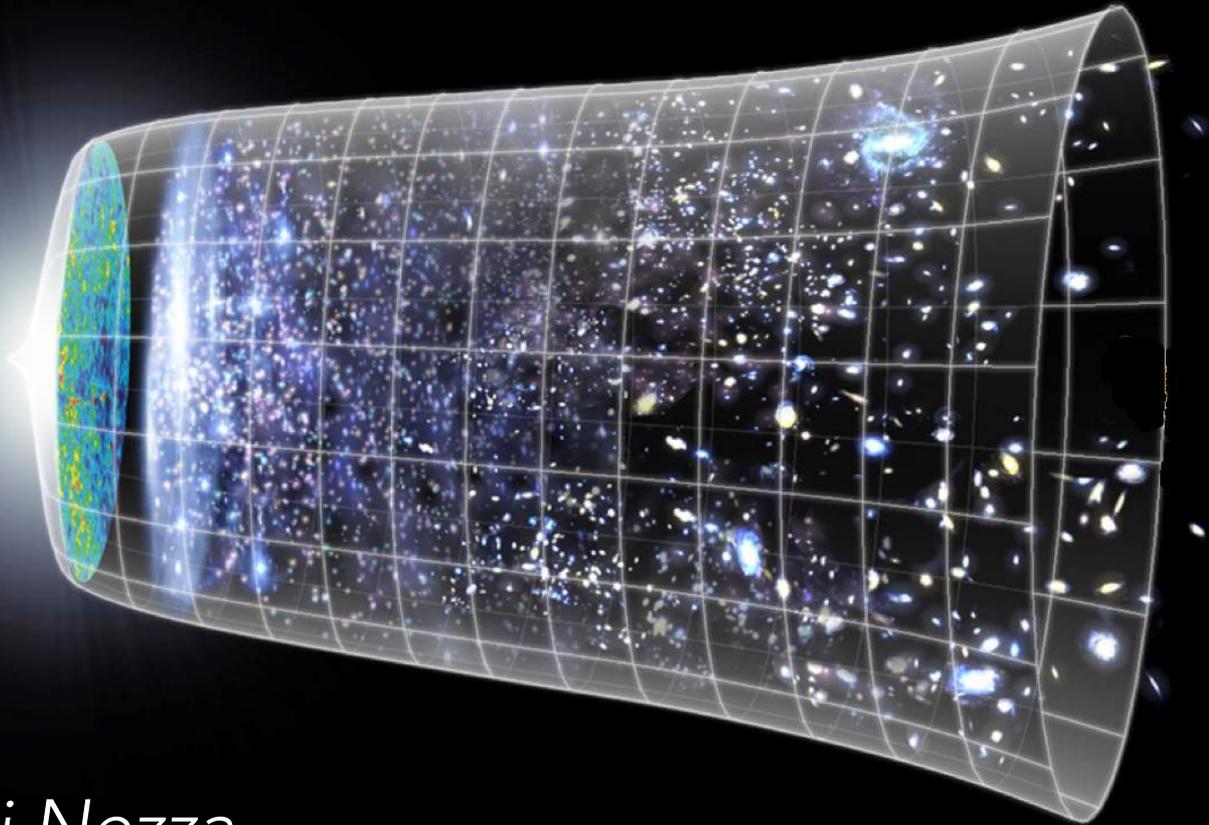


# 2.000.000.000 °C in laboratorio

## *L'Universo primordiale all'LHC*



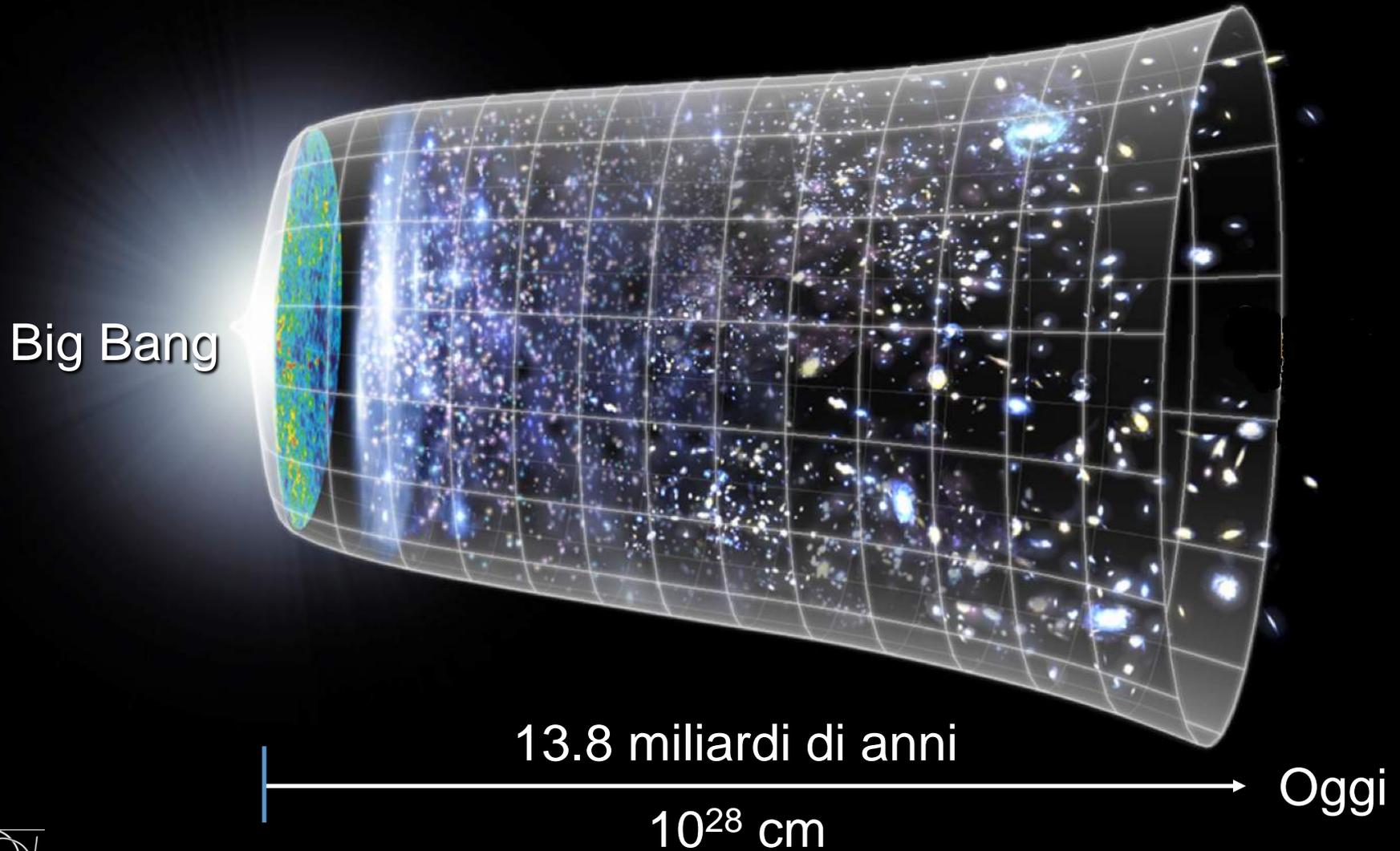
*Pasquale Di Nezza*

Da dove veniamo?  
Che cosa siamo?  
Dove andiamo?



Qual è la natura della materia nell'Universo?  
E la sua evoluzione?

# Comprendere i primissimi istanti di vita del nostro Universo dopo il Big Bang





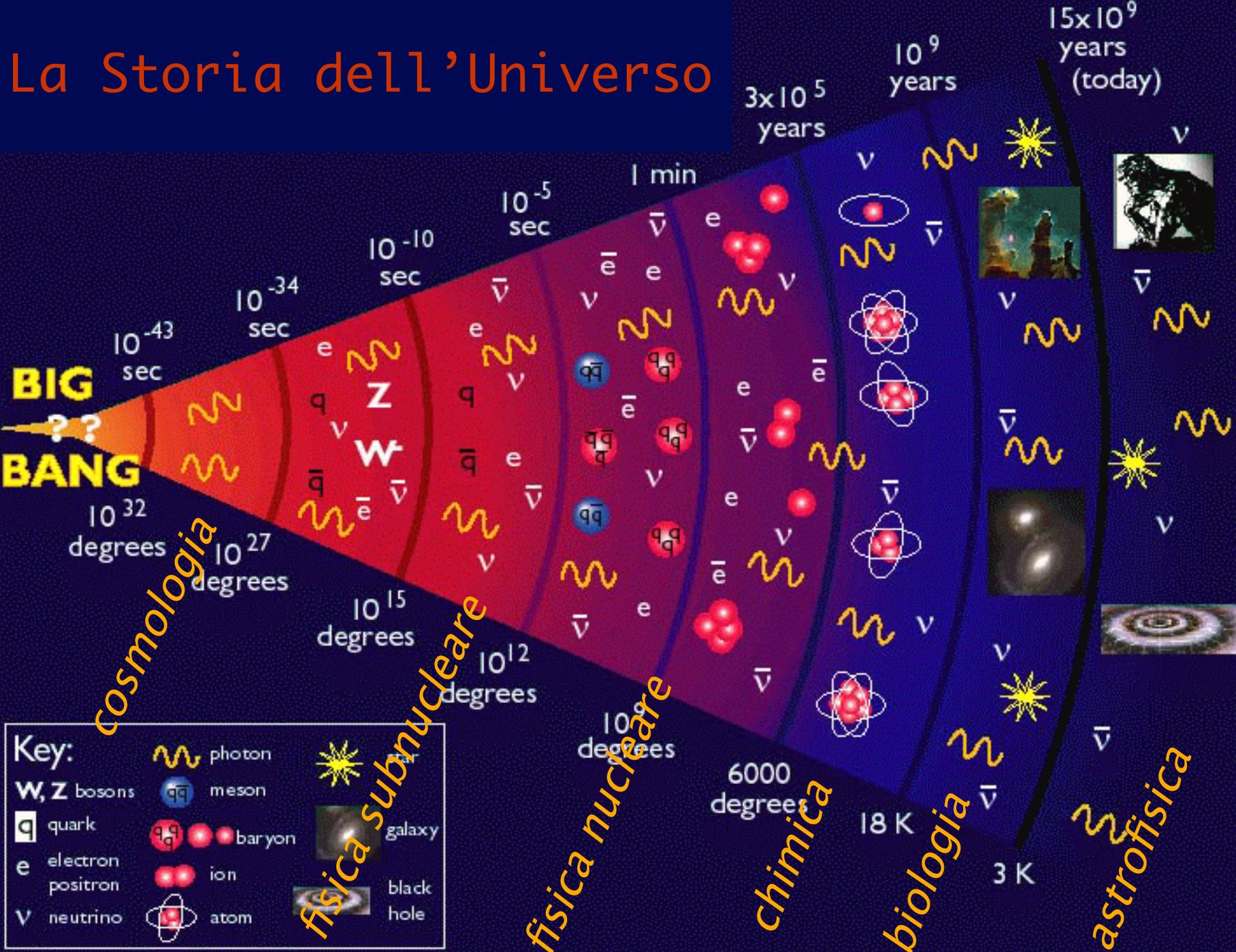
**Per capire la natura intima della materia bisogna essere in grado di:**

ricreare le condizioni dei primi istanti dell'Universo

ricreare i portatori d'informazione

ricreare le particelle

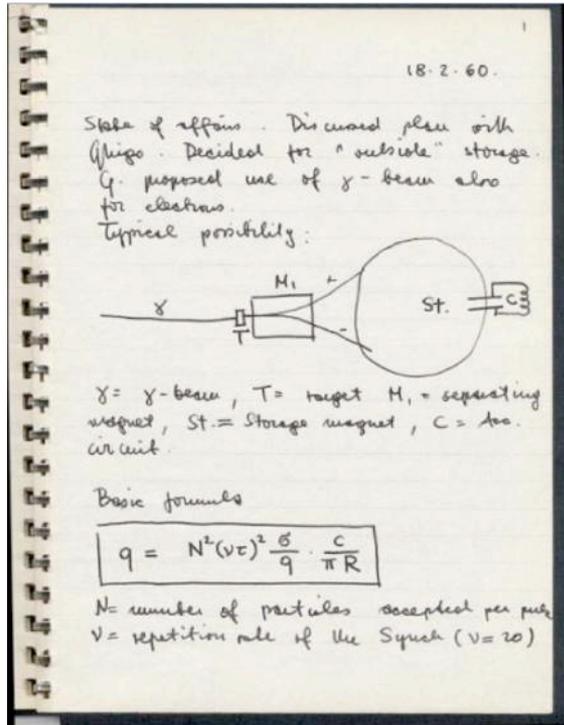
# La Storia dell'Universo



# Fabbriche di particelle: gli acceleratori



# Fabbriche di particelle: gli acceleratori



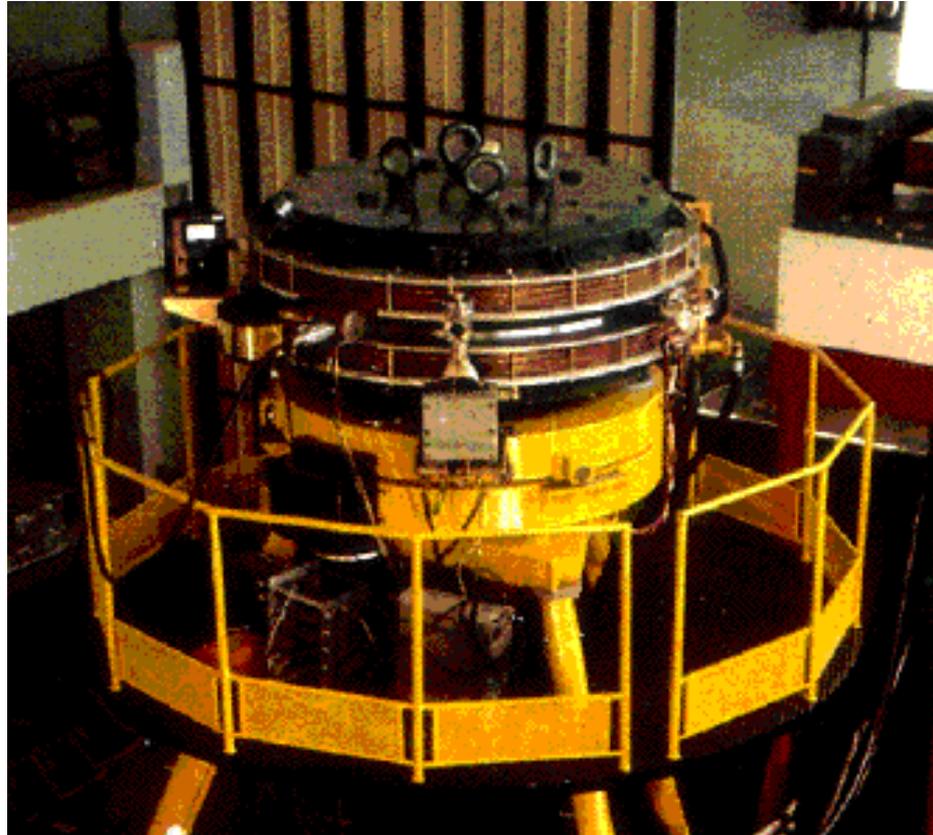
ADA (Anello di Accumulazione): il primo acceleratore collisore fascio-fascio



Lavoro geniale di Bruno Touschek.  
Acceleratore realizzato sotto la sua supervisione ai Laboratori Nazionali di Frascati all'inizio degli anni '60.  
Le prime particelle circolarono il 27 Febbraio 1961.

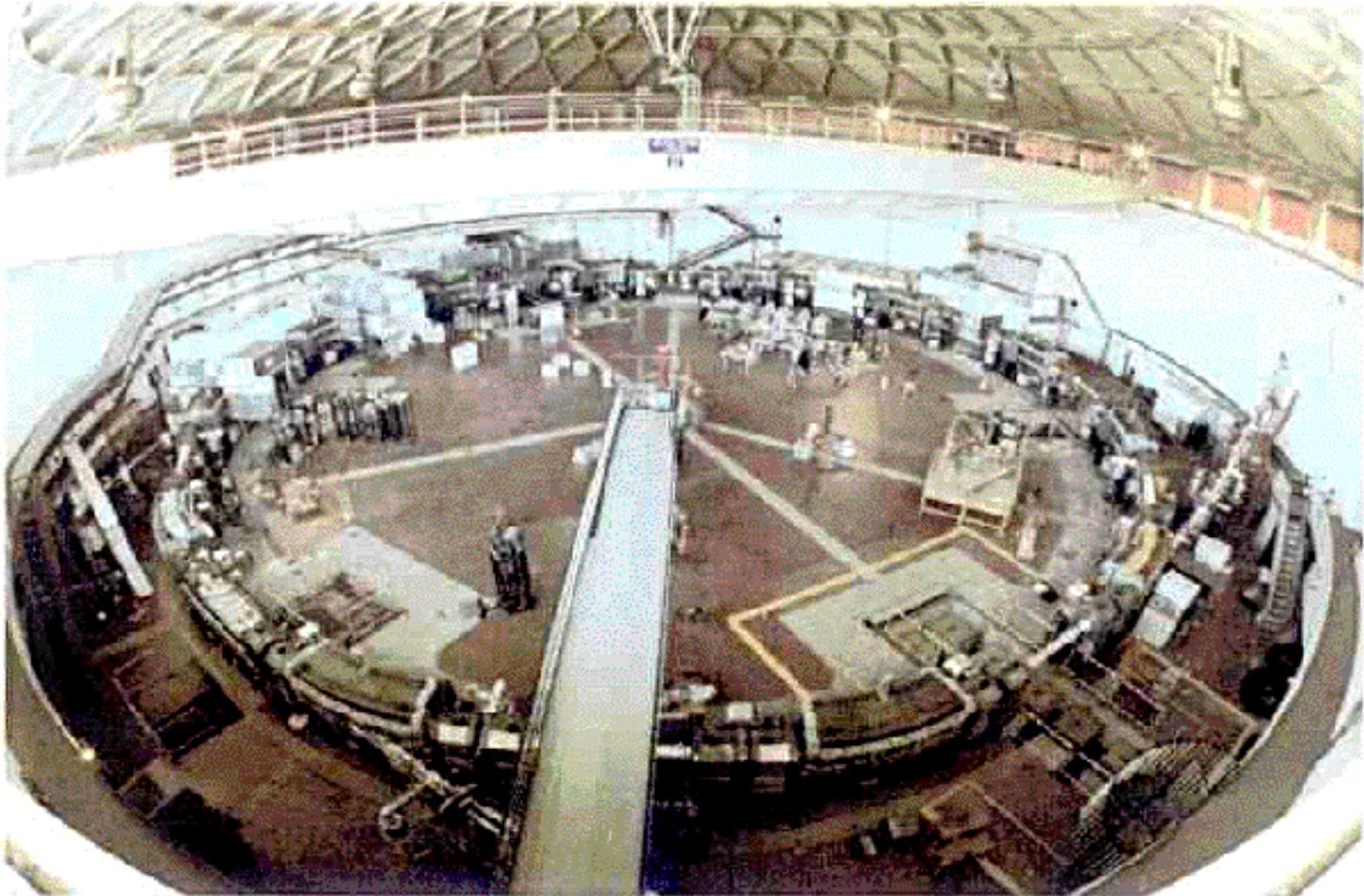
# Fabbriche di particelle: gli acceleratori

