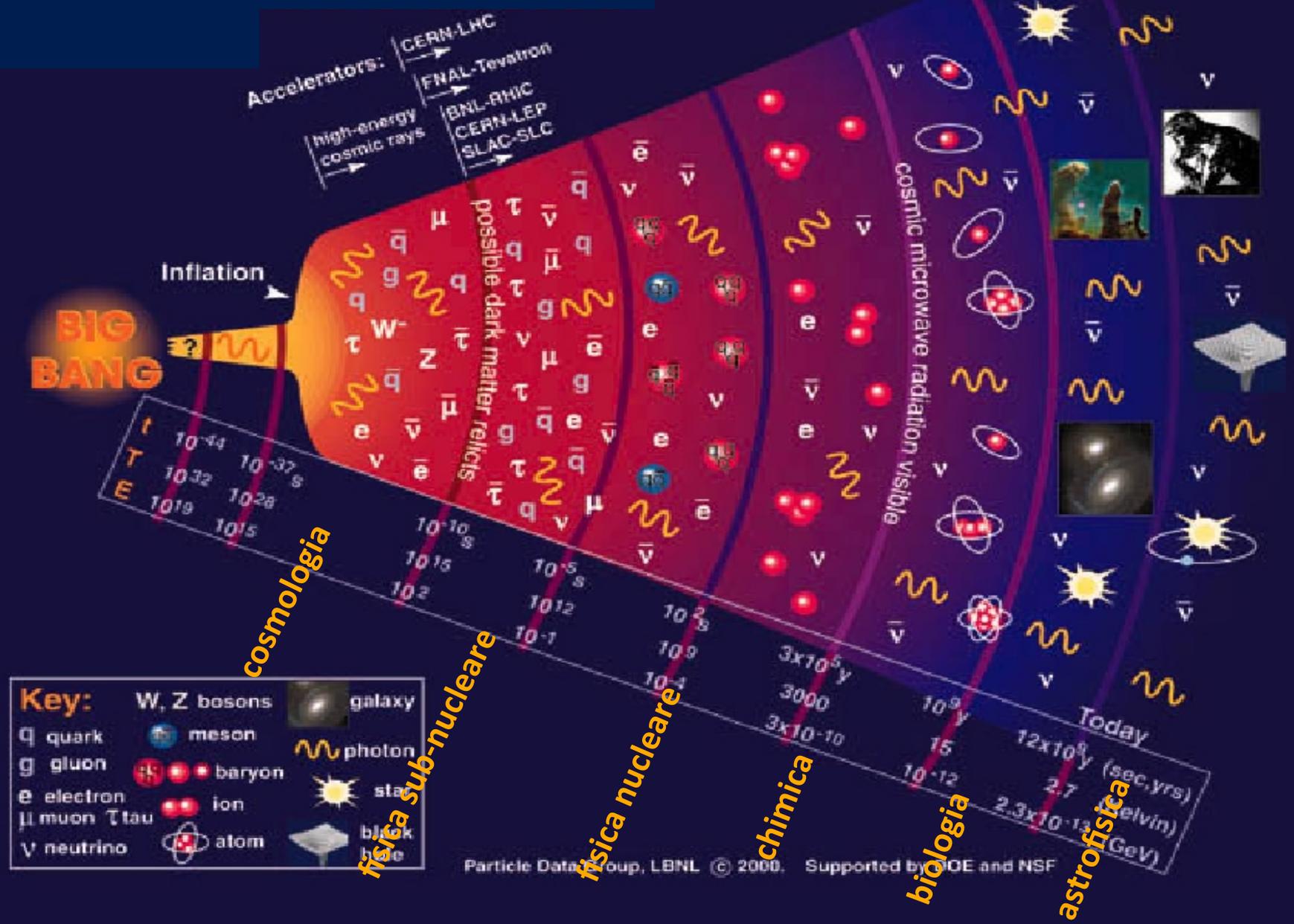


Alice l'esperimento e la fisica

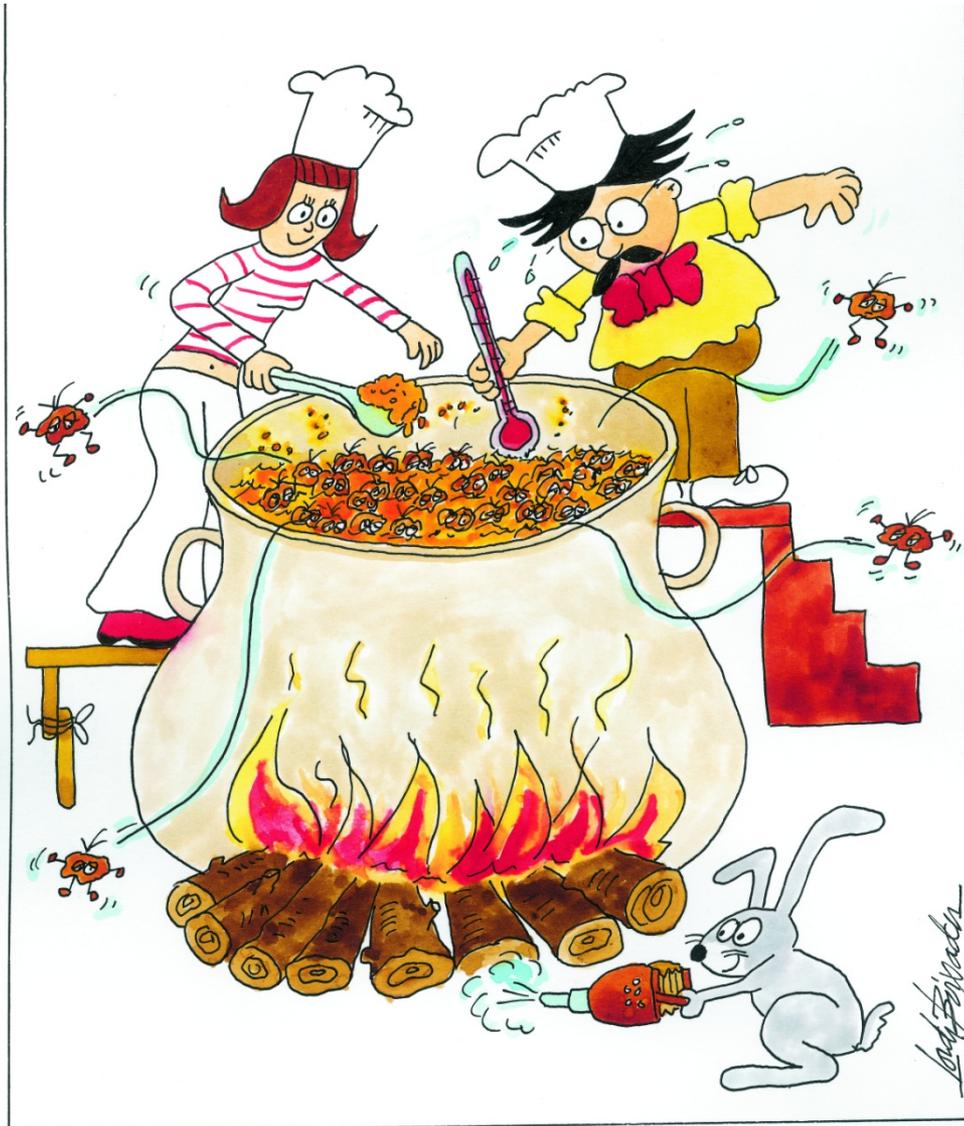


Pasquale Di Nezza

Alice ... in viaggio nel tempo

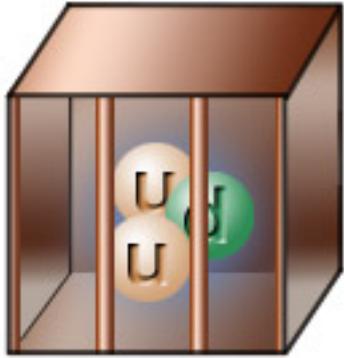


Fino a circa un centomillesimo di secondo dal Big Bang (10^{-37} - 10^{-5} s) l'Universo era formato da una "zuppa" di quark e gluoni ... il Quark Gluon Plasma (QGP)

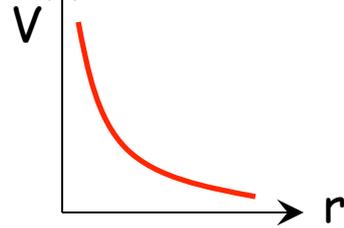


- Perchè studiare il QGP?
- Quali sono le caratteristiche del QGP?
- E' possibile riprodurlo in laboratorio?

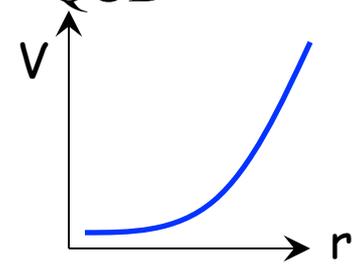
Liberta' Asintotica → Confinamento



$$V_{\text{Coulomb}} \propto \frac{q_1 q_2}{r}$$

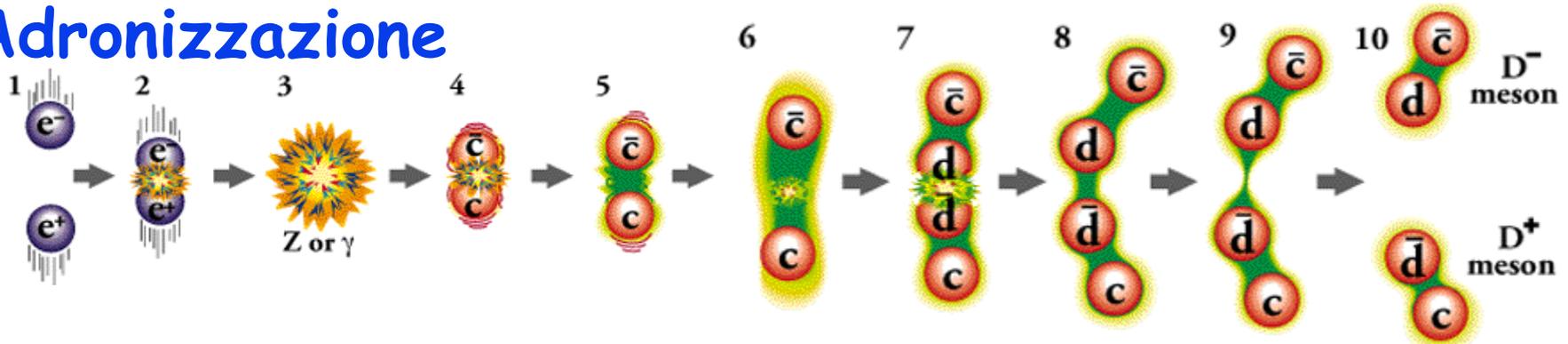


$$V_{\text{QCD}} \propto e^{k \cdot r}$$

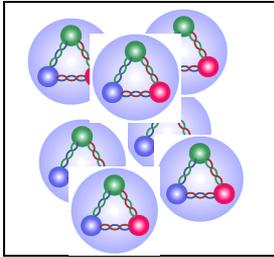


Allontanando i quark, si crea una tensione con energia sufficiente a creare altre particelle (1000 MeV / fm)

Adronizzazione



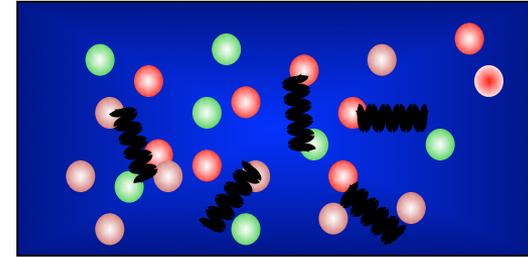
Bisogna creare un sistema che abbia una densità enorme (ptc a distanza infinitesima) tale da rendere trascurabile l'interazione forte



adroni



ENERGIA



Quark Gluon Plasma

Nobel Prize 2005

D. Gross
H.D. Politzer
F. Wilczek

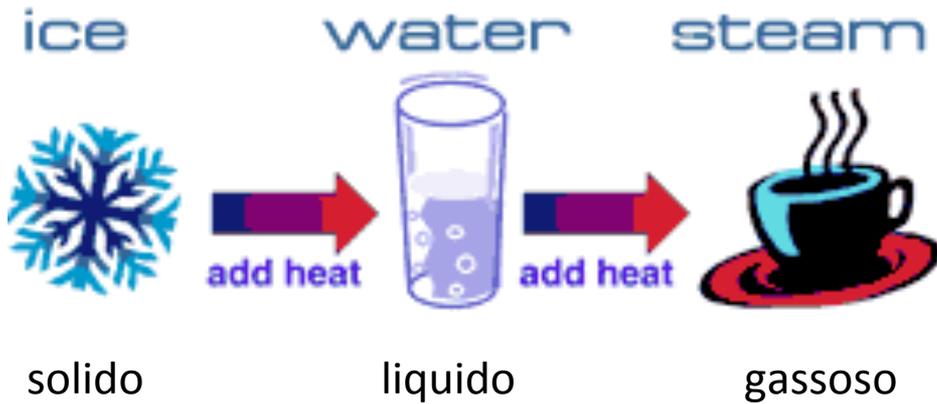
QCD Asymptotic Freedom (1973)



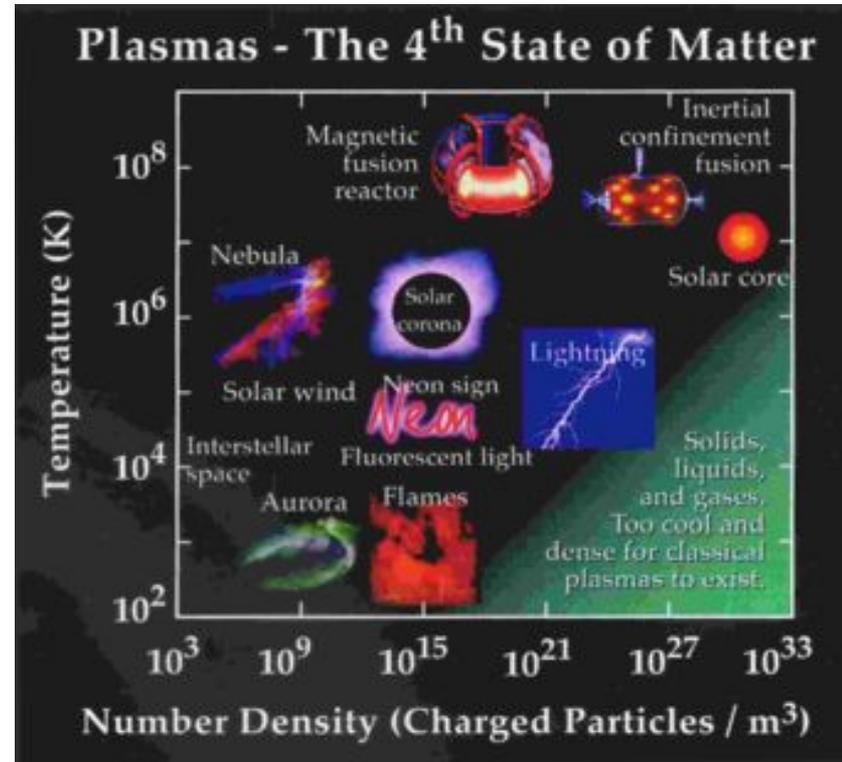
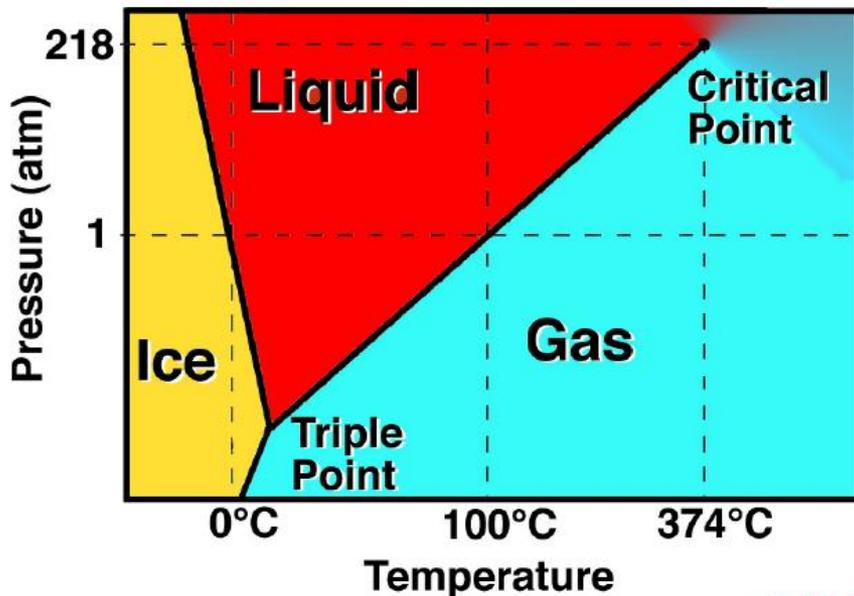
“Before [QCD] we could not go back further than 200,000 years after the Big Bang. Today...since QCD simplifies at high energy, we can extrapolate to very early times when nucleons melted...to form a quark-gluon plasma.”

