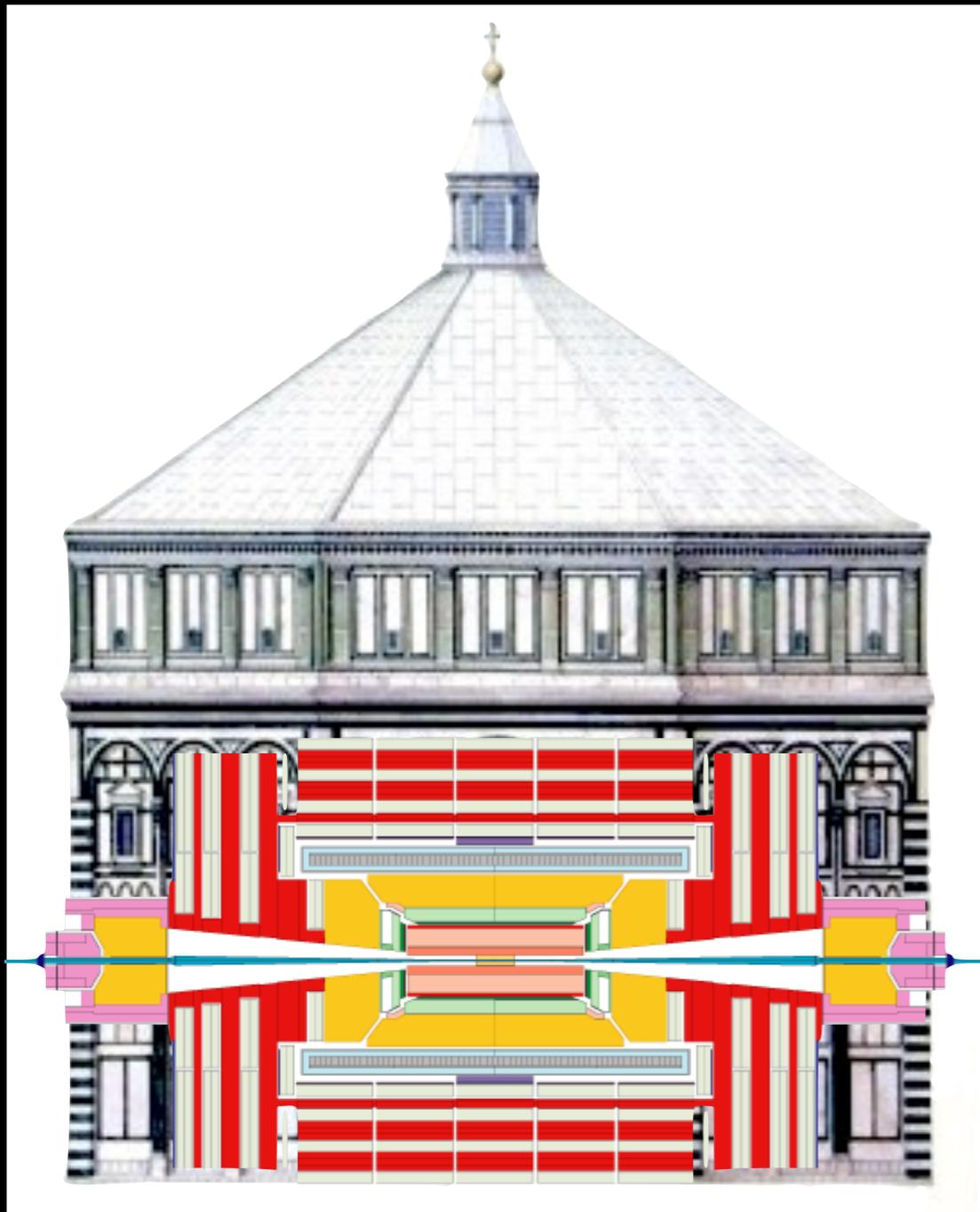


# Progetto “Art and Science Across Italy” II Edizione

<https://web.infn.it/artandscience/index.php/en/>



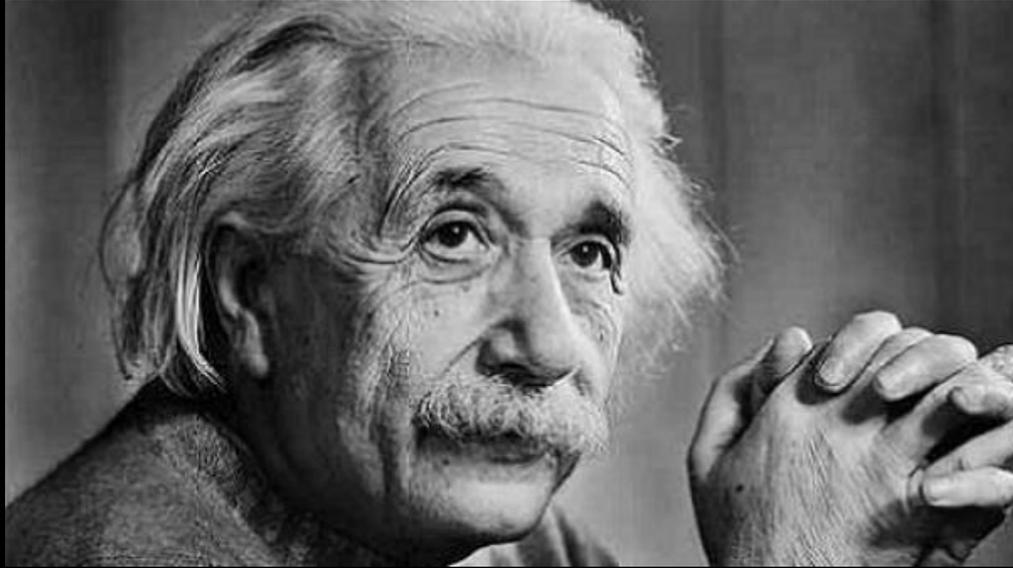
## Fotografando il Bosone di Higgs

Incontro con  
Liceo Scientifico Gramsci e  
Liceo Artistico di P.Romana  
14 GEN 2019

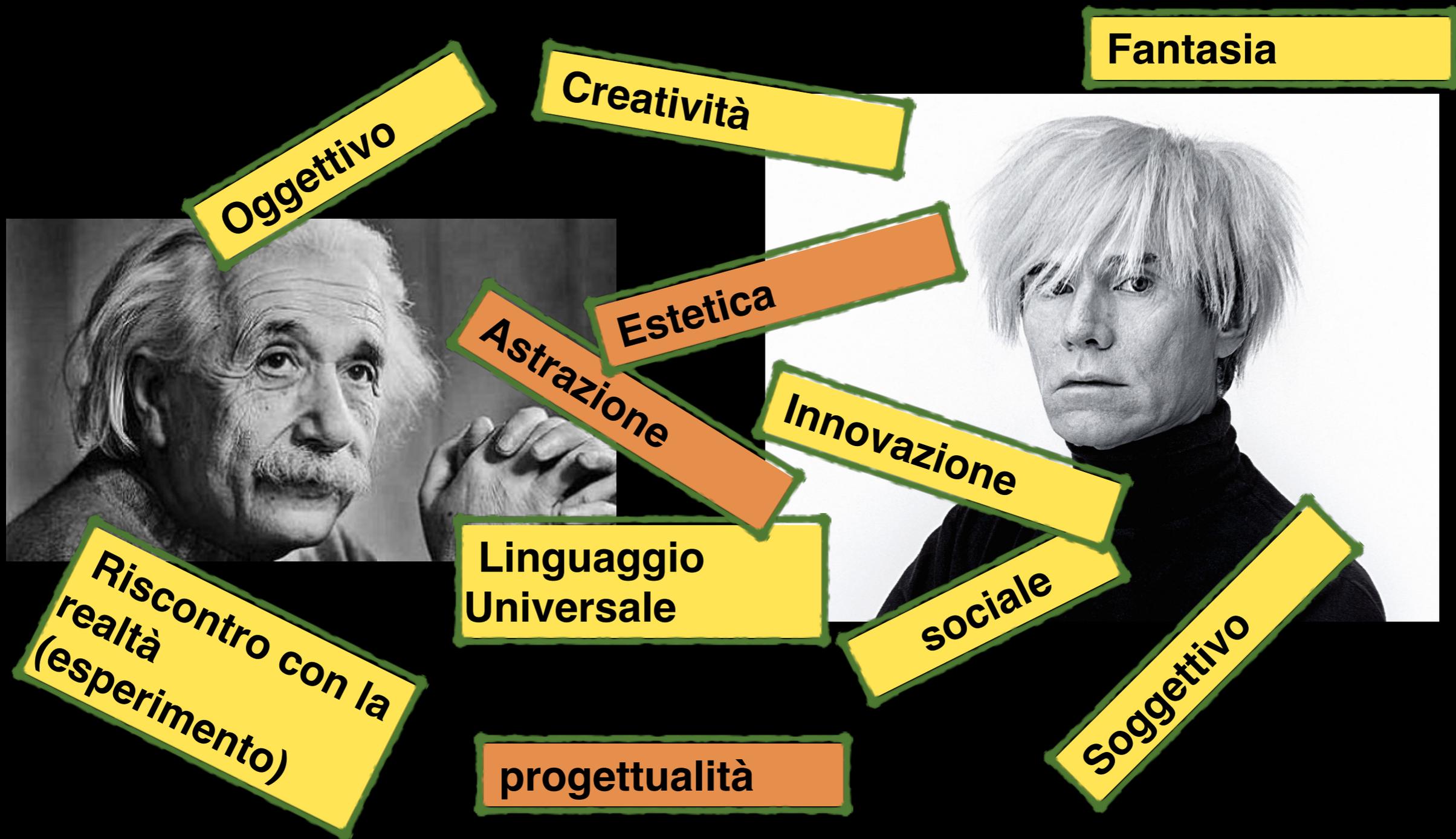
S. Paoletti (INFN Firenze)  
per il comitato organizzatore di Firenze: Mariaelena Fedi, Lucia Liccioli, Saverio  
Mariani, Simone Paoletti, Ruggero Stanga, Elena Vannuccini -  
[artescienza@fi.infn.it](mailto:artescienza@fi.infn.it)



# ARTE vs SCIENZA

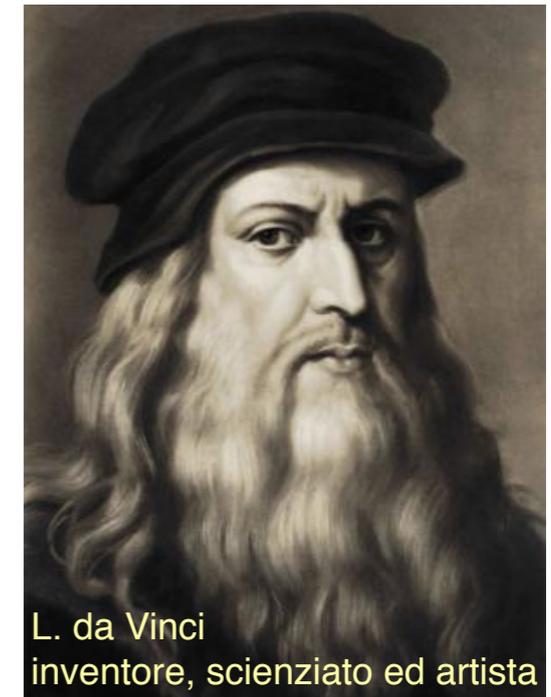


# ARTE vs SCIENZA



Suggerimento: libro "Le due culture" di Charles Percy Snow  
(cultura scientifica vs cultura umanistica)

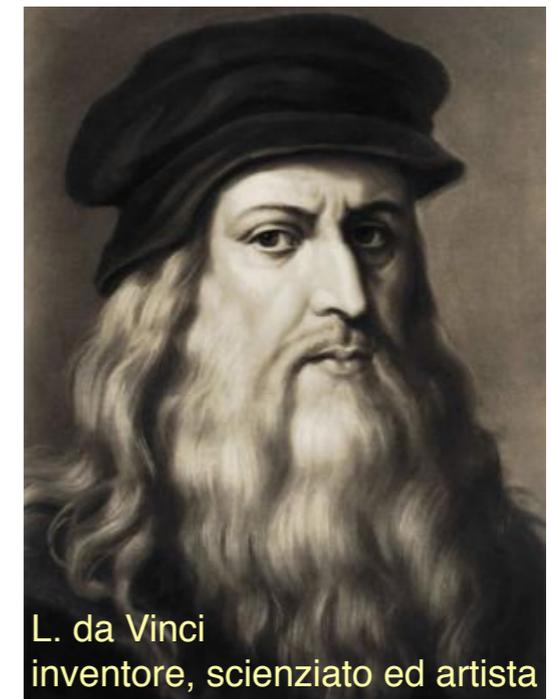
**Arte = “saper fare”**  
...a regola d'arte,  
arti e mestieri...



