



Run Number: 189280,  
Event Number: 143576946  
Date: 2011-09-14, 11:37:11 CET

EtCut>0.3 GeV  
PtCut>3.0 GeV  
Vertex Cuts:  
Z direction <1cm  
Rphi <1cm

Muon: blue  
Cells: Tiles, EMC

# oltre il Bosone di Higgs

*(lo strano caso dei 3000 fisici con un solo esperimento)*

**Roberto Ferrari**  
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

Liceo Scientifico Guglielmo Marconi  
Chiavari, 15 maggio 2017

*forse ... un pizzico  
di  
fisica delle particelle  
con qualche  
danno collaterale*

# Introduzione

*... voi non sapete chi sono io ...*

Roberto Ferrari

[ roberto.ferrari@pv.infn.it oppure roberto.ferrari@cern.ch ]

ricercatore dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (I.N.F.N.) a Pavia

laurea in fisica all'Università di Parma

liceo scientifico a Borgotaro ...

montanaro doc (nato e cresciuto a Bardi)

[ nessuno è perfetto :-([ ]

dalla tesi di laurea a oggi in esperimenti (a volte "R&D") al CERN

(UA2, UA2', SPACAL, LHCTb, NOMAD, ATLAS, DREAM)

Quiz a risposte multiple: perché ho scelto di fare il fisico? Bella domanda ...

1) perché sono matto o asociale ?

« alla società costa meno mantenerci al CERN che cercare di curarci »

2) perché è sempre meglio che lavorare ?

3) per cercare di capire le leggi dell'universo ?

# qualche altro punto di vista ...

Making things with  
your own hands!  
John (ISU)



Scientific insight!  
Richard (TTU)



Having a fantastic time  
with toys!  
Massimo (Insubria)



Altri buoni motivi per fare questo mestiere:

- ambiente generalmente positivo e costruttivo
- le gerarchie contano solo fino a un certo punto
- non si smette mai di imparare ...

# capire l'universo ?

[ programma vasto e ambizioso ! ]

è davvero possibile ?

se è possibile, allora è possibile capire ogni cosa

è possibile capire la natura

è possibile capire gli uomini

forse ... persino le donne !

*per secoli si è ritenuto che non fosse così, ma un signore pisano, un giorno, ...*

## Galileo Galilei, a.d. 1623, Il Saggiatore, Cap. VI

« La filosofia è scritta in questo grandissimo libro che continuamente ci sta aperto innanzi a gli occhi (*io dico l'universo*), ma non si può intendere se prima non s'impara a intender la lingua, e conoscer i caratteri, ne' quali è scritto.

*Egli è scritto in lingua matematica*, e i caratteri son triangoli, cerchi, ed altre figure geometriche, senza i quali mezzi è impossibile a intenderne umanamente parola; senza questi è un aggirarsi vanamente per un oscuro laberinto. »



***Galileo: solo attraverso la matematica  
si può capire il mondo ovvero ...***

***chi rinuncia a capire la matematica,  
rinuncia alla possibilità di capire il  
mondo***

***se è una brutta notizia ... non disperate ...***

***è davvero così ?***

***mica ovvio ...***

Albert Einstein:

« il mistero più grande è che il mondo sia comprensibile »

Louis de Broglie:

« non ci meravigliamo abbastanza del fatto che una scienza sia possibile, cioè che la nostra ragione ci fornisca i mezzi per comprendere almeno certi aspetti di ciò che accade attorno a noi »

***non c'è nessuna garanzia del fatto che la nostra mente abbia le potenzialità per comprendere davvero, completamente, il mondo***

***ma ... l'unica via per saperlo è provarci ...***

# Propaganda

*È uno sporco lavoro ma qualcuno lo deve pur fare ...*



# Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

**I.N.F.N.**

promuove, coordina ed  
effettua la ricerca in fisica  
delle particelle  
elementari in Italia

19 sezioni, 11 gruppi,  
4 laboratori nazionali,  
1850 dipendenti.

~ 5000 ricercatori, la maggior  
parte universitari,  
distribuiti in 16 regioni diverse

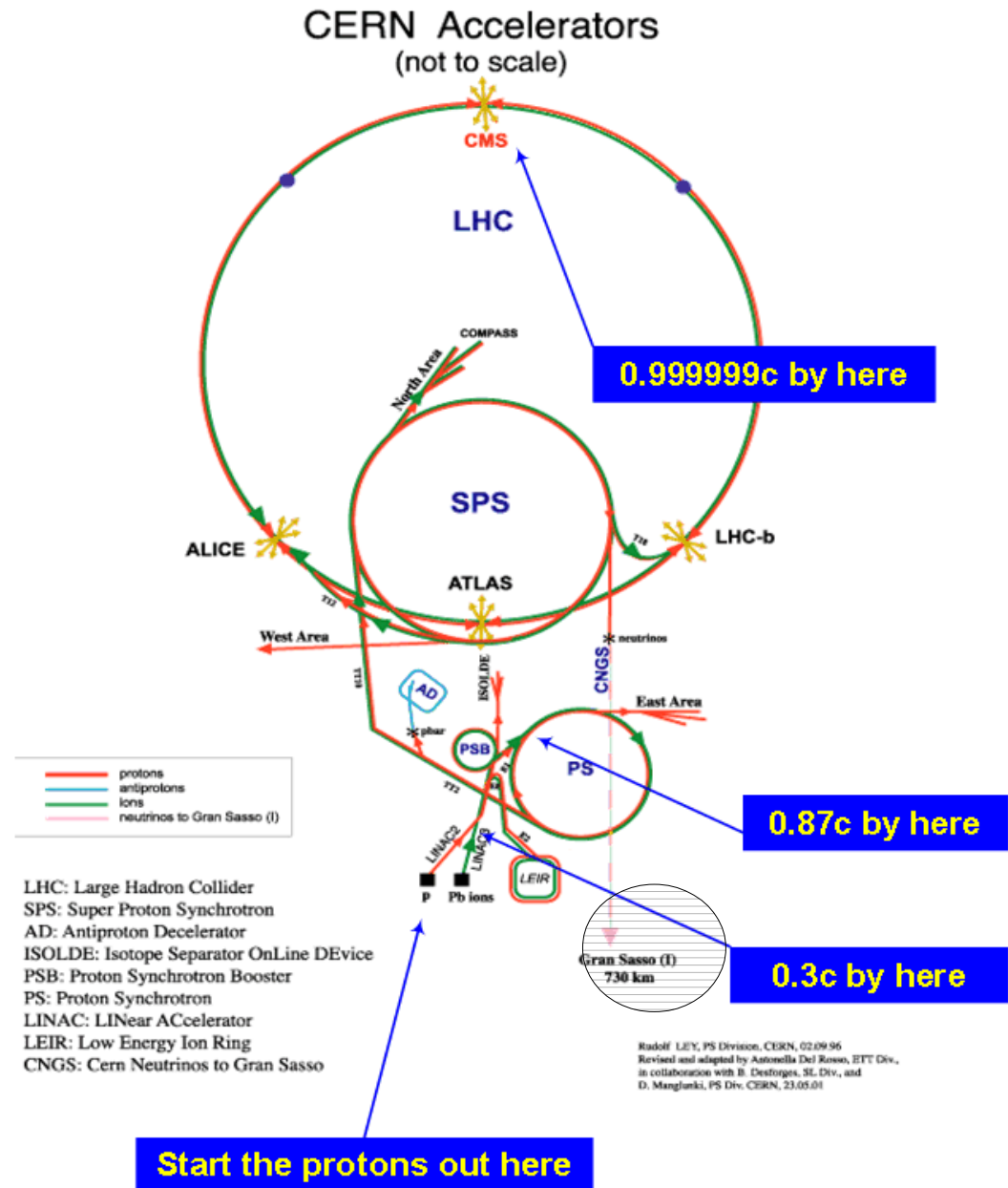


# CERN

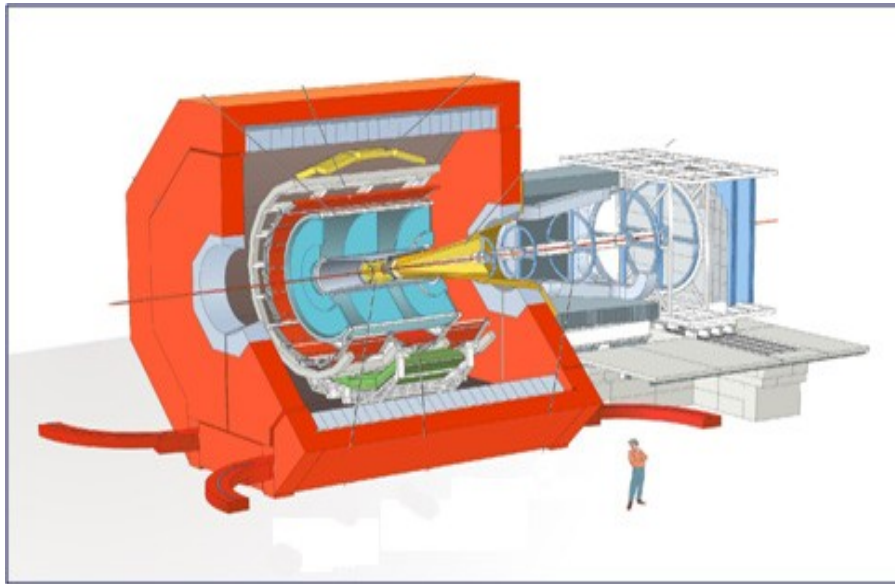
## European Organization for Nuclear Research

laboratorio europeo per la  
fisica delle particelle  
elementari

tanti diversi acceleratori: PS,  
SPS, ..., LHC

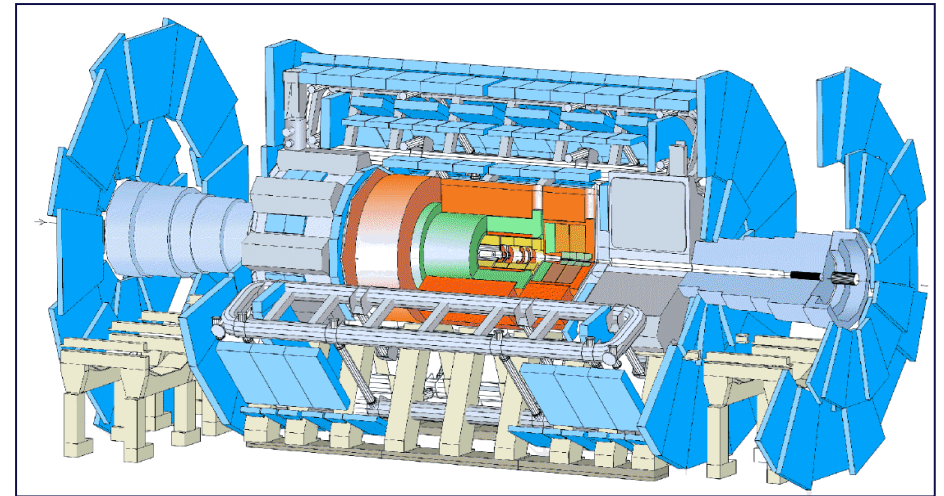


**ALICE [ Paolo Giubellino ]**

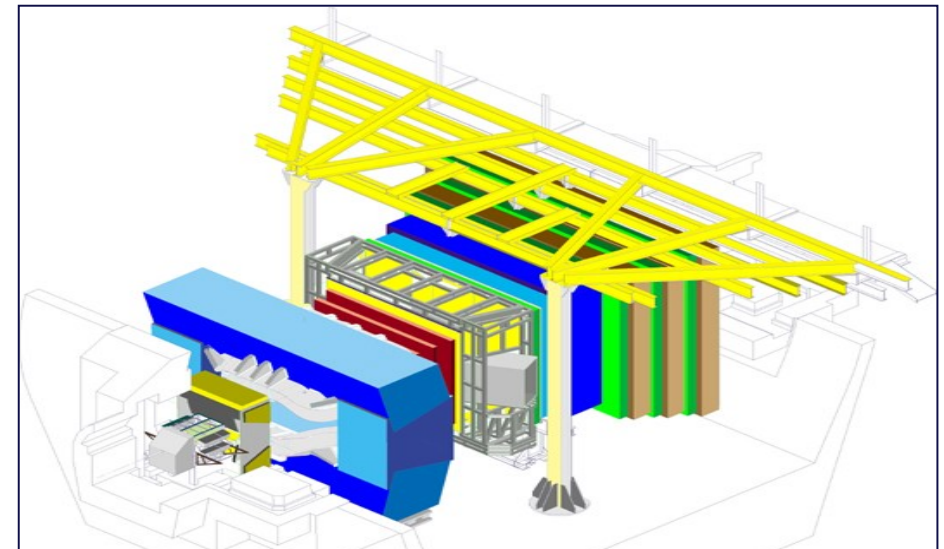
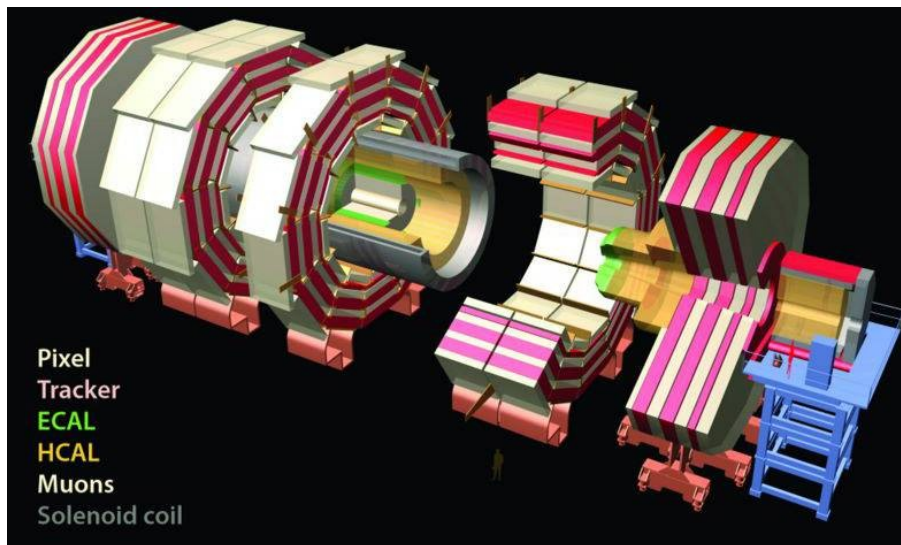


**CMS [ Guido Tonelli ]**

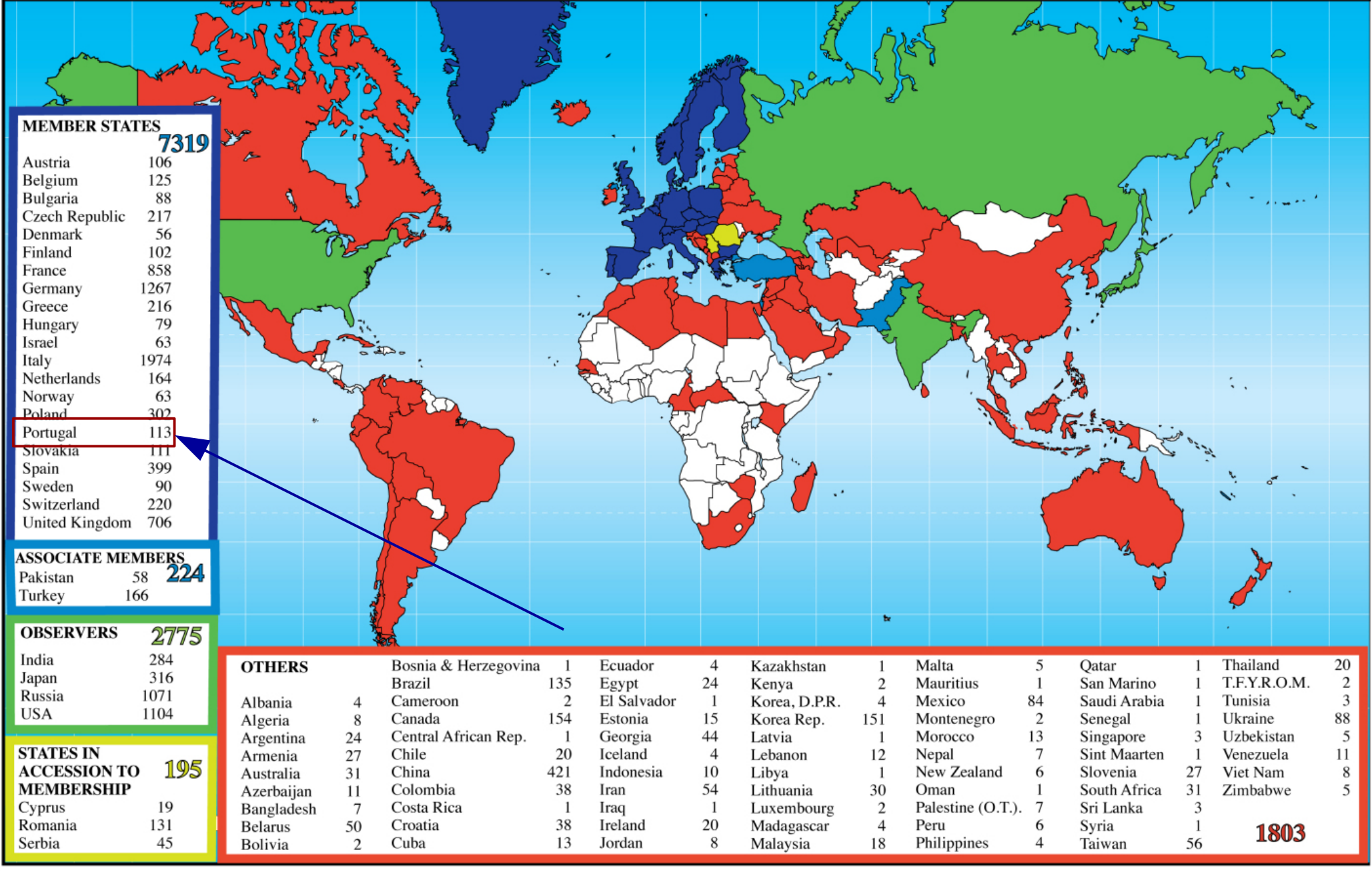
**ATLAS [ Fabiola Gianotti ]**



**LHCb [ Pierluigi Campana ]**







# Paradiso e Inferno

Il Paradiso è dove:

i cuochi sono francesi,

i poliziotti inglesi,

i meccanici tedeschi,

gli amanti italiani

e tutto è organizzato dagli  
svizzeri

L'Inferno è dove:

i cuochi sono inglesi,

i poliziotti tedeschi,

i meccanici francesi,

gli amanti svizzeri

e tutto è organizzato dagli  
italiani

# a che serve la ricerca fondamentale?

Robert Wilson (US), a proposito del Fermi National Laboratory, al comitato sull'energia atomica (1969):

« No, non serve per la difesa militare del nostro paese, ma piuttosto a renderlo degno di essere difeso »

Michael Faraday (UK), a un politico, sull'induzione e.m. (1821):

« A cosa serva non lo so, ma sono sicuro che, prima o poi, uno come te ci metterà una tassa sopra »

**il motore è la curiosità,  
l'obiettivo la conoscenza ...**

**effetti collaterali →**

# dove è nato il Web ?

Tim Berners-Lee



# la proposta iniziale ...

Vague but exciting ...

CERN DD/OC  
Information Management: A Proposal  
Tim Berners-Lee, CERN/DD  
March 1989

## Information Management: A Proposal

Abstract

This proposal concerns the management of general information about accelerators and experiments at CERN. It discusses the problems of loss of information about complex evolving systems and derives a solution based on a distributed hypertext system.