David Gross, Nobel Lecture (RMP 05)

Fasi della materia "normale"

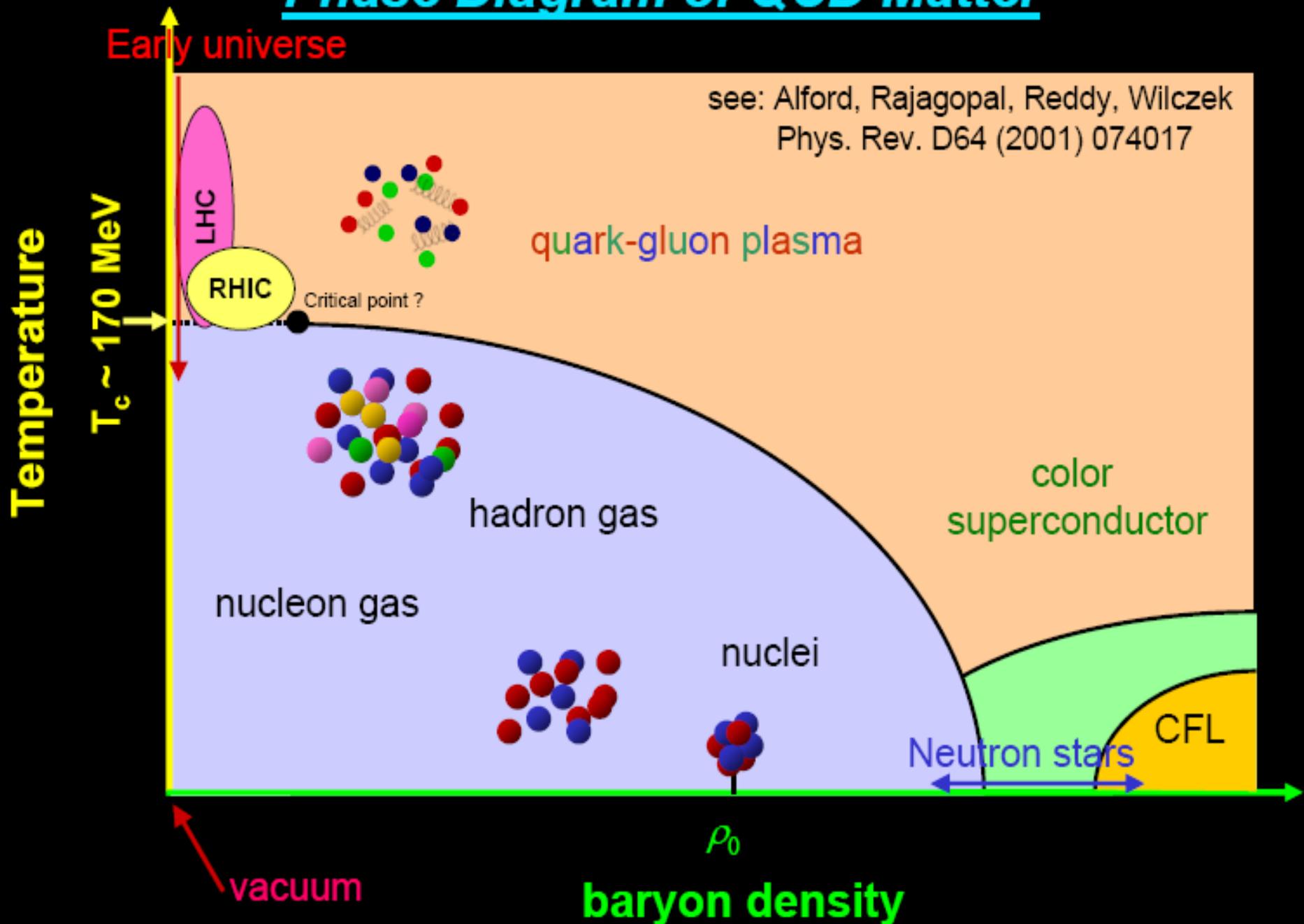


Phase Diagram - Water



Plasma Classico

Phase Diagram of QCD Matter



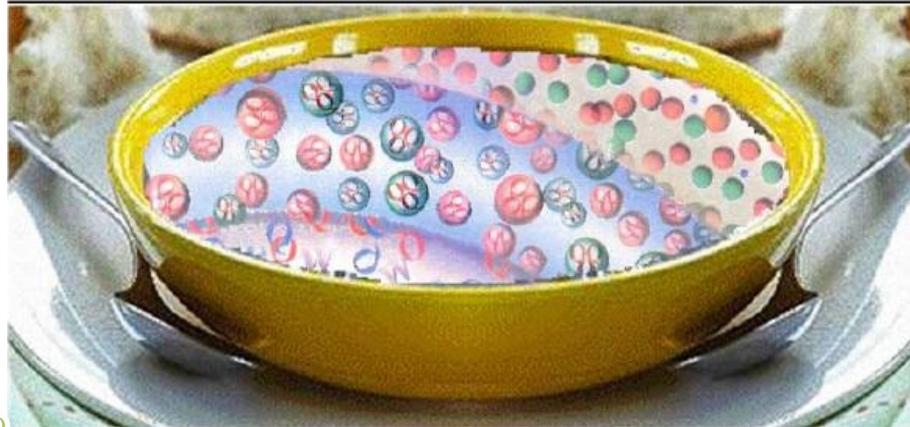
Una "zuppa" ricca di informazioni

Flusso ellittico

Evoluzione spazio-temporale della nascita di un adrone

Proprietà della QCD ad alte temperature: gradi di libertà, viscosità, conduttività, ...

Restaurazione della simmetria chirale



Instabilità di plasma, caos di colore

Freezout

Puzzle barionico

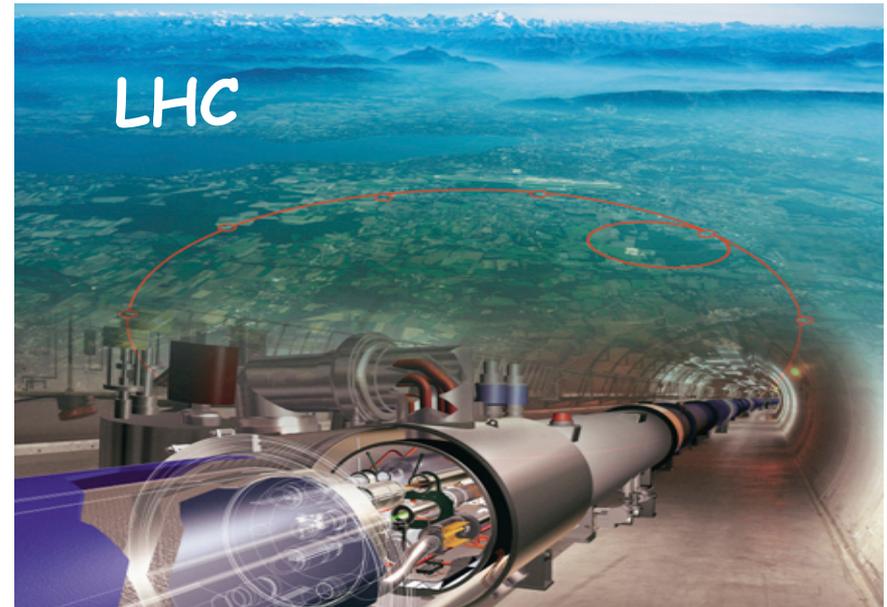
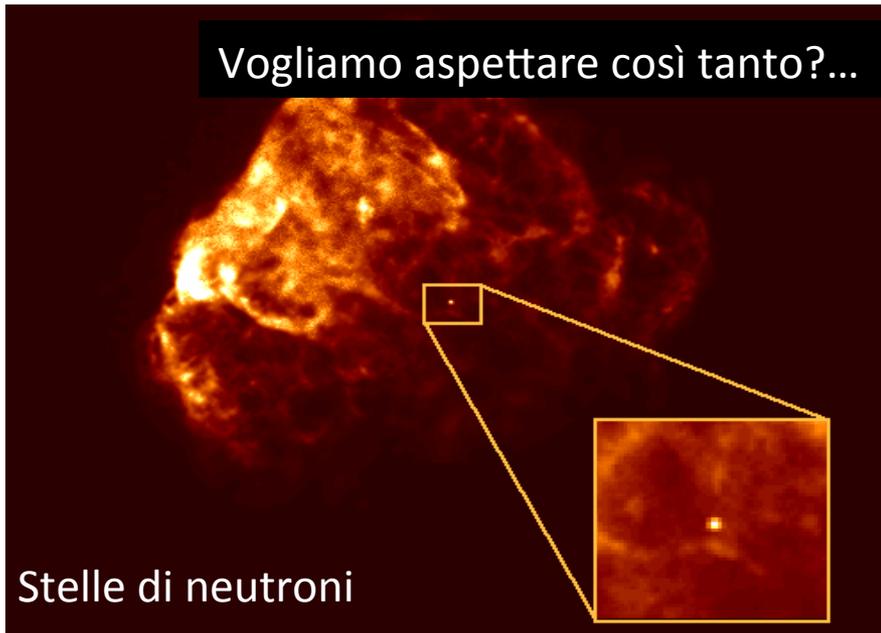
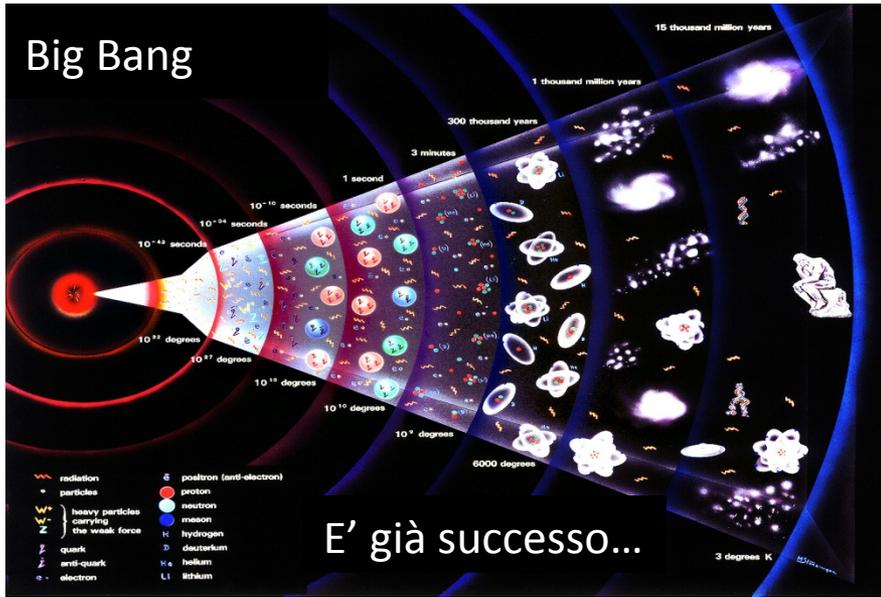
Transizione di fase q-g nelle teorie cosmologiche dell'Universo primordiale

Equazione di stato della QCD

Perdita di energia partonica

Composizione chimica

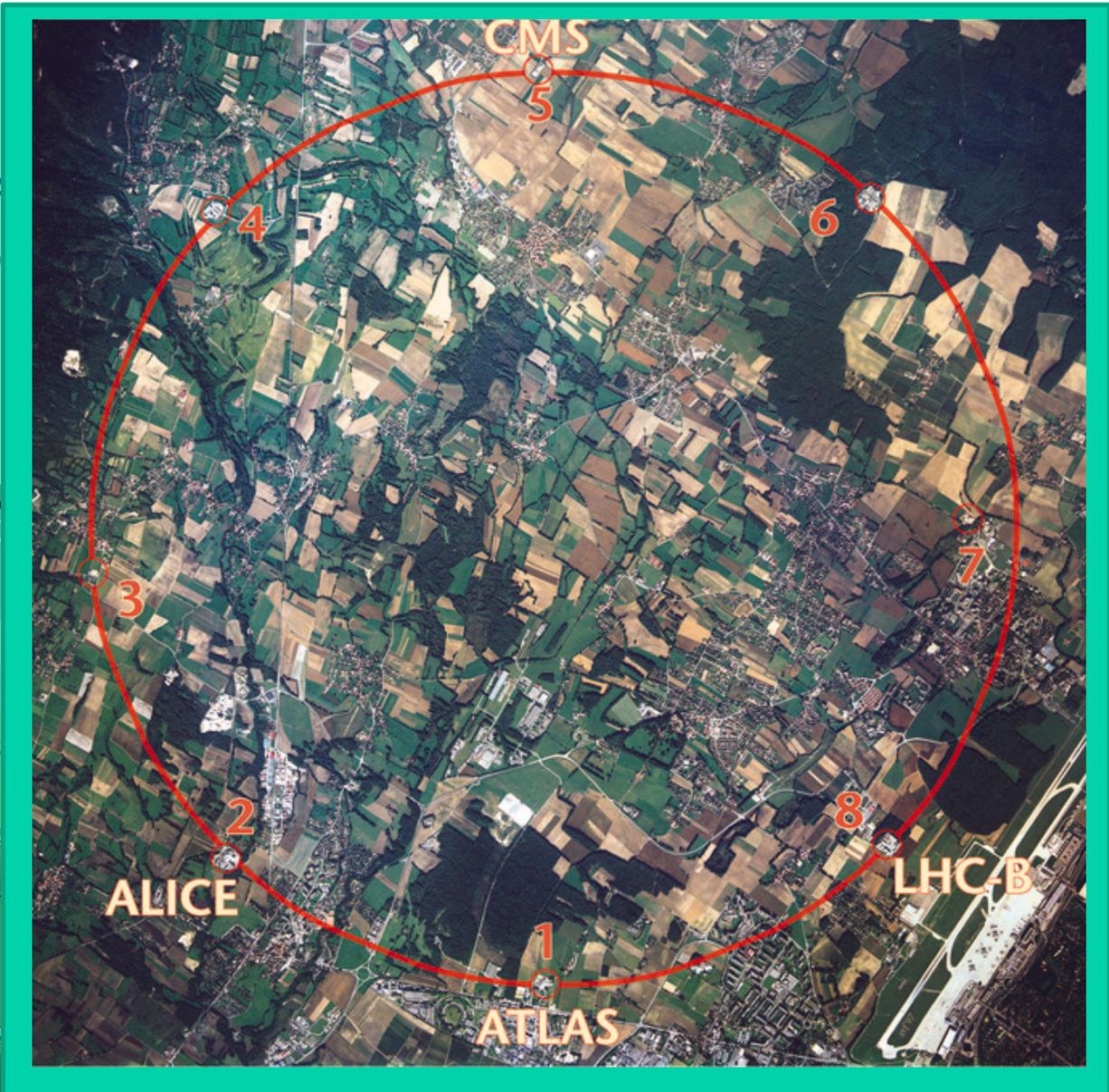
Dove si produce il QGP ?



ALICE: A Large Ion Collider Experiment



Alice è l'unico dedicato alla f (5.5 TeV PbPb)



onale
clear
A, BO, CA,
SA, TO, TS

QGP attraverso gli Heavy Ions

Energia: $E_{beam} = 7 \frac{Z}{A} \text{TeV} \Rightarrow \sqrt{s} = 5.5 \text{ TeV/A per Pb - Pb}$

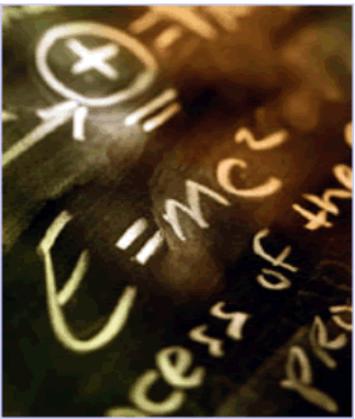
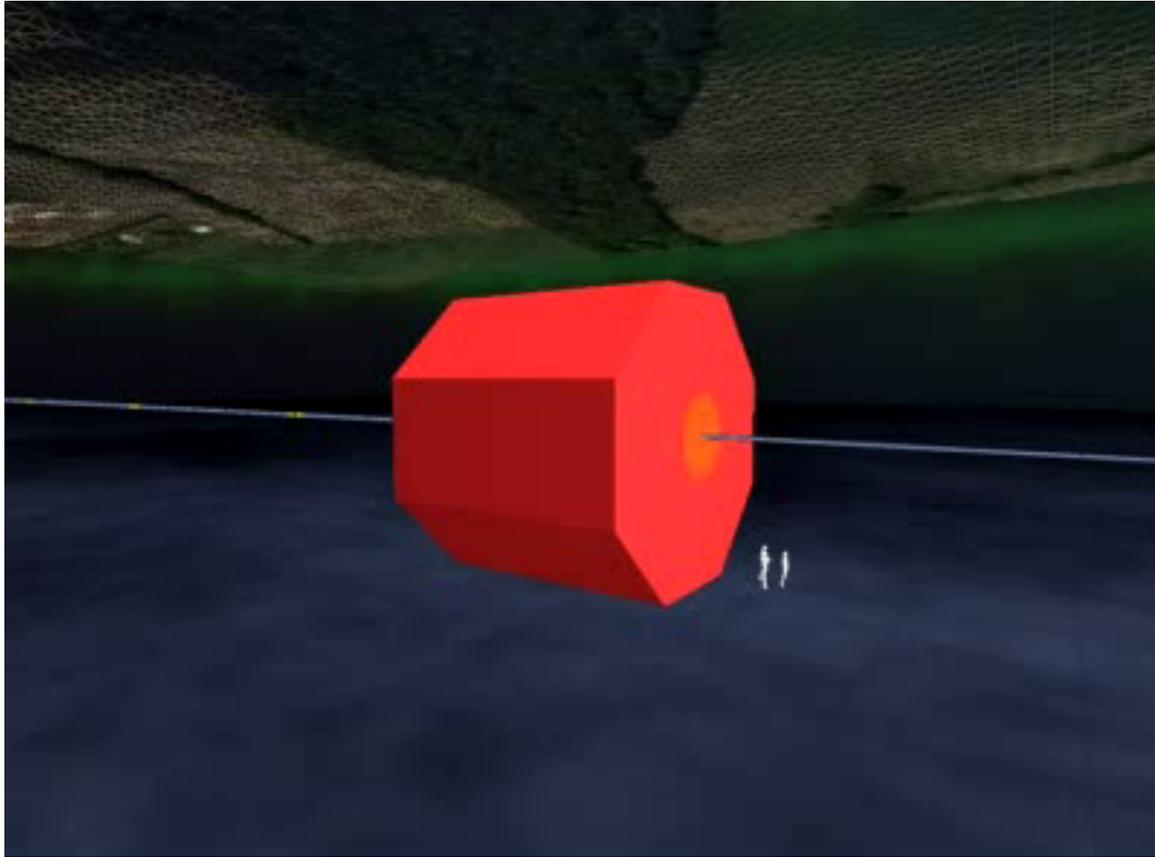
2 nuclei di
Piombo
collidono ad
altissima
energia creando
un sistema ad
altissima densità

