

A L I C E

*... e un po' di fisica degli
Ioni Pesanti
a energie relativistiche*

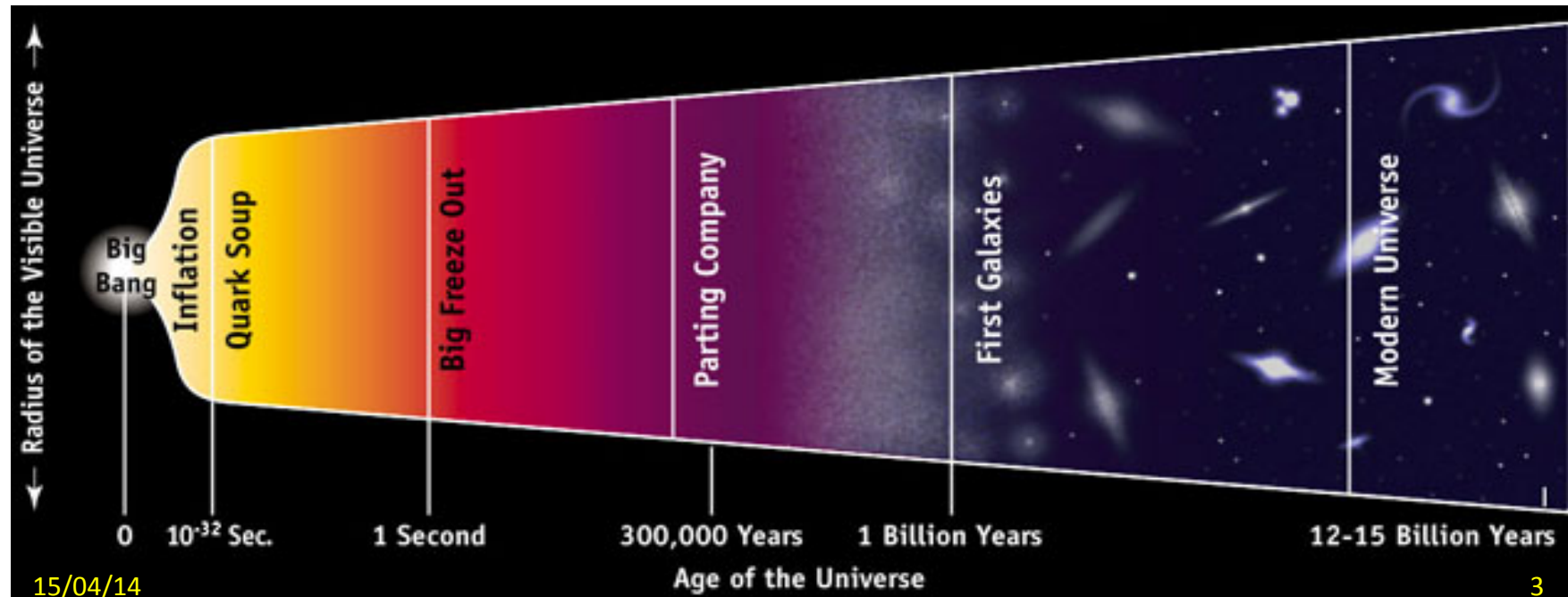
Conquistare una comprensione via via più profonda del nostro universo, e quindi della natura, è senz'altro lo stimolo base di tutto quanto segue

- Nell'ipotesi che il nostro universo si sia originato da un **Big-Bang**, è fondamentale capire le fasi che dal Big-Bang hanno portato a quanto oggi osserviamo
- I nostri occhi possono spingersi a ritroso nel tempo ma solo fino a poche centinaia di milioni di anni dopo il Big-Bang, quando la luce delle prime stelle ha cominciato a percorrere l'universo divenuto trasparente ad essa
- Usando "occhi" più efficienti dei nostri, si può infatti rivelare la radiazione elettromagnetica del fondo cosmico a **2.725 K**, che ha iniziato a muoversi liberamente nello spazio poche centinaia di migliaia di anni dopo il Big-Bang

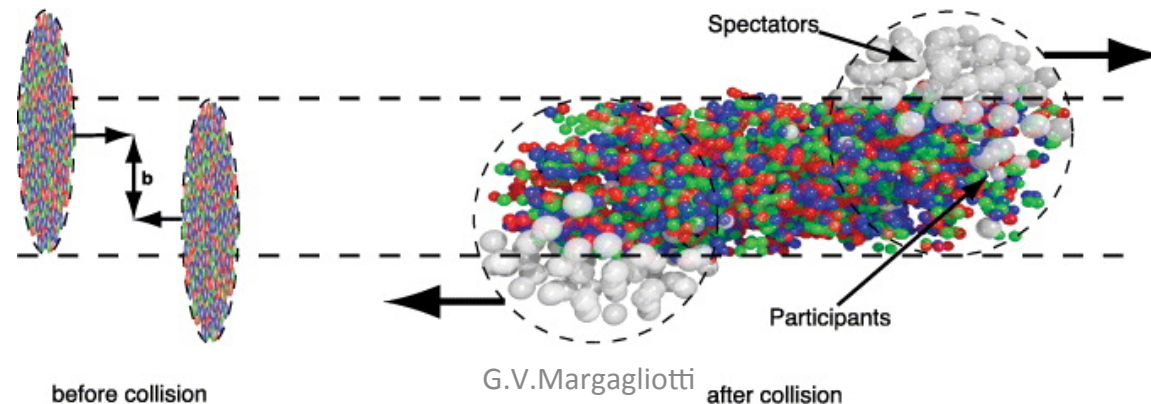
Prima d'allora l'universo risulta totalmente opaco e insondabile ...

- A quel tempo però già esistevano i mattoni fondamentali della materia che costituisce l'universo odierno

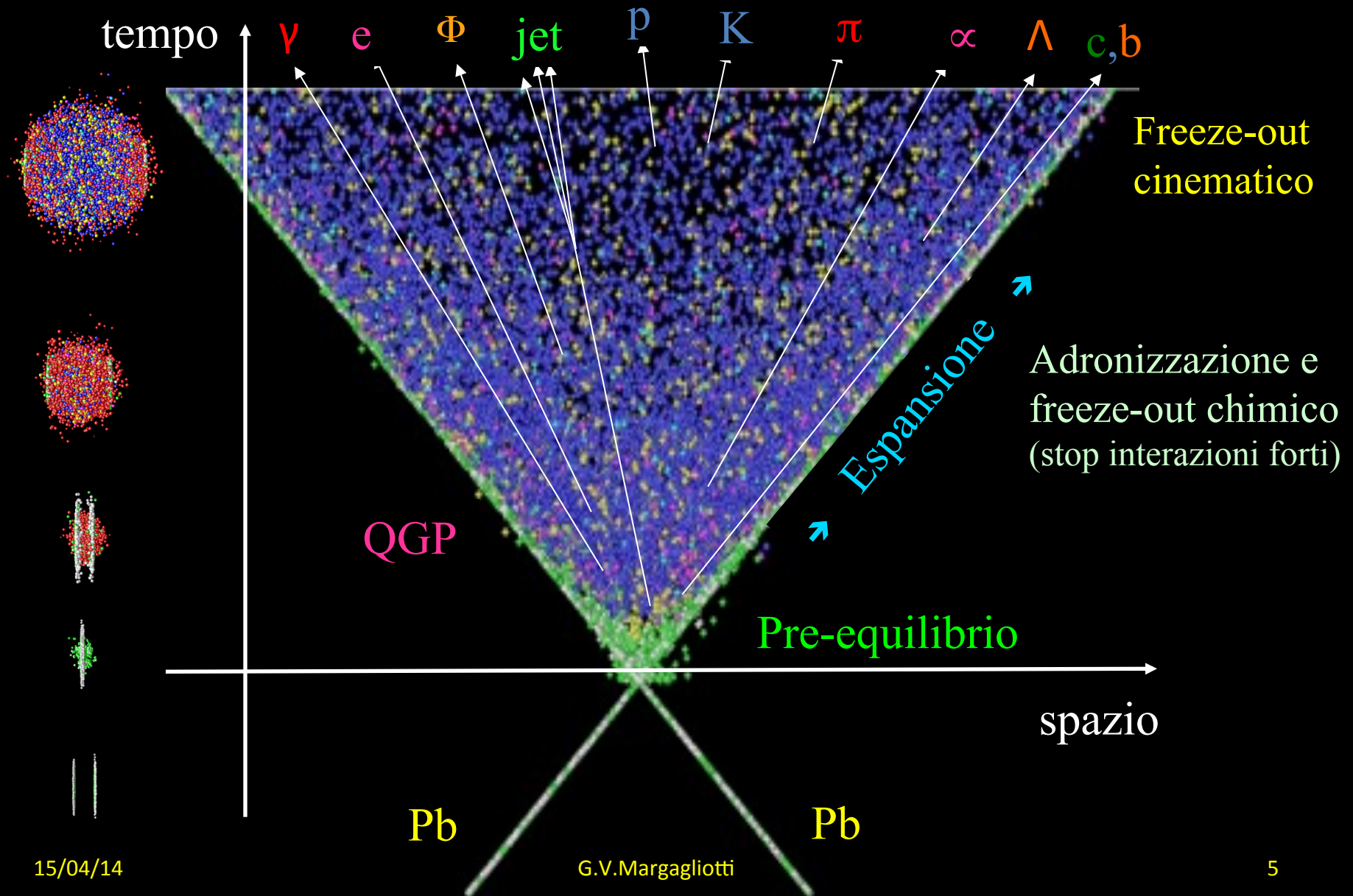
- Per indagare meccanismi e fenomeni che ne hanno condotto alla formazione, non potendo guardare direttamente **più indietro nel tempo**, possiamo però cercare di riprodurre, in piccolo, quanto è avvenuto
- **Modello cosmologico**: circa $1 \mu\text{s}$ dopo Big-Bang l'universo era un **blob** caldissimo ($\approx 10^{13} \text{ K} \approx 870 \text{ MeV}$) in cui i costituenti fondamentali della materia adronica (**quark** e **gluoni**) erano **liberi**, non ancora **confinati** entro le strutture che chiamiamo particelle e che nella loro forma più stabile, (**protoni** e **neutroni**), assieme agli **elettroni** costituiscono quasi tutta la materia che conosciamo nell'attuale universo



- Per riprodurre il **blob primordiale** si fanno collidere l'uno contro l'altro, a energie elevatissime, due ioni piuttosto grossi. Con ^{208}Pb si hanno in ogni urto **416** nucleoni, discreta approssimazione di un sistema macroscopico per riprodurre, su **scala umana**, le condizioni dell'universo pochi μs dopo il Big-Bang
- Urti a energie di alcuni **TeV/NN** danno, nel volume occupato dai due nuclei collidenti, densità d'energia ϵ simili a quelle dell'universo pochi μs dopo la formazione (**decine di GeV/fm^3**)
- Gli adroni costituenti i due nuclei di **Pb** si **fondono** così nella **fireball**, **plasma di quark e gluoni (QGP)** che riproduce in piccolo il **blob primordiale**
- Studiarne l'evoluzione è quindi come andare a guardare non con un telescopio, ma con un "**microscopio**", l'universo nelle sue primissime fasi e studiare anche l'applicabilità del **modello standard** a sistemi a molti corpi



Evoluzione spazio-temporale dell'urto

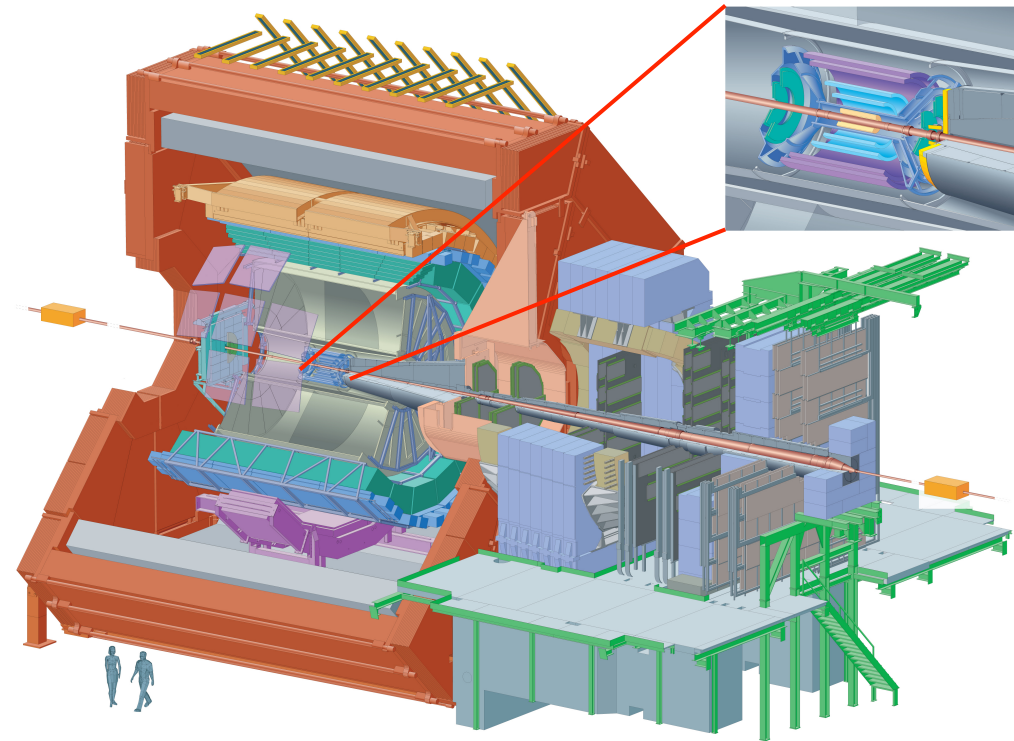
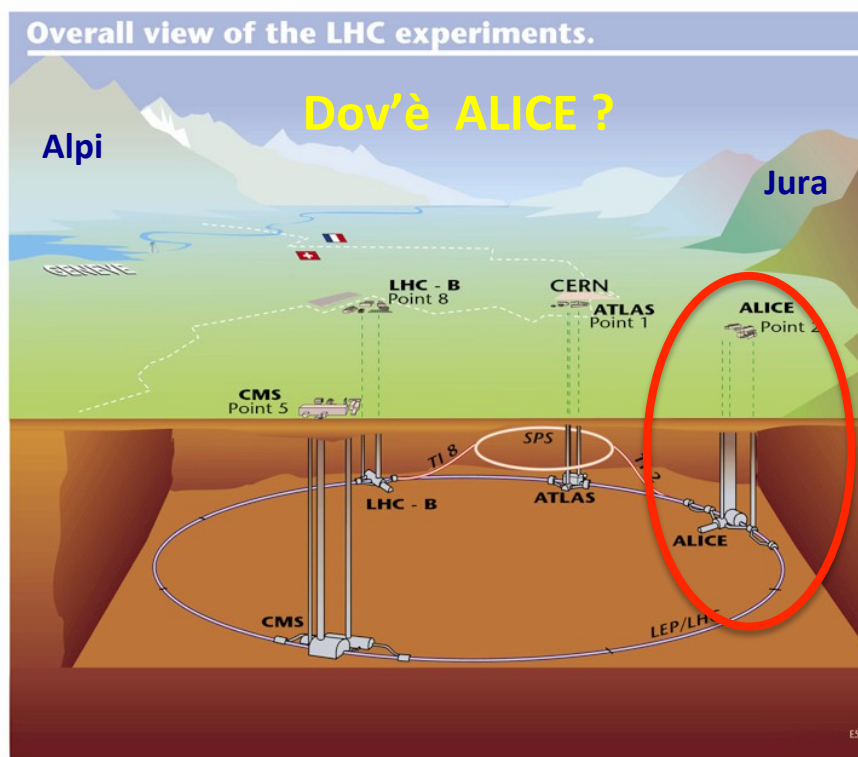


