

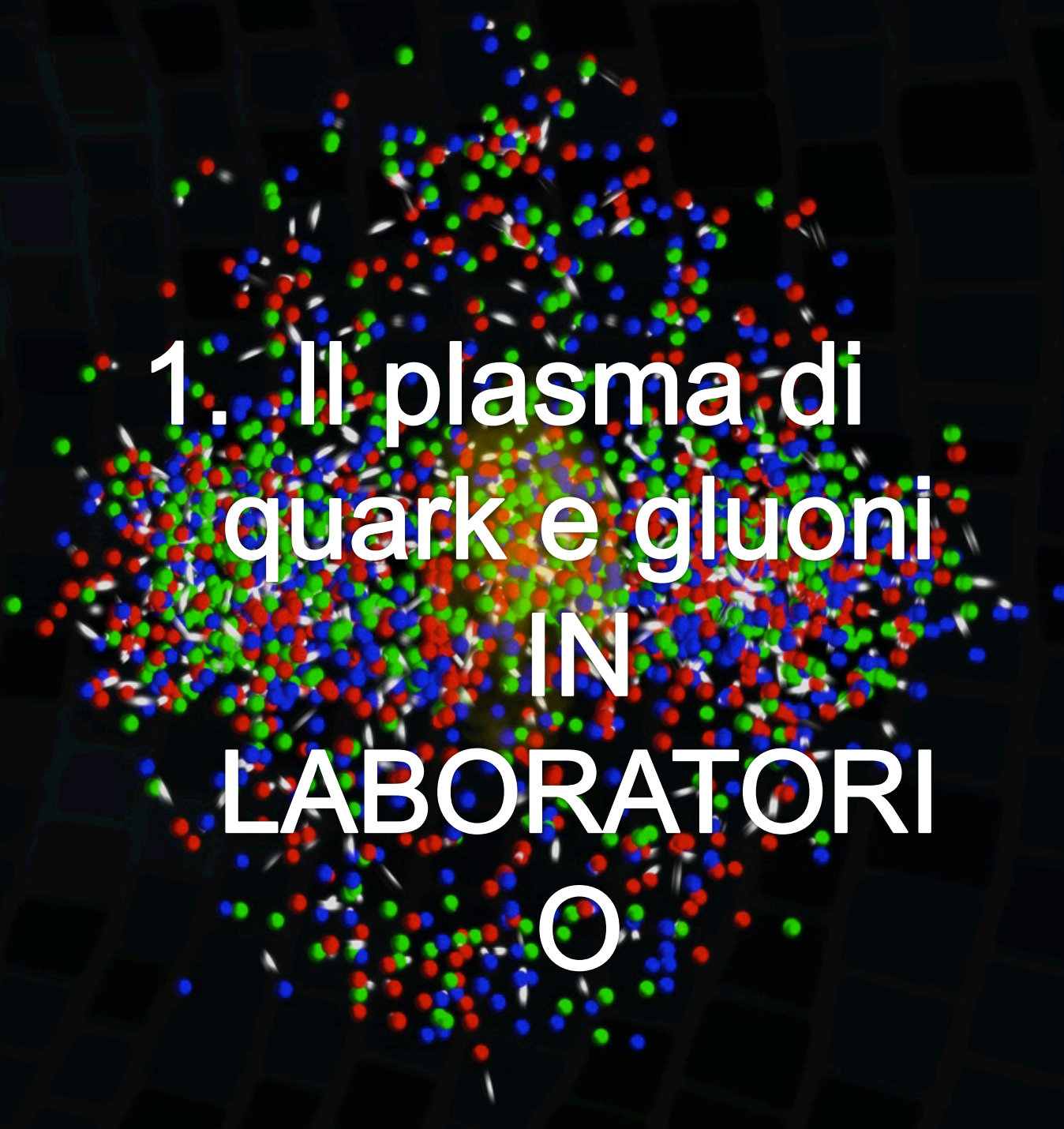
L'ESPERIMENTO ALICE AL COLLIDER



A Large Ion Collider Experiment

European Organisation for Nuclear Research

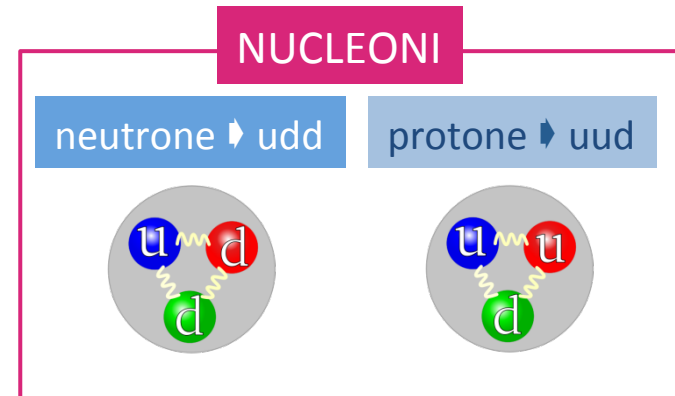
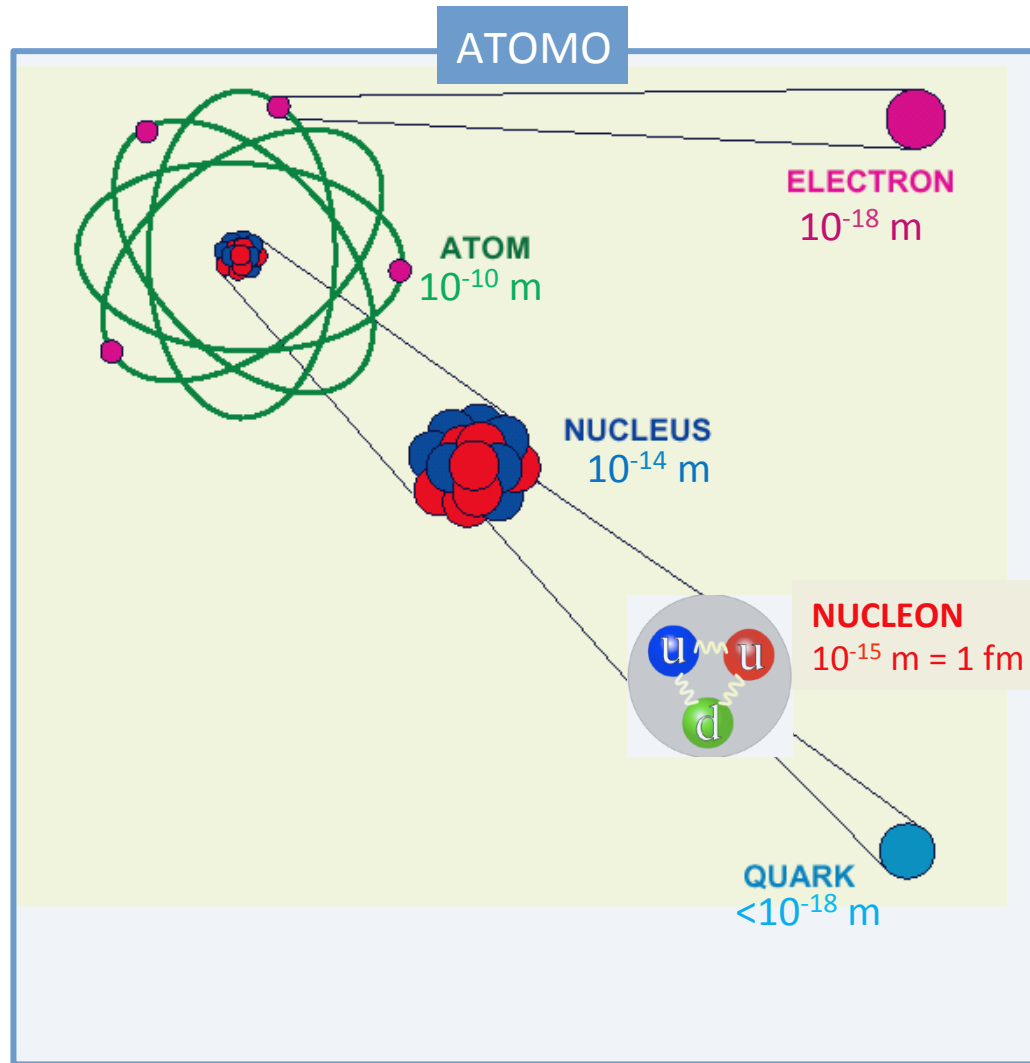




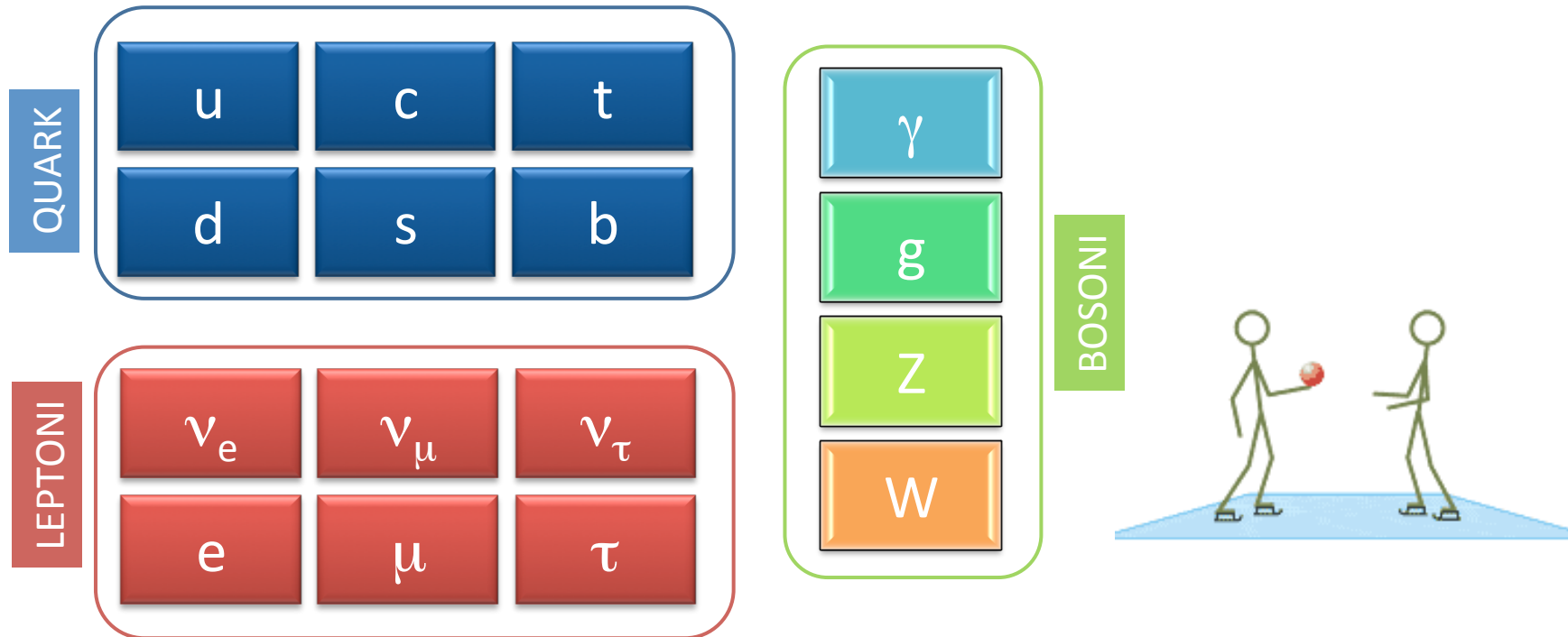
1. Il plasma di
quark e gluoni
IN
LABORATORI
O

Struttura microscopica della materia

Dalle lezioni precedenti...



Le particelle elementari



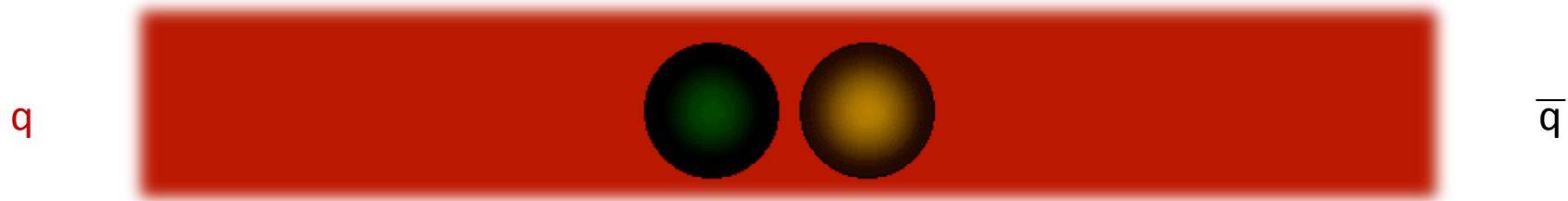
Le particelle elementari sono soggette alle 4 interazioni fondamentali.

I quark sono soggetti alle interazioni FORTI.

I **gluoni** sono i mediatori delle interazioni forti ➔ i quark interagiscono scambiandosi **gluoni**.

Confinamento dei quark

La forza che tiene insieme i quark cresce con la distanza tra i quark interagenti

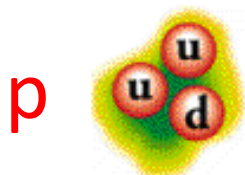


In natura non si osservano quark isolati (liberi) ➔ CONFINAMENTO

Tutte le particelle composte osservate sono aggregati di quark di 2 tipi:

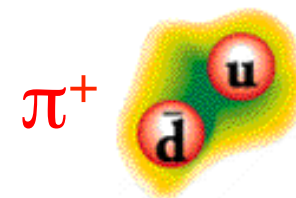
ADRONI

BARIONI ➔ 3 quark



n, p, Λ , Σ , Ξ , Ω , Δ ...

MESONI ➔ quark+antiquark



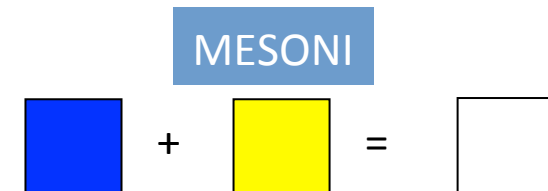
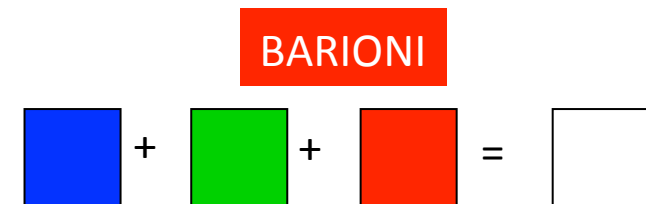
π , K, η , ρ , ω , φ ...