Au+Au $E_{cm}=200 \text{ AGeV}$

$t=-19.89 \text{ fm/c}$

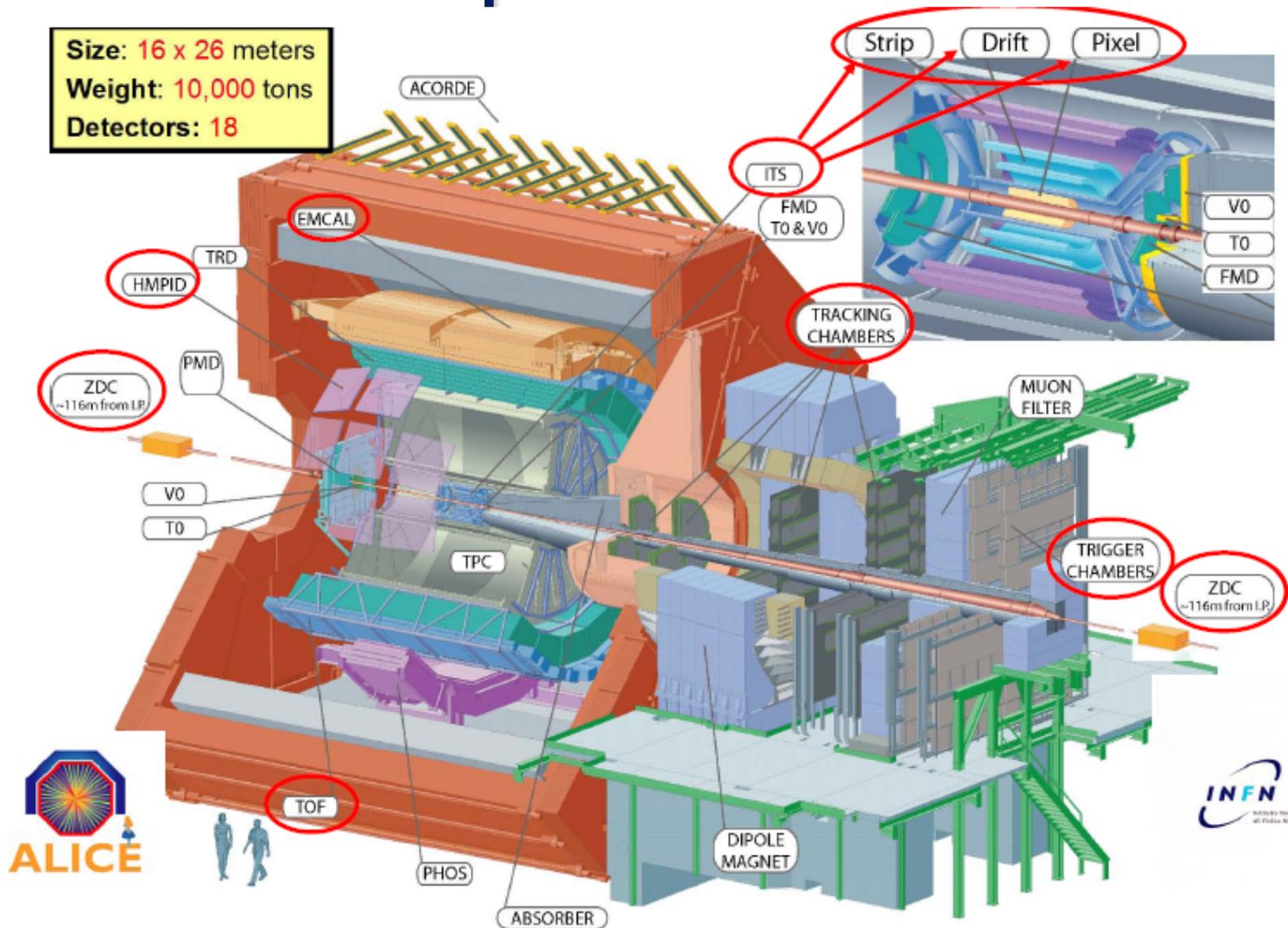


La collisione in Alice

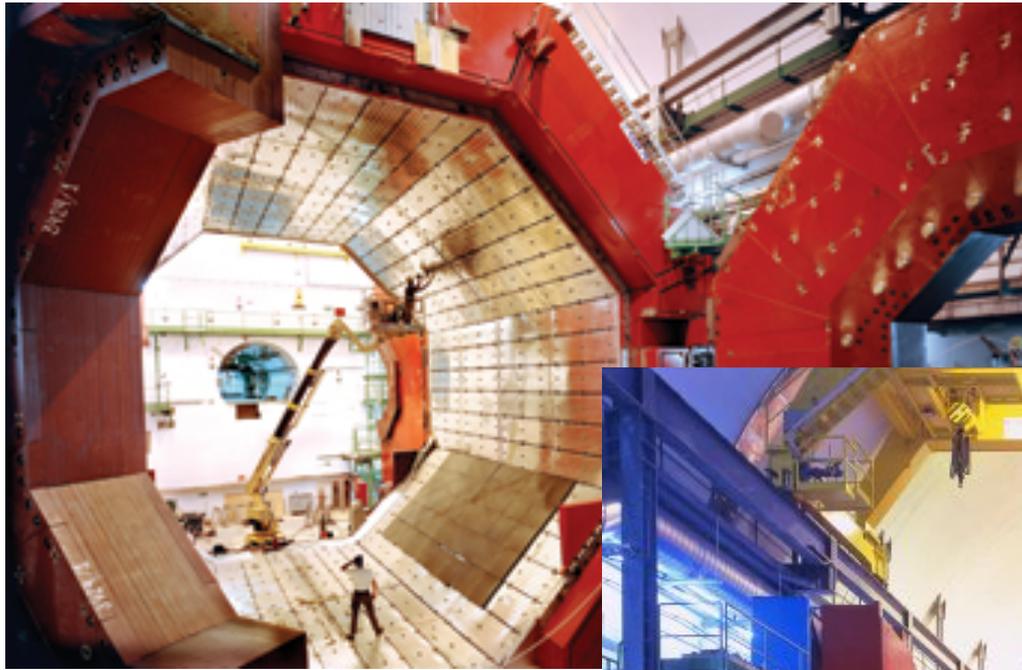


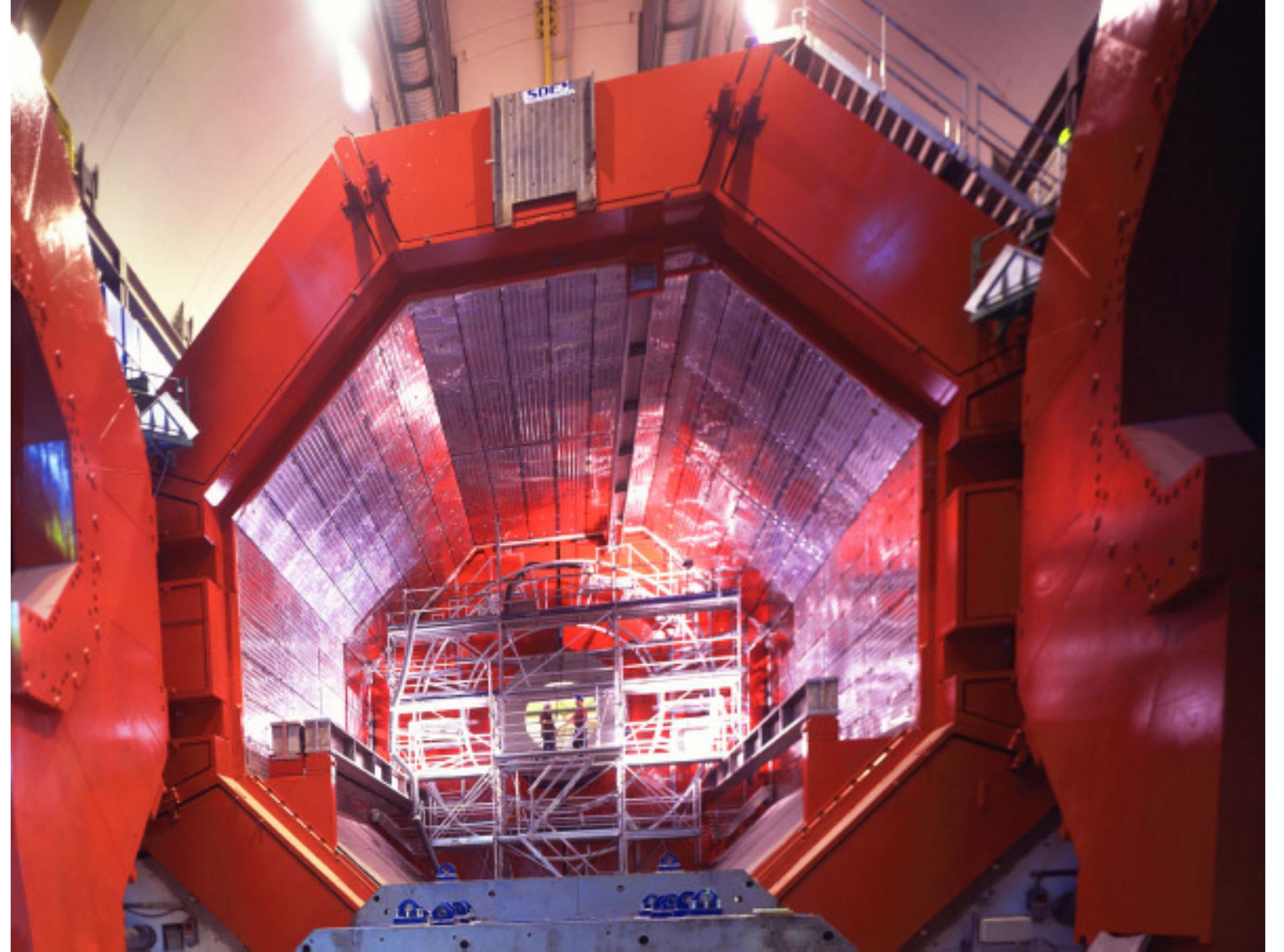
Lo spettrometro

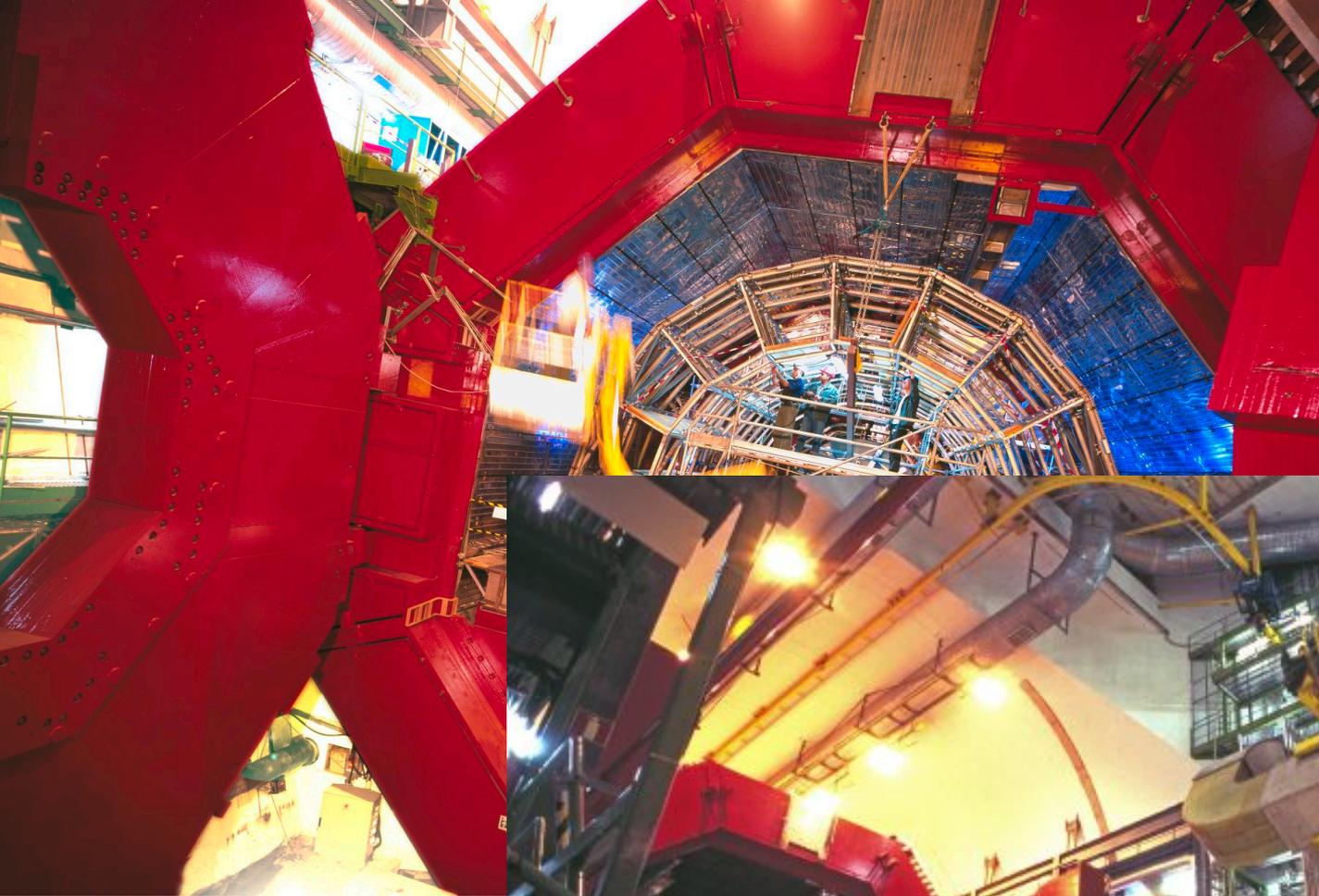
Size: 16 x 26 meters
Weight: 10,000 tons
Detectors: 18