**Arte = “saper fare”**  
...a regola d'arte,  
arti e mestieri...



~1700: estetica  
 (“belle arti”)



L. da Vinci  
inventore, scienziato ed artista

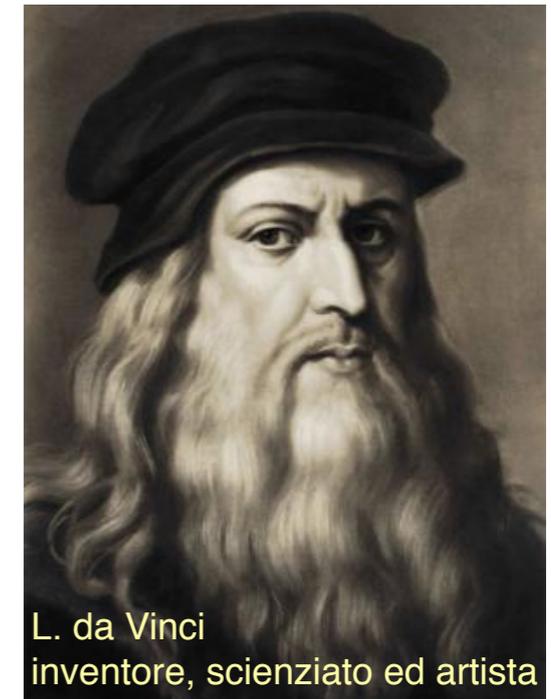
**Arte = “saper fare”**  
...a regola d'arte,  
arti e mestieri...



~1700: estetica  
 (“belle arti”)



capacità di veicolare  
emozioni e messaggi  
soggettivi



L. da Vinci  
inventore, scienziato ed artista

**Arte = “saper fare”**  
...a regola d'arte,  
arti e mestieri...



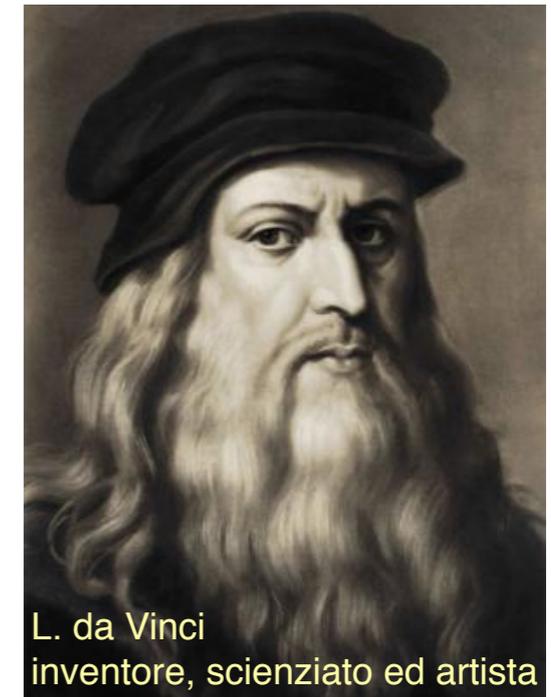
~1700: estetica  
 (“belle arti”)



capacità di veicolare  
emozioni e messaggi  
soggettivi



anche messaggi  
politico/sociali



**Arte = “saper fare”**  
...a regola d'arte,  
arti e mestieri...



~1700: estetica  
("belle arti")

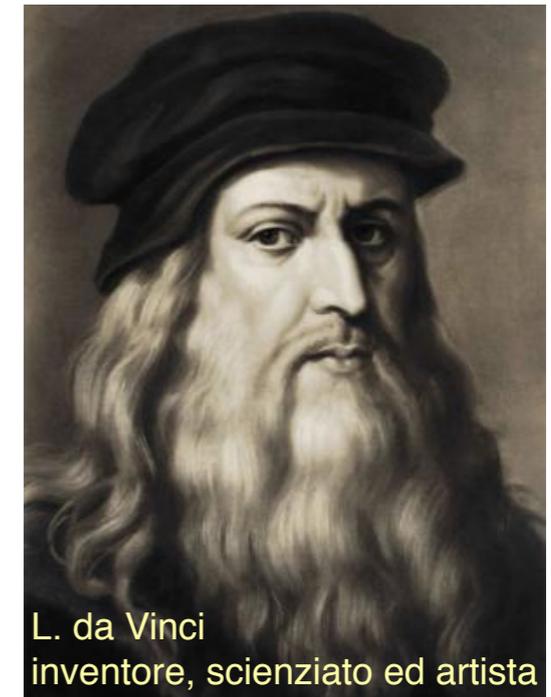


capacità di veicolare  
emozioni e messaggi  
soggettivi



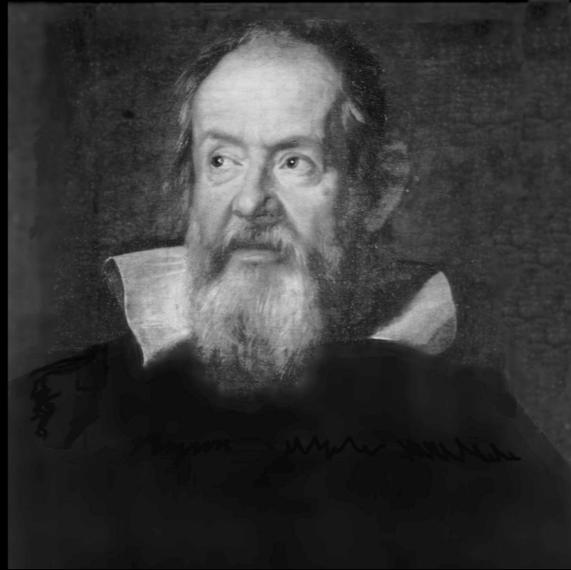
**Originalità dell'idea**

anche messaggi  
politico/sociali



# Il metodo scientifico “moderno”

Riscontro  
sperimentale,  
riproducibilità



# Il metodo scientifico “moderno”

Riscontro  
sperimentale,  
riproducibilità

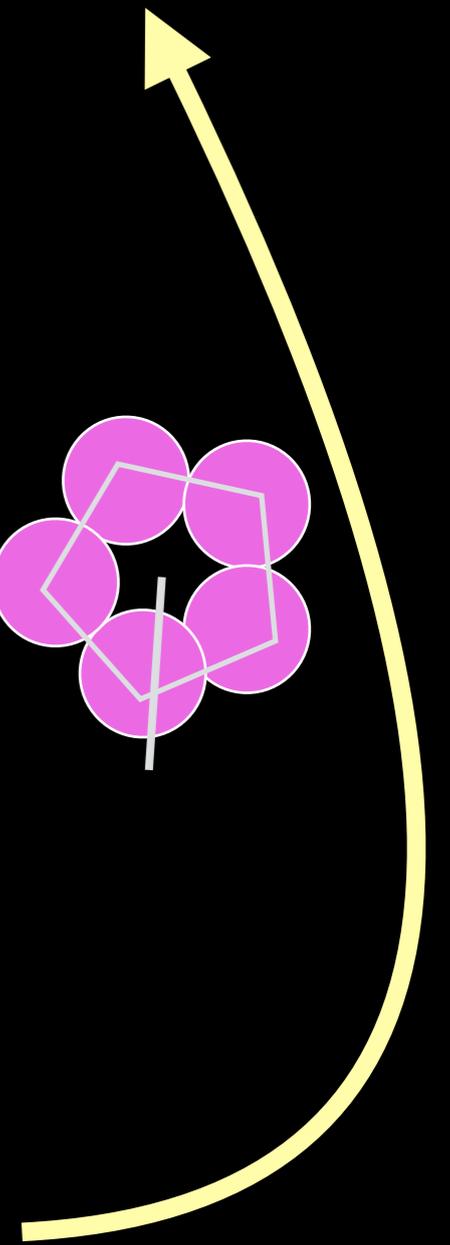
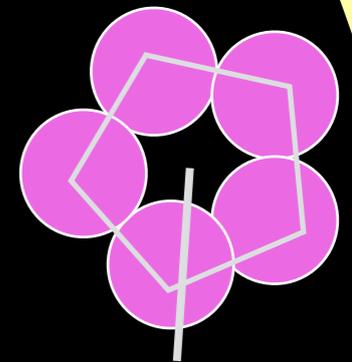