ADA a Frascati 1959

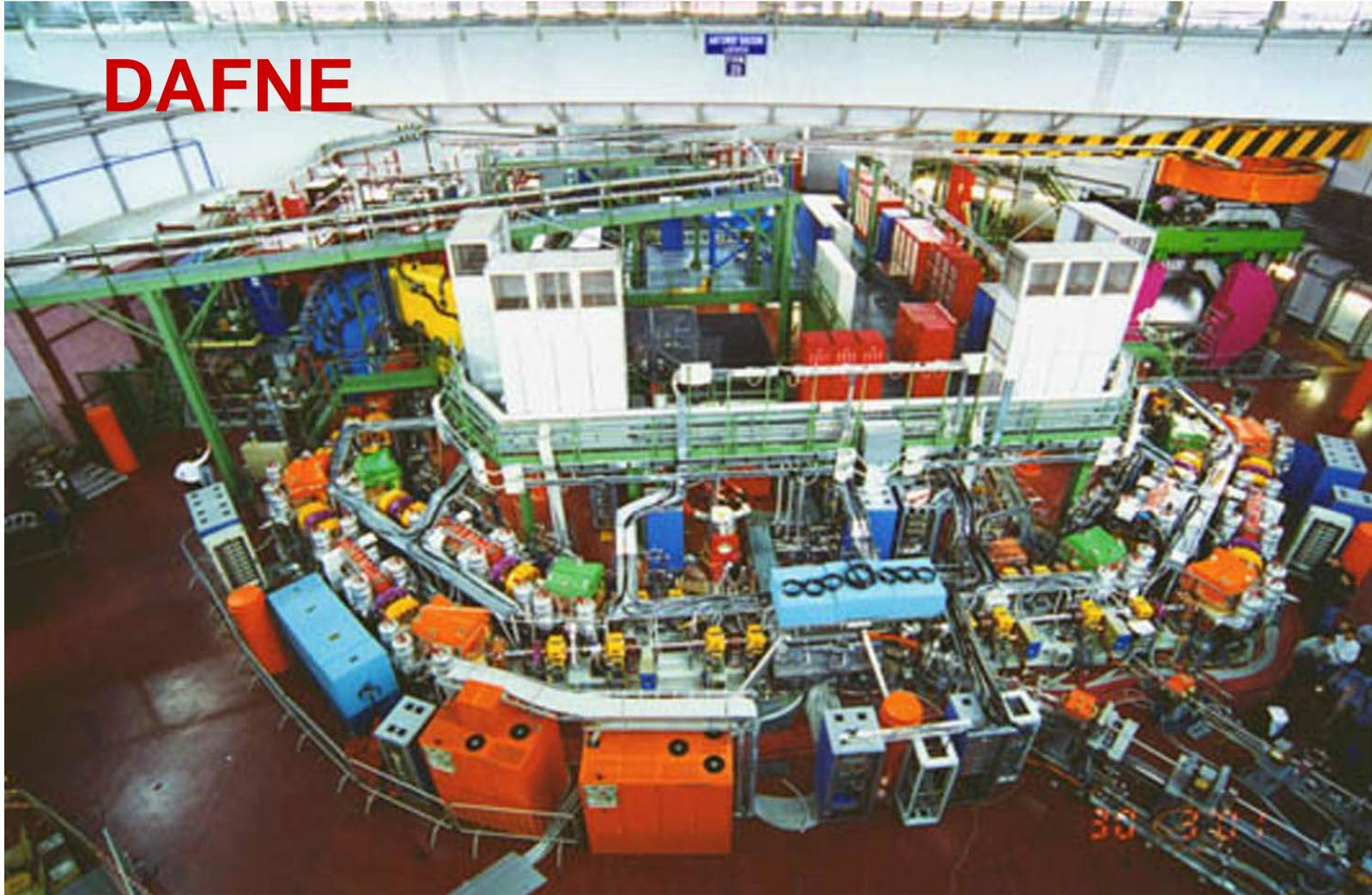


# Fabbriche di particelle: gli acceleratori

ADONE a Frascati nel 1969



# Fabbriche di particelle: gli acceleratori

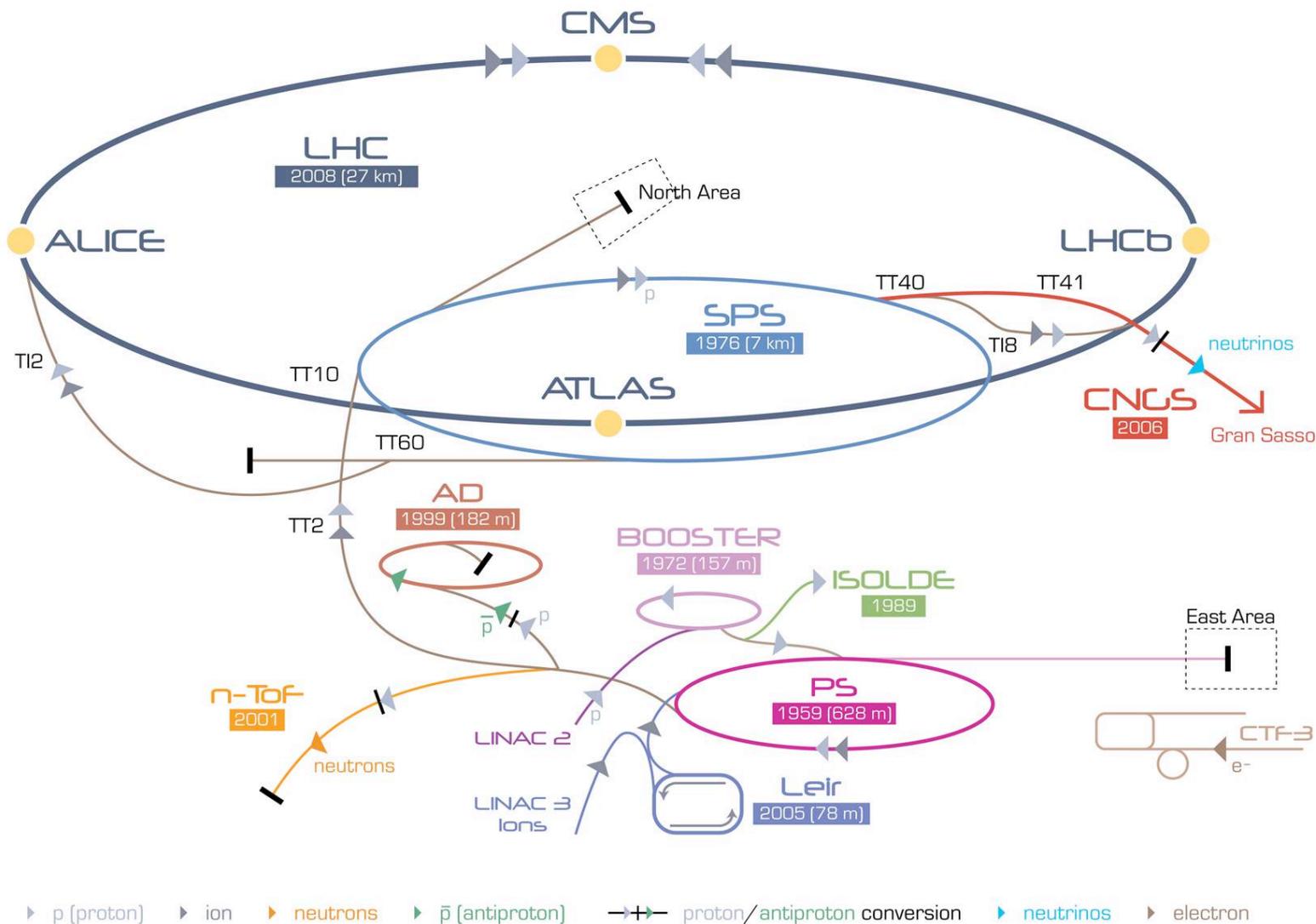
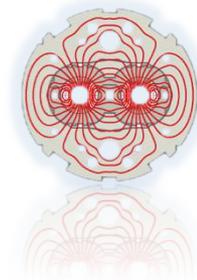


# Fabbriche di particelle: gli acceleratori



LHC al Cern di Ginevra nel 2009

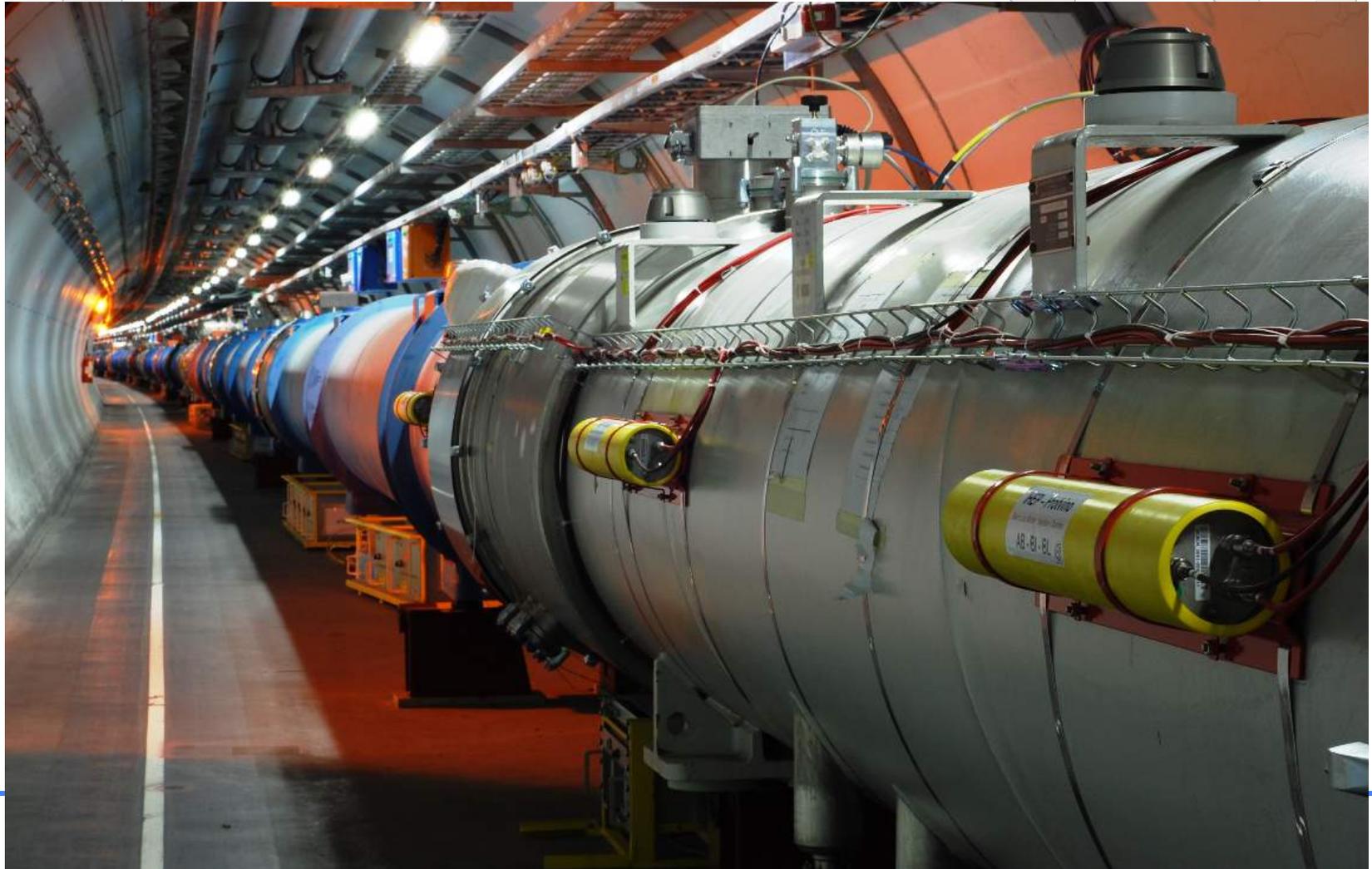
# Complesso degli acceleratori del CERN



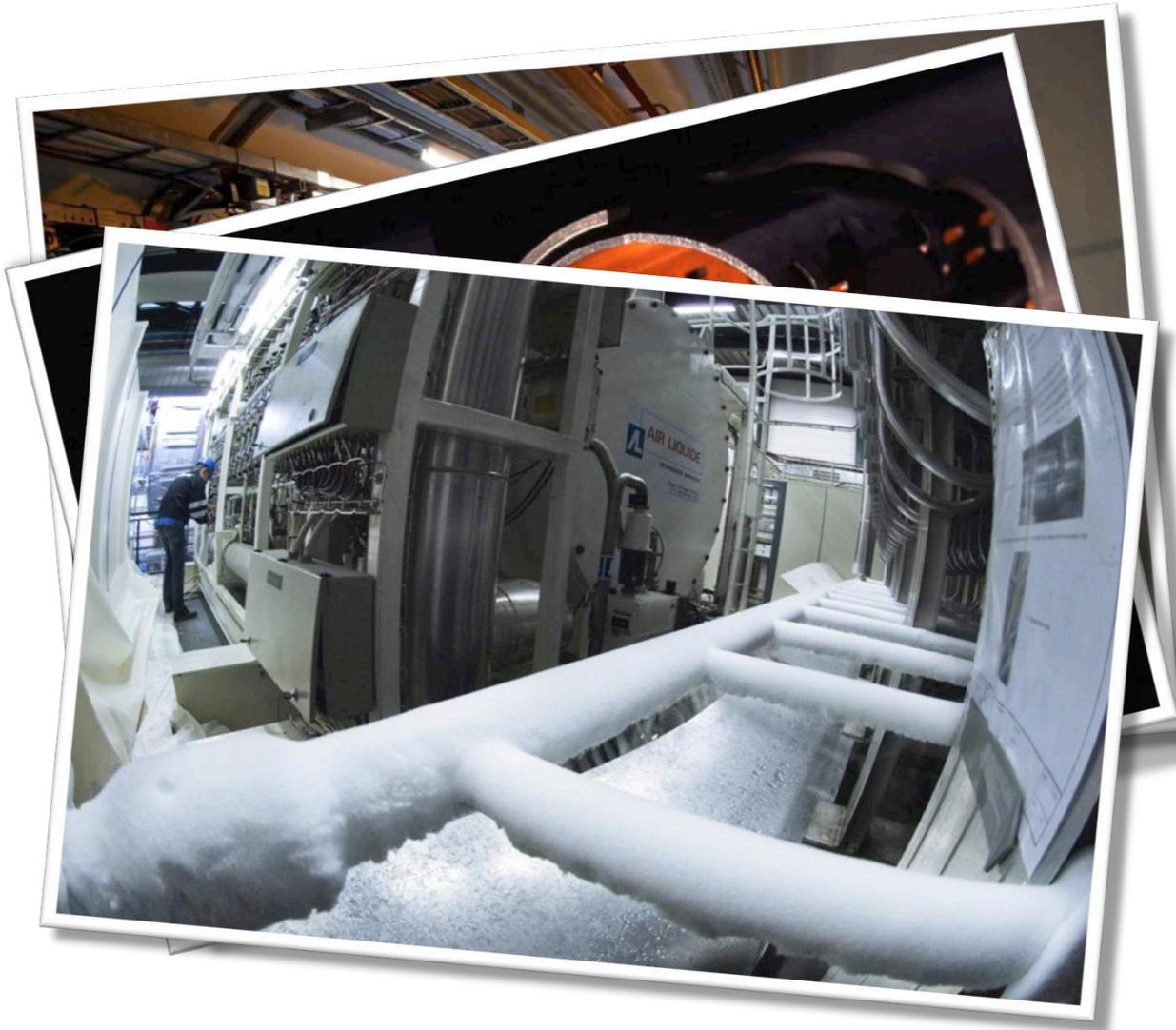
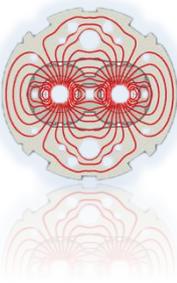
# **LHC : Il Signore degli Anelli**



# La macchina scientifica più grande e complessa del mondo!

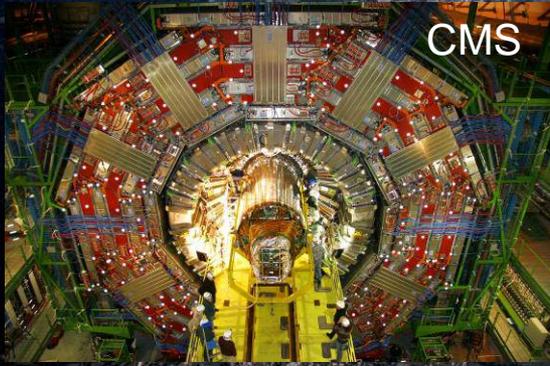


# L'acceleratore di particelle più potente



- Un tunnel di 27 km di lunghezza
- Migliaia di magneti superconduttori
- Vuoto ultra-spinto: 10 volte quello presente sulla Luna
- Il luogo più freddo dell'Universo  
-271°C

# LHC, il più potente acceleratore del mondo

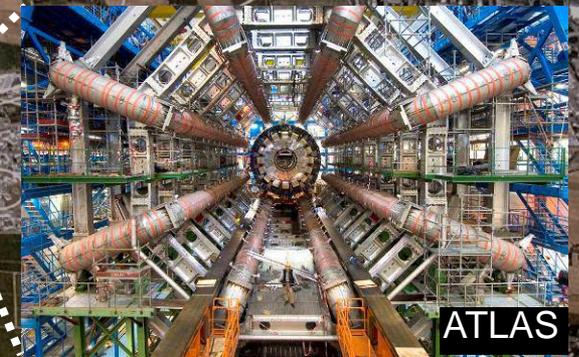


CMS

Anello di LHC:  
27 km di circonferenza



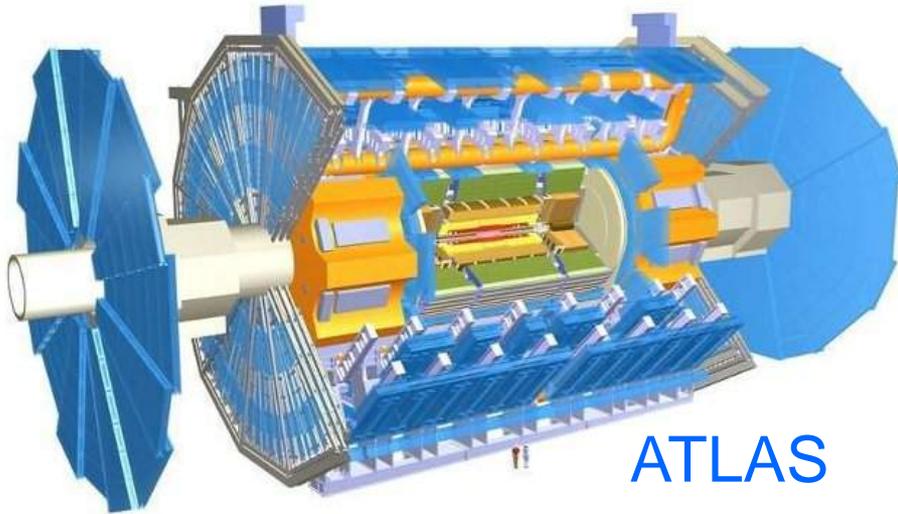
ALICE



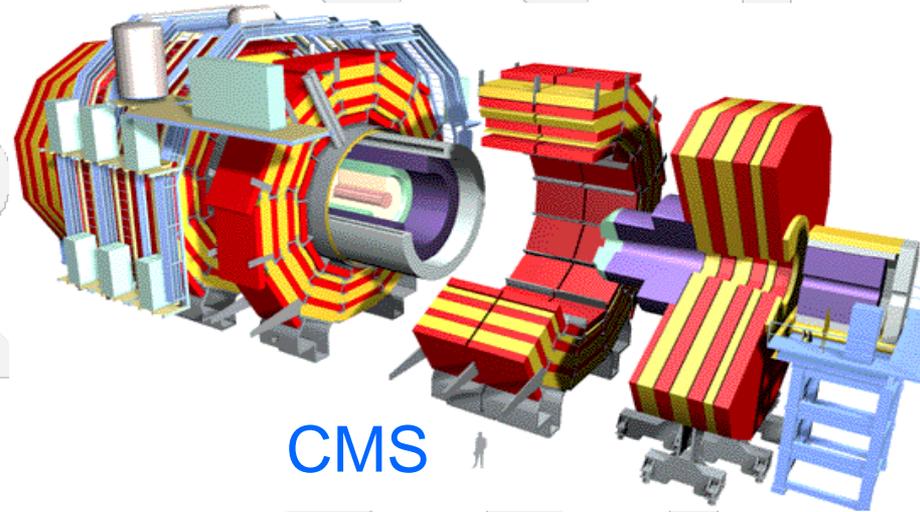
ATLAS



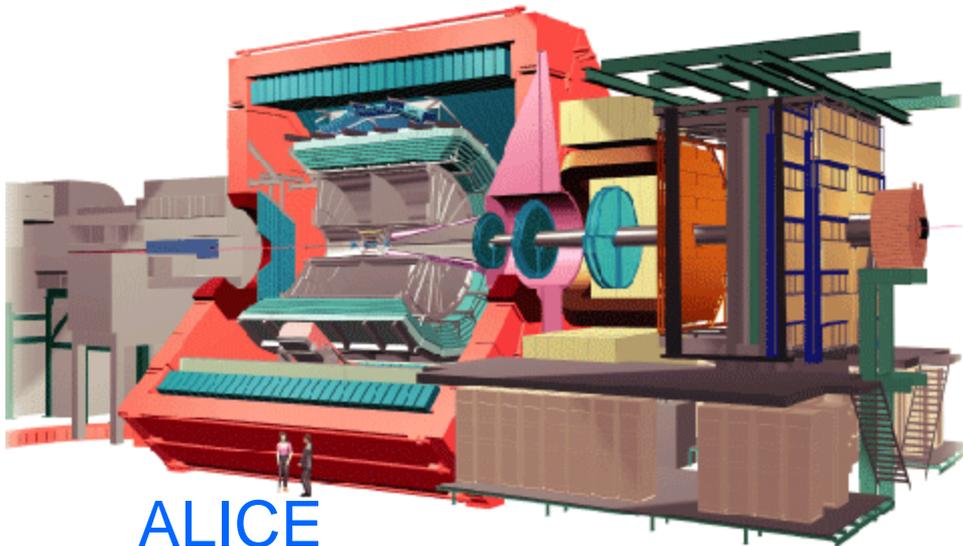
# I 4 esperimenti più grandi del mondo...



