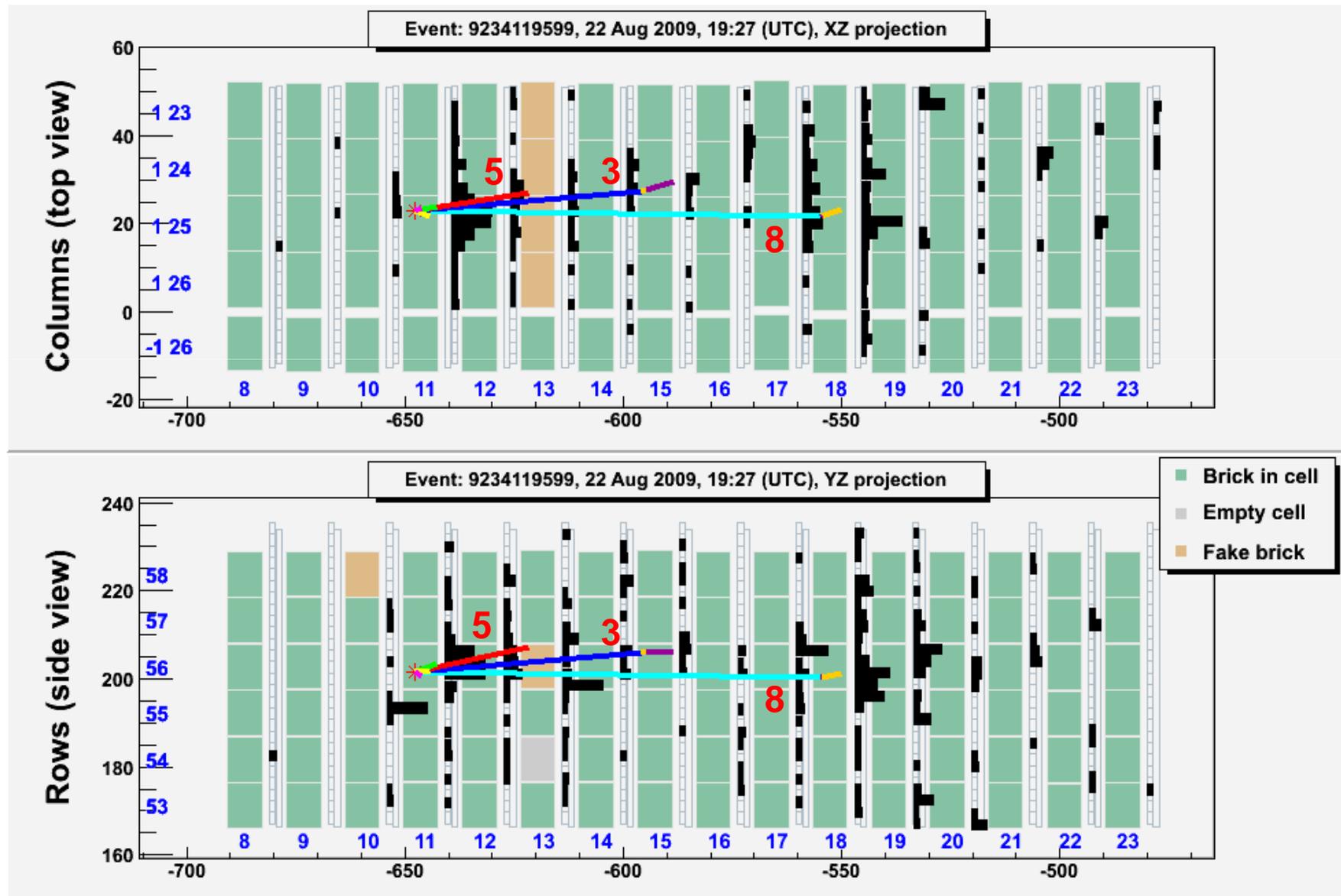


Caratteristiche topologiche

Side view



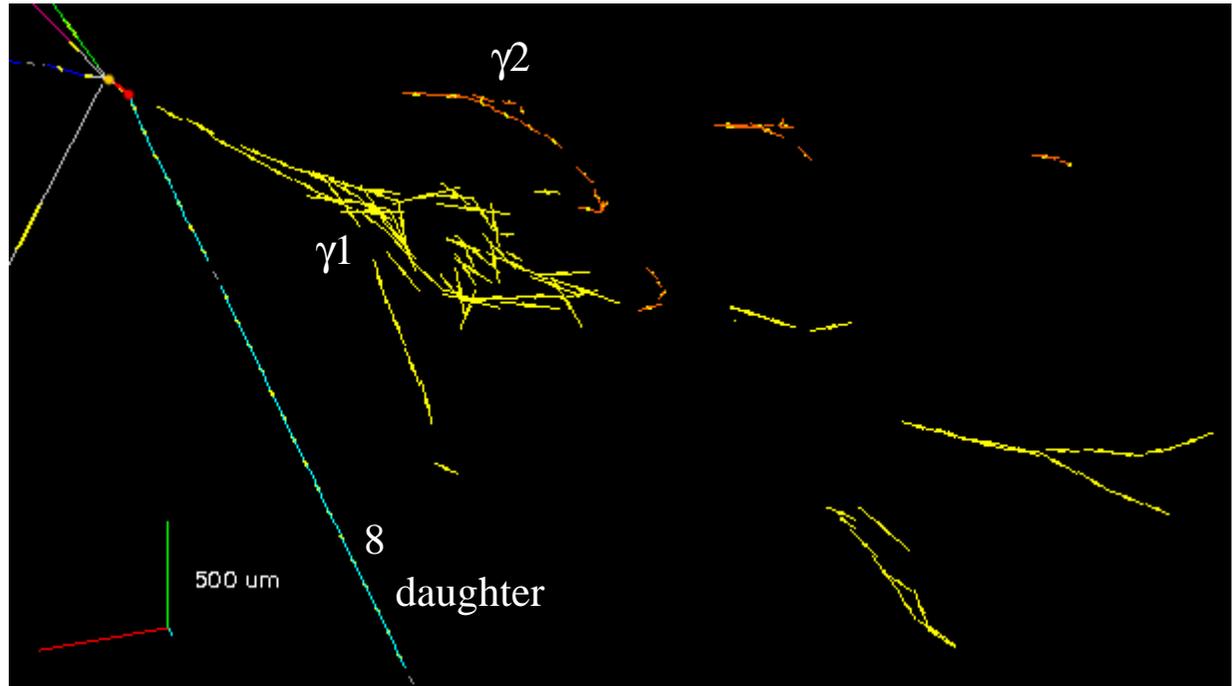
Inseguimento a valle di tutte le particelle cariche che fuoriescono dal mattone per provare la loro natura adronica



Caratteristiche delle particelle cariche

TRACK NUMBER	PID	Probability	Misura nel primo lab			Misura nel secondo lab		
			$\tan \Theta_x$	$\tan \Theta_y$	P (GeV/c)	$\tan \Theta_x$	$\tan \Theta_y$	P (GeV/c)
1	HADRON range in Pb/emul=4.1/1.2 cm	Prob(μ) $\approx 10^{-3}$	0.177	0.368	0.77 [0.66,0.93]	0.175	0.357	0,80 [0.65,1.05]
2	PROTON	range, scattering and dE/dx	-0.646	-0.001	0.60 [0.55,0.65]	-0.653	0.001	