Osservazione

Modello

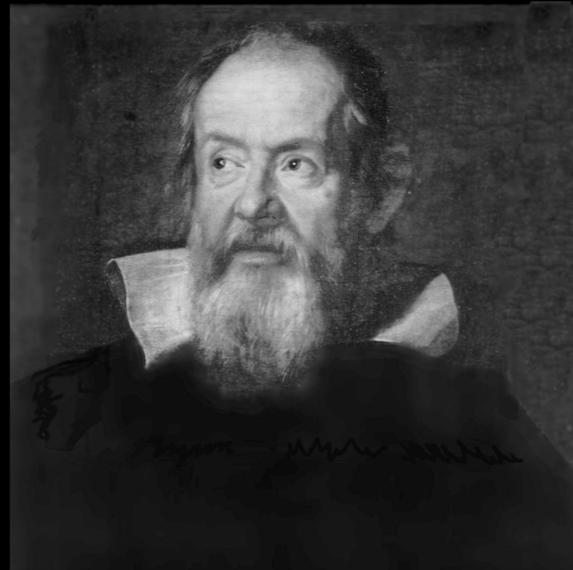
Previsione

Esperimento



# Il metodo scientifico “moderno”

Riscontro  
sperimentale,  
riproducibilità



Osservazione



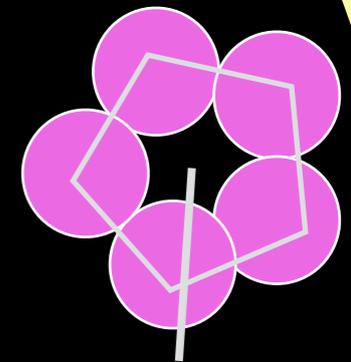
Modello



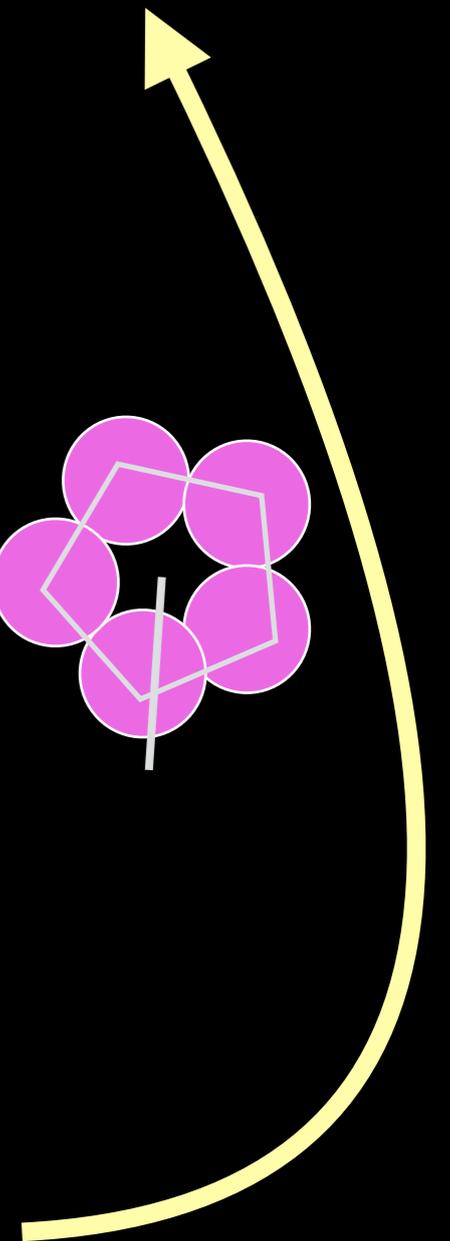
Previsione



Esperimento



Schematizzazione  
Astrazione  
Idealizzazione



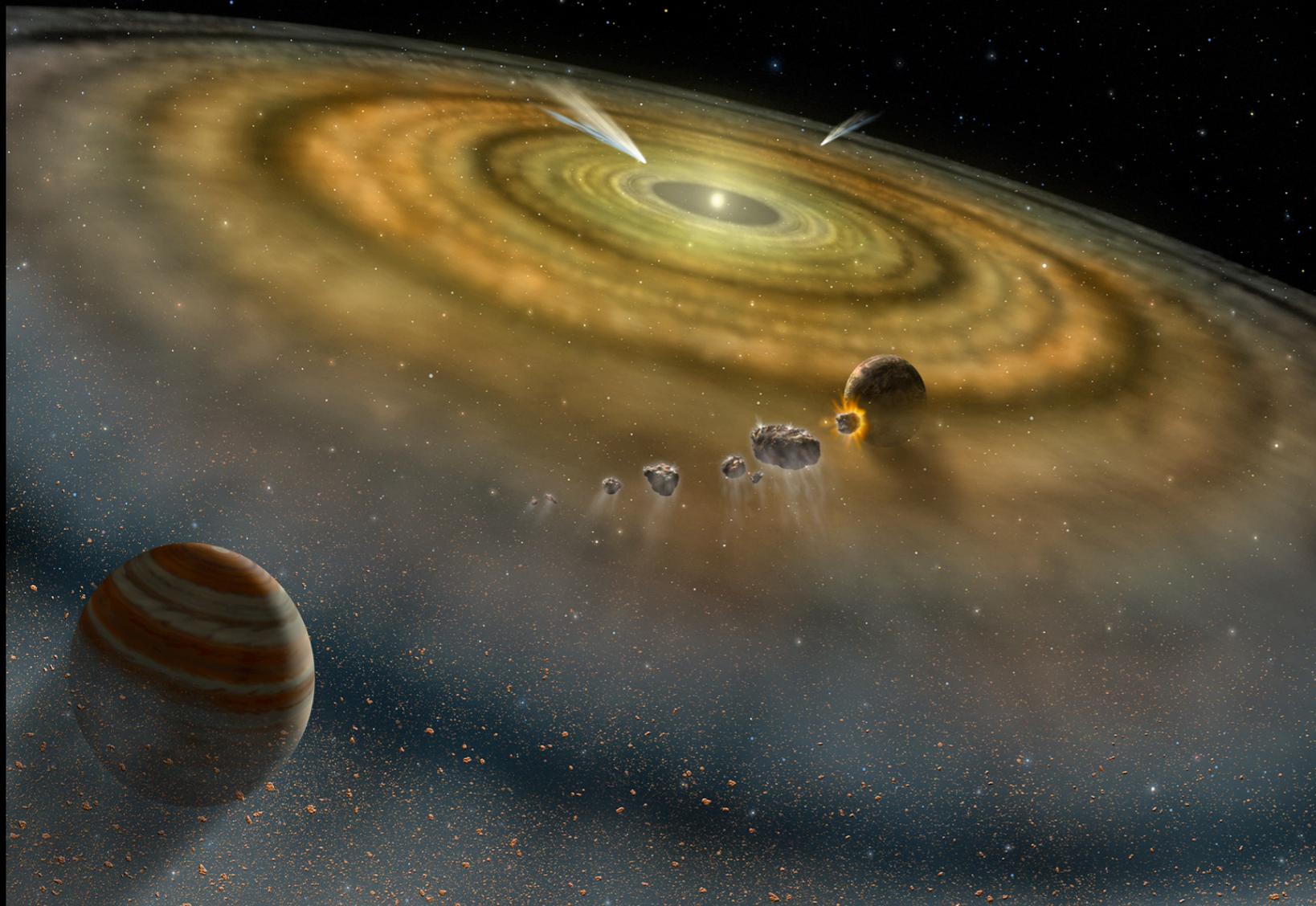
# Armonia ↔ Simmetria



bellezza, assoluto, perfezione

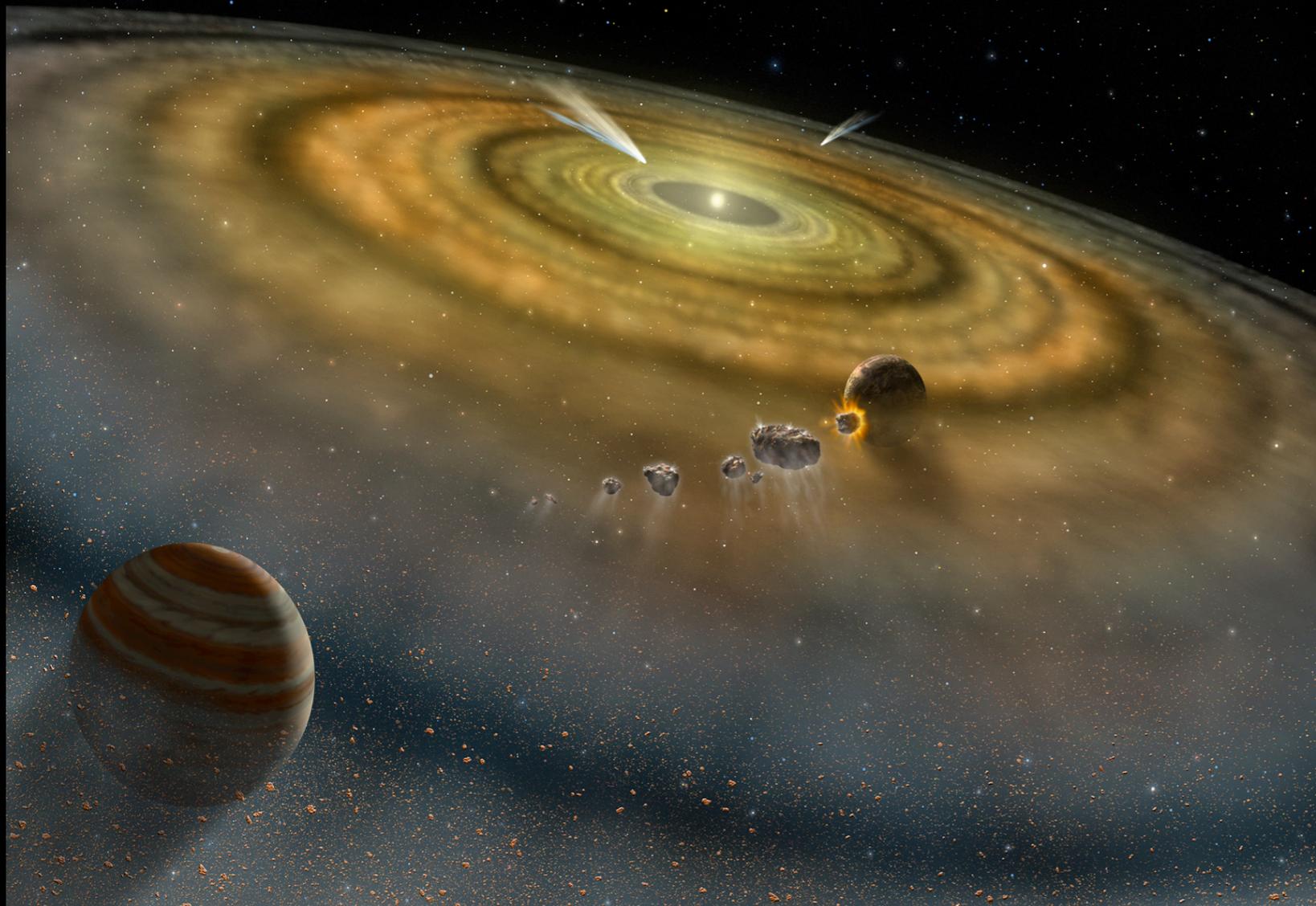
Il concetto di simmetria è tra i più “potenti” in fisica:  
ad ogni simmetria di un sistema corrisponde una legge di  
conservazione:

- traslazione → quantità di moto
- rotazione → momento angolare



Il concetto di simmetria è tra i più “potenti” in fisica:  
ad ogni simmetria di un sistema corrisponde una legge di  
conservazione:

- traslazione → quantità di moto
- rotazione → momento angolare



Le interazioni  
fondamentali che  
regolano il nostro  
universo derivano  
da qualche forma di  
simmetria



Nel modello faccio delle  
approssimazioni per  
semplificare il problema

Esiste un meccanismo  
elementare all'opera su  
piccole dimensioni che  
comporta una simmetria su  
grandi dimensioni

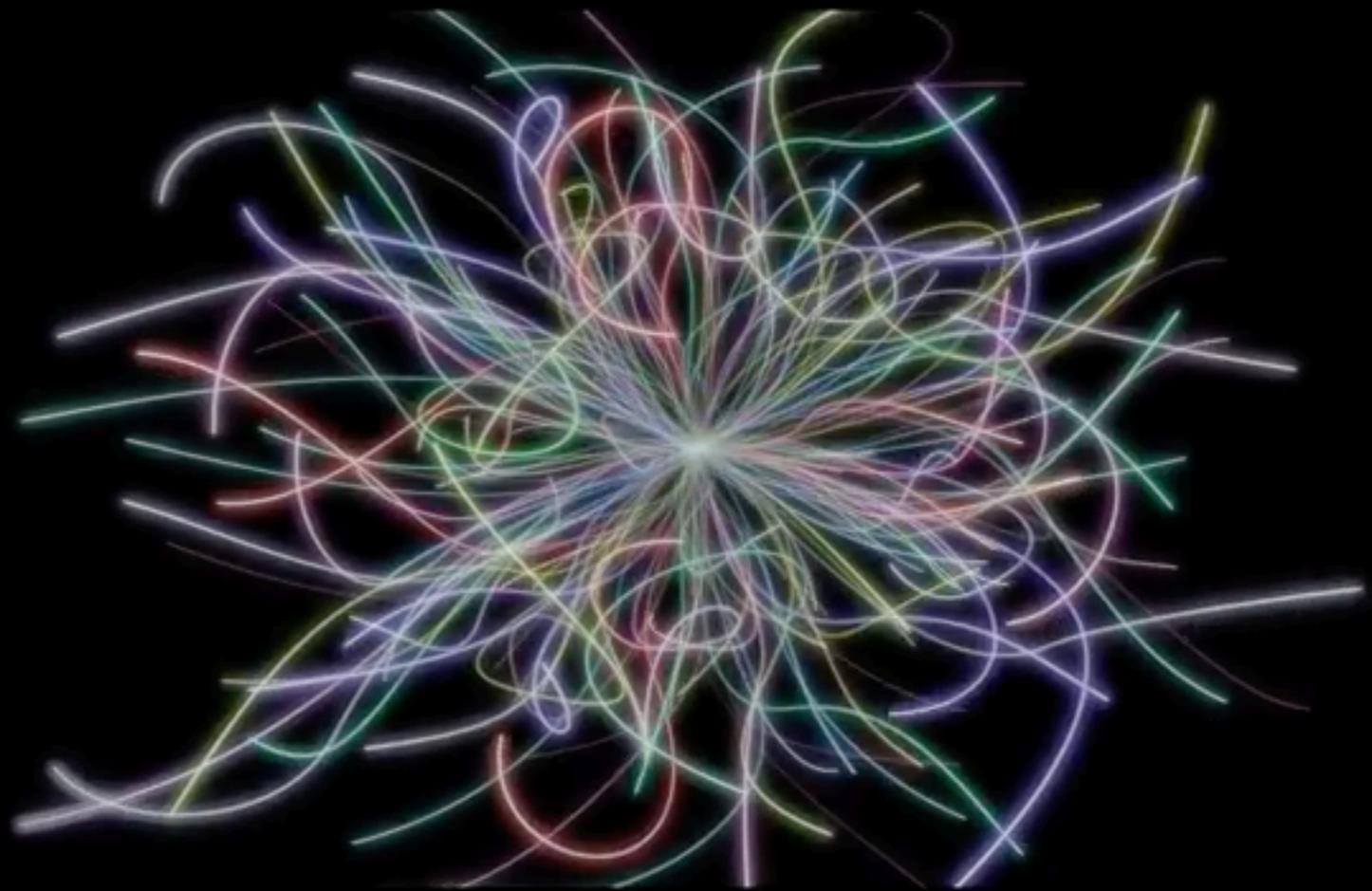


Nel modello faccio delle approssimazioni per semplificare il problema

Esiste un meccanismo elementare all'opera su piccole dimensioni che comporta una simmetria su grandi dimensioni