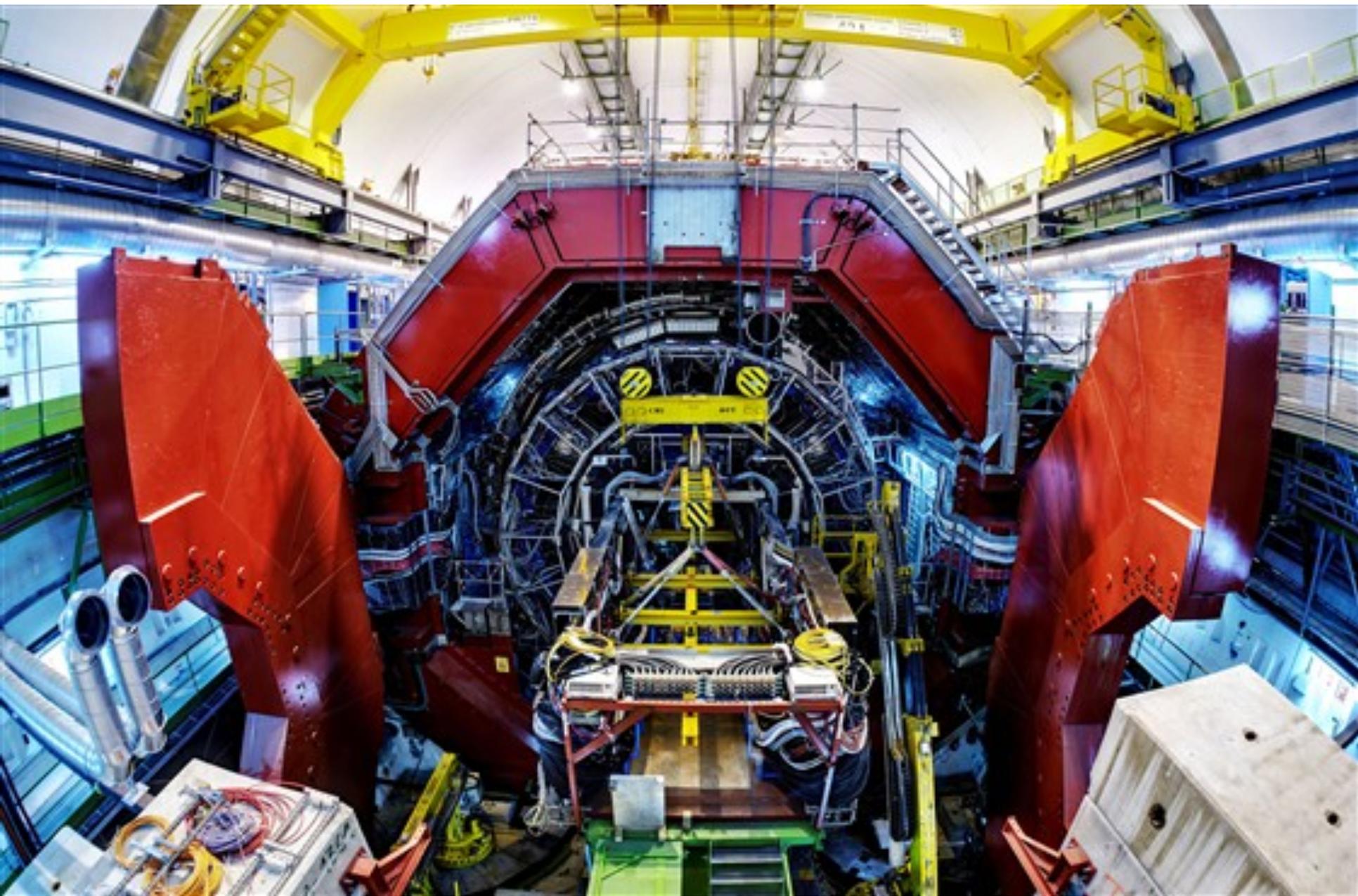


○ : Rivelatori sotto la completa o parziale responsabilità INFN

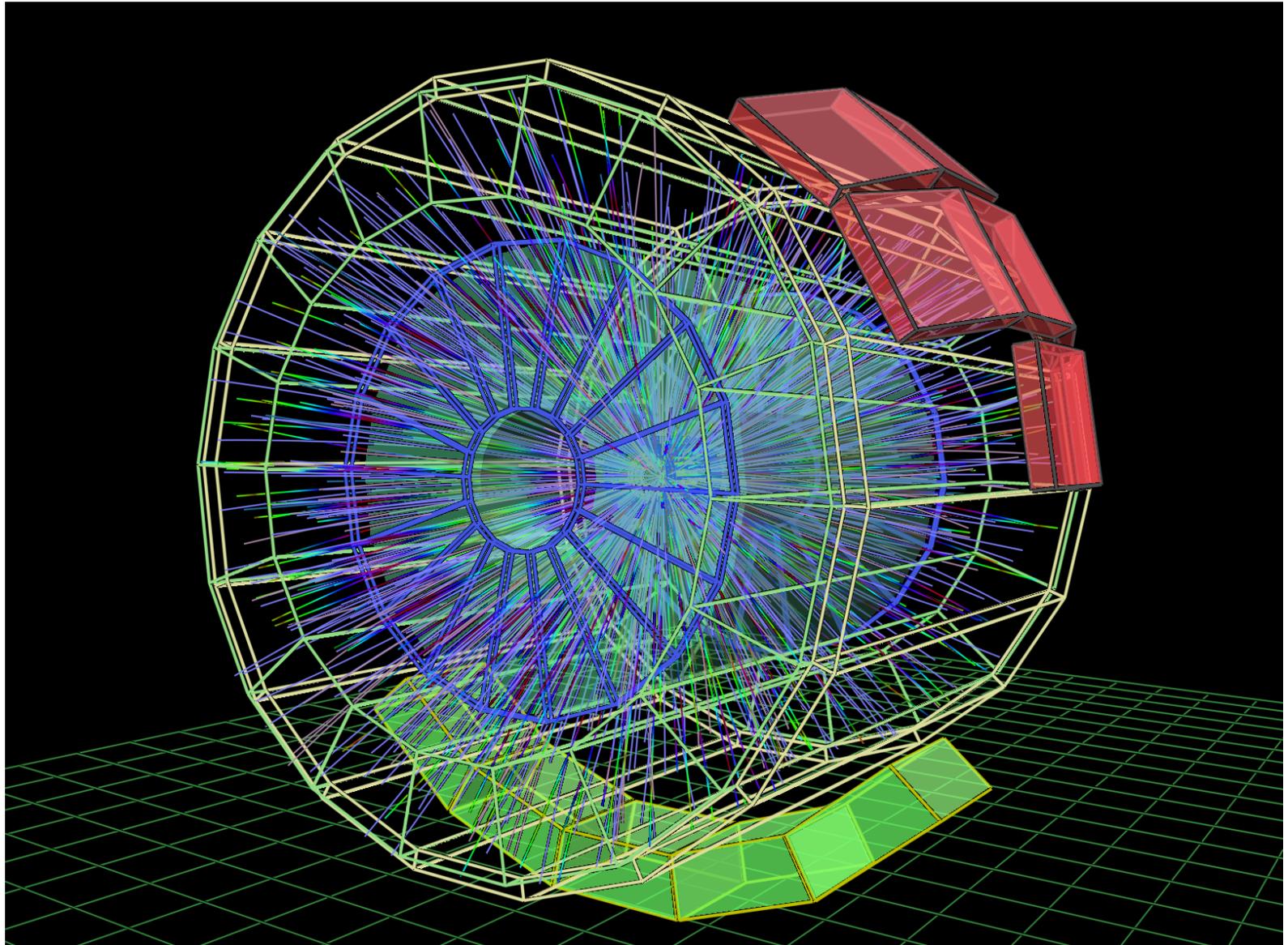




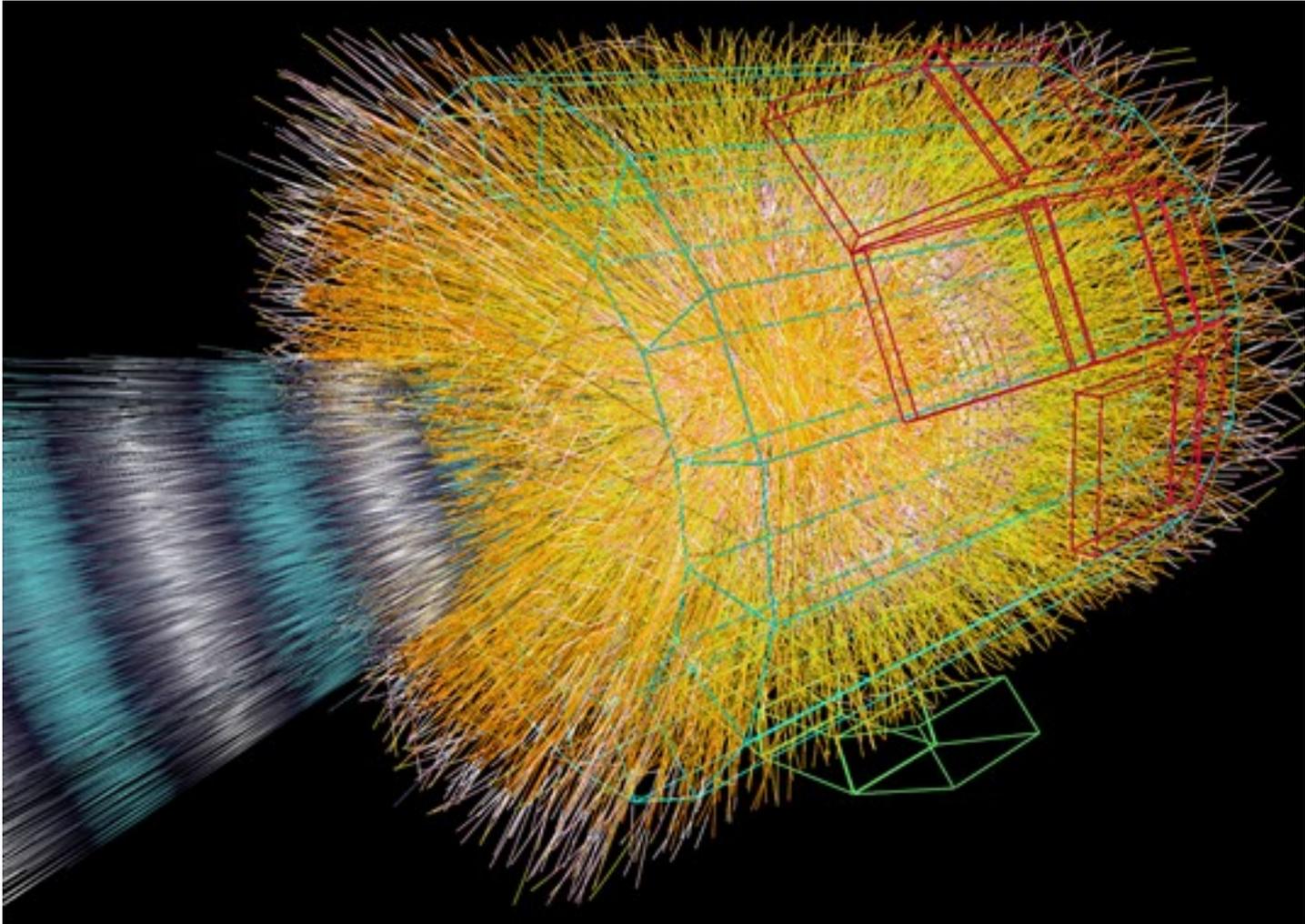




Eventi pp in Alice



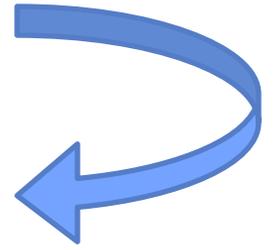
Eventi PbPb in Alice



Migliaia di tracce prodotte ad ogni interazione (25 ns)

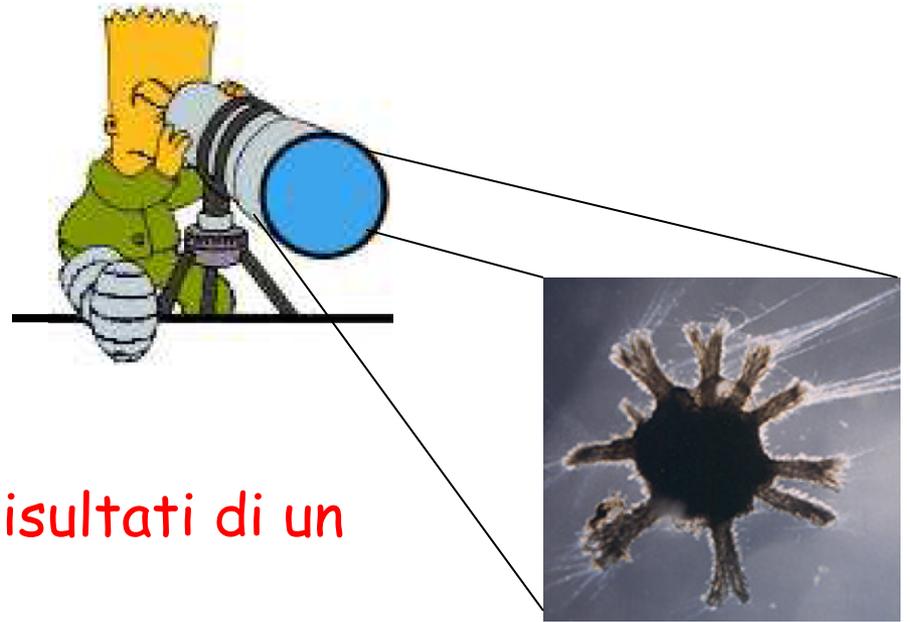
Estrarre le informazioni:

misurare le proprietà fisiche delle particelle



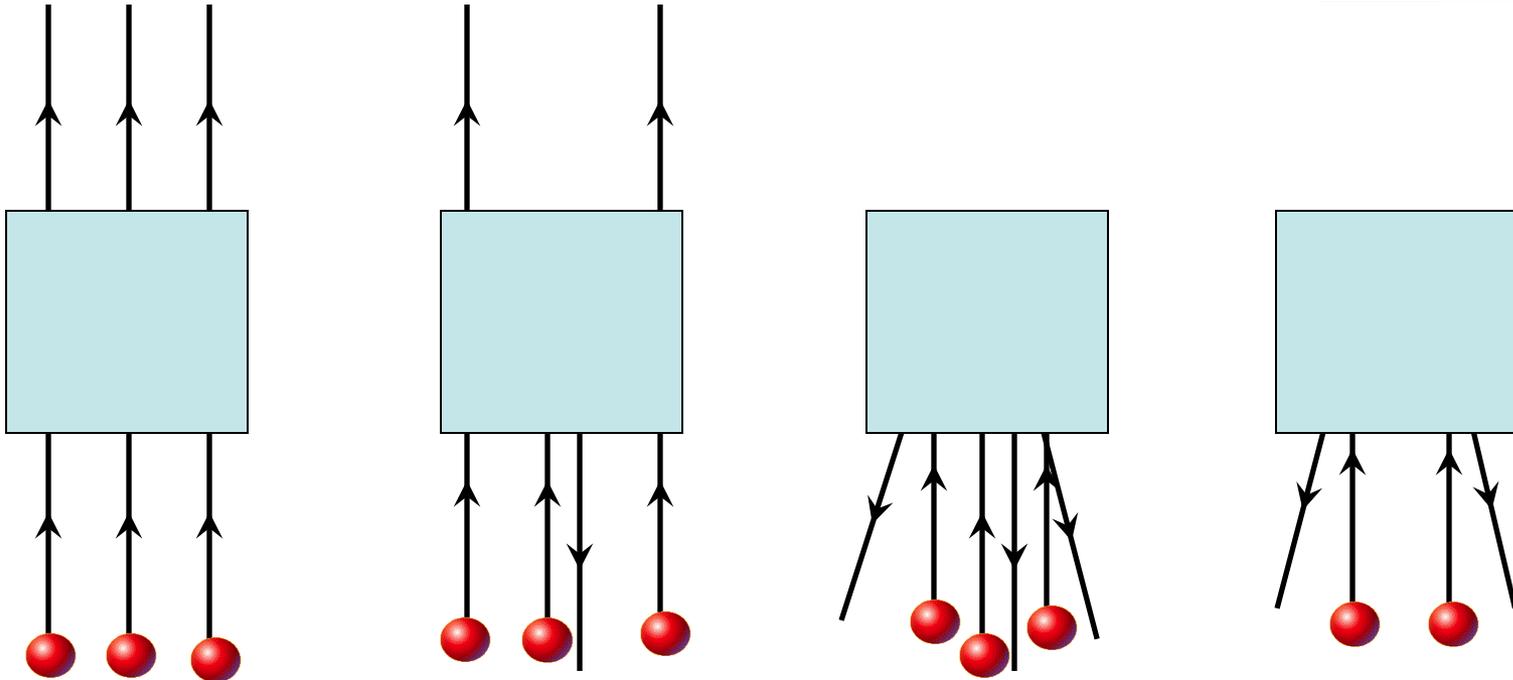
Vedere direttamente:

osservazione diretta
dell' oggetto da studiare



Vedere indirettamente

studio dell' oggetto attraverso i risultati di un
esperimento



La firma...



?



?



?



?



?



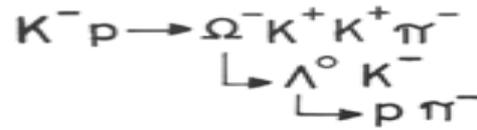
?



?

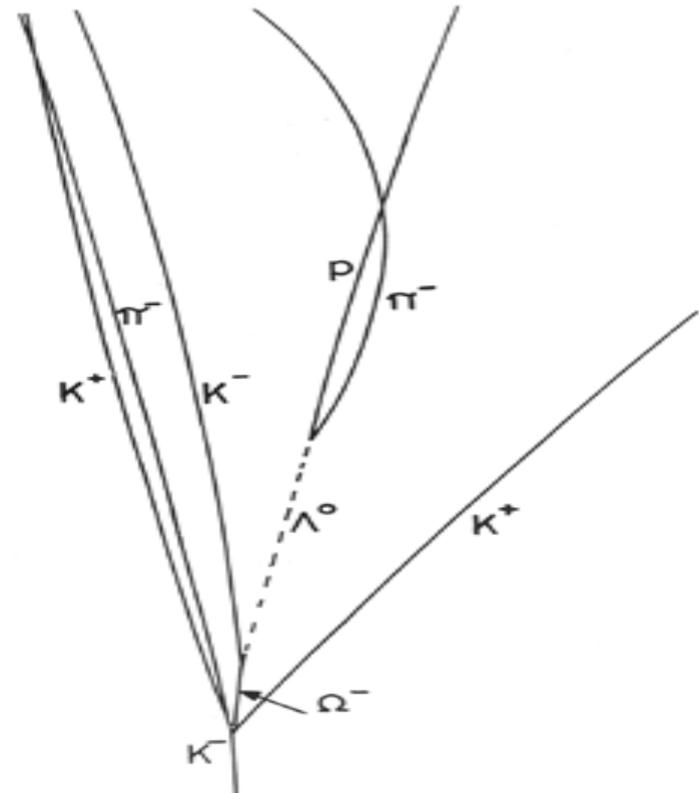
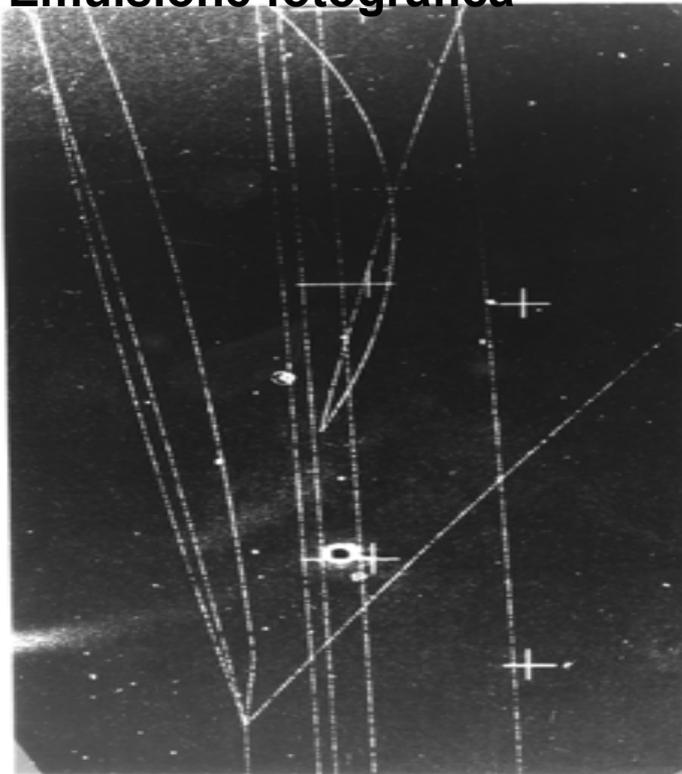
Vedere le particelle subatomiche

Ricostruzione delle particelle attraverso rivelatori, cioè strumenti specializzati che permettono di misurare i segnali rilasciati al passaggio della particella in un mezzo