Il “colore” dei quark

Si introduce una “carica” anche per l’interazione forte: i quark sono contraddistinti da una **carica di COLORE**

Gli ADRONI **NON** sono “colorati” ➔ i quark componenti si combinano in modo che lo stato risultante (barione o mesone) non abbia colore

Ogni tipo di quark (antiquark) può esistere in 3 colori (anticolori) diversi
Anche i gluoni sono colorati



La carica dei quark viene chiamata COLORE in analogia con i colori della luce che sommati danno la luce bianca

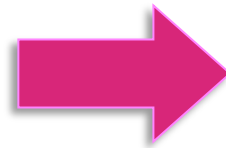
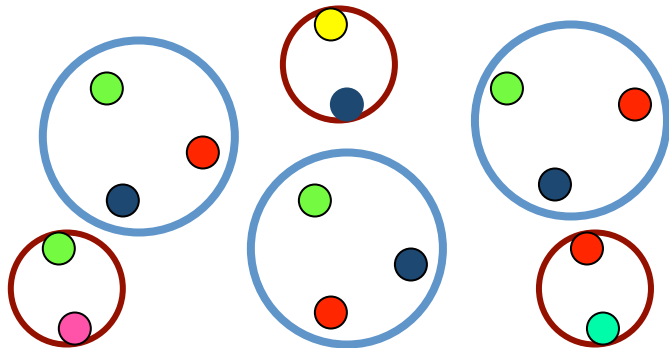
Il plasma di quark e gluoni

La forza che tiene insieme i quark cresce con la distanza, ma a distanze piccole diventa relativamente debole ➡ se riusciamo a mettere molto vicini un gran numero di quark e gluoni otterremo una zona in cui circolano liberamente

➡ gas di quark e gluoni liberi: il quark-gluon plasma (QGP)

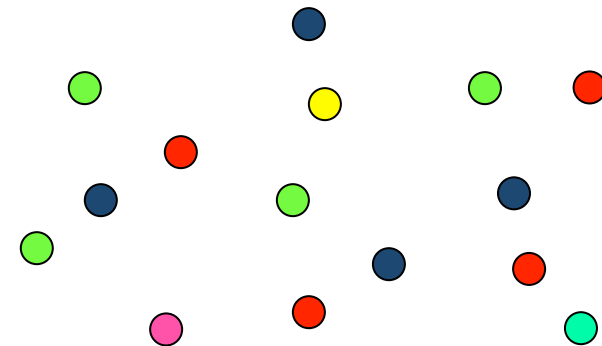
Materia ordinaria

➡ quark confinati negli adroni



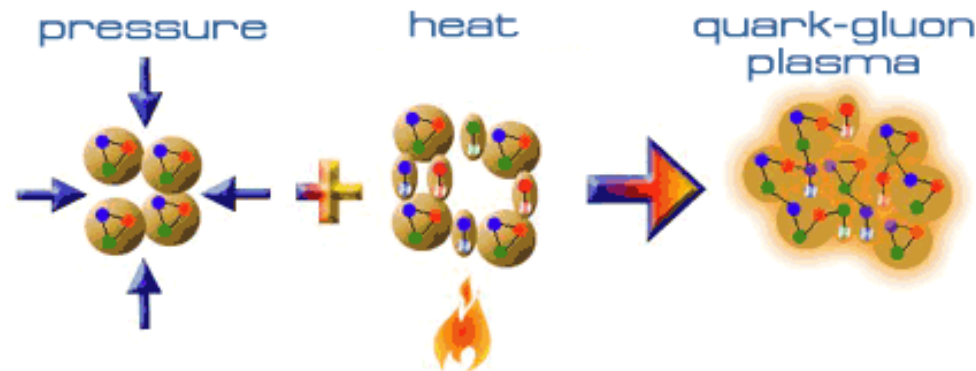
Quark Gluon Plasma

➡ quark e gluoni liberi



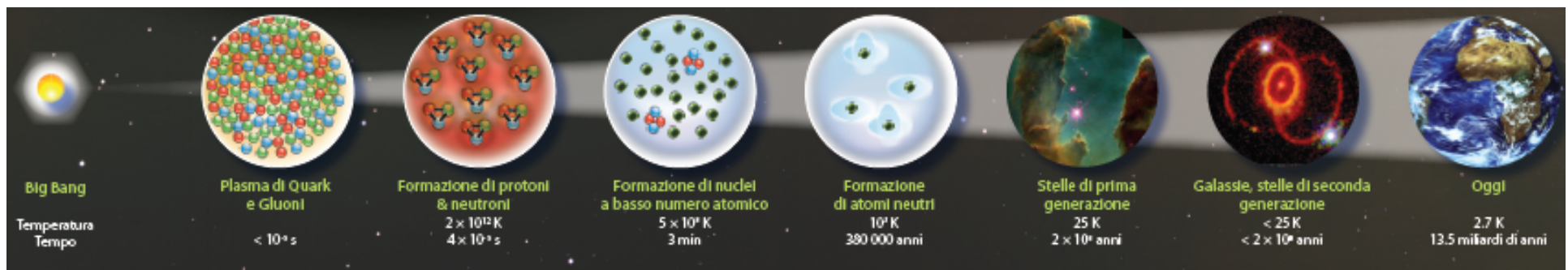
Transizione di fase a QGP

La teoria delle interazioni forti predice che il Quark-Gluon Plasma si formi quando la materia si trova in condizioni estreme di **densità** o **temperatura**



La transizione da QGP a materia adronica é avvenuta 10^{-5} s dopo il Big Bang
Oggi si cerca di riprodurla in laboratorio!

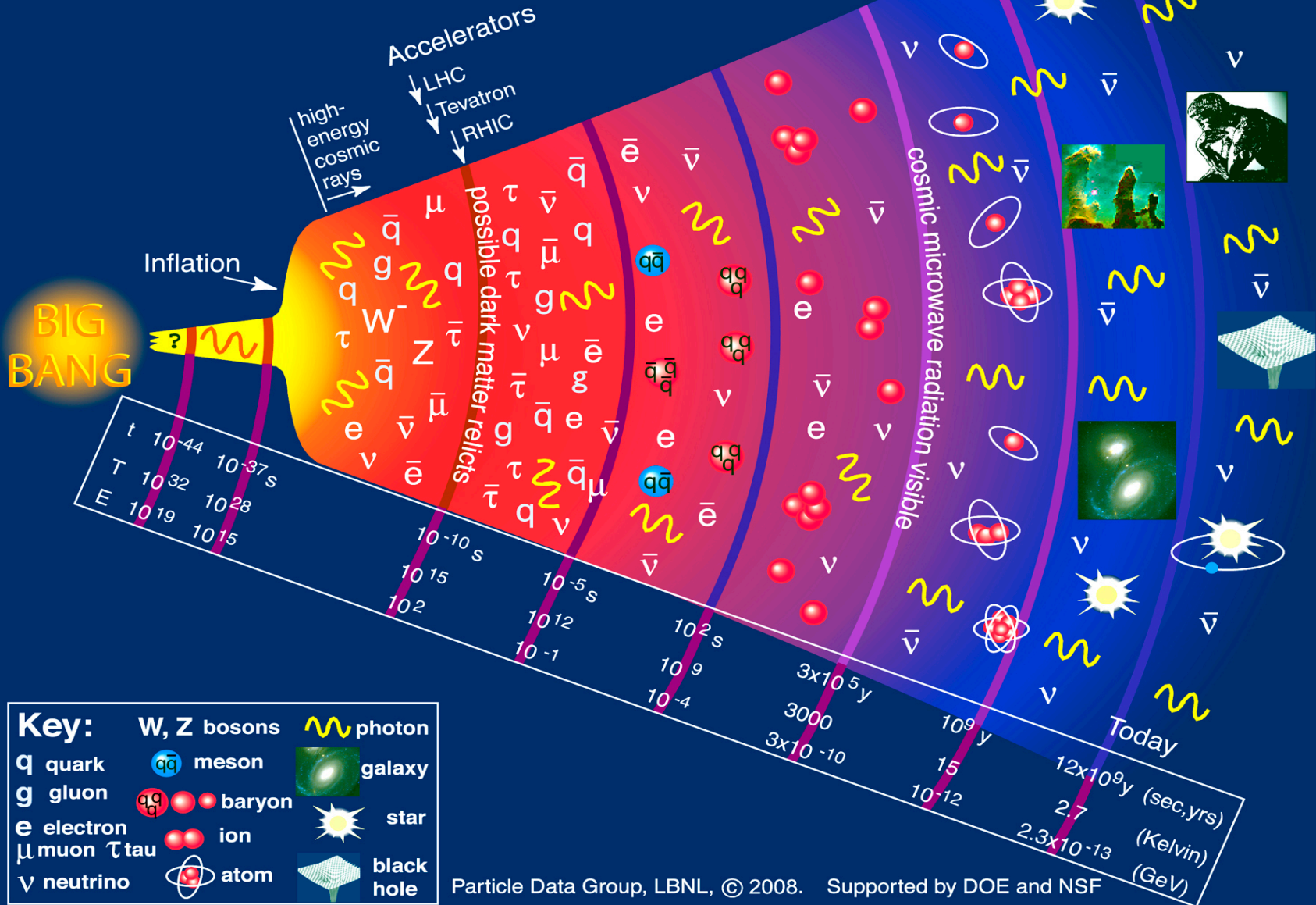
Natura



Laboratorio



History of the Universe

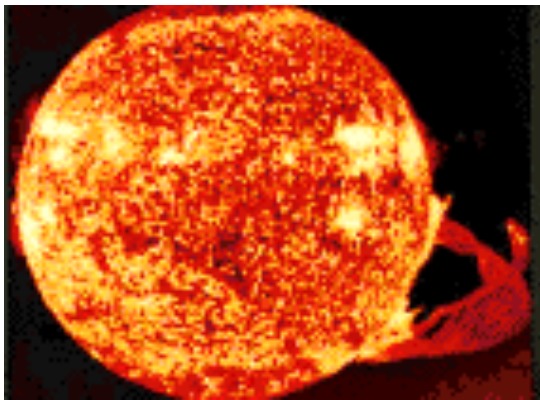


Particle Data Group, LBNL, © 2008. Supported by DOE and NSF

Come “creare” il QGP in laboratorio

Si possono usare gli acceleratori di particelle:

- ➔ si scelgono nuclei pesanti con molti protoni e neutroni
(a LHC Pb-Pb: 82+82 protoni, 126+126 neutroni)
 - ▶ molti quark e gluoni a disposizione!
- ➔ si accelerano a velocità altissime e poi si fanno scontrare
- ➔ in tal modo è possibile creare una zona talmente “calda” e “densa” che in essa i protoni e i neutroni possono “fondersi” e formare il Plasma di Quark e Gluoni

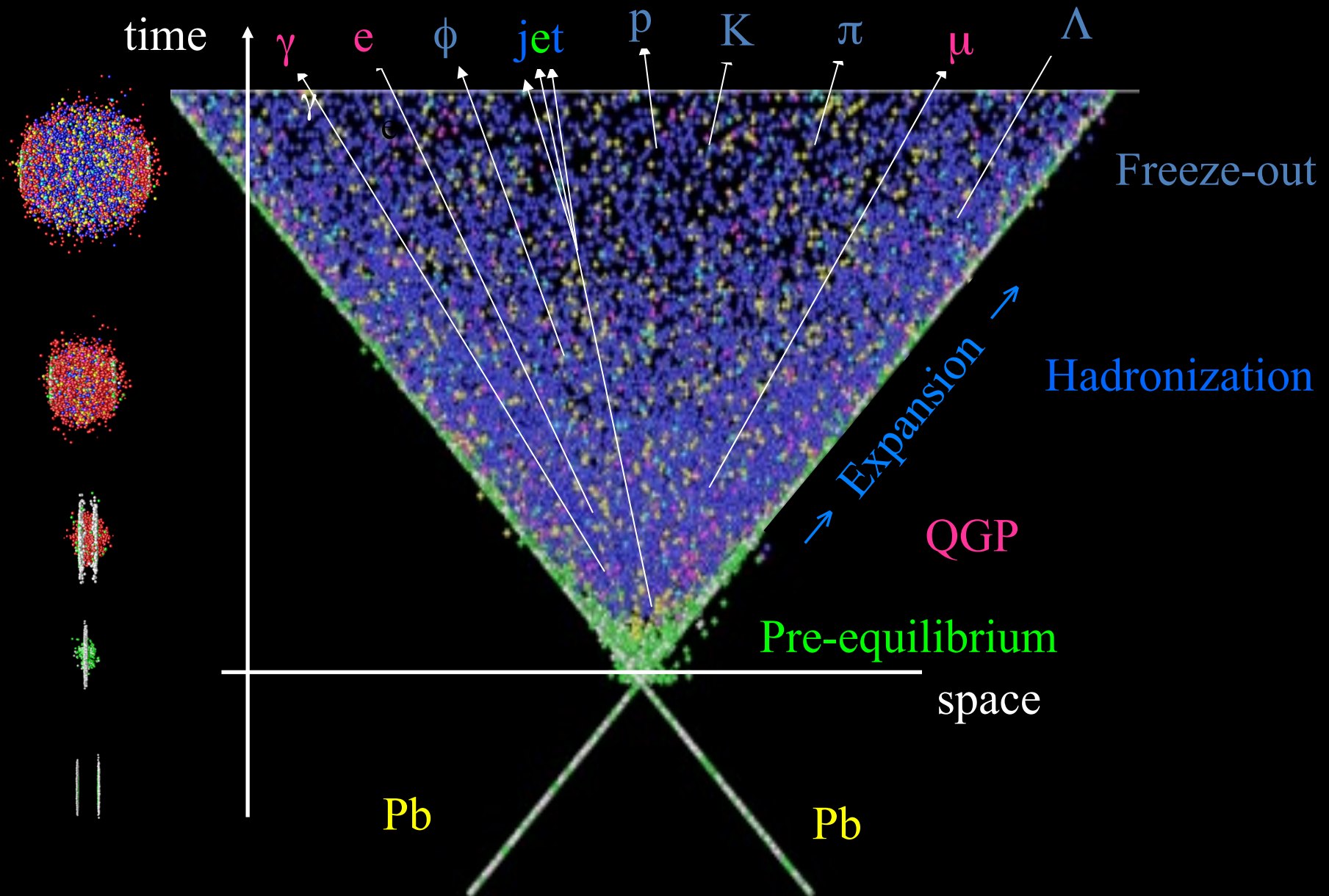


Qual è la temperatura necessaria?

Almeno 1.000.000.000.000 (mille miliardi!) °C

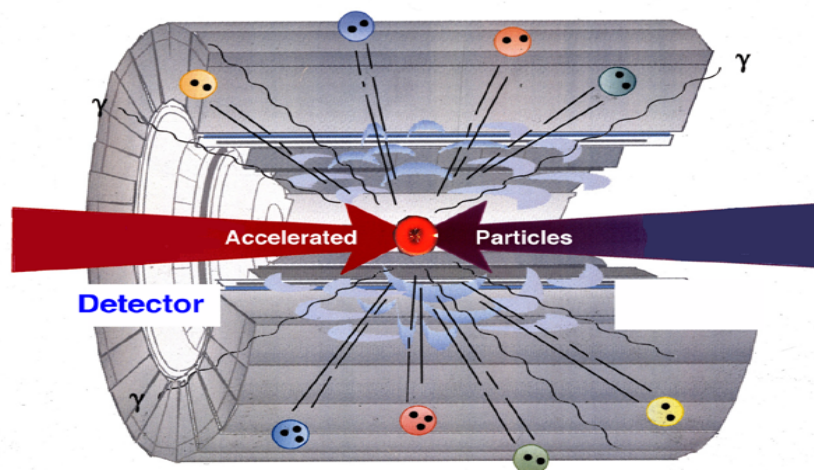
cioè più di 100.000 volte la temperatura al centro del Sole !

Storia di una collisione



Creazione di particelle

Nelle collisioni ad alte energie si producono nuove particelle $E^2 = p^2c^2 + m^2c^4$



Per studiare la collisione, si vogliono conoscere carica, massa, energia e quantità di moto delle particelle prodotte e seguirne le tracce
➡ IDENTIFICAZIONE DELLE PARTICELLE

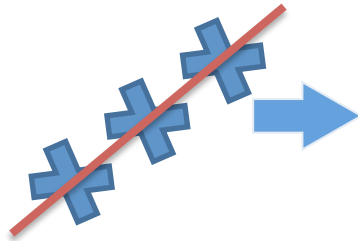
The background is a solid blue color with a complex pattern of white lines and dots. The lines are mostly horizontal but include many curved, spiral, and intersecting paths, resembling particle tracks or detector readouts. Small white dots are scattered throughout the background, some appearing as clusters or along the paths.