La natura non è mai completamente simmetrica  
→ la simmetria è “rotta” a qualche ordine di grandezza

# È l'universo intimamente simmetrico ? O siamo noi a che vogliamo vederlo così ?



**Trailer:**  
<https://www.officineubu.com/film/il-senso-della-bellezza/>

 **OFFICINEUBU**  
*un sogno lungo un film*

# II CERN

Il CERN è l'organizzazione europea per la ricerca nucleare, fondata a Ginevra il 29 settembre 1954

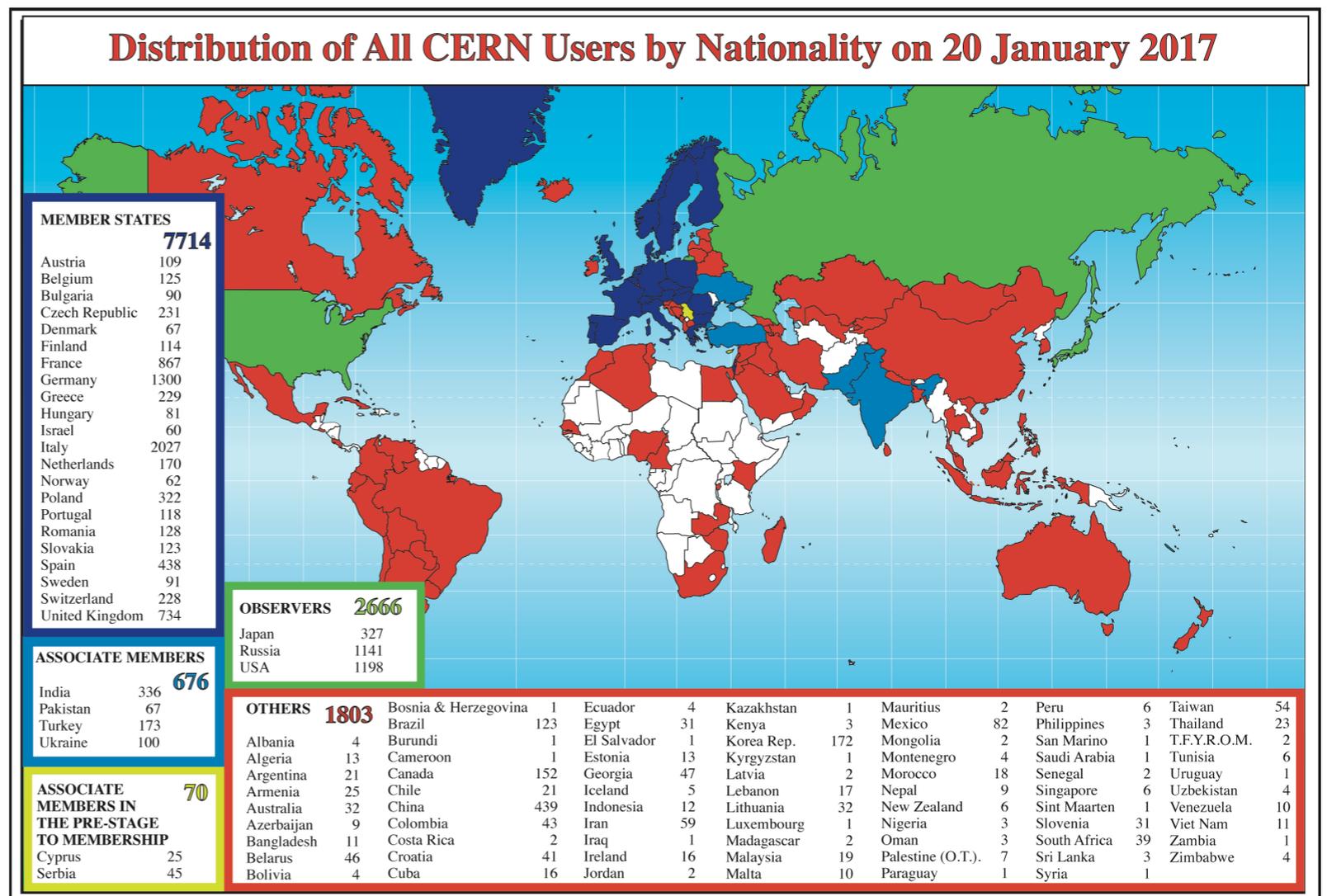


CERN = “Consiglio Europeo per la Ricerca Nucleare” costituito nel 1952 con lo scopo di creare in Europa una infrastruttura mondiale per la ricerca fisica di punta.

L'Italia è uno dei 12 stati fondatori

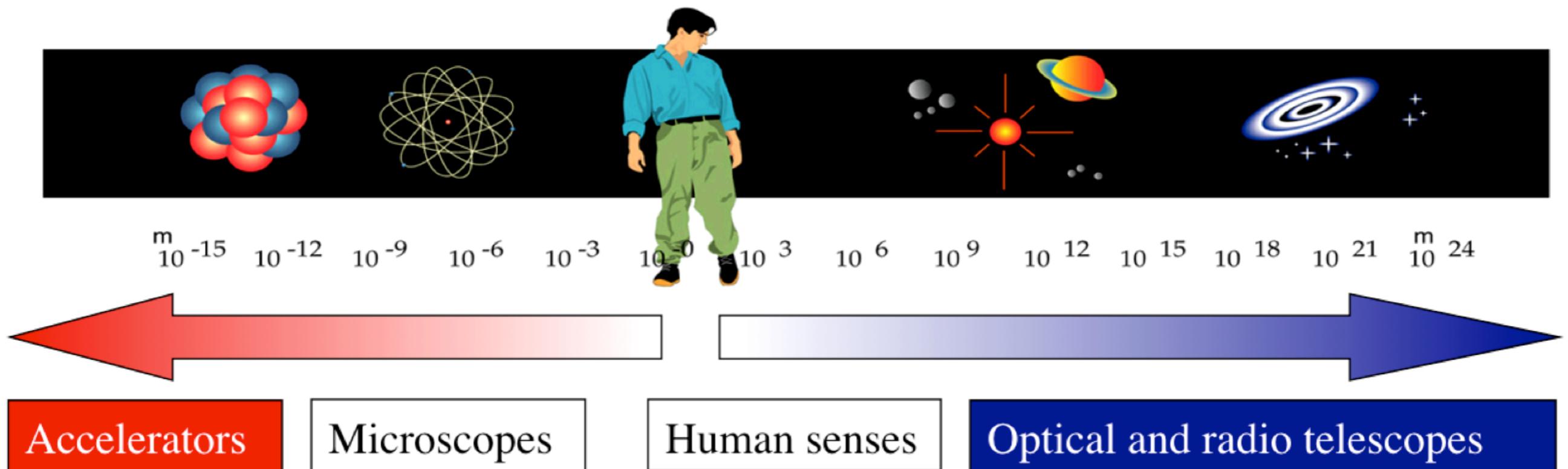
Vi lavorano più di 15000 persone da 113 paesi nel mondo

Dal dicembre 2012 è osservatore all'ONU, come esempio di collaborazione scientifica tra i paesi.