Keywords: Hypertext, Computer conferencing, Document retrieval, Information management, Project control

```
graph TD
    ThisDocument[This document] -- describes --> AProposal[A Proposal X]
    ThisDocument -- describes --> Hypermedia[Hypermedia]
    ThisDocument -- describes --> HyperText[Hyper text]
    AProposal -- describes --> ComputerConferencing[Computer conferencing]
    AProposal -- describes --> VAXNOTES[VAX/NOTES]
    AProposal -- describes --> uucpNews[uucp News]
    AProposal -- describes --> CERNDoc[CERNDoc]
    ComputerConferencing -.-> IBMGroupTalk[IBM GroupTalk]
    ComputerConferencing -.-> uucpNews
    VAXNOTES -- unifies --> uucpNews
    uucpNews -.-> HierarchicalSystems[Hierarchical systems]
    CERNDoc -- includes --> CERNA[C.E.R.N.]
    CERNA --> DD[DD division]
    CERNA --> MIS[MIS]
    CERNA --> OC[OC group]
    CERNA --> RA[RA section]
    CERNDoc -- includes --> Tim[Tim Berners-Lee]
    Hypermedia -- includes --> HyperCard[Hyper Card]
    Hypermedia -- includes --> ENQUIRE[ENQUIRE]
    HyperText -- includes --> HyperCard
    HyperText -- includes --> ENQUIRE
    LinkedInformation[Linked information] -- includes --> HyperCard
    LinkedInformation -- includes --> ENQUIRE
    HierarchicalSystems --> CERNA
    HierarchicalSystems --> uucpNews
    CERNA -.-> uucpNews
```

1989

“vague but exciting”

<http://first-website.web.cern.ch/>

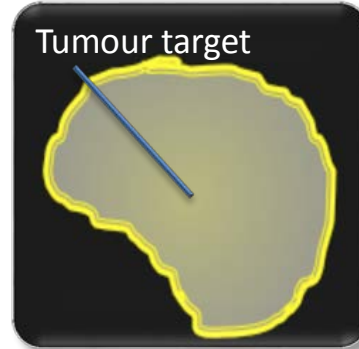
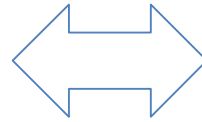
24 anni di web aperto e libero:

“On 30 April 1993 CERN published a statement that made World Wide Web technology available on a royalty free basis, allowing the web to flourish”

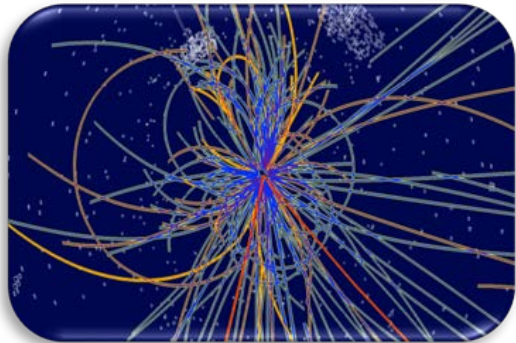
# Il trasferimento tecnologico (o trasferimento di conoscenza)



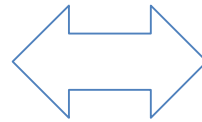
**Acceleratori  
di particelle**



**Radio-terapie**



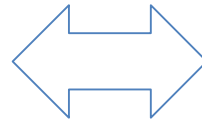
**Rivelatori**



**Diagnostica  
per immagini**



**Calcolo  
su grande  
scala (Grid)**



**Gestione e analisi  
di dati medici**

# medical imaging



# raggi X



Wilhelm Röntgen  
1845-1923  
premio Nobel nel 1901

*8 novembre 1895:  
scoperta*

*22 dicembre 1895:  
prima radiografia*

Courtesy of Roentgen museum



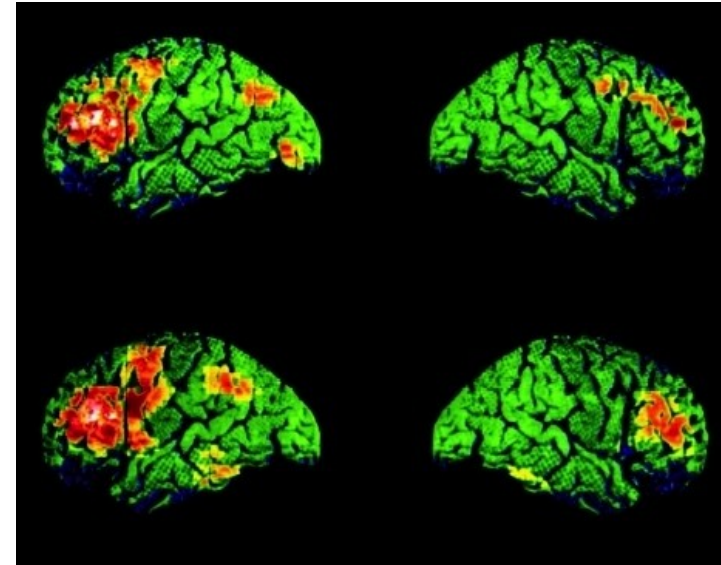
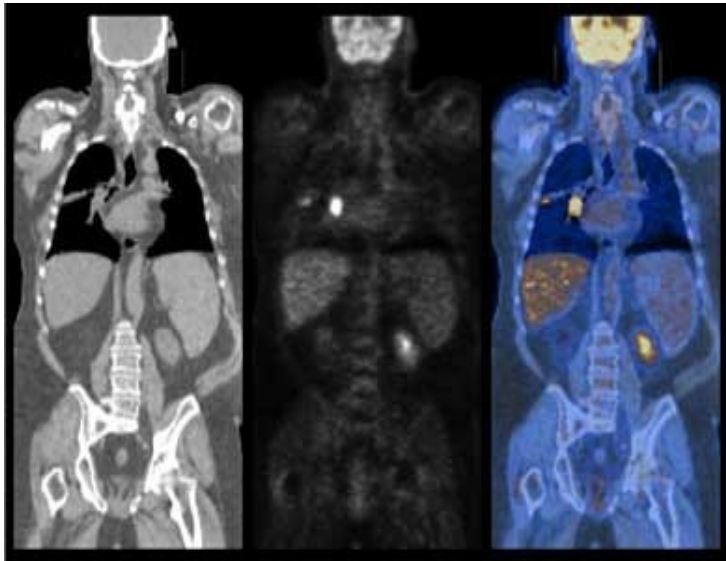


# antimateria

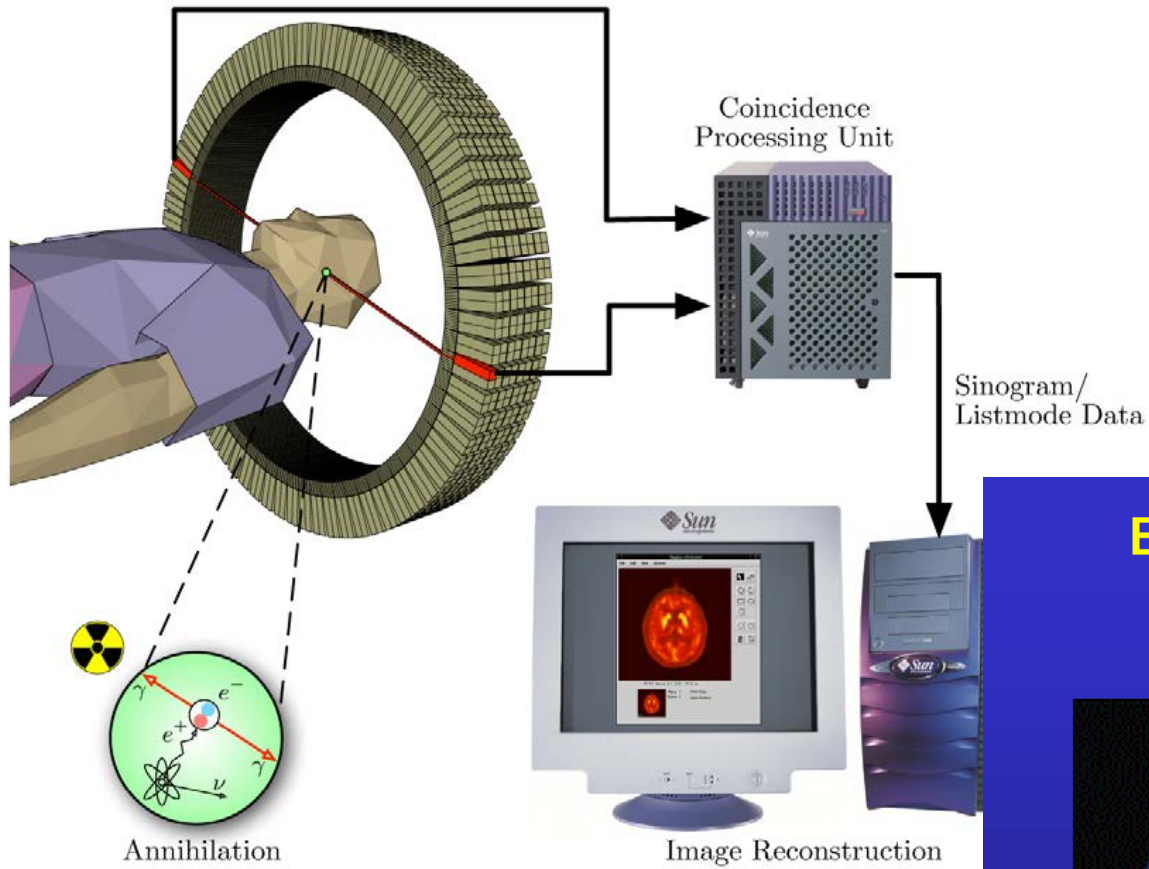


*si sfrutta solo a Hollywood ?*

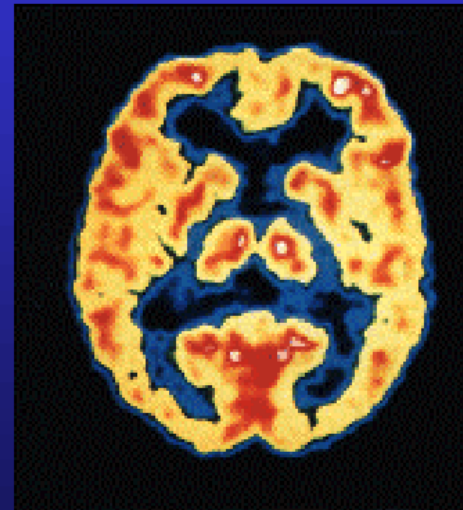
*PET = Positron Emission Tomography*



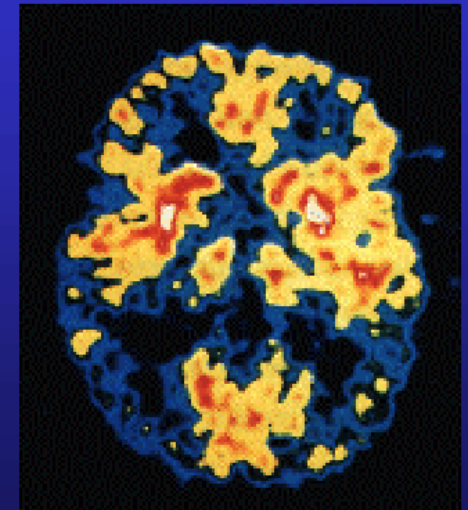
# PET scan



## Brain Metabolism in Alzheimer's Disease: PET Scan



Normal Brain



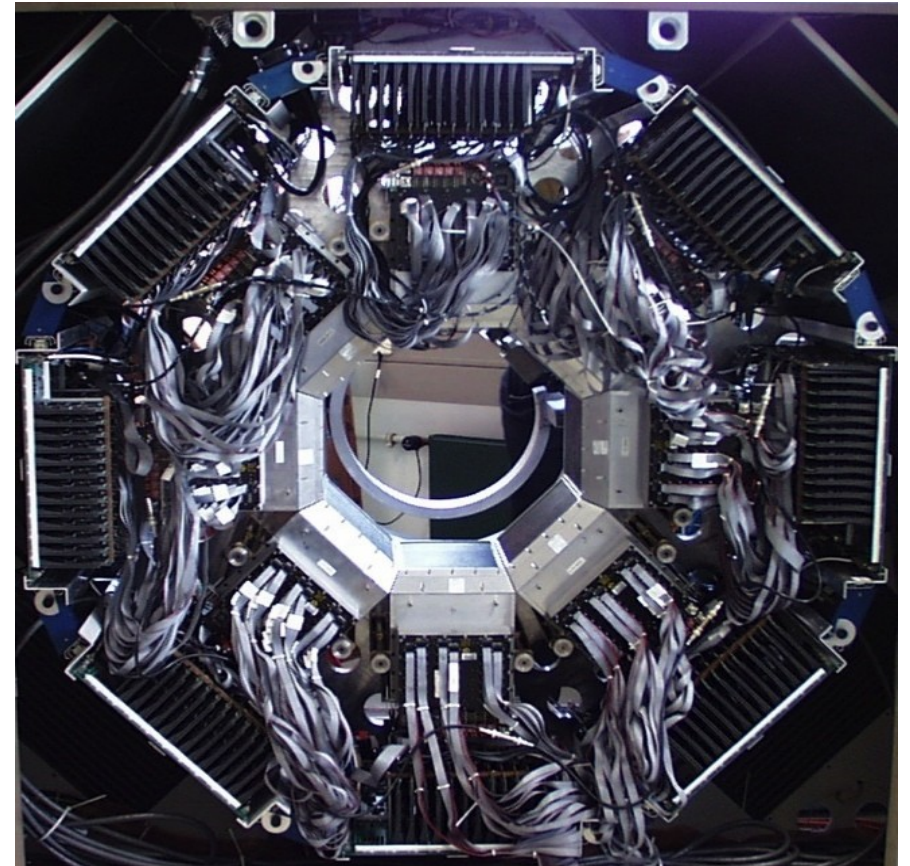
Alzheimer's Disease

# rivelatori di particelle

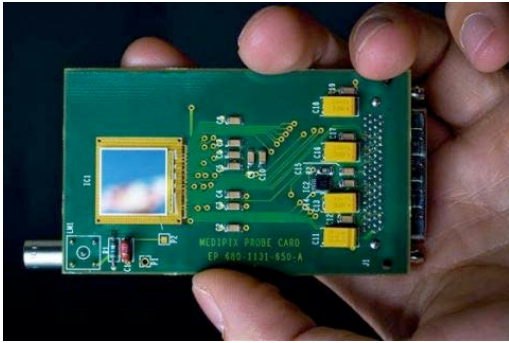
*fisica delle particelle*



*diagnostica medica*

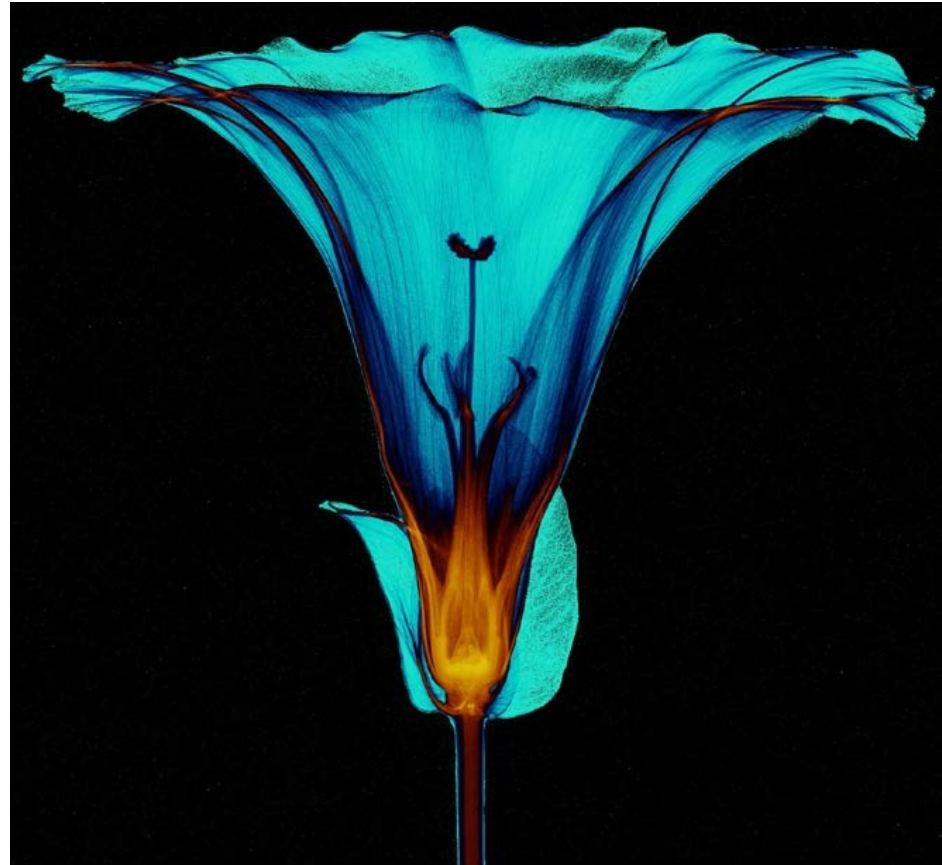


# MediPix

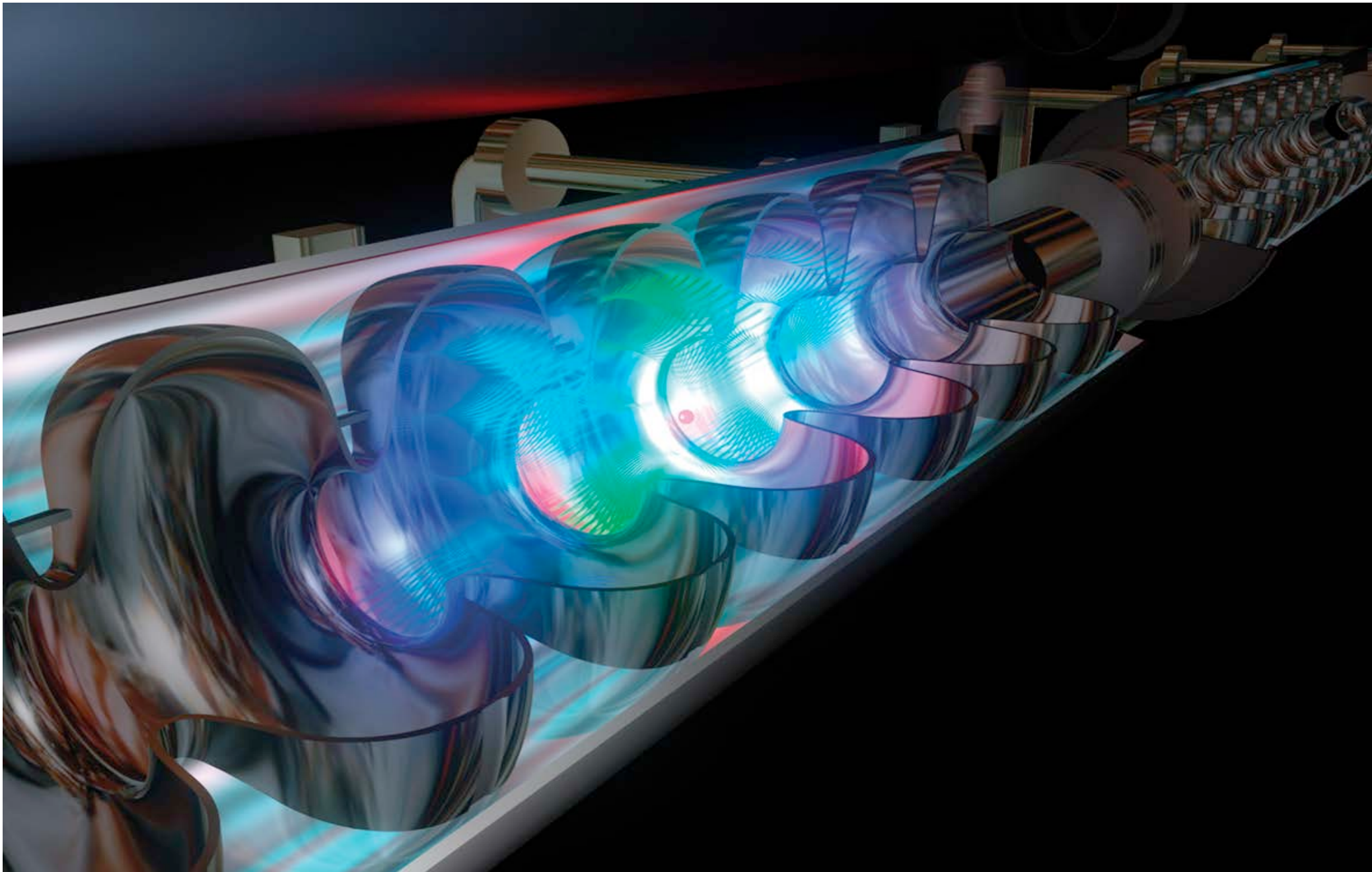


*sviluppato per rivelare tracce di particelle*

*permette di ricostruire  
immagini a colori con raggi X*



# acceleratori per il trattamento di tumori



# radioterapia

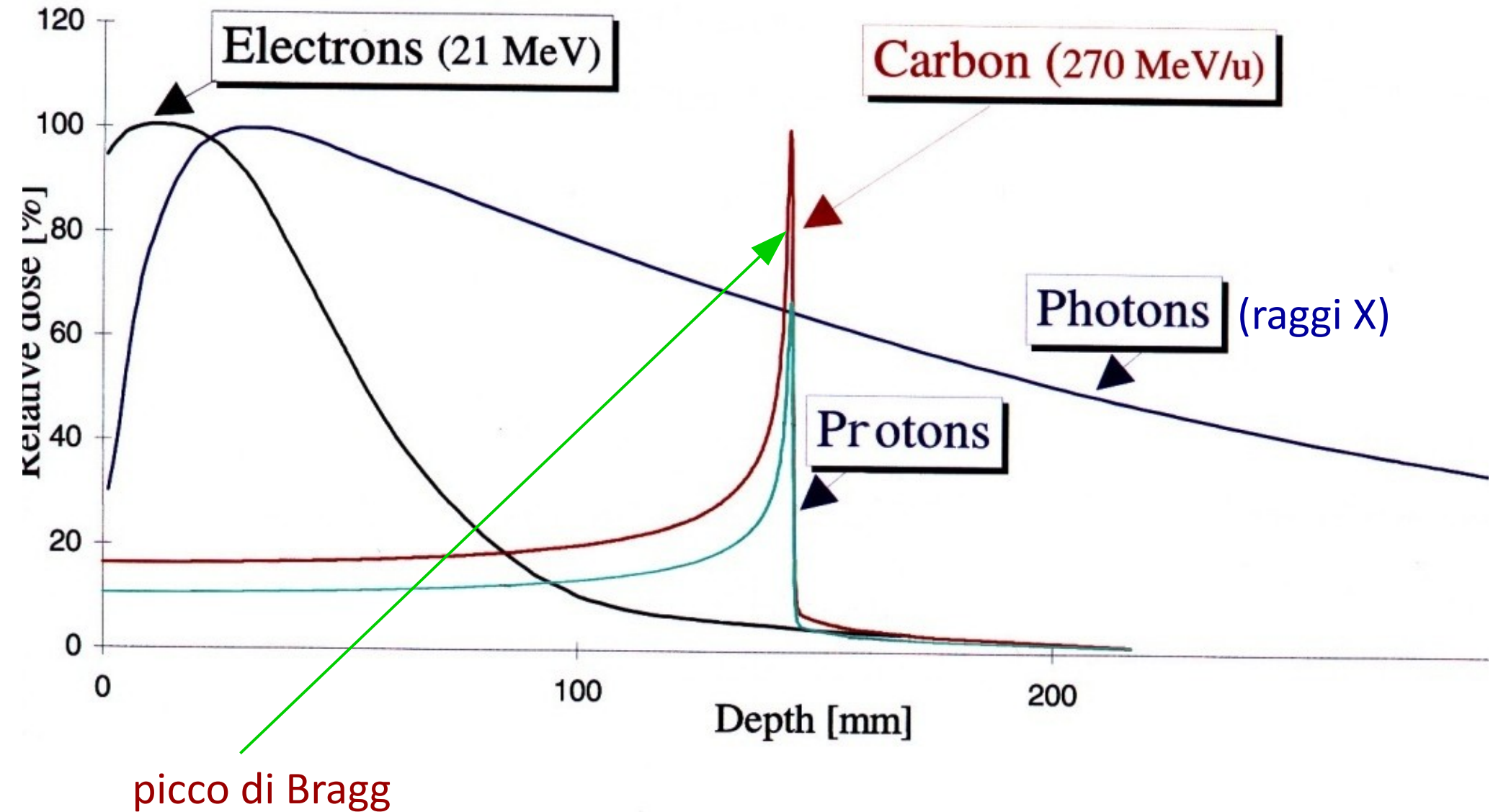
raggi X prodotti da un piccolo  
acceleratore

*(vedi "acceleratore lineare per radioterapia")*

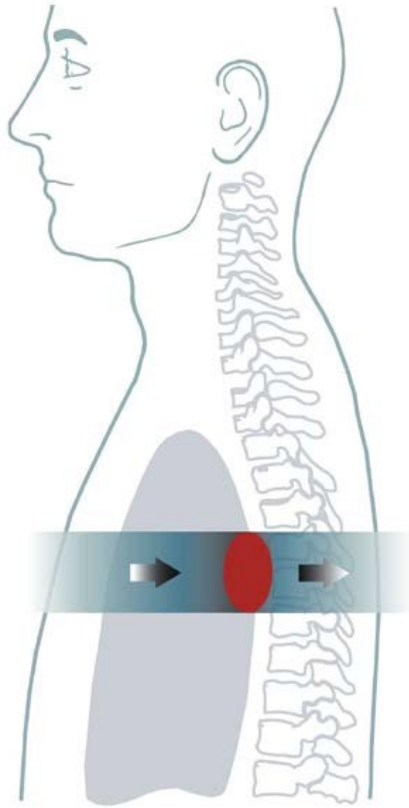
- trattamento dei tumori meno costoso
- buona efficacia (30-40% di successo)
- non invasivo, effetti collaterali limitati