3	HADRON	interaction seen	0.105	0.113	2.16 [1.80,2.69]	0.110	0.113	1,71 [1.42,2.15]
4 (PARENT)			-0.023	0.026		-0.030	0.018	
5	HADRON: range in Pb/emul=9.5/2.8 cm	Prob(μ) $\approx 10^{-3}$	0.165	0.275	1.33 [1.13,1.61]	0.149	0.259	1,23 [0.98,1.64]
6	HADRON: range in Pb/emul=1.6/0.5 cm	Prob(μ) $\approx 10^{-3}$				0.334	-0.584	0,36 [0.27,0.54]
7	From a prompt neutral particle		0.430	0.419	0.34 [0.22,0.69]	0.445	0.419	0.58 [0.39,1.16]
8 (DAUGHTER)	HADRON	interaction seen	-0.004	-0.008	12 [9,18]	-0.009	-0.020	

Rivelazione dei γ



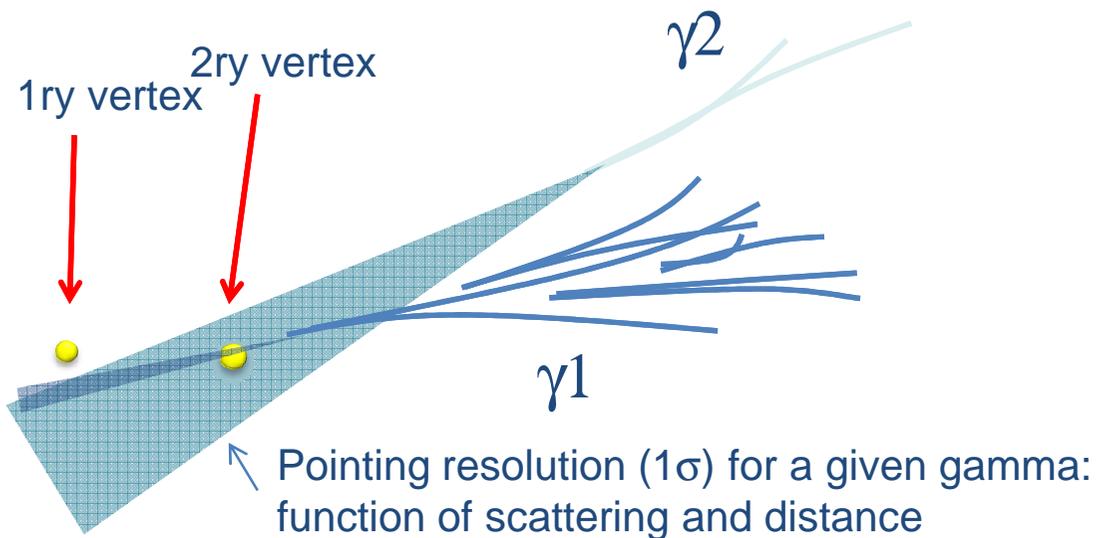
- lunghezza di radiazione a valle del vertice: $6.5 X_0$
- ricerca dei fotoni in tutto il volume
- ispezione visiva di tutte le tracce