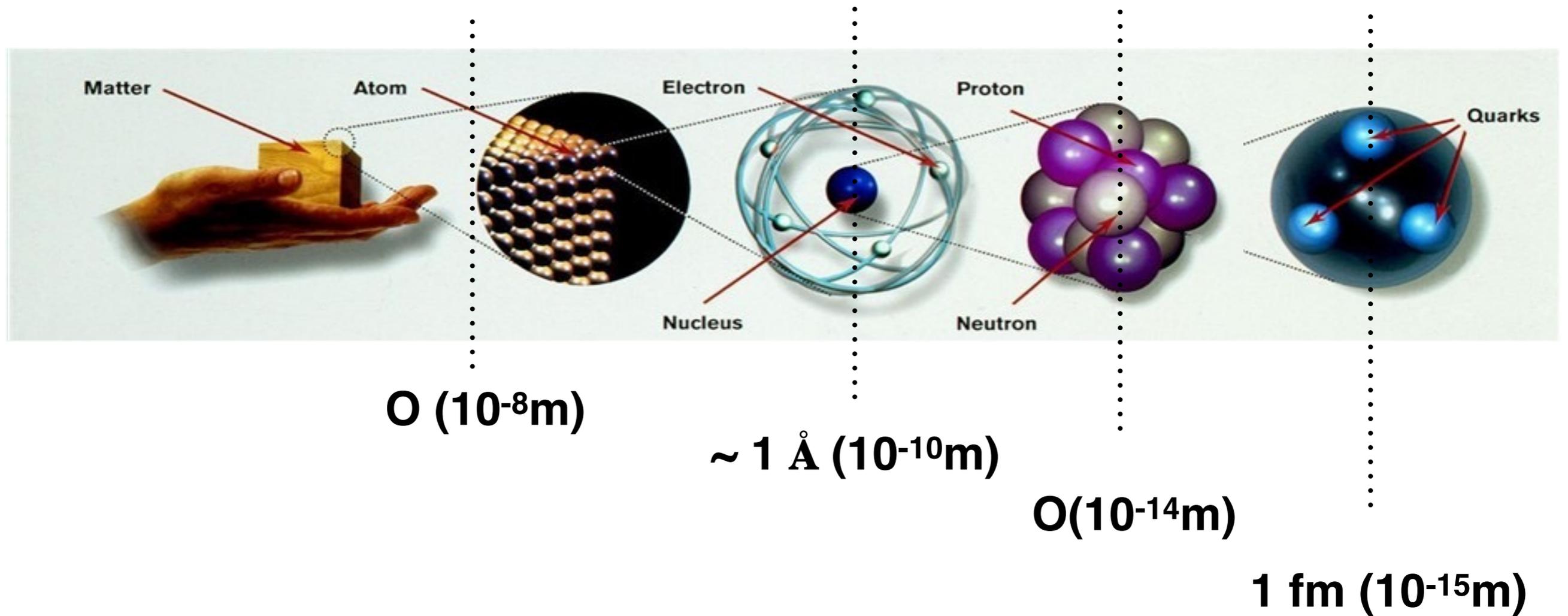


# La missione: capire la natura

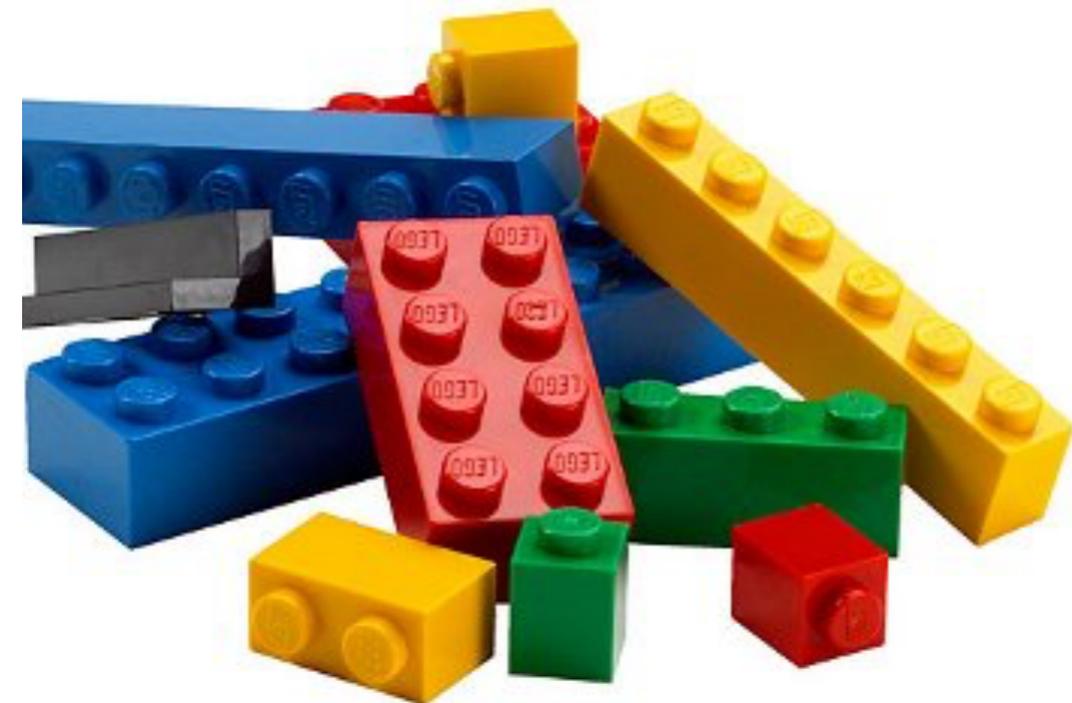
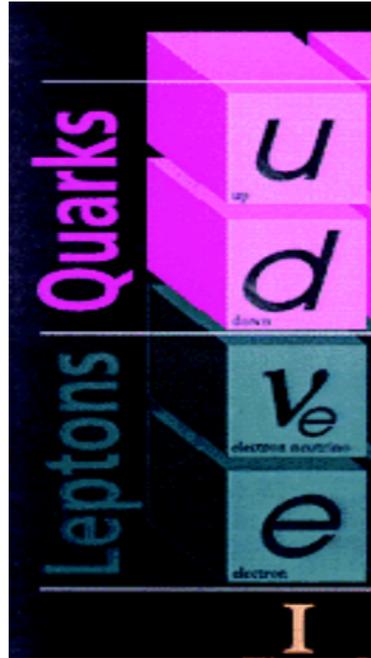
- ◆ Di cosa siamo fatti ?
- ◆ Come interagisce la materia tramite le forze ?



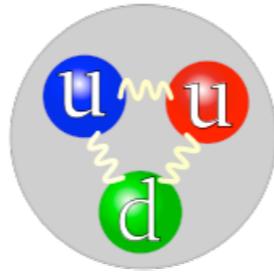
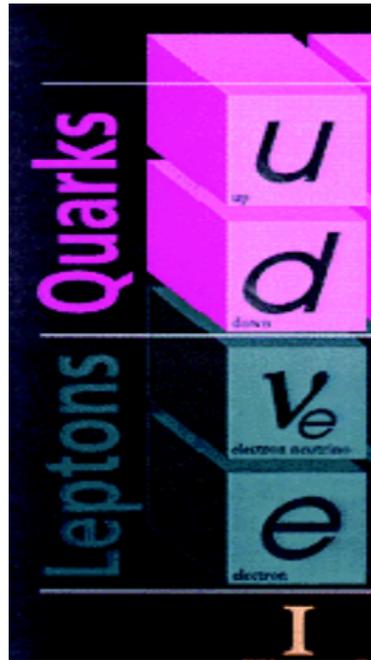
# La struttura della Materia



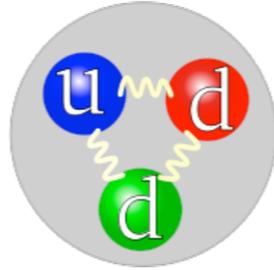
# Tutto con pochi mattoni



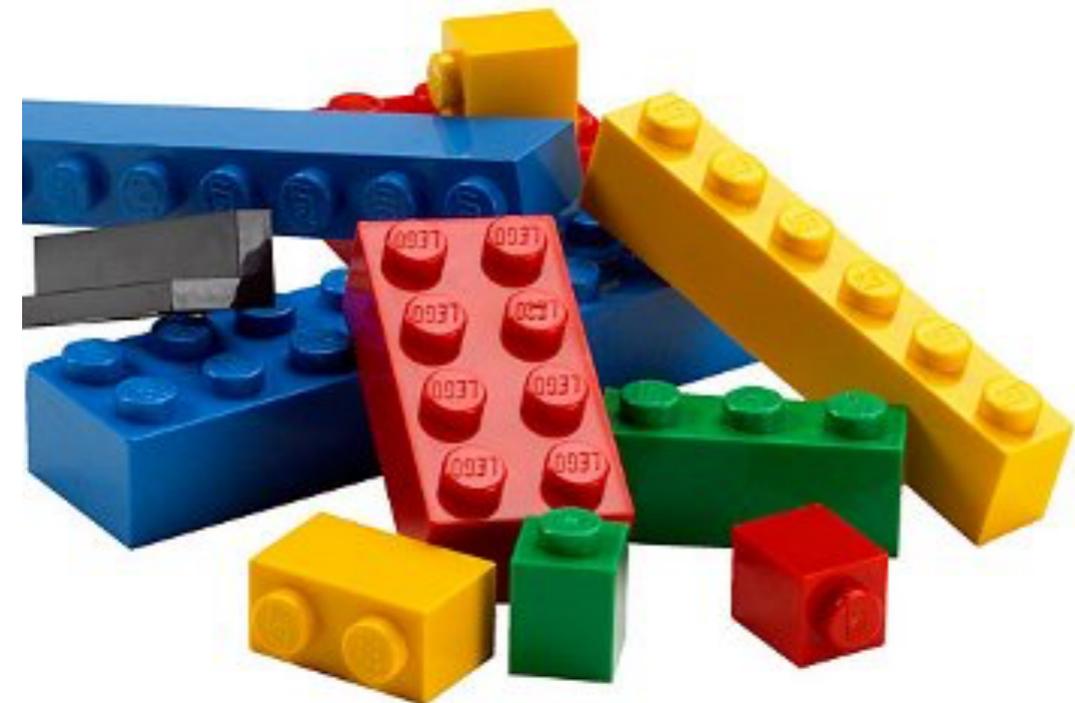
# Tutto con pochi mattoni



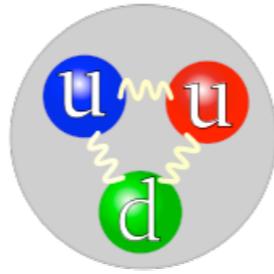
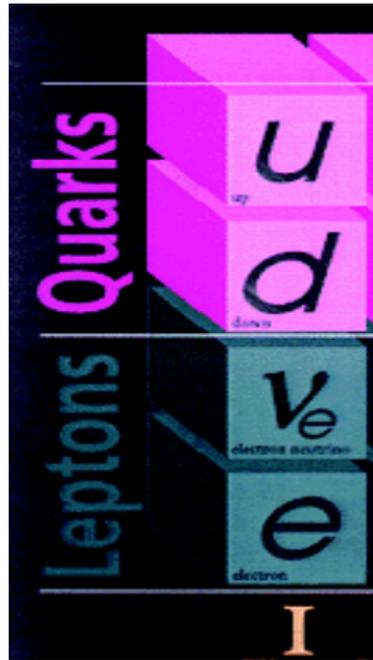
protone



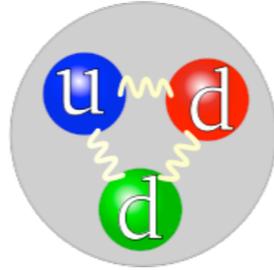
Il neutrone



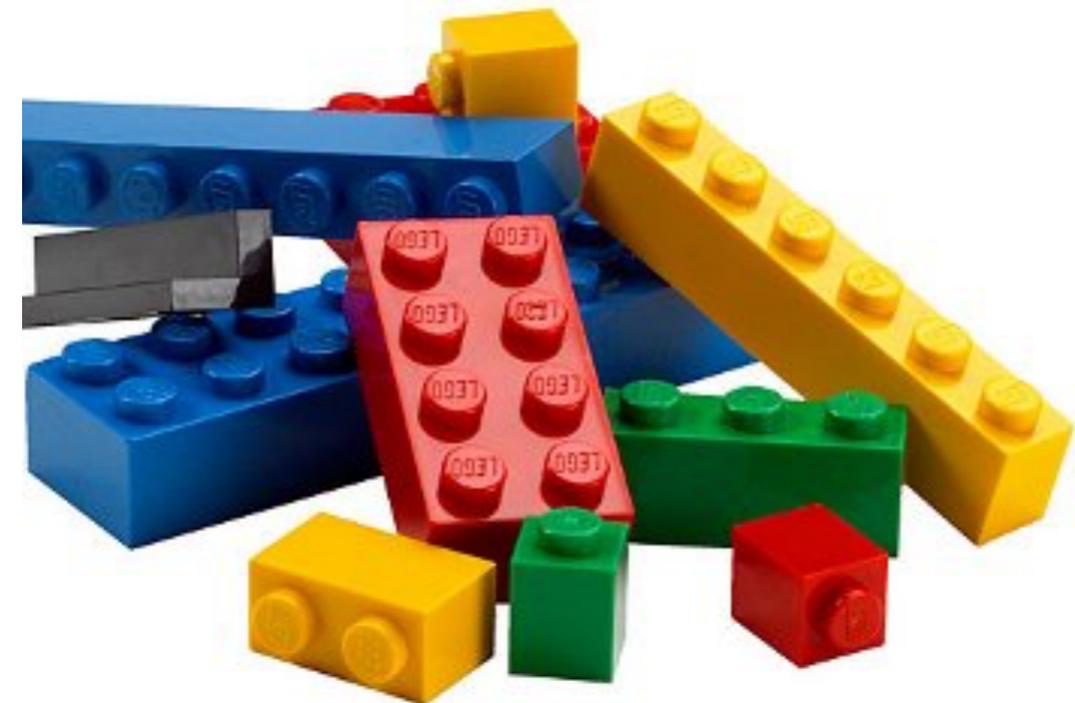
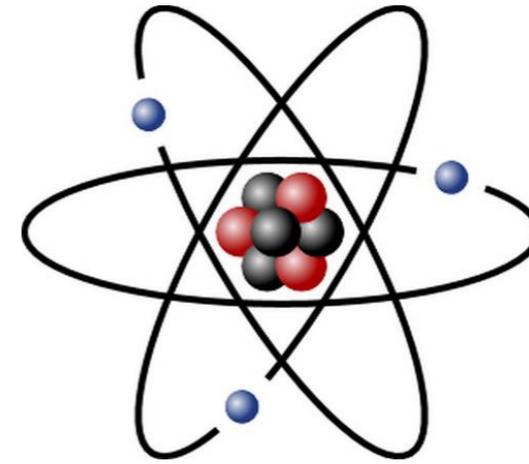
# Tutto con pochi mattoni