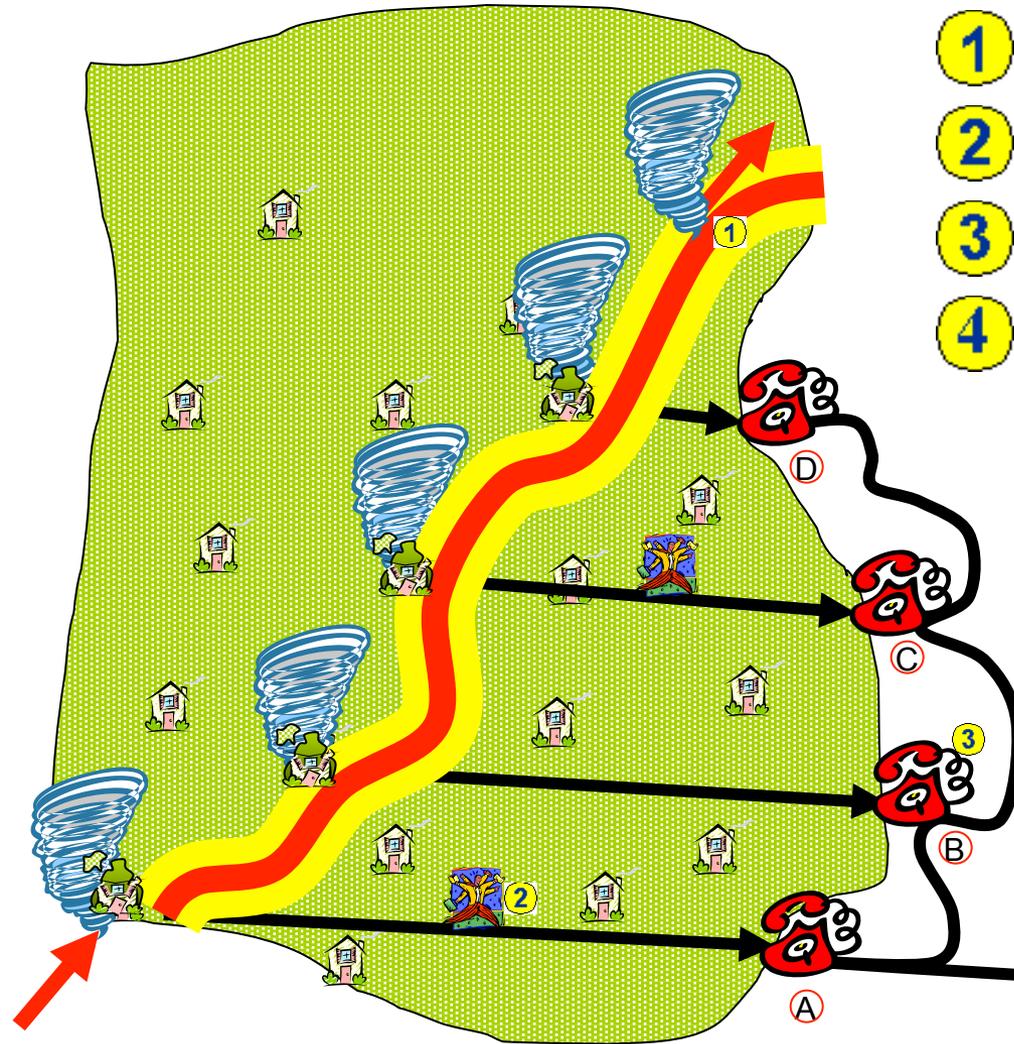


AT 10 GeV/c

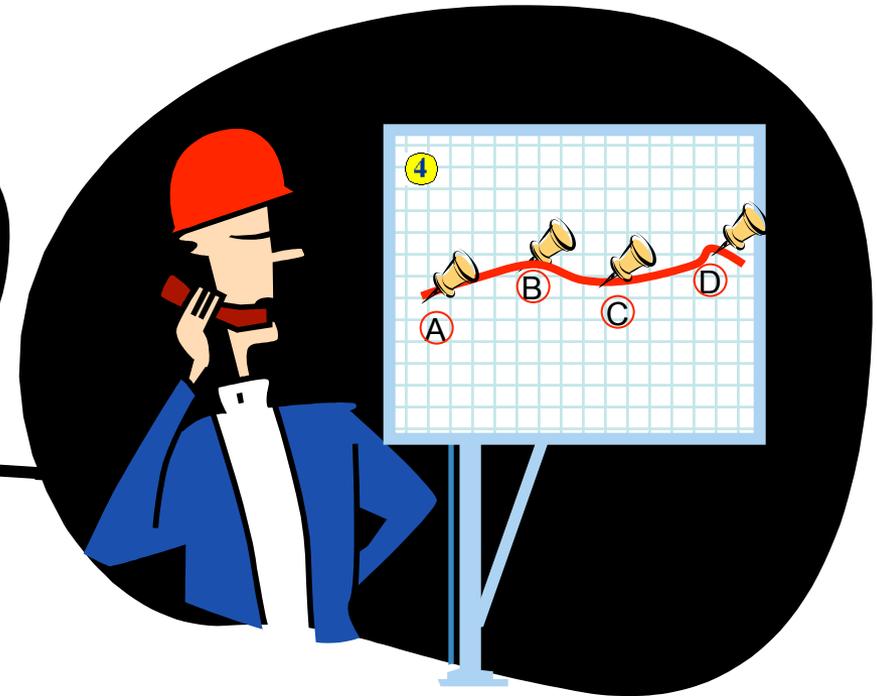
Emulsione fotografica



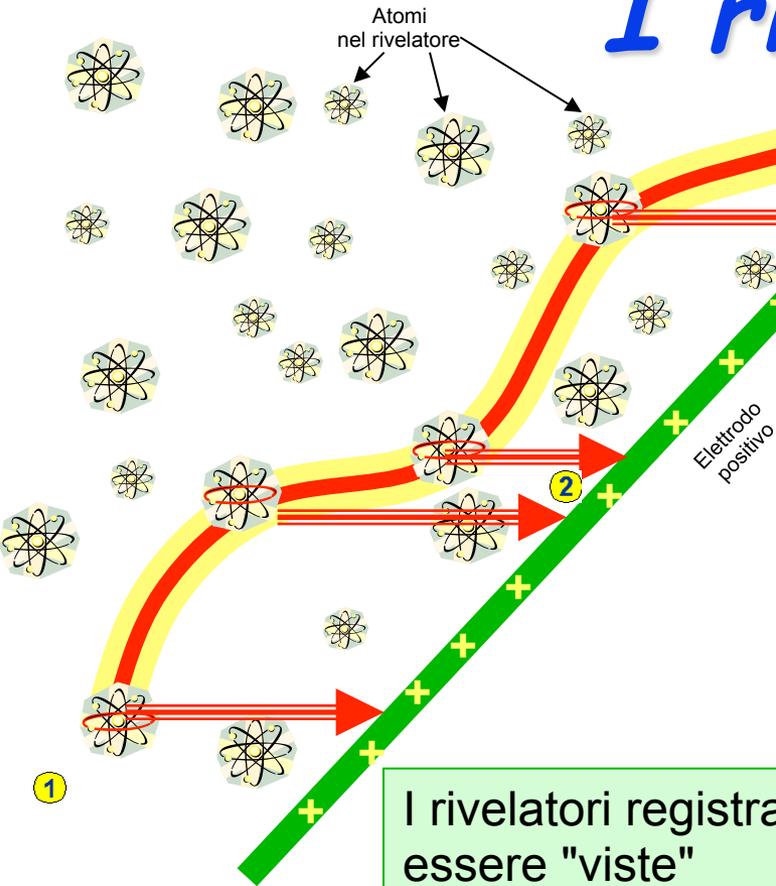
Vedere le particelle subatomiche



- 1 Una tromba d'aria distrugge le case di un villaggio.
- 2 Gli abitanti delle case distrutte corrono al telefono più vicino per chiamare i pompieri.
- 3 I pompieri registrano la **posizione** dei telefoni e l'**istante** delle chiamate.
- 4 Dalla **posizione** dei telefoni e dal **tempo intercorso** fra le chiamate, si ricostruisce il punto in cui è avvenuto l'incidente e la velocità della tromba d'aria

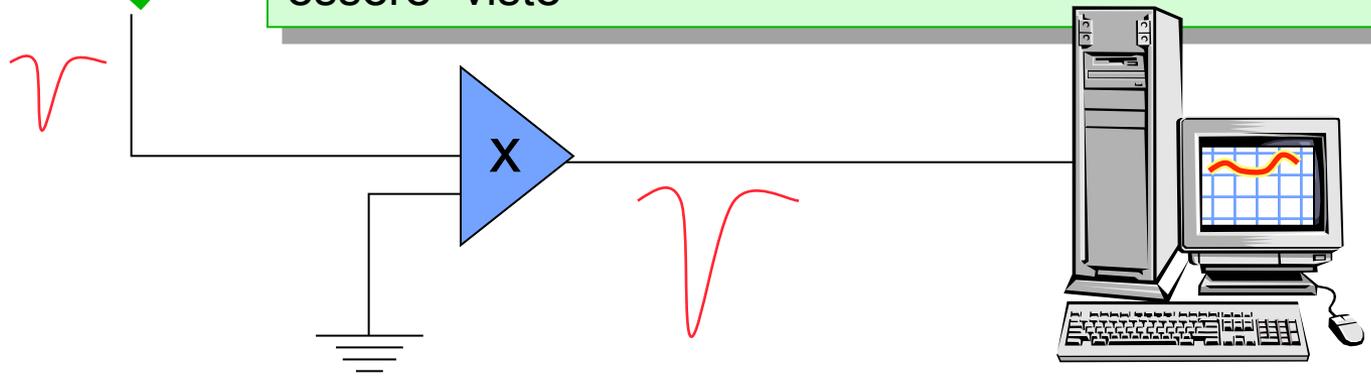


I rivelatori di particelle



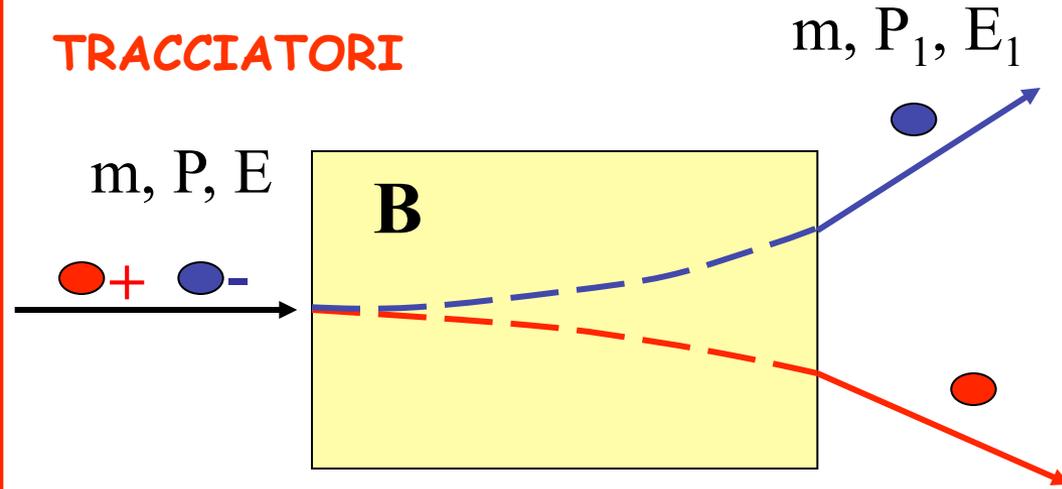
- 1 una **particella invisibile** passando attraverso il rivelatore ne colpisce gli atomi e **libera elettroni**.
- 2 Gli **elettroni negativi** sono attratti dall'elettrodo **positivo** più vicino.
- 3 Il segnale prodotto è **amplificato** e inviato ad un **computer**.
- 4 Dalla **posizione** dell'elettrodo e dal tempo di arrivo del segnale, il computer **ricostruisce il punto** di passaggio della particella.

I rivelatori registrano le tracce delle particelle troppo piccole per essere "viste"



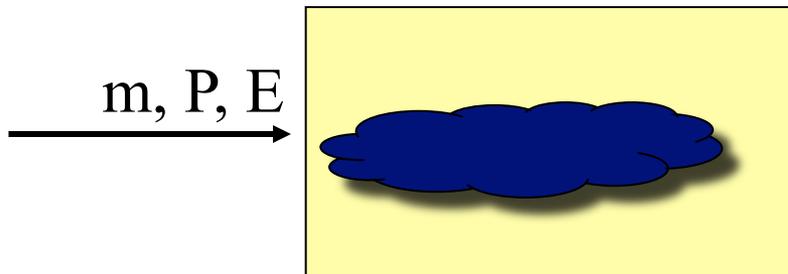
Rivelatori di particelle

TRACCIATORI



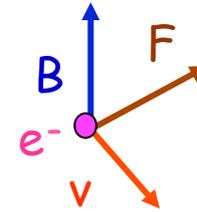
- ❑ Un tracciatore determina la traiettoria delle particelle cariche
- ❑ Se immerso in un campo magnetico B si riescono a determinare anche la carica Q ed il momento P
- ❑ La particella subisce una minima perdita d'energia nel sistema

CALORIMETRI



- ❑ Un calorimetro misura invece l'energia che la particella rilascia al suo interno
- ❑ In questo caso la particella viene quasi completamente assorbita
- ❑ Il segnale è proporzionale alla sua energia:
$$S = K E$$

Altre proprietà...

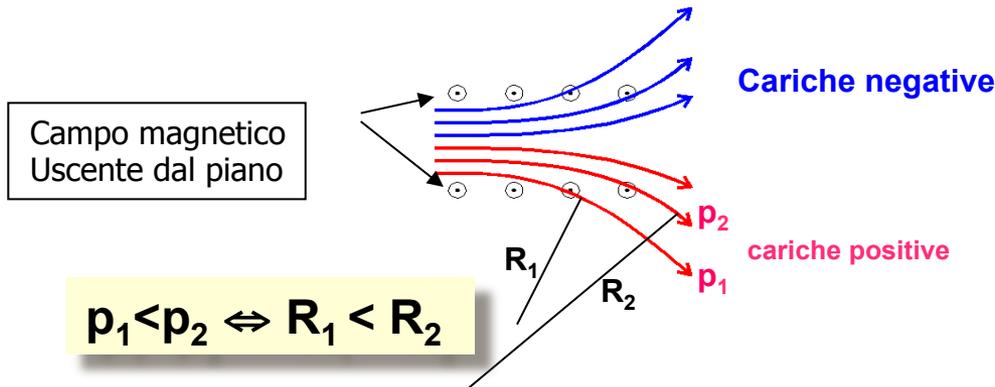


Forza di Lorentz

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

Impulso :

"sistema di tracciatura + campo magnetico"



$$m v^2/R = q v B$$

$$m v/R = q B$$

Si
estrae

Si
misura

Si
conosce

Velocità :

Tempo di volo → Misura della massa



$$v t = L$$

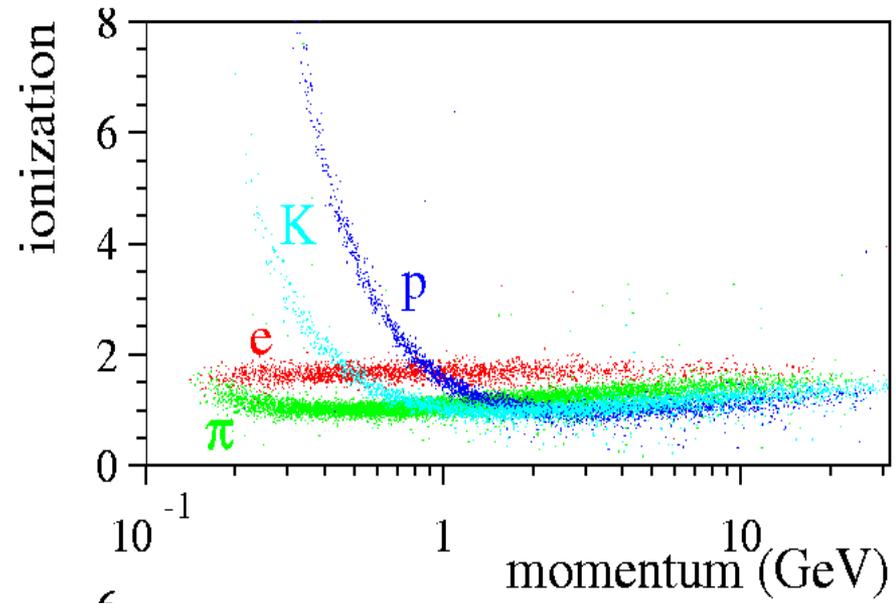
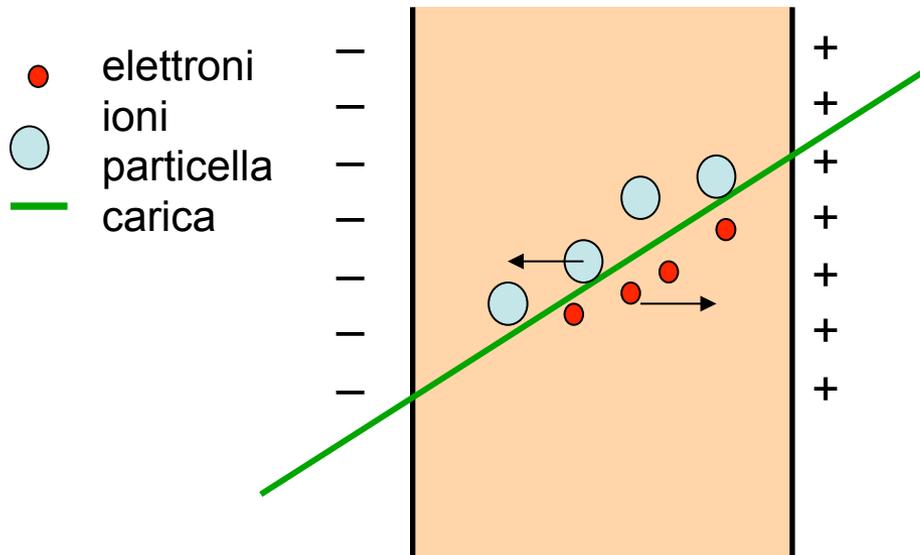


$$v = L/t$$

I tracciatori (camere)

Un tracciatore e' generalmente un rivelatore a gas, cioe' una regione di spazio riempita da un gas compressa tra due elettrodi cui e' applicata una differenza di potenziale.

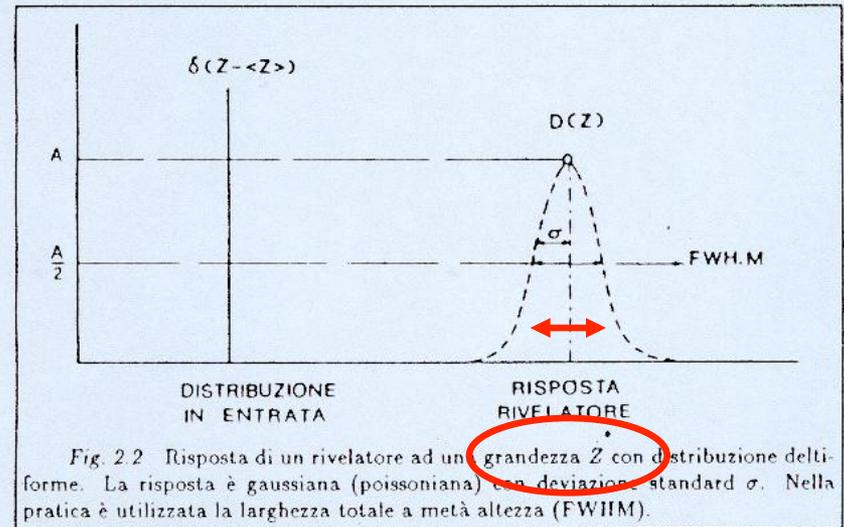
IONIZZAZIONE: gli urti con gli atomi del gas fanno si che si crei una **coppia ione-elettrone** "ionizzazione primaria", un elettrone primario a sua volta, se sufficientemente energetico puo' urtare altri atomi e liberare elettroni secondari "ionizzazione secondaria".



Caratteristiche proprie dei rivelatori di particelle

EFFICIENZA: probabilità che una particella venga rivelata: rapporto $\varepsilon = N_R / N_I$ tra il numero di particelle segnalate dal rivelatore e il numero di particelle incidenti.

RISOLUZIONE: la risoluzione di un rivelatore è legata alla capacità di distinguere valori differenti della grandezza da misurare. Una quantità frequentemente usata per caratterizzare la risoluzione è la larghezza a metà altezza della distribuzione di interesse.

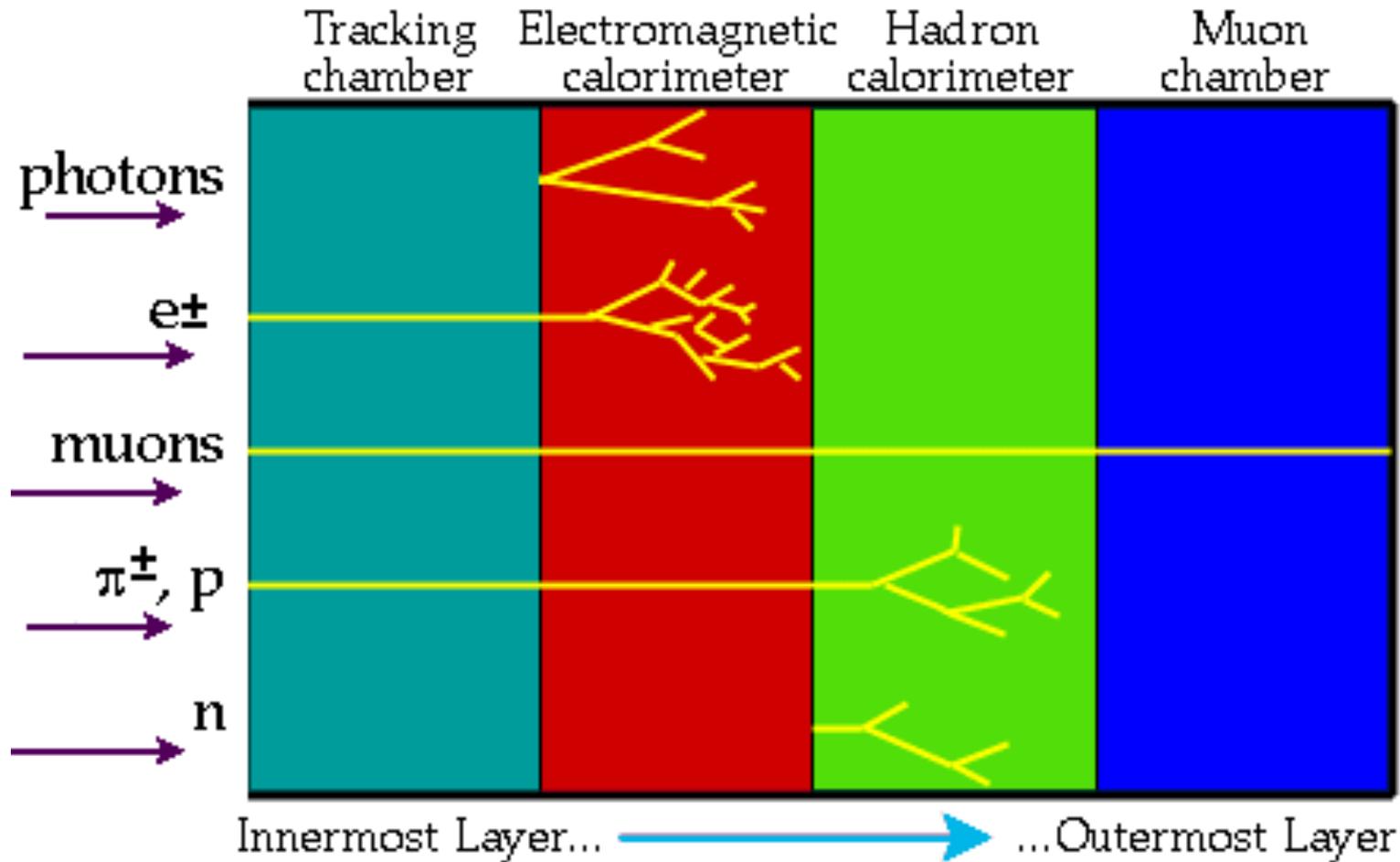


FUNZIONE DI RISPOSTA: la grandezza da determinare G è legata alla grandezza misurata M da una relazione funzionale del tipo $G = f(M, K_i)$ che dipende da parametri $K_i =$ costanti di calibrazione del rivelatore.