- Lo studio di questi urti richiede di rivelare l'enorme quantità di particelle che emergono (**Pb-Pb @ 2,76 TeV/NN** → **migliaia di particelle**), e per la comprensione approfondita dei fenomeni bisogna identificarle e misurarne i parametri dinamici
- Nell'immagine precedente non tutte le particelle prodotte sono indicate, non sono indicati neutroni (**n**) e neutrini (**ν**), eppure ne vengono prodotti in quantità straordinaria in ognuna delle interazioni fra ioni **Pb**
Sono particelle neutre, difficili da rivelare direttamente, e a vita media lunga ($\tau_n \approx 881$ s) o **infinita** (**ν**), per cui risulta arduo o impossibile rivelarli tramite i loro eventuali prodotti carichi di decadimento
- Ci si concentra quindi nel rivelare "oggetti" che interagiscano **elettromagneticamente** con la materia dei rivelatori, o che pur essendo neutri hanno vita media così breve da decadere in prodotti carichi, quando sono ancora entro il volume attivo dei rivelatori
- La corretta analisi di ogni interazione, valendo la conservazione di energia e impulso, non può però prescindere da neutroni e neutrini, se ne tiene dunque conto tramite modelli e simulazioni

L'esperimento ALICE indaga questi fenomeni

usando i fasci di LHC al CERN

ALICE : A Large Ion Collider Experiment



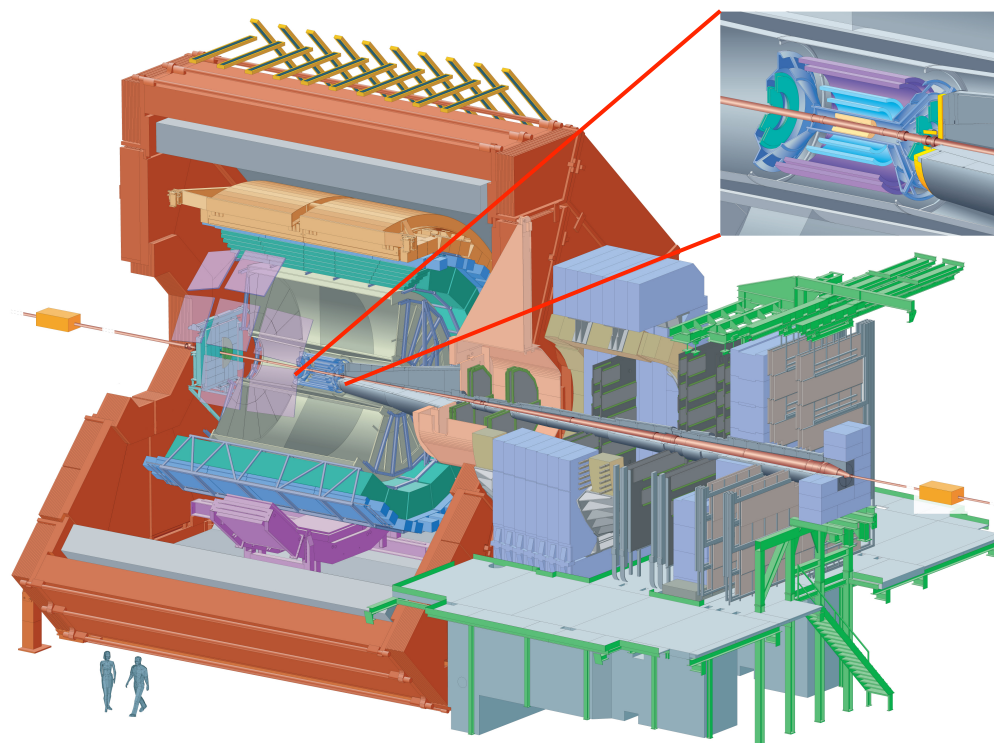
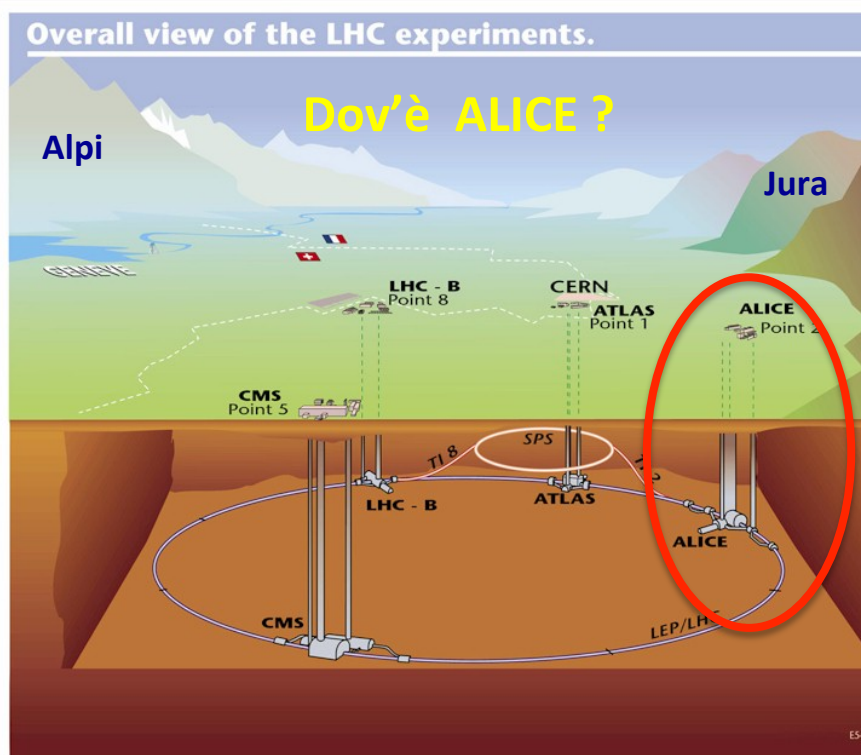
- ALICE** ha finora studiato:
- collisioni tra ioni Pb fino a **2.76 TeV/NN**
 - collisioni fra protoni fino a **8 TeV**
 - collisioni asimmetriche fra protoni e ioni Pb a **5.02 TeV/NN**
- ... e a regime di **LHC** studierà collisioni fra ioni Pb a **5.5 TeV/NN**

Obiettivi principali:

- formazione **Quark Gluon Plasma** (trans. fase materia nucleare), studio e caratterizzazione
- studio confinamento e rottura spontanea simmetria chirale (*generazione masse adroniche*)
- estensione del modello standard

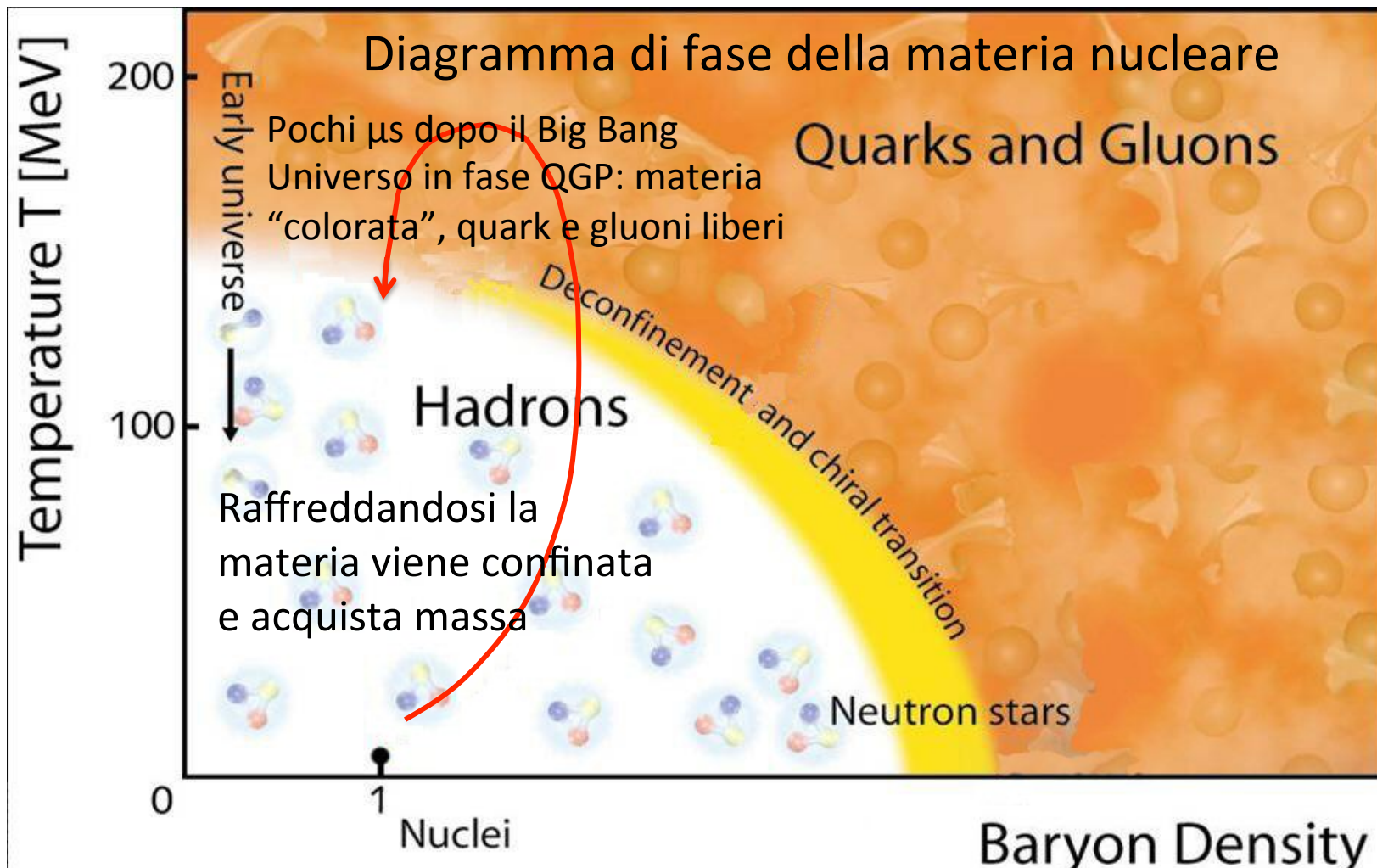
L'esperimento **ALICE** : Large Ion Collider Experiment

indaga questi fenomeni usando i fasci di **LHC** al **CERN**



Obiettivi principali:

- formazione **Quark Gluon Plasma** (trans. fase materia nucleare)
- studio confinamento e rottura spontanea simmetria chirale (*generazione masse adroniche*)
- estensione del modello standard



Urti Pb-Pb @ LHC ricreano condizioni equivalenti che ALICE studia

Transizione di fase

$$T_c \approx 175 \text{ MeV} \approx 2 \cdot 10^{12} \text{ K}$$

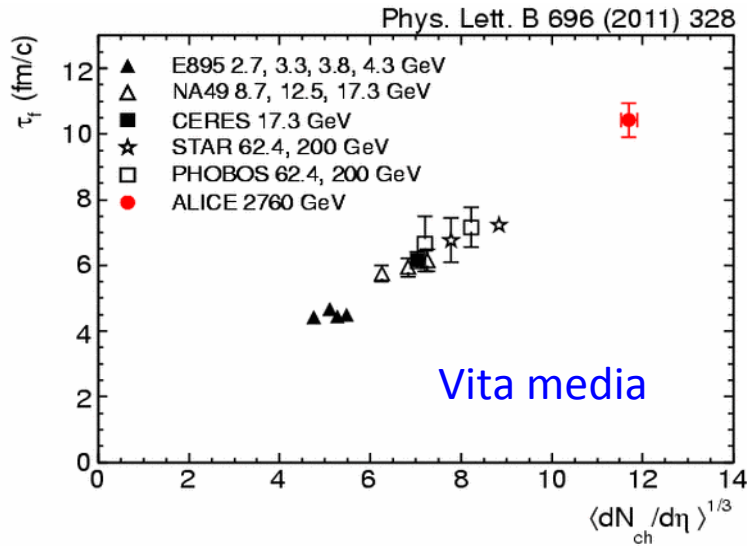
$$\epsilon \approx 1 \text{ GeV/fm}^3$$

Nel QGP i nucleoni perdono la propria identità:

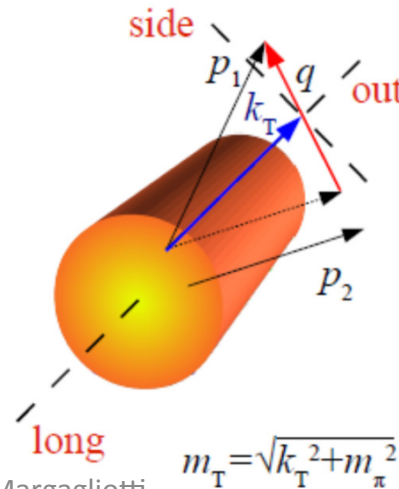
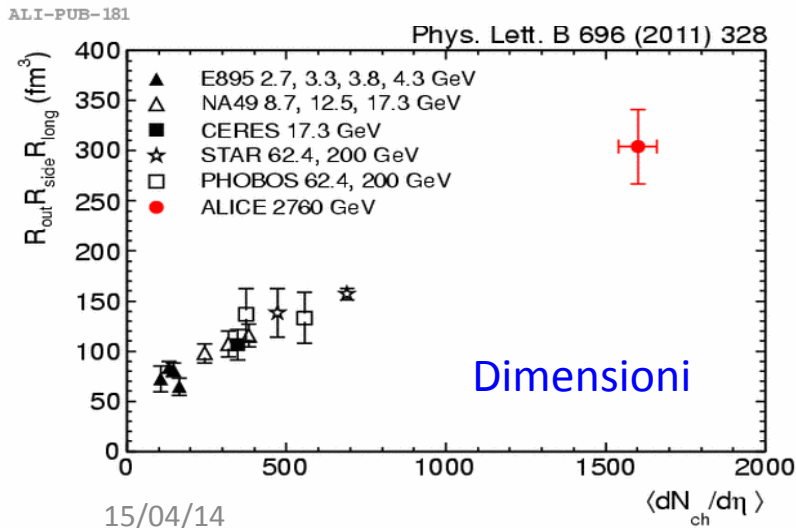
- schermaggio di colore
- deconfinamento partonico
- ripristino simmetria chirale

Il Quark Gluon Plasma in ALICE

ALICE, rispetto al passato, estende l'osservazione in una zona del diagramma di fase più favorevole alla creazione di **fireball** di **QGP** di dimensioni e durata maggiori



	SPS	RHIC	LHC
$v_{S_{NN}}$ (TeV)	0.017	0.2	5.5
T/T_c	1.1	1.9	3 - 4
ϵ (GeV/fm ³)	3	5	15 - 60
τ_{QGP} (fm/c)	≤ 2	2 - 4	≥ 10
V_f (fm ³)	few 10 ³	few 10 ⁴	few 10 ⁵



$$1 \text{ fm/c} \approx 3.33 \cdot 10^{-24} \text{ s}$$

Volume di freeze-out chimico

Condizioni iniziali: geometria della collisione

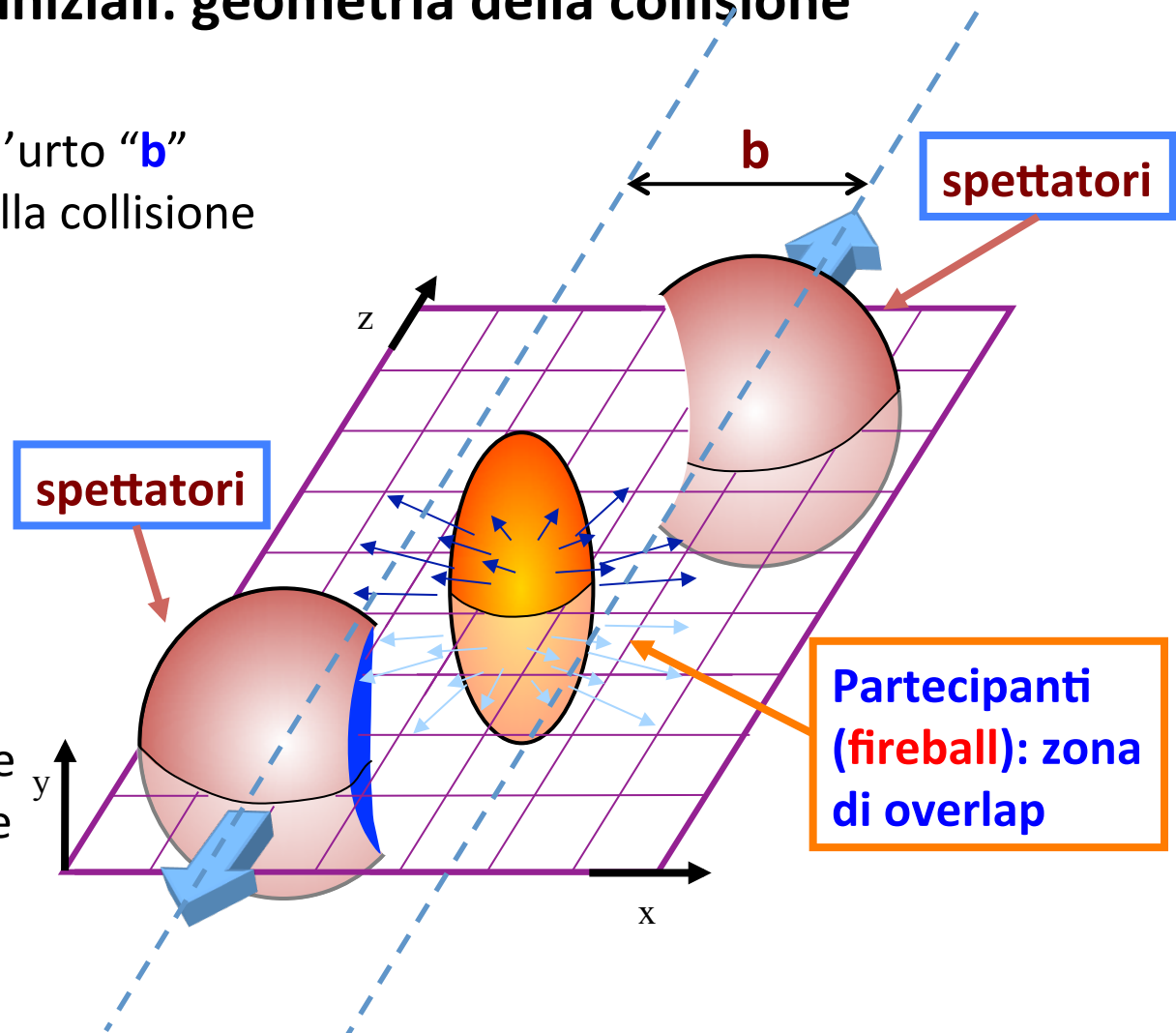
Centralità e parametro d'urto "**b**"
selezione sulla geometria della collisione

Urti periferici $\Rightarrow b \approx b_{\max}$

Urti centrali $\Rightarrow b \approx 0$

- Caratterizzare un evento
significa come prima cosa
poter risalire al valore di **b**

Da ciò dipendono dimensione
della fireball ed ϵ , asimmetrie
nelle direzioni d'emissione
dei prodotti, ...



È quindi essenziale poter misurare la centralità di ogni interazione

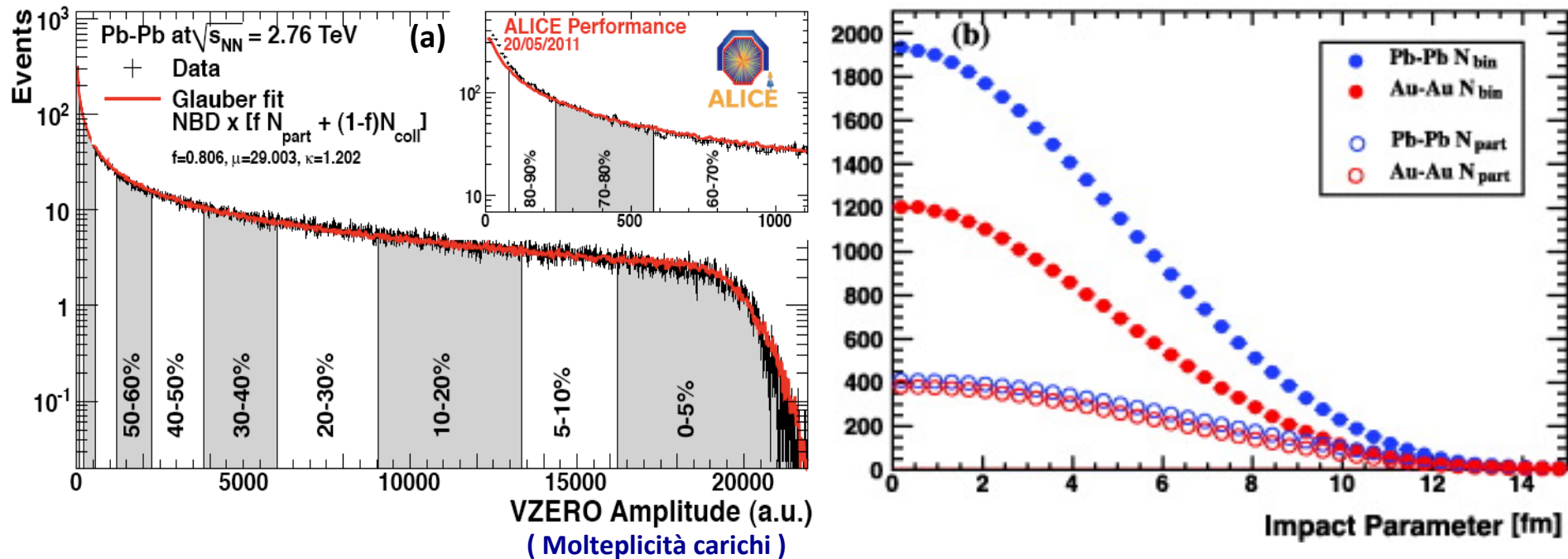
Si utilizza il modello di Glauber ... !

Glauber

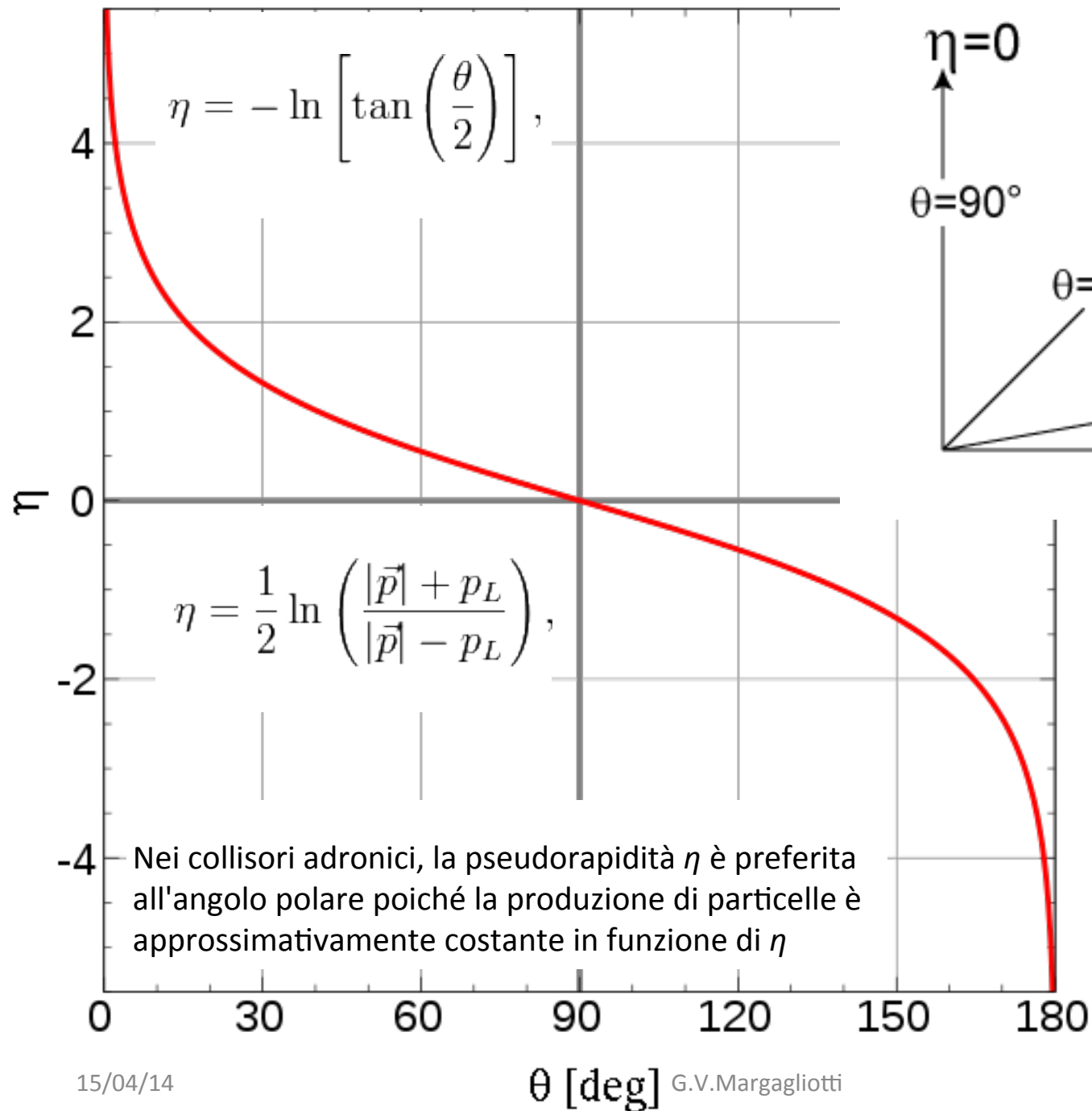
- Modello semi-classico per geometria collisione tra due nuclei con parametro d'urto b
- Interazione fra nuclei come **sovrapposizione incoerente di interazioni fra i nucleoni costituenti**