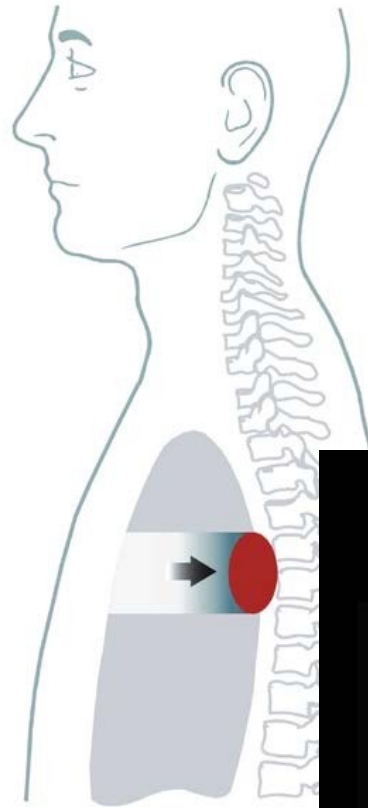
# adroterapia



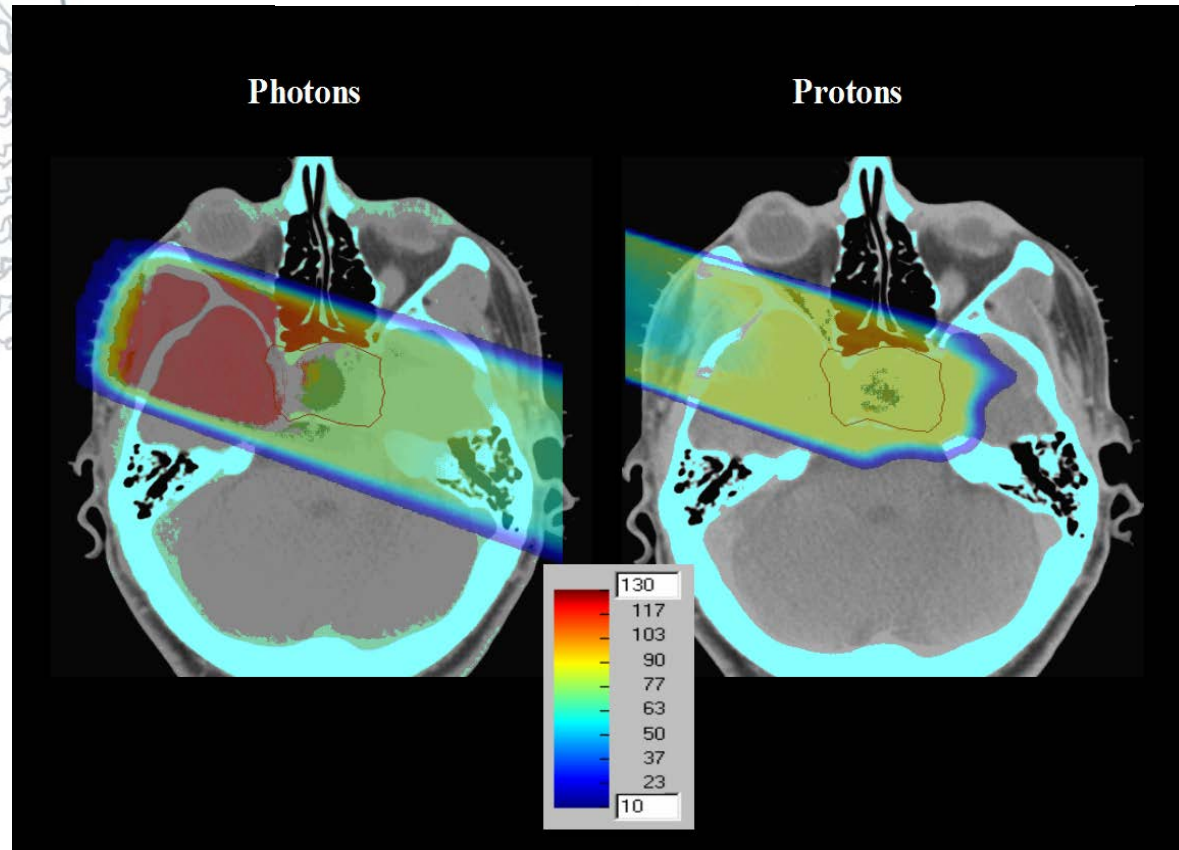
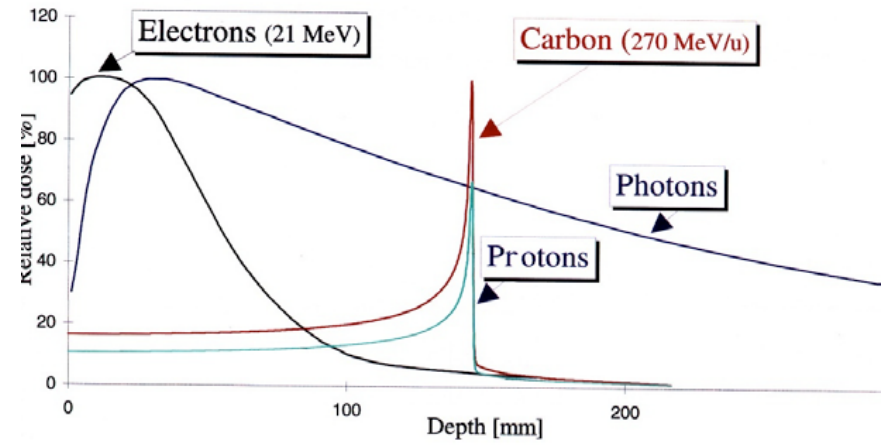
# protoni o raggi X ?



raggi X

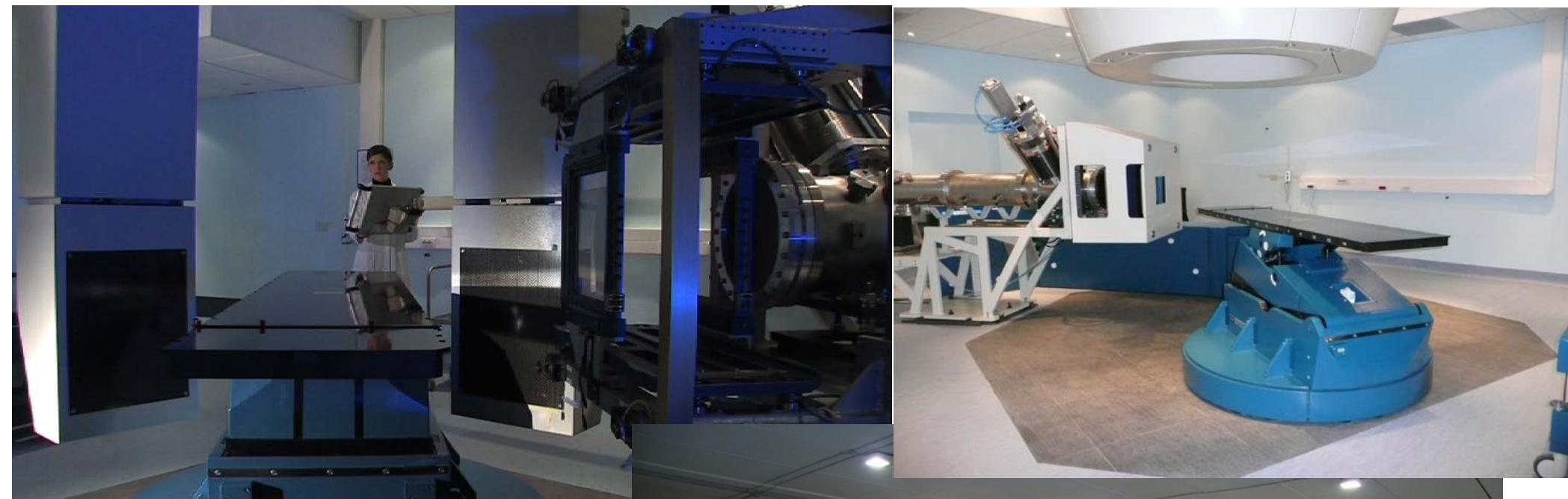


protoni





# dove si può fare ?



## ... a Pavia (CNAO)

### **Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica**

Inaugurato ufficialmente il 15 febbraio 2010

Fasci di particelle (protoni e ioni carbonio) per la cura di tumori difficilmente operabili, radio-resistenti, ...

3 sale, ~20000 sedute per ~3000 pazienti l'anno

**Tutta la parte di generazione e controllo dei fasci è  
responsabilità dell'INFN**

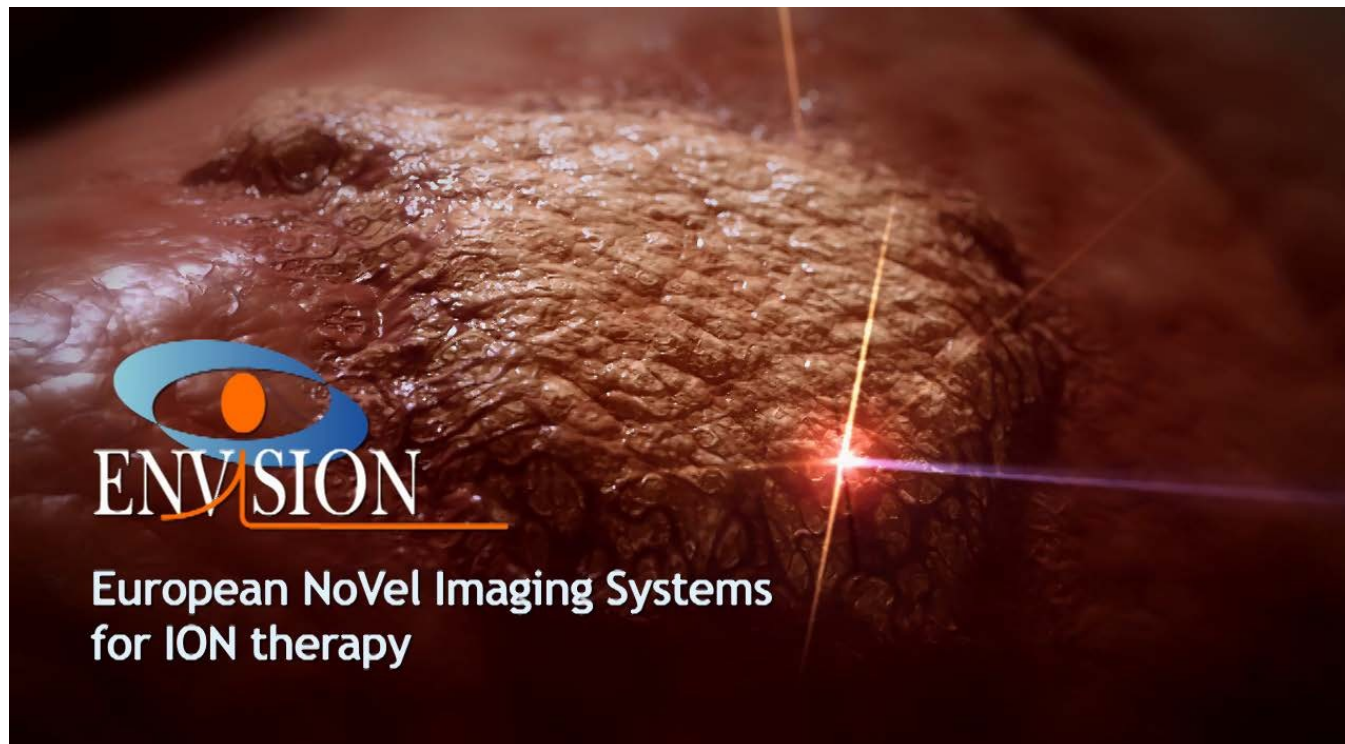
MedAustron: centro gemello in Austria con la collaborazione di CERN,  
TERA, INFN, CNAO ... ***next: Dallas (USA)***

# prossimi passi ?

*Colpire tumori in movimento (terapie con diagnostica in tempo reale):*

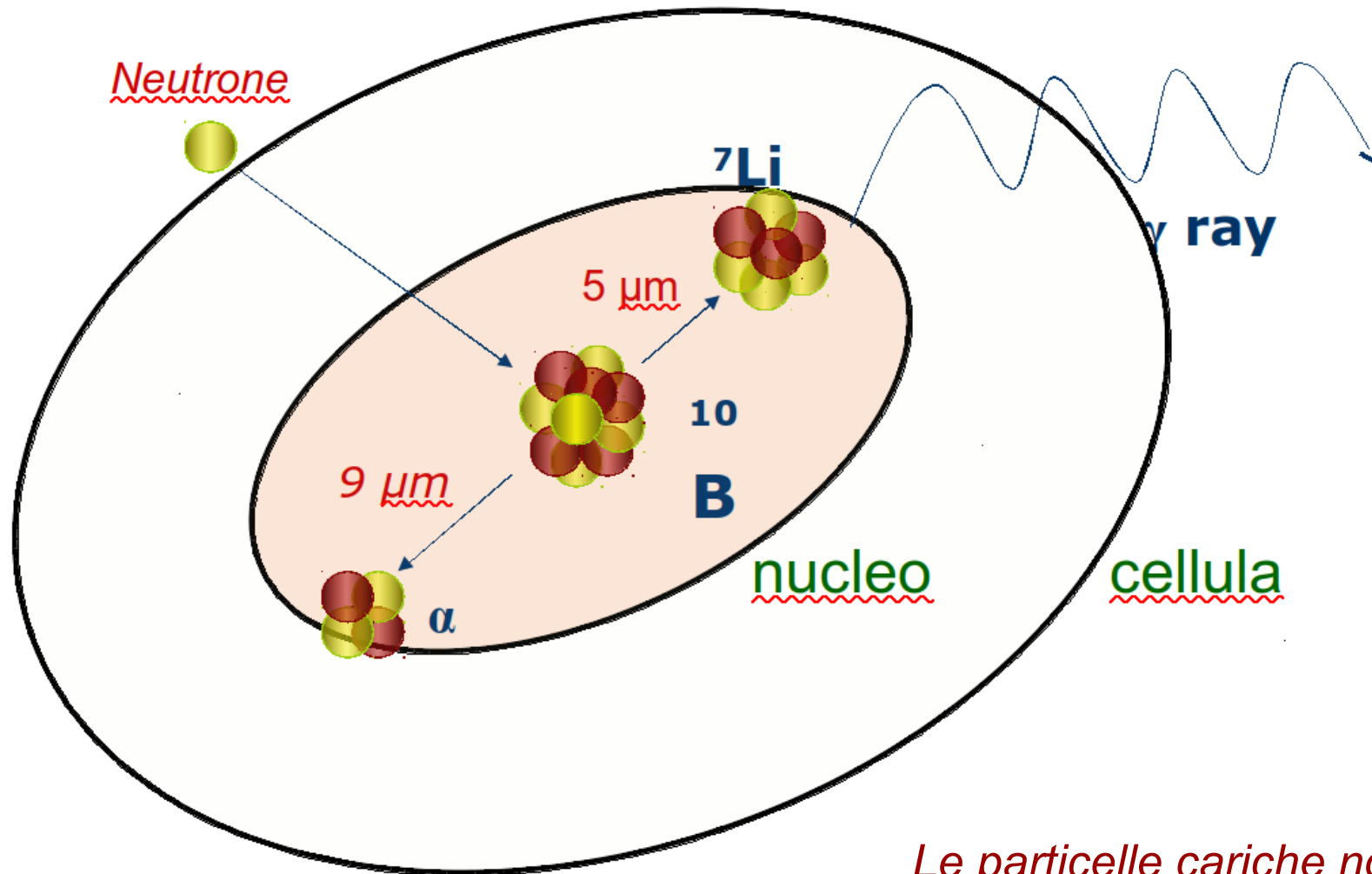
*progetto europeo ENVISION (CERN, INFN, TERA, ...)*

(<https://cds.cern.ch/record/1611725>)



e contro tumori diffusi (metastasi) ?

# Boron Neutron Capture Therapy (BNCT)

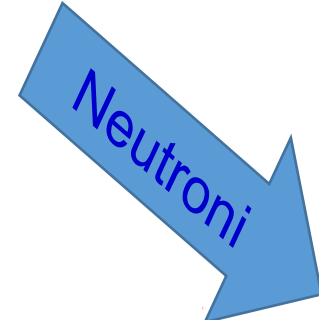


*Le particelle cariche non escono nemmeno dalla cellula in cui vengono prodotte*

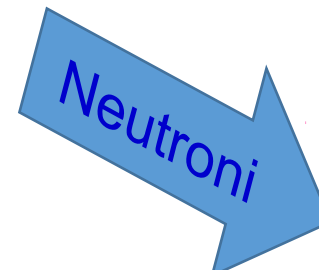
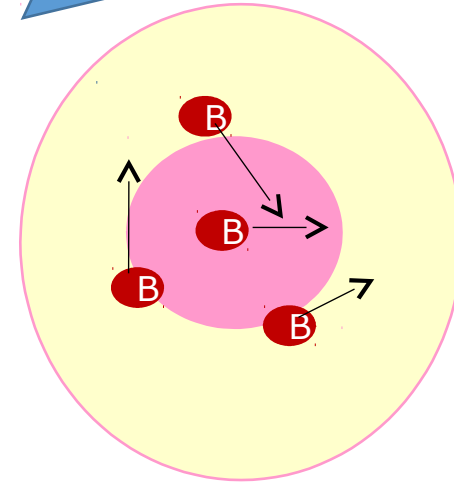
# Selettività

Dose assorbita proporzionale alla concentrazione di boro

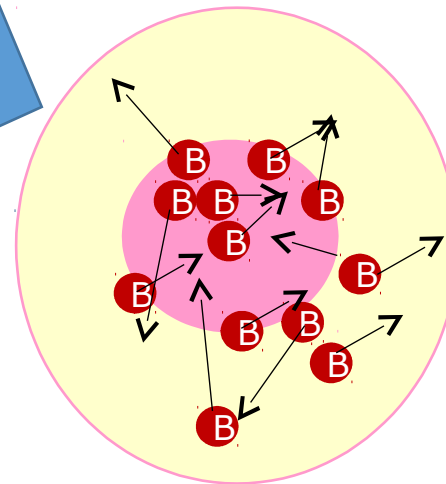
Irraggiamento calibrato per restare sotto le soglie di tolleranza dei tessuti normali



Cellula normale



Cellula tumorale



Adroterapia interna alla cellula

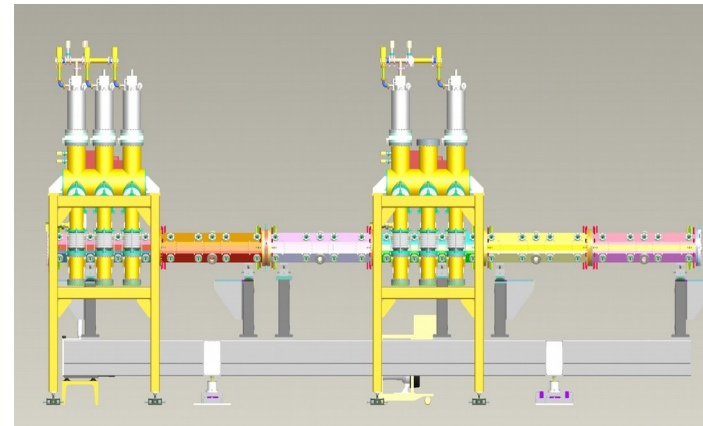
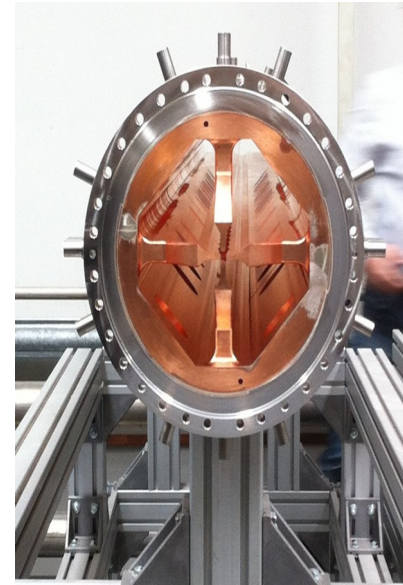
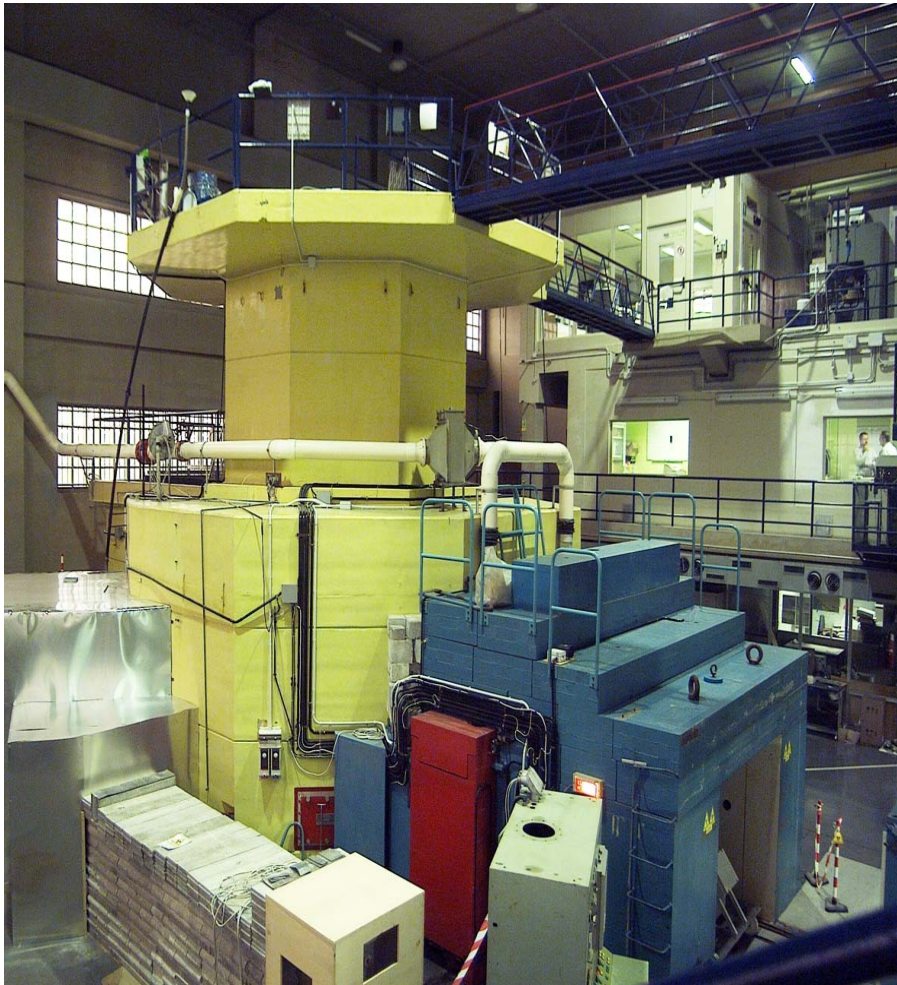
BNCT sola opzione di Radioterapia per:

- *metastasi*
- *tumori infiltrati,*
- *cellule cancerogene isolate*

Yesterday

a Pavia

Tomorrow



BNCT@ **fondazione CNAO**  
Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica per il trattamento dei tumori

# Outreach - iniziative per scuole superiori

(per studenti e docenti)

## Masterclass / stage (INFN):

<http://masterclass.infn.it/> → *ricercatori per un giorno*

<http://edu.Inf.infn.it/> ...