2. RIVELATORI DI PARTICELLE

Rivelatori di particelle

RIVELATORI ➔ strumenti in grado di fornire un segnale al passaggio di una particella al loro interno

Tracciamento



Piani di tracciamento vicino al punto di interazione per avere le “impronte” dalle quali ricostruire le tracce

Misura della
quantita' di moto



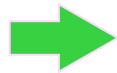
Campo magnetico + rivelatori di tracciamento

Misura di massa
e carica



Misura del tempo di volo (tempo impiegato
dalla particella a percorrere una distanza nota)

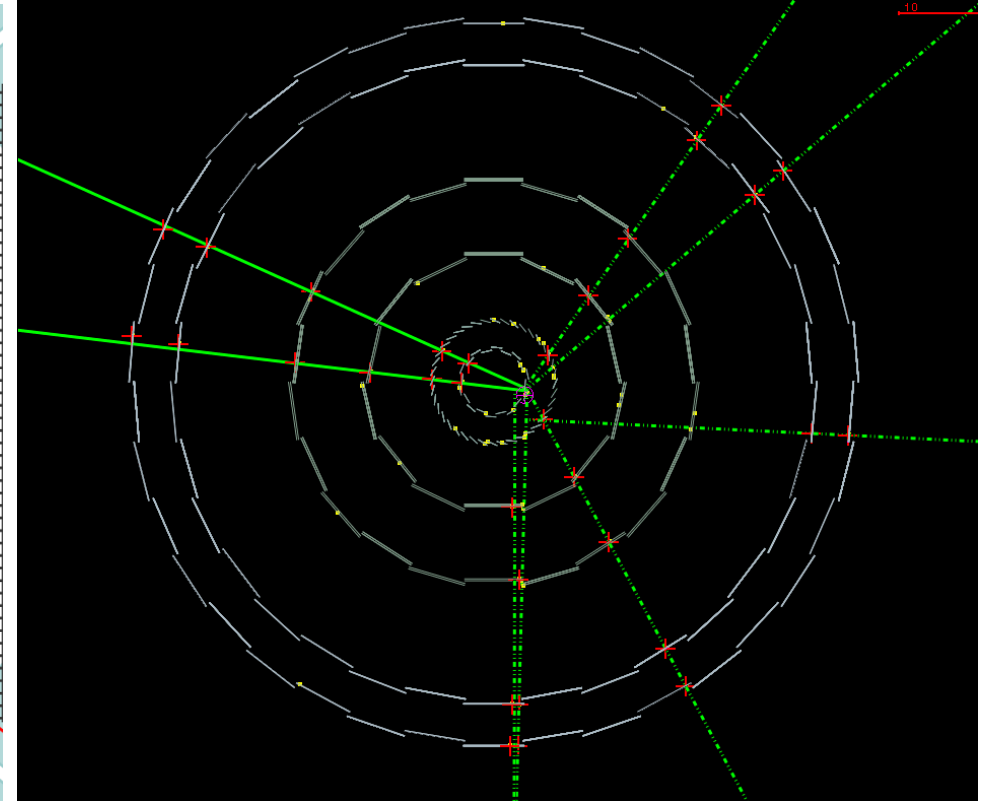
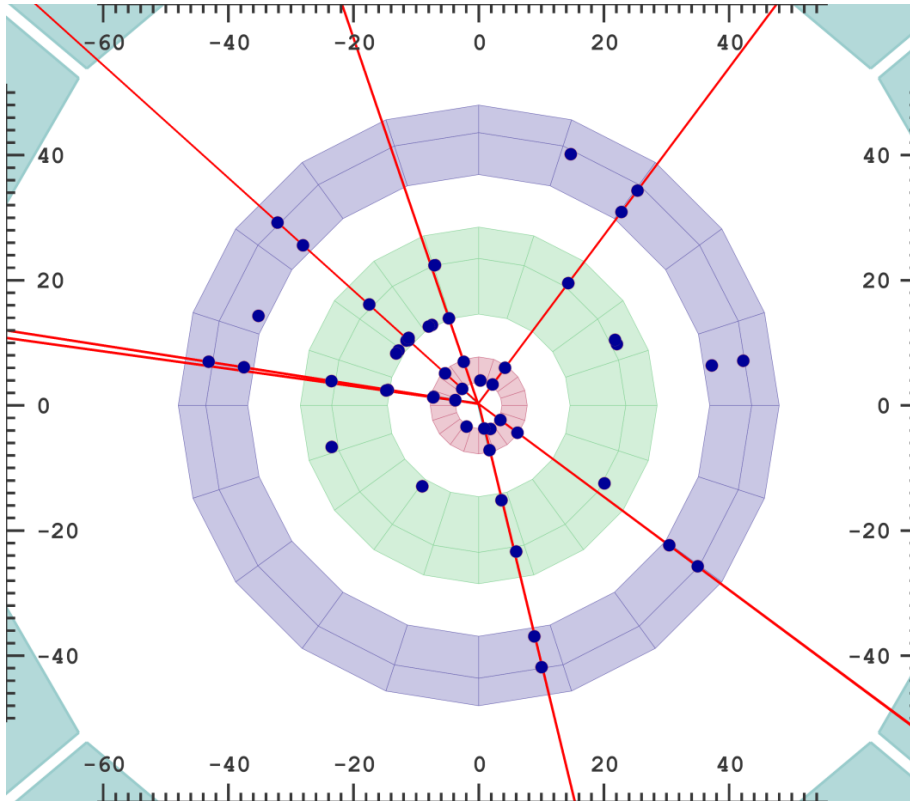
Misura
dell'energia



Fermare la particella e convertire la sua
energia in segnale misurabile

Tracciamento ed identificazione del vertice primario

Passaggio della particella ➡ punti sui piani dei rivelatori di tracciamento ➡ algoritmi per ricostruire le tracce nello spazio



Le tracce ricostruite puntano verso il vertice PRIMARIO nel quale e' avvenuta l'interazione ➡ le coordinate del punto nel quale avviene la collisione sono determinate

Identificazione di particelle

Le particelle cariche che attraversano un rivelatore, interagiscono con la materia e possono liberare e^- dagli atomi del mezzo

▶ PERDITA DI ENERGIA PER IONIZZAZIONE

La quantità di energia persa dalle particelle per ionizzazione dipende dalla loro velocità $\beta=v/c$, da $\gamma=1/\sqrt{1-\beta^2}$ e dalla loro massa m :

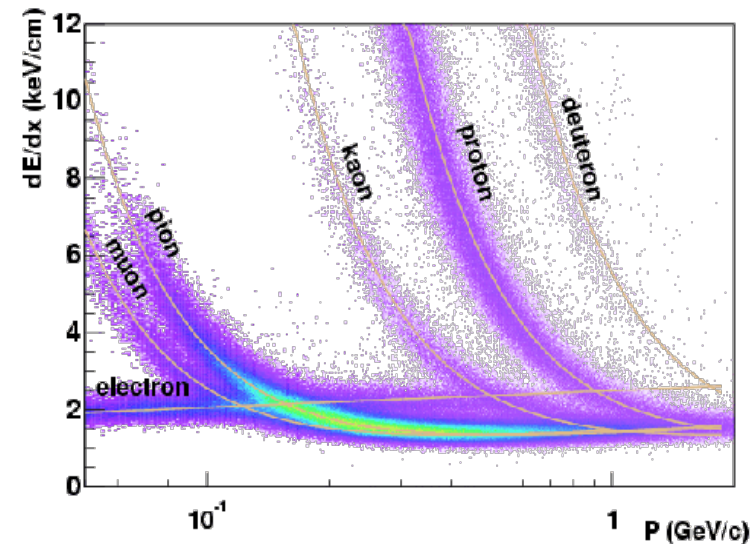
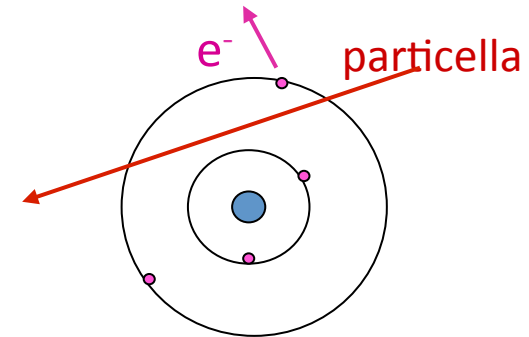
$$dE/dx \propto \log(\beta^2 \gamma^2) m / \beta^2$$

➡ i rivelatori di tracciamento, vicini al punto di interazione, possono misurare questa energia, migliorando la capacità del sistema di identificare le particelle.

Rivelatori di tracciamento



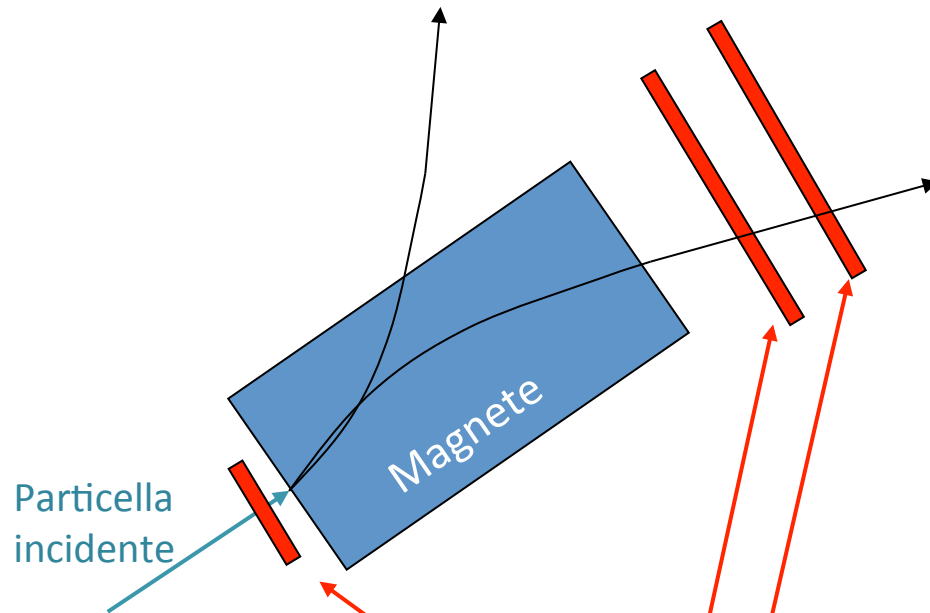
- identificazione vertice primario
- tracciamento
- misura energia persa per ionizzazione



Misura della quantità di moto

Per misurare l'impulso di una particella abbiamo bisogno di un **campo magnetico**

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$



➔ cariche di segno opposto sono deflesse in versi opposti

➔ campo magnetico $B \perp$ alla direzione delle particelle entranti ➔ $F = qvB$

$$mv^2/r = qvB$$

$$p = qBr$$

Caso non relativistico: $p = mv$

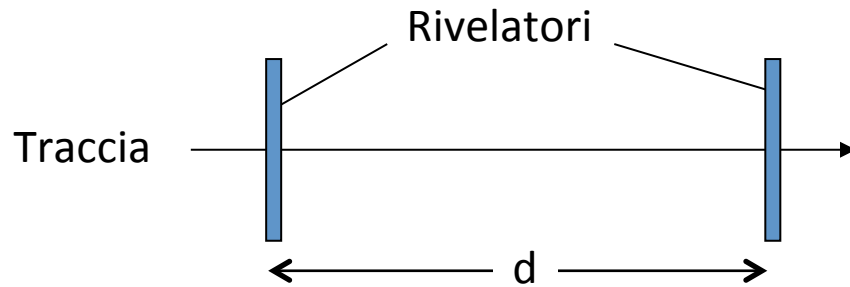
Caso relativistico: $p = \gamma mv$

Rivelatori di tracciamento



Misura del raggio di curvatura r
➔ determino quantità di moto p

Misura della velocità



Caso non relativistico: $v = d/\Delta t$

Caso relativistico: $\beta = d/c\Delta t$

Rivelatori di
tempo di volo



Misura del tempo → determino la
velocità della particella

IDENTIFICAZIONE DELLA PARTICELLA

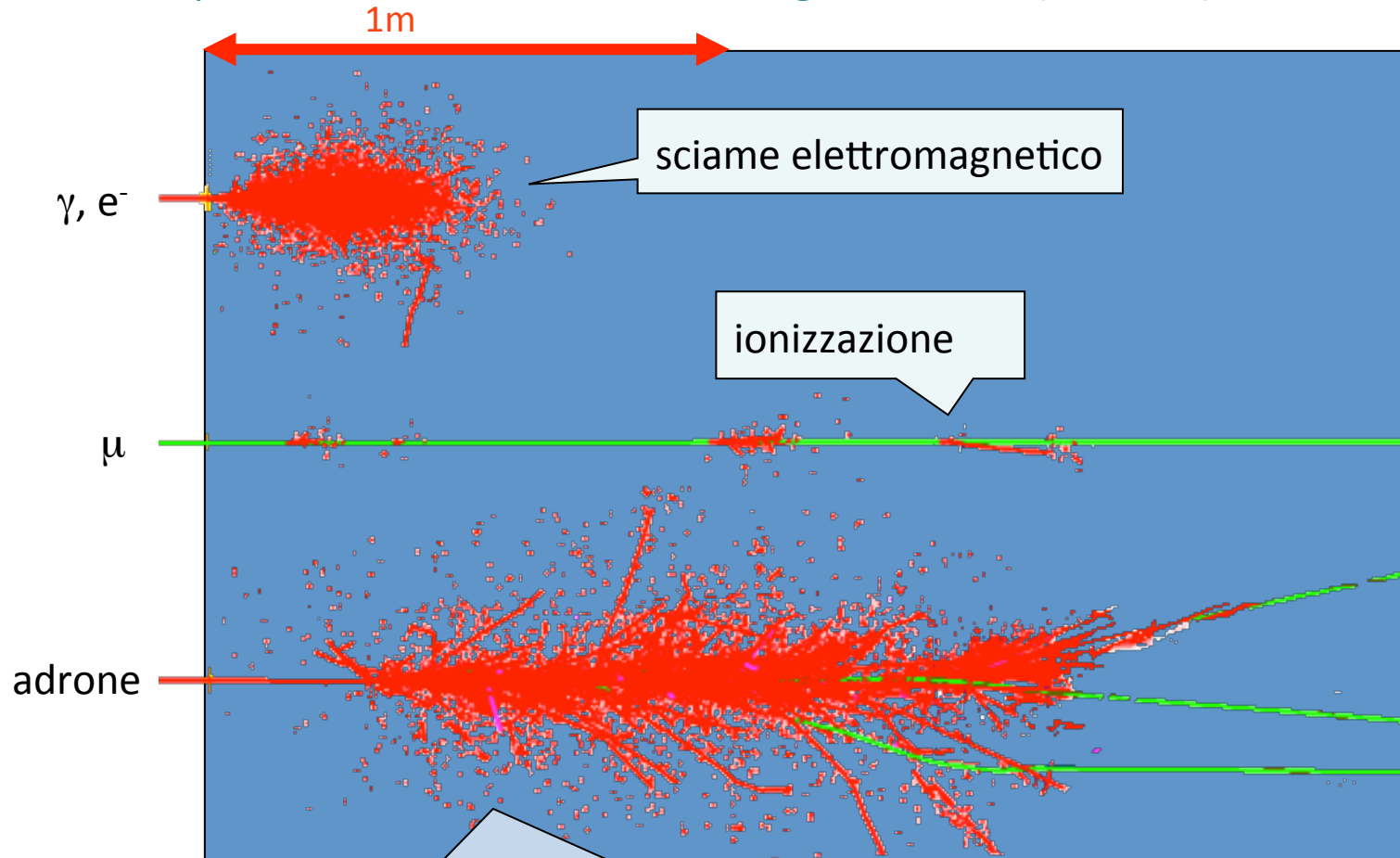
Misura della quantità di moto
 $p = qBr$