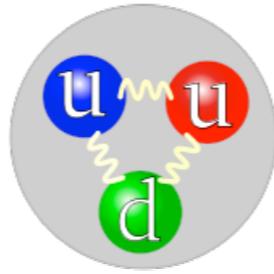
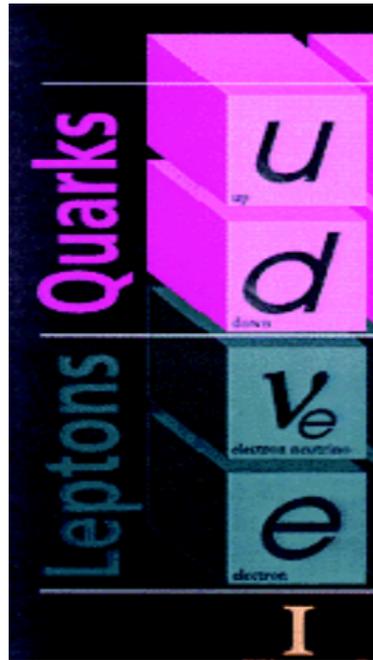
protone



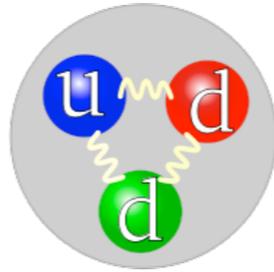
Il neutrone



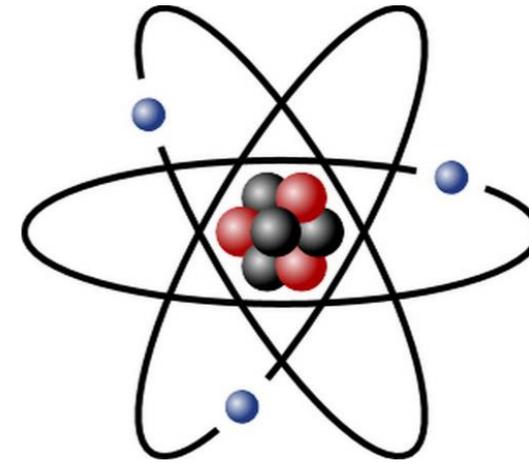
# Tutto con pochi mattoni



protone



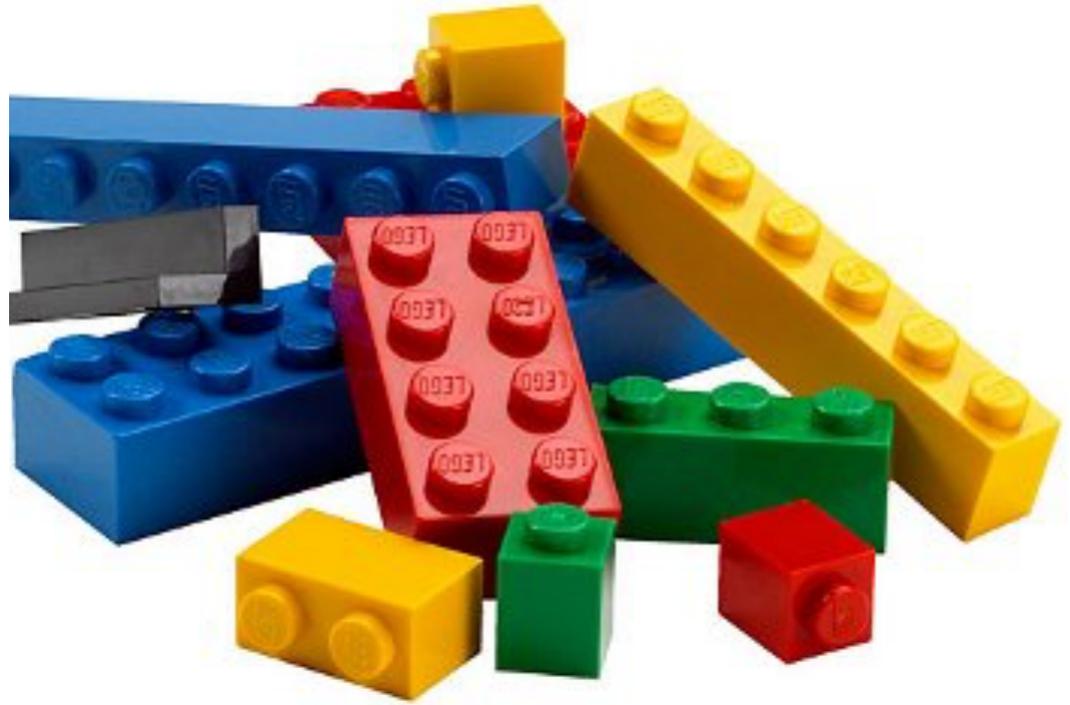
Il neutrone



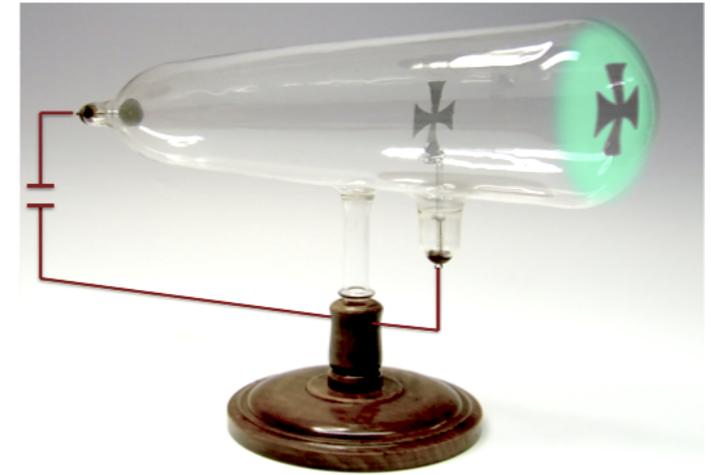
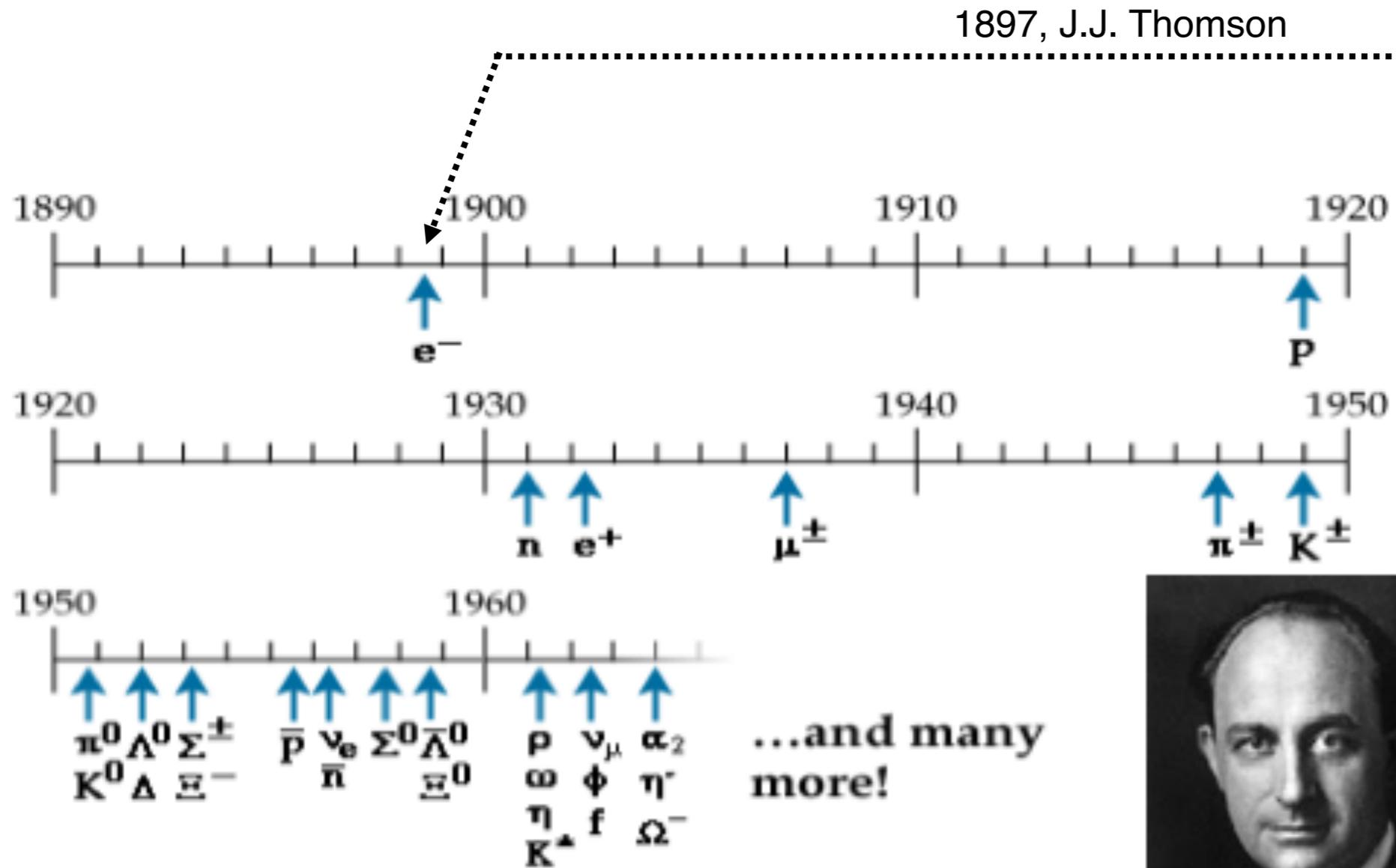
|   | I          | II       |          |           |           |           |           |           |           |           |           |           | III        | IV        | V          | VI        | VII        | VIII       |         |
|---|------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|------------|---------|
| 1 | 1<br>H     |          |          |           |           |           |           |           |           |           |           |           |            |           |            |           |            |            | 2<br>He |
| 2 | 3<br>Li    | 4<br>Be  |          |           |           |           |           |           |           |           |           |           | 5<br>B     | 6<br>C    | 7<br>N     | 8<br>O    | 9<br>F     | 10<br>Ne   |         |
| 3 | 11<br>Na   | 12<br>Mg |          |           |           |           |           |           |           |           |           |           | 13<br>Al   | 14<br>Si  | 15<br>P    | 16<br>S   | 17<br>Cl   | 18<br>Ar   |         |
| 4 | 19<br>K    | 20<br>Ca | 21<br>Sc | 22<br>Ti  | 23<br>V   | 24<br>Cr  | 25<br>Mn  | 26<br>Fe  | 27<br>Co  | 28<br>Ni  | 29<br>Cu  | 30<br>Zn  | 31<br>Ga   | 32<br>Ge  | 33<br>As   | 34<br>Se  | 35<br>Br   | 36<br>Kr   |         |
| 5 | 37<br>Rb   | 38<br>Sr | 39<br>Y  | 40<br>Zr  | 41<br>Nb  | 42<br>Mo  | 43<br>Tc  | 44<br>Ru  | 45<br>Rh  | 46<br>Pd  | 47<br>Ag  | 48<br>Cd  | 49<br>In   | 50<br>Sn  | 51<br>Sb   | 52<br>Te  | 53<br>I    | 54<br>Xe   |         |
| 6 | 55<br>Cs   | 56<br>Ba | *        | 72<br>Hf  | 73<br>Ta  | 74<br>W   | 75<br>Re  | 76<br>Os  | 77<br>Ir  | 78<br>Pt  | 79<br>Au  | 80<br>Hg  | 81<br>Tl   | 82<br>Pb  | 83<br>Bi   | 84<br>Po  | 85<br>At   | 86<br>Rn   |         |
| 7 | 87<br>Fr   | 88<br>Ra | **       | 104<br>Rf | 105<br>Db | 106<br>Sg | 107<br>Bh | 108<br>Hs | 109<br>Mt | 110<br>Ds | 111<br>Rg | 112<br>Cn | 113<br>Uut | 114<br>Fl | 115<br>Uup | 116<br>Lv | 117<br>Uus | 118<br>Uuo |         |
| 8 | 119<br>Uun |          |          |           |           |           |           |           |           |           |           |           |            |           |            |           |            |            |         |

|               |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |           |           |           |           |
|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| * Lanthanides | 57<br>La | 58<br>Ce | 59<br>Pr | 60<br>Nd | 61<br>Pm | 62<br>Sm | 63<br>Eu | 64<br>Gd | 65<br>Tb | 66<br>Dy | 67<br>Ho | 68<br>Er  | 69<br>Tm  | 70<br>Yb  | 71<br>Lu  |
| ** Actinides  | 89<br>Ac | 90<br>Th | 91<br>Pa | 92<br>U  | 93<br>Np | 94<br>Pu | 95<br>Am | 96<br>Cm | 97<br>Bk | 98<br>Cf | 99<br>Es | 100<br>Fm | 101<br>Md | 102<br>No | 103<br>Lr |

|               |                       |             |           |                   |
|---------------|-----------------------|-------------|-----------|-------------------|
| Alkali metals | Alkaline earth metals | Lanthanides | Actinides | Transition metals |
| Poor metals   | Metalloids            | Nonmetals   | Halogens  | Noble gases       |