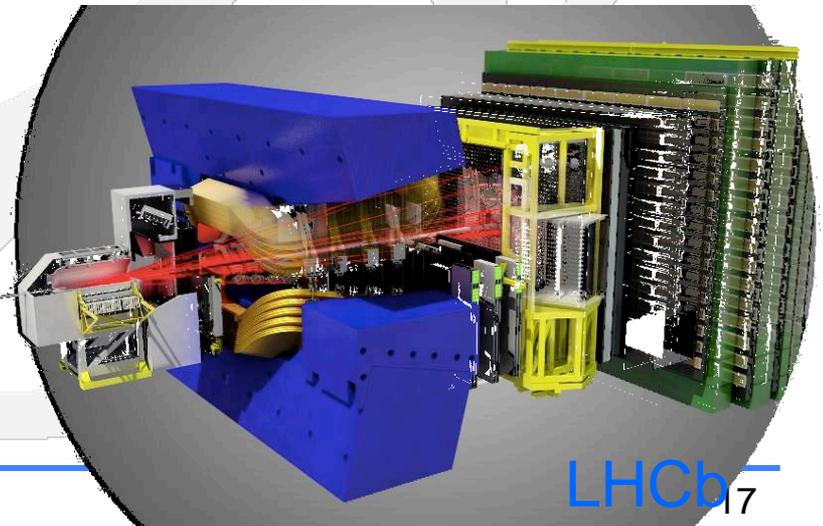
ATLAS



CMS

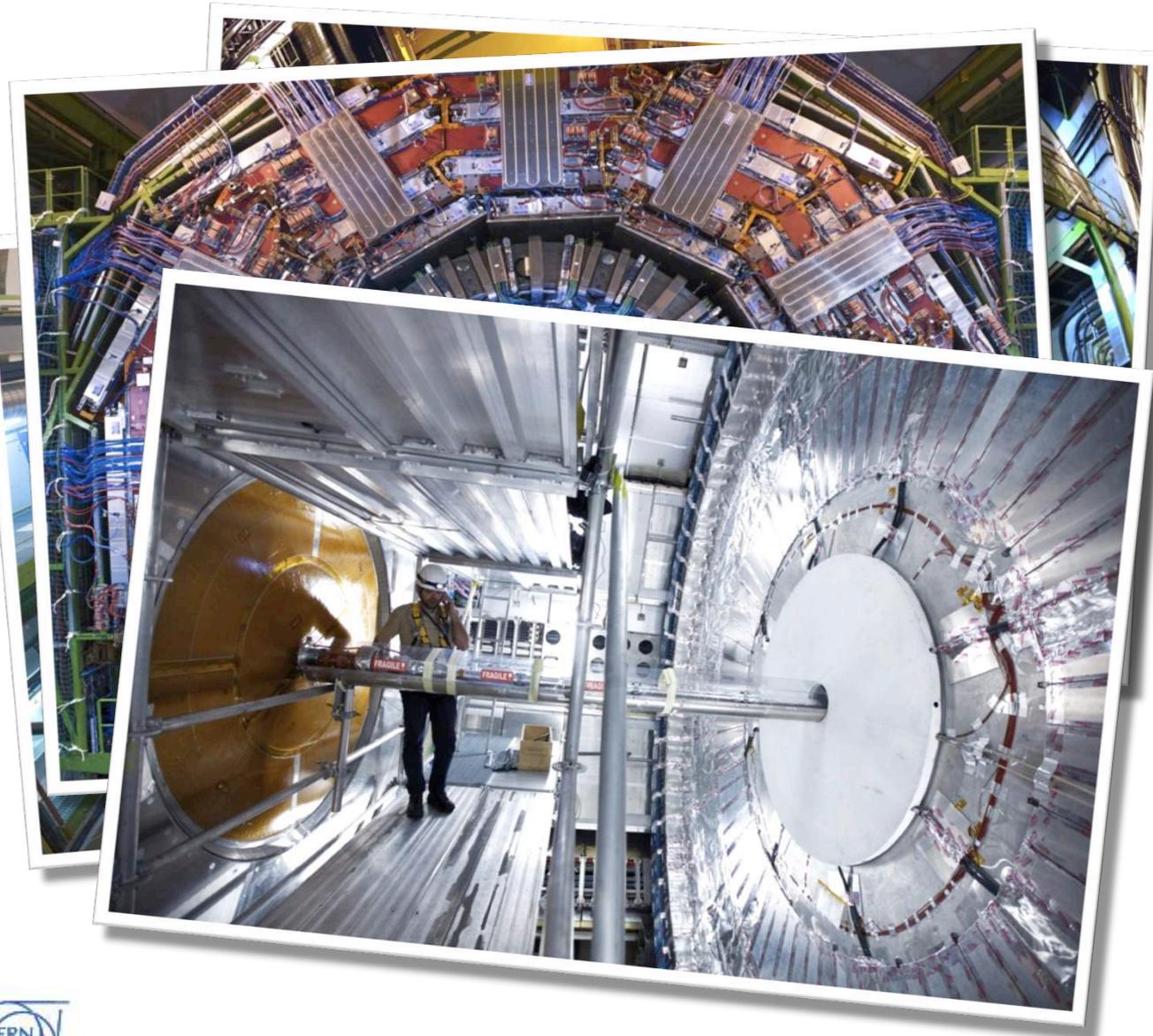


ALICE



LHCb<sup>17</sup>

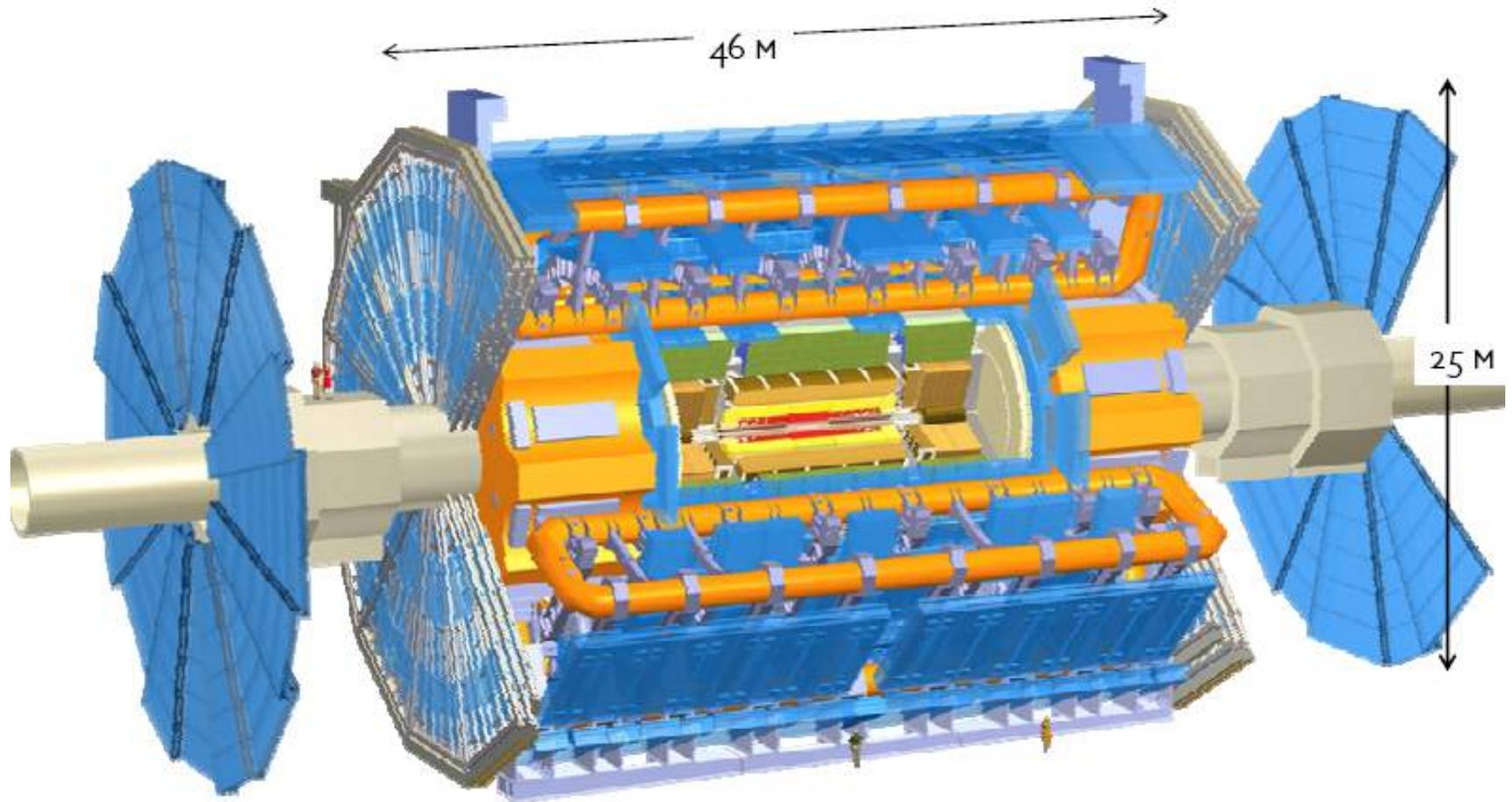
# I rivelatori più grandi e complessi

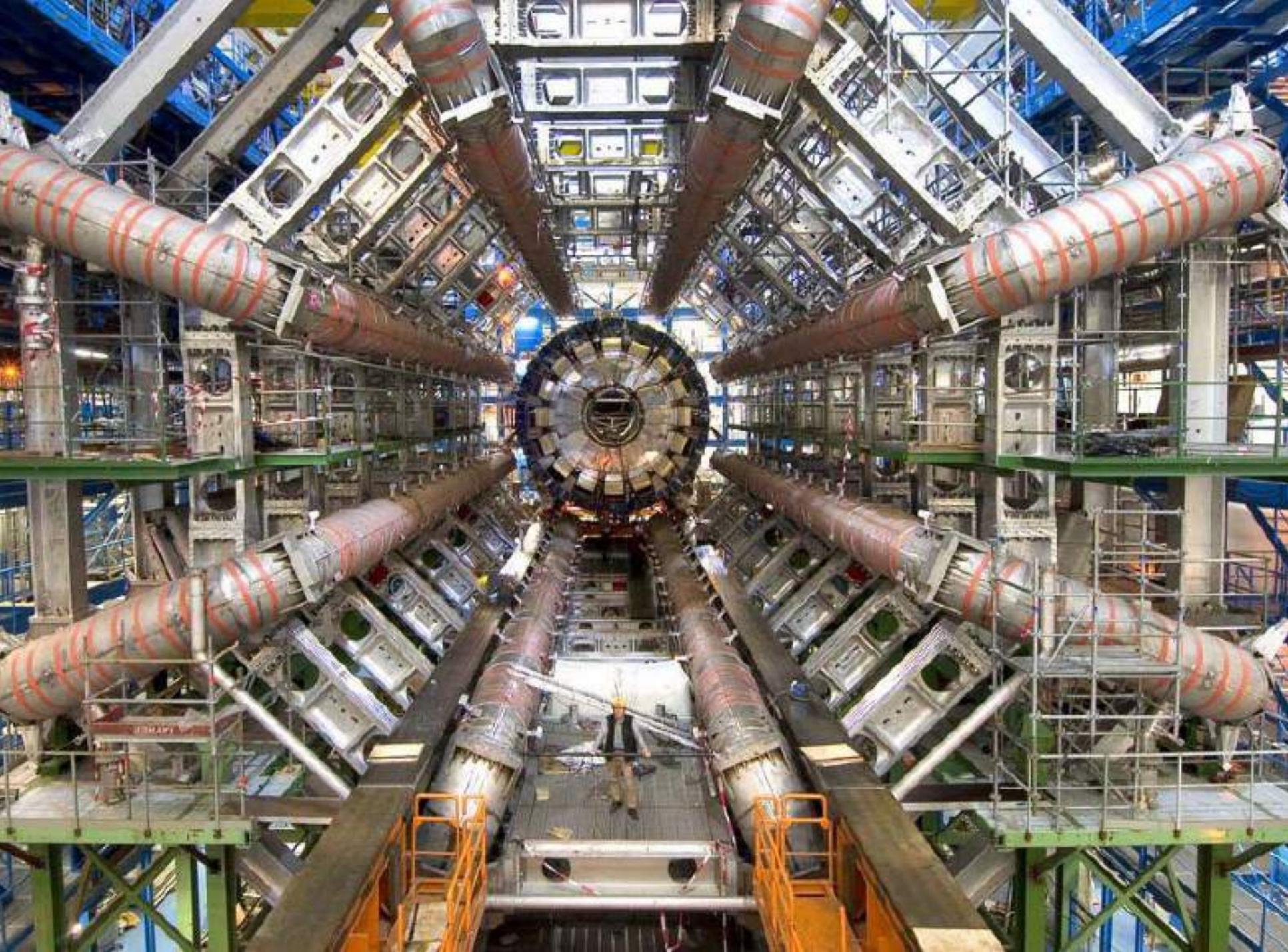


- Cattedrali della scienza 100 metri sotto terra
- 600 milioni di collisioni per secondo rivelate da centinaia di milioni di sensori
- Migliaia di persone tra fisici, ingegneri e tecnici

ATLAS → atlas.ch

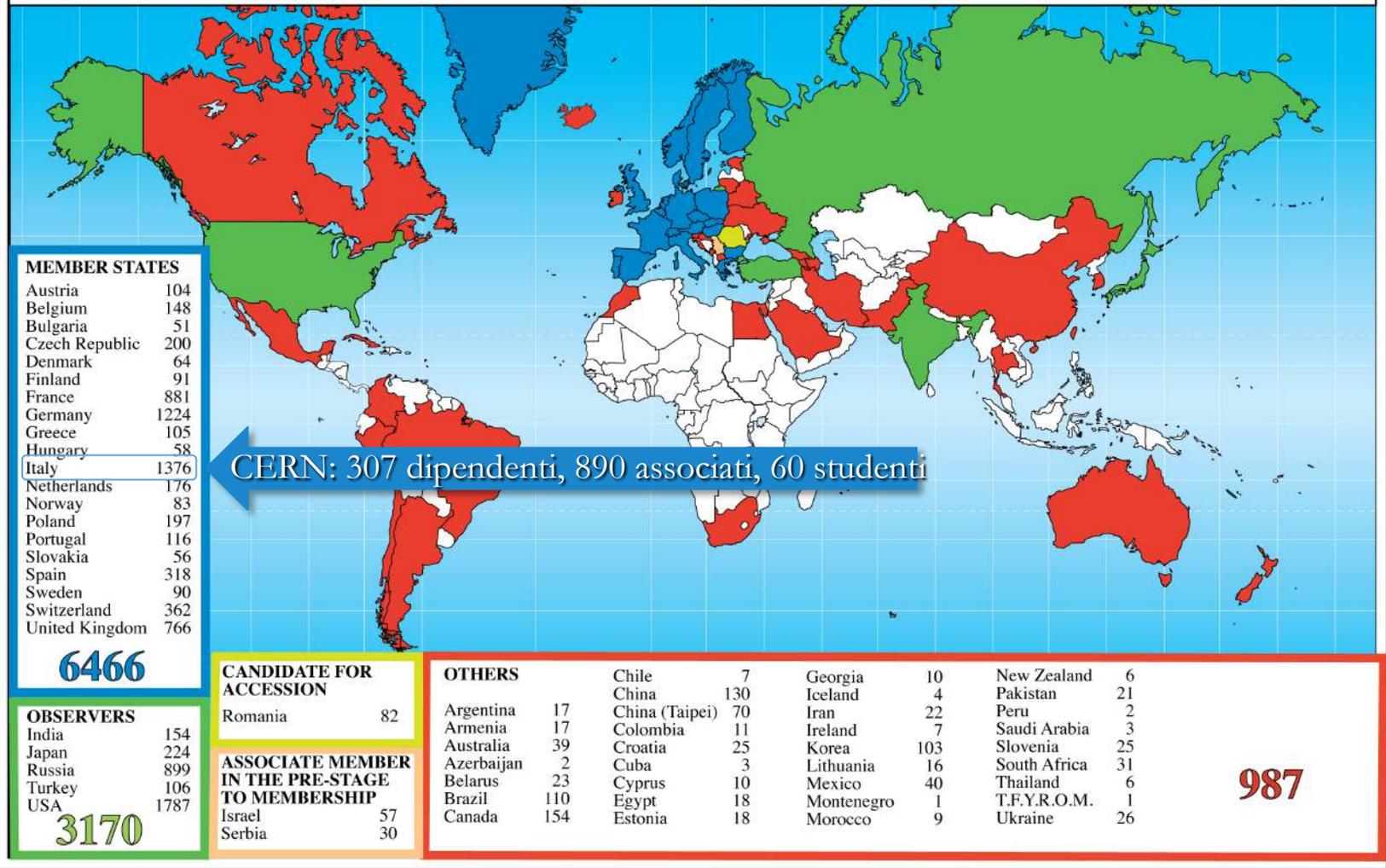
7000 t – 100,000,000 canali di elettronica - 2100 scienziati, 37 nazioni, 167 istituti  
Costo 400 M€





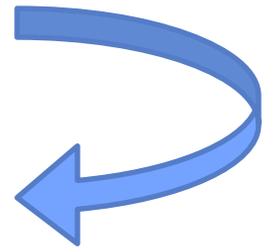
# La scienza sta diventando sempre più globale

## Distribution of All CERN Users by Location of Institute on 2 September 2013



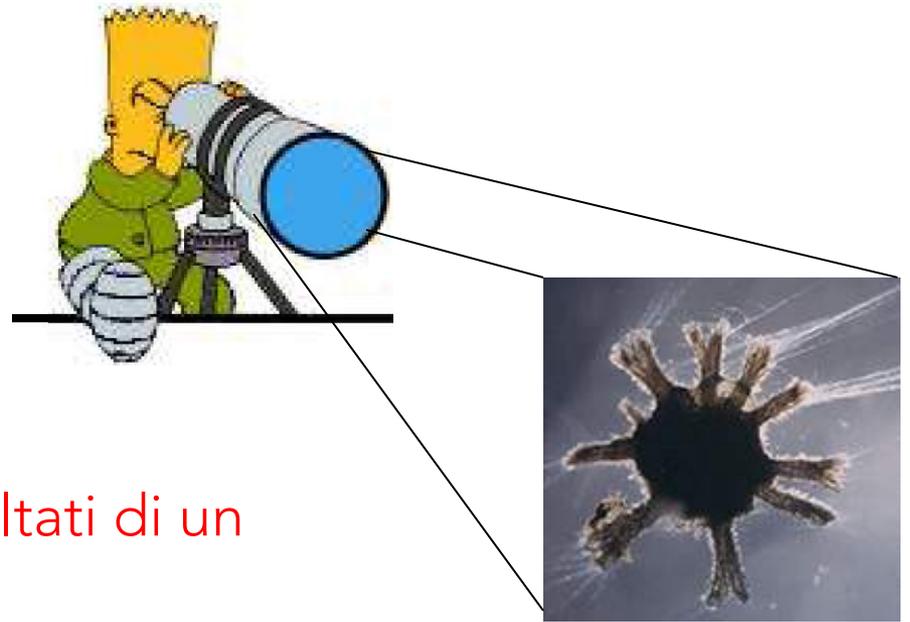
Estrarre le informazioni:

misurare le proprietà fisiche delle  
particelle



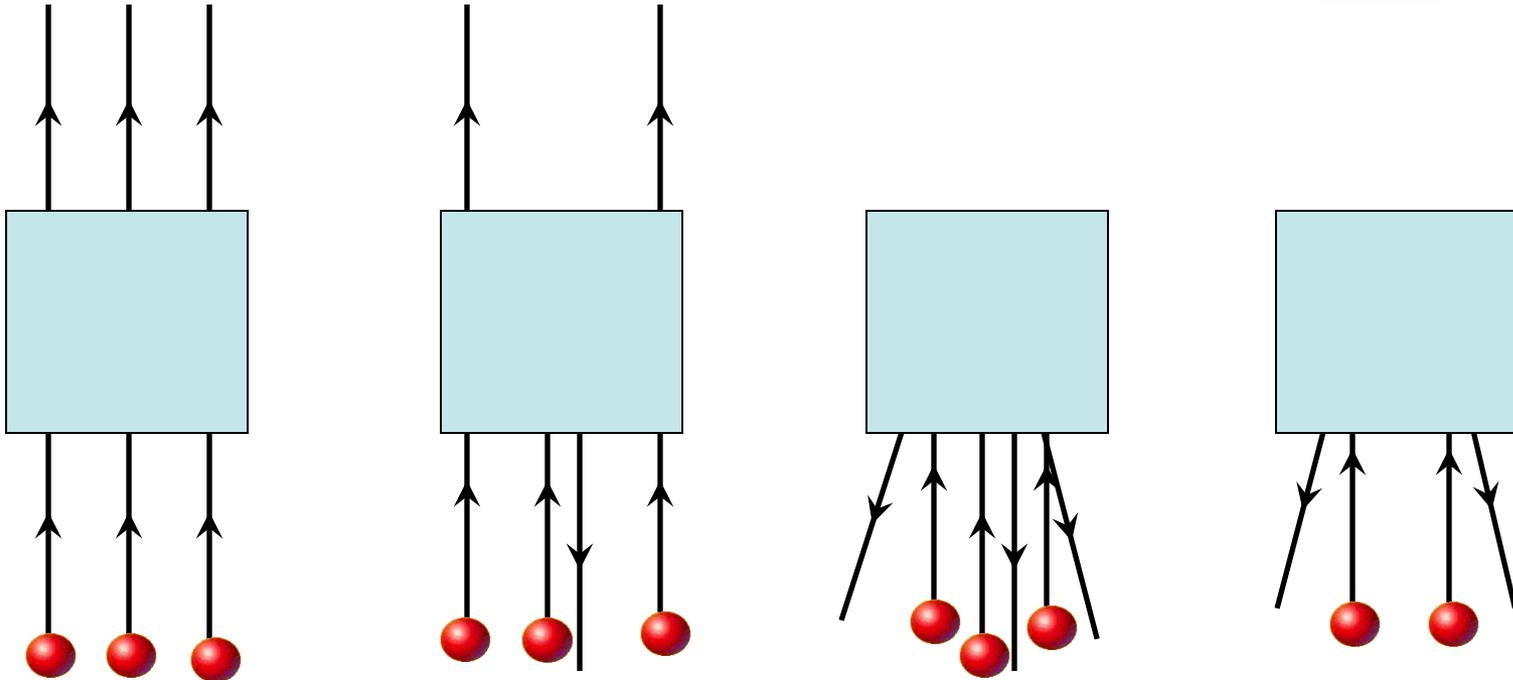
# Vedere direttamente:

osservazione diretta dell'oggetto da studiare



# Vedere indirettamente

studio dell'oggetto attraverso i risultati di un esperimento



# L'impronta ...



?



?



?



?



?



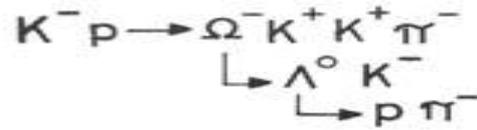
?



?