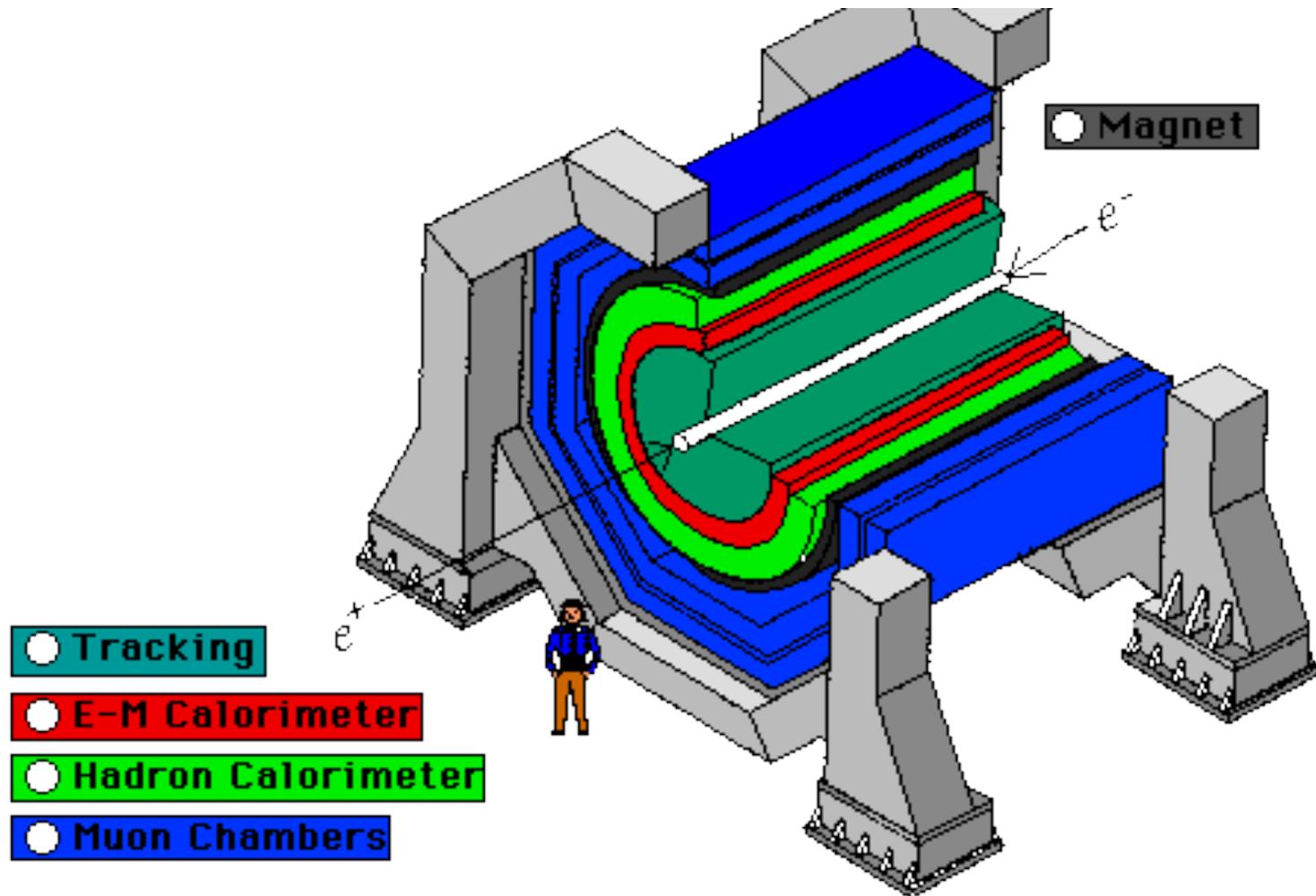
CALIBRARE un rivelatore vuol dire cercare di avere la stessa risposta dal rivelatore alla stessa sollecitazione!

I rivelatori specializzati

Le particelle, interagendo con opportuni materiali, rilasciano “segnature” diverse.

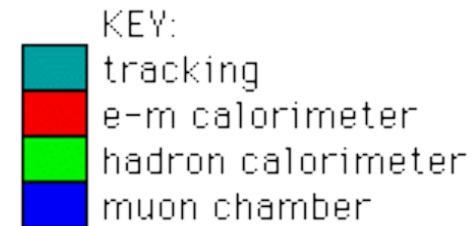
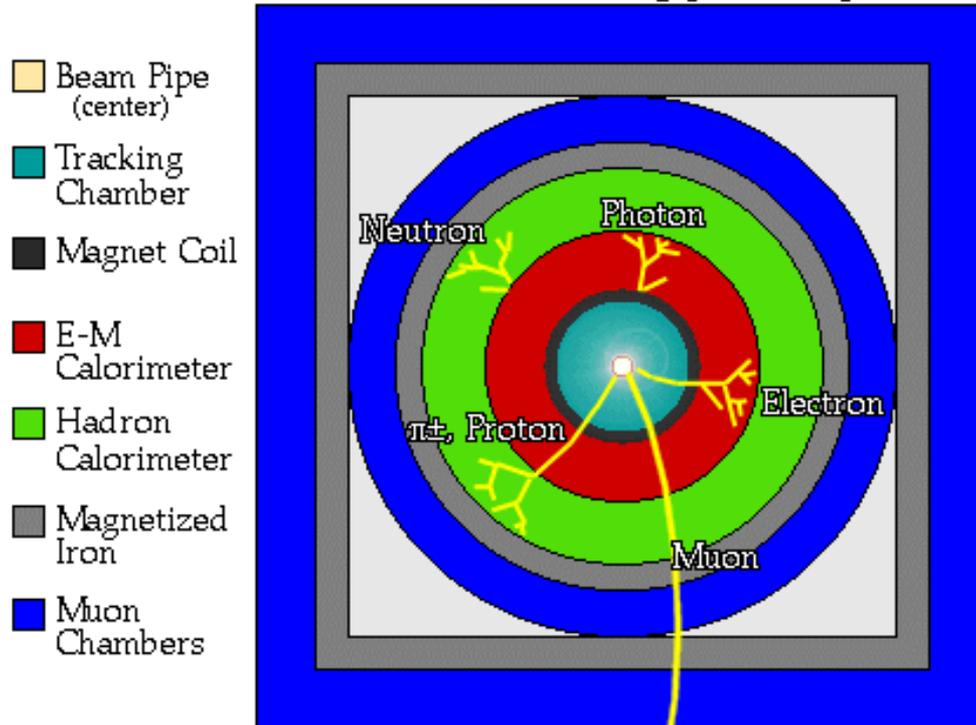


Struttura generale di uno "spettrometro"



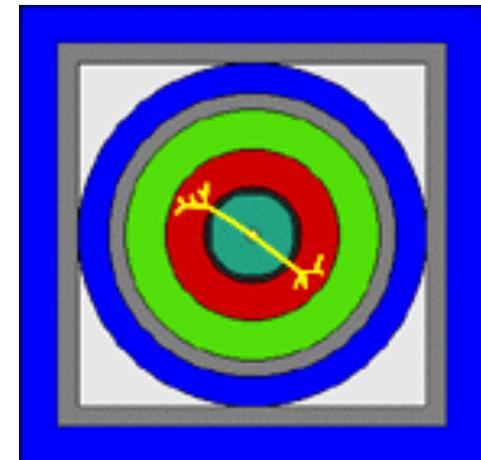
Riconoscere le particelle ... by eye!

A detector cross-section, showing particle paths



Presenza di 2 tracce
2 segnali solo nel calorimetro elettromagnetico

? 2 elettroni !

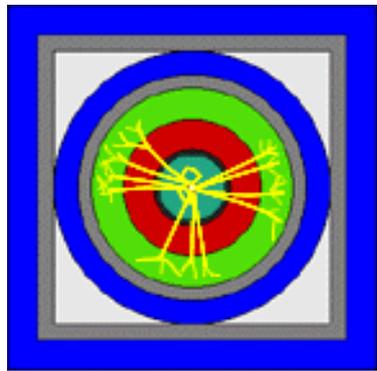
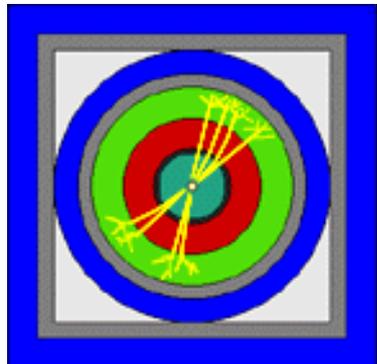
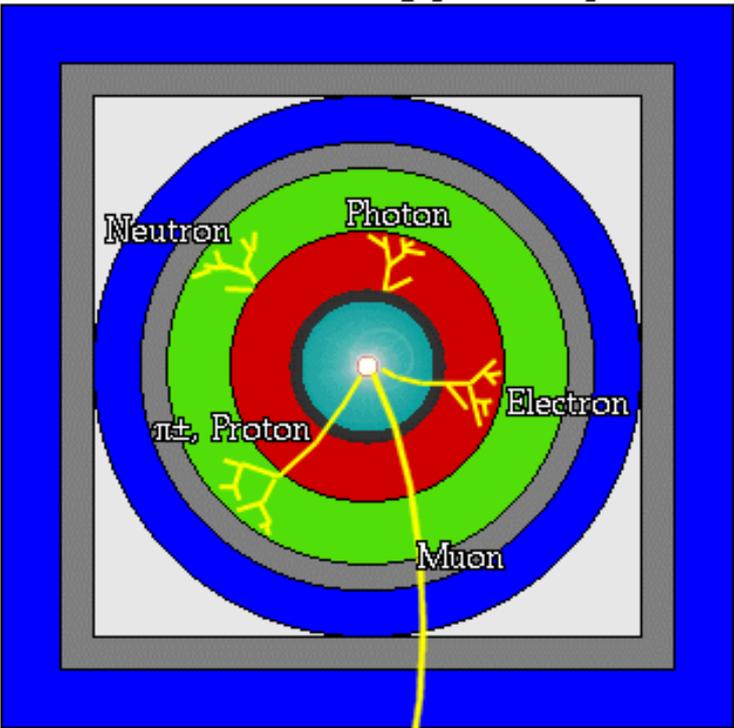


Riconoscere le particelle ... by eye!

A detector cross-section, showing particle paths

- Beam Pipe (center)
- Tracking Chamber
- Magnet Coil
- E-M Calorimeter
- Hadron Calorimeter
- Magnetized Iron
- Muon Chambers

- KEY:
- tracking
 - e-m calorimeter
 - hadron calorimeter
 - muon chamber



Presenza di 2 e 3 gruppi di tracce (cluster/jet)

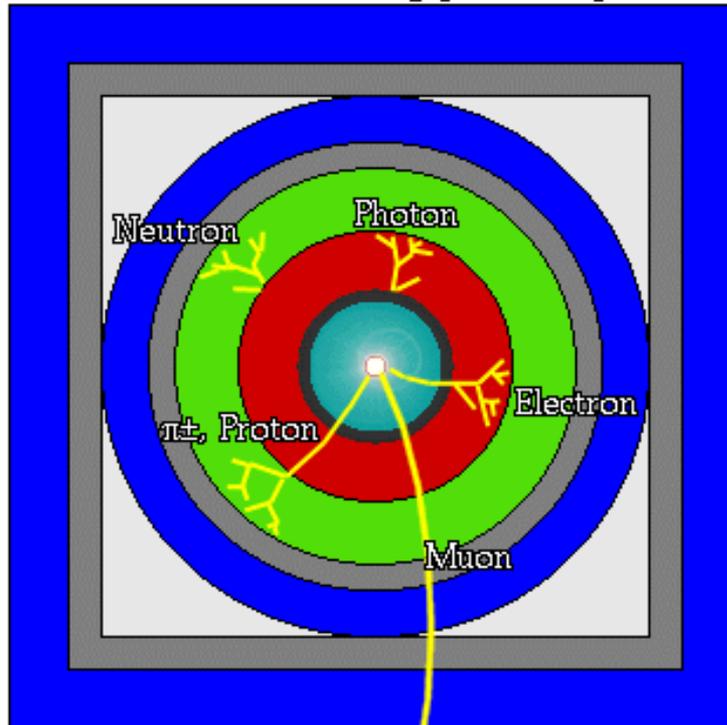
2 e 3 segnali nel calorimetro adronico

2 e 3 adroni

Riconoscere le particelle ... by eye!

A detector cross-section, showing particle paths

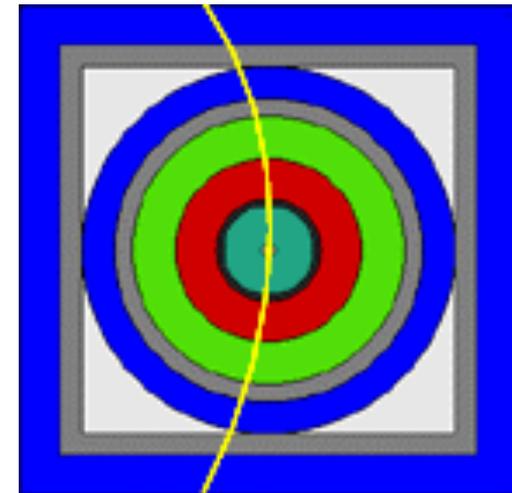
- Beam Pipe (center)
- Tracking Chamber
- Magnet Coil
- E-M Calorimeter
- Hadron Calorimeter
- Magnetized Iron
- Muon Chambers



- KEY:
- tracking
 - e-m calorimeter
 - hadron calorimeter
 - muon chamber

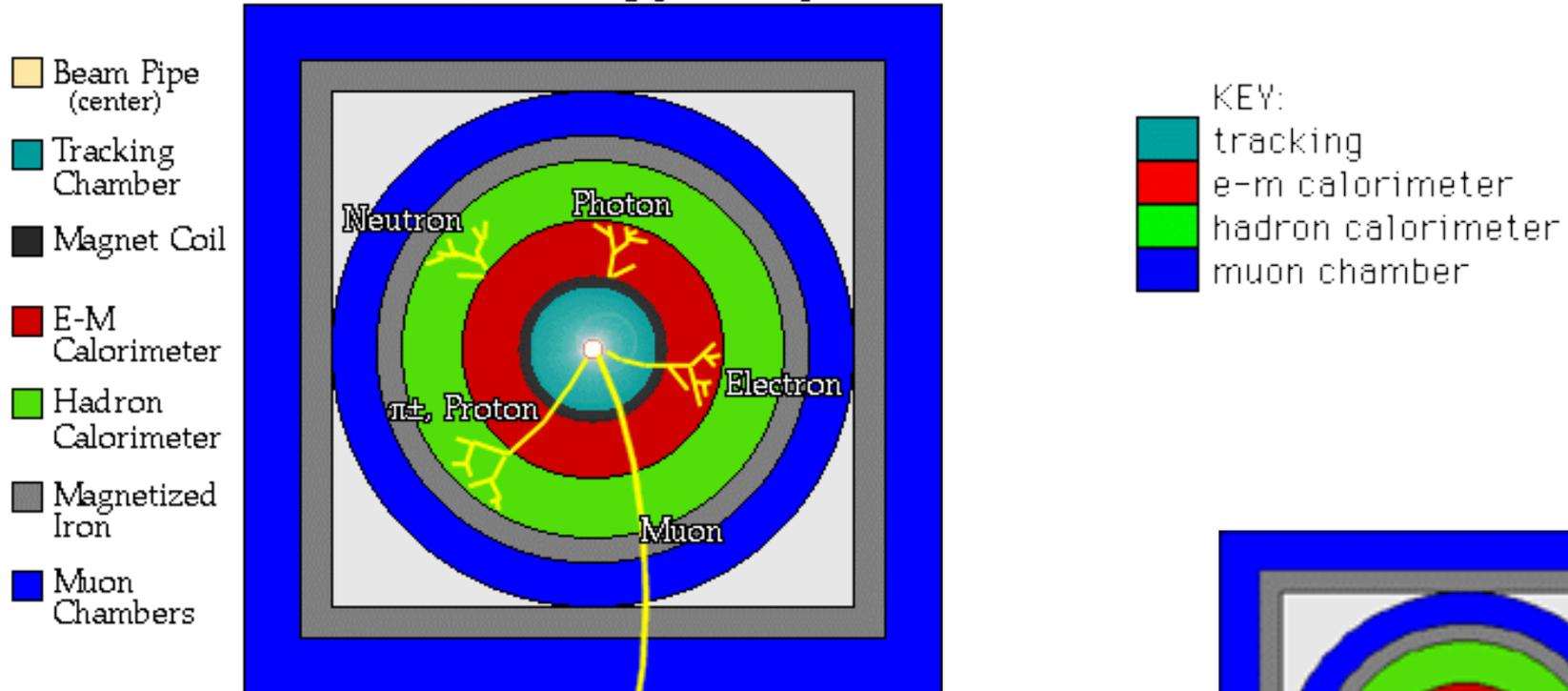
Presenza di 2 singole tracce
Nessun segnale nei calorimetri

? 2 muoni !



Riconoscere le particelle ... by eye!