Permette un calcolo quantitativo di:

- Probabilità di interazione
- Numero di collisioni elementari nucleone-nucleone (N_{coll})
- Numero di nucleoni partecipanti (N_{part})
- Numero di nucleoni spettatori
- Dimensioni della regione di sovrapposizione



(a) Distrib. carichi da urti Pb–Pb con ALICE: indicati i % di centralità. **(b)** Numero partecipanti N_{part} e di urti binari N_{bin} vs parametro d'urto per Pb–Pb & Au–Au a 2.76 TeV e 0.2 TeV, rispettivamente



**Pseudo-
Rapidità:**

“ η ”

(θ = angolo polare
rispetto asse
del fascio)

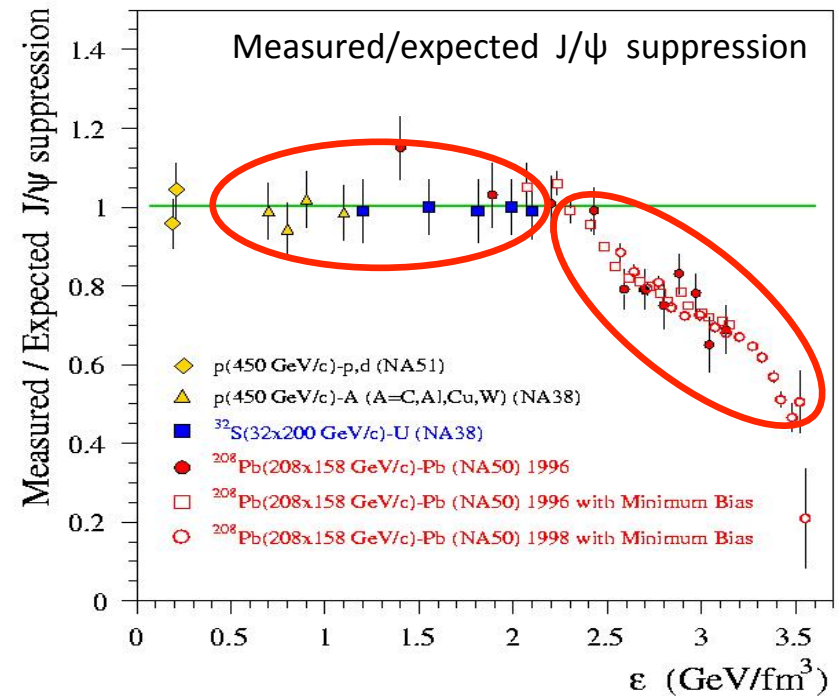
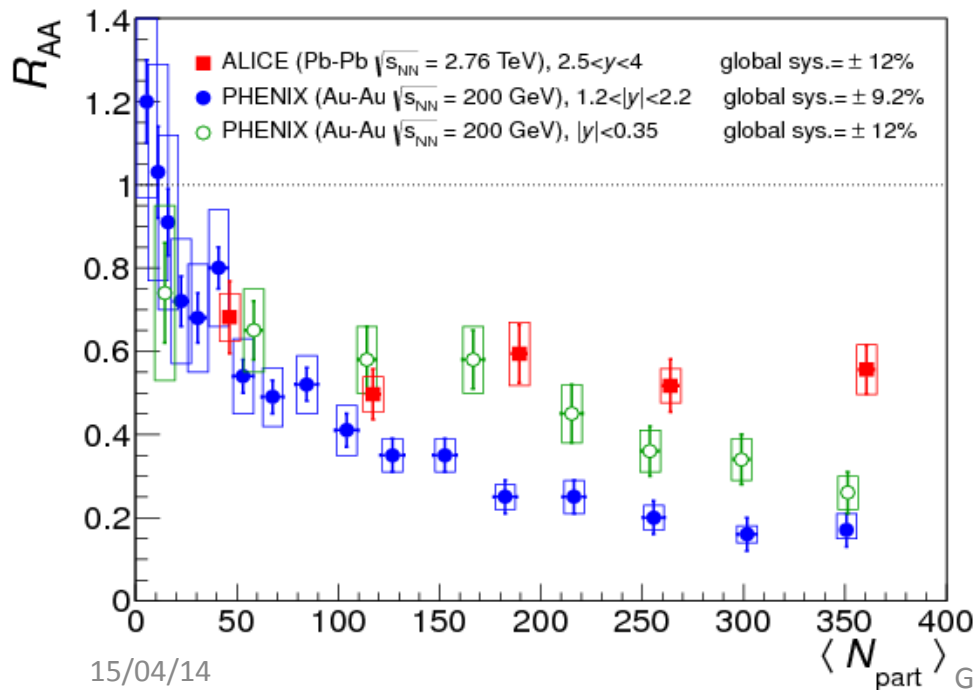
- Per mettere in evidenza il **QGP**, e studiarne le caratteristiche, bisogna individuare in modo chiaro e inequivocabile alcuni effetti evidenziabili tramite la rivelazione dei prodotti dell'interazione fra gli ioni collidenti
- Questi effetti possono essere ipotizzati dai modelli con cui si descrive lo stato di **QGP**; il loro riscontro sperimentale costituisce delle condizioni “necessarie” per la supposta presenza del **QGP**, in base al modello

Sono sostanzialmente delle **firme** del **QGP** !

- soppressione degli stati $c\bar{c}$ e $b\bar{b}$ (quarkonia)
- aumento della stranezza
- presenza di open charm & beauty
- soppressione della correlazione back-to-back
- soppressione ad alto p_t
- produzione di γ & leptoni diretti

Soppressione dei quarkonia (stati quark-antiquark)

- Nel QGP, la formazione di stati $c\bar{c}$ e $b\bar{b}$ è sfavorita dallo schermaggio di colore. Al freeze-out i due quark hanno meno probabilità di unirsi
- Studi precedenti mostrano soppressione negli urti tra ioni
- LHC, più densità d'energia ($\epsilon = 15\text{-}60 \text{ GeV}/\text{fm}^3$) favorisce maggiore produzione di quarkonia che neutralizza in parte lo schermaggio di colore



Nuclear modification factor: R_{AA}

deviazione degli "yields" per interazioni fra nuclei, rispetto a quelli per interazioni fra coppie di nucleoni, scalate sul totale dei nucleoni in gioco per l'interazione fra nuclei

$$R_{AA} = \frac{N_{AA}^{particle}}{N_{coll} N_{pp}^{particle}}$$

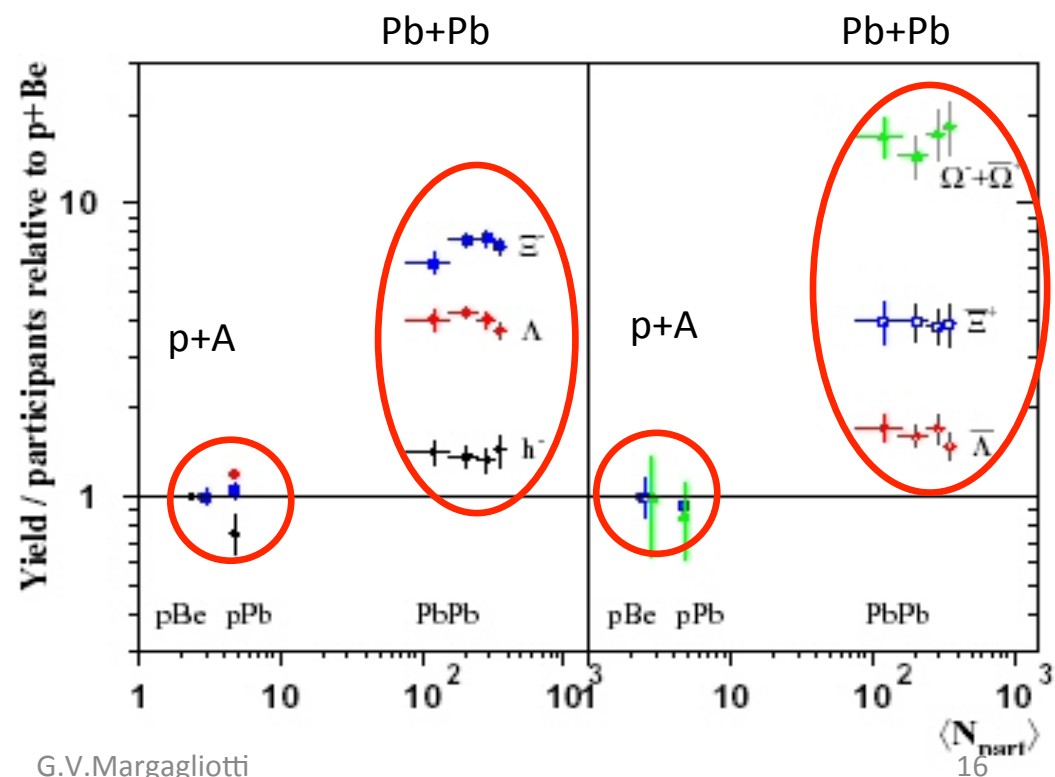
Aumento della stranezza

- Normalmente la produzione di barioni strani è soppressa per la considerevole massa del quark strano: $m_s \approx 500 \text{ MeV}/c^2$
- Nel **QGP**:
 - la massa del quark s tende alla massa nuda $m_s \approx 100 \text{ MeV}/c^2$
 - il quark s viene prodotto più facilmente
 - l'aumento è sistematicamente più elevato in accordo col numero di quark strani contenuti nella particella

Nei dati raccolti ad SPS e RHIC:

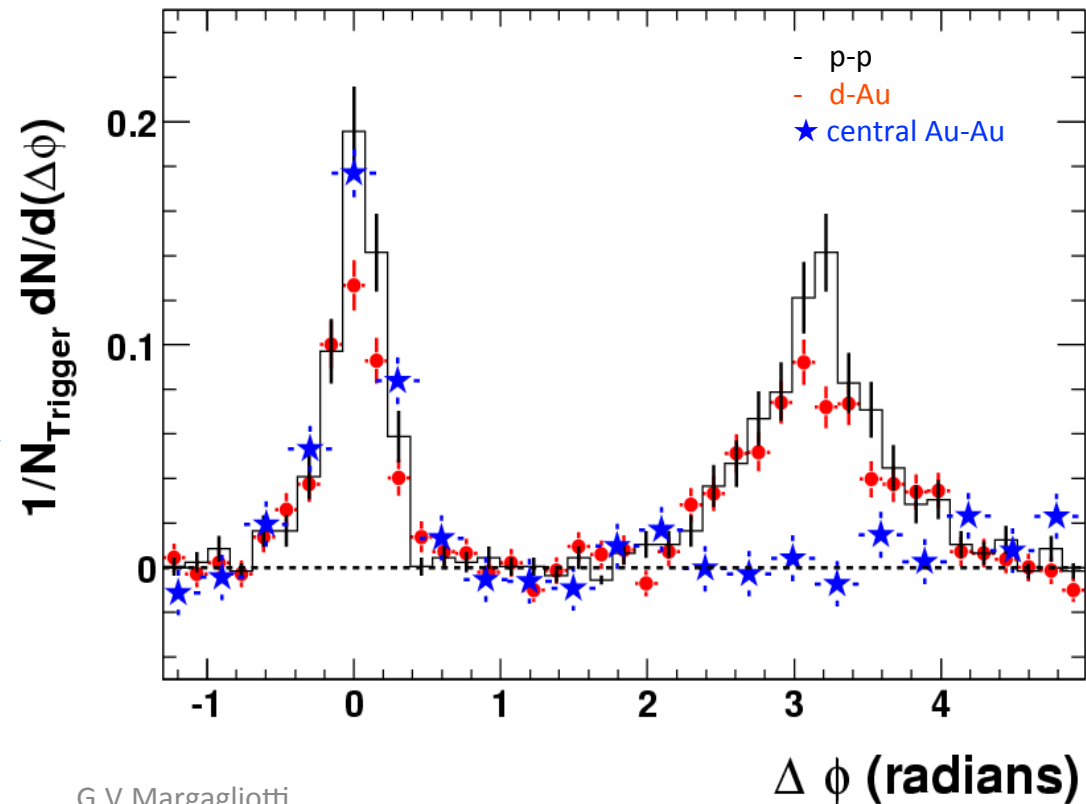
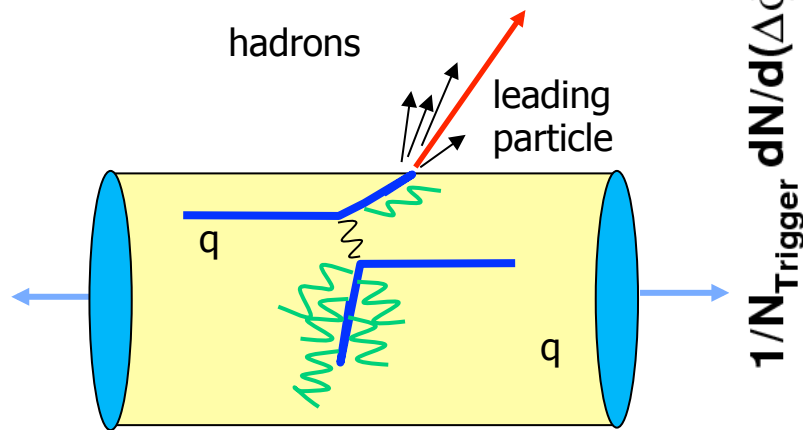
- nessun aumento in p+Pb
- grande aumento di produzione di barioni strani osservato in collisioni Pb+Pb rispetto a p+A

Aumento ancora maggiore ad LHC (Pb+Pb) confermato dalle analisi in corso ...