## Beam Line for Schools (CERN):

<http://beamline-for-schools.web.cern.ch/>

## S'Cool LAB (CERN):

<http://scool.web.cern.ch/>

## Divulgazione:

<http://scienzapertutti.Inf.infn.it>

<http://home.web.cern.ch/students-educators>

<http://outreach.web.cern.ch/outreach/>

*... siti infn e universitari ...*

+ visite al CERN, laboratori, università ...



# offerte (CERN) per studenti universitari

(oltre a tesi di laurea)

<https://jobs.web.cern.ch/join-us/students>

## Stage @ CERN:

- 1) openlab students (2 months)
- 2) summer students (2-3 m)
- 3) technical students (6-12 m)
- 4) doctoral students (3-36 m)

## Scuole (fra molte altre):

- 1) European school of high-energy physics (2 weeks)
- 2) CERN school of computing (2 w)
- 3) CERN accelerator school (2 w)
- 4) International School of Trigger and Data Acquisition (10 days)

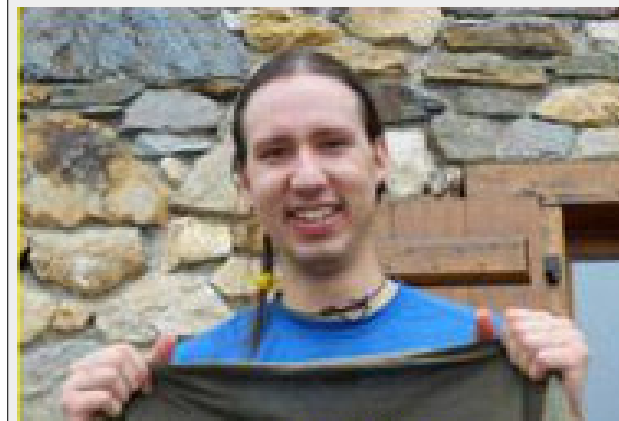
## qualcuno da Parma ...



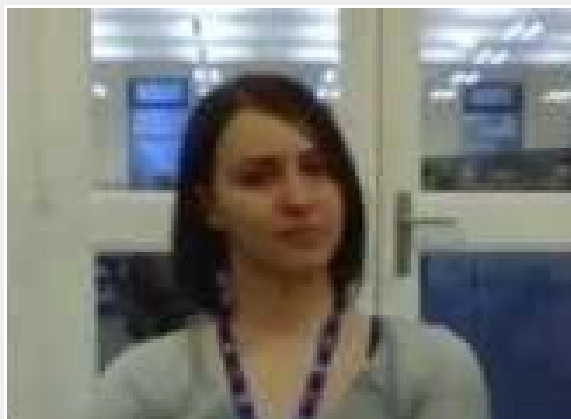
**Martino** - liceo sc. Marconi  
ingegnere  
informatico (PR)



**Daniele** - liceo sc. Marconi  
ingegnere  
meccatronico (RE)



**Leo** - ITC Fossati (SP)  
ingegnere  
informatico (PR)



**Giulia** - liceo sc. Ulivi  
ingegnere delle  
telecomunicazioni (PR)



**Wainer** - ITIS Sassuolo  
fisico (PR)

## offerte (CERN) per docenti

<https://teacher-programmes.web.cern.ch/>

→ *Italian Teacher Programme:*

<https://teacher-programmes.web.cern.ch/ntp/italian-teacher-programme>

→ *International Teacher Programmes:*

<https://teacher-programmes.web.cern.ch/itp/international-teacher-programmes>

andiamo al punto!

## la Ricerca del Bosone di Higgs e oltre

1. perché ?

2. come ?

3. cosa ?

4. quindi ?

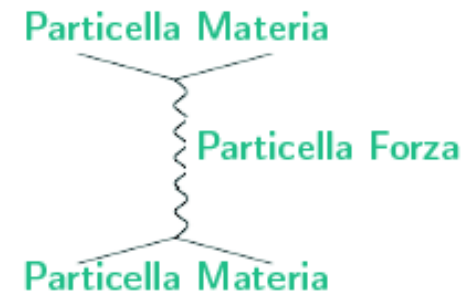
5. cosa facciamo nel mio gruppo ?

# 1. la ricerca del bosone di Higgs - perché ?

# particelle & forze → interazioni

Interazione → lavoro ovvero trasferimento energia

Azione a distanza ? No → si sfruttano dei mediatori ...



le Particelle Materia emettono e assorbono Particelle Forza  
creando un campo di interazione

interazioni di gauge → si propagano alla velocità della luce  
→ mediatori con massa = 0 ...

*massa = resistenza alle accelerazioni*

# particelle

mattoni “fondamentali” dell’universo

2 tipi:

- Particelle-materia (obbediscono al principio di esclusione di Pauli)
- Particelle-forza (non obbediscono al principio di Pauli)

quasi tutte instabili a causa delle forze deboli (*per ogni decadimento c'è anche un W*):

$$t \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow s \rightarrow u$$

$$\tau \rightarrow \nu_{\tau}$$

$$\mu \rightarrow \nu_{\mu}$$

# “il modello standard”

materia: 3 + 3 famiglie di “fermioni” (quark e leptoni)

- permettono (grazie a forze attrattive) la costruzione di elementi più complessi e più stabili

3 forze (forze di gauge)  $\pm$  ben conosciute: forza forte, forza e.m, forza debole

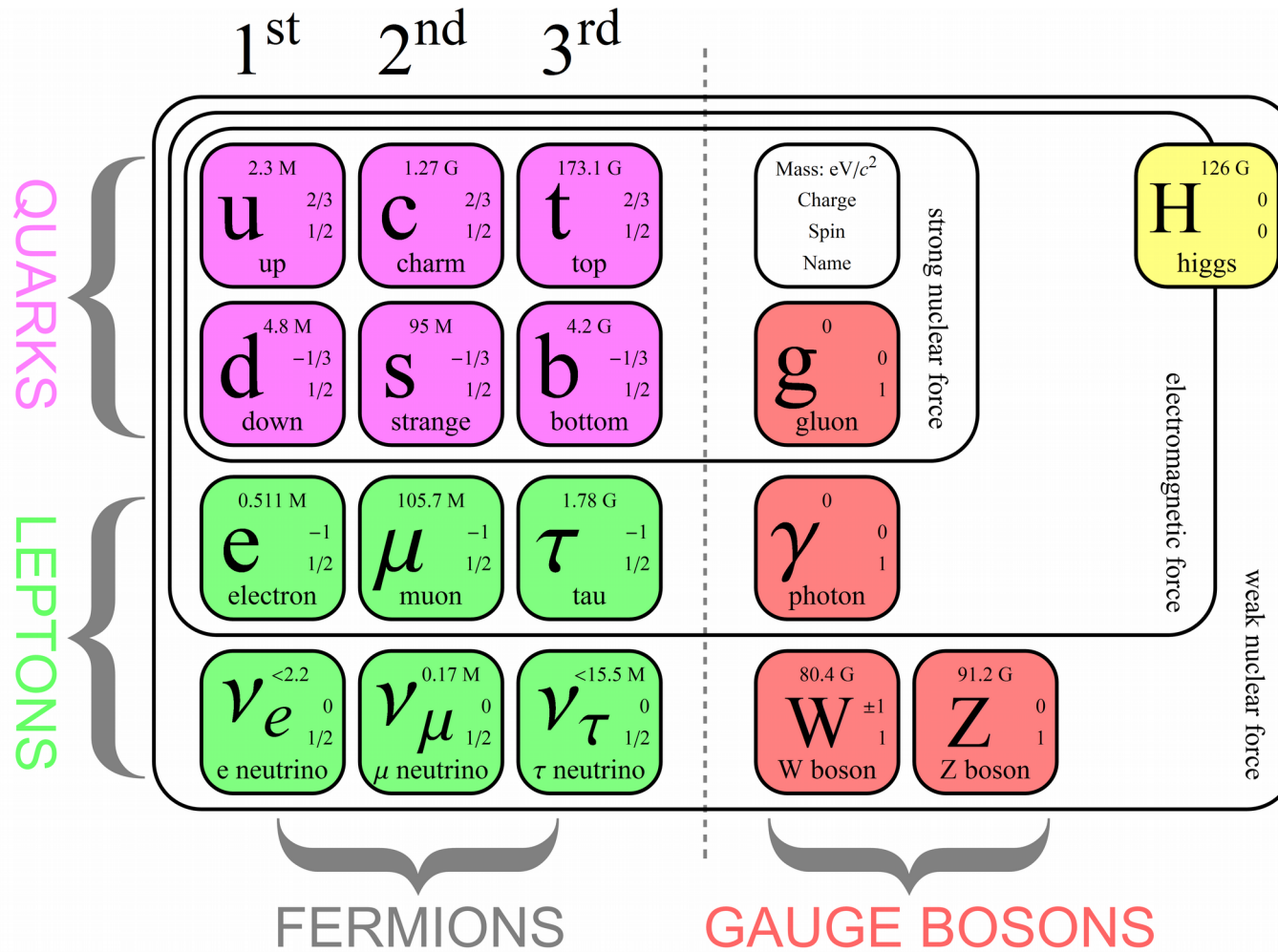
- agiscono sulle particelle “cariche” (3 cariche diverse: forte, debole e e.m.)
- rendono possibili le interazioni (in particolare i trasferimenti di energia)

forza di Brout-Englert-Higgs:

- dà origine alla massa delle particelle elementari



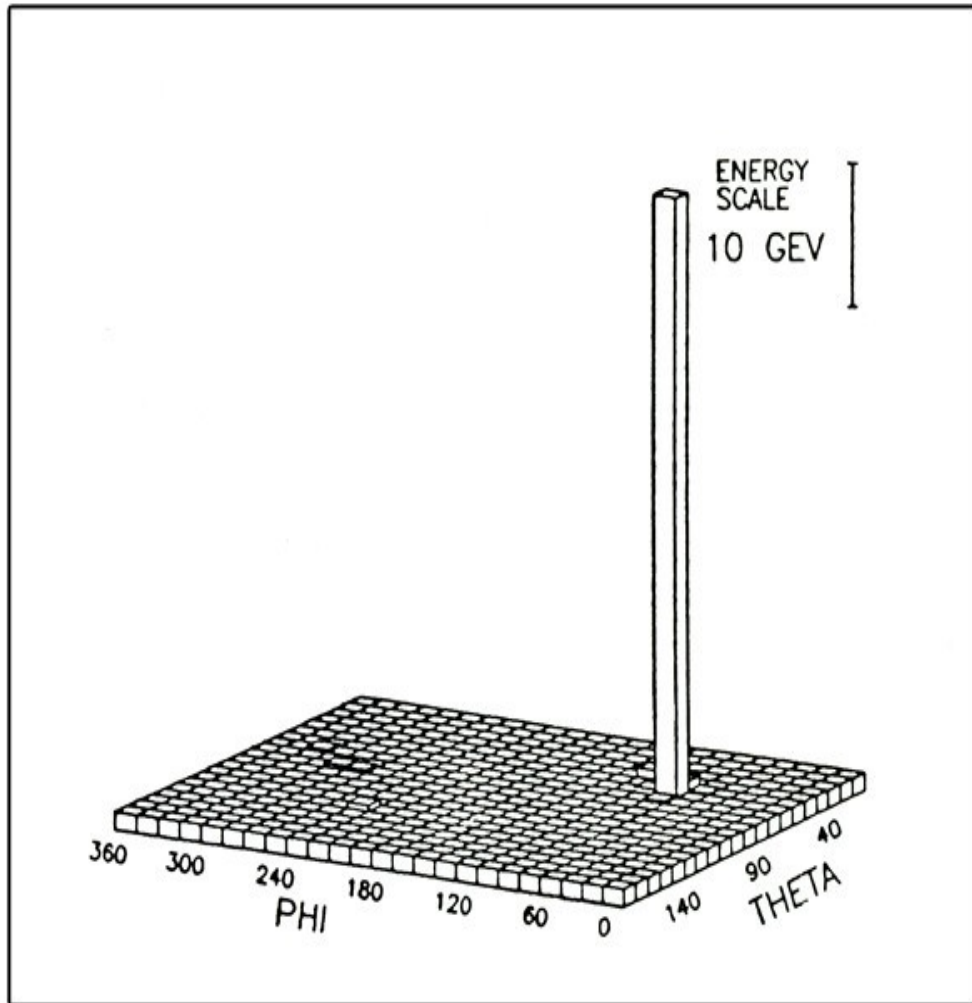
# il modello standard



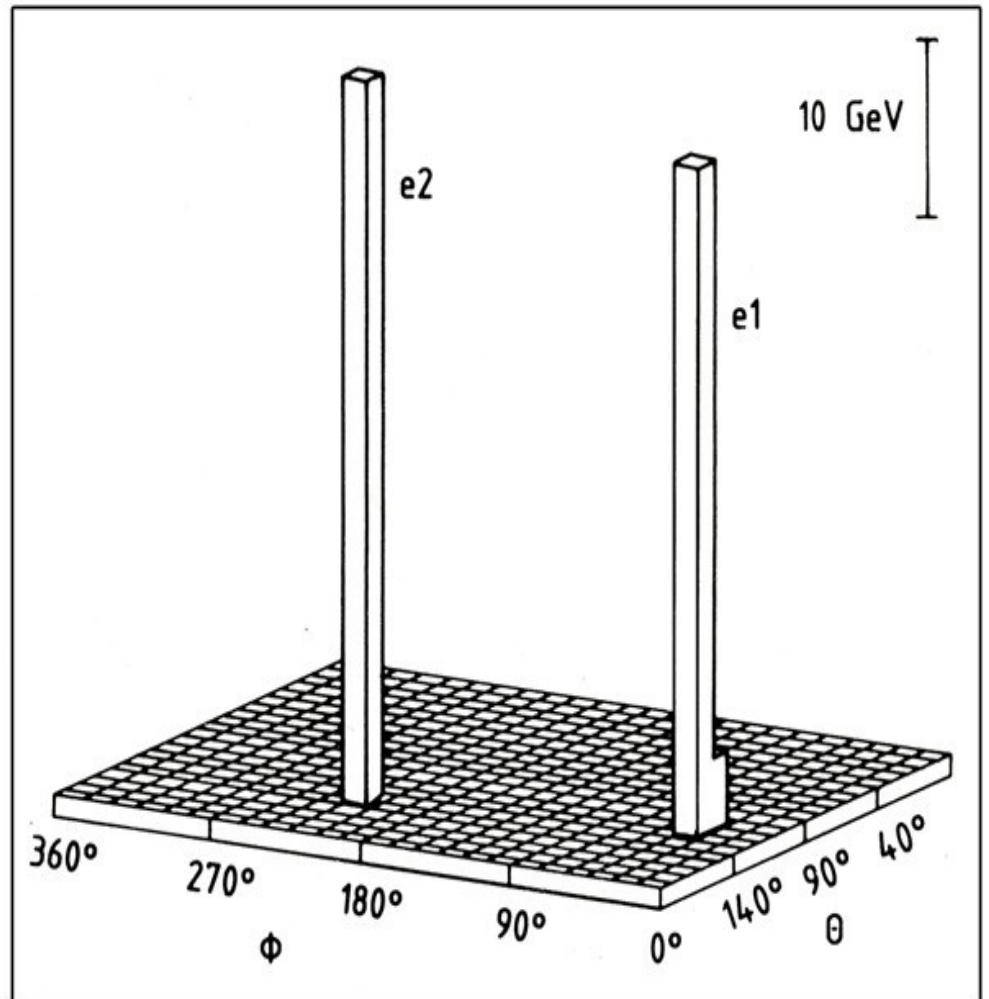
*statistica di Fermi-Dirac*  
*(principio di esclusione di Pauli)*

*statistica di Bose-Einstein*

# i bosoni vettoriali $W^\pm/Z^0$ (1983)



$$\bar{p}p \rightarrow W^\pm \rightarrow e^\pm \nu$$



$$\bar{p}p \rightarrow Z \rightarrow e^+e^-$$

CERN  $\bar{p}p$  Collider

# la massa dei bosoni W/Z ?

$$M_W \sim 80 \times M_{\text{protone}}$$

$$M_Z \sim 90 \times M_{\text{protone}}$$

quasi due volte la massa di un nucleo di ferro

→ il campo debole non si propaga alla velocità della luce

Senza la forza di B-E-H, i modelli teorici non stanno in piedi: violano un principio fondamentale [ "l'unitarietà" ]

Soluzione proposta: una nuova forza (un nuovo campo di forze) un po' speciale e (almeno) un nuovo mediatore associato

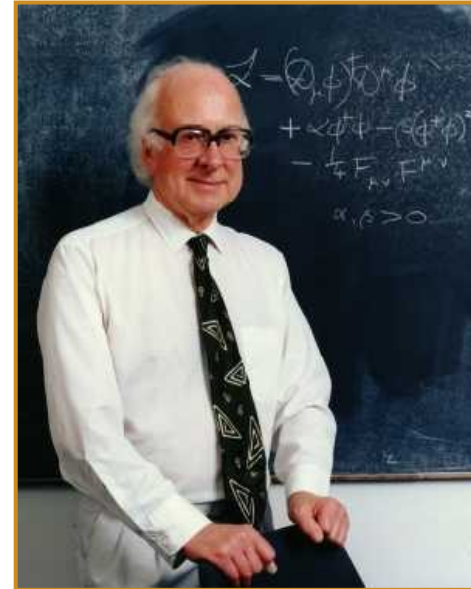
# meccanismo di Brout-Englert-Higgs

- un campo frena le particelle, come la gelatina frena un proiettile



- rallentare una particella equivale a farle acquisire una massa
- particelle indifferenti a questo campo di forza restano di massa zero

- la “forza” è trasportata da una particella nuova (mediatore):  
**il bosone di Higgs**



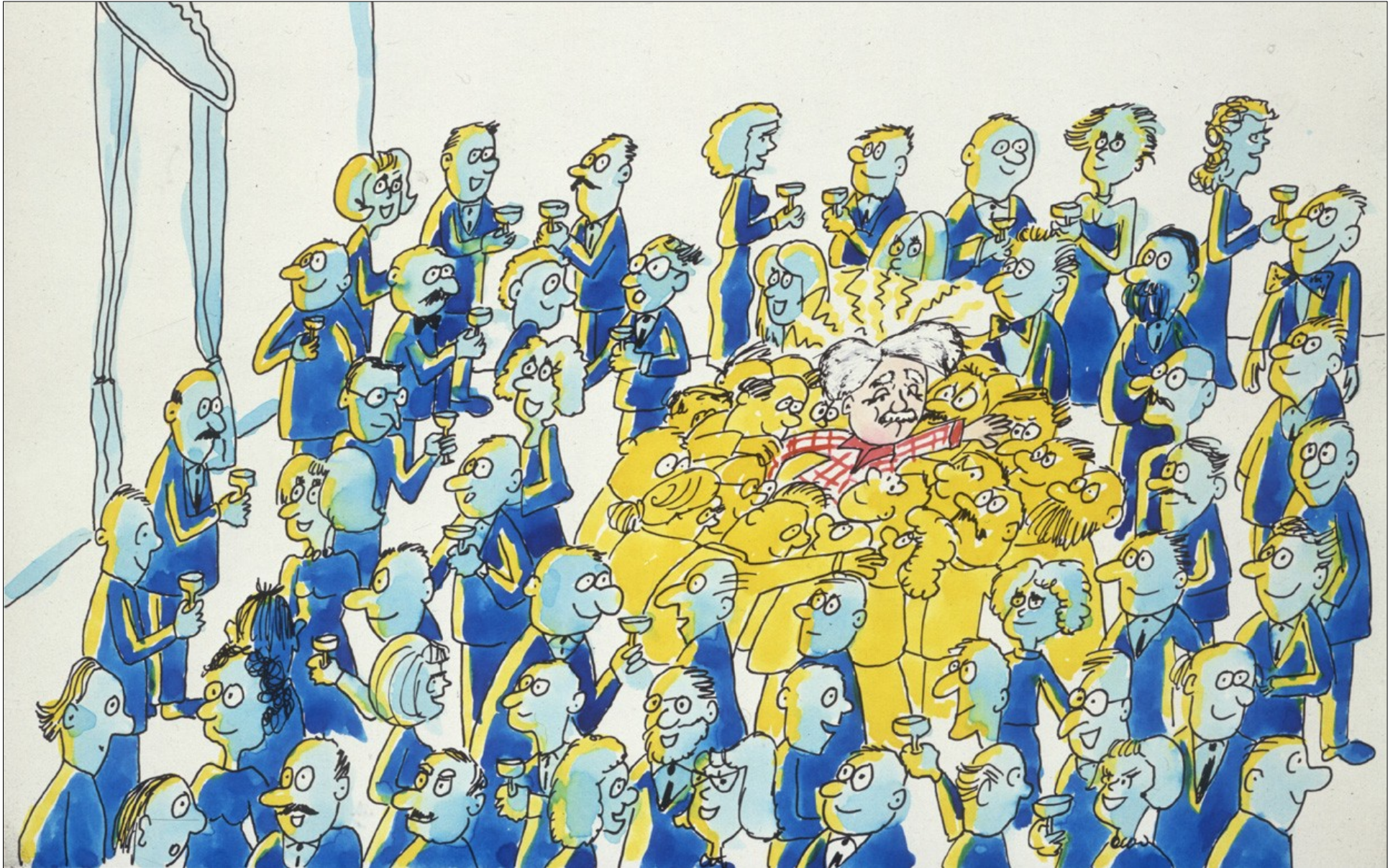
folla = campo di Higgs



personaggio famoso che entra = particella massiva

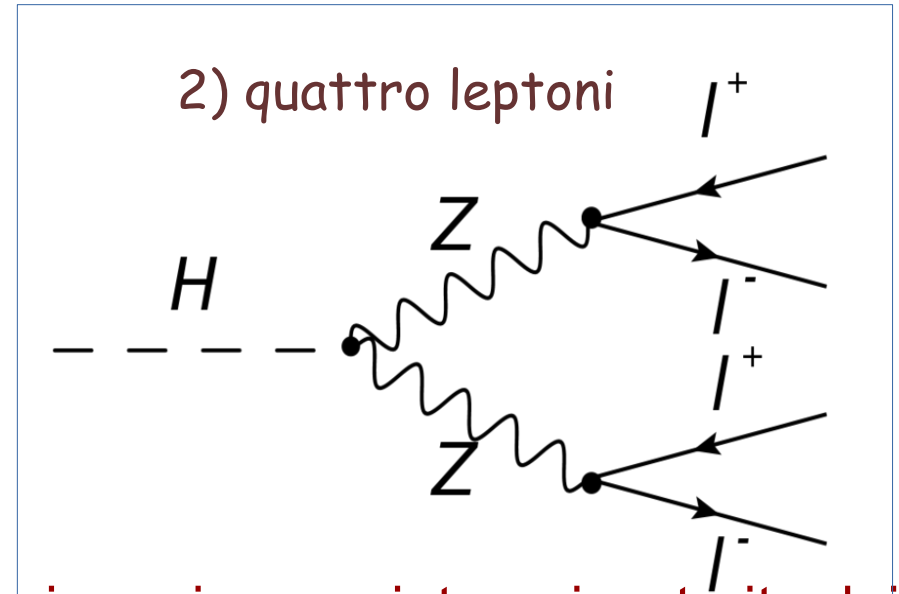
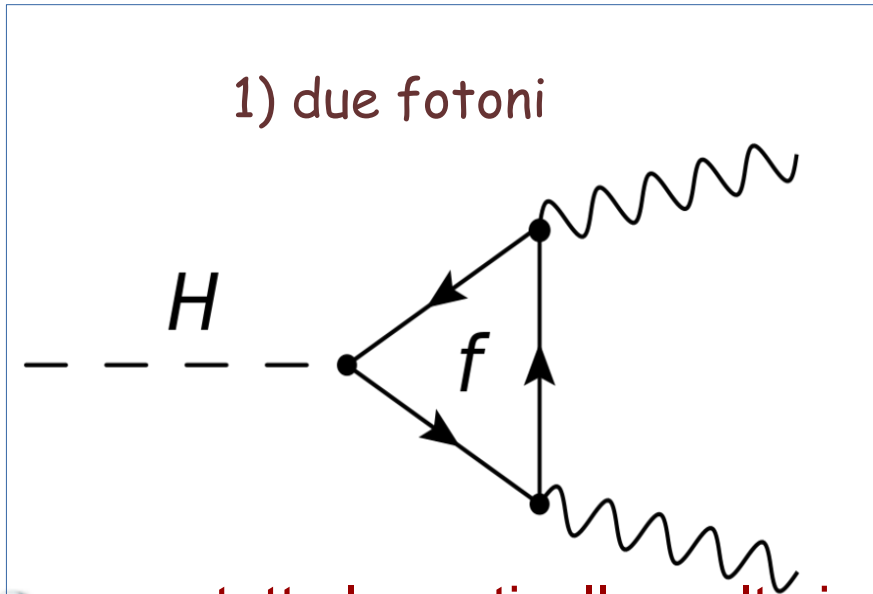


più è famoso → più viene rallentato →  
più acquista massa



# una vita spericolata

- massa grande ( $> 110$  GeV) ma sconosciuta (prima del 2012) !
- decade immediatamente in particelle più leggere
- molte possibilità (secondo il Modello Standard)
  - fra le più importanti:



- come tutte le particelle molto instabili, viene riconosciuto e ricostruito dai (possibili) prodotti dei decadimenti



# carta d'identità del bosone di Higgs

Cognome Bosone  
Nome Higgs  
nato il  $\sim 10^{-30}$  s dopo il BigBang  
(atto n. .... P. .... S. ....)  
a Ovunque (.....)  
Cittadinanza Nostro universo  
Residenza Ovunque  
Via.....  
Stato civile Assai poligamo  
Professione Spacciatore di massa

CONNOTATI E CONTRASSEGNI SALIENTI

Statura Da 125 GeV V  
Spin 0  
Parità +1

Segni particolari Sfuggente  
Accoppiamento con le particelle  
proporzionale alla loro massa



Firma del titolare Decado in  $\gamma\gamma$ ,  $WW$ ,  $ZZ$ ,  $bb$ ,  $cc$ ,  $\tau\tau$ , ecc

Impronta del dito indice sinistro Peter Higgs IL SINDACO





- 2. la ricerca del bosone di Higgs -  
come ?