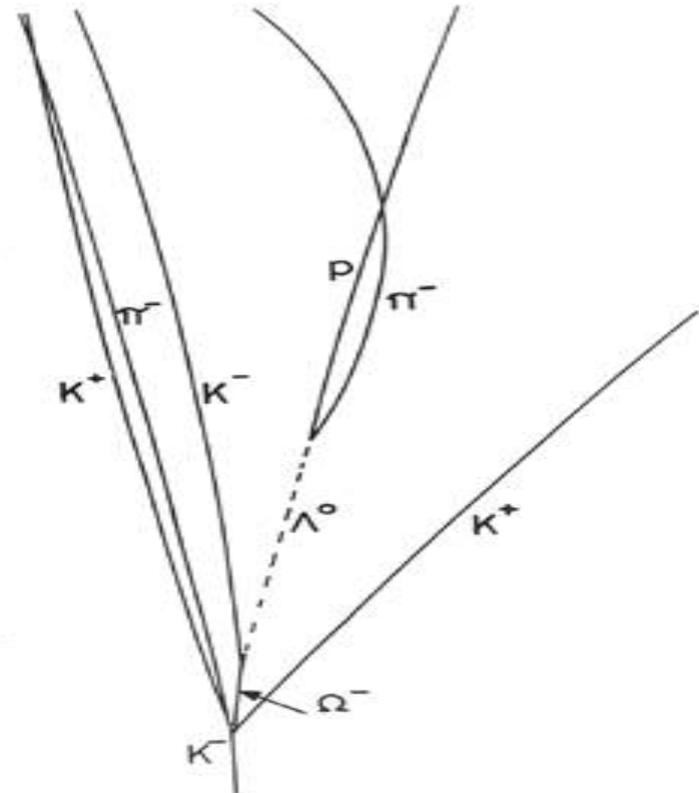
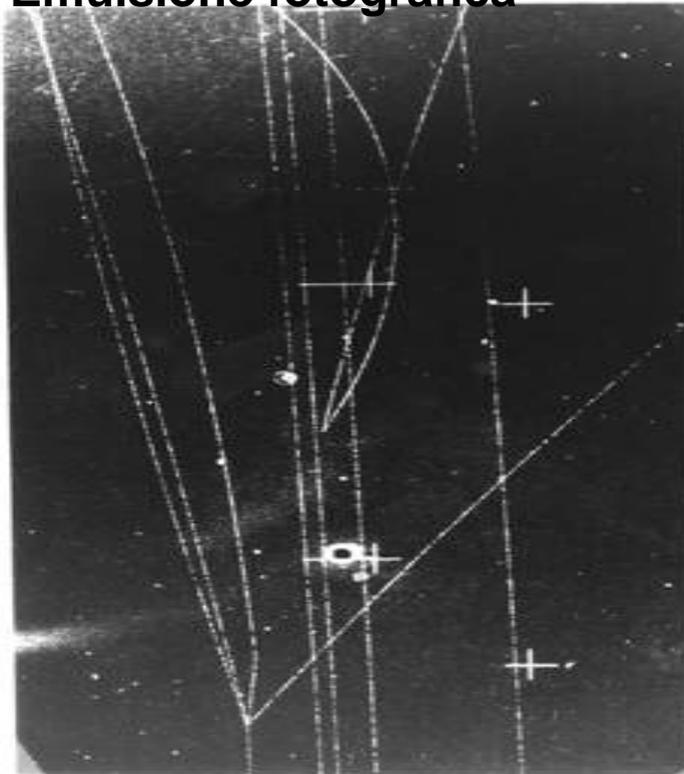
# Vedere le particelle subatomiche

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

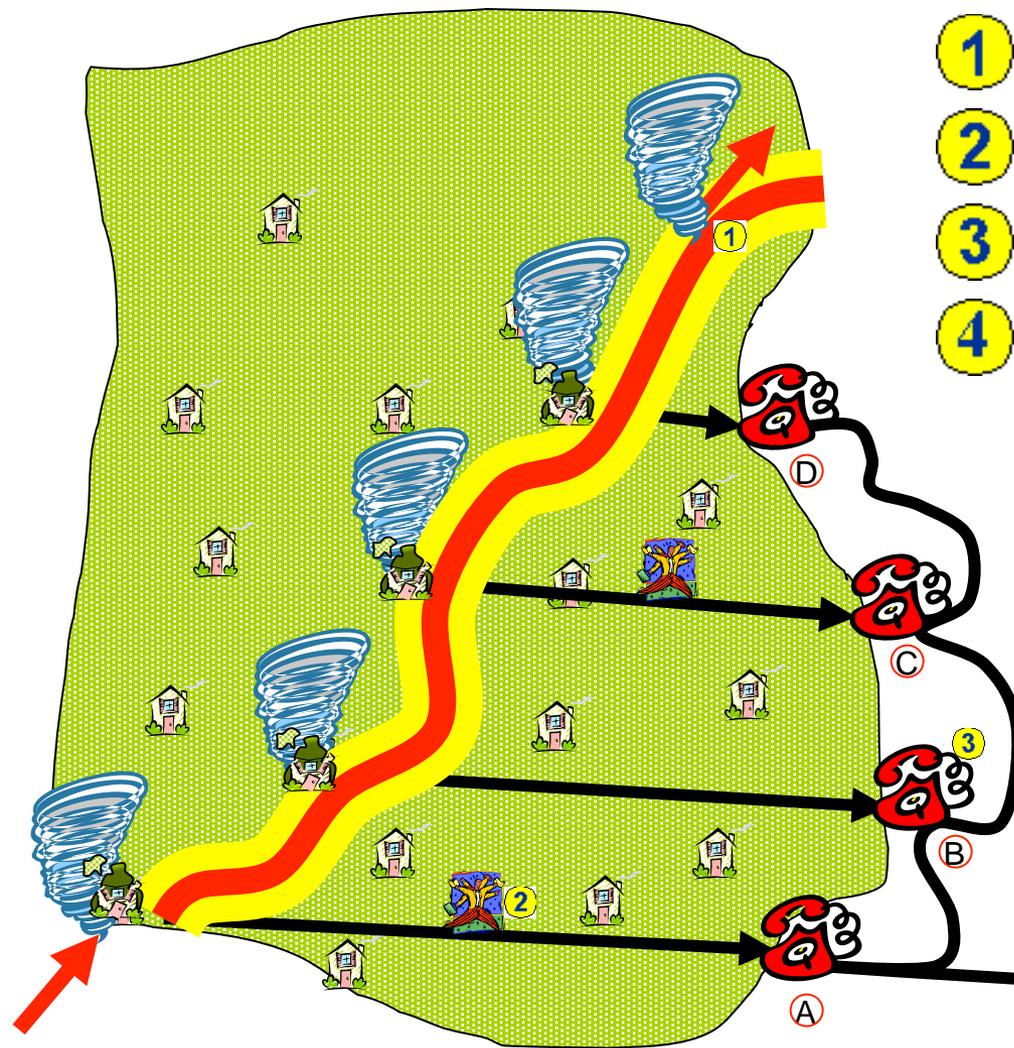


AT 10 GeV/c

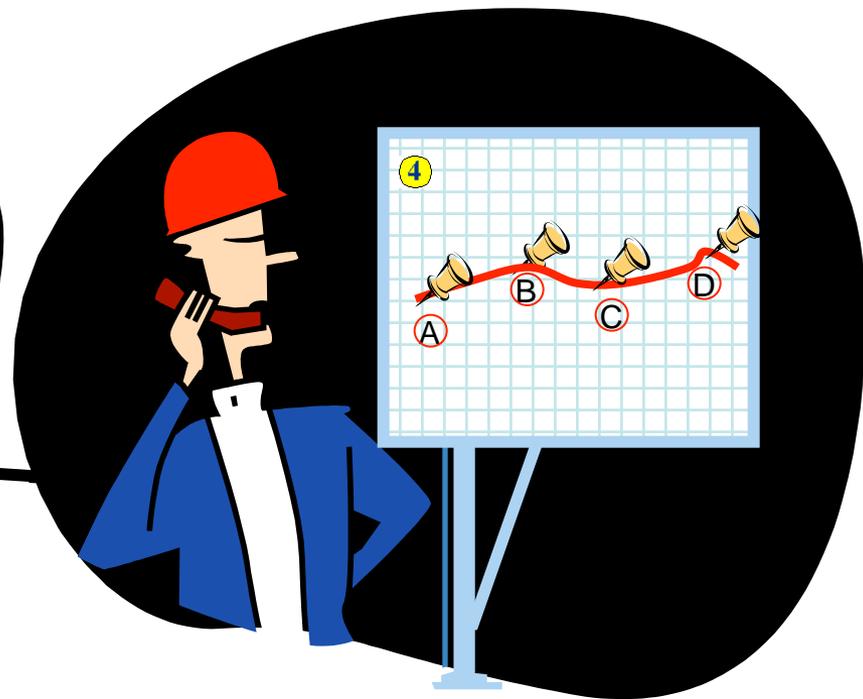
**Emulsione fotografica**



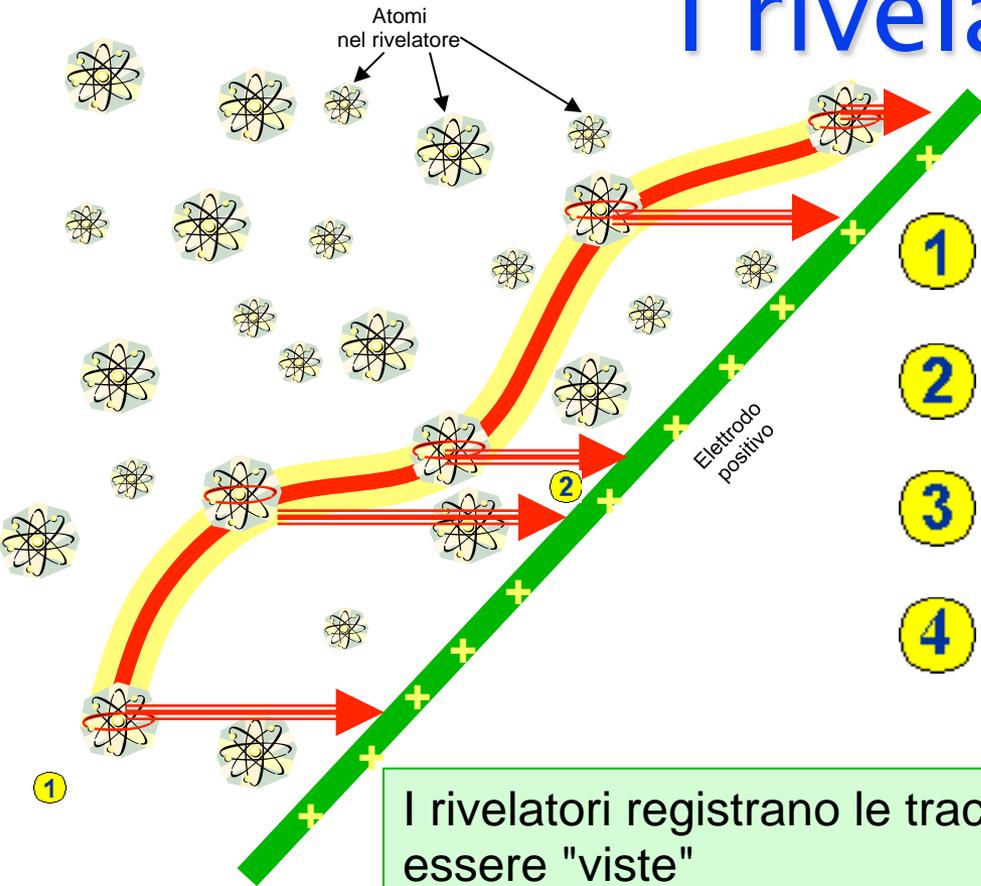
# Vedere le particelle subatomiche



- 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

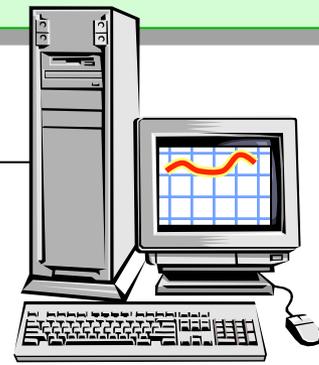


# I rivelatori di particelle



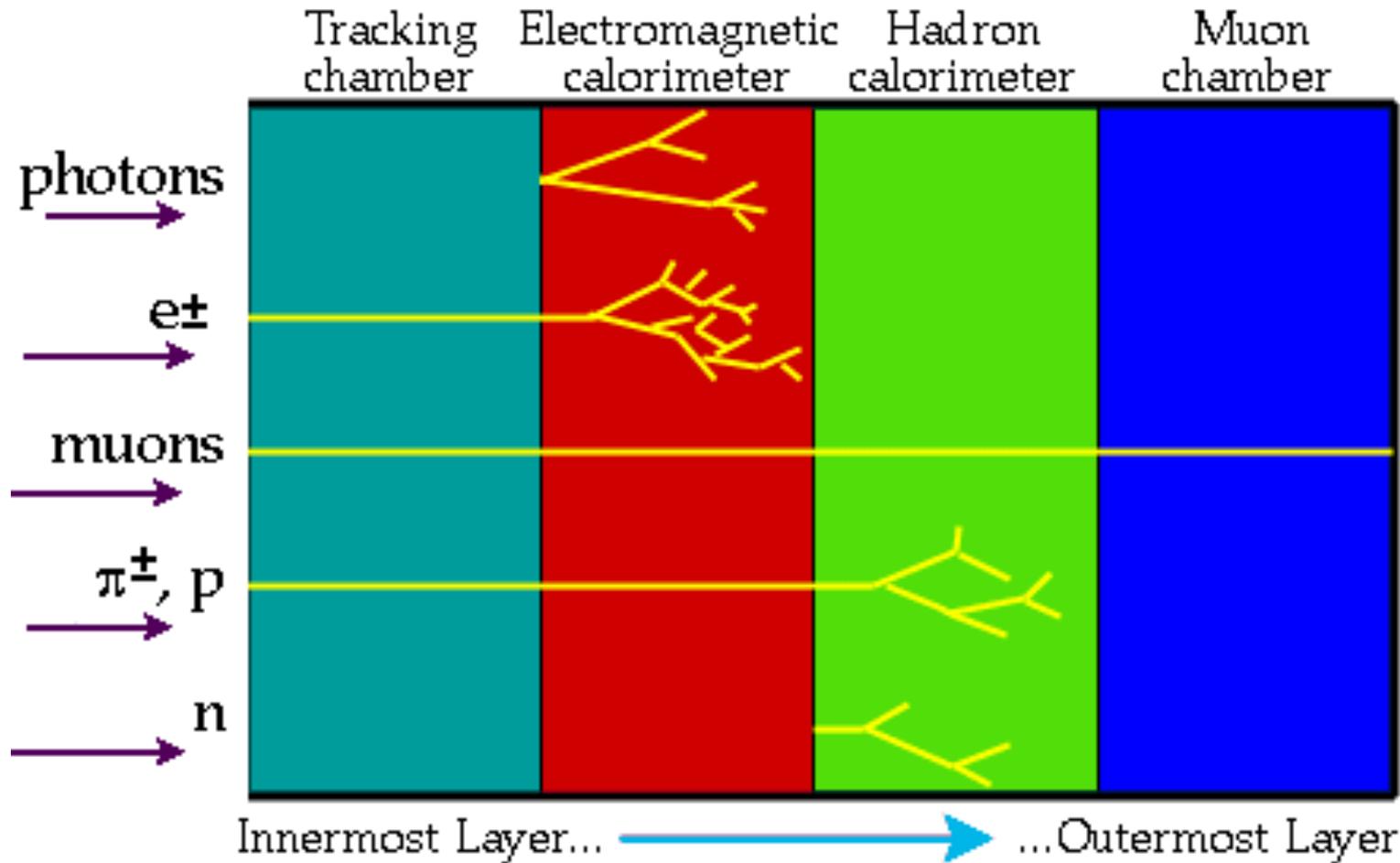
- 1 una **particella invisibile** passando attraverso il rivelatore ne colpisce gli atomi e **libera elettroni**.
- 2 Gli **elettroni negativi** sono attratti dall'elettrodo **positivo** più vicino.
- 3 Il segnale prodotto è **amplificato** e inviato ad un **computer**.
- 4 Dalla **posizione** dell'elettrodo 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"

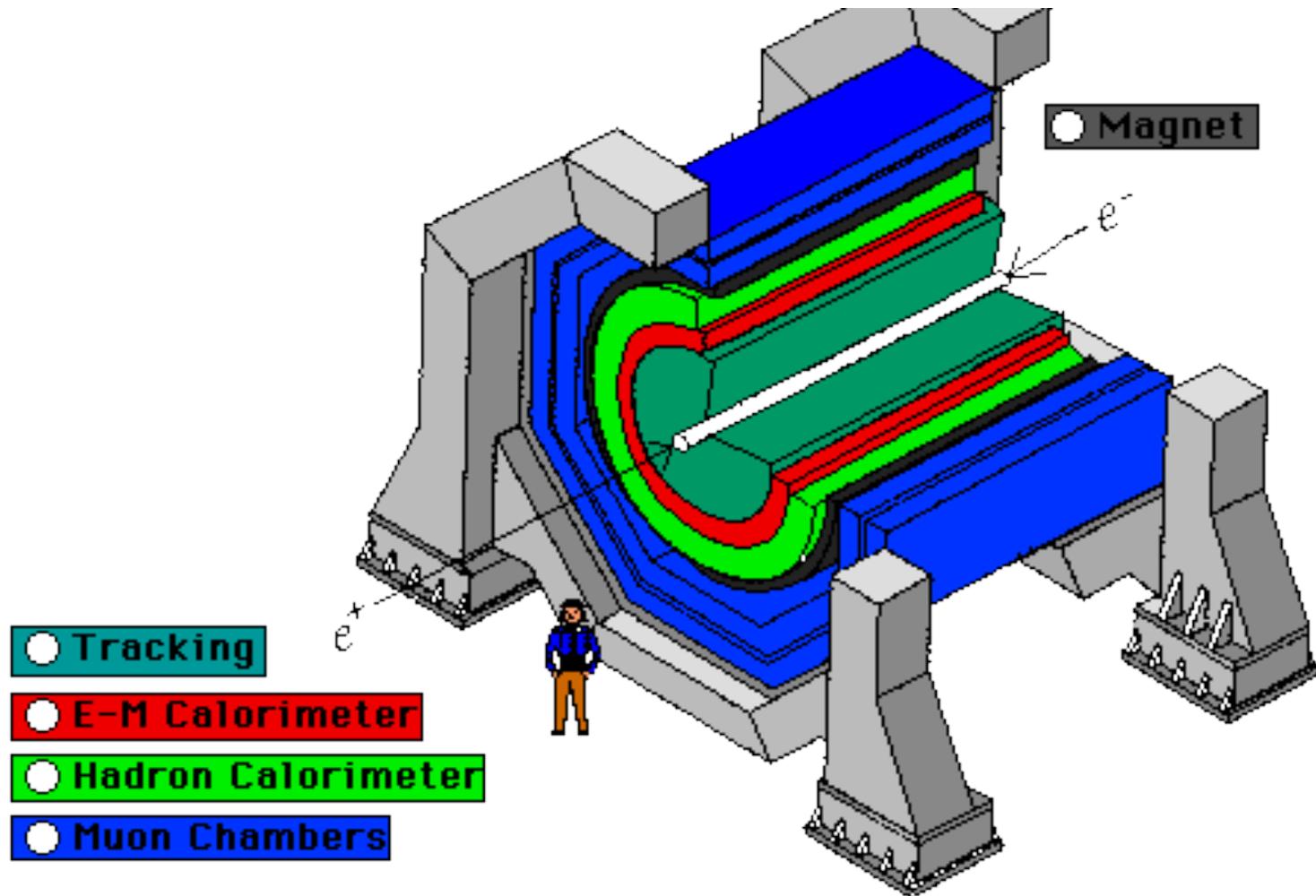


# I rivelatori specializzati

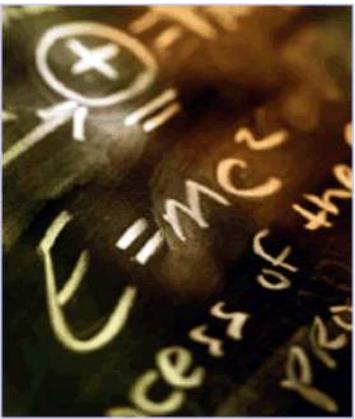
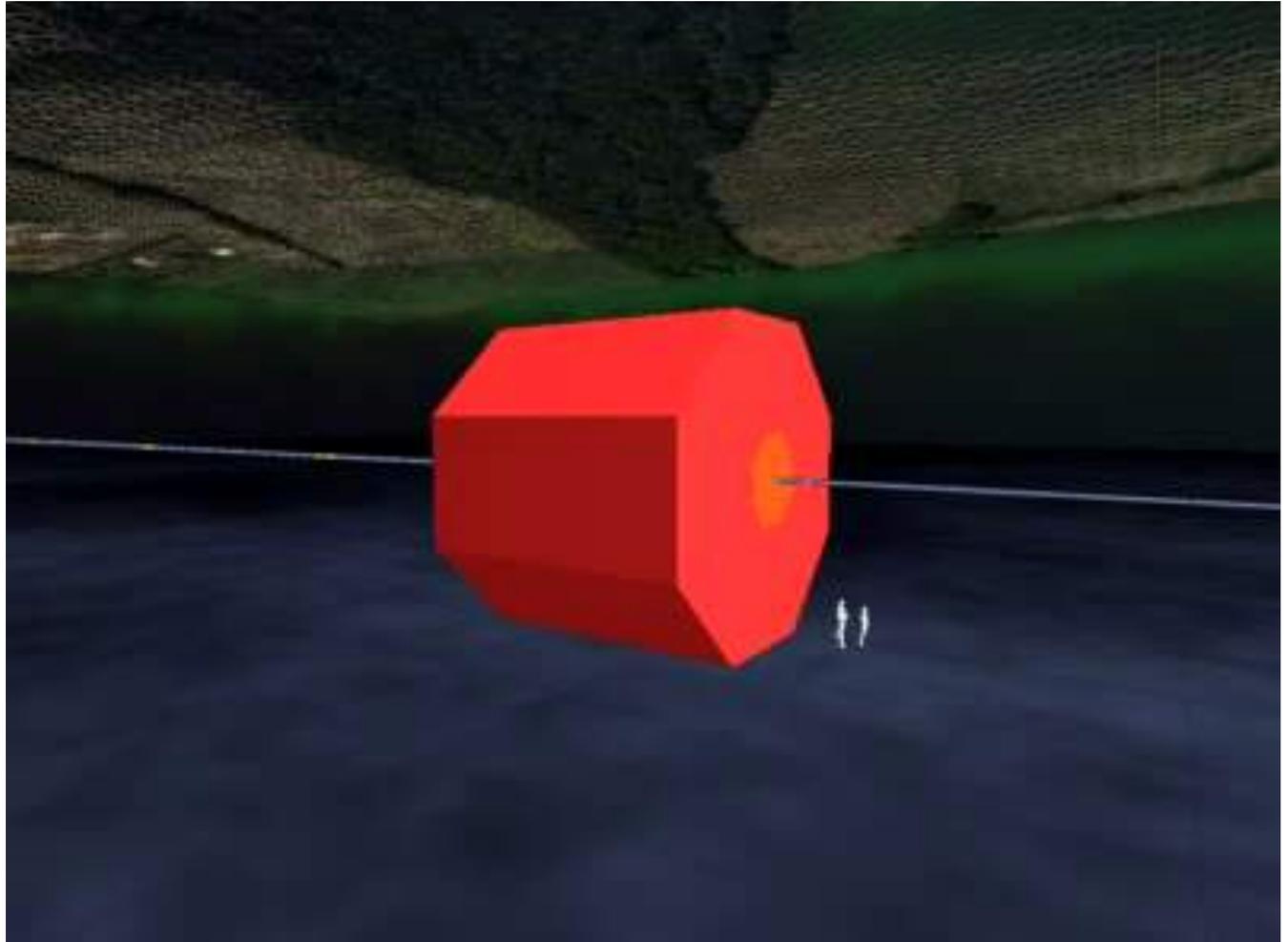
Le particelle, interagendo con opportuni materiali, rilasciano “segnature” diverse