Correlazioni azimutali dei jet (jet quenching)

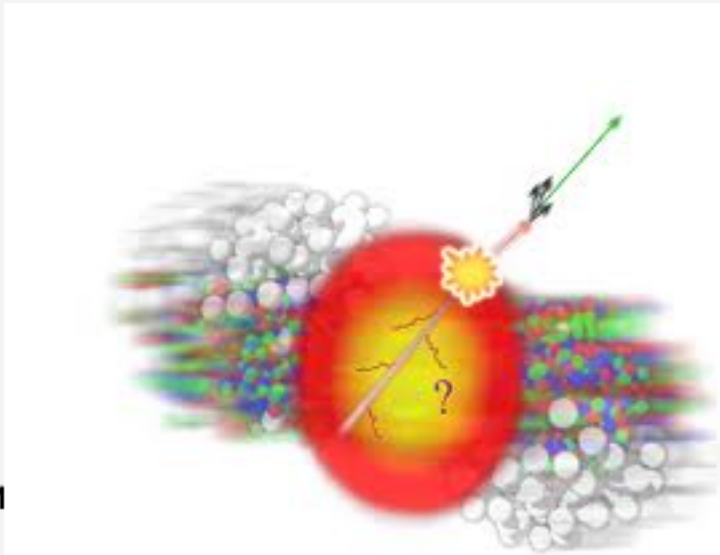
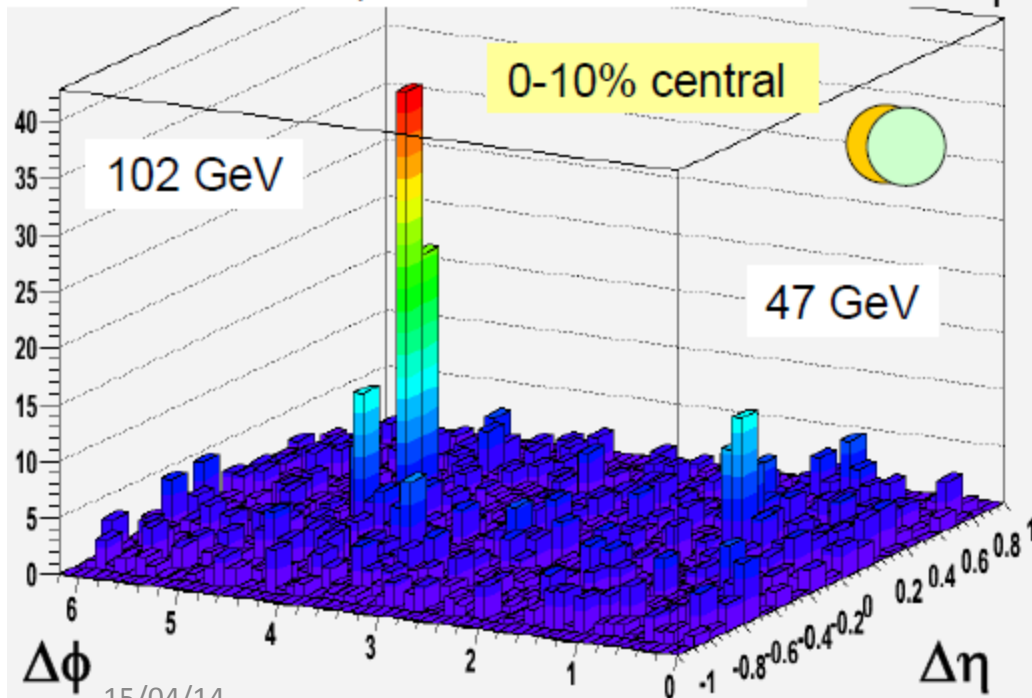
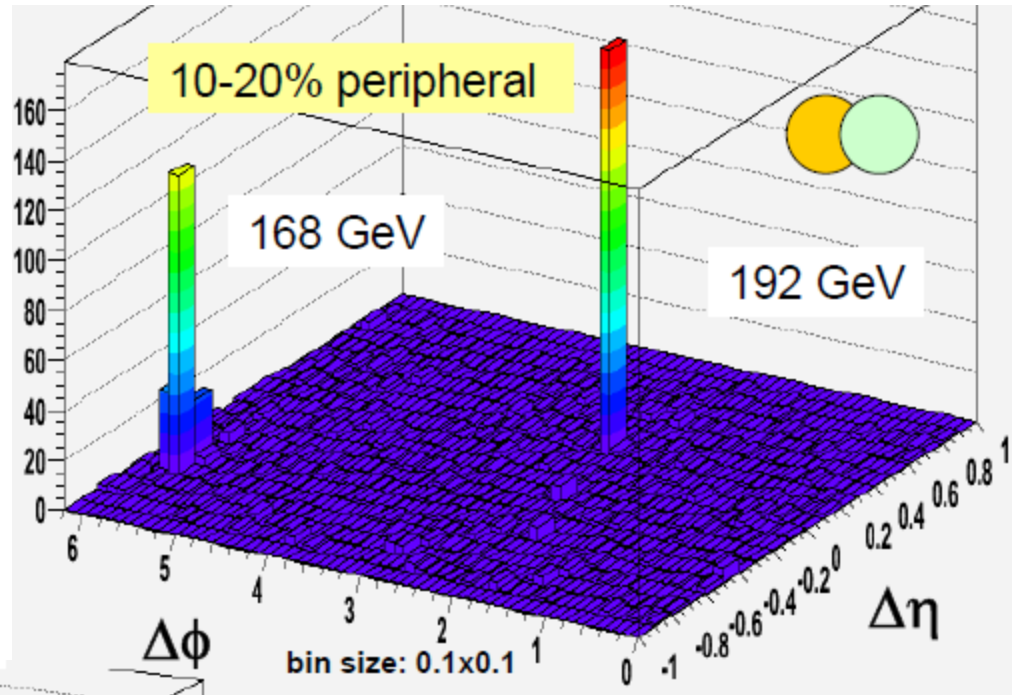
- La densità nella zona centrale della **fireball** è tale che quel volume risulta **opaco** (fortemente interagente)
- Il partone più vicino alla superficie dà luogo a un Jet individuabile, l'altro ha forte probabilità di essere **riassorbito** nel mezzo



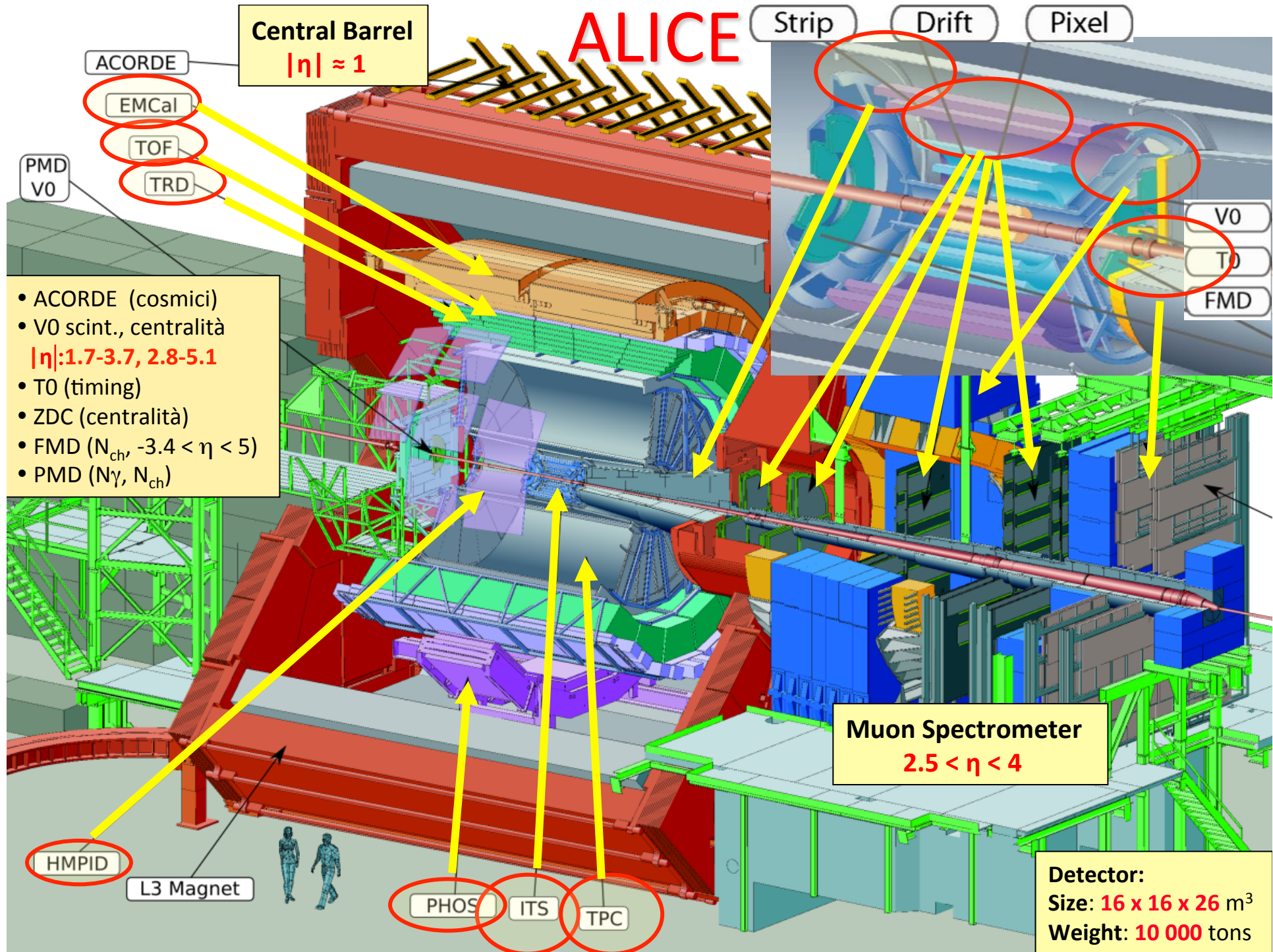
Due esempi di jet rivelati con

ALICE (Pb-Pb a 2.76 TeV/NN)

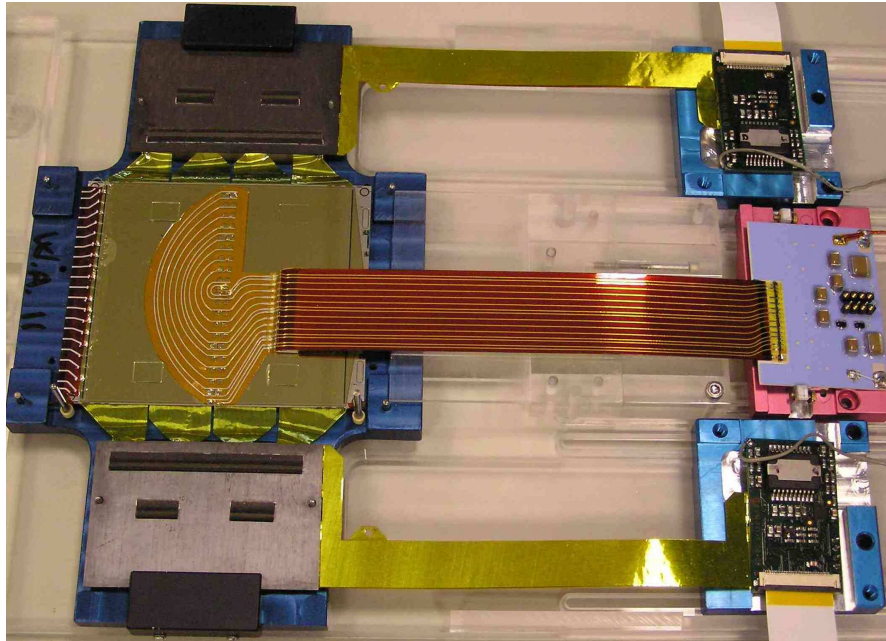
Il secondo, associato a un evento più centrale, mostra chiaro effetto di quenching