Misura della velocità
 $v = d/\Delta t$

Determino la massa della particella

Misura dell'energia

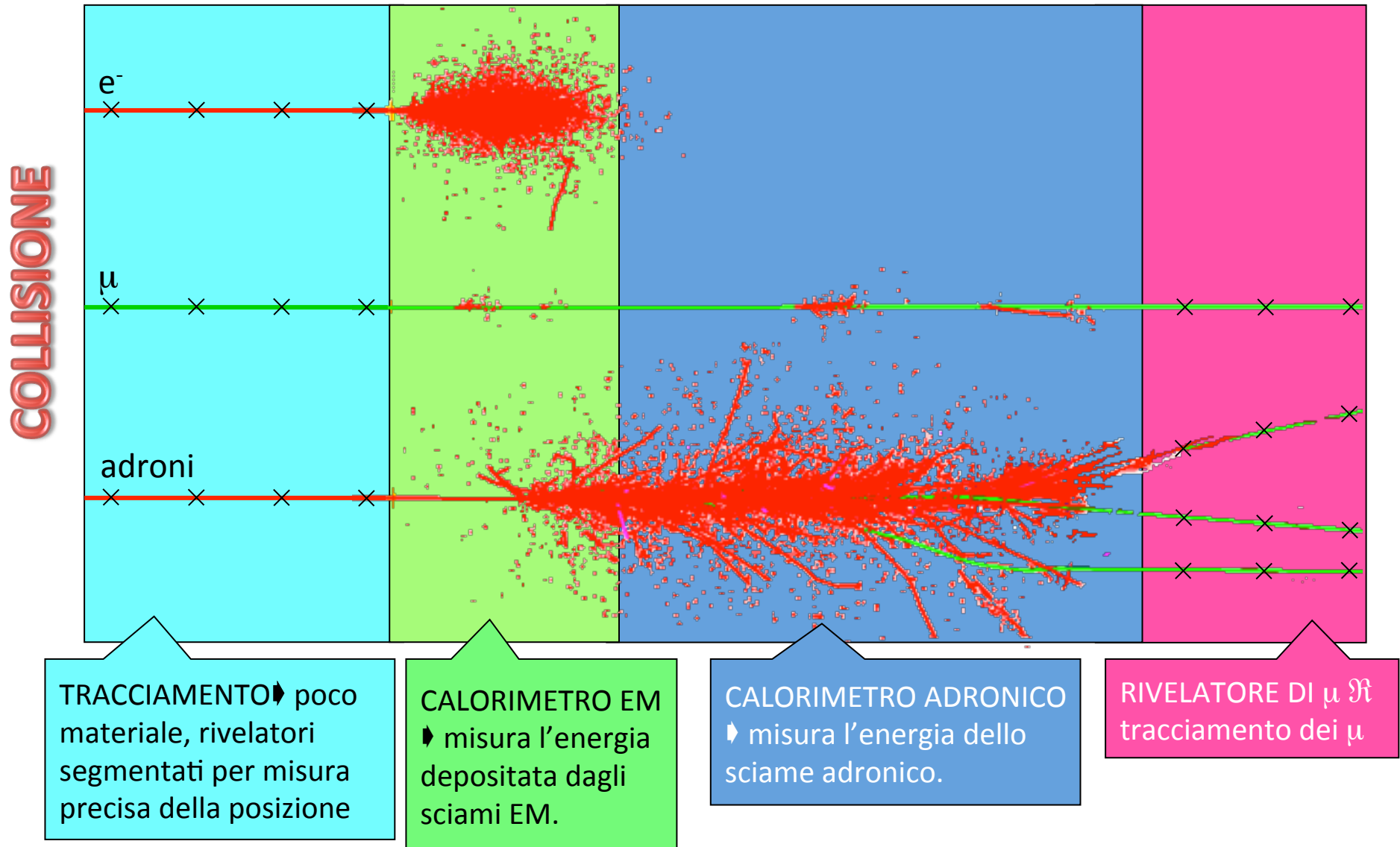
Interazione di particelle diverse con stessa energia incidente (300 GeV) in un blocco di Fe:



L'adrone interagisce fortemente con 1 nucleo di Fe e crea nuove particelle che a loro volta interagiscono con I nuclei di Fe
➡ sciame adronico

Strategia

Rivelatori in CAMPO MAGNETICO per misurare il momento delle particelle



Struttura a cipolla degli apparati sperimentali

Rivelatori centrali

- Tracciamento
- Segno della carica
- Momento

Muon detector

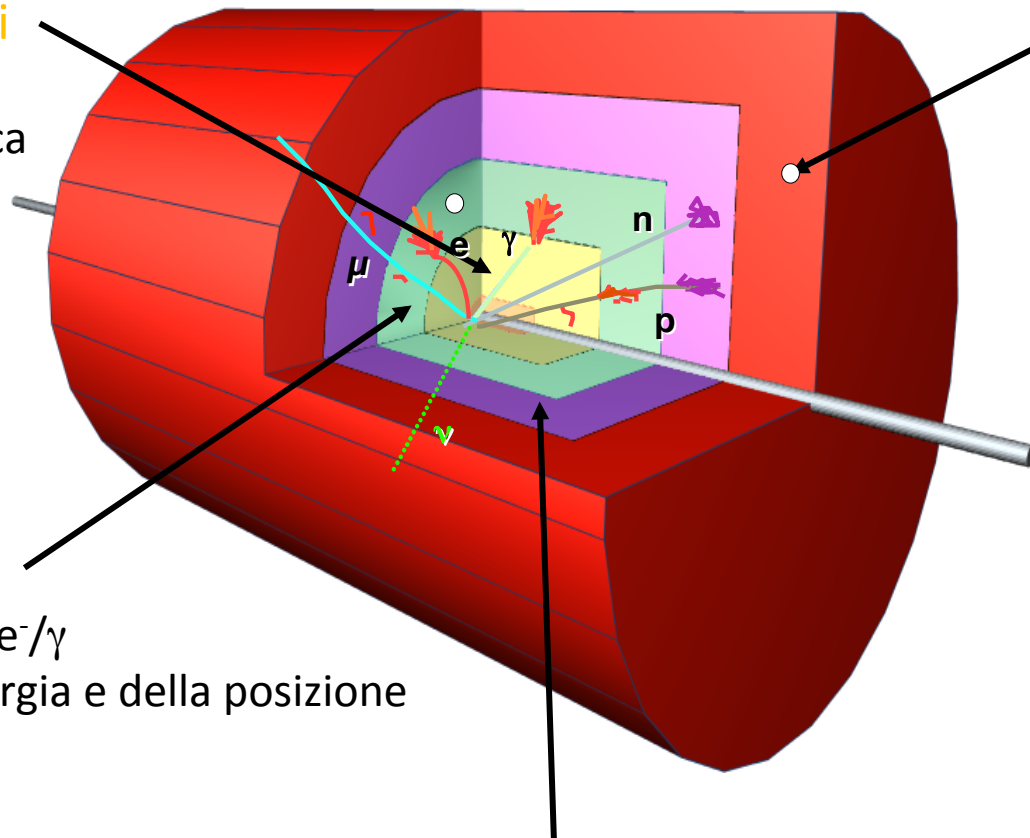
- identificazione e tracciamento dei μ

Calorimetro EM

- identificazione e^-/γ
- misura dell'energia e della posizione

Calorimetri adronici

- misura di energia e posizione di adroni e jet



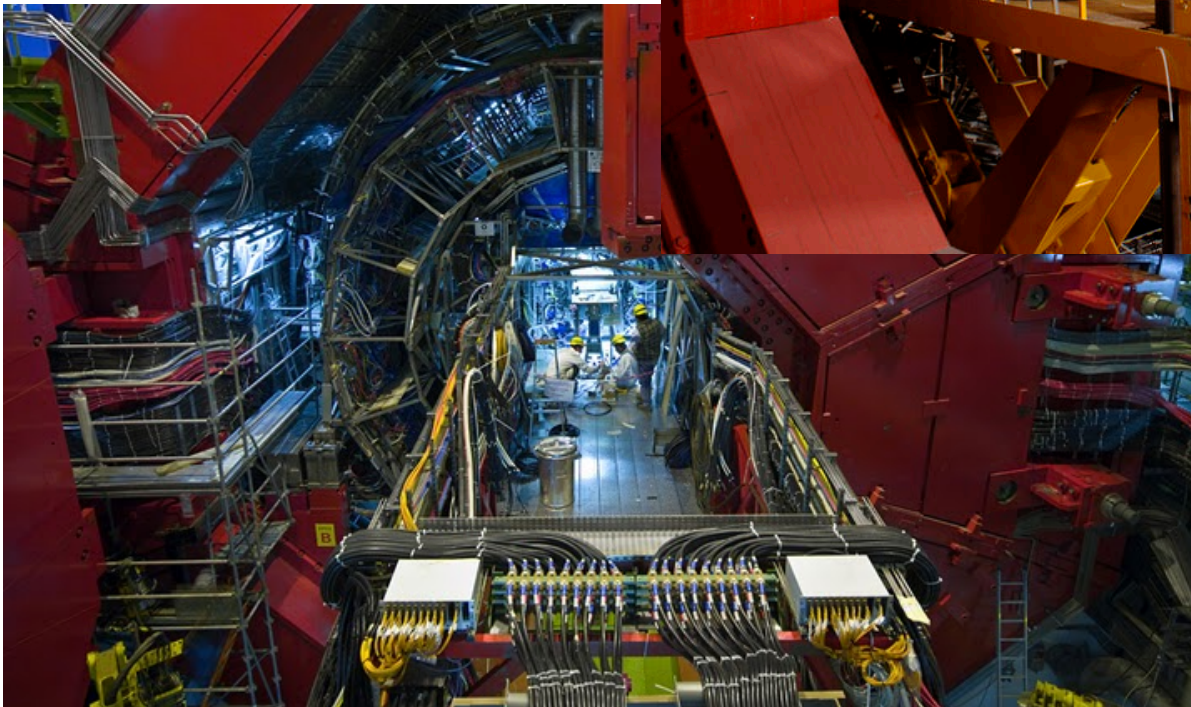


3.
L'ESPERIMENT
O ALICE

Entriamo alla scoperta di ALICE

➔ Rivelatori posti in campo magnetico solenoidale $B = 0.5 \text{ T}$ per la misura del momento delle particelle prodotte.

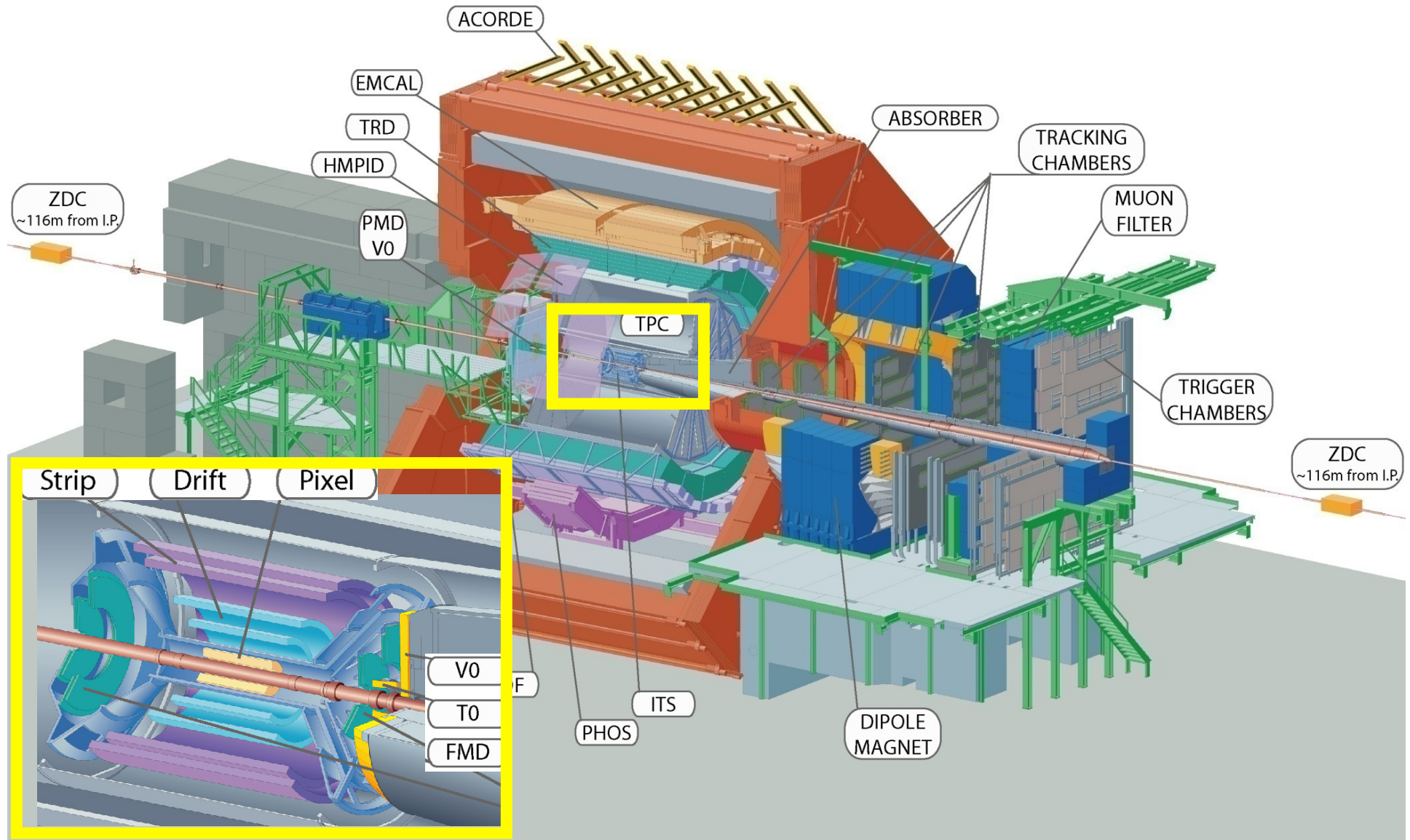
➔ Magnete: lunghezza 12m, raggio 5m.



➔ Adesso vediamo quali sono i principali rivelatori di ALICE...