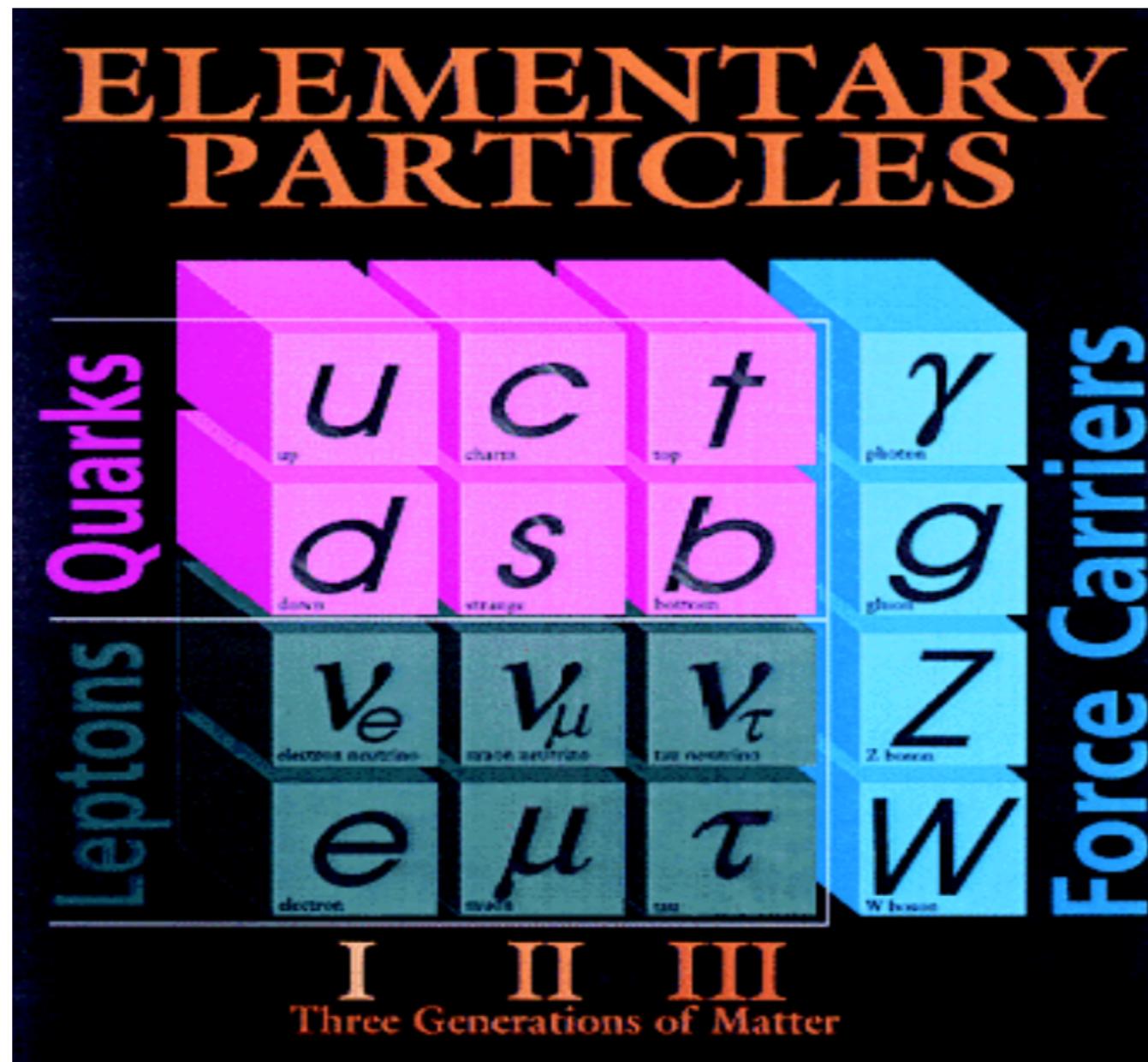


# Un mare di particelle !

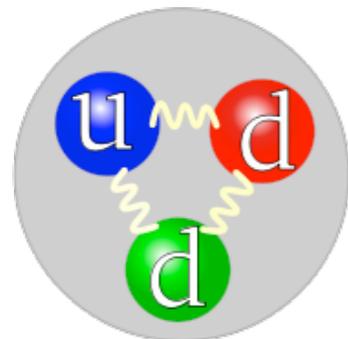
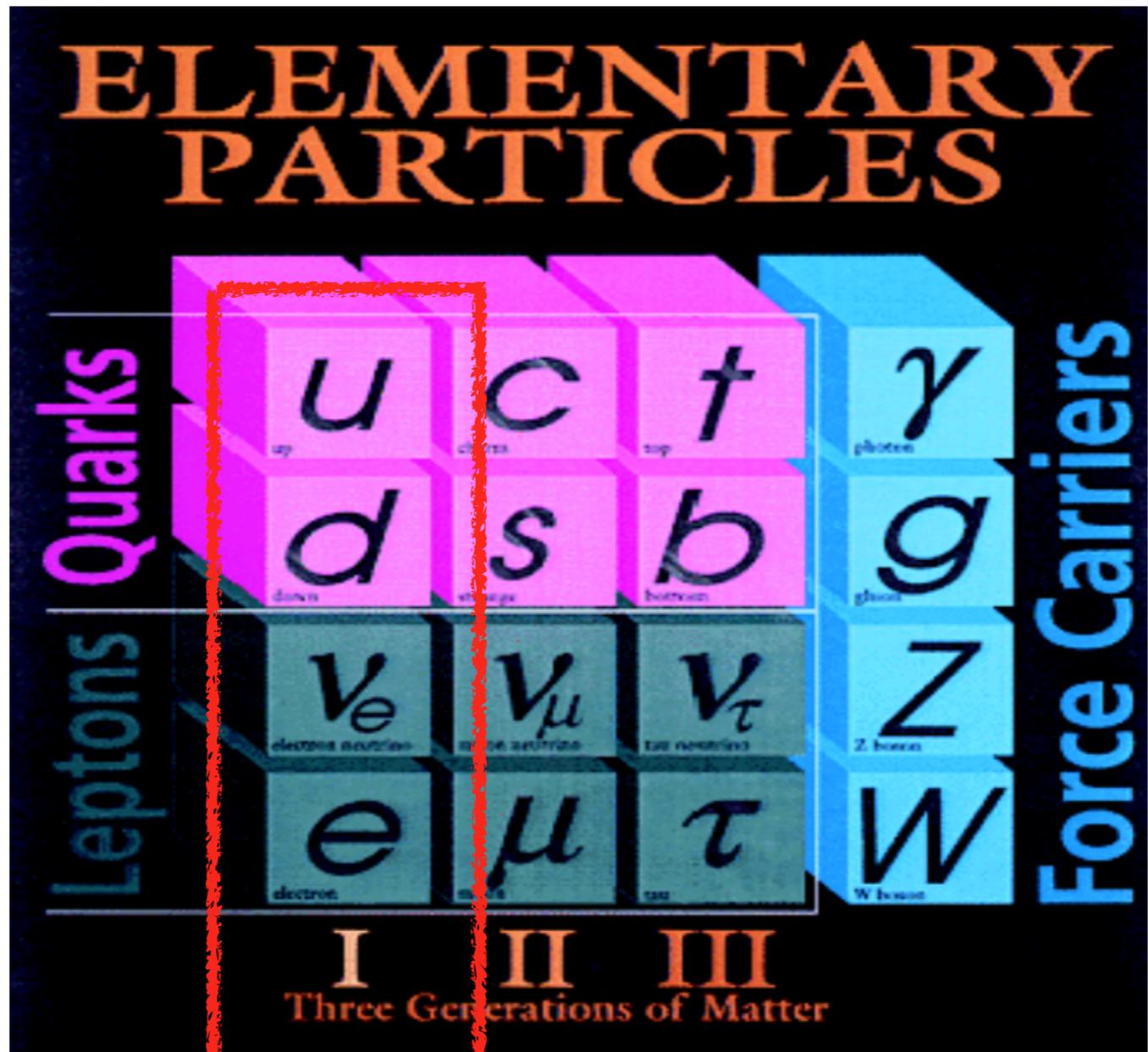
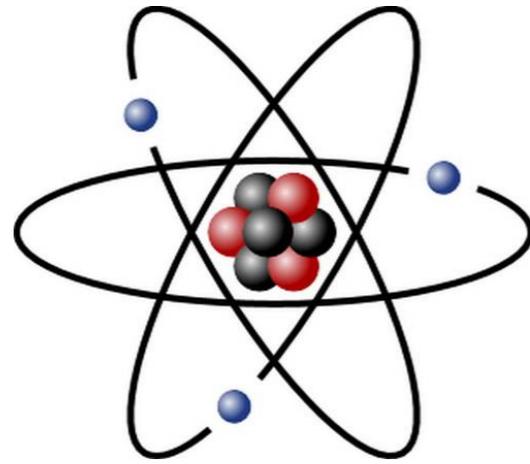