ALICE



Panoramica su quanto realizzato a Trieste per **ALICE**



2 dei 3 rivelatori che compongono il
tracciatore di vertice: **ITS**

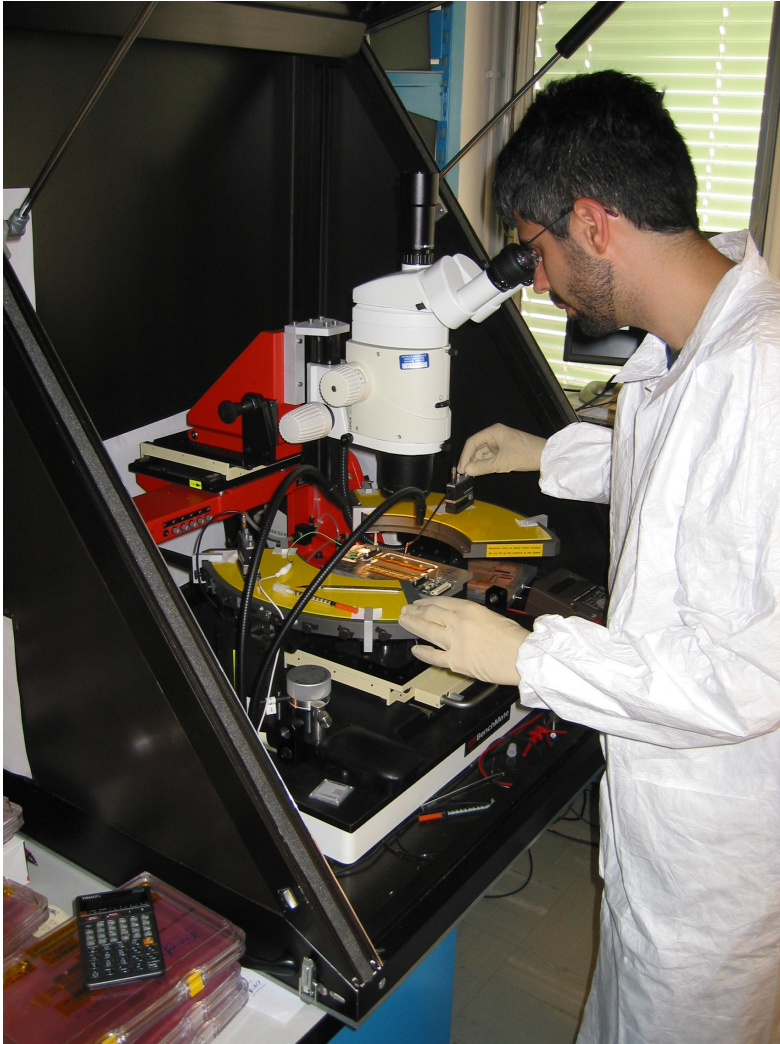
- Sviluppo rivelatori a deriva di silicio **SDD**
- Progetto, realizzazione e test dei primi prototipi
- Ottobre **2002**, completato disegno finale **SDD** per ALICE. Ancora oggi è il più grande SDD realizzato

- Produzione SDD per ALICE dal **2004** al **2007**.
A Trieste testati e validati \approx 600 sensori
- I sensori idonei sono stati assemblati a costituire i **moduli SDD** e testati a loro volta in 2 anni di attività

Il tutto si è quindi trasferito al CERN per la fase operativa del rivelatore



Rivelatore **SSD ALICE** (Trieste)

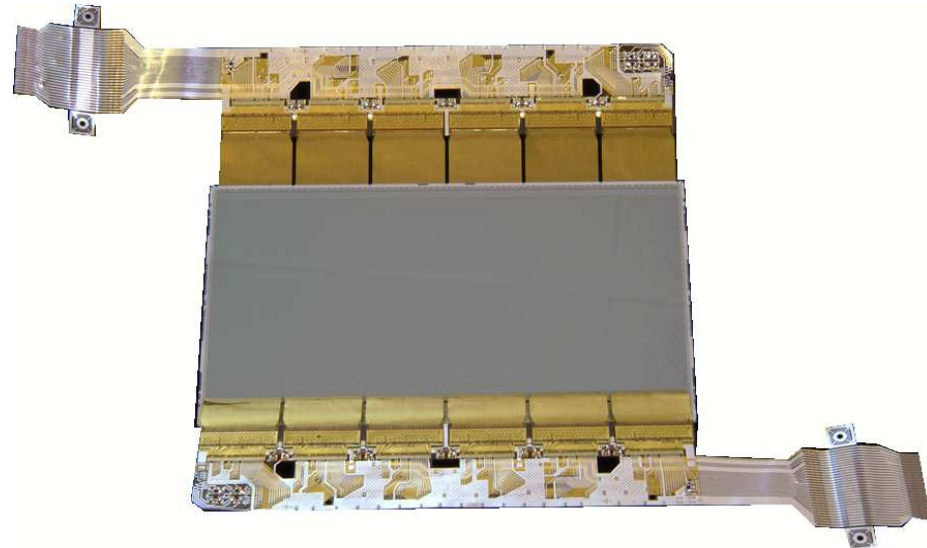


15/04/14

1999-2000: progetto sensore μ -strip a doppia faccia

2000-2002: primi prototipi; test irraggiamento a Trieste; finalizzazione del progetto e primi test sotto fascio al CERN -> **2003**

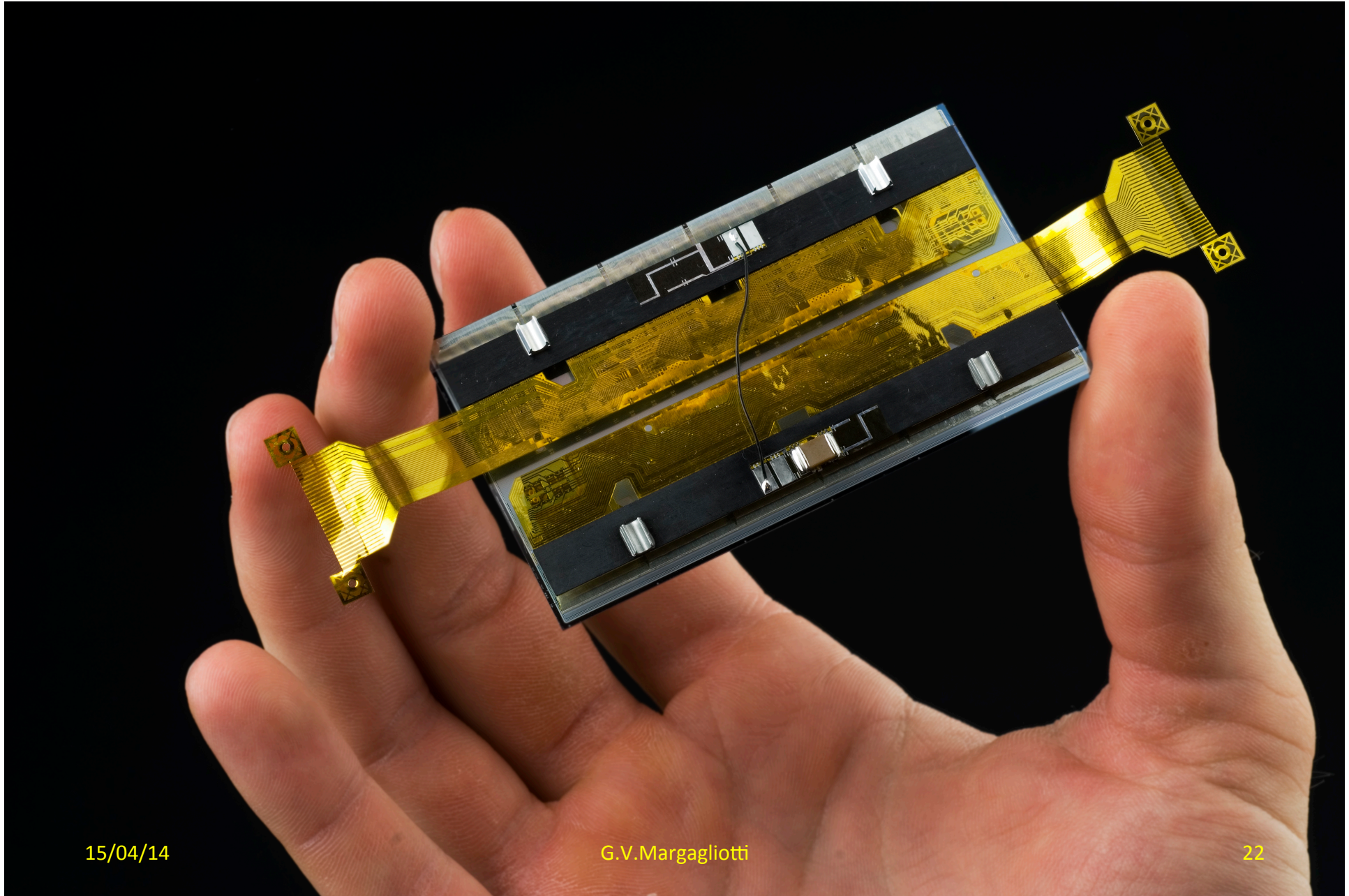
2003-2006: produzione **SSD** per ALICE; test e validazione di oltre 2300; con MIPOT vengono prodotti e validati il 40% dei circa 2000 **moduli SSD** costituenti l'intero rivelatore. Contributo al montaggio e test finale a Utrecht

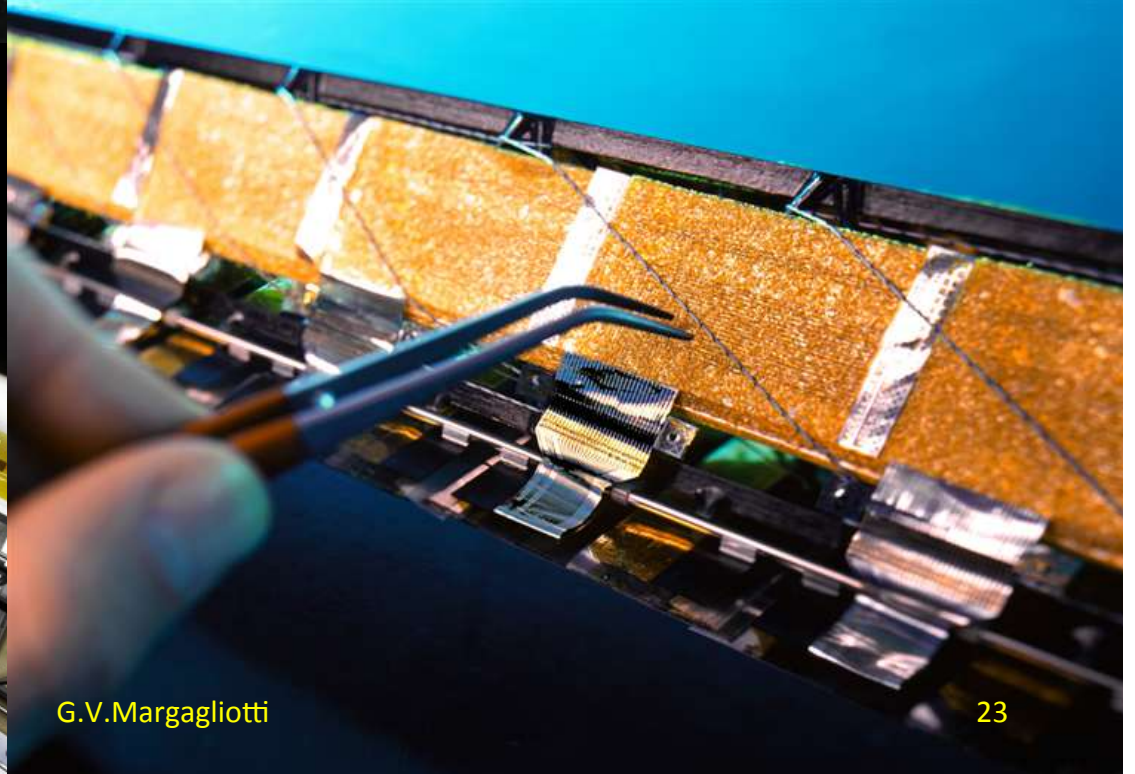
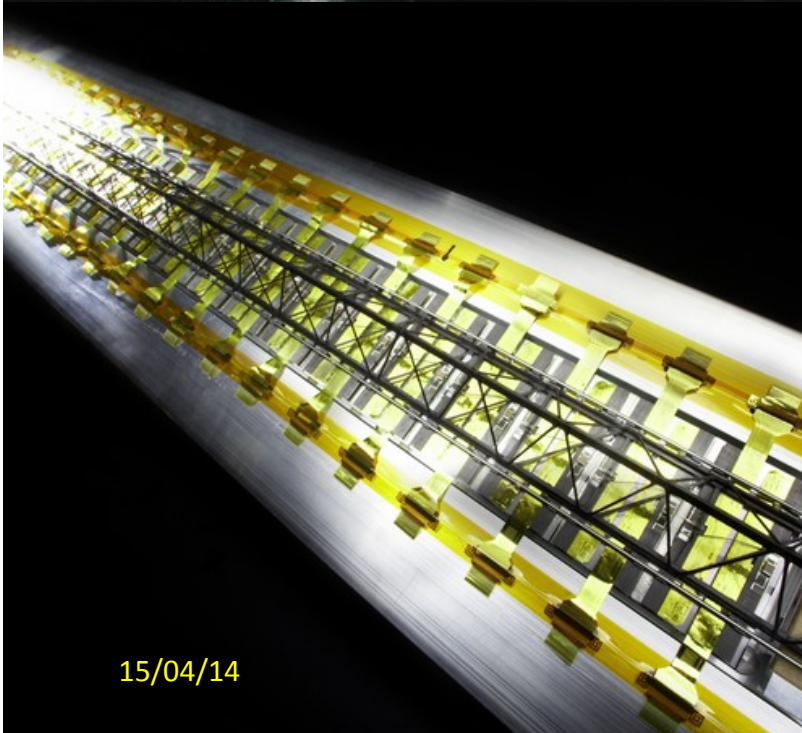
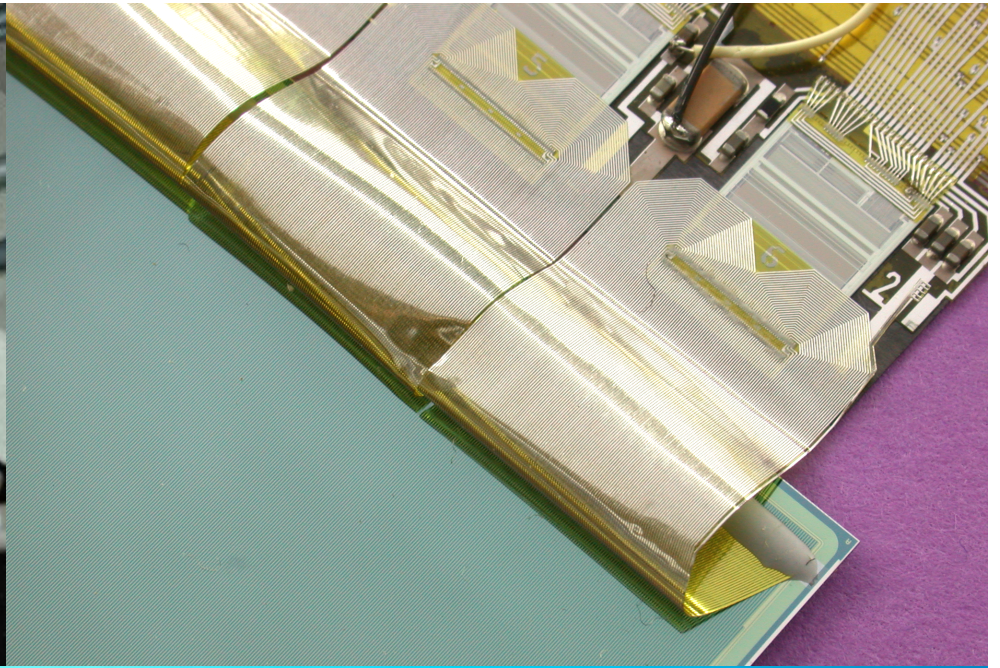
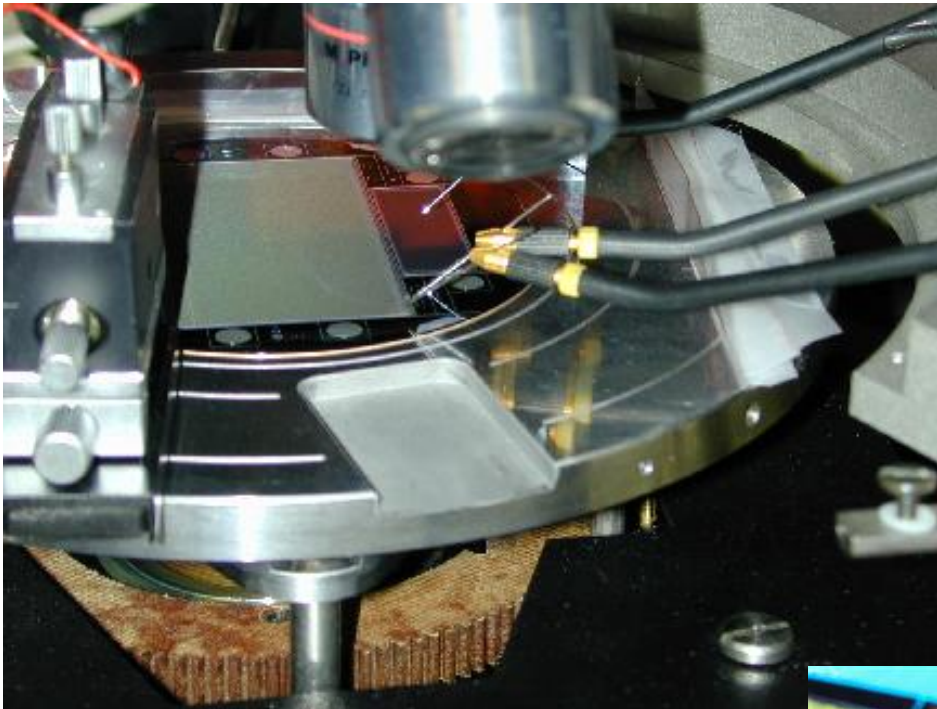