	Distance from 2ry vertex (mm)	Energy (GeV)
1 st γ	2.2	$5.6 \pm 1.0 \pm 1.7$
2 nd γ	12.6	$1.2 \pm 0.4 \pm 0.4$

Associazione al vertice dei γ

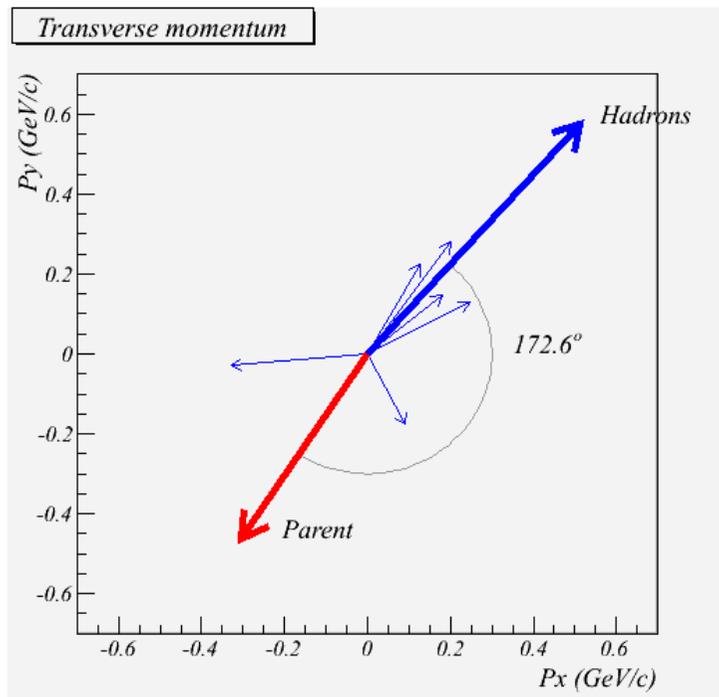
	Distance from 2ry vertex (mm)	IP to 1ry vertex (μm) <resolution>	IP to 2ry vertex (μm) <resolution>	Prob. of attach. to 1ry vtx*	Prob. of attach. to 2ry vtx*	Attachment hypothesis
1 st γ	2.2	45.0 <11>	7.5 <7>	$<10^{-3}$	0.32	2ry vertex
2 nd γ	12.6	85.6 <56>	22 <50>	0.10	0.82	2ry vertex (favored)

* probability to find an IP larger than the observed one



π^0 mass
 $120 \pm 20 \pm 35 \text{ MeV}$

Variabili cinematiche



Variabile	Valore
kink (mrad)	41 ± 2
decay length (μm)	1335 ± 35
P daughter (GeV/c)	12^{+6}_{-3}
Pt (MeV/c)	470^{+230}_{-120}
missing Pt (MeV/c)	570^{+320}_{-170}
ϕ (deg)	173 ± 2

Interpretazione dell'evento

La massa invariante del sistema ($\pi \gamma \gamma$) è $640^{+125}_{-80} \text{ } ^{+100}_{-90} \text{ MeV}$ consistente con la ρ (770 MeV con $\Gamma = 145 \text{ MeV}$) che è presente nel 25% dei decadimenti del τ

$$\begin{aligned} \nu_\tau N &\rightarrow \tau X \\ \tau &\rightarrow \rho \nu_\tau \\ \rho &\rightarrow \pi \pi^0 \end{aligned}$$

Su una statistica analizzata del 35% dei primi due anni di presa dati (2008 e 2009) dove era previsto 0.54 ± 0.13 eventi abbiamo osservato 1 evento con fondo di 0.045 (evidenza a 2.01σ).

Conclusioni

Importante laboratorio di microscopia automatica a Napoli

Primi studi dell'evento di neutrino tau: analisi topologica e cinematica. Analisi del mattone contenente l'interazione e di quelli a valle.

Evento osservato mostra caratteristiche topologiche e cinematiche del τ . L'evento supera tutte le selezioni previste dall'analisi.

Si prevede di completare l'analisi del campione dei primi due anni a fine 2010.

La presa dati dell'esperimento continuerà fino al 2012

Si attendono ~ 10 eventi di neutrino tau.