# Struttura generale di uno “spettrometro”



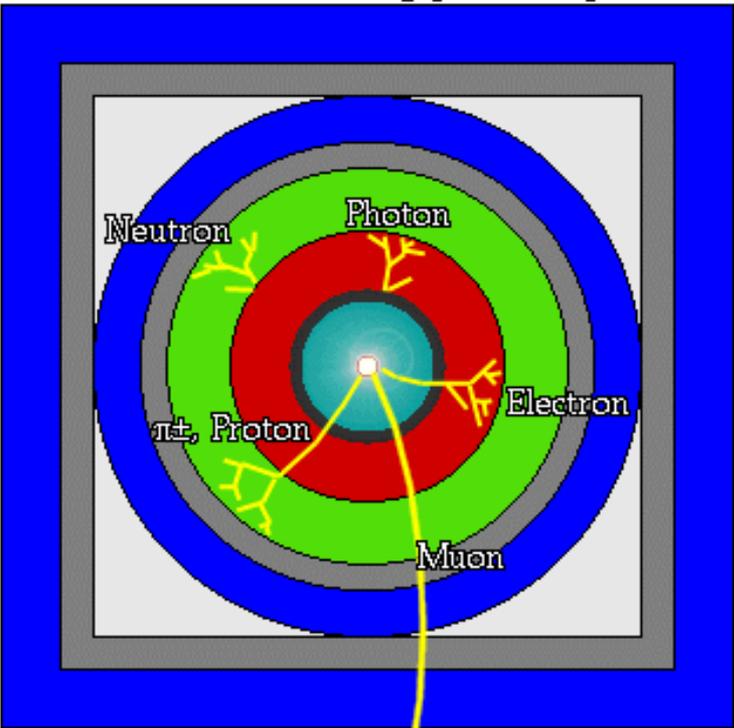
# La collisione in Alice



# Diventa fisico in 60 secondi!

A detector cross-section, showing particle paths

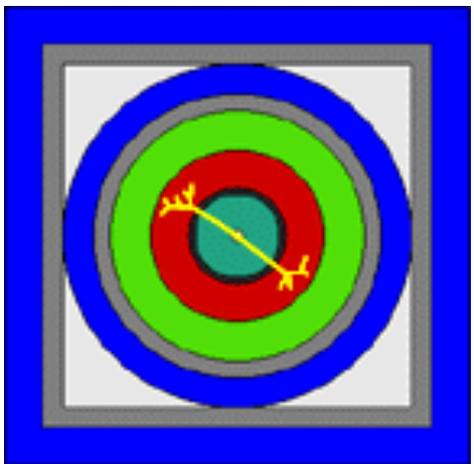
- Beam Pipe (center)
- Tracking Chamber
- Magnet Coil
- E-M Calorimeter
- Hadron Calorimeter
- Magnetized Iron
- Muon Chambers



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

Presenza di 2 tracce  
2 segnali solo nel calorimetro elettromagnetico

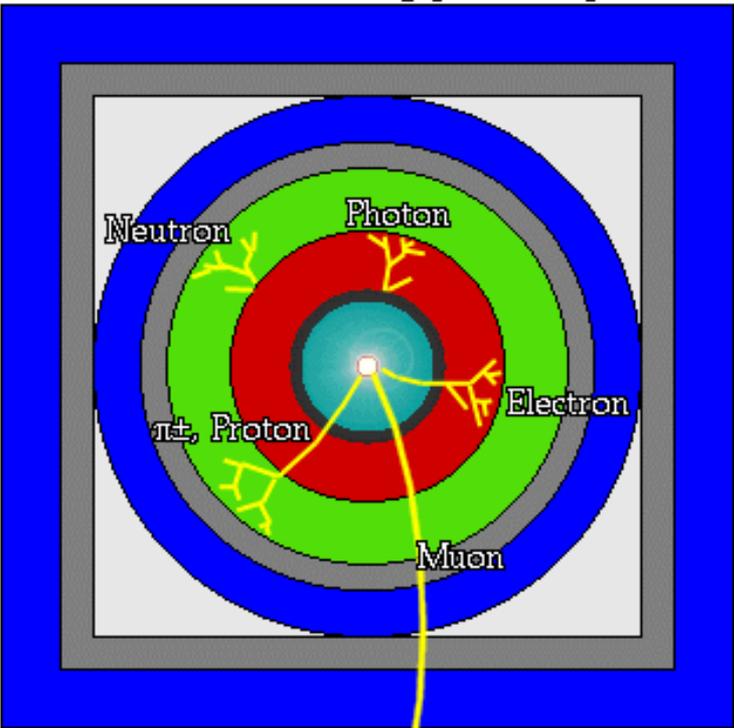
**2 elettroni !**



# Diventa fisico in 60 secondi!

A detector cross-section, showing particle paths

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

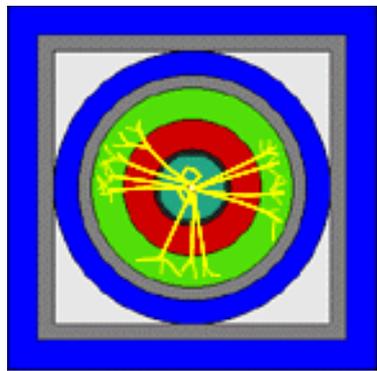
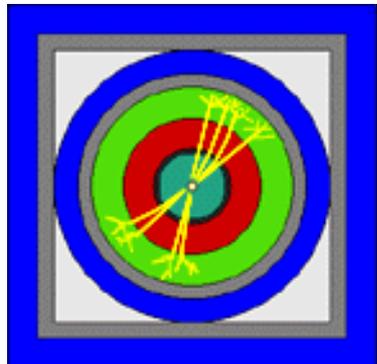


- KEY:
- tracking
  - e-m calorimeter
  - hadron calorimeter
  - muon chamber

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

2 e 3 segnali nel calorimetro adronico

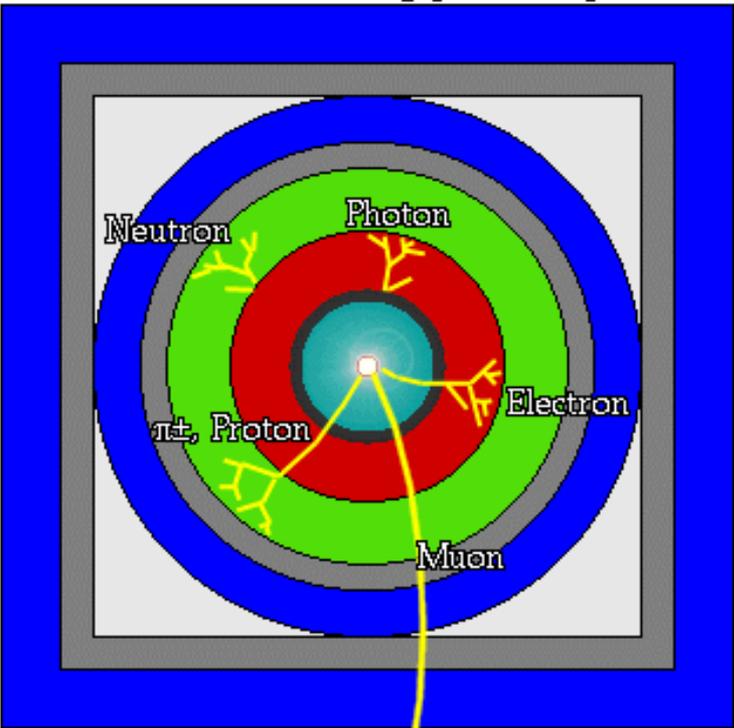
**2 e 3 adroni**



# Diventa fisico in 60 secondi!

A detector cross-section, showing particle paths

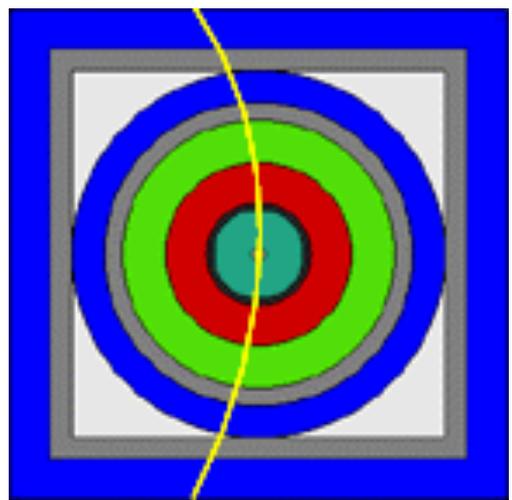
- Beam Pipe (center)
- Tracking Chamber
- Magnet Coil
- E-M Calorimeter
- Hadron Calorimeter
- Magnetized Iron
- Muon Chambers



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

Presenza di 2 singole tracce  
Nessun segnale nei calorimetri

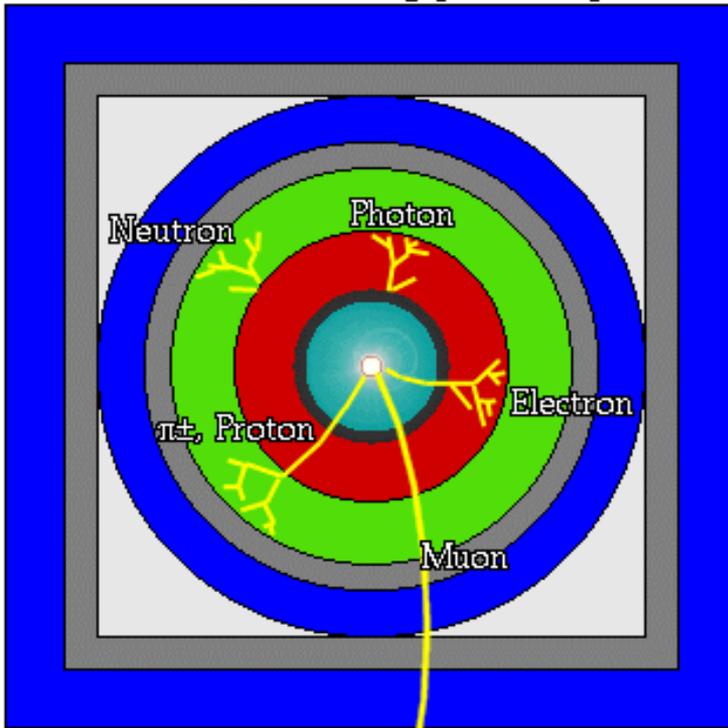
**2 muoni !**



# Diventa fisico in 60 secondi!

A detector cross-section, showing particle paths

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

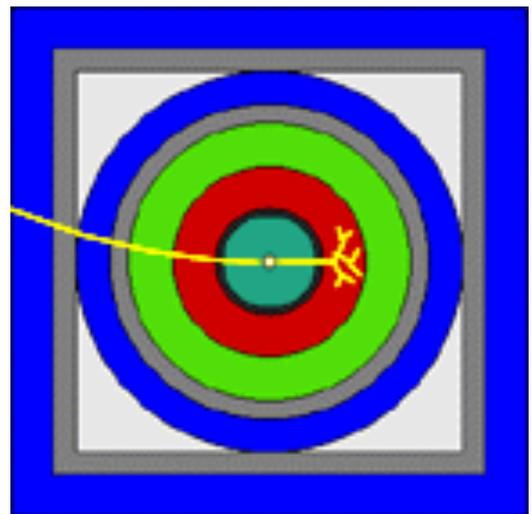


- KEY:
-  tracking
  -  e-m calorimeter
  -  hadron calorimeter
  -  muon chamber

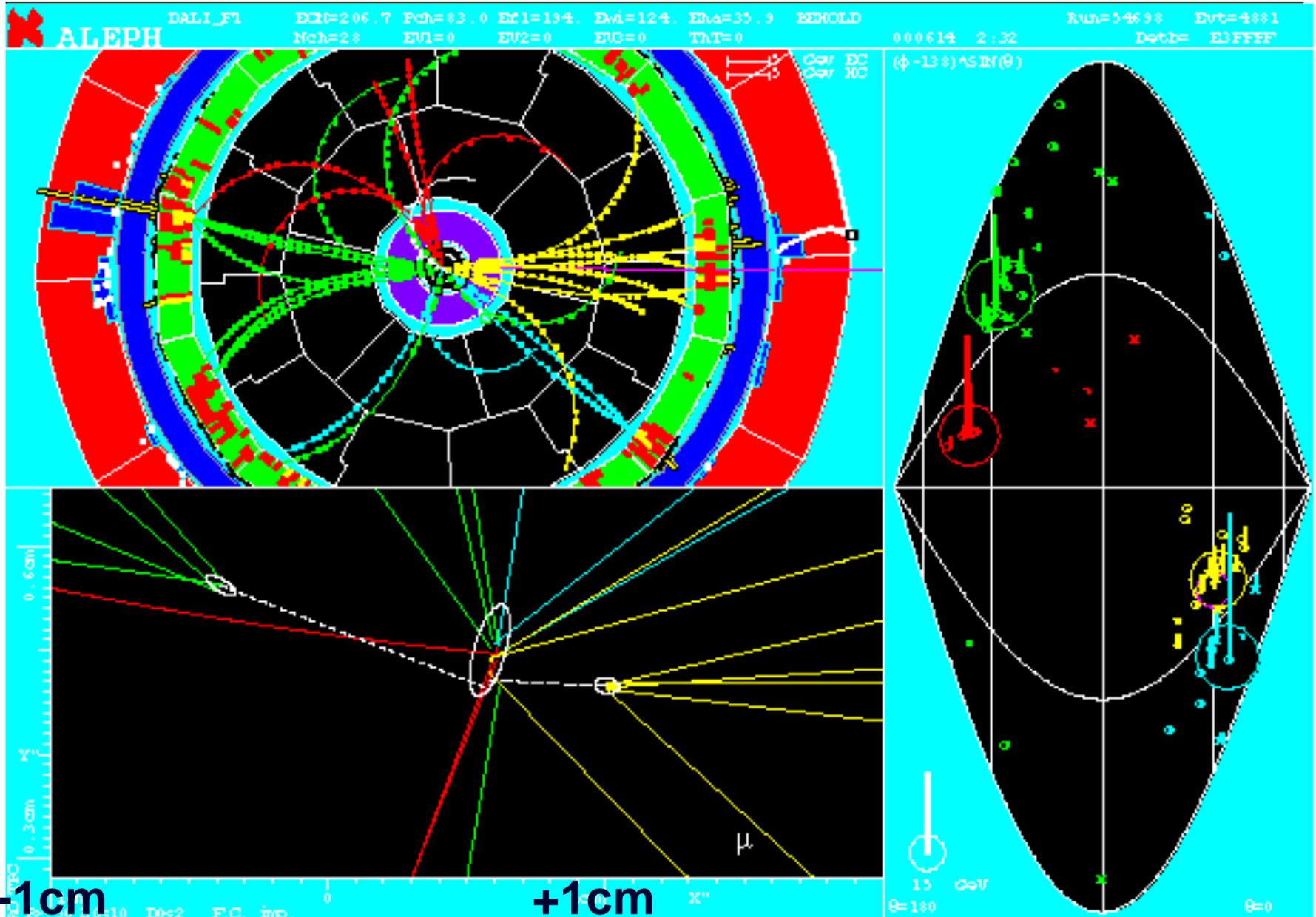
Presenza di 2 tracce

1 segnale nel calorimetro elettromagnetico

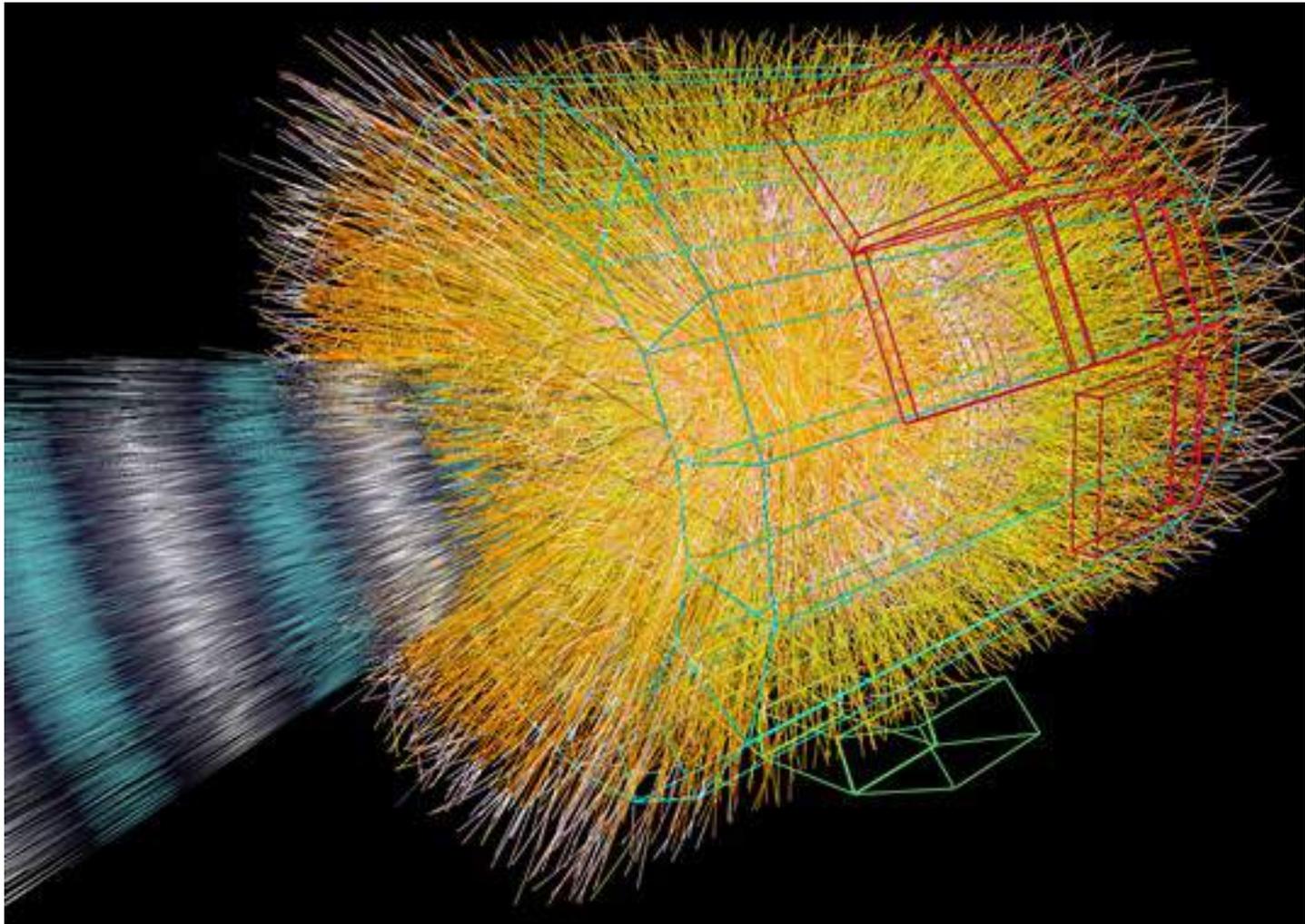
**1 muone + 1 elettrone = tau**



# Ricostruzione dell'evento



# Eventi PbPb in Alice



Migliaia di tracce prodotte ad ogni interazione (25 ns)

A black and white photograph of Albert Einstein, looking towards the camera with a slightly questioning expression. He is pointing his right hand towards a chalkboard. A yellow speech bubble with a tail pointing to his hand contains the text "Tutto chiaro fin qui?". In the bottom left corner of the photo, there is a small white speech bubble containing the text "Caption City".

**Tutto chiaro fin qui?**

Caption  
City

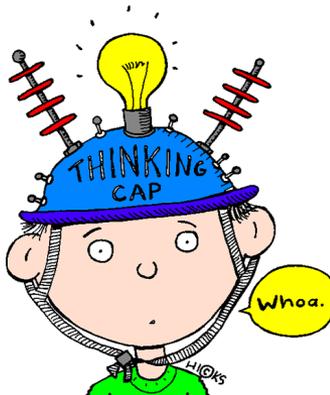


1) Di cosa è fatto l'Universo?