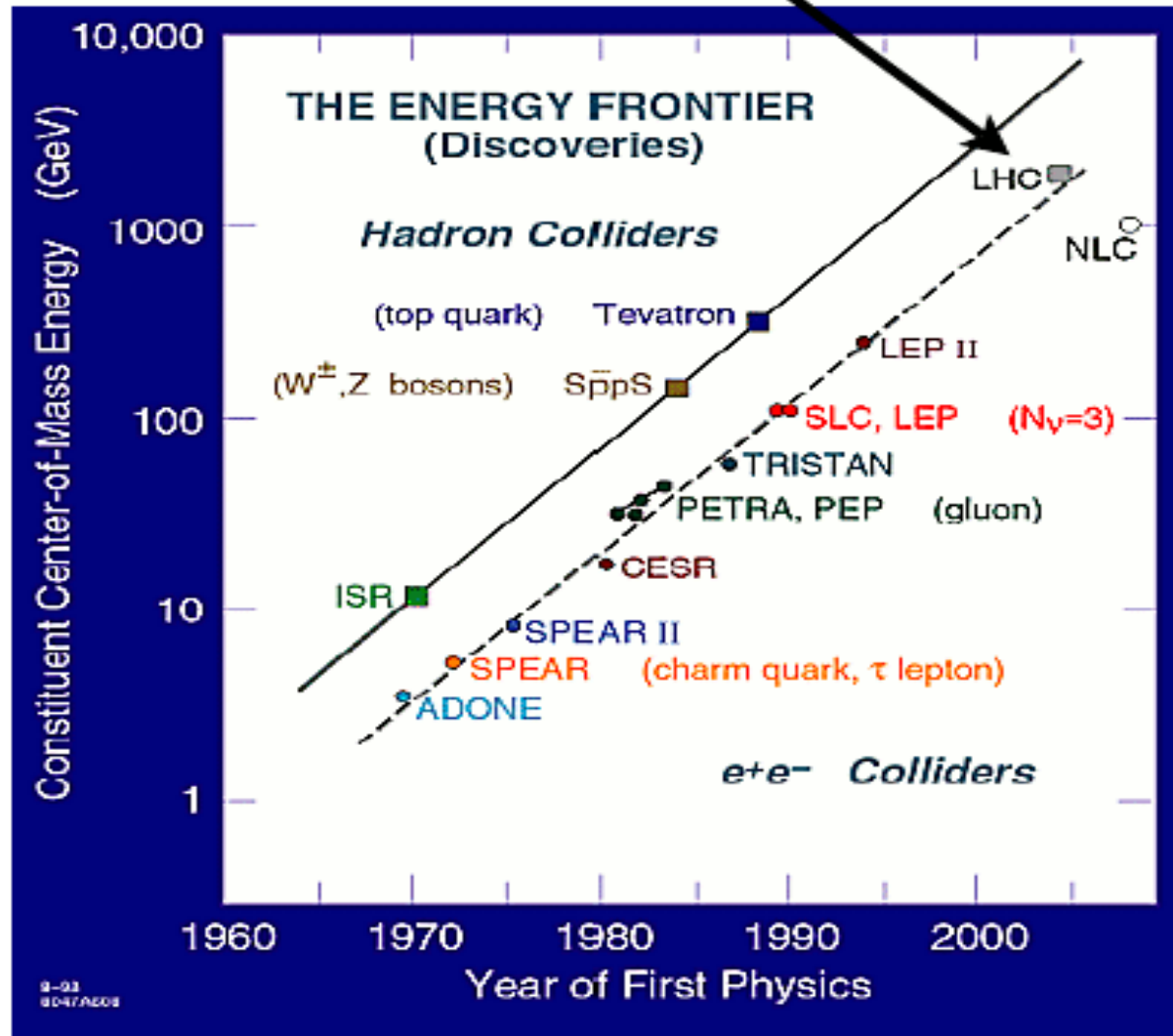
per scoprirlo bisogna prima crearlo  $\rightarrow E = mc^2$

acceleratori  $\rightarrow$  collider [collisionatori]

due categorie:

$e^+e^-$   
 $pp/pp\bar{p}$

energia



LHC

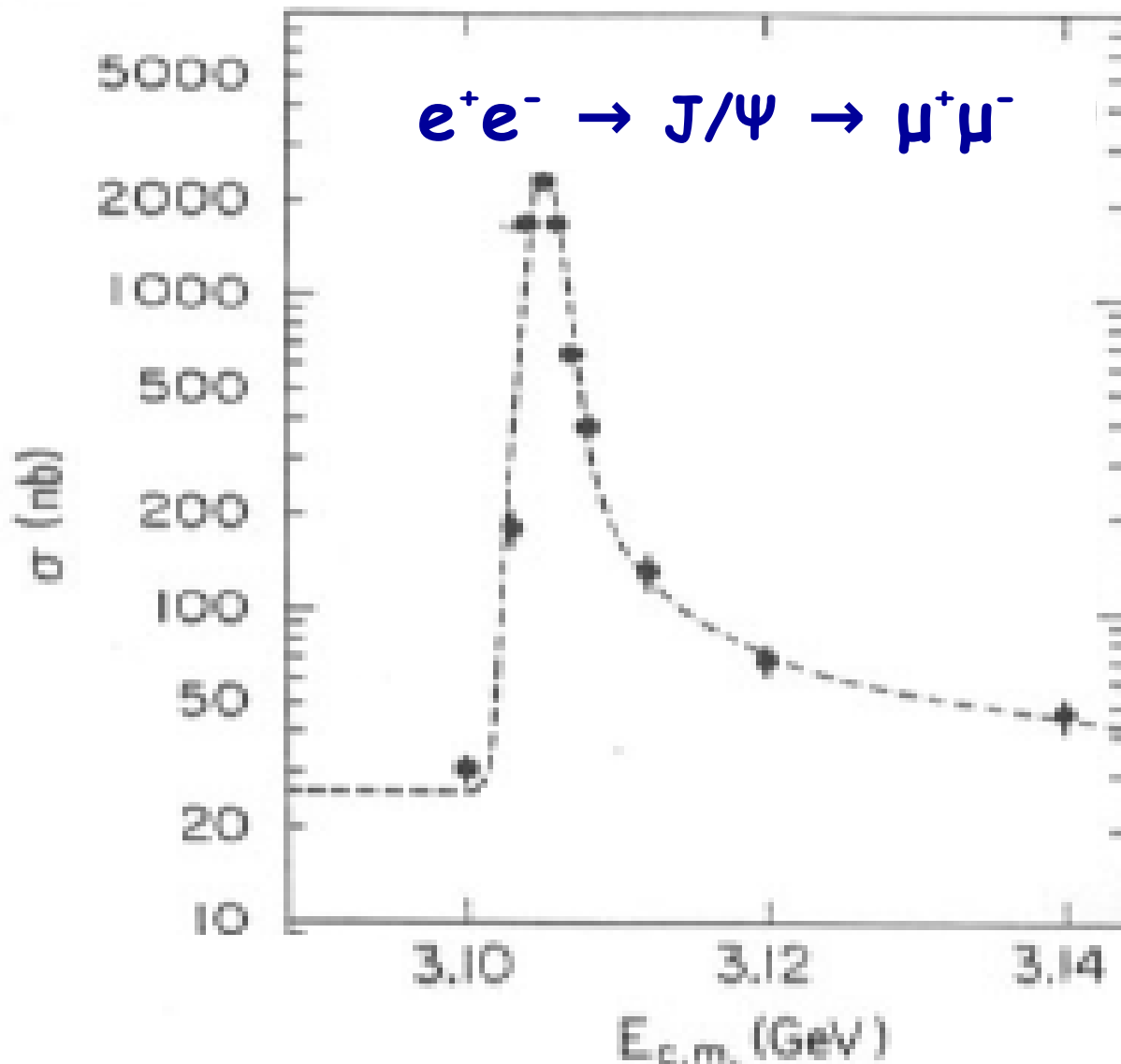
anno

# Adone (LNF)



# “The November 1974 Revolution”

- **SLAC  $e^+e^-$  ring (SPEAR)**



- distribuzione della energia nel centro di massa di coppie  $\mu^+\mu^-$

- **$J/\psi$  (stato legato  $\bar{c}c$ )**

... quando la sfiga ...

# Acceleratori = Microscopi per particelle

Maggiore energia degli urti

→ migliore capacità di risoluzione  
del “microscopio”

**LHC ( $\sim 10^{-20}$  m) microscopio più potente mai costruito !**

Come se guardassimo un campo da calcio dai confini dell'universo

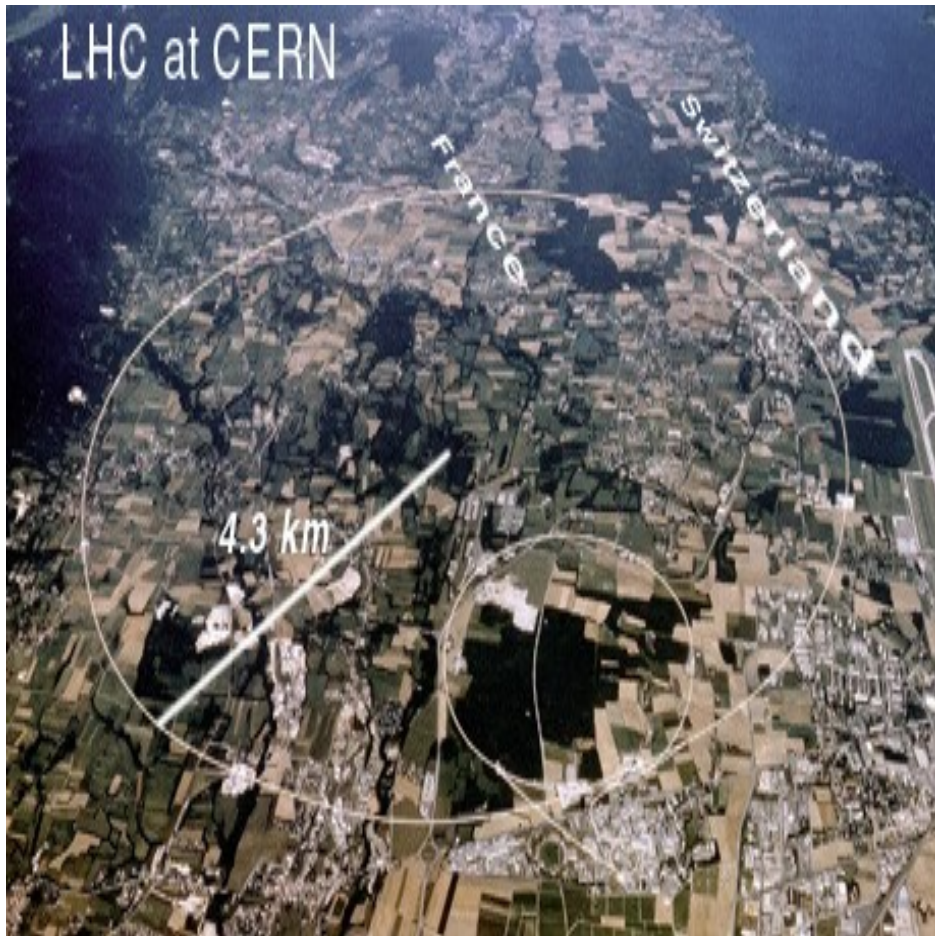
nuove particelle ?

sottostruttura dei quark ?

dimensioni extra ?

stringhe ?

# LHC



## Large Hadron Collider

CMS experiment

Large Hadron Collider

- 27 km (17 miles) circumference
- 1600 superconducting magnets at 1.9° K (-271.3° C or -459.7° F)
- 120 tonnes liquid helium
- Protons at 99.9999991% the speed of light

Large Hadron Collider

Lucas Taylor, 2012

CERN © 2012

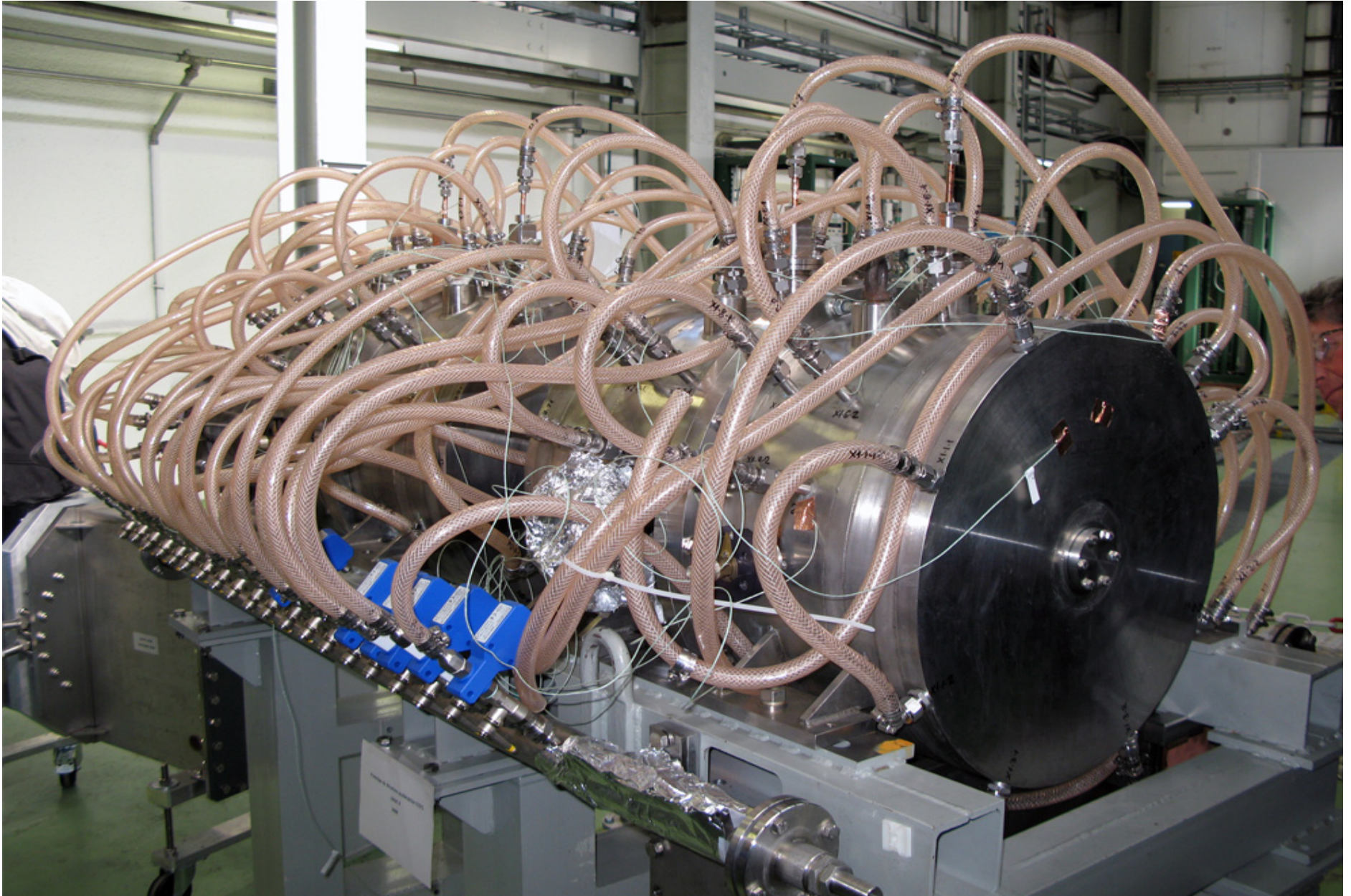
An aerial photograph of the CERN facility, similar to the first image, but with a red dot and label 'CMS experiment' and a green label 'Large Hadron Collider' pointing to the tunnel. Below the main image is a list of technical specifications. To the right is an inset photograph showing the interior of the LHC tunnel, with a person on a yellow maintenance vehicle and large blue superconducting magnets. The text 'Large Hadron Collider' is also present in the inset. At the bottom left, it says 'Lucas Taylor, 2012' and at the bottom right, 'CERN © 2012'.