G.V.Margagliotti

21

Rivelatore **SSD** **ALICE** (Trieste)





15/04/14

G.V.Margagliotti

23



A fine **2006**, **SSD** viene trasportato
al **CERN** e accoppiato a **SDD**
- nel **marzo 2007** inserito in **ALICE**

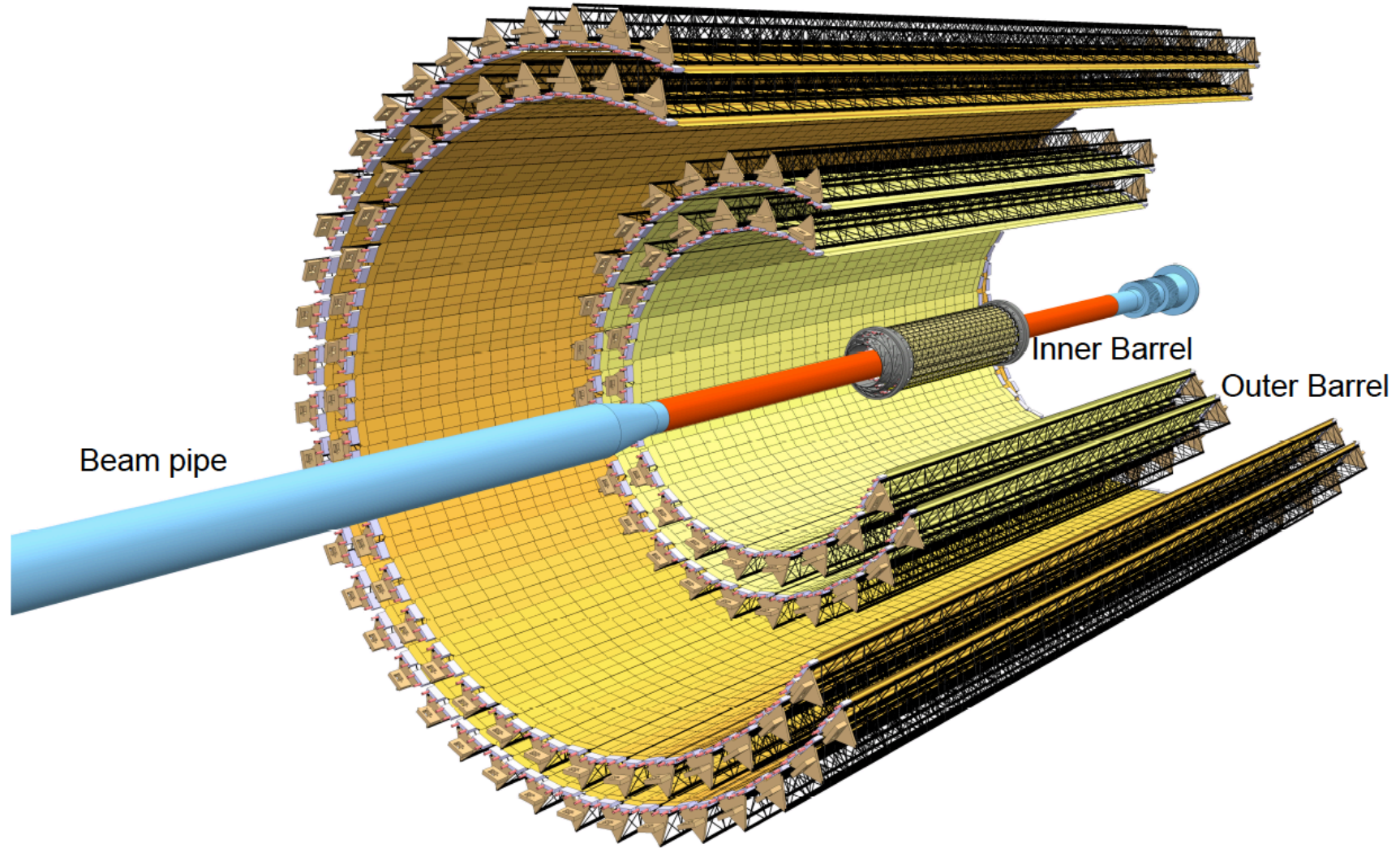
15/04/14



G.V.Margagliotti

24

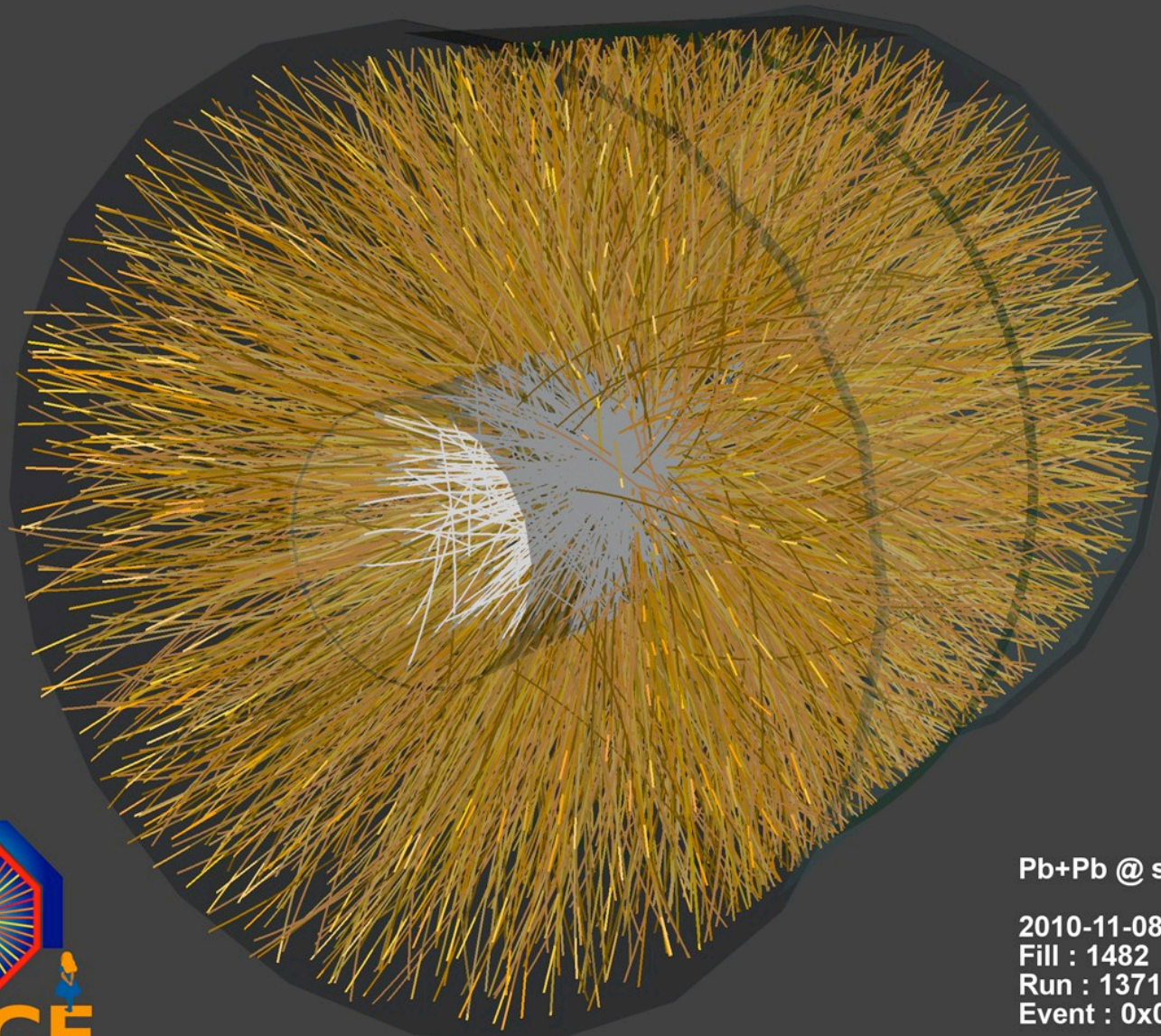
Upgrade Inner Tracking System di **ALICE**



Calcolo **A L I C E** (Trieste)

- **2000**: Farm 14 dual core PC e disk-server. Intensa attività locale calcolo/simulazione su **Open Charm** in **p-Pb** (D^0)
- **FARM** dal **2003**: riunisce necessità di calcolo di tutti i gruppi presenti in Sezione INFN TS, al cui sviluppo e mantenimento **ALICE TS** ha contribuito costantemente
- **ALICE TS**: interesse centro analisi parallela-interattiva con sistemi di cluster elaboratori virtuali (**2009**)
- **2010** - Integrazione FARM TS in **Alice-Grid**
- **2011** - Studio fattibilità centro per analisi utente a Trieste:
 - attivazione sito per batch job
 - studio virtualizzazione e integrazione
 - attivazione centro analisi per utenti locali → **2012**
- **Oggi** - Simulazioni e analisi dati anche per **Upgrade**
Sviluppi di CLOUD