... i suoi mattoni

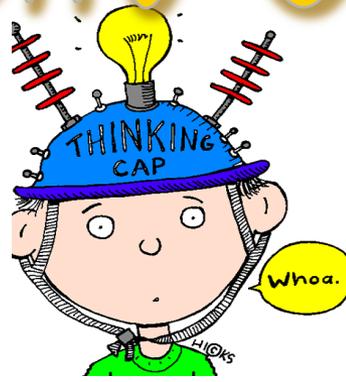
2) Com'era fatto l'Universo primordiale

... la sua evoluzione

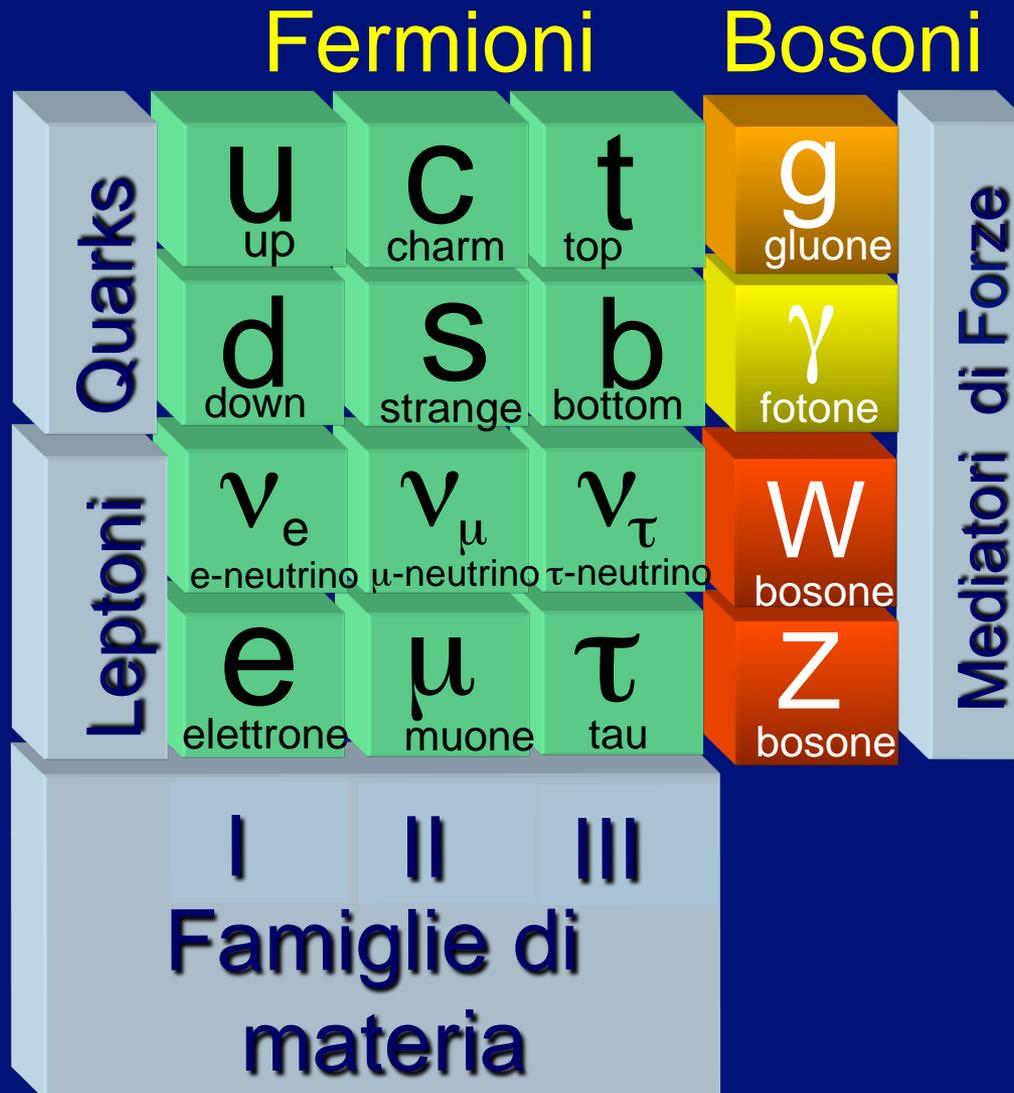




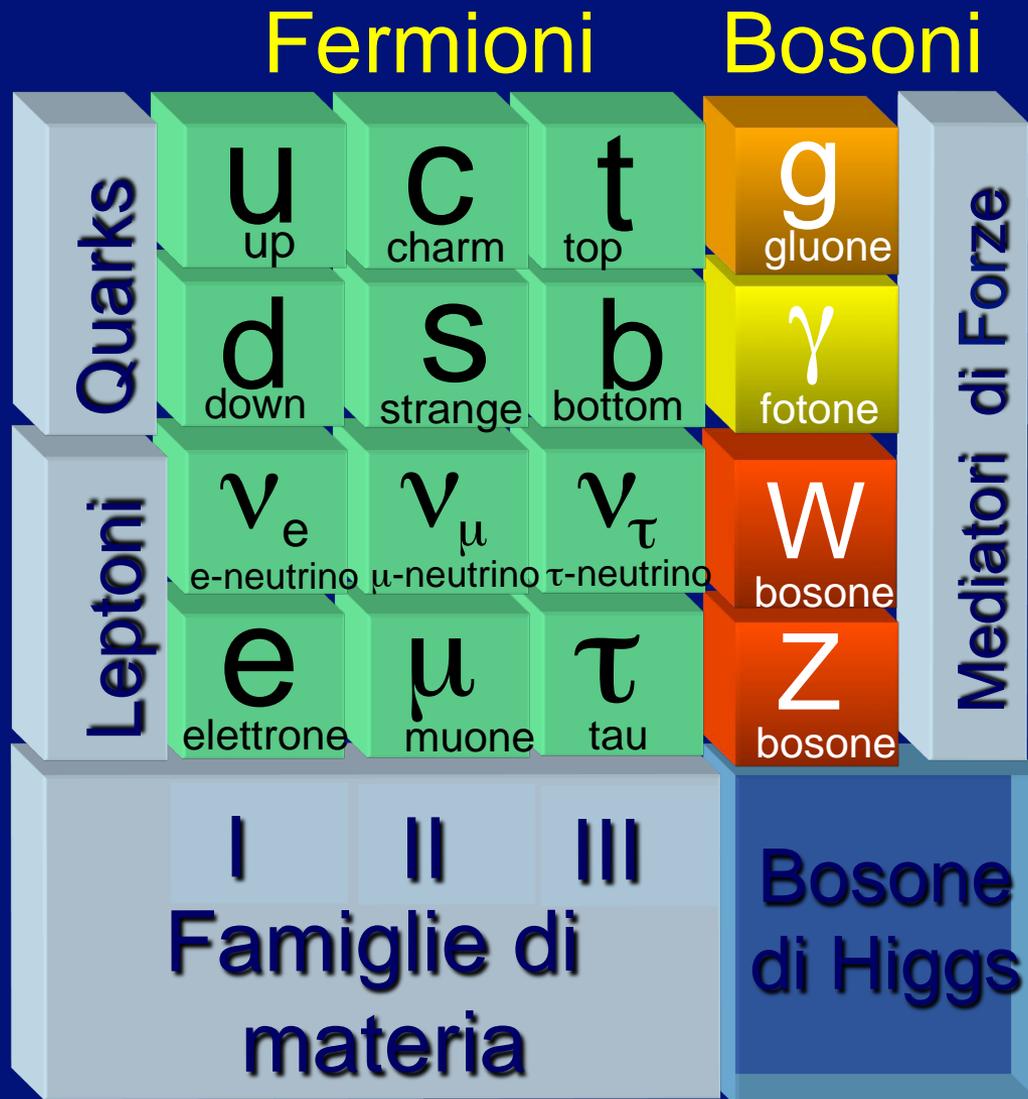
# Modello Standard



# Il Modello Standard



# Il Modello Standard



# La Lagrangiana del Modello Standard

$$\begin{aligned}
 & -\frac{1}{2}\partial_\nu g_\mu^a \partial_\nu g_\mu^a - g_s f^{abc} \partial_\mu g_\nu^a g_\mu^b g_\nu^c - \frac{1}{4}g_s^2 f^{abc} f^{ade} g_\mu^b g_\nu^c g_\mu^d g_\nu^e + \\
 & \frac{1}{2}ig_s^2 (\bar{q}_i^a \gamma^\mu q_j^a) g_\mu^a + \bar{G}^a \partial^2 G^a + g_s f^{abc} \partial_\mu G^a G^b g_\mu^c - \partial_\nu W_\mu^+ \partial_\nu W_\mu^- - \\
 & M^2 W_\mu^+ W_\mu^- - \frac{1}{2}\partial_\nu Z_\mu^0 \partial_\nu Z_\mu^0 - \frac{1}{2c_w^2} M^2 Z_\mu^0 Z_\mu^0 - \frac{1}{2}\partial_\mu A_\nu \partial_\mu A_\nu - \frac{1}{2}\partial_\mu H \partial_\mu H - \\
 & \frac{1}{2}m_H^2 H^2 - \partial_\mu \phi^+ \partial_\mu \phi^- - M^2 \phi^+ \phi^- - \frac{1}{2}\partial_\mu \phi^0 \partial_\mu \phi^0 - \frac{1}{2c_w^2} M \phi^0 \phi^0 - \beta_h \left[ \frac{2M^2}{g^2} + \right. \\
 & \left. \frac{2M}{g} H + \frac{1}{2}(H^2 + \phi^0 \phi^0 + 2\phi^+ \phi^-) \right] + \frac{2M^4}{g^2} \alpha_h - igc_w [\partial_\nu Z_\mu^0 (W_\mu^+ W_\nu^- - \\
 & W_\mu^- W_\nu^+) - Z_\nu^0 (W_\mu^+ \partial_\nu W_\mu^- - W_\mu^- \partial_\nu W_\mu^+) + Z_\mu^0 (W_\nu^+ \partial_\nu W_\mu^- - \\
 & W_\nu^- \partial_\nu W_\mu^+)] - ig s_w [\partial_\nu A_\mu (W_\mu^+ W_\nu^- - W_\nu^- W_\mu^+) - A_\nu (W_\mu^+ \partial_\nu W_\mu^- - \\
 & W_\mu^- \partial_\nu W_\mu^+) + A_\mu (W_\nu^+ \partial_\nu W_\mu^- - W_\nu^- \partial_\nu W_\mu^+)] - \frac{1}{2}g^2 W_\mu^+ W_\mu^- W_\nu^+ W_\nu^- + \\
 & \frac{1}{2}g^2 W_\mu^+ W_\nu^- W_\mu^+ W_\nu^- + g^2 c_w^2 (Z_\mu^0 W_\nu^+ Z_\nu^0 W_\mu^- - Z_\mu^0 Z_\nu^0 W_\nu^+ W_\mu^-) + \\
 & g^2 s_w^2 (A_\mu W_\nu^+ A_\nu W_\mu^- - A_\mu A_\nu W_\nu^+ W_\mu^-) + g^2 s_w c_w [A_\mu Z_\nu^0 (W_\mu^+ W_\nu^- - \\
 & W_\nu^- W_\mu^+) - 2A_\mu Z_\mu^0 W_\nu^+ W_\nu^-] - g\alpha [H^3 + H\phi^0 \phi^0 + 2H\phi^+ \phi^-] - \\
 & \frac{1}{2}g^2 \alpha_h [H^4 + (\phi^0)^4 + 4(\phi^+ \phi^-)^2 + 4(\phi^0)^2 \phi^+ \phi^- + 4H^2 \phi^+ \phi^- + 2(\phi^0)^2 H^2] - \\
 & \frac{1}{2}g^2 \alpha_h [H^4 + (\phi^0)^4 + 4(\phi^+ \phi^-)^2 + 4(\phi^0)^2 \phi^+ \phi^- + 4H^2 \phi^+ \phi^- + 2(\phi^0)^2 H^2] - \\
 & g M W_\mu^+ W_\mu^- H - \frac{1}{2}g \frac{M}{c_w^2} Z_\mu^0 Z_\mu^0 H - \frac{1}{2}g [W_\mu^+ (\phi^0 \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu \phi^0) - \\
 & W_\mu^- (\phi^0 \partial_\mu \phi^+ - \phi^+ \partial_\mu \phi^0)] + \frac{1}{2}g [W_\mu^+ (H \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu H) - W_\mu^- (H \partial_\mu \phi^+ - \\
 & \phi^+ \partial_\mu H)] + \frac{1}{2}g \frac{1}{c_w} (Z_\mu^0 (H \partial_\mu \phi^0 - \phi^0 \partial_\mu H) - ig \frac{s_w}{c_w} M Z_\mu^0 (W_\mu^+ \phi^- - W_\mu^- \phi^+) + \\
 & ig s_w M A_\mu (W_\mu^+ \phi^- - W_\mu^- \phi^+) - ig \frac{1-2c_w^2}{2c_w} Z_\mu^0 (\phi^+ \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu \phi^+) + \\
 & ig s_w A_\mu (\phi^+ \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu \phi^+) - \frac{1}{4}g^2 W_\mu^+ W_\mu^- [H^2 + (\phi^0)^2 + 2\phi^+ \phi^-] - \\
 & \frac{1}{4}g^2 \frac{1}{c_w} Z_\mu^0 Z_\mu^0 [H^2 + (\phi^0)^2 + 2(2s_w^2 - 1)^2 \phi^+ \phi^-] - \frac{1}{2}g^2 \frac{s_w^2}{c_w} Z_\mu^0 \phi^0 (W_\mu^+ \phi^- + \\
 & W_\mu^- \phi^+) - \frac{1}{2}ig^2 \frac{s_w^2}{c_w} Z_\mu^0 H (W_\mu^+ \phi^- - W_\mu^- \phi^+) + \frac{1}{2}g^2 s_w A_\mu \phi^0 (W_\mu^+ \phi^- + \\
 & W_\mu^- \phi^+) + \frac{1}{2}ig^2 s_w A_\mu H (W_\mu^+ \phi^- - W_\mu^- \phi^+) - g^2 \frac{s_w}{c_w} (2c_w^2 - 1) Z_\mu^0 A_\mu \phi^+ \phi^- - \\
 & g^1 s_w^2 A_\mu A_\mu \phi^+ \phi^- - \bar{e}^\lambda (\gamma^\partial + m_e^\lambda) e^\lambda - \bar{\nu}^\lambda \gamma^\partial \nu^\lambda - \bar{u}_j^\lambda (\gamma^\partial + m_u^\lambda) u_j^\lambda - \\
 & \bar{d}_j^\lambda (\gamma^\partial + m_d^\lambda) d_j^\lambda + ig s_w A_\mu [-(\bar{e}^\lambda \gamma^\mu e^\lambda) + \frac{2}{3}(\bar{u}_j^\lambda \gamma^\mu u_j^\lambda) - \frac{1}{3}(\bar{d}_j^\lambda \gamma^\mu d_j^\lambda)] + \\
 & \frac{ig}{4c_w} Z_\mu^0 [(\bar{\nu}^\lambda \gamma^\mu (1 + \gamma^5) \nu^\lambda) + (\bar{e}^\lambda \gamma^\mu (4s_w^2 - 1 - \gamma^5) e^\lambda) + (\bar{u}_j^\lambda \gamma^\mu (\frac{4}{3}s_w^2 - \\
 & 1 - \gamma^5) u_j^\lambda) + (\bar{d}_j^\lambda \gamma^\mu (1 - \frac{8}{3}s_w^2 - \gamma^5) d_j^\lambda)] + \frac{ig}{2\sqrt{2}} W_\mu^+ [(\bar{\nu}^\lambda \gamma^\mu (1 + \gamma^5) \nu^\lambda) + \\
 & (\bar{u}_j^\lambda \gamma^\mu (1 + \gamma^5) C_{\lambda\kappa} d_j^\kappa)] + \frac{ig}{2\sqrt{2}} W_\mu^- [(\bar{e}^\lambda \gamma^\mu (1 + \gamma^5) e^\lambda) + (\bar{d}_j^\kappa C_{\lambda\kappa}^\dagger \gamma^\mu (1 + \\
 & \gamma^5) u_j^\lambda)] + \frac{ig}{2\sqrt{2}} \frac{m_\lambda^2}{M} [-\phi^+ (\bar{\nu}^\lambda (1 - \gamma^5) e^\lambda) + \phi^- (\bar{e}^\lambda (1 + \gamma^5) \nu^\lambda)] - \\
 & \frac{g}{2} \frac{m_\lambda^2}{M} [H (\bar{e}^\lambda e^\lambda) + i\phi^0 (\bar{e}^\lambda \gamma^5 e^\lambda)] + \frac{ig}{2M\sqrt{2}} \phi^+ [-m_d^\lambda (\bar{u}_j^\lambda C_{\lambda\kappa} (1 - \gamma^5) d_j^\kappa) + \\
 & m_u^\lambda (\bar{u}_j^\lambda C_{\lambda\kappa} (1 + \gamma^5) d_j^\kappa)] + \frac{ig}{2M\sqrt{2}} \phi^- [m_d^\lambda (\bar{d}_j^\kappa C_{\lambda\kappa}^\dagger (1 + \gamma^5) u_j^\lambda) - m_u^\lambda (\bar{d}_j^\kappa C_{\lambda\kappa}^\dagger (1 - \\
 & \gamma^5) u_j^\lambda) - \frac{g}{2} \frac{m_\lambda^2}{M} H (\bar{u}_j^\lambda u_j^\lambda) - \frac{ig}{2} \frac{m_\lambda^2}{M} \phi^0 (\bar{u}_j^\lambda \gamma^5 u_j^\lambda) - \\
 & \frac{ig}{2} \frac{m_\lambda^2}{M} \phi^0 (\bar{d}_j^\lambda \gamma^5 d_j^\lambda) + \bar{X}^+ (\partial^2 - M^2) X^+ + \bar{X}^- (\partial^2 - M^2) X^- + \bar{X}^0 (\partial^2 - \\
 & \frac{M^2}{c_w^2}) X^0 + \bar{Y} \partial^2 Y + igc_w W_\mu^+ (\partial_\mu \bar{X}^0 X^- - \partial_\mu \bar{X}^+ X^0) + ig s_w W_\mu^+ (\partial_\mu \bar{Y} X^- - \\
 & \partial_\mu \bar{X}^+ Y) + igc_w W_\mu^- (\partial_\mu \bar{X}^- X^0 - \partial_\mu \bar{X}^0 X^+) + ig s_w W_\mu^- (\partial_\mu \bar{X}^- Y - \\
 & \partial_\mu \bar{Y} X^+) + igc_w Z_\mu^0 (\partial_\mu \bar{X}^+ X^- - \partial_\mu \bar{X}^- X^0) + ig s_w A_\mu (\partial_\mu \bar{X}^+ X^- - \\
 & \partial_\mu \bar{X}^- X^0) - \frac{1}{2}gM [\bar{X}^+ X^+ H + \bar{X}^- X^- H + \frac{1}{c_w^2} \bar{X}^0 X^0 H] + \\
 & \frac{1-2c_w^2}{2c_w} igM [\bar{X}^+ X^0 \phi^- - \bar{X}^- X^0 \phi^+] + \frac{1}{2c_w} igM [\bar{X}^0 X^- \phi^+ - \bar{X}^0 X^+ \phi^-] + \\
 & \frac{1}{2}igM s_w [\bar{X}^0 X^- \phi^+ - \bar{X}^0 X^+ \phi^-] + \frac{1}{2}igM [\bar{X}^+ X^+ \phi^0 - \bar{X}^- X^- \phi^0]
 \end{aligned}$$

*H = Bosone di Higgs*

$$g M W_\mu^+ W_\mu^- H - \frac{1}{2} g \frac{M}{c_w^2} Z_\mu^0 Z_\mu^0 H$$

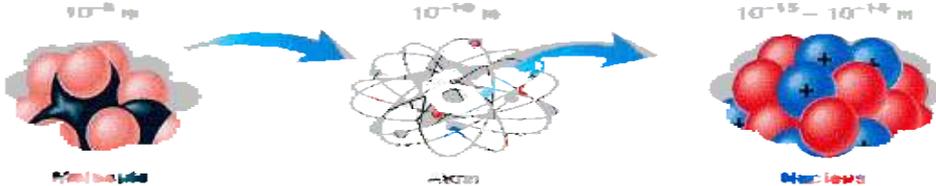
**NOBEL IN FISICA 2013**



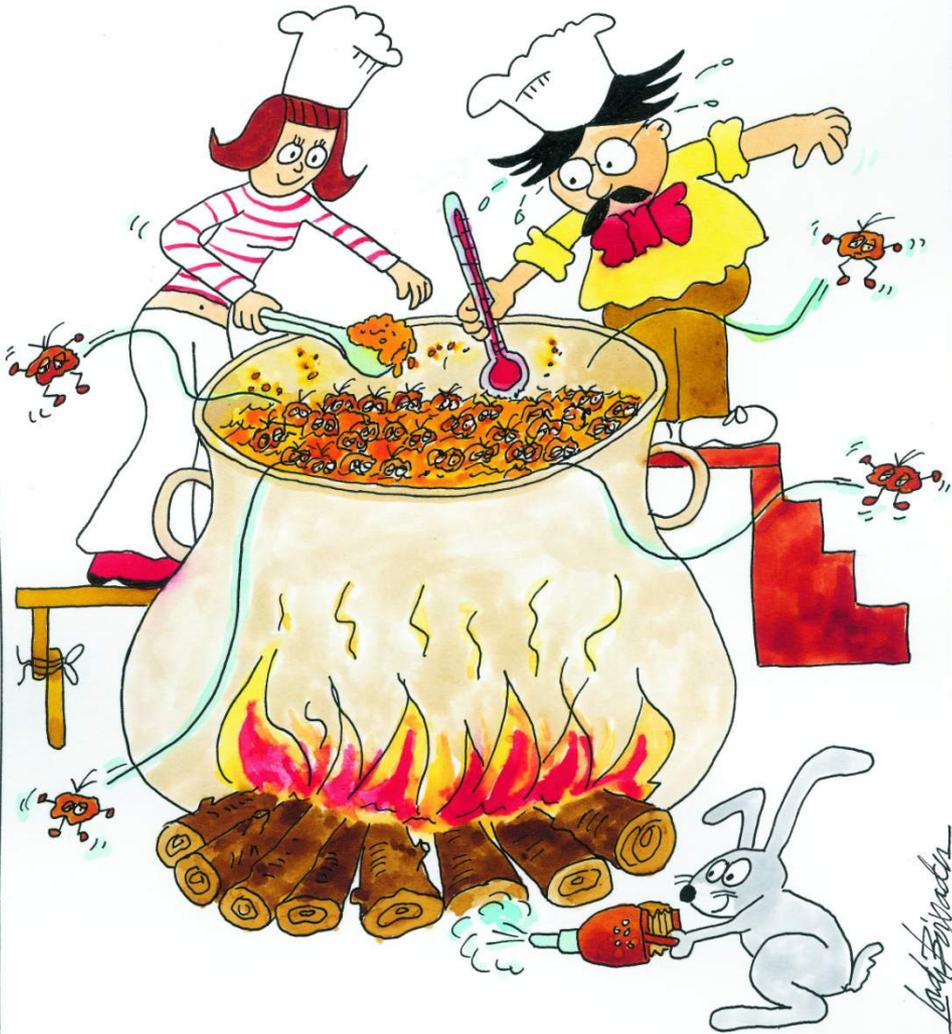
Photo credit: CERN

*Francois Englert & Peter Higgs*

# Le forze fondamentali

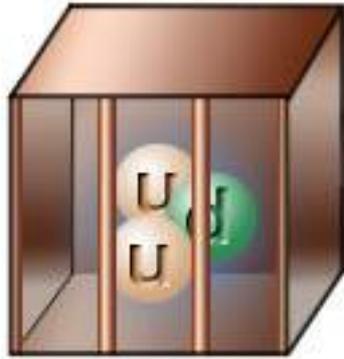
forza	intensità	effetto	
Gravitazionale	1	Vi tiene seduti	
Debole	$10^{29}$	Decadimenti: $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$	  
Elettromagnetica	$10^{40}$	Tiene insieme gli atomi	 
Forte	$10^{43}$	Tiene insieme i nuclei	

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)

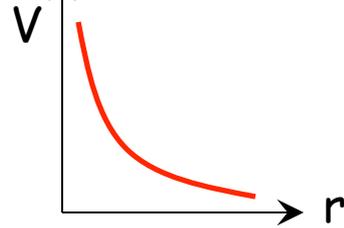


Esistono quark e gluoni liberi?