# i dipoli





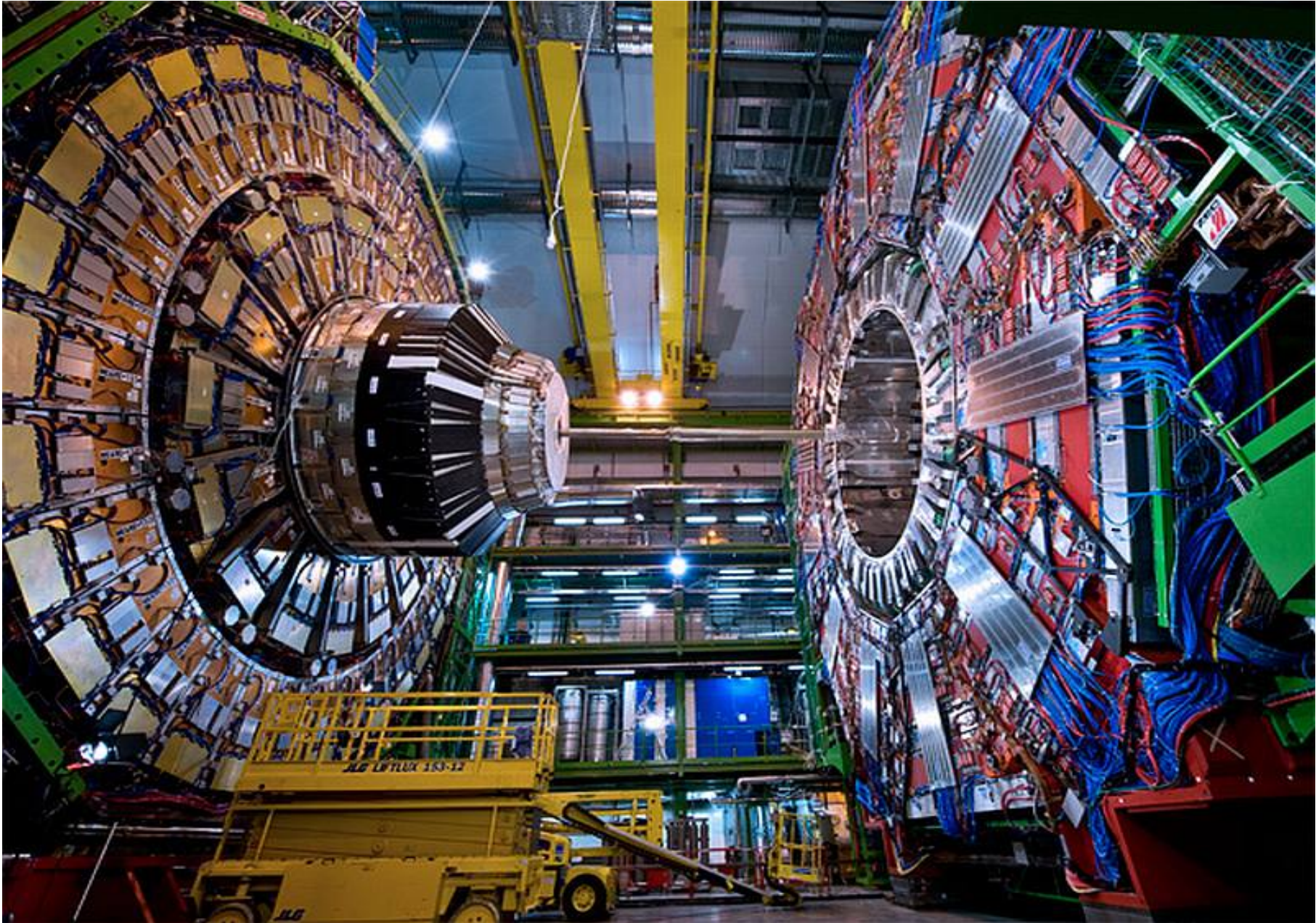
# le cavità a radiofrequenza



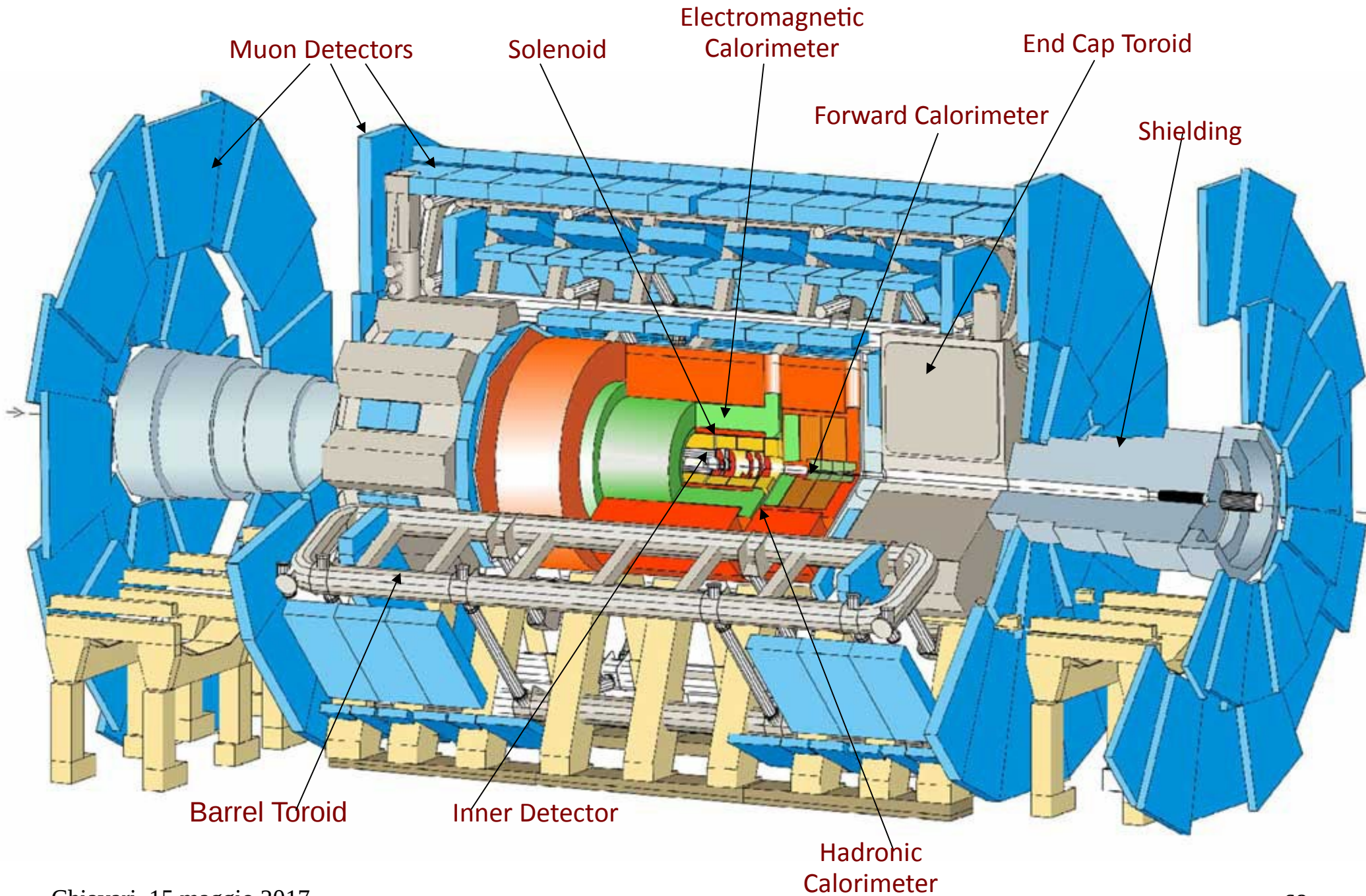
# nel tunnel



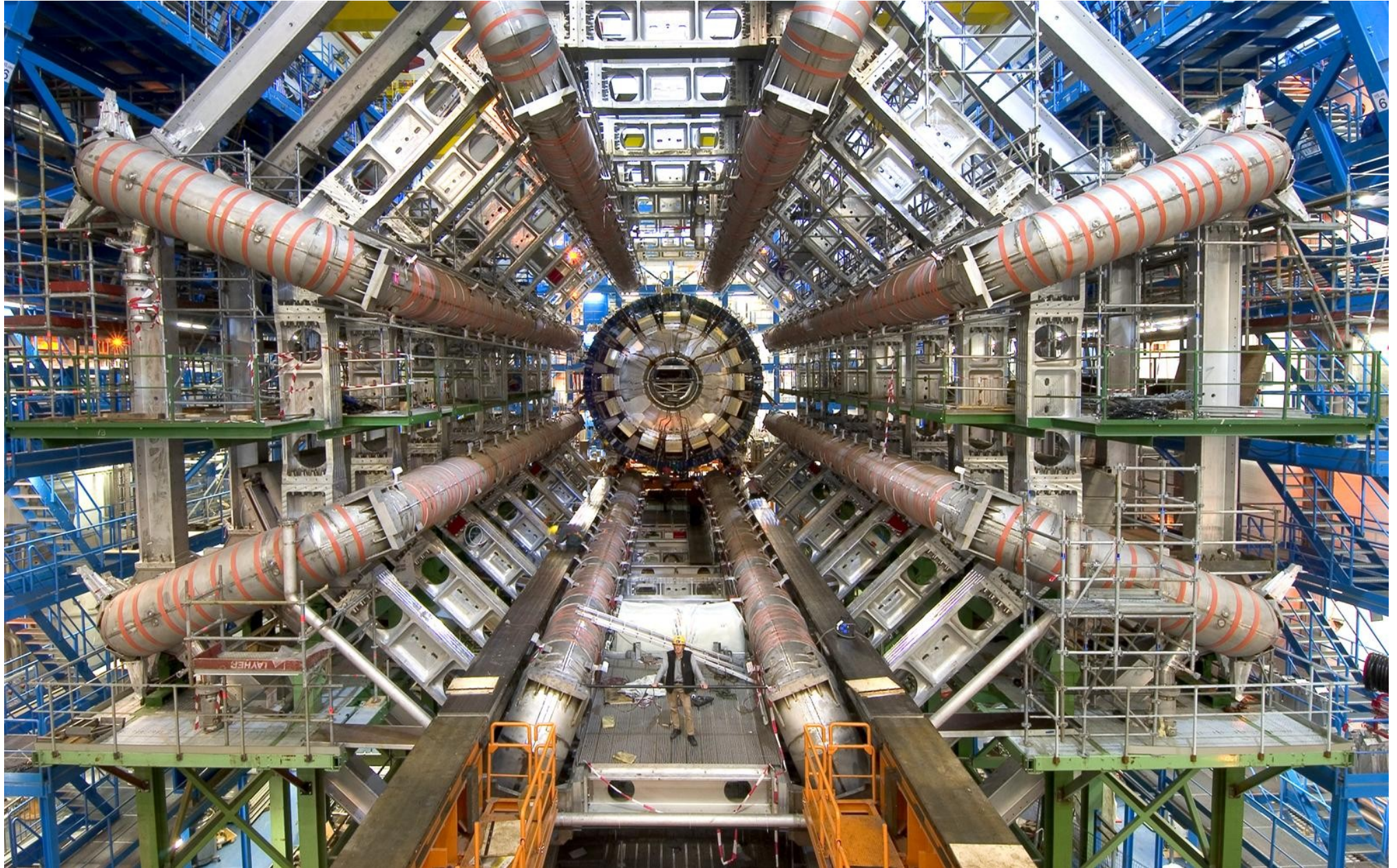
# CMS : 14000 tonnellate di rivelatore



# ATLAS: un microscopio alto 25 e lungo 46 m



# il toroide centrale (barrel)



**~ 3000 scienziati di 174 istituti da 38 paesi diversi  
più di 1000 studenti di dottorato!**



- |                |              |
|----------------|--------------|
| Argentina      | Morocco      |
| Armenia        | Netherlands  |
| Australia      | Norway       |
| Austria        | Poland       |
| Azerbaijan     | Portugal     |
| Belarus        | Romania      |
| Brazil         | Russia       |
| Canada         | Serbia       |
| Chile          | Slovakia     |
| China          | Slovenia     |
| Colombia       | South Africa |
| Czech Republic | Spain        |
| Denmark        | Sweden       |
| France         | Switzerland  |
| Georgia        | Taiwan       |
| Germany        | Turkey       |
| Greece         | UK           |
| Israel         | USA          |
| Italy          | CERN         |
| Japan          | JINR         |

**ATLAS**  
**Collaboration**



# le tappe fondamentali

1987-1990 : gruppi di lavoro su LHC

1990-1995 : ricerca e sviluppo per i rivelatori

1994 : si firma l'atto di nascita di ATLAS

1994-1997 : costruzione prototipi

1997-2004 : costruzione rivelatore

2004-2008 : installazione

**(fine)2009-? : presa dati**

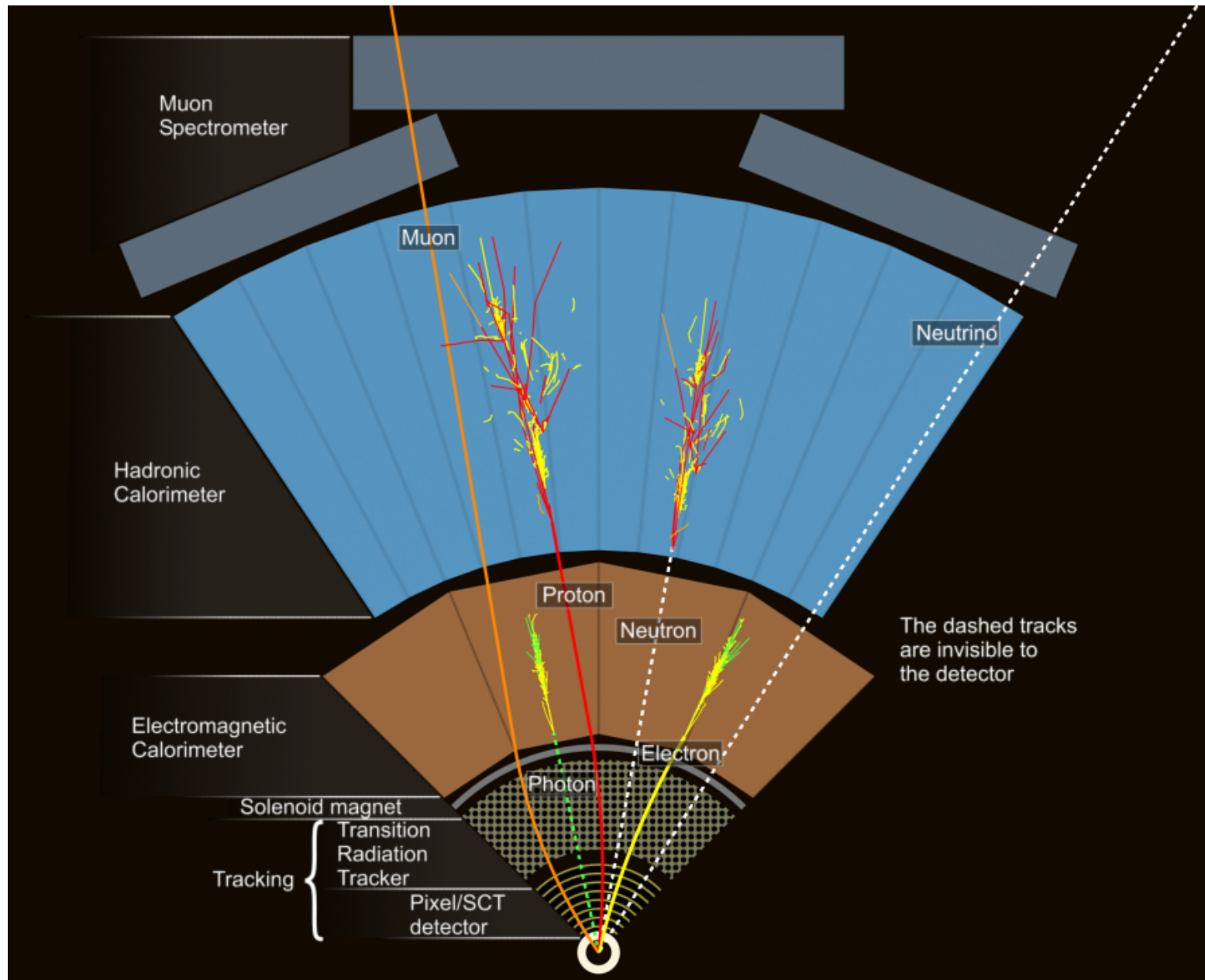
# come funziona ?

- 1) si fermano le particelle di bassa “energia” (magnete solenoidale superconduttore)
- 2) si identificano tutte le altre (cariche, neutre, leggere, pesanti)
- 3) si misura la loro energia

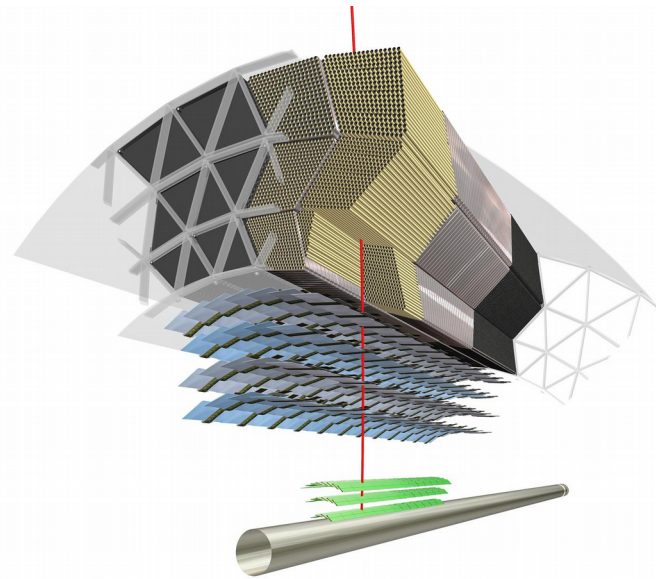
Poche proprietà fondamentali  
determinano il comportamento  
di ogni particella “quasi stabile”



# tante (diverse) macchine fotografiche

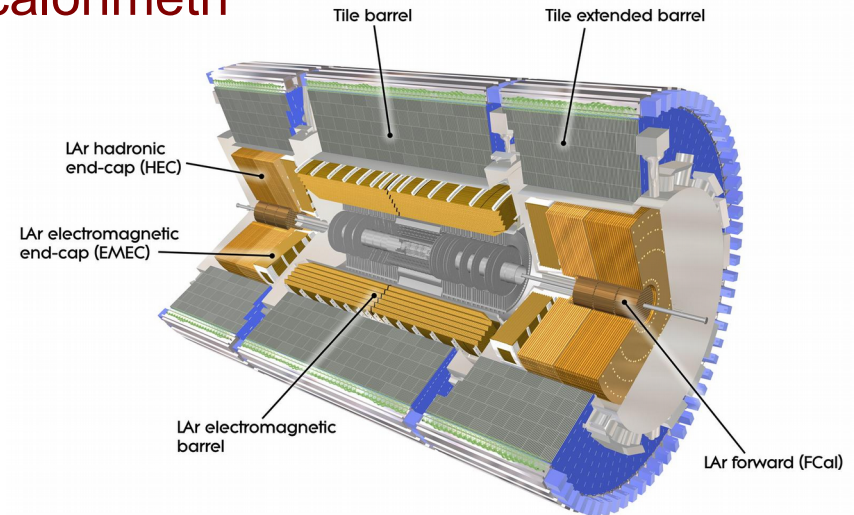


# I sotto-rivelatori

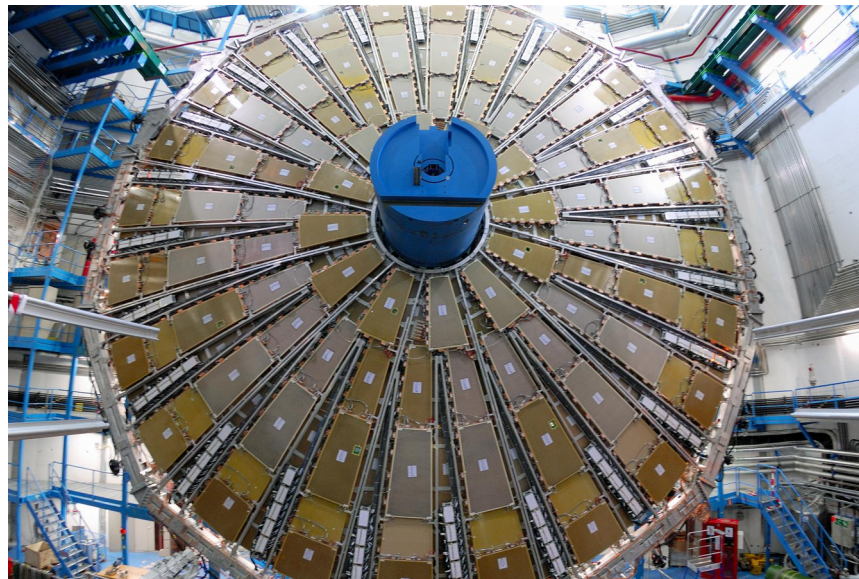


## Il tracciatore interno

## I calorimetri



## Spettrometro a muoni (big wheel)



i segnali del Bosone di Higgs, se anche ci sono, sono

1) rarissimi

2) sommersi dal “fondo” di altra origine fisica

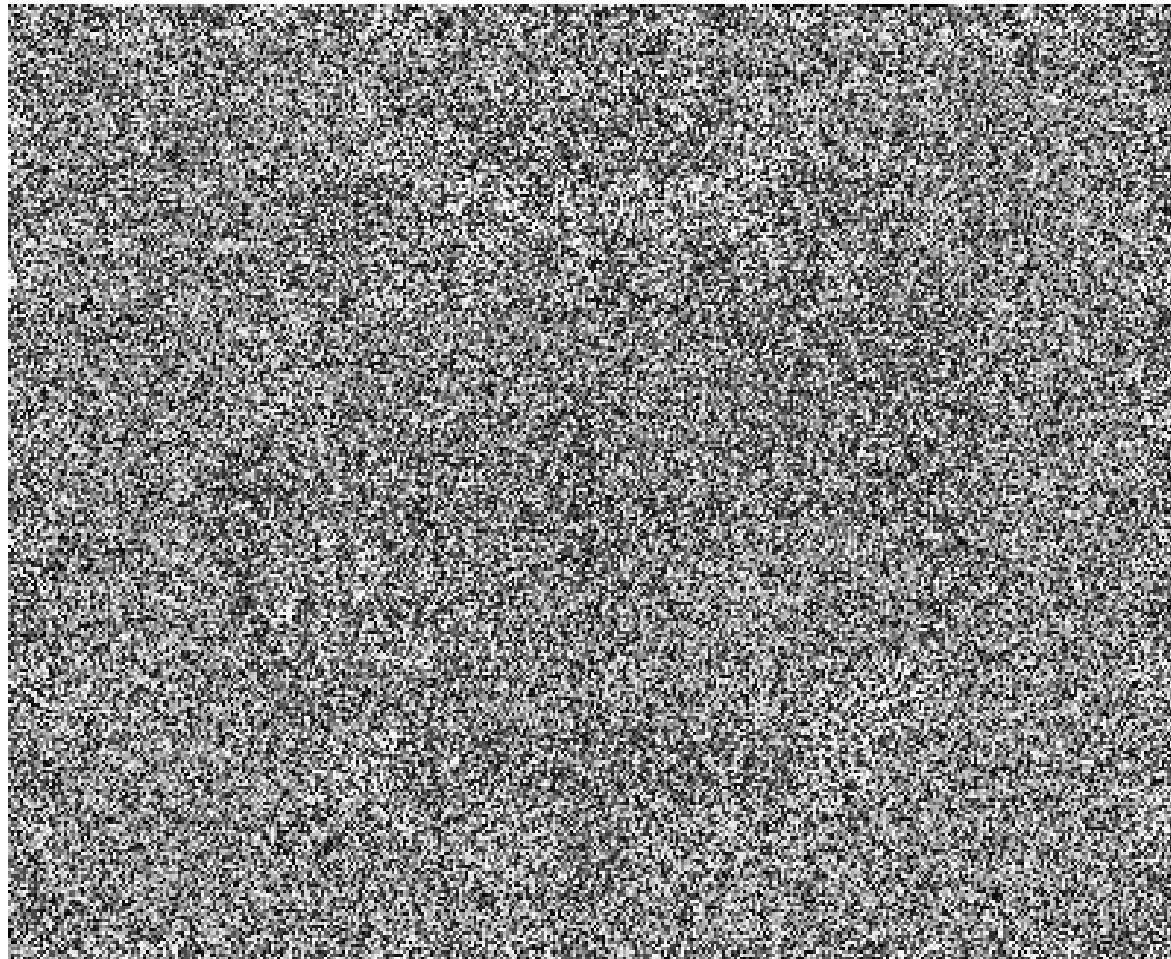
*(per analogia con i segnali elettronici, il fondo è anche chiamato “rumore”)*

*non è un ago in un pagliaio, è un ago in miliardi di pagliai*

*servono tantissimi dati (“statistica”)*

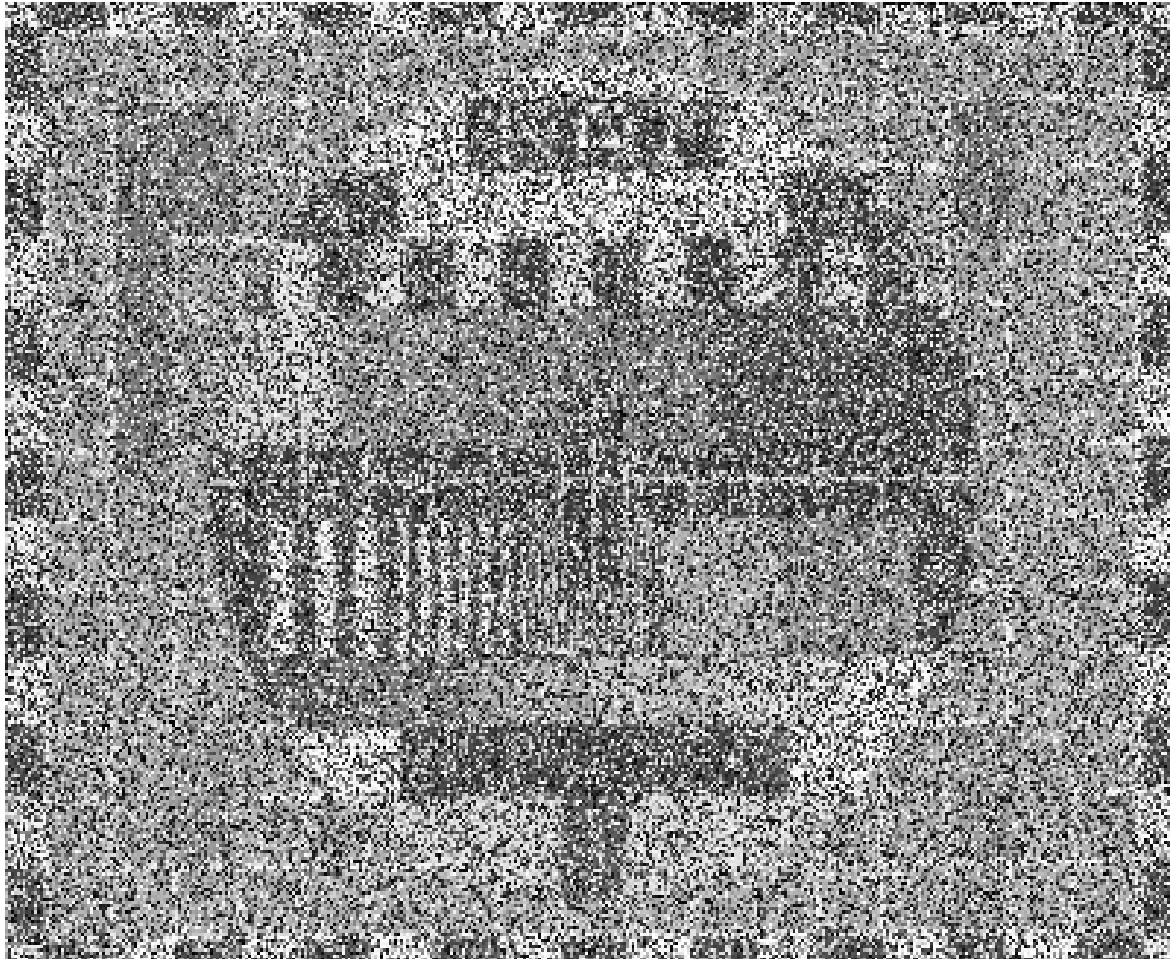
# segnale e rumore (1)