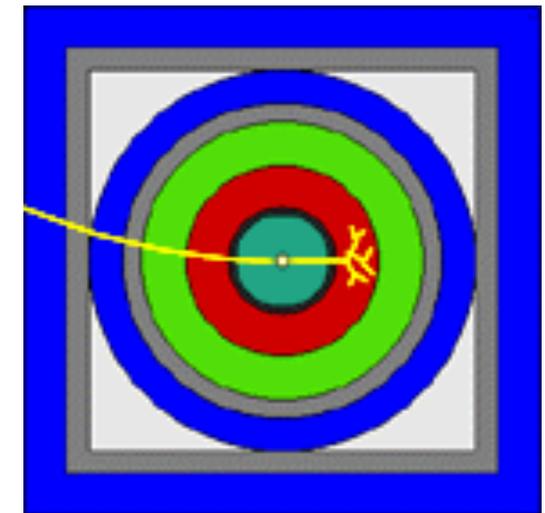
A detector cross-section, showing particle paths



Presenza di 2 tracce

1 segnale nel calorimetro elettromagnetico

1 muone + 1 elettrone = tauone



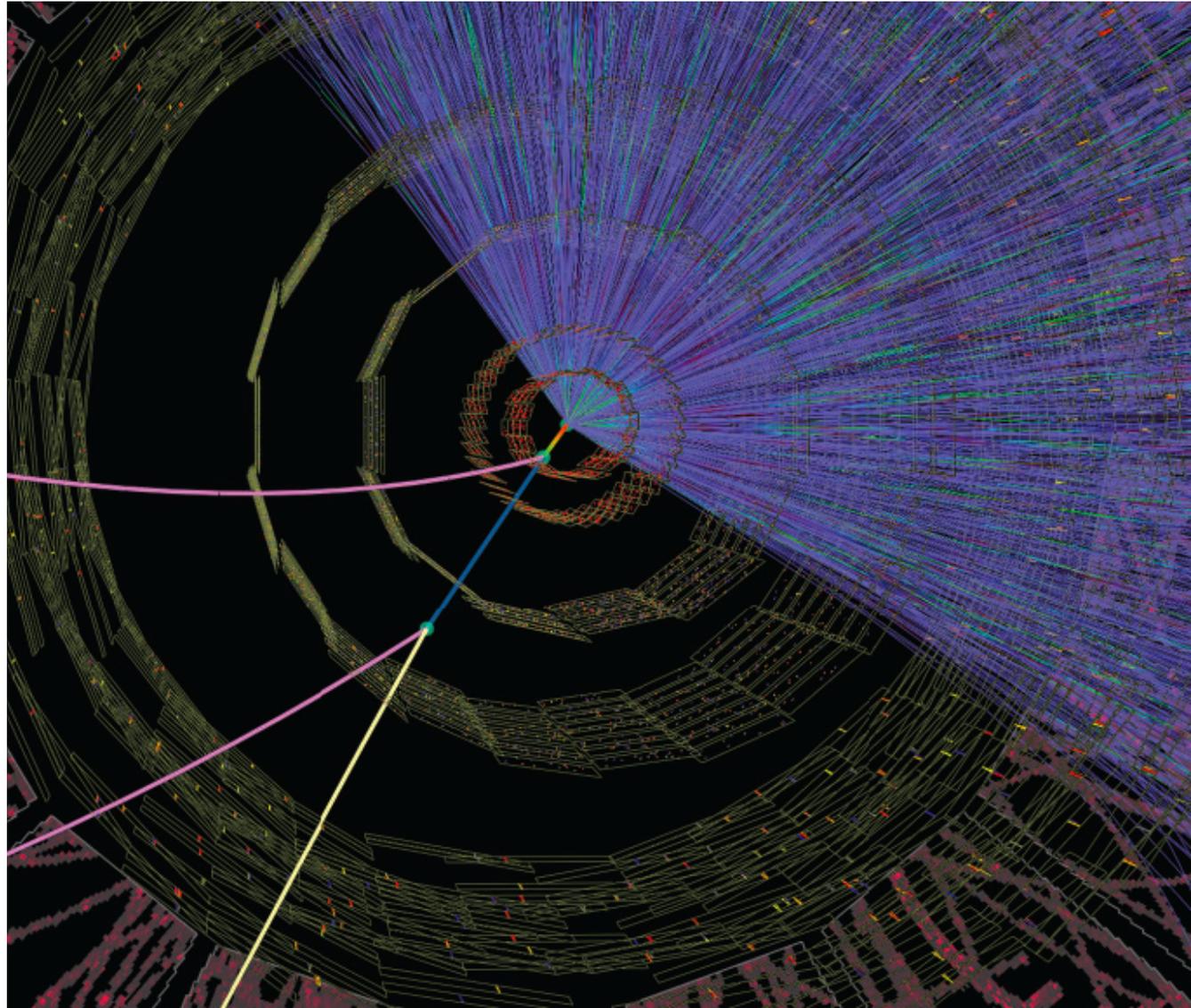


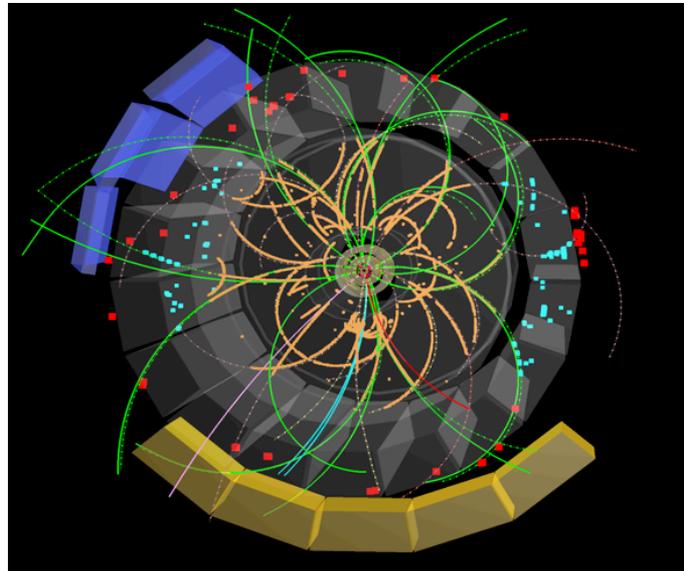
Tutto chiaro fin qui?

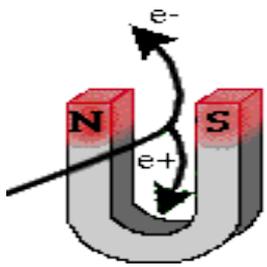
Caption
City

Selezione di tracce "buone"

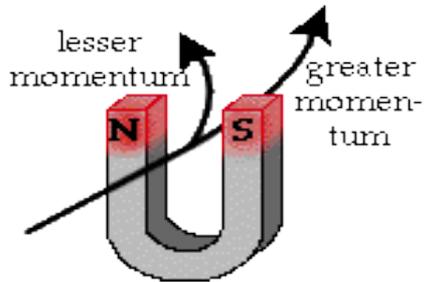
Eccellente
tracking +
vertice +
Identificazione
di particelle
(PID)



 $\pi(u\bar{u})$ $p(uud)$ $n(udd)$ $Ks(d\bar{s})$ $\Lambda(uds)$ $K_s^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ $\tau = 0.89 \times 10^{-10} \text{ s}$ $c\tau = 3 \times 10^{10} \text{ cm s}^{-1} \times 0.89 \times 10^{-10} \text{ s} = 2.67 \text{ cm dal punto d'interazione}$ $\Lambda \rightarrow \pi^- p$ $\tau = 2.6 \times 10^{-10} \text{ s}$ $c\tau = 3 \times 10^{10} \text{ cm s}^{-1} \times 10^{-9} \text{ s} = 7.2 \text{ cm dal punto d'interazione}$ 

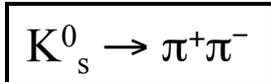
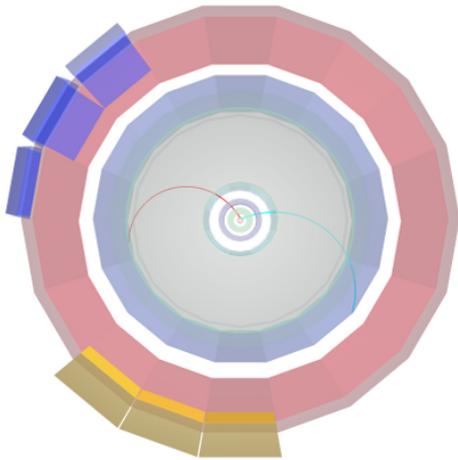


Identifica
la carica

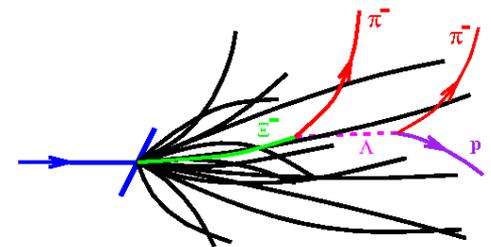
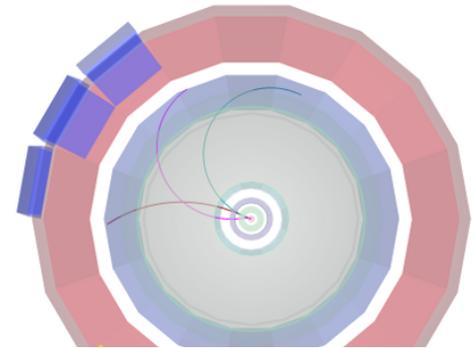
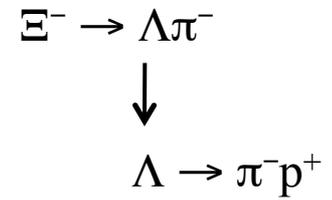
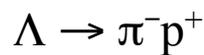
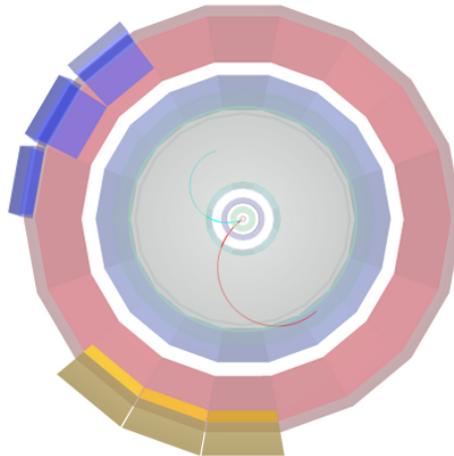


Misura
l'impulso

Simmetrico

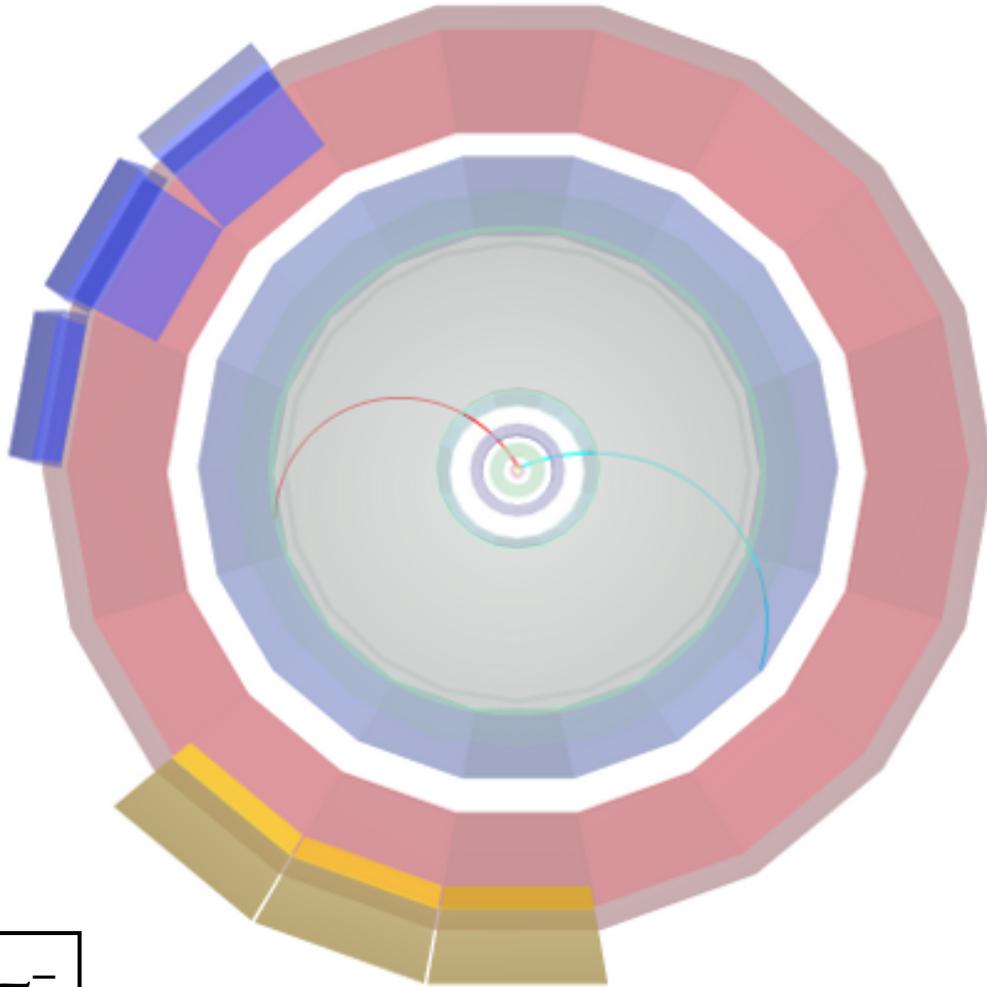


Asimmetrico



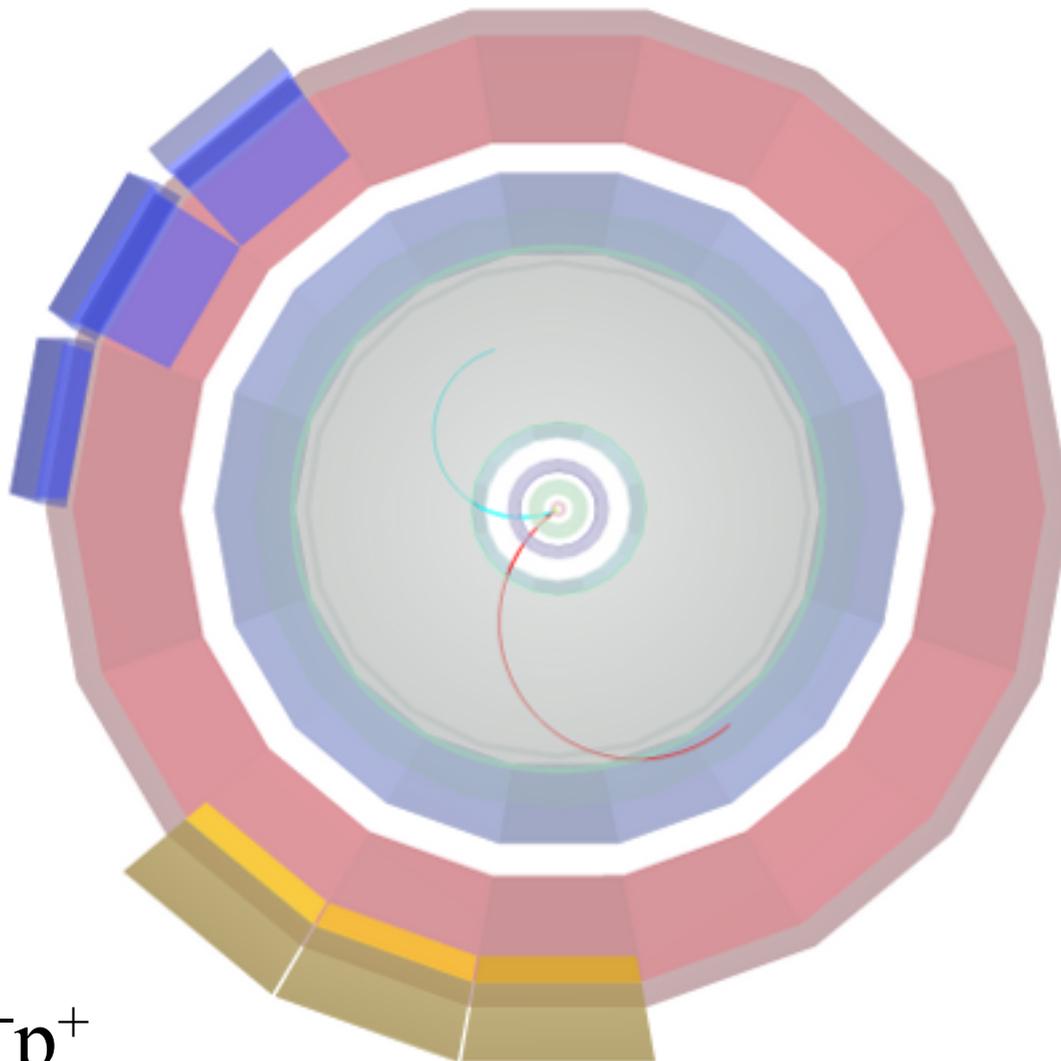
Decadimento di un "cascade"