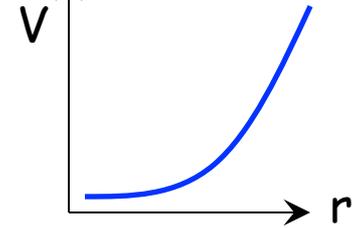
# Libertà Asintotica → Confinamento



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

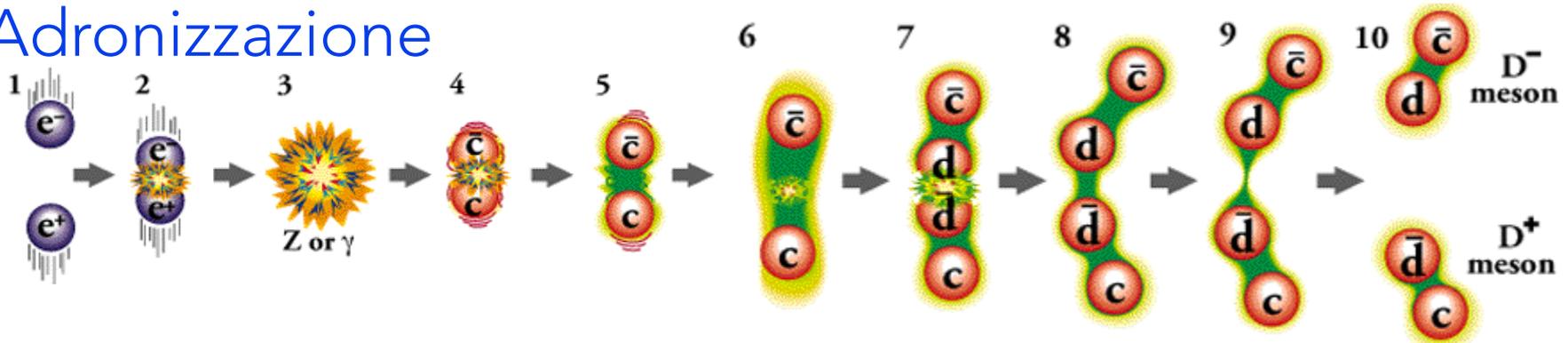


$$V_{\text{QCD}} \propto e^{k \cdot r}$$

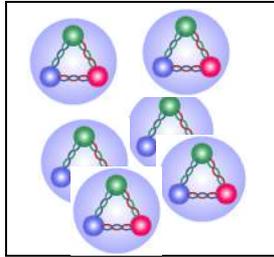


Allontanando i quark, si crea una tensione con energia sufficiente a creare altre particelle (1000 MeV / fm)

## Adronizzazione



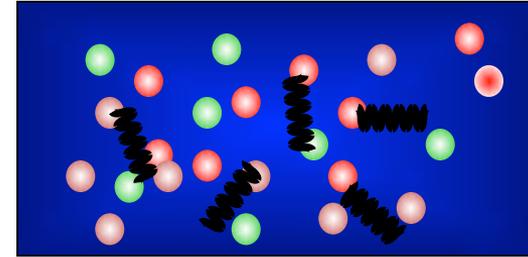
Bisogna creare un sistema che abbia una densità enorme  
(ptc a distanza infinitesima) tale da rendere trascurabile  
l'interazione forte



**adroni**



**ENERGIA**



**Quark Gluon Plasma**

**Nobel Prize 2005**

D. Gross  
H.D. Politzer  
F. Wilczek

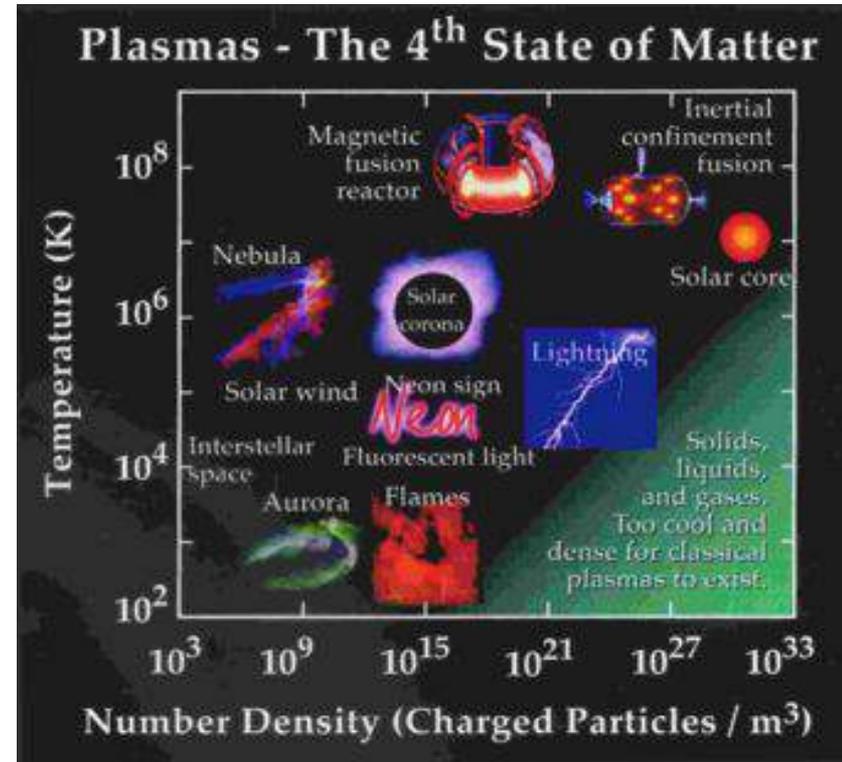
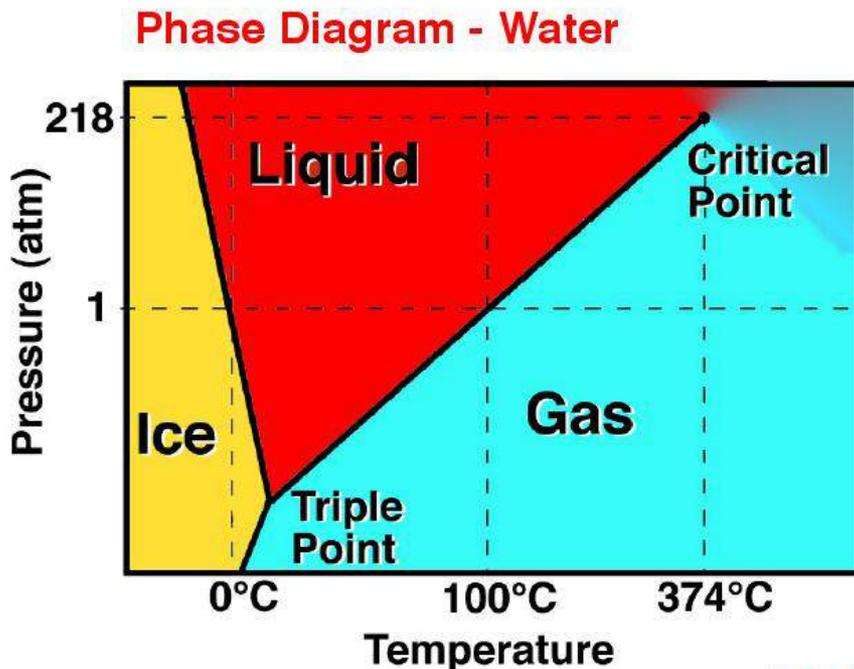
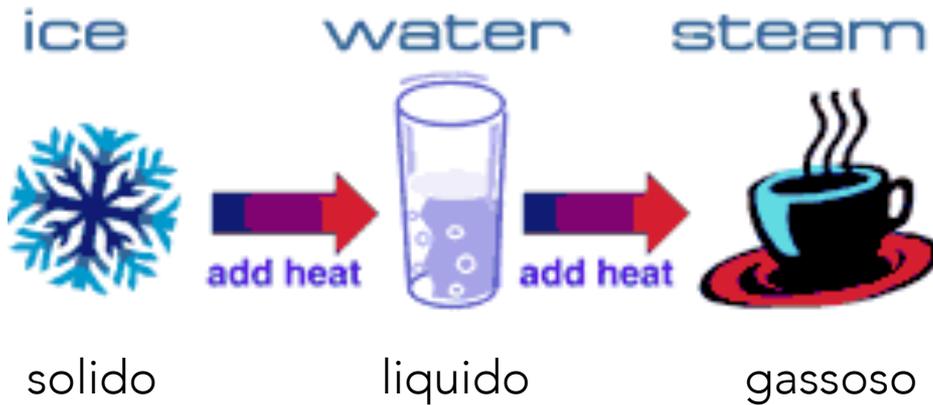
QCD Asymptotic Freedom (1973)



“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)

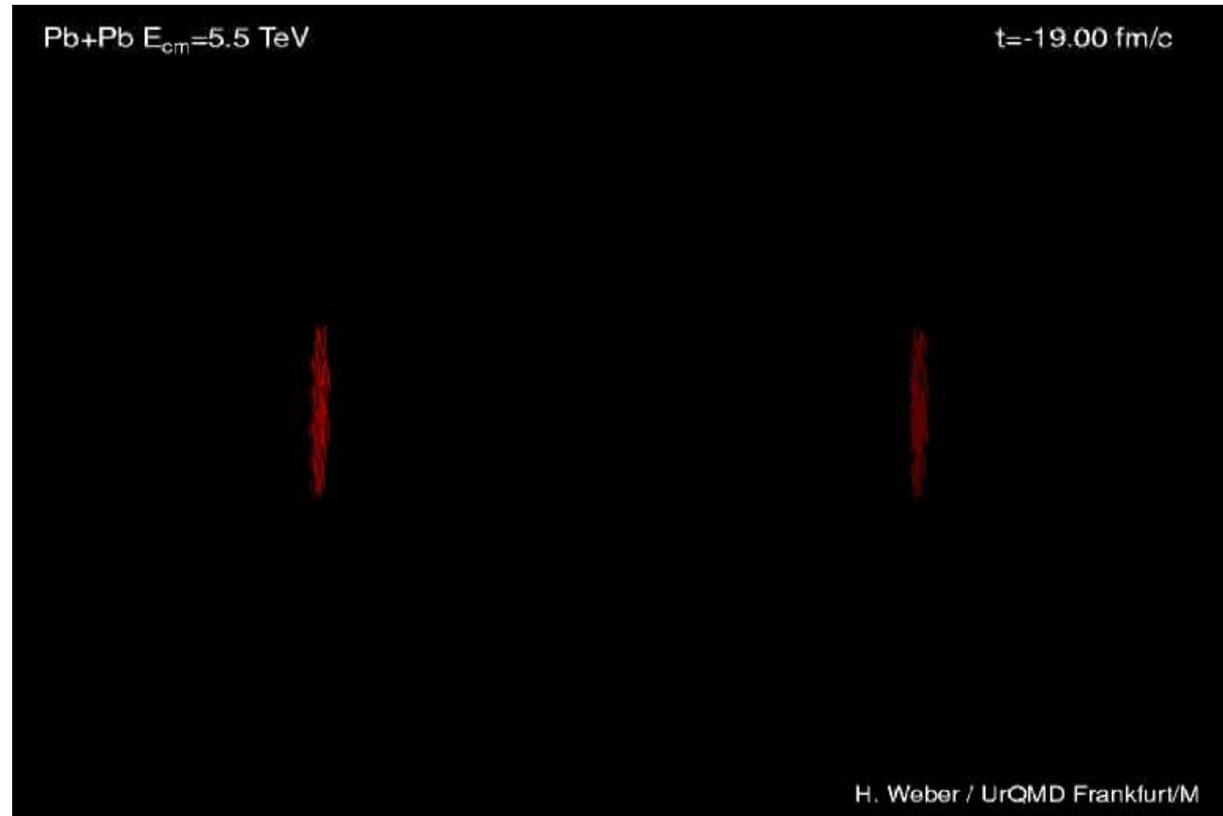
# Fasi della materia "normale"



Plasma Classico

# QGP attraverso gli Heavy-Ions

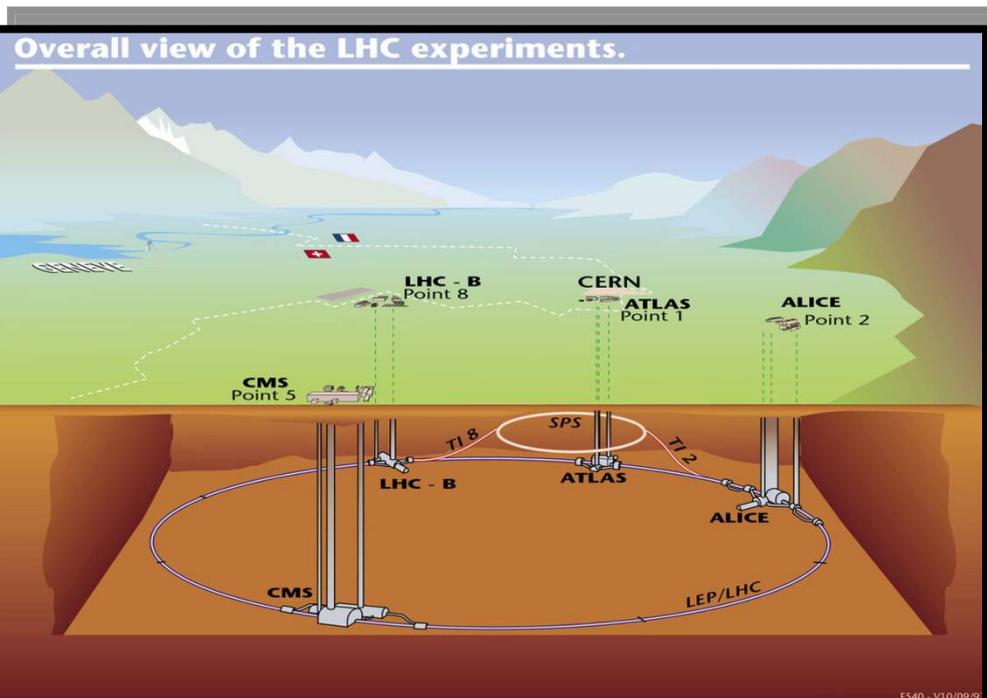
2 nuclei di  
Piombo  
collidono ad  
altissima  
energia creando  
un sistema ad  
altissima densità





# ALICE: A Large Ion Collider Experiment

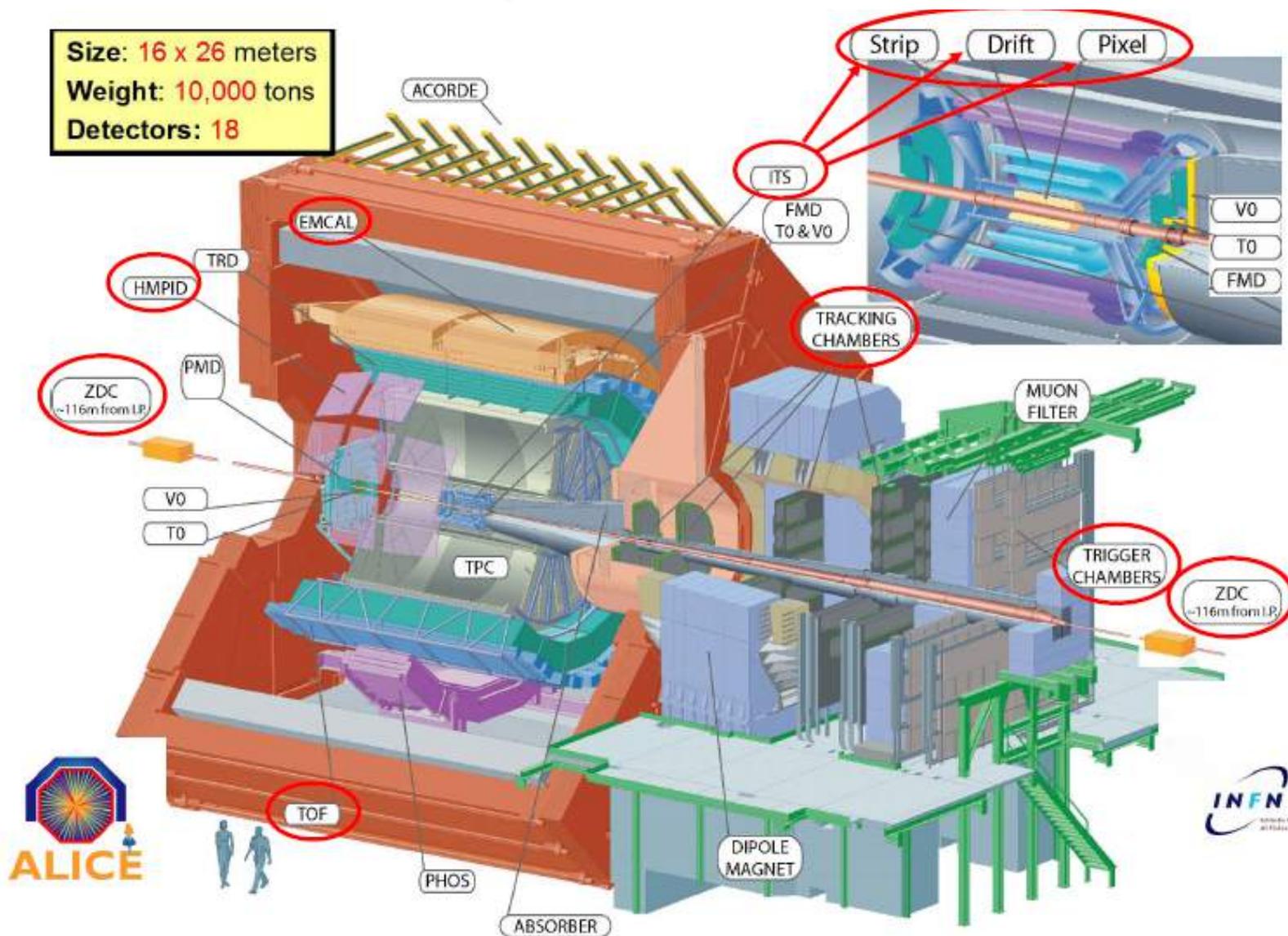
Alice è l'unico esperimento a LHC dedicato alla fisica con fasci di ioni



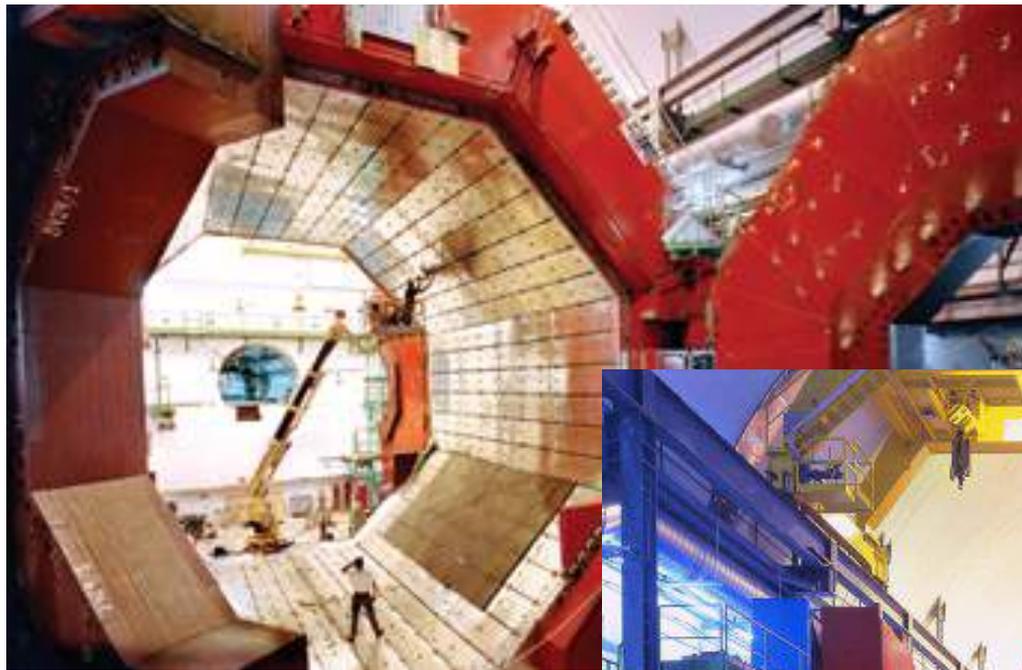
200 fisici Italiani: BA, BO, CA, CT, LNF, LNL, PD, RM, SA, TO, TS