- Il segnale c'è ma è completamente nascosto dal rumore di fondo



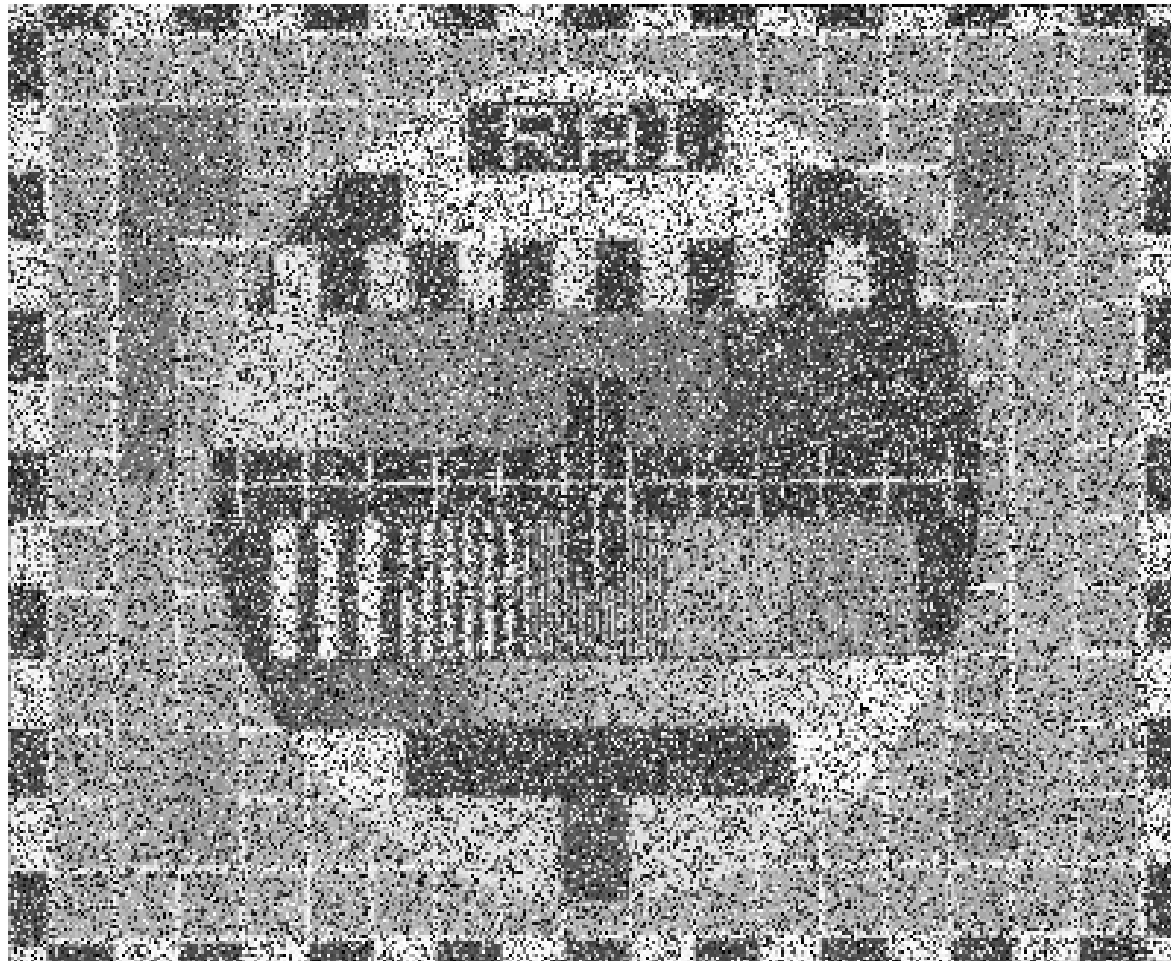
# segnale e rumore (2)

- Se sommo (“integro”) tante schermate il rapporto segnale/rumore migliora



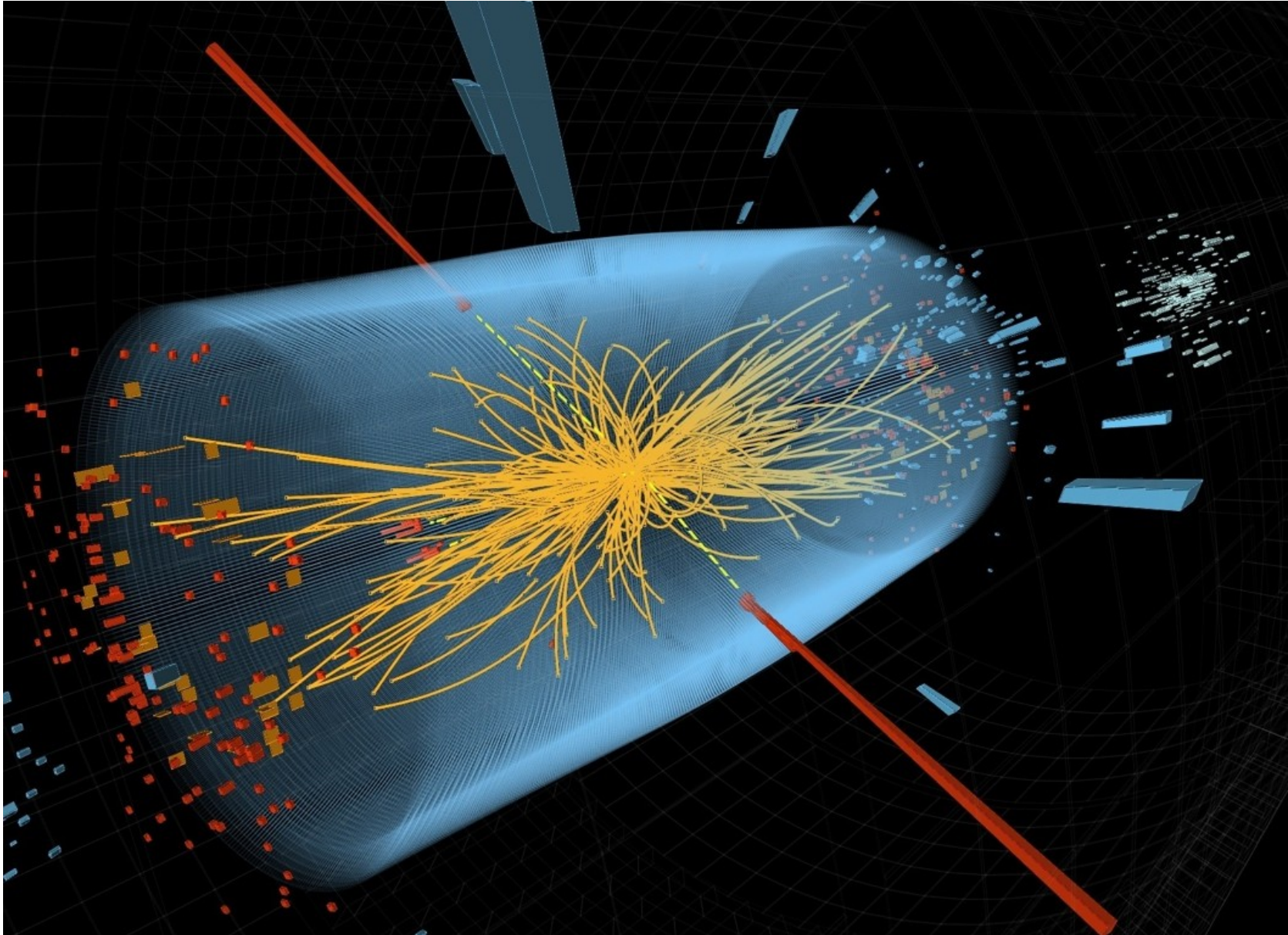
# segnale e rumore (3)

- Aumentando ancora la “statistica” (integrando più a lungo) il segnale diventa riconoscibile



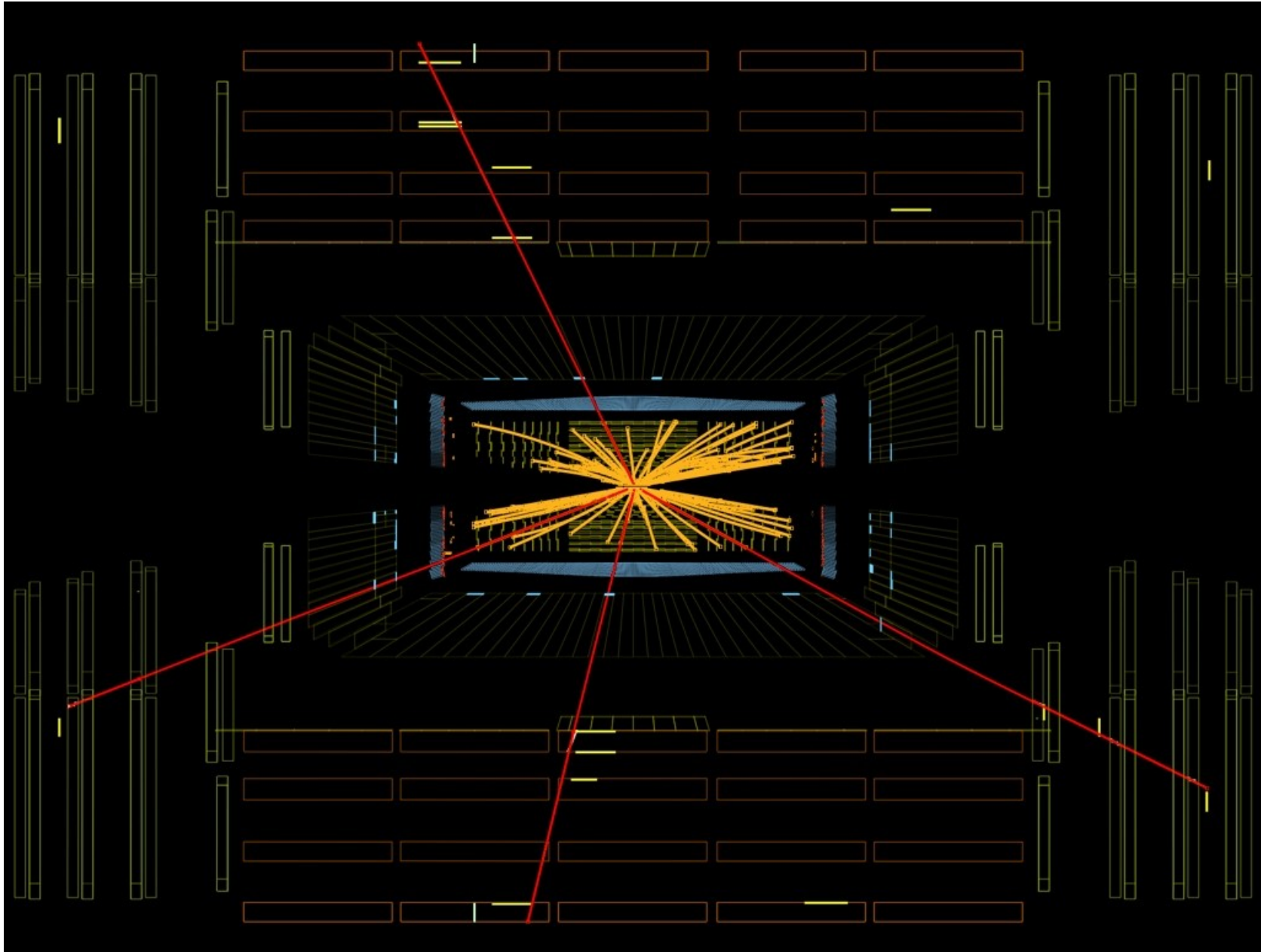
- 3. la ricerca del bosone di Higgs -  
cosa ?

# evento candidato $H \rightarrow \gamma\gamma$



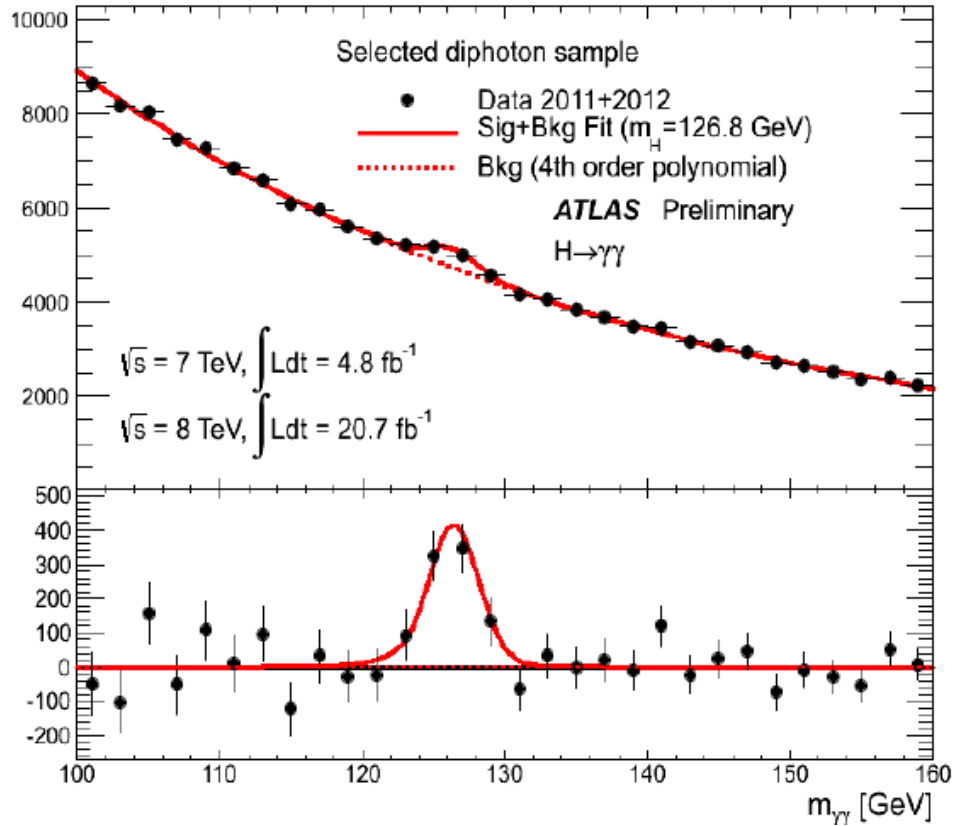


# evento candidato $H \rightarrow 4\mu$



# risultati 2010-2012 ATLAS

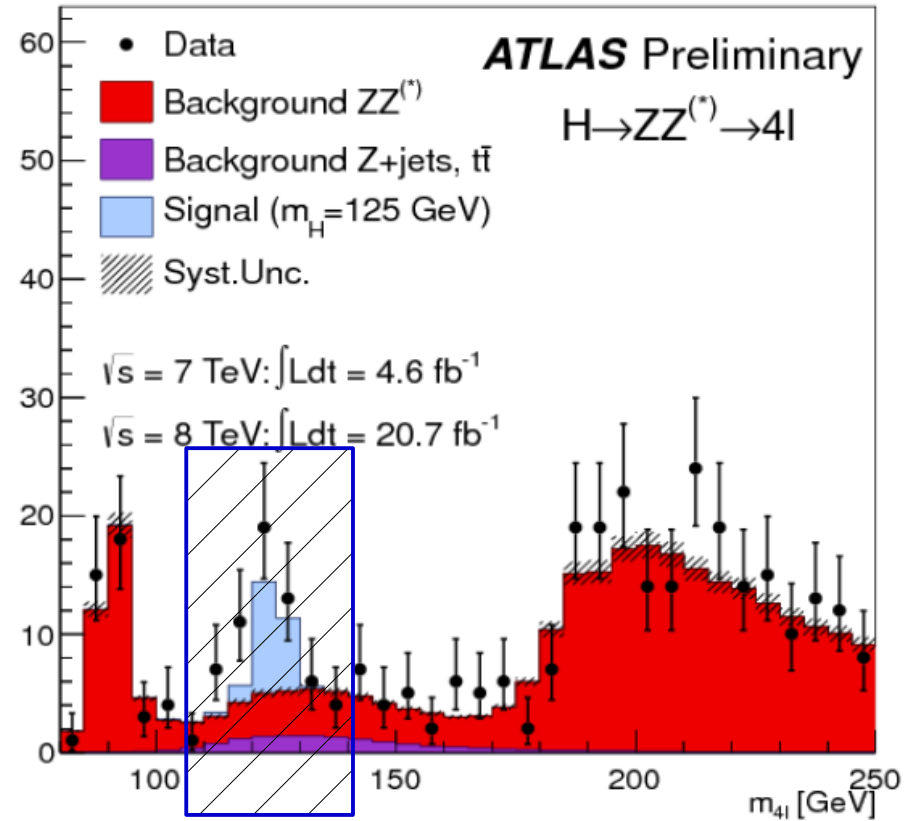
Energia nel centro di massa di coppie di fotoni



“picco”:

~900 eventi in eccesso  
~30000 eventi di fondo

Energia nel centro di massa di sistemi con 4 leptoni 4e/4μ/2e2μ



“picco”:

~16 eventi in eccesso  
~11 eventi di fondo

# stato dell'arte

ATLAS e CMS indipendentemente ( e con forte anticipo rispetto alle attese ) hanno trovato che:

- c'è una nuova particella
- è un bosone scalare (momento angolare = 0, decade in 2 fotoni)
- è compatibile con il bosone di Higgs del Modello Standard

→ fondamentale la misura accurata di tutte le sue proprietà

Q: È esattamente il bosone del M.S. ?

- 4. la ricerca del bosone di Higgs -  
quindi ?
- cosa non capiamo ancora ?

# domande senza risposta (nel M.S.):

- a) Cariche elettriche ?       $Q(n) = Q(v) = 0 ! ??$
- b) Masse ?      Perché sono così diverse ?
- c) Famiglie ?      Sono 3 o di più ? Perché ?
  
- d) Antimateria ?      Dove è finita ?
- e) Materia oscura ?      Di cosa è composta ?
- f) Energia oscura ?      ?????
  