Simmetrico

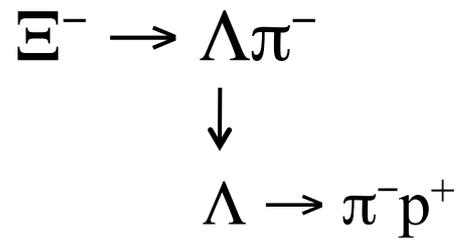


$$K_s^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$$

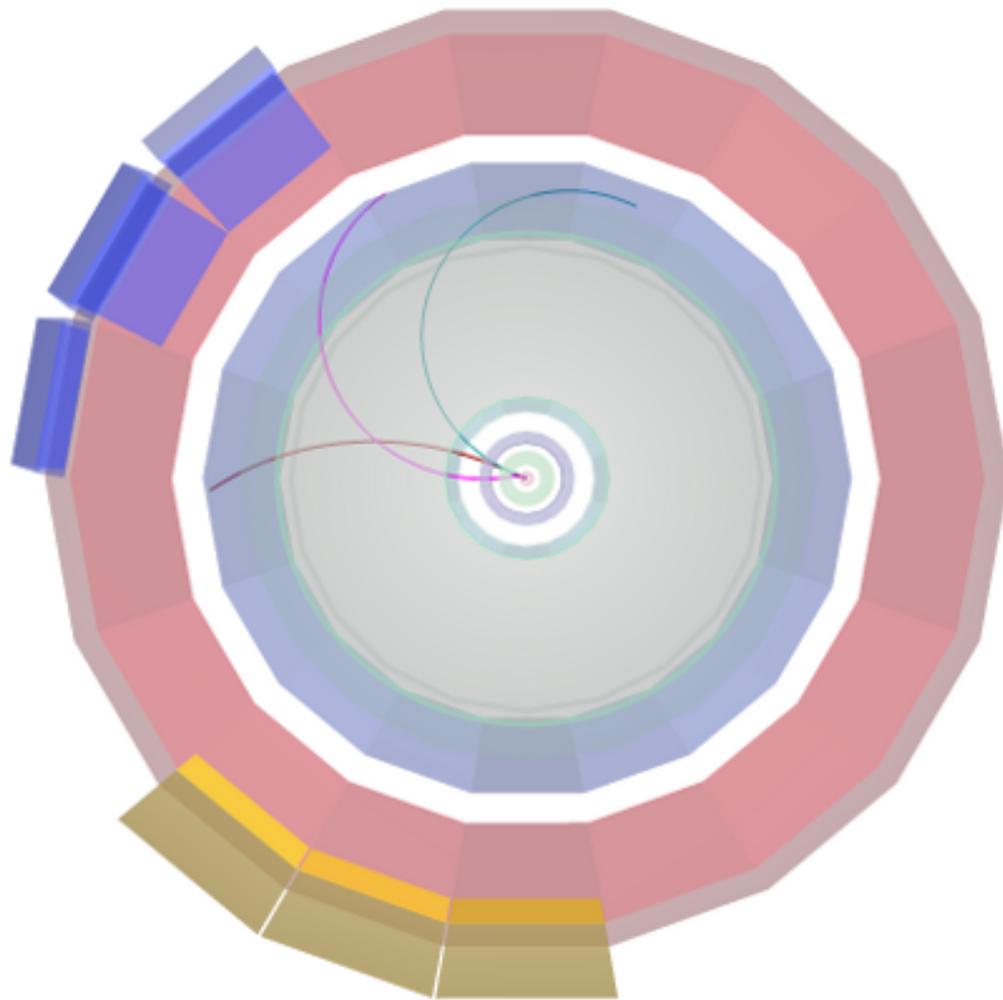
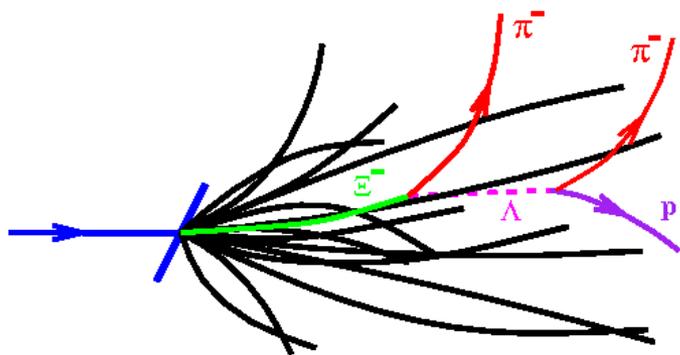
Asimmetrico



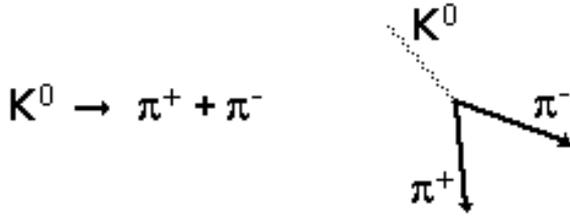
$\Lambda \rightarrow \pi^- p^+$



Decadimento di un "cascade"



7. Il calcolo della massa (invariante)



Conservazione dell'energia

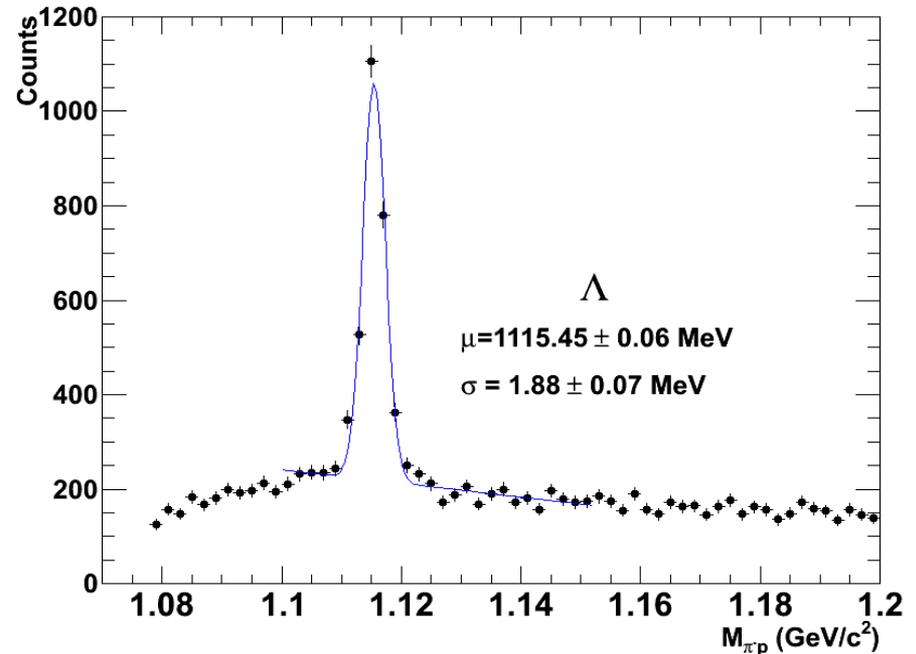
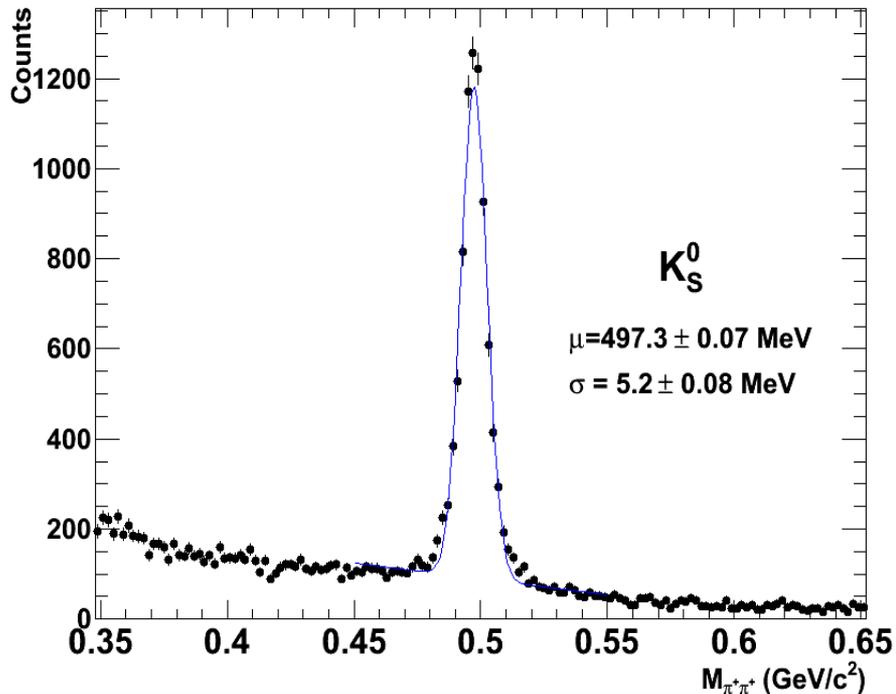
$$E = E_1 + E_2 \quad (1)$$

Conservazione della quantità di moto

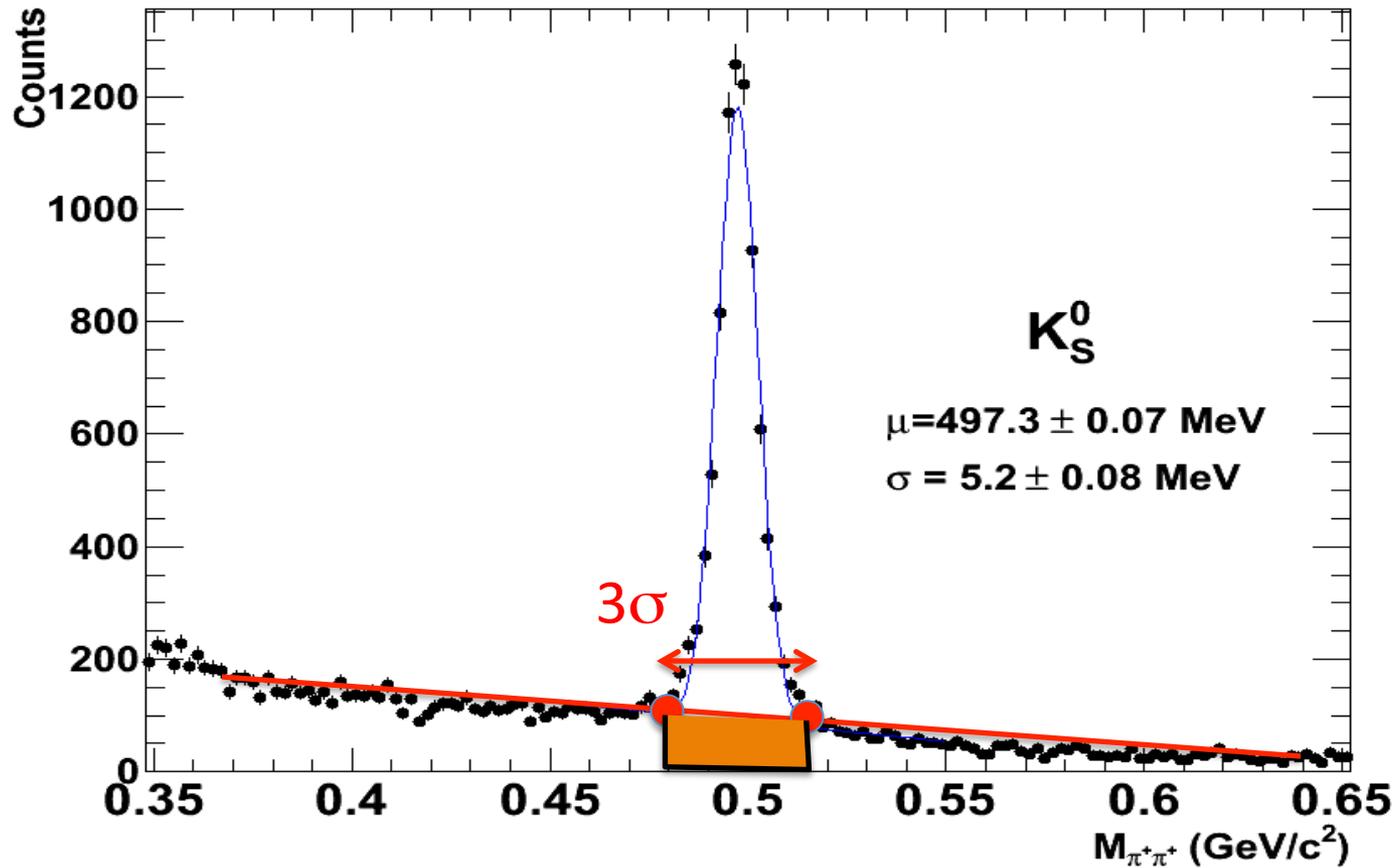
$$\mathbf{p} = \mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2 \quad (2)$$

Dalla relatività (supponendo $c=1$):

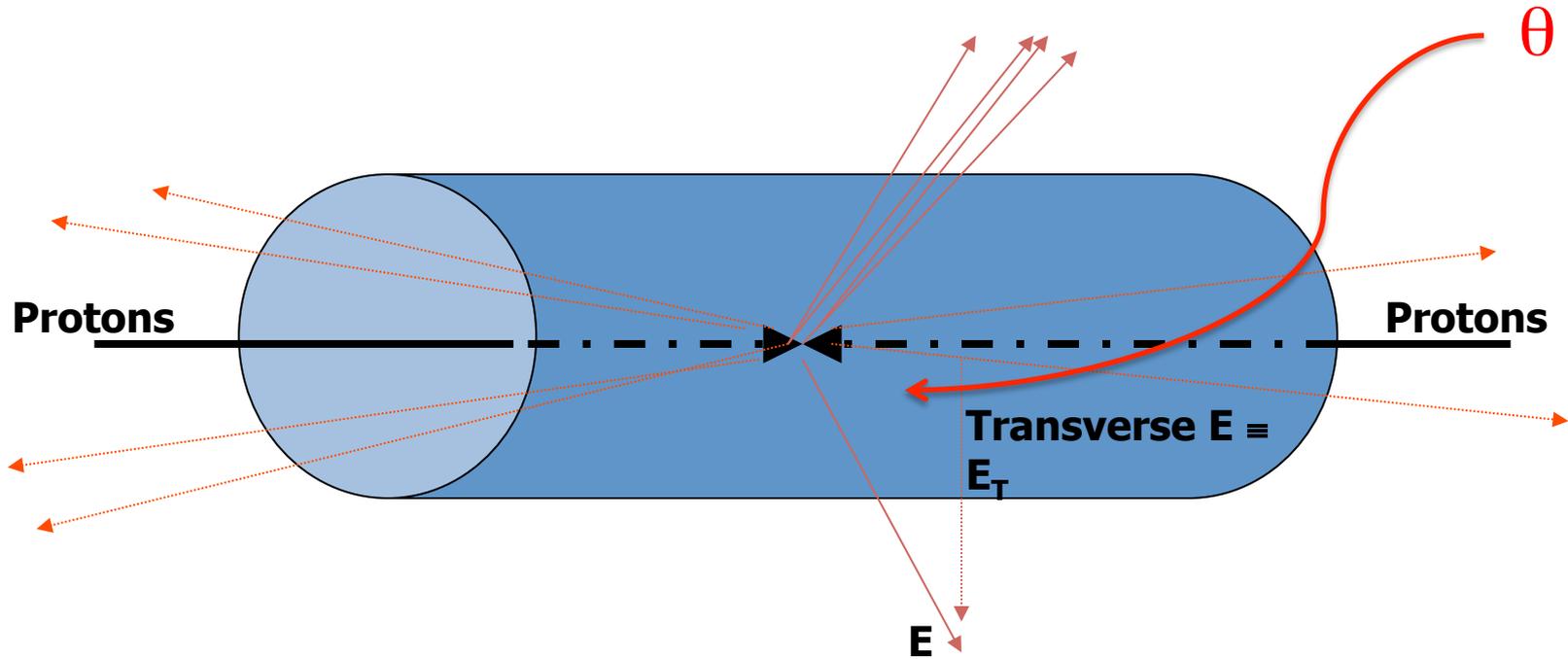
$$E^2 = p^2 + m^2 \quad (3)$$



Sottrazione del background ... senza fit!



La rapidita' o pseudorapidita'



Pseudorapidita':

$$\eta = \frac{1}{2} \ln \frac{1 + \cos \theta}{1 - \cos \theta} = \ln \frac{\cos \theta / 2}{\sin \theta / 2} = -\ln(\tan \theta / 2)$$

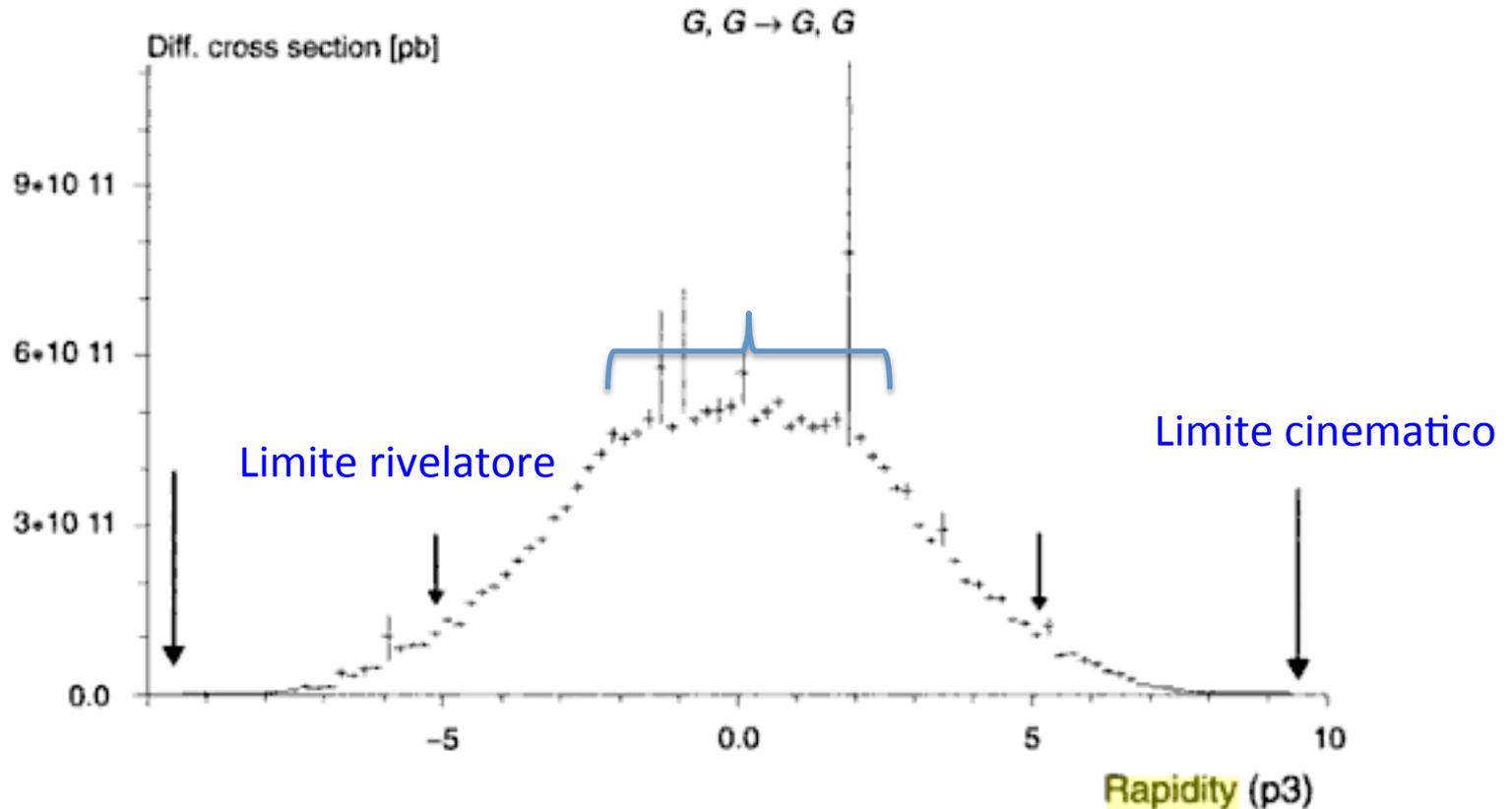
Rapidita': $\tan H(y) = P_{//} / E$

Per particelle senza massa rapidita' = pseudorapidita'

Rapidity Plateau

In urti p-p le particelle sono prodotte in modo uniforme nelle regioni centrali.

La larghezza del plateau dipende solo da \sqrt{s}



- Identificazione e conteggio di particelle strane
 - calcolo massa invariante e rapidità
 - inserimento in istogrammi
- Istogrammi di massa invariante e di rapidità a mano?
- Rapporto di stranezza: tabella 1 e 2
- Integrazione dei risultati
- Sottrazione fondo per la massa invariante
- Rapporto segnale/fondo
- Evidenza di QGP?