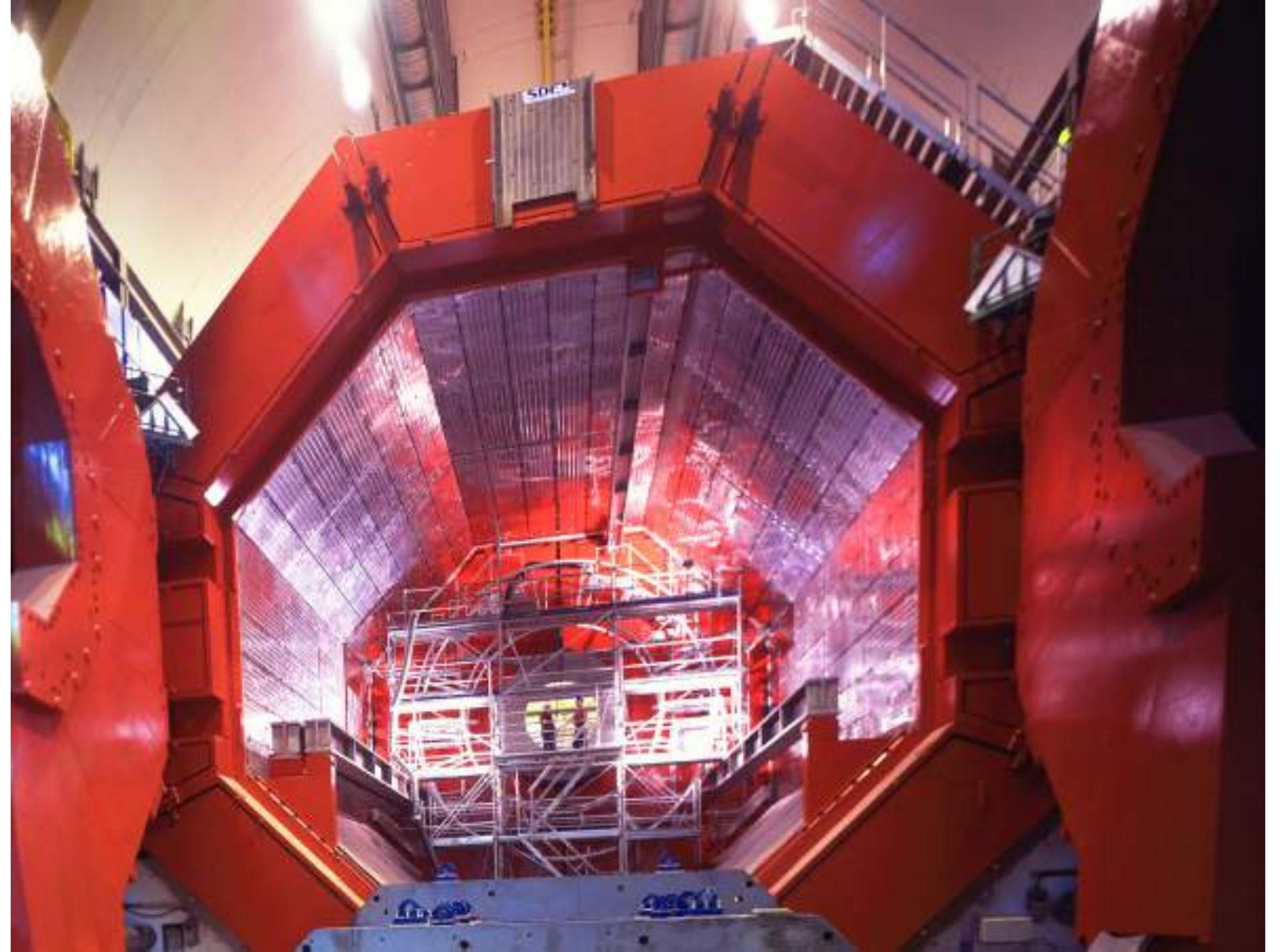
# Lo spettrometro

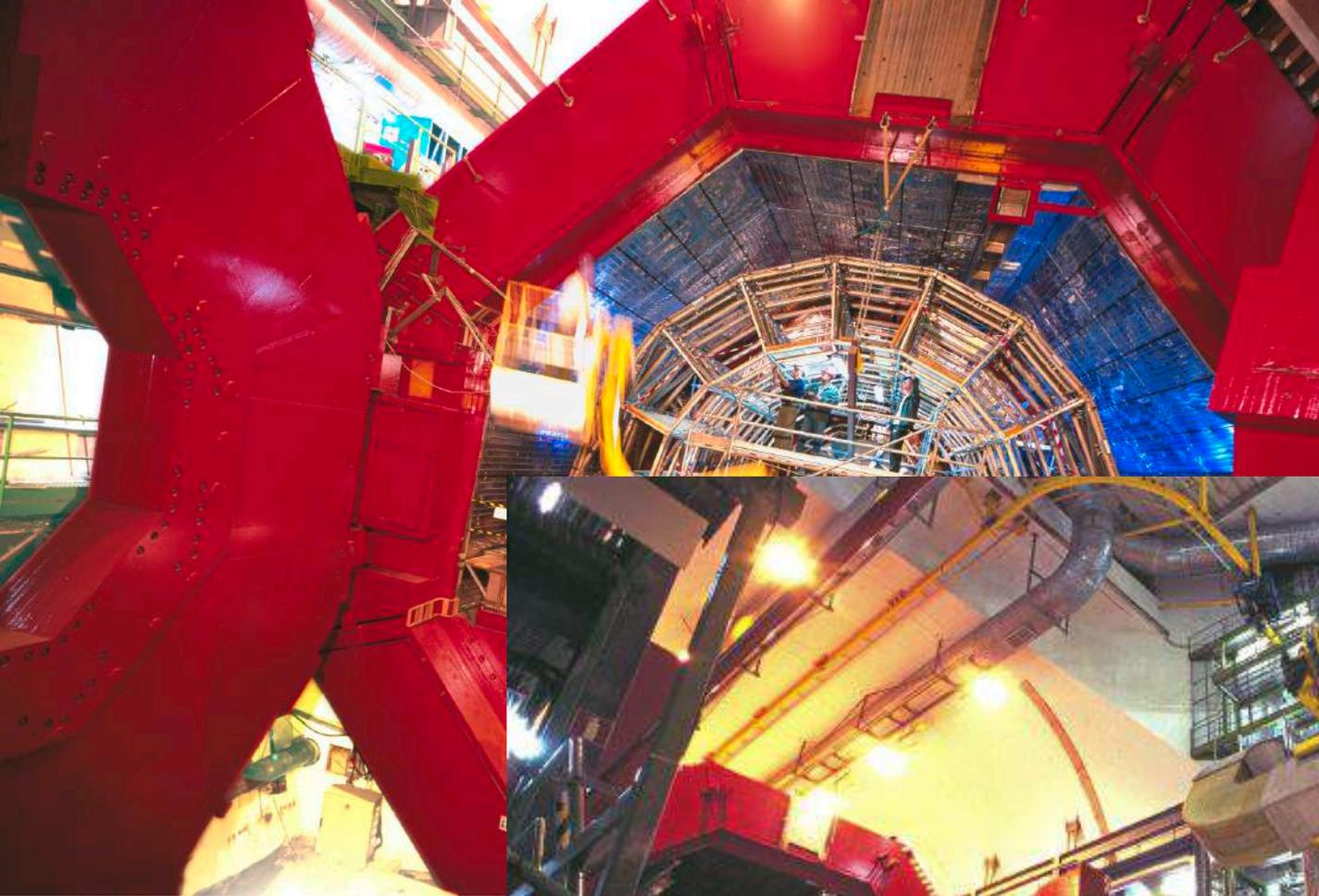
**Size:** 16 x 26 meters  
**Weight:** 10,000 tons  
**Detectors:** 18

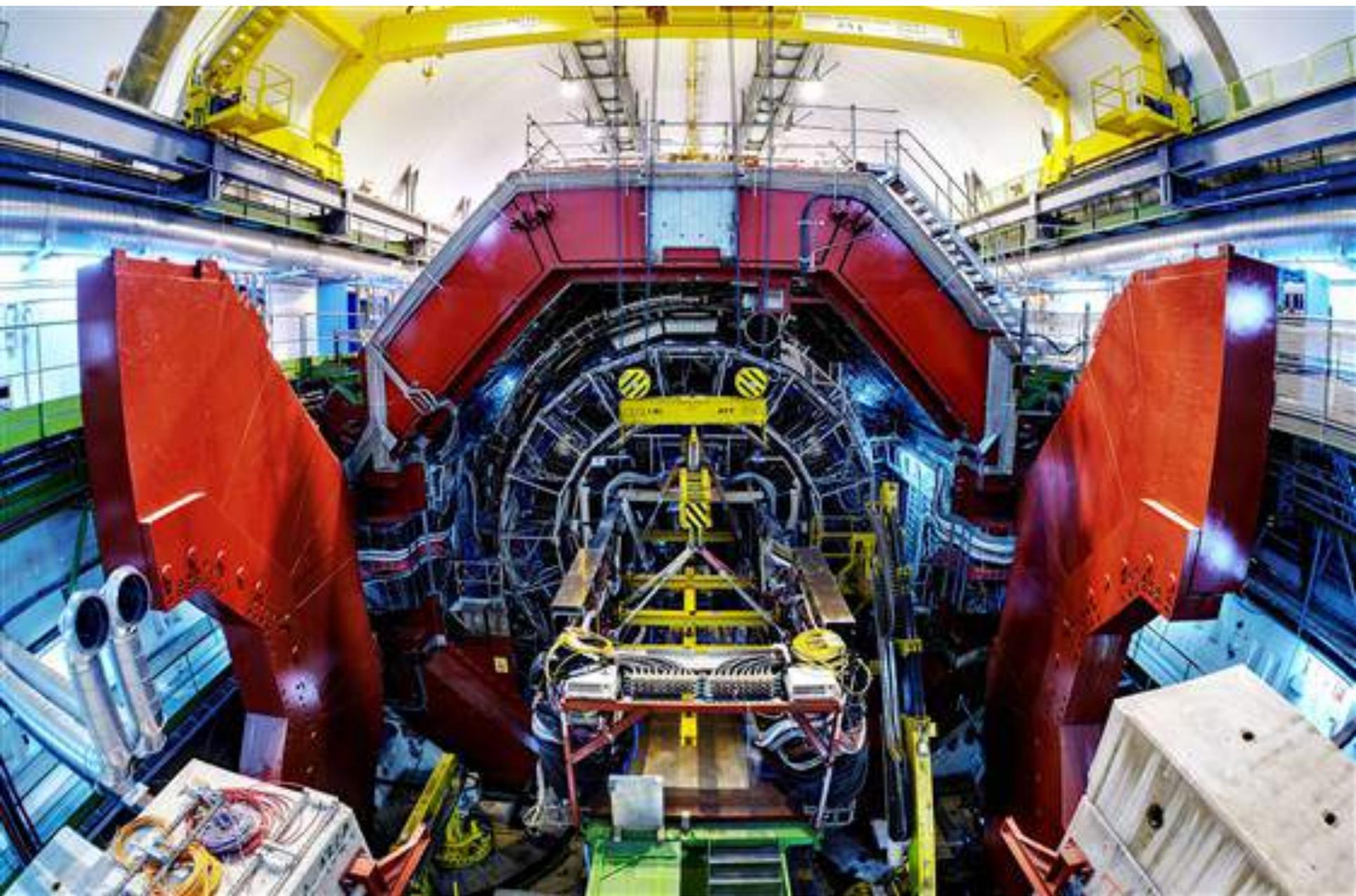


**○ : Rivelatori sotto la completa o parziale responsabilità INFN**

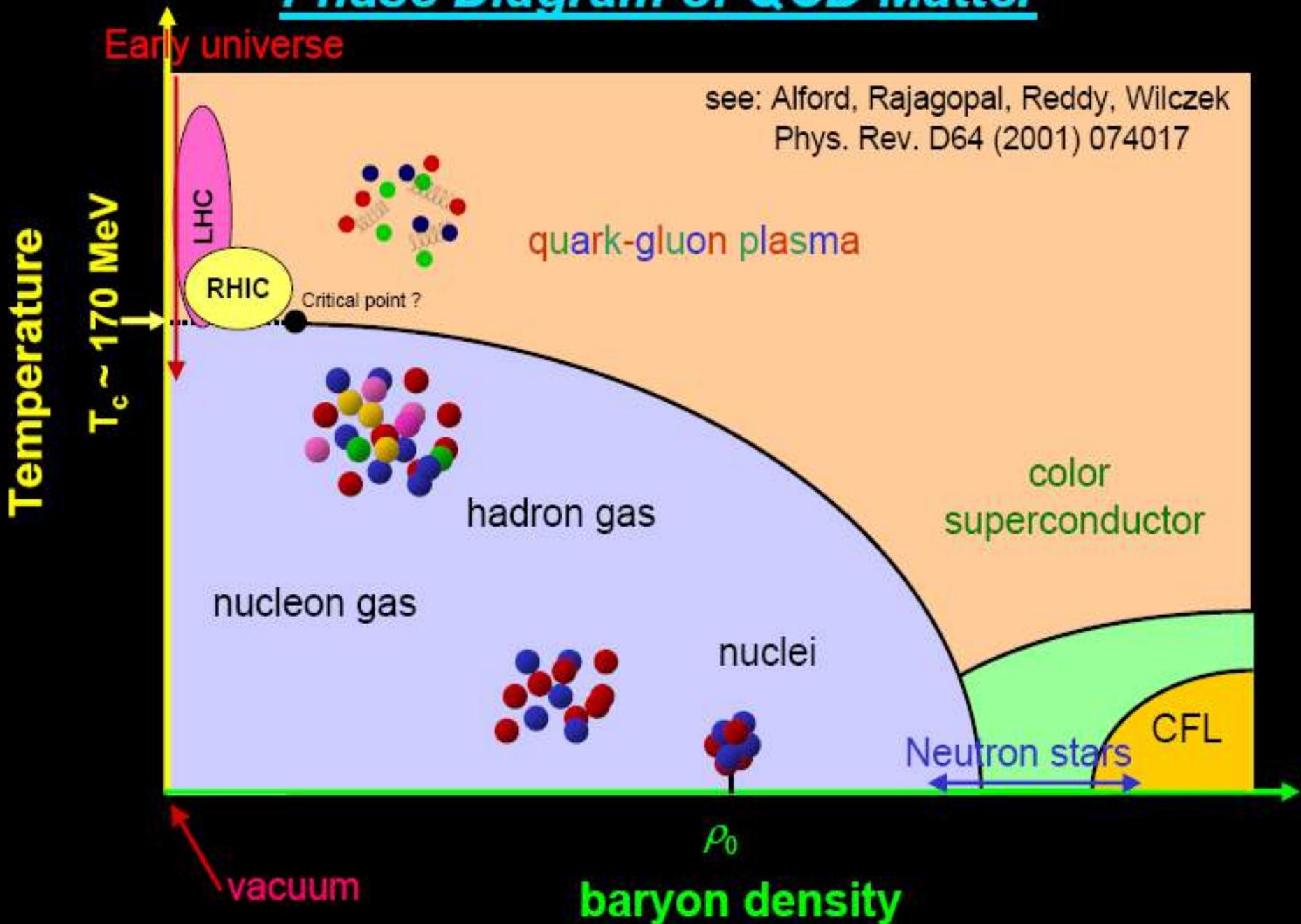








# Phase Diagram of QCD Matter



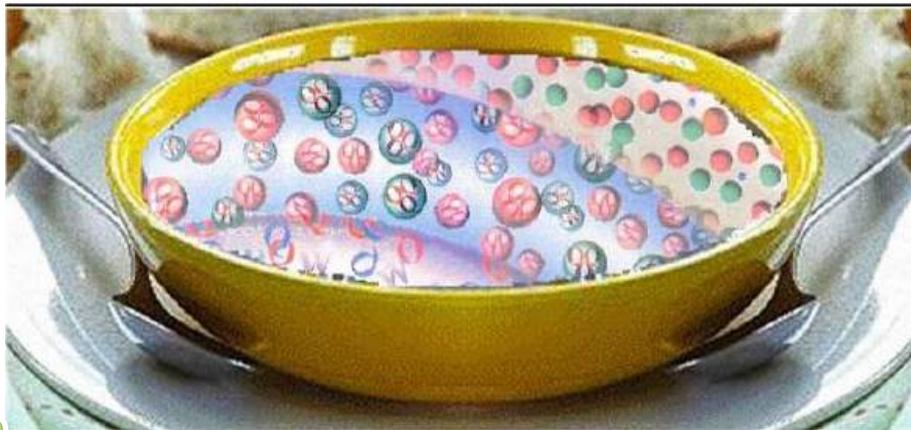
# Il QGP: una "zuppa" ricca di informazioni

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

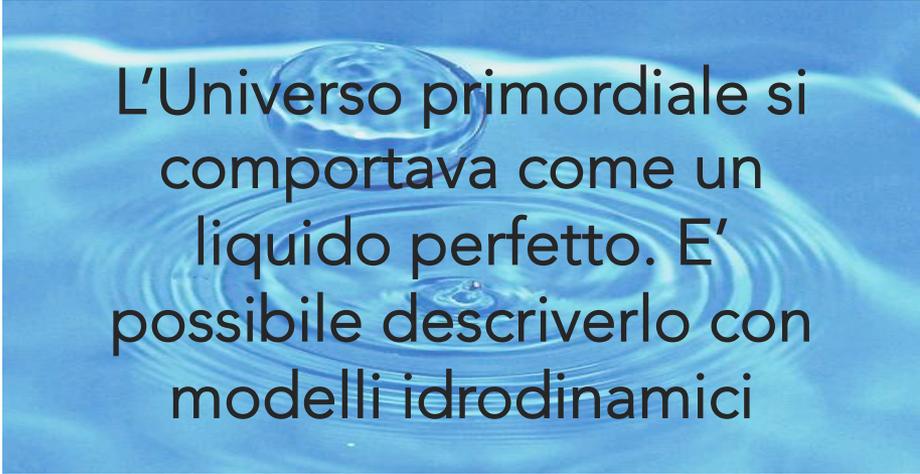
# Il QGP: una "zuppa" ricca di informazioni

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



L'Universo primordiale si comportava come un liquido perfetto. E' possibile descriverlo con modelli idrodinamici

*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

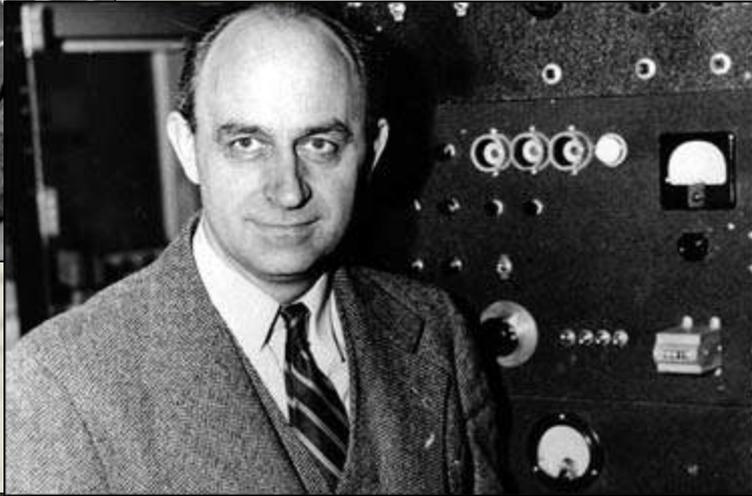
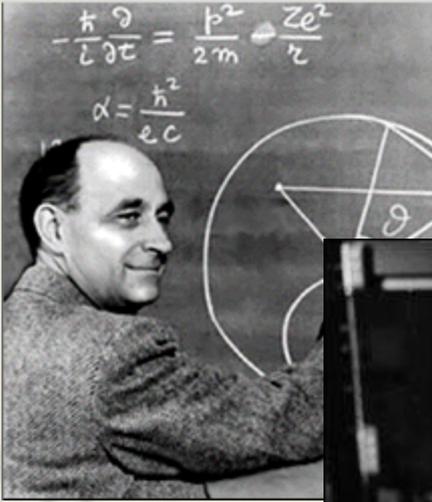
Perdita di energia partonica

Composizione chimica

# Ci sono ancora molti punti da chiarire ...

- E' possibile unificare le 4 forze in un'unica superforza?
- L'Universo è SuperSimmetrico?
- Qual'e' la natura della Materia Oscura?
- Cosa è successo all'anti-materia
- ...

Nei prossimi 10-15 anni LHC avrà le potenzialità per rispondere a queste ed altre domande



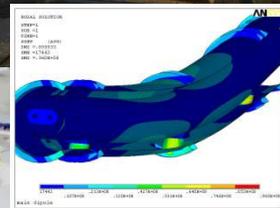
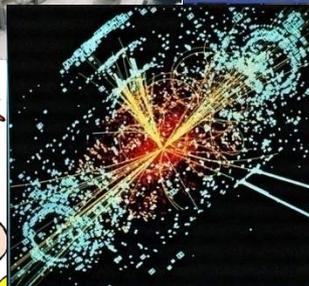
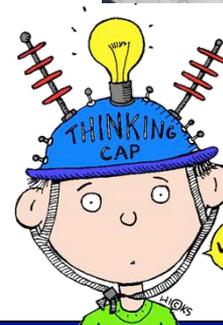
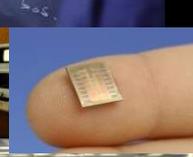
I' m still confused ...

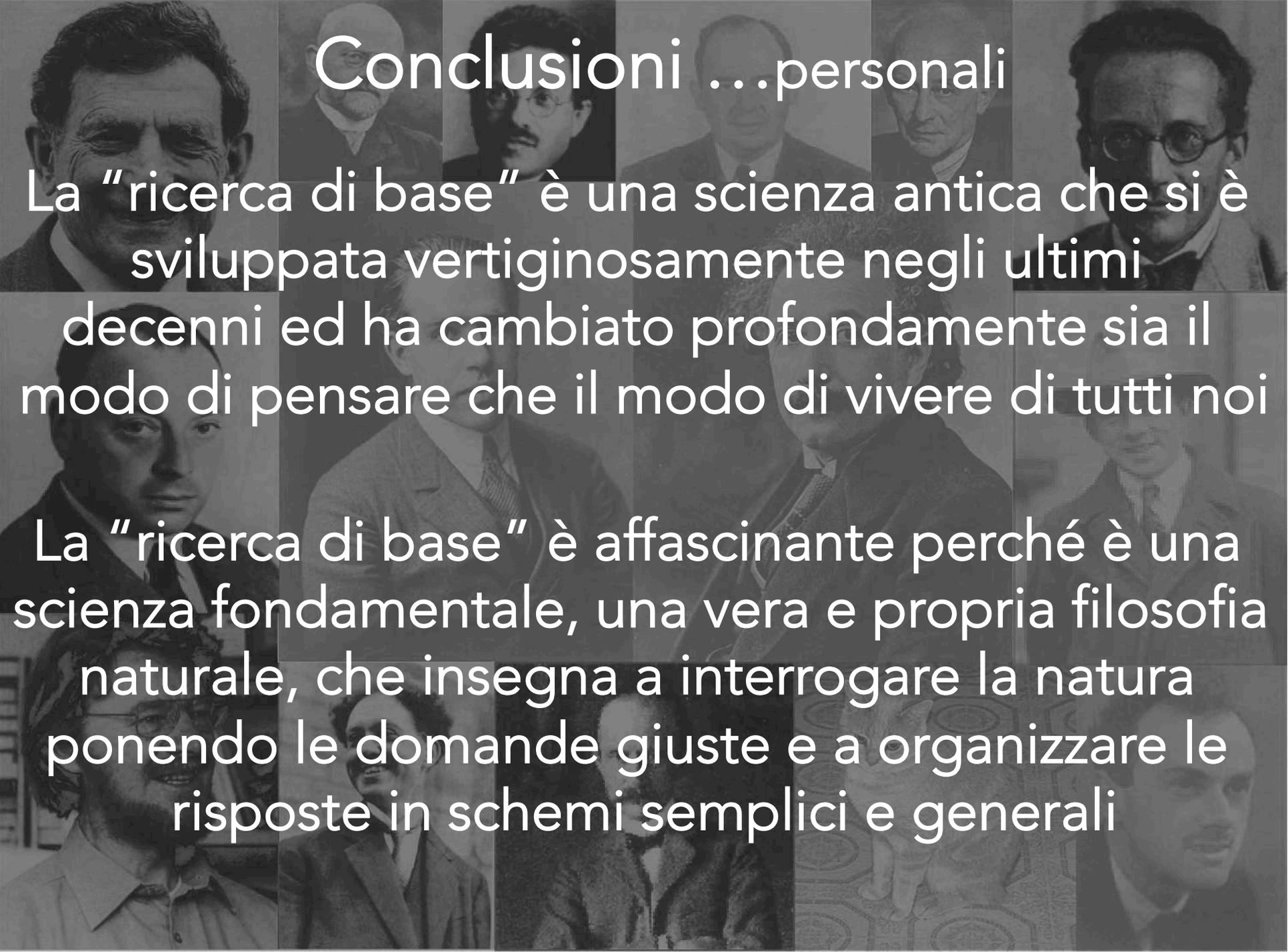
... but at high level

E.Fermi, Chicago 1951

# La vita nei grandi progetti di ricerca

- Attenzione ai costi fino allo spasimo: controlli lungo tutto il progetto
- Alla frontiera del progresso per tutta la durata del progetto
- Condivisione della responsabilità: Meetings! Comunicare!
- Occorre integrare diverse discipline
- Occorre sapersi integrare in un team ... senza sacrificare la creatività personale e la capacità di prendere decisioni





# Conclusioni ...personali

La "ricerca di base" è una scienza antica che si è sviluppata vertiginosamente negli ultimi decenni ed ha cambiato profondamente sia il modo di pensare che il modo di vivere di tutti noi

La "ricerca di base" è affascinante perché è una scienza fondamentale, una vera e propria filosofia naturale, che insegna a interrogare la natura ponendo le domande giuste e a organizzare le risposte in schemi semplici e generali

Se l'importanza della scienza è stata, alcune volte, messa in dubbio è perché gli sforzi della specie umana verso le sue più belle aspirazioni sono stati imperfetti ...

Soprattutto, è attraverso gli sforzi quotidiani verso la scienza che il genere umano ha raggiunto la collocazione eccezionale che occupa sulla Terra. Noi dobbiamo appartenere a quelli che ... credono, invincibilmente, che la scienza trionferà sull'ignoranza e sulla guerra.



Marie Curie, 1926