15/04/14

G.V.Margagliotti

Pb+Pb @ $\sqrt{s} = 2.76$ ATeV

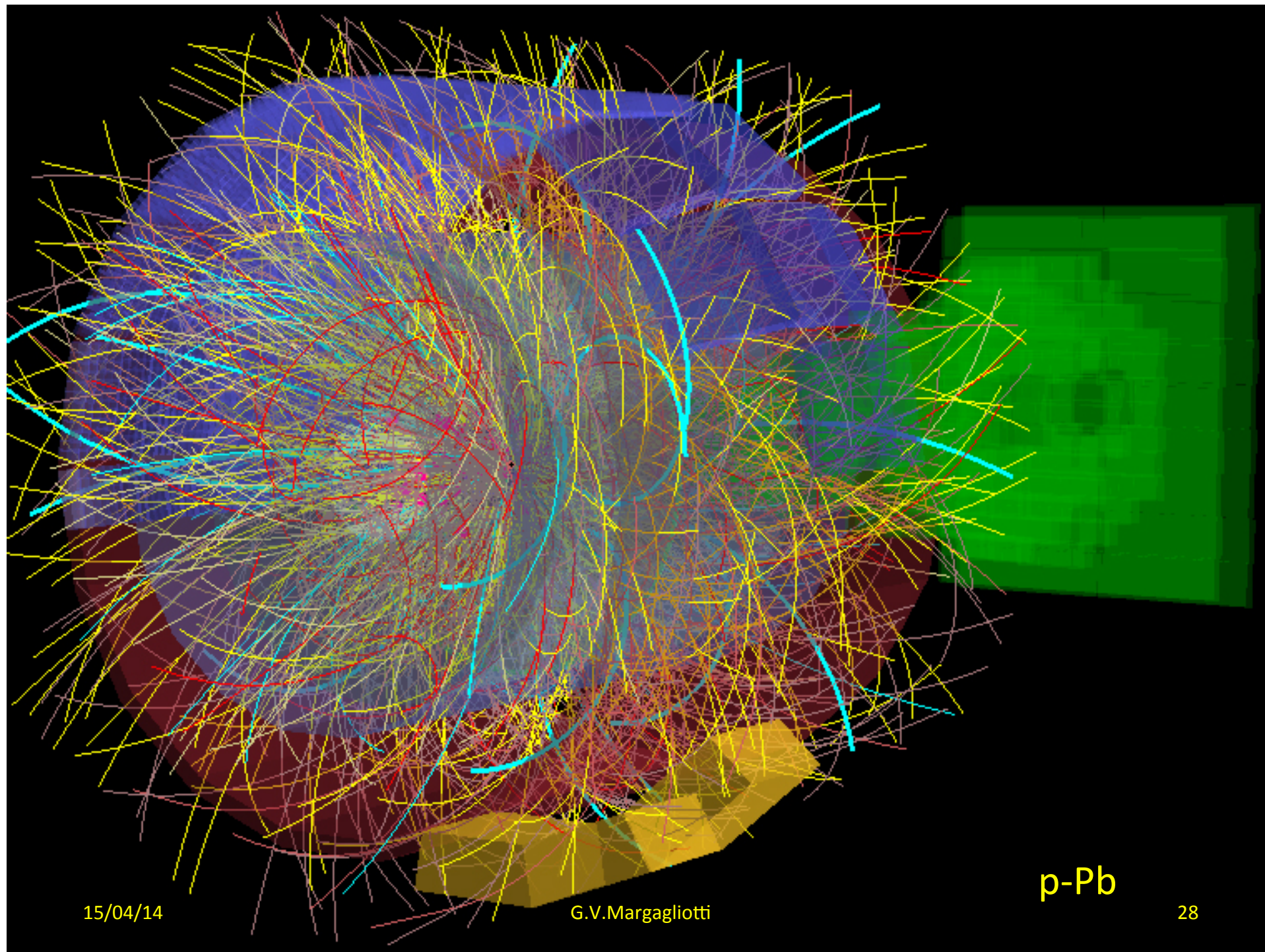
2010-11-08 11:30:46

Fill : 1482

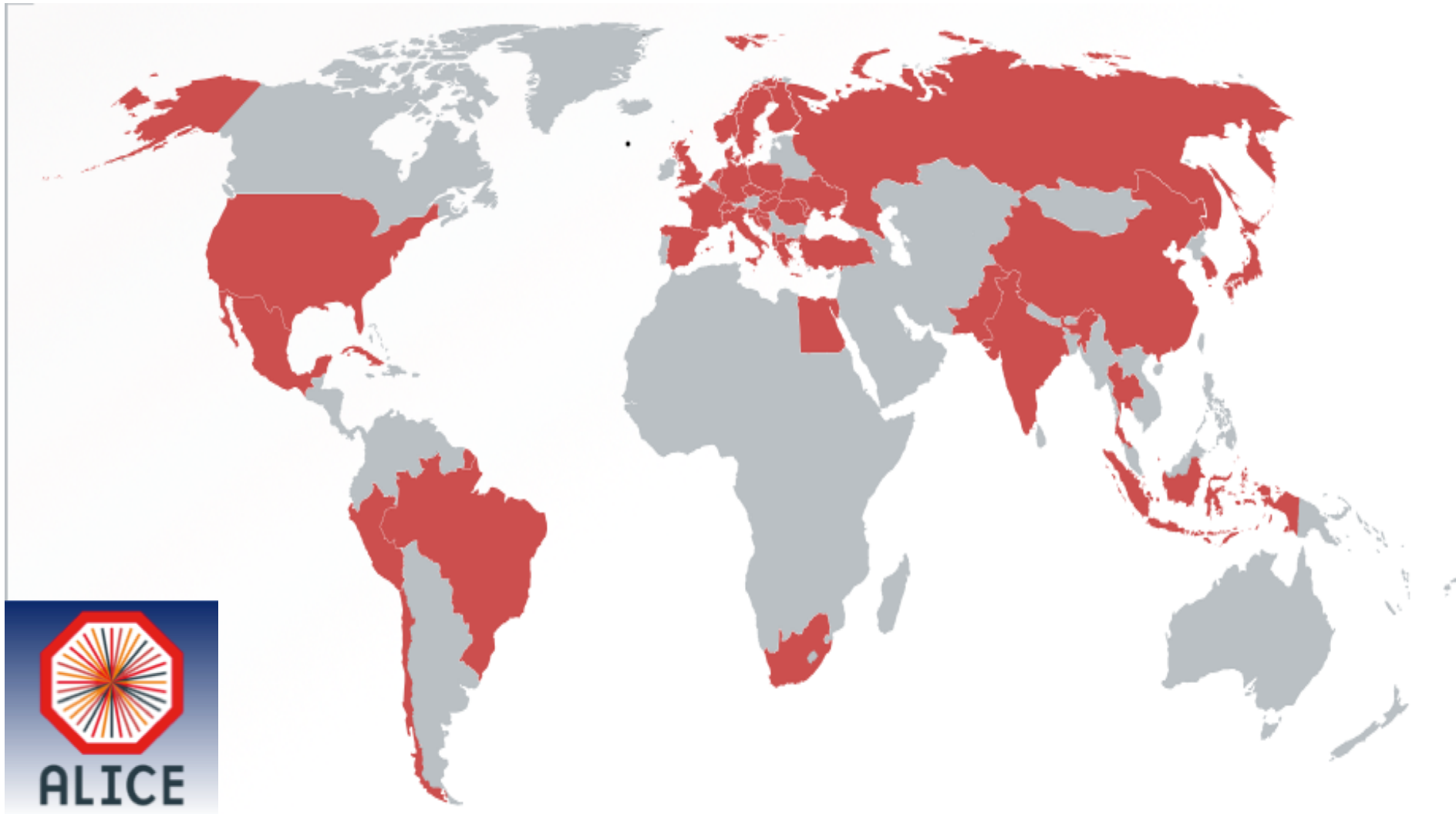
Run : 137124

Event : 0x00000000D3BBE693

27



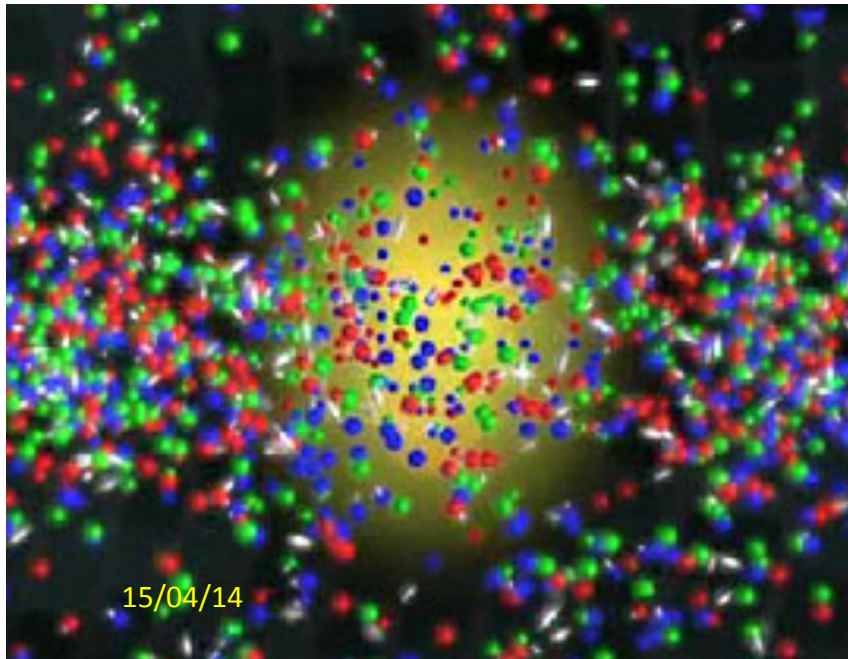
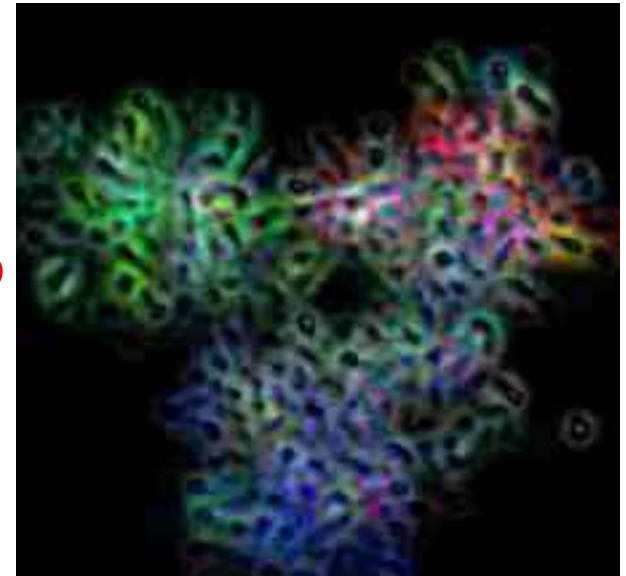
ALICE Collaboration :
37 Nazioni, **151** Istituti e oltre **1550** partecipanti



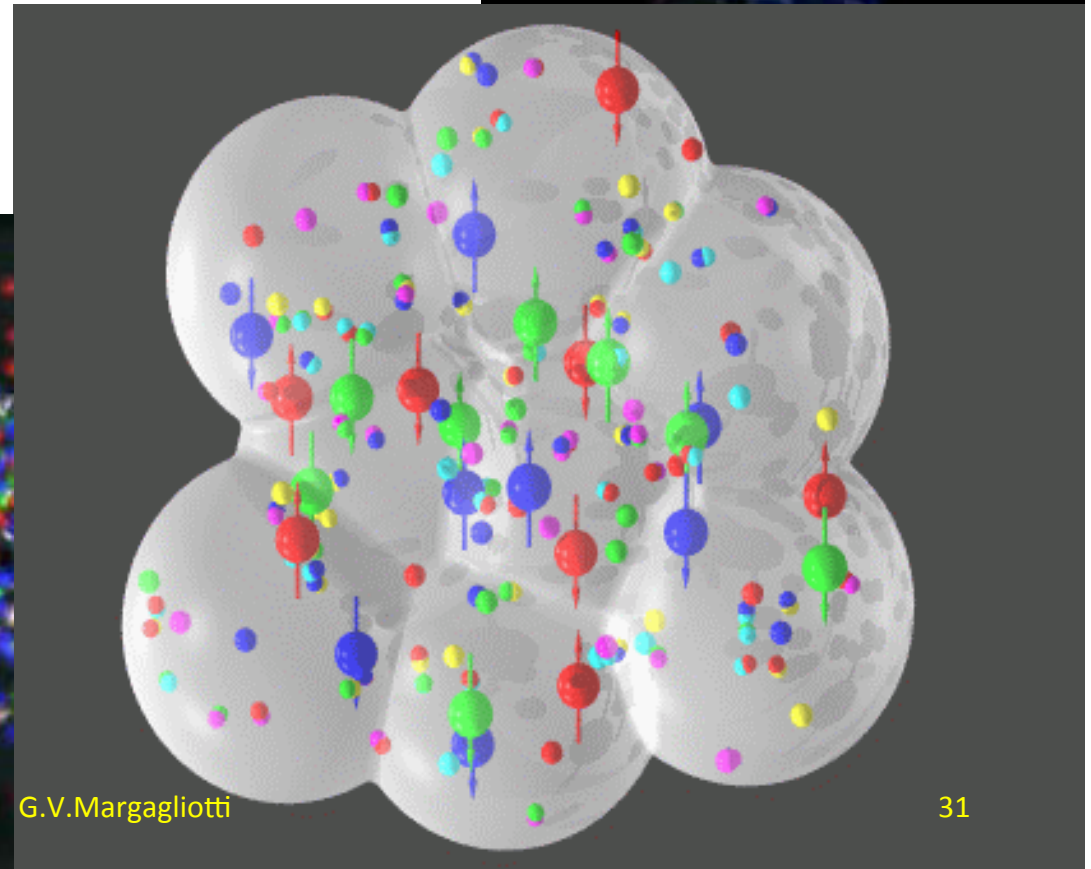




Cos'altro ... ?



15/04/14



G.V.Margagliotti

31