- g) Forza di gravità → non pervenuta

# il Problema !

Universo (interazioni gravitazionali):

Relatività Generale

Particelle (interazioni elettrodeboli e forti):

Meccanica Quantistica Relativistica

1. entrambe le teorie funzionano alla grande  
(fin troppo) nei rispettivi campi
2. purtroppo, ad oggi sono \* INCONCILIABILI \*

eq. relatività generale:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}$$

spazio-tempo      materia-energia

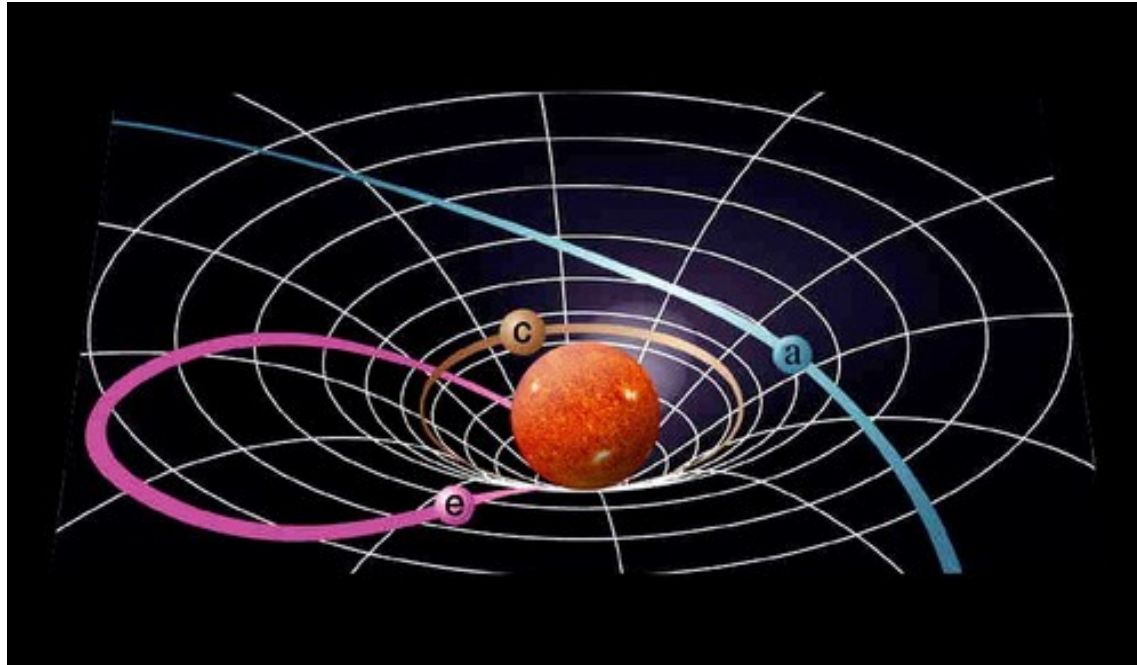
# eq. modello standard:

$$\begin{aligned}
 \mathcal{L} = & -\frac{1}{4}B_{\mu\nu}B^{\mu\nu} - \frac{1}{8}tr(\mathbf{W}_{\mu\nu}\mathbf{W}^{\mu\nu}) - \frac{1}{2}tr(\mathbf{G}_{\mu\nu}\mathbf{G}^{\mu\nu}) && \text{(U(1), SU(2) and SU(3) gauge terms)} \\
 & +(\bar{\nu}_L, \bar{e}_L) \tilde{\sigma}^\mu iD_\mu \begin{pmatrix} \nu_L \\ e_L \end{pmatrix} + \bar{e}_R \sigma^\mu iD_\mu e_R + \bar{\nu}_R \sigma^\mu iD_\mu \nu_R + (\text{h.c.}) && \text{(lepton dynamical term)} \\
 & -\frac{\sqrt{2}}{v} \left[ (\bar{\nu}_L, \bar{e}_L) \phi M^e e_R + \bar{e}_R \bar{M}^e \bar{\phi} \begin{pmatrix} \nu_L \\ e_L \end{pmatrix} \right] && \text{(electron, muon, tauon mass term)} \\
 & -\frac{\sqrt{2}}{v} \left[ (-\bar{e}_L, \bar{\nu}_L) \phi^* M^\nu \nu_R + \bar{\nu}_R \bar{M}^\nu \phi^T \begin{pmatrix} -e_L \\ \nu_L \end{pmatrix} \right] && \text{(neutrino mass term)} \\
 & +(\bar{u}_L, \bar{d}_L) \tilde{\sigma}^\mu iD_\mu \begin{pmatrix} u_L \\ d_L \end{pmatrix} + \bar{u}_R \sigma^\mu iD_\mu u_R + \bar{d}_R \sigma^\mu iD_\mu d_R + (\text{h.c.}) && \text{(quark dynamical term)} \\
 & -\frac{\sqrt{2}}{v} \left[ (\bar{u}_L, \bar{d}_L) \phi M^d d_R + \bar{d}_R \bar{M}^d \bar{\phi} \begin{pmatrix} u_L \\ d_L \end{pmatrix} \right] && \text{(down, strange, bottom mass term)} \\
 & -\frac{\sqrt{2}}{v} \left[ (-\bar{d}_L, \bar{u}_L) \phi^* M^u u_R + \bar{u}_R \bar{M}^u \phi^T \begin{pmatrix} -d_L \\ u_L \end{pmatrix} \right] && \text{(up, charmed, top mass term)} \\
 & +\overline{(D_\mu \phi)} D^\mu \phi - m_h^2 [\bar{\phi} \phi - v^2/2]^2 / 2v^2. && \text{(Higgs dynamical and mass term)} \quad (1)
 \end{aligned}$$

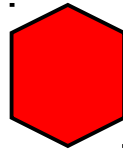


# Relatività generale

## Spazio-Tempo e Materia



la materia dice allo spazio-tempo come curvarsi



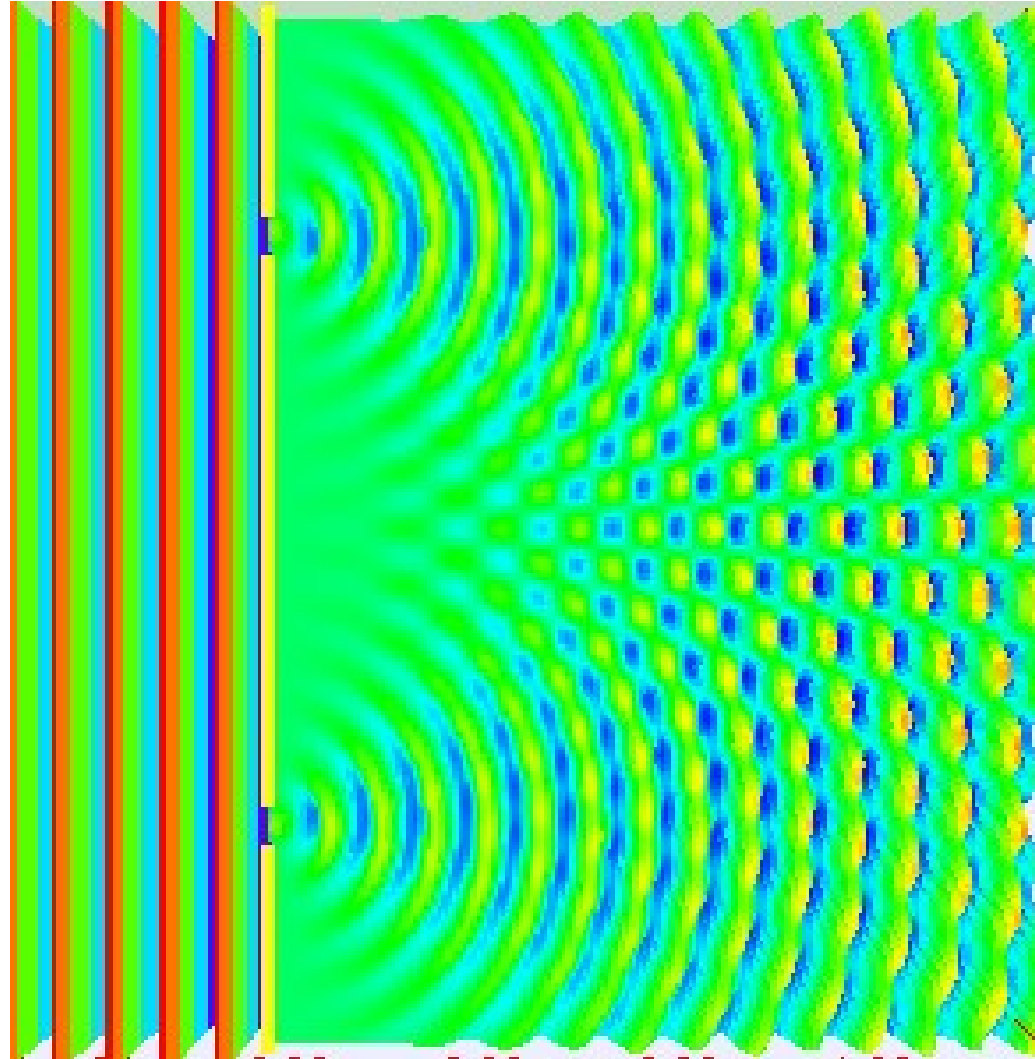
la curvatura dello spazio-tempo dice alla materia come muoversi

# Meccanica Quantistica

## Spazio-Tempo e Materia

- a) particelle (materia) → comportamento probabilistico (non prevedibile con certezza a priori, nemmeno disponendo di tutte le informazioni possibili)
- b) l'osservazione sperimentale (es. la misura di una posizione) modifica in modo irreversibile la probabilità con cui le particelle si stanno “propagando”
- c) lo spazio-tempo è il contenitore in cui l'evoluzione e le osservazioni avvengono

particella  $\leftrightarrow$  onda



# mettendo assieme le due teorie ...

1) la materia deforma lo spazio-tempo

2) la materia si comporta in modo probabilistico

3) la misura sperimentale ne cambia la distribuzione di probabilità



a) lo spazio tempo è probabilistico

b) la misura cambia la distribuzione di probabilità per lo spazio-tempo

?? un bel rompicapo

torniamo al problema iniziale:

*ma è davvero possibile capire l'universo*

*(ovvero esprimere le leggi che regolano la sua  
evoluzione in una singola formula matematica)*

?

# il futuro

Approvato: HL-LHC (alta statistica, 2025-2040)

→ studio bosone di Higgs, canali rari

in discussione:

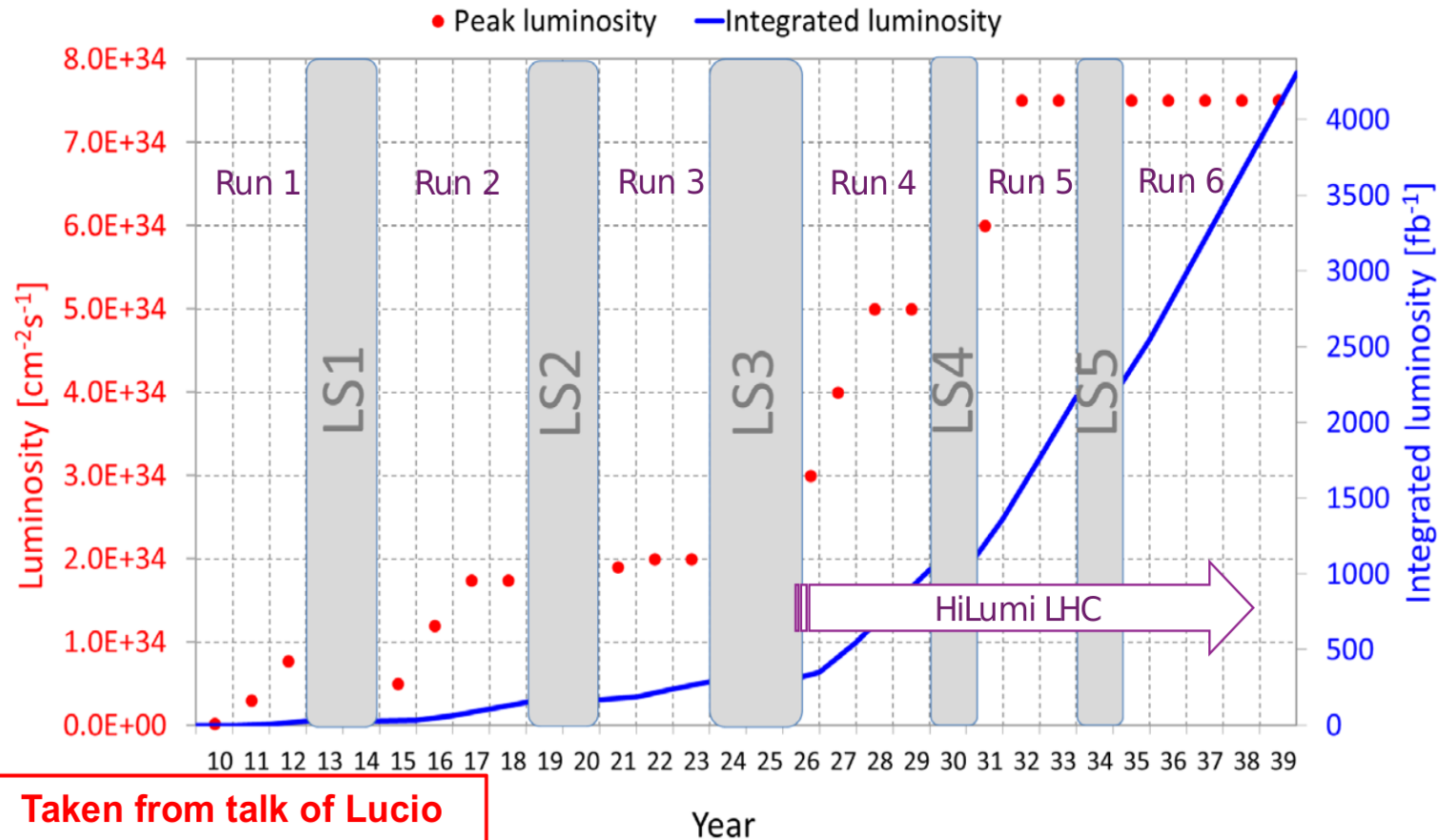
- 1) raddoppio energia LHC → CERN (HE-LHC)
- 2) Future Circular Collider → CINA (CepC) / CERN (FCC)
- 3) Linear Collider ( $e^+e^-$ ) → Giappone (ILC)
- 4) Compact Linear Collider ( $e^+e^-$ ) → CERN (CLIC)
- 5) Muon Collider ( $\mu^+\mu^-$ ) → ???

HL-LHC,  $e^+e^-$  ~ misure di precisione del bosone di Higgs

pp ~ ricerca particelle sconosciute ancora più pesanti

# HL-LHC: programmi fino al ~2040

Ultimate scenario  $7.5 \cdot 10^{34}$ :  $320 \text{ fb}^{-1}/\text{y}$  for 160 days  
 Ion collisions end at LS4  
 Physics days: 160 Run4  $\rightarrow$  200 Run5  $\rightarrow$  220 Run6



**Taken from talk of Lucio Rossi at Sept HL-LHC Coordination Meeting**

K. Einsweiler - Lawrence Berkeley Lab

Ultimate scenario assume 5% higher efficiency than nominal  
 Last run with 220 days and 5% higher efficiency:  $440 \text{ fb}^{-1}/\text{y}$

10/20/2016

Forza bruta ?

Serve un approccio diverso ?

Certamente nuove idee sarebbero benvenute

***Come all'inizio del 1900 ?***



## 5. Cosa facciamo nel mio gruppo ?

# **Il gruppo ATLAS-Pavia (2017)**

# Ricercatori



Michele



Adele



Agostino



Valerio



Andrea



Daniela



Roberto



Giacomo

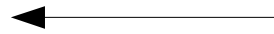


Gianluca

Chiavari, 15 maggio 2017



Gabriella



*Università*



*I.N.F.N.*

# Tecnici



Domenico



Emanuele

*Elettronici*



Angelo



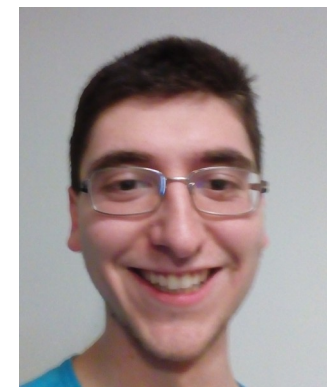
Filippo



Claudio



Samuel



Alessandro

*Meccanici*

# Giovani Leve



Athina

*Post-doc*



Edoardo



Simone

*Dottorandi*



Riccardo



Maria Cristina



Giulia

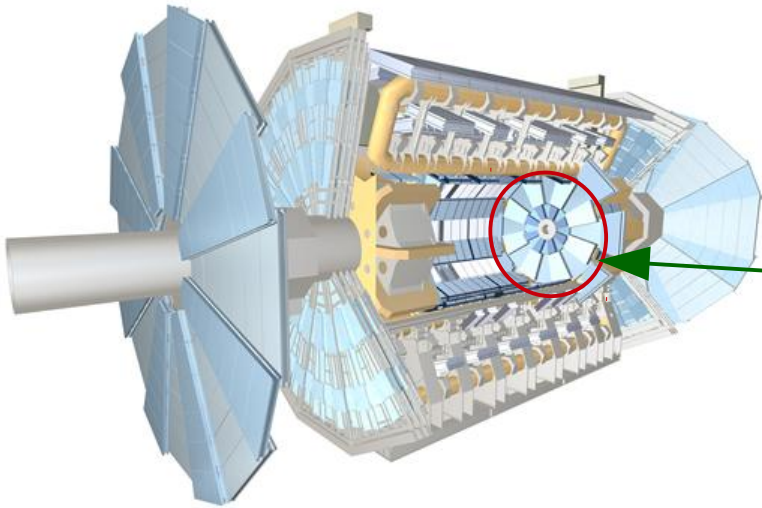
*Laureandi*



Lorenzo

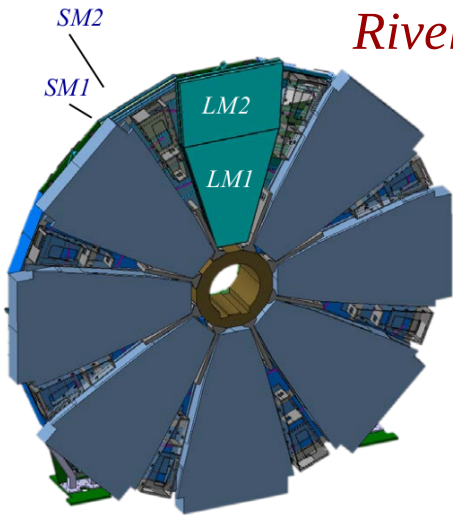
# **Le attività (2017) ?**

# Small Wheel

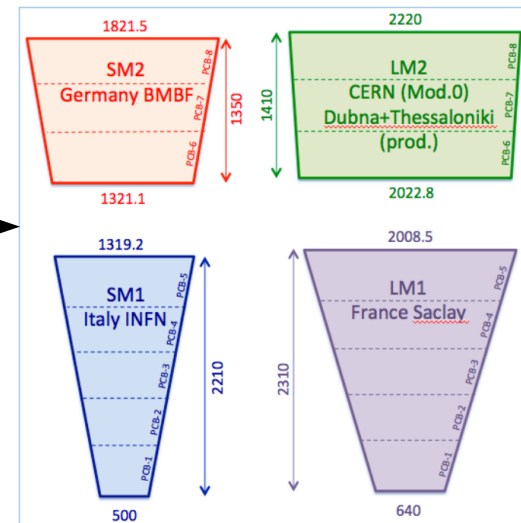


2019-20 → *New Small Wheel (NSW)*

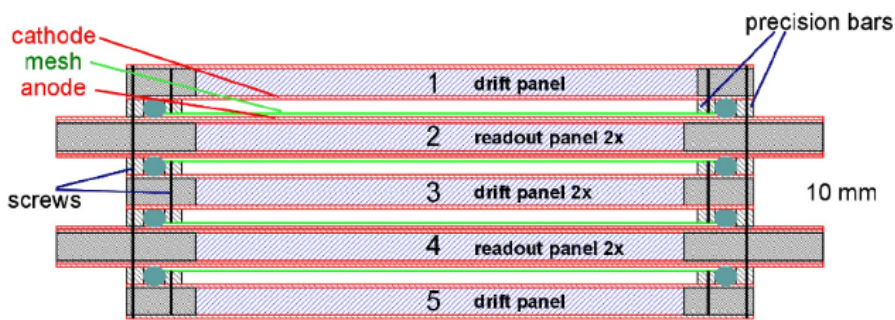
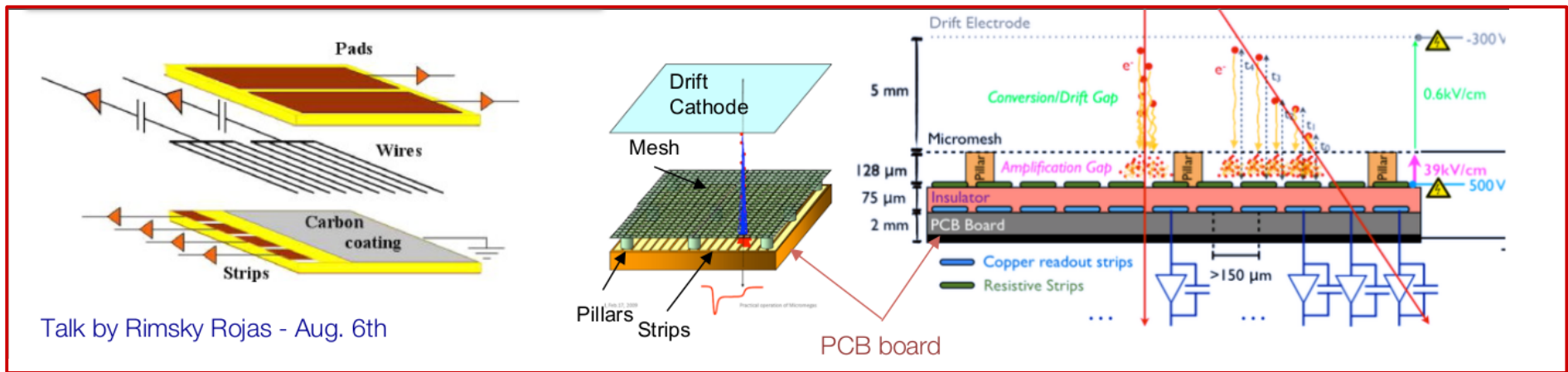
*Rivelatori Micromegas (tracciamento)*



*Siti di costruzione* →



# Costruzione Micromegas



INFN:

Modulo-0 : aprile 2016 (test su fascio a giugno 2016)

Modulo-0.5 : marzo 2017 (non ancora assemblato)

INFN:

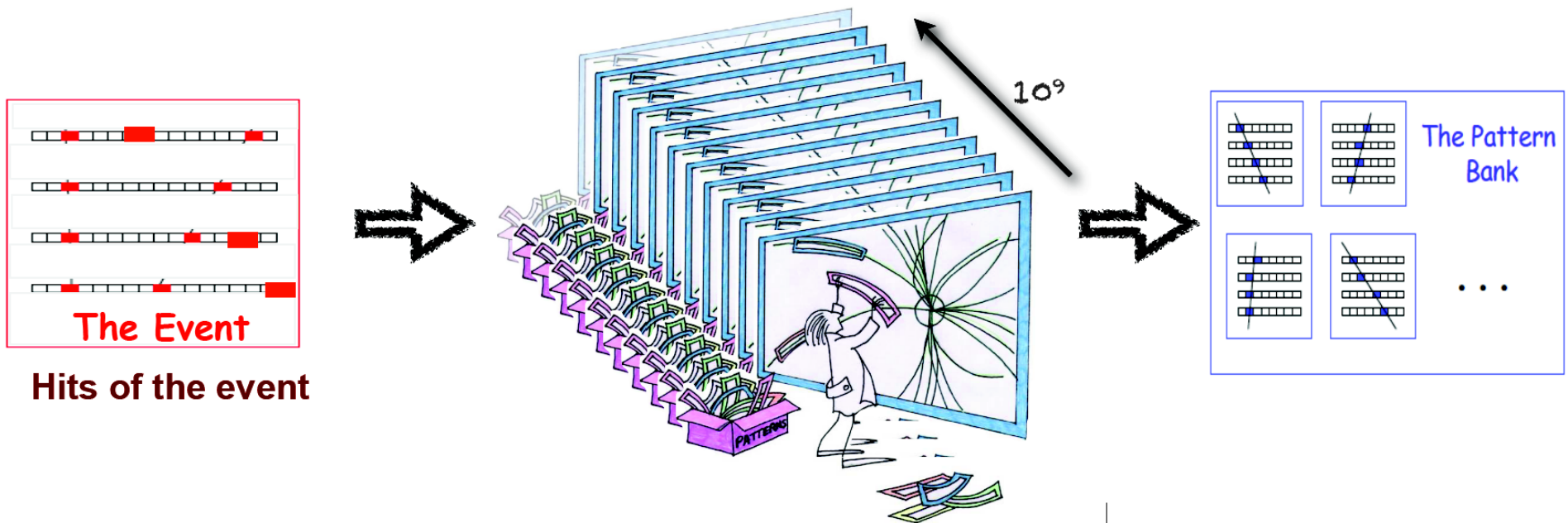
- Pavia : pannelli di readout
- Roma1 : pannelli di drift
- Roma3 : griglia (mesh)
- LNF : assemblaggio
- Napoli, Cosenza, Lecce : supporto

6 mesi – 1 anno in anticipo rispetto agli altri siti !



# Fast Tracker (FTK)

- 2021-2023: frequenza collisioni ~2 volte maggiore
  - Selezione eventi molto più complicata
  - ricostruzione tracce in tempo reale  
(*memorie associative + logiche programmabili*)



# altre cose ...

## In ATLAS:

- *Analisi dati (ricerca particelle supersimmetriche)*
- *Simulazioni (studio produzione bosone di Higgs)*
- *Alimentazioni alta e bassa tensione (muoni)*
- *Raffreddamento elettronica FTK*
- *Monitoraggio online (muoni e DAQ)*
- *DAQ : movimento dati e readout rivelatori*

## Al di fuori di ATLAS:

- *sviluppo calorimetria per futuri esperimenti (simulazioni, costruzione prototipi, acquisizione dati)*

*Grazie per la pazienza*