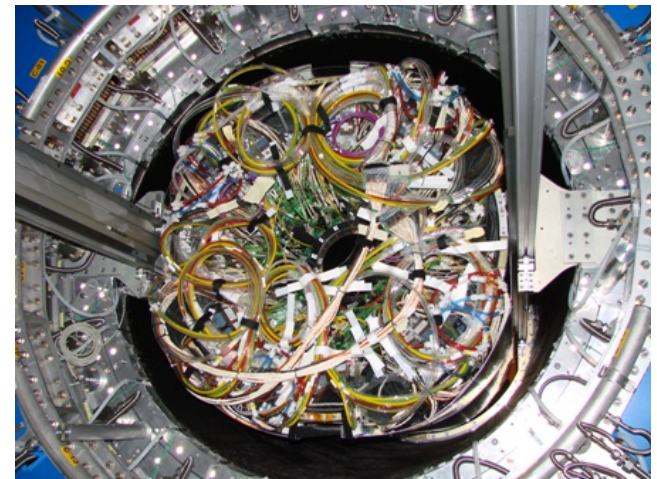
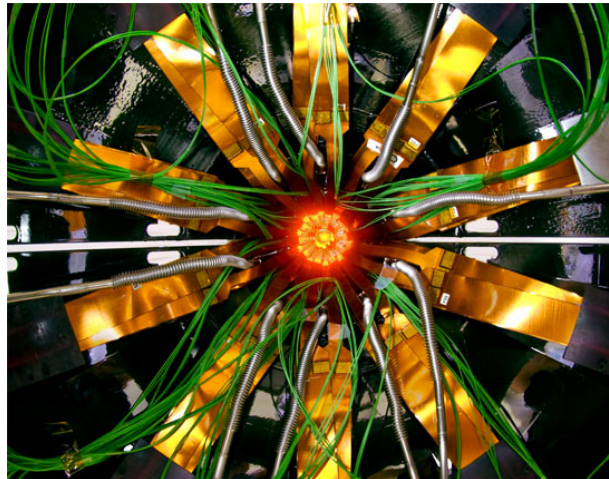
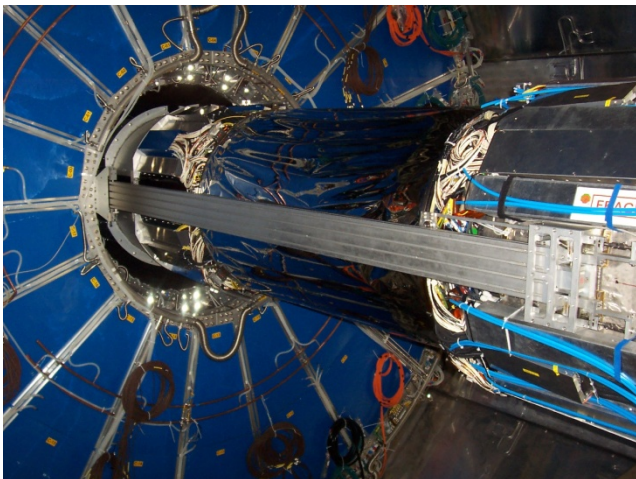
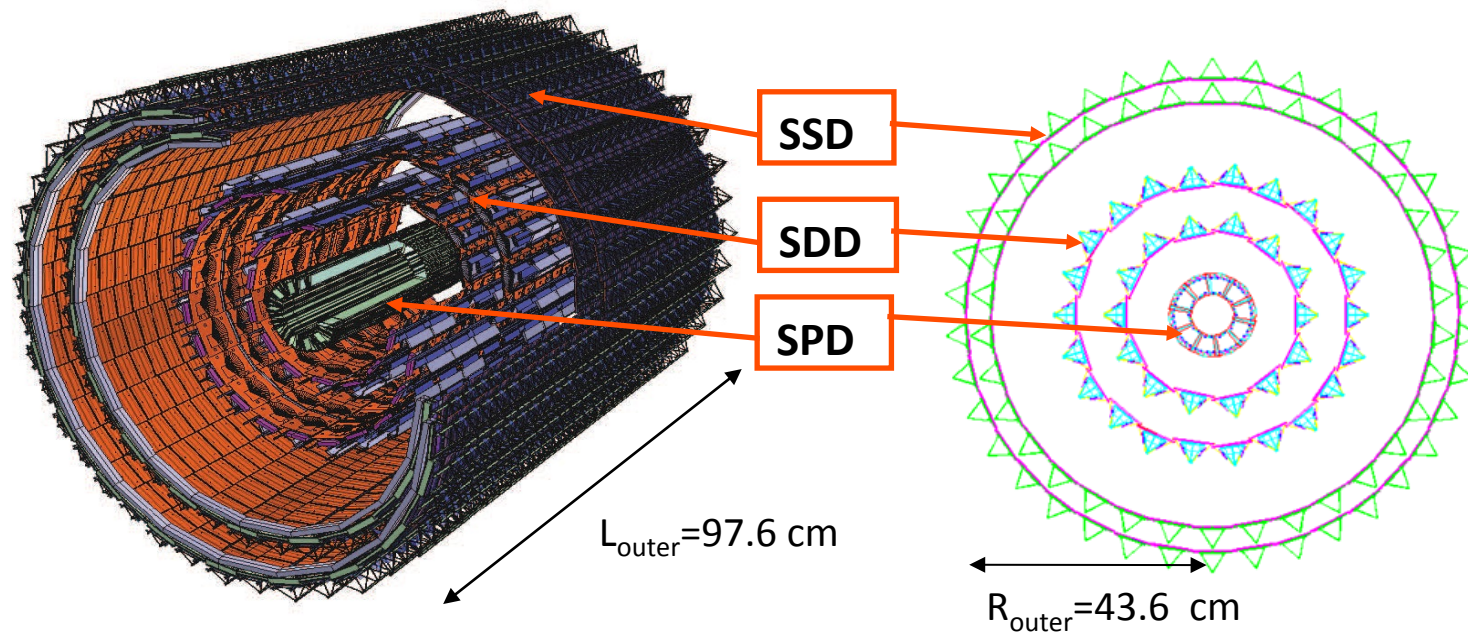
Sistema di tracciamento

INNER TRACKING SYSTEM (ITS)



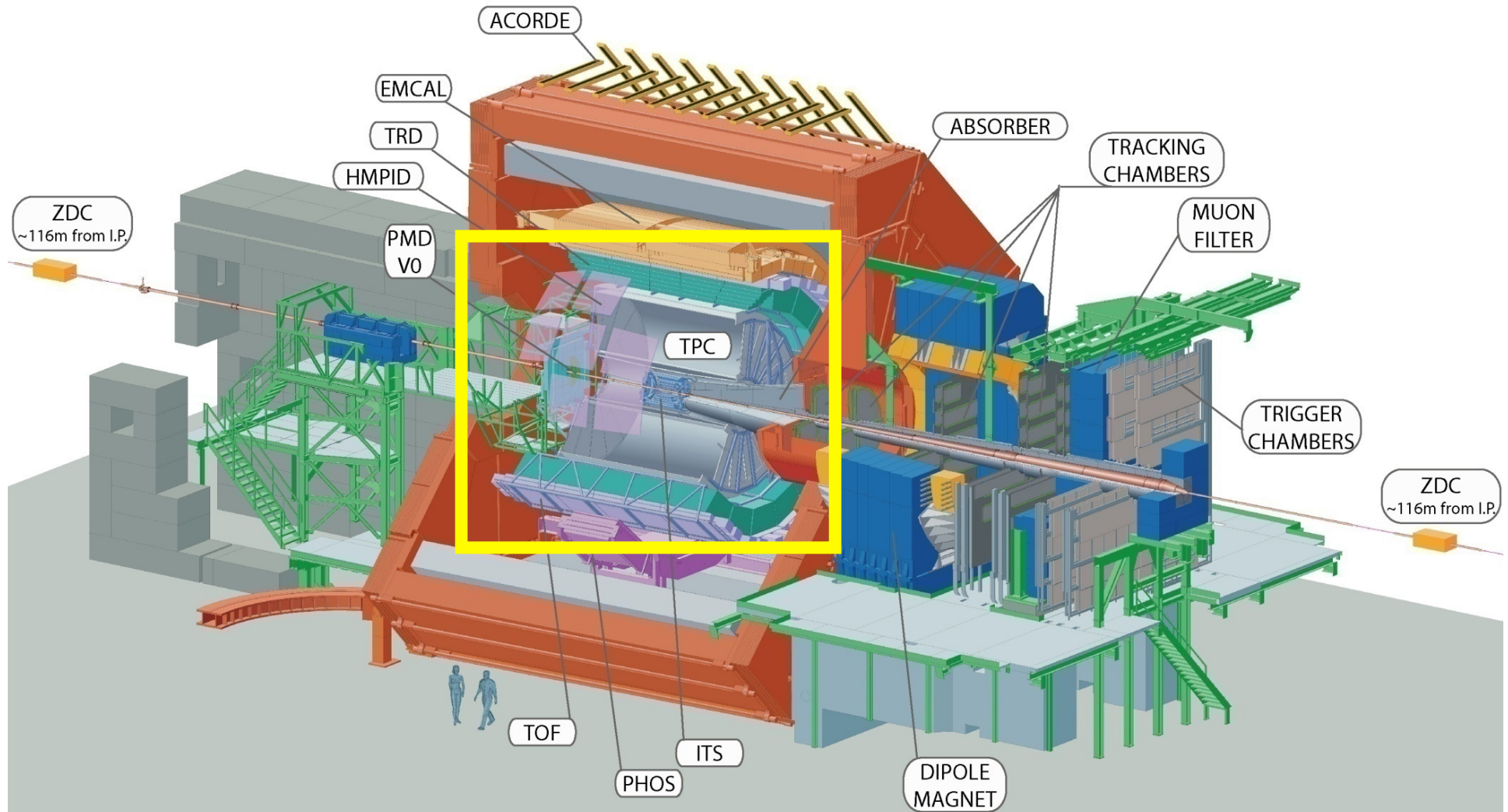
Sistema di tracciamento interno (ITS)

- 6 strati ad elevata segmentazione costruiti con 3 diverse tecnologie
➔ ricostruzione delle tracce e del vertice primario d'interazione

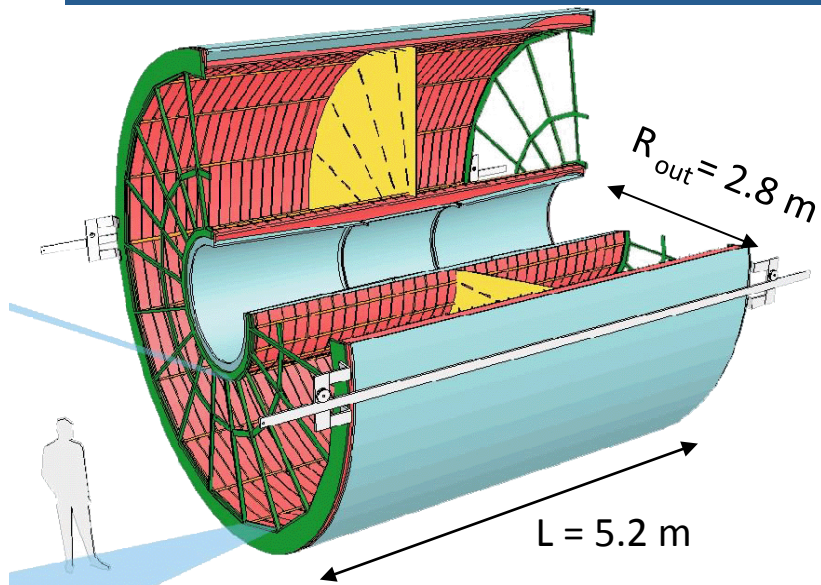


Tracciamento e perdita di energia

Time Projection Chamber (TPC)

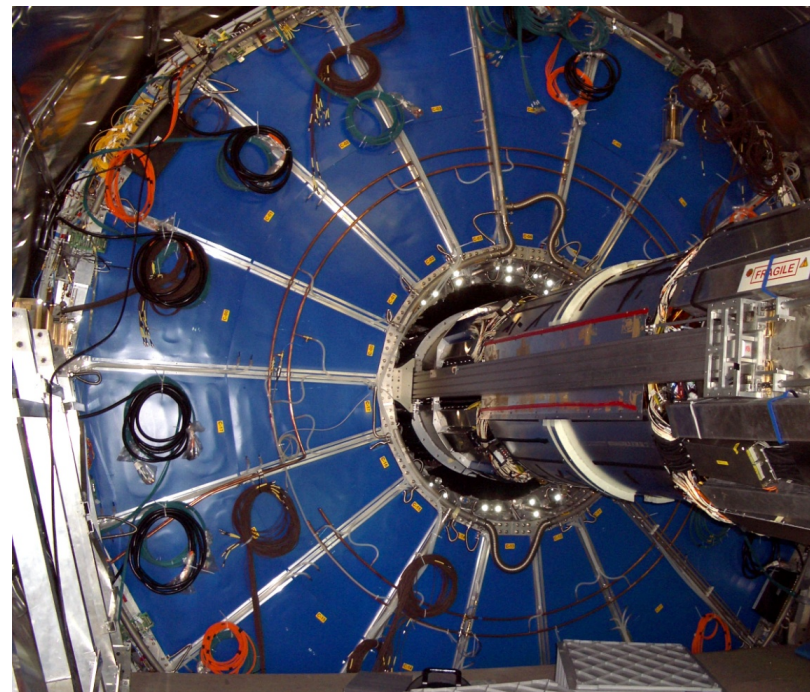
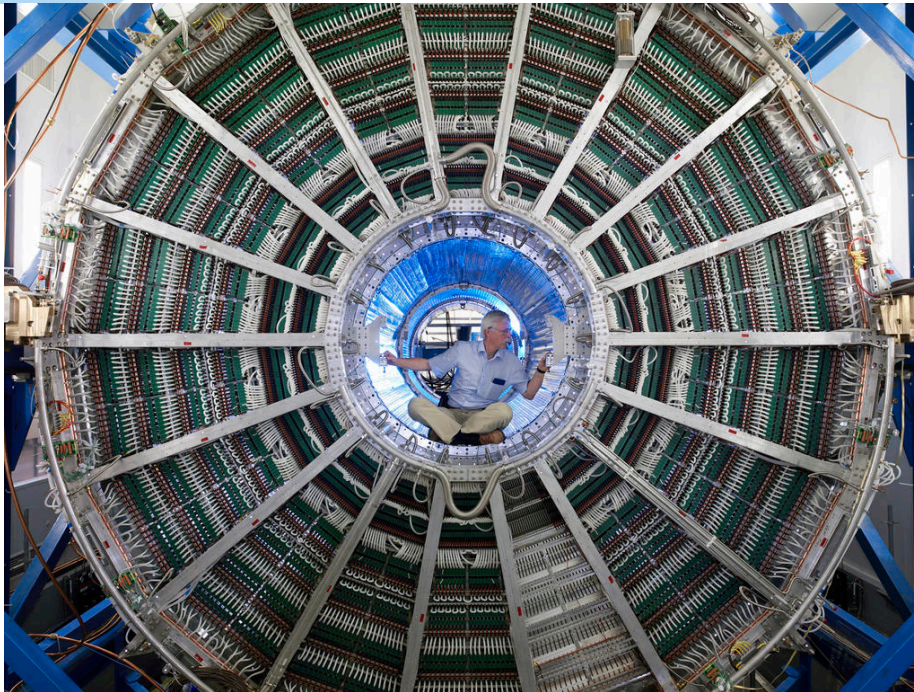


Time Projection Chamber (TPC)

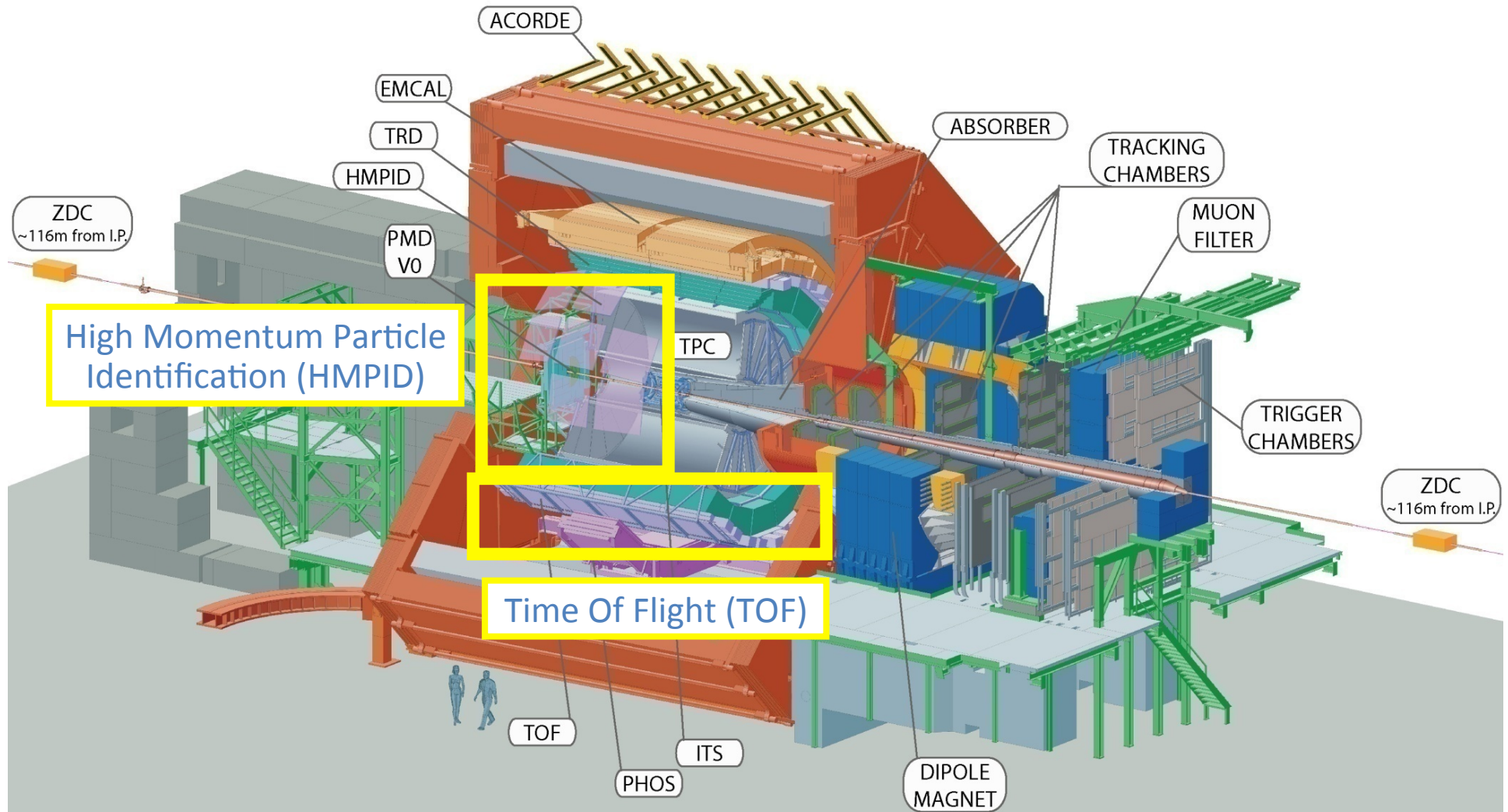


Rivelatore di forma cilindrica, riempito di gas con campo elettrico applicato per la raccolta del segnale ed immerso in campo magnetico.

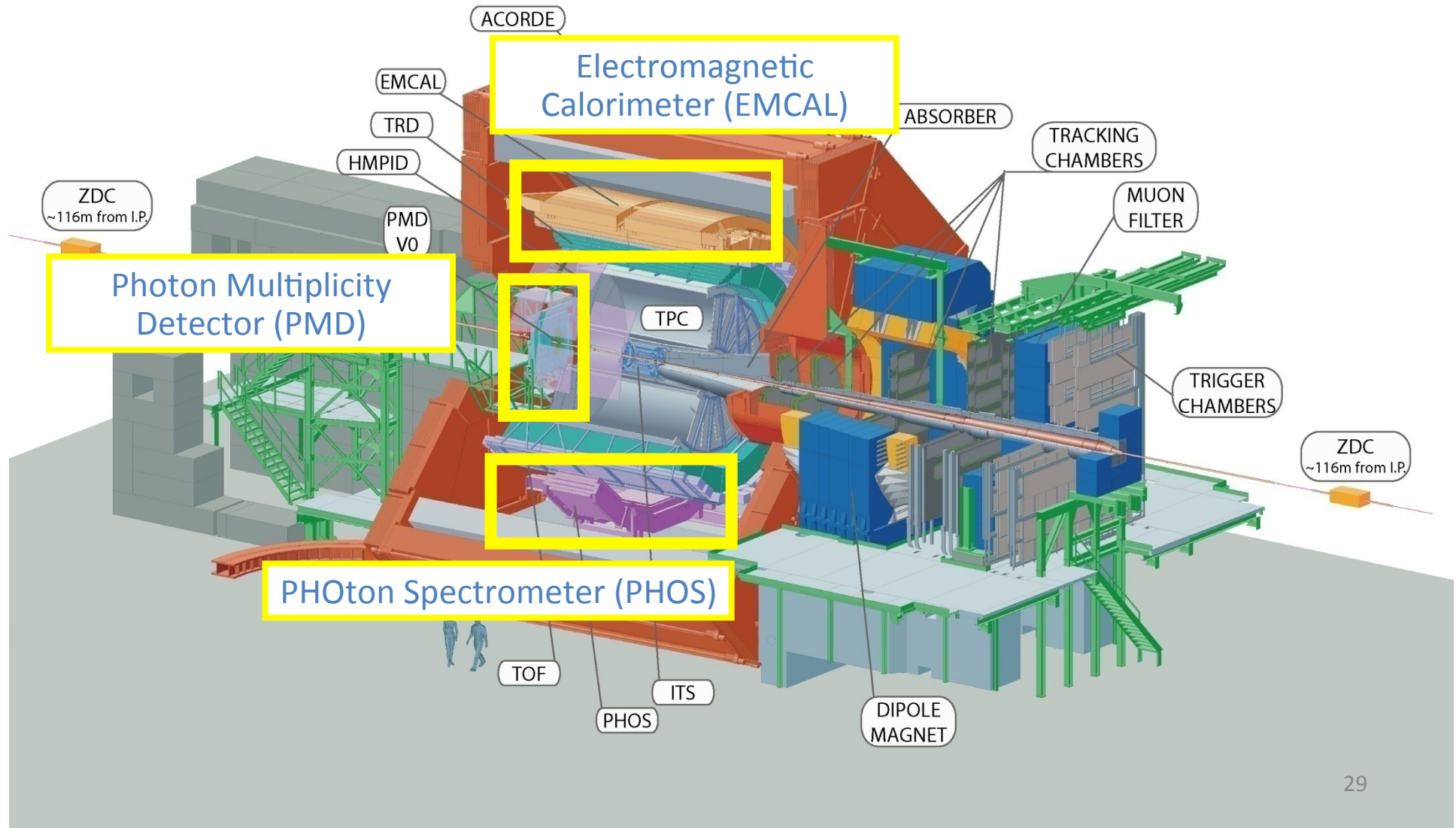
- ➔ Misura dell'energia persa per ionizzazione
- ➔ Tracciamento



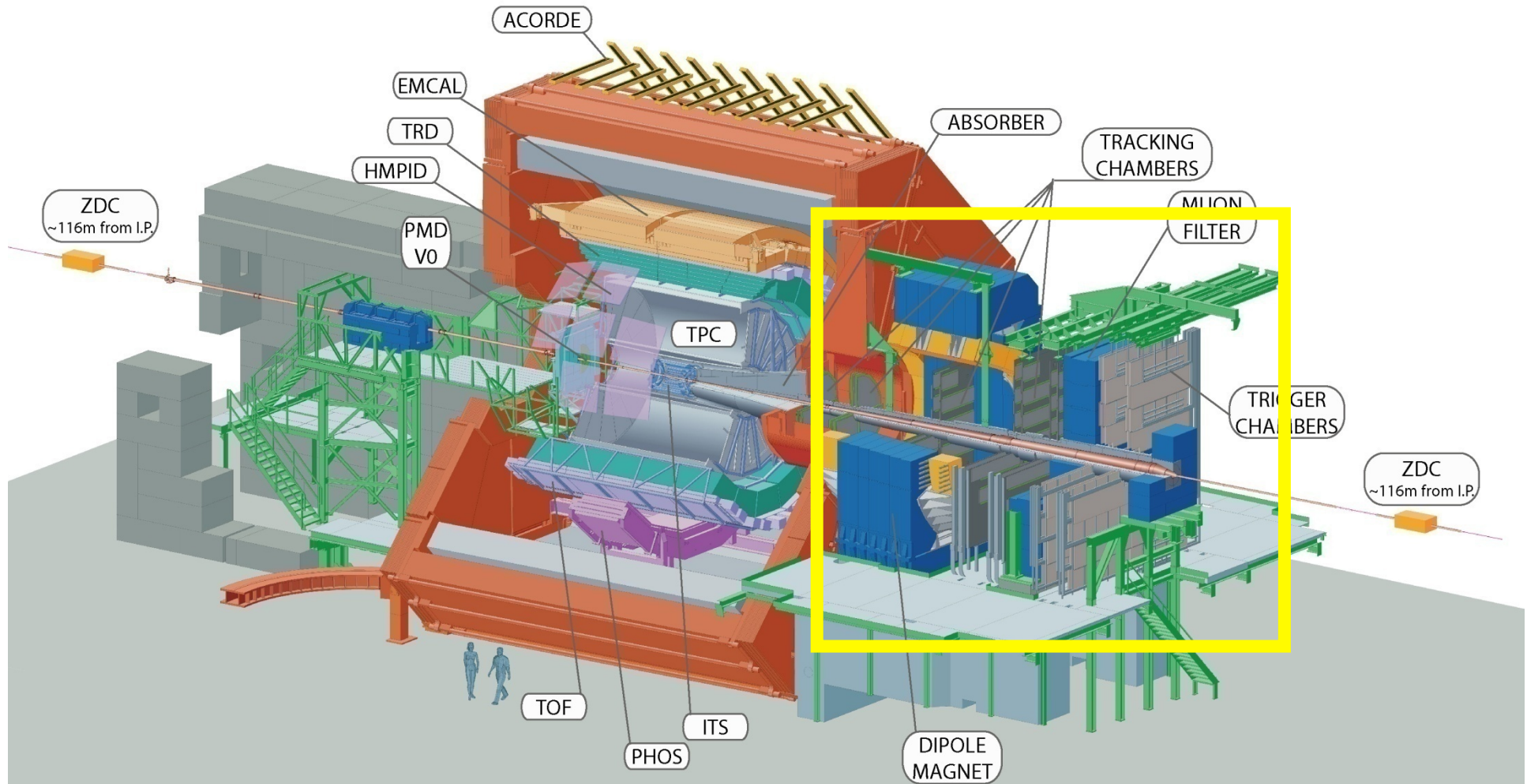
Misure di velocita'



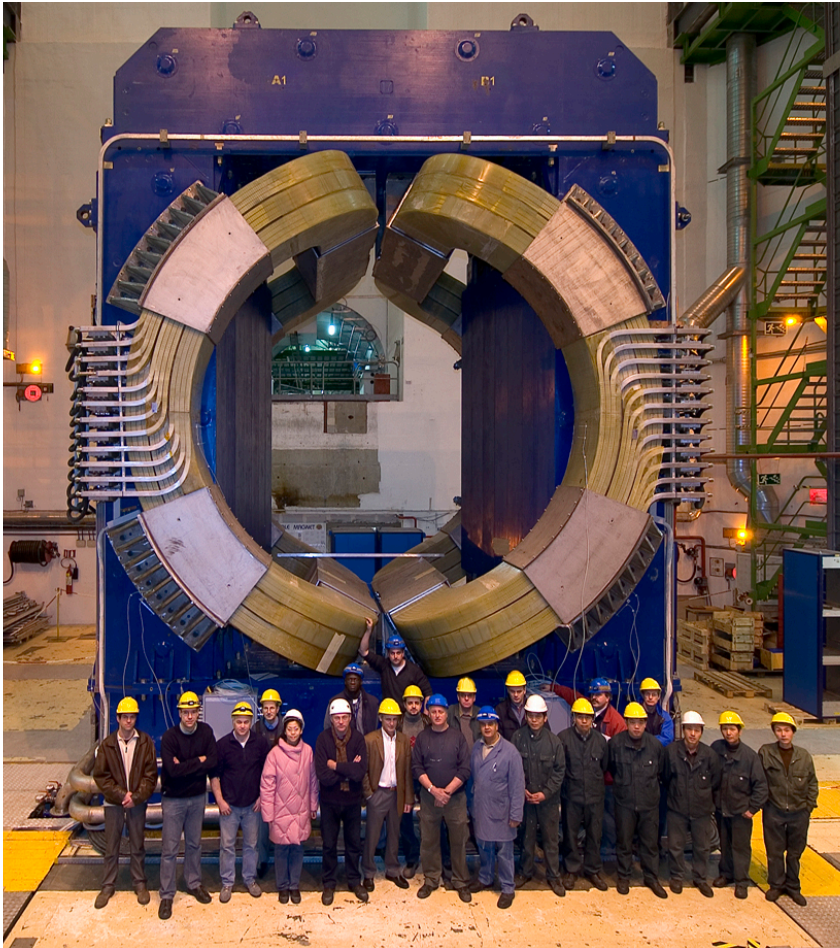
Rivelatori di fotoni ed e^-



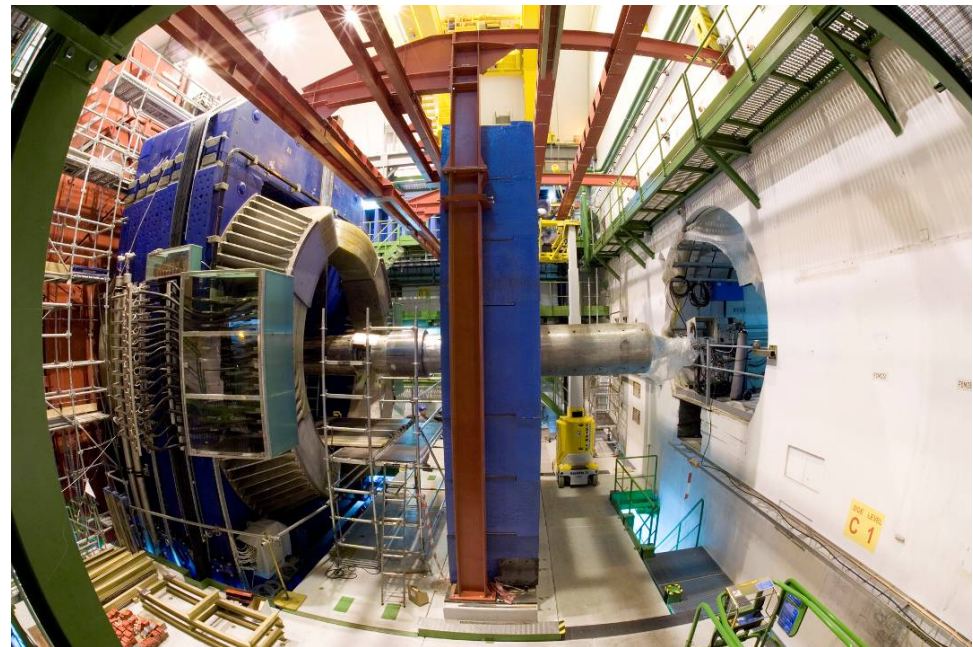
Sistema di tracciamento dei μ



Sistema di tracciamento dei μ

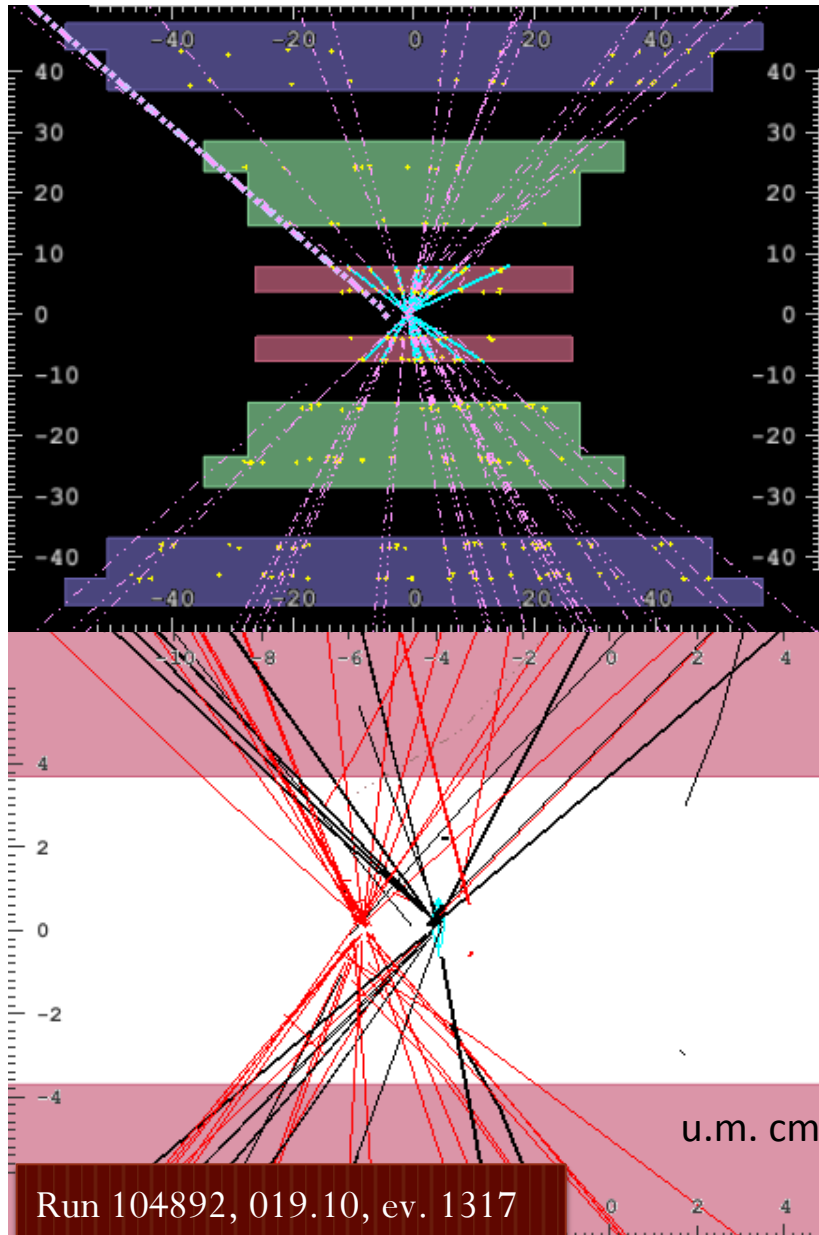


- ➔ Il piu' grande dipolo "caldo" del mondo per separare μ di carica + da μ di carica -
- ➔ Un sistema di tracciamento per ricostruire le tracce dei muoni
- ➔ Un muro di Fe abbastanza spesso da fermare gli adroni
- ➔ Dopo il muro di Fe un rivelatore identifica le uniche particelle "sopravvissute": i μ

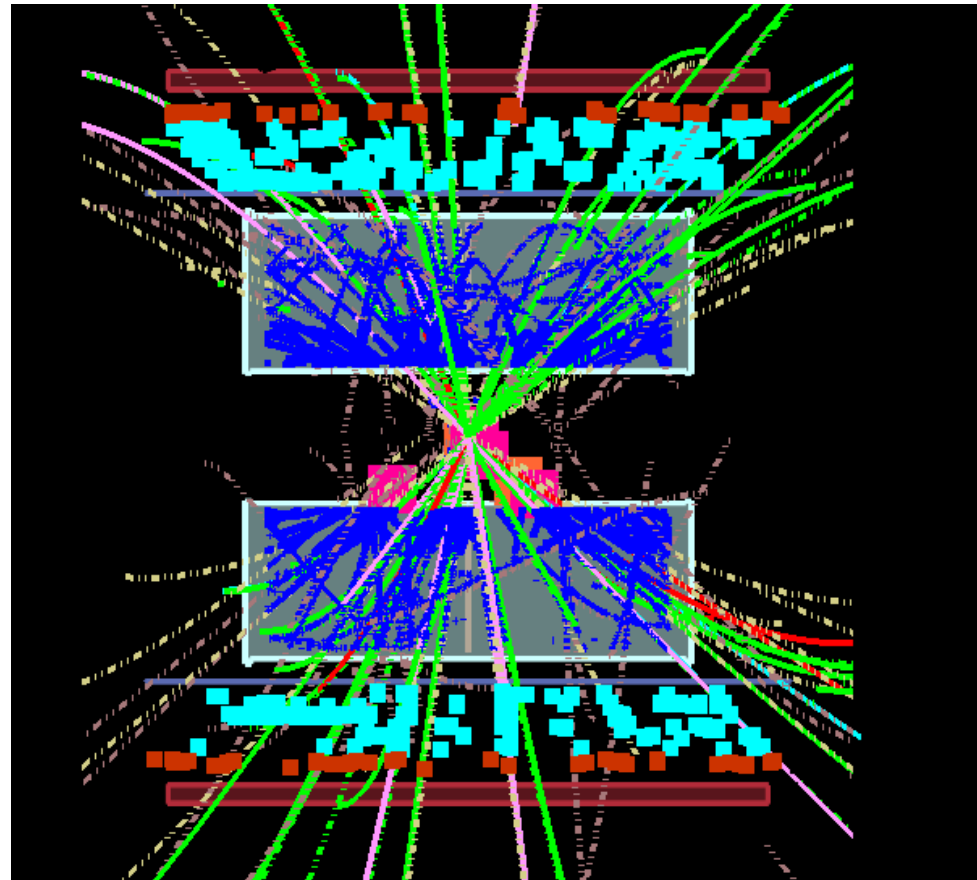


Ricostruzione del vertice primario

pp

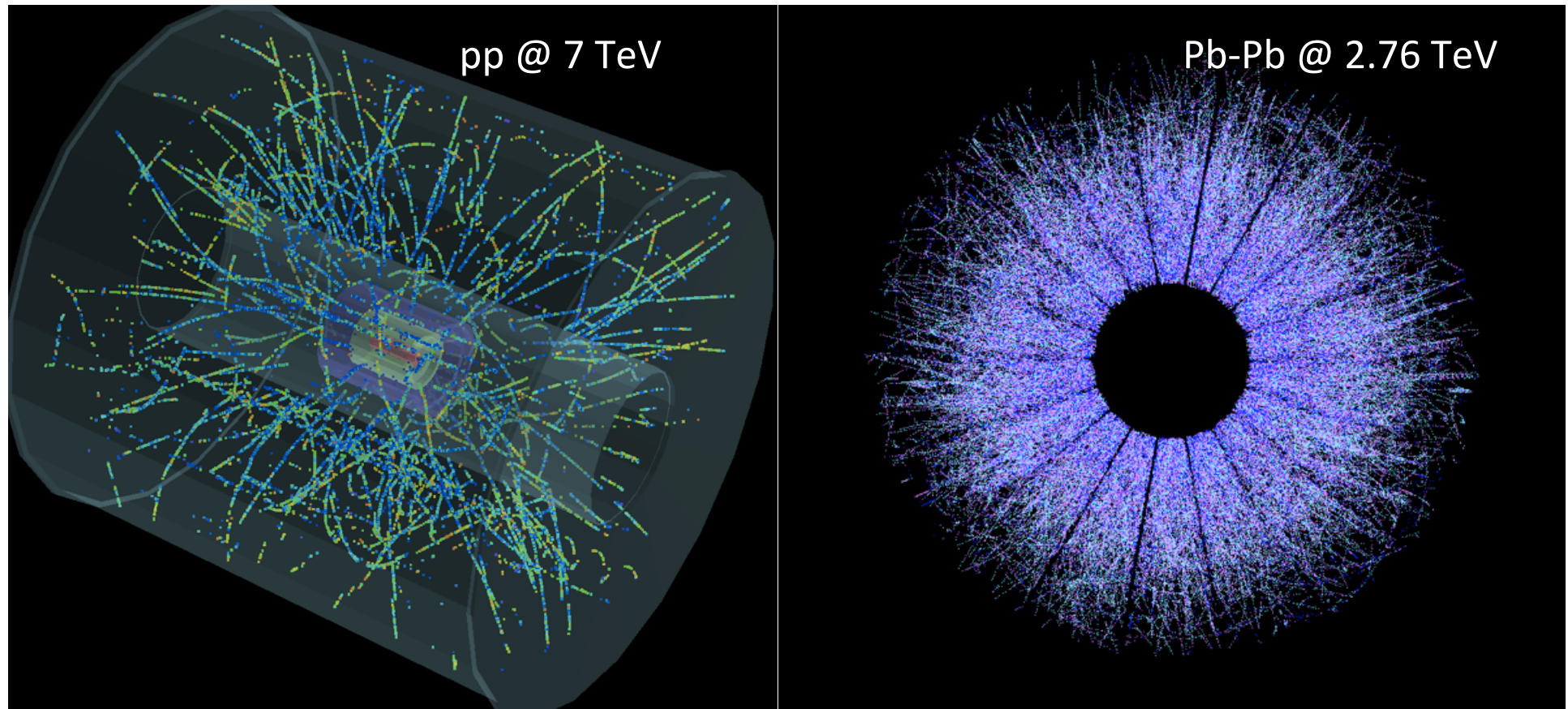


Pb-Pb

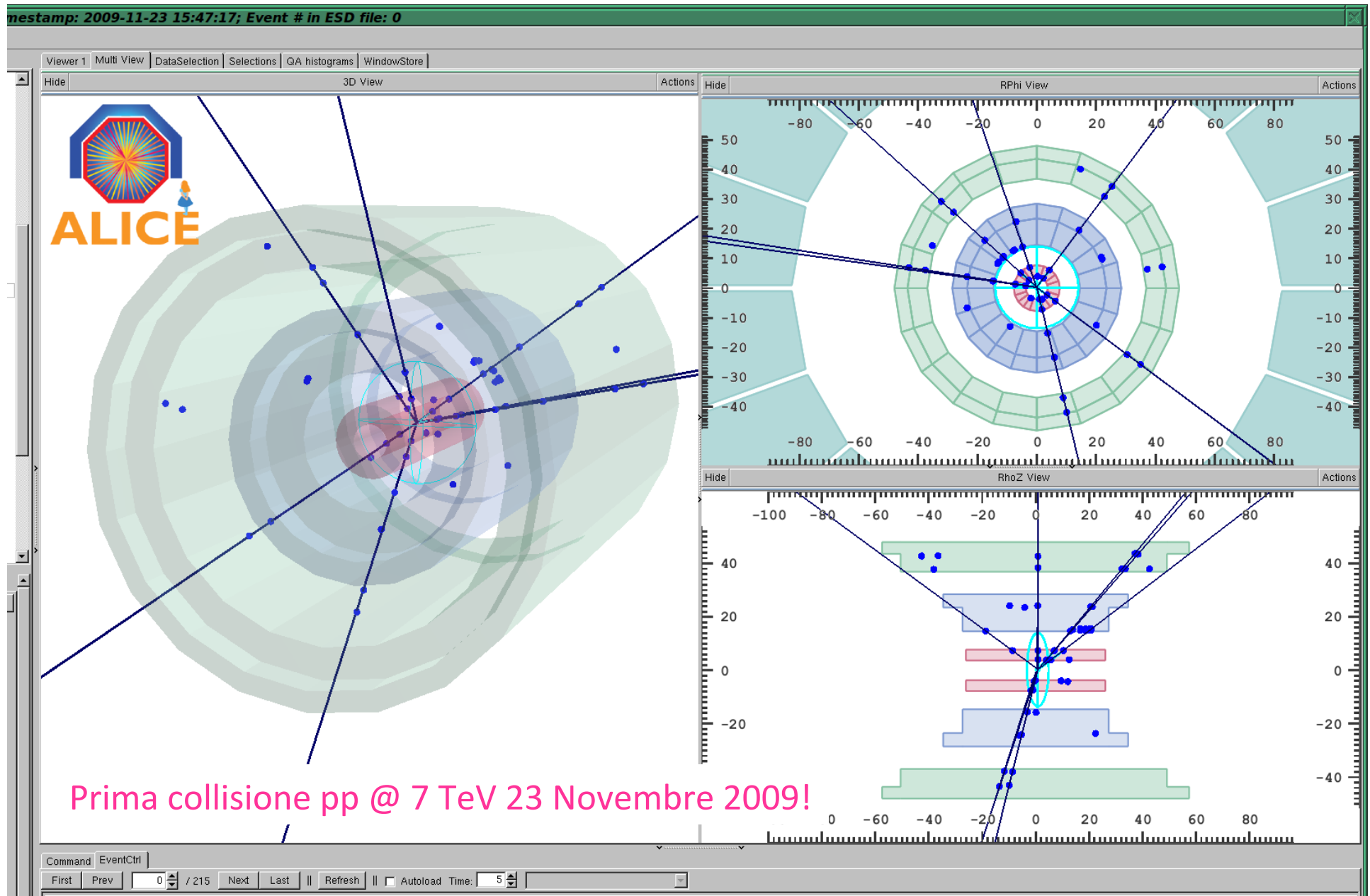


Ricostruzione delle tracce

Le condizioni di lavoro e l'efficienza con la quale si ricostruiscono le tracce dipendono fortemente dal tipo di particelle che si fanno collidere e dalla loro energia



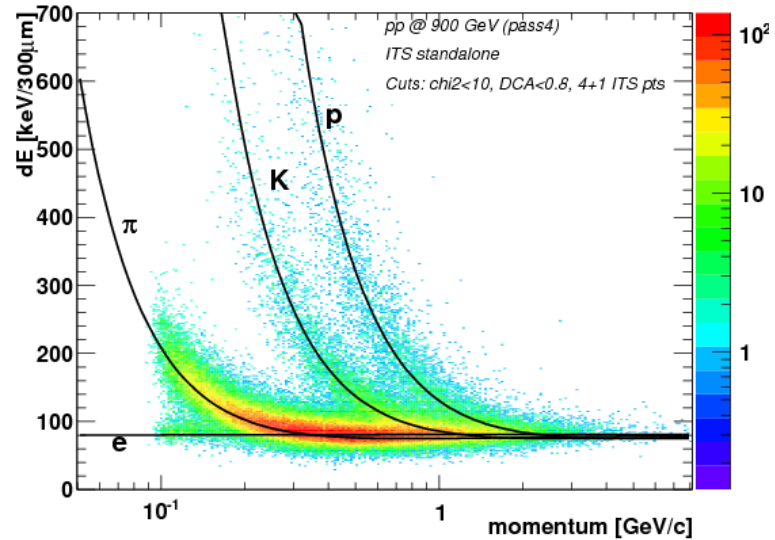
Tracciamento



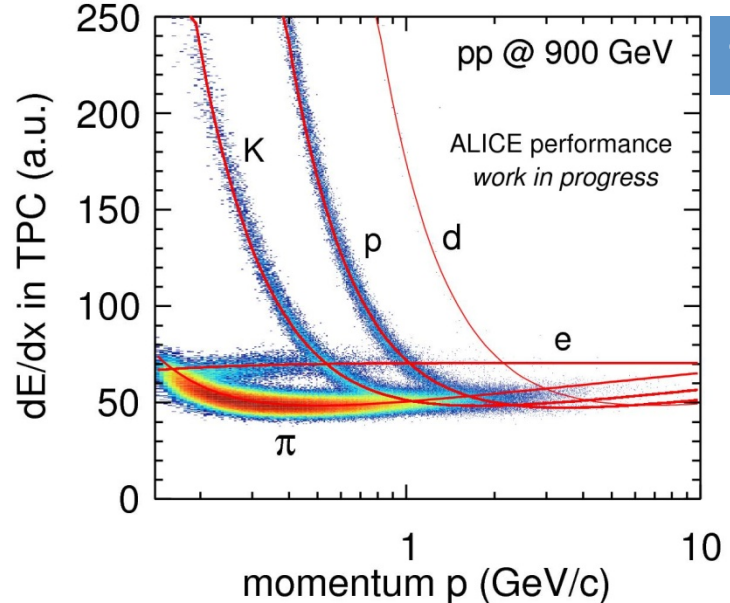
Identificazione di particelle

Dalla misura dell'energia persa per ionizzazione

ITS

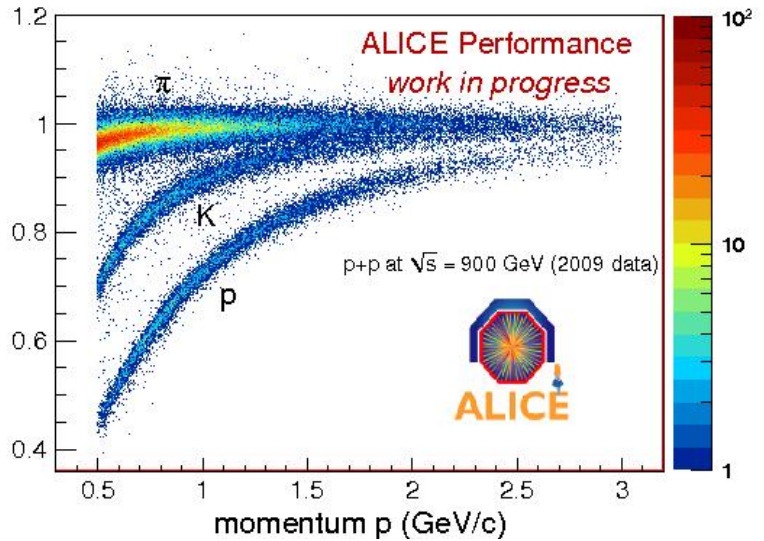


TPC

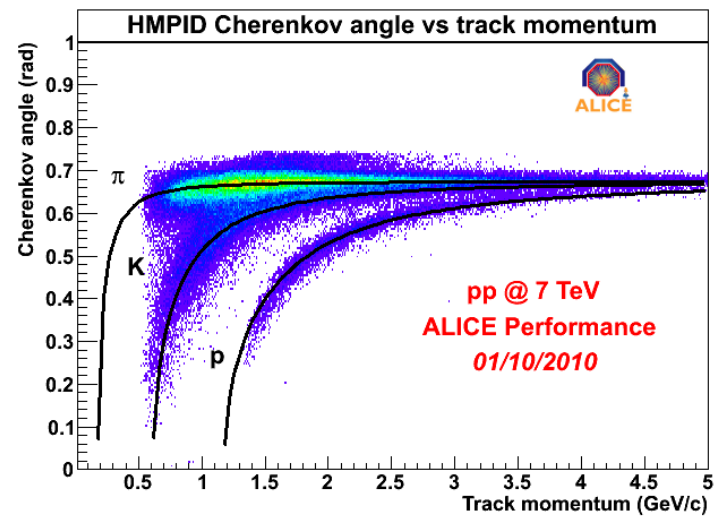


Dalla misura di velocita'

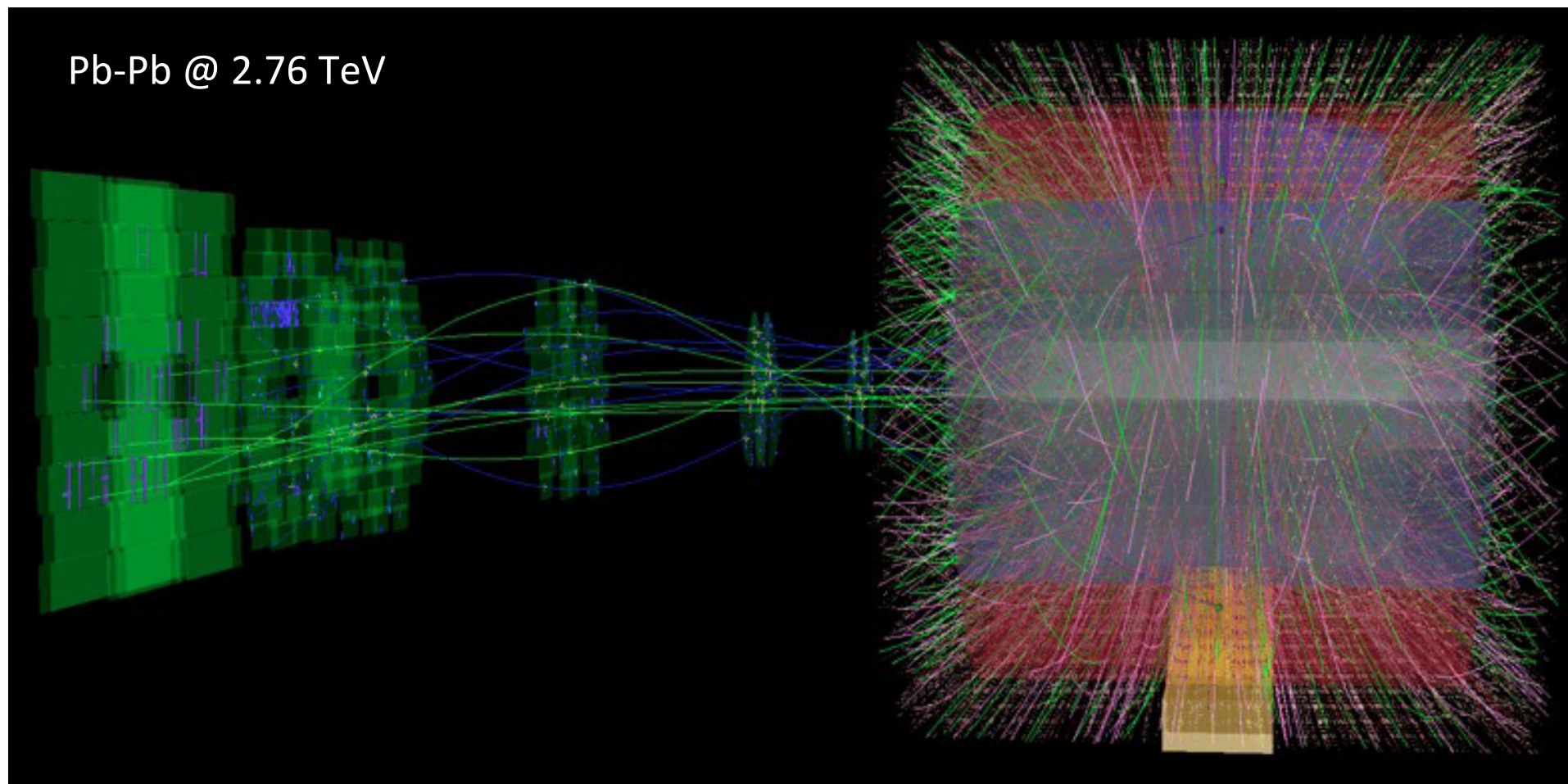
TOF



HMPID

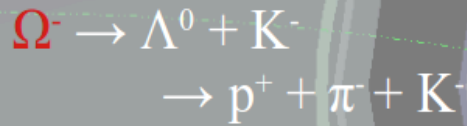


Tracciamento ed identificazione dei μ

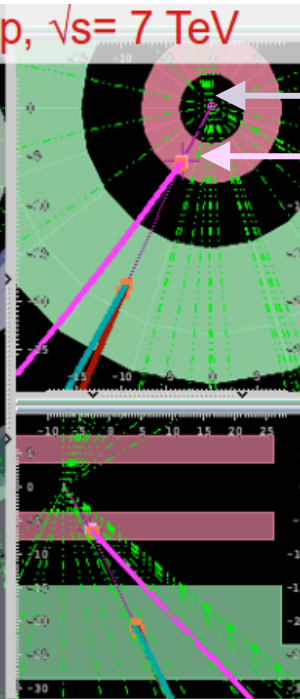


Vertici secondari

ALICE Performance (Apr. 2010 data) p+p, $\sqrt{s} = 7$ TeV



$M_{\text{eff.}} = 1,672 \text{ GeV}/c^2$
 $p_t = 2,19 \text{ GeV}/c$
 $R_{2d} = 6,35 \text{ cm}$



VERTICE PRIMARIO

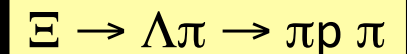
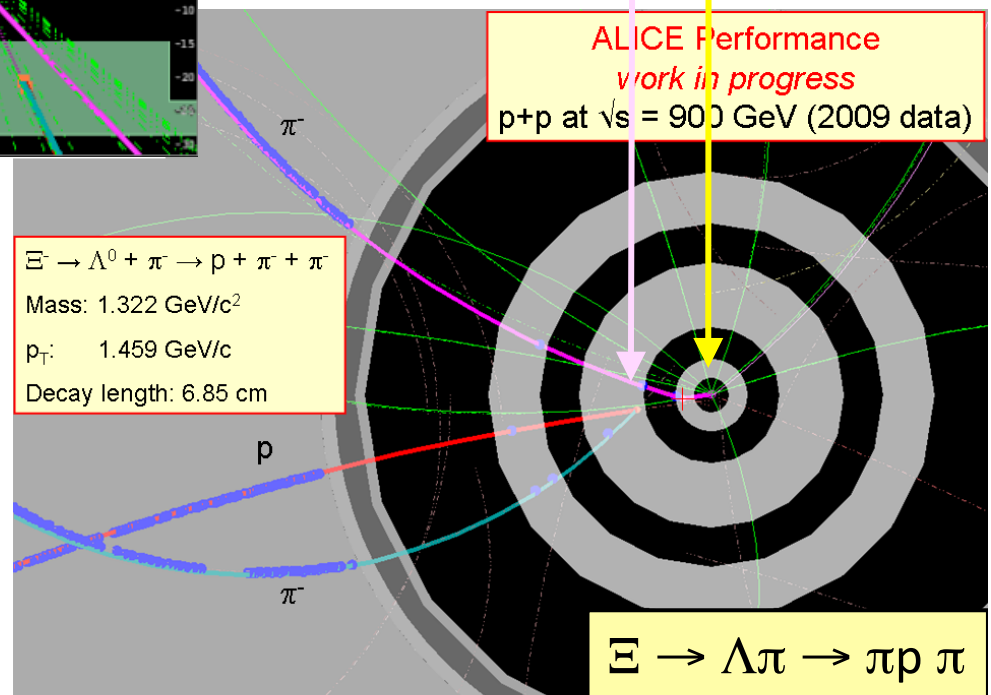
VERTICE SECONDARIO

VERTICE SECONDARIO

VERTICE PRIMARIO

ALICE Performance
work in progress
 p+p at $\sqrt{s} = 900$ GeV (2009 data)

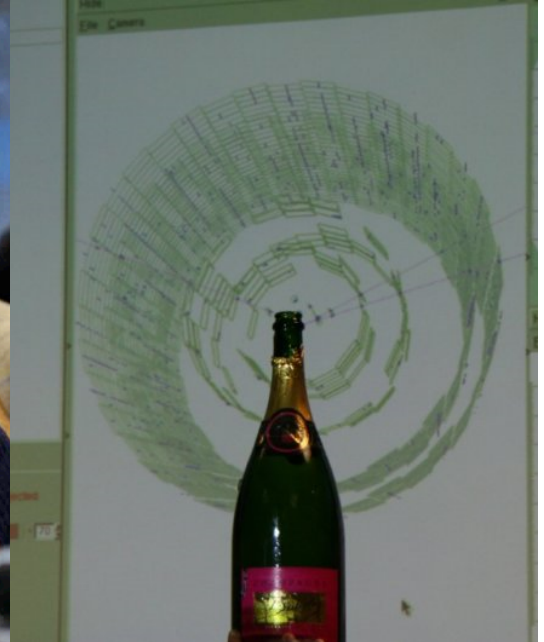
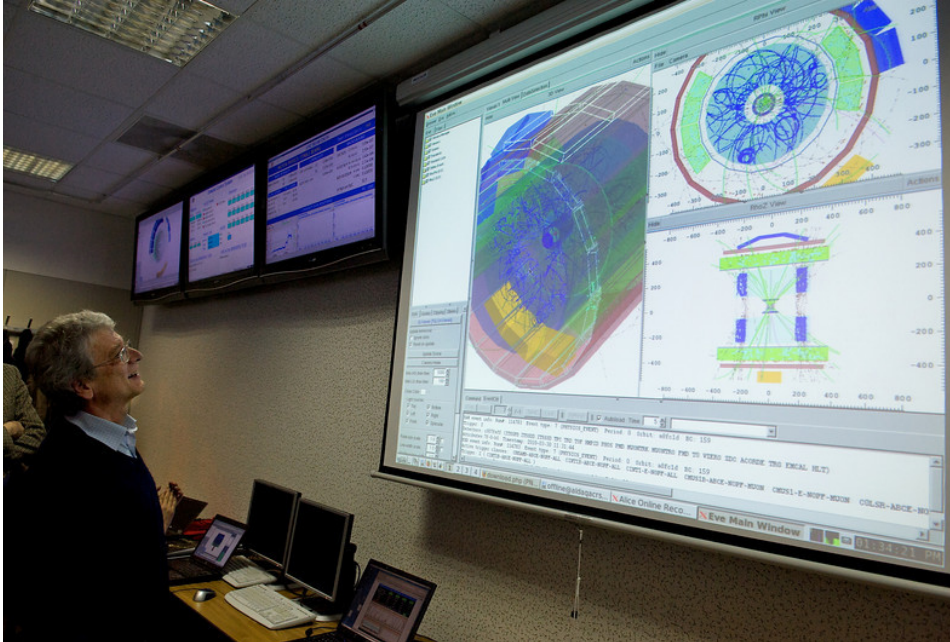
$\Xi^- \rightarrow \Lambda^0 + \pi^- \rightarrow p + \pi^- + \pi^-$
 Mass: $1.322 \text{ GeV}/c^2$
 p_t : $1.459 \text{ GeV}/c$
 Decay length: 6.85 cm



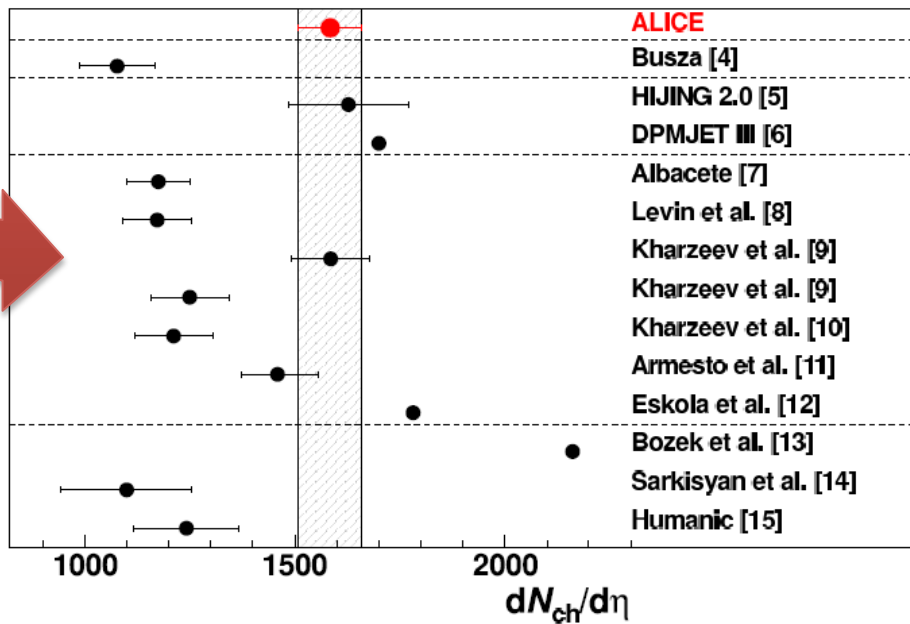
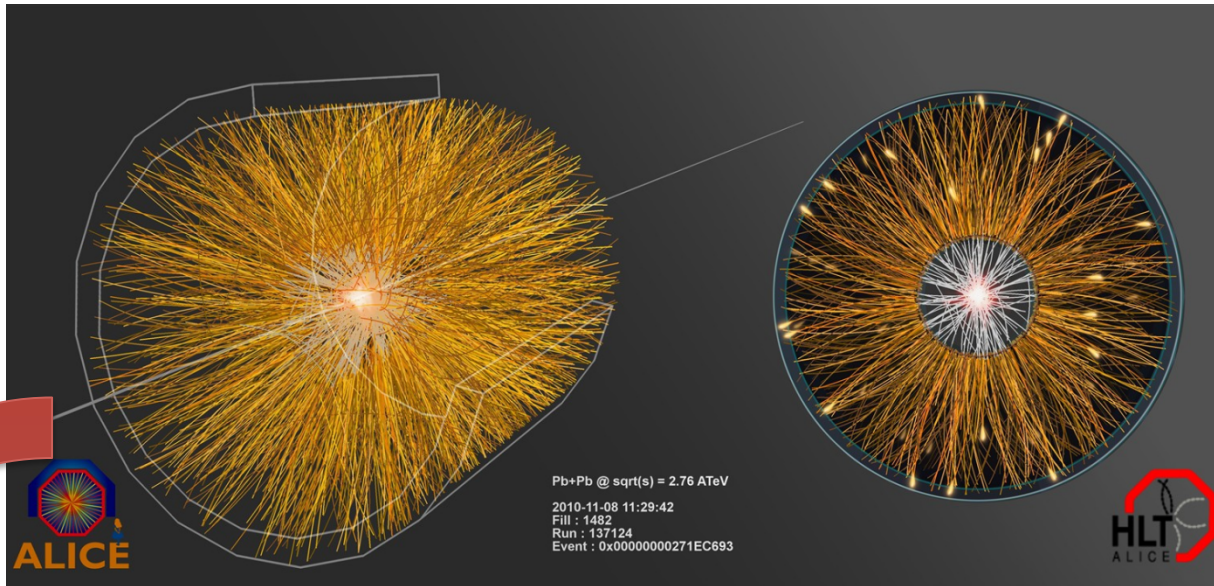
Run 104892, raw data chunk 09000104892020.130, event in chunk 1840

Si ha un vertice SECONDARIO quando una particella creata nella collisione decade a piccole distanze dal vertice primario in cui e' stata prodotta.

In sala di controllo...



Analisi dati!



La prima pubblicazione di ALICE con dati Pb-Pb (Novembre 2010) sulla molteplicità di particelle cariche prodotte a energie nel centro di massa = 2.76 TeV ha spodestato diverse predizioni teoriche fatte negli ultimi 15 anni...

http://aliceinfo.cern.ch/static/Documents/outreach/animated_event/alievent-short-xvid.avi