**Enrico Fermi:** "Ragazzo, se io potessi ricordare il nome di tutte queste particelle sarei un botanico!"

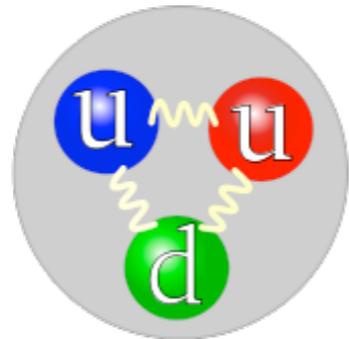
# II Modello Standard



# Il Modello Standard

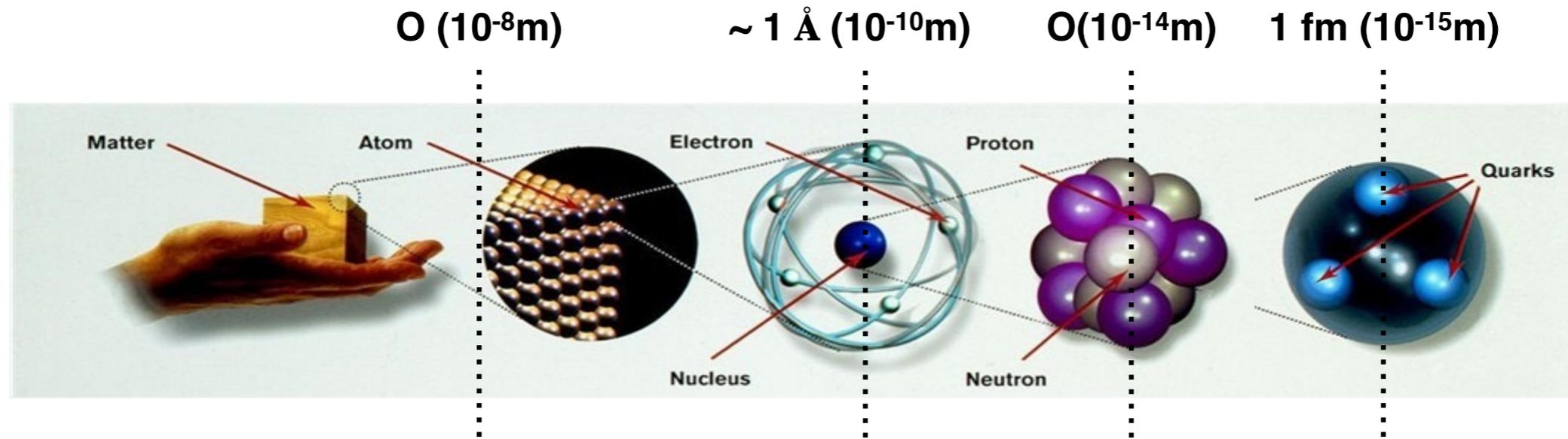


Il neutrone

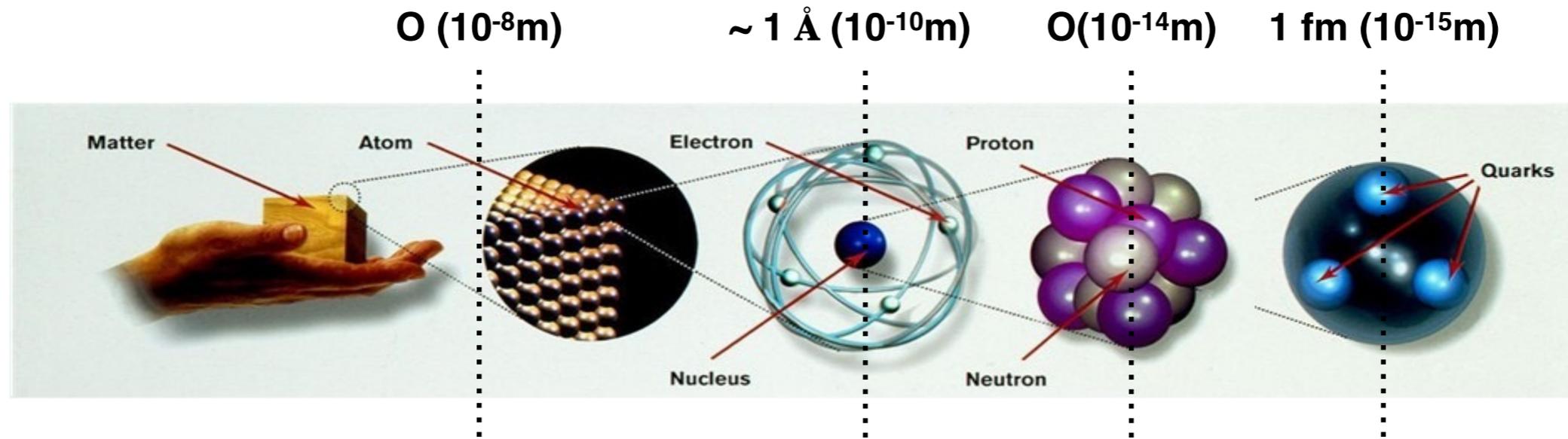


protone

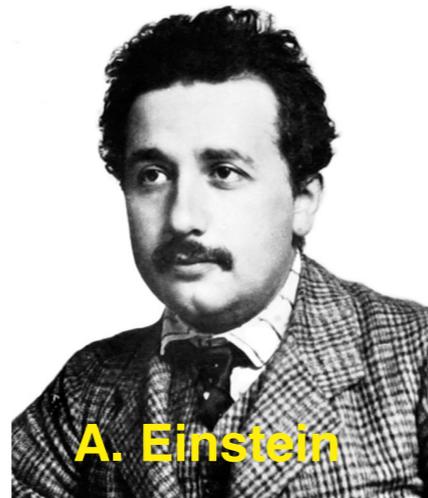
# Le nuove regole del gioco



# Le nuove regole del gioco



Relatività  
 $E = mc^2$   
 $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$

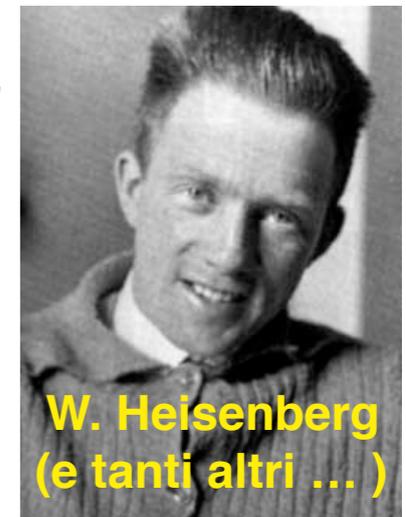


Meccanica quantistica  
 $\Delta p \times \Delta x \approx \hbar$

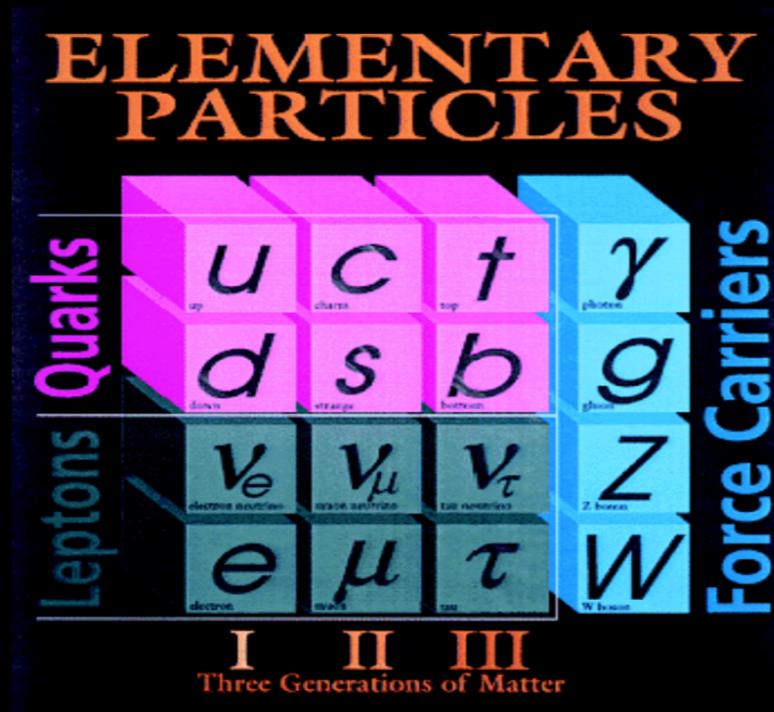
$$\Delta E \times \Delta t \approx \hbar$$

$$\hbar = h/2\pi$$

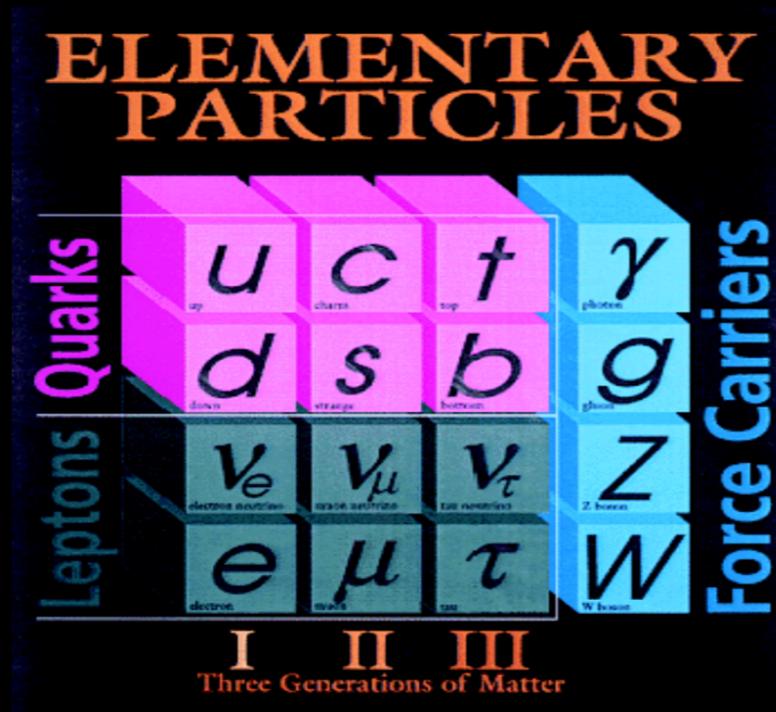
$$h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ Js}$$



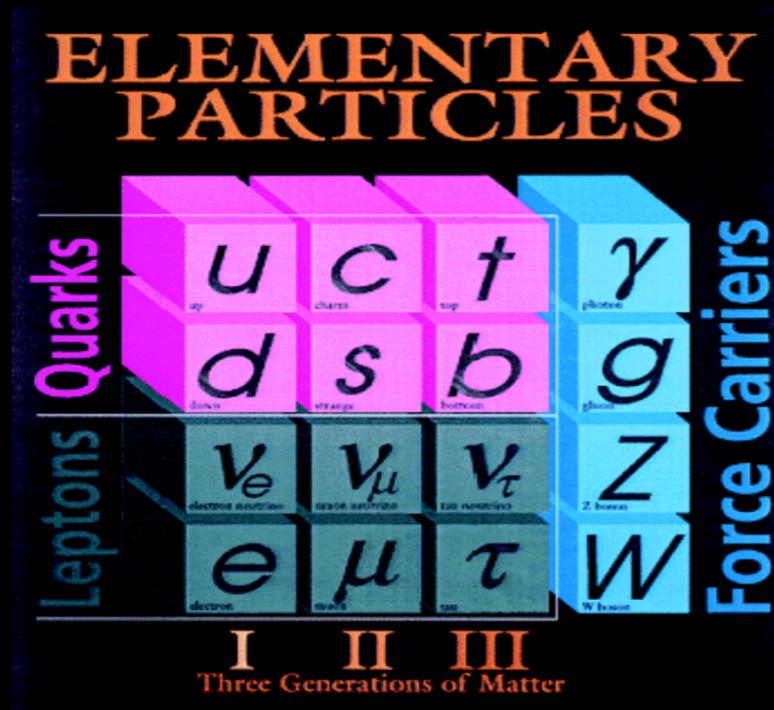
onde o corpuscoli ?



onde o corpuscoli ?



onde o corpuscoli ?



**La forma è il contenuto !**

# Il cieco ed il latte



“Un cieco dalla nascita domandò ad uno che vedeva:

- Di che colore è il latte?

- Il latte? - disse l'altro - è del medesimo colore della carta bianca.

- Allora questo latte fa il medesimo rumore che fa la carta quando la si spiegazza?

- No, il latte è bianco come la farina.

- Allora è dolce e al tatto si sgrana sotto le dita come la farina?

- No, è bianco come la lepre d'inverno.

- Allora è vellutato e dolce alla mano come una lepre?

- No, è bianco esattamente come la neve.

- Allora è freddo come la neve?

E colui che ci vedeva ebbe un bel da dare altri esempi: il cieco non riuscì mai a figurarsi come potesse essere il colore bianco del latte.”

— Lev Tolstoj, *Il cieco e il latte*

(da *I quattro libri di lettura*)

# Le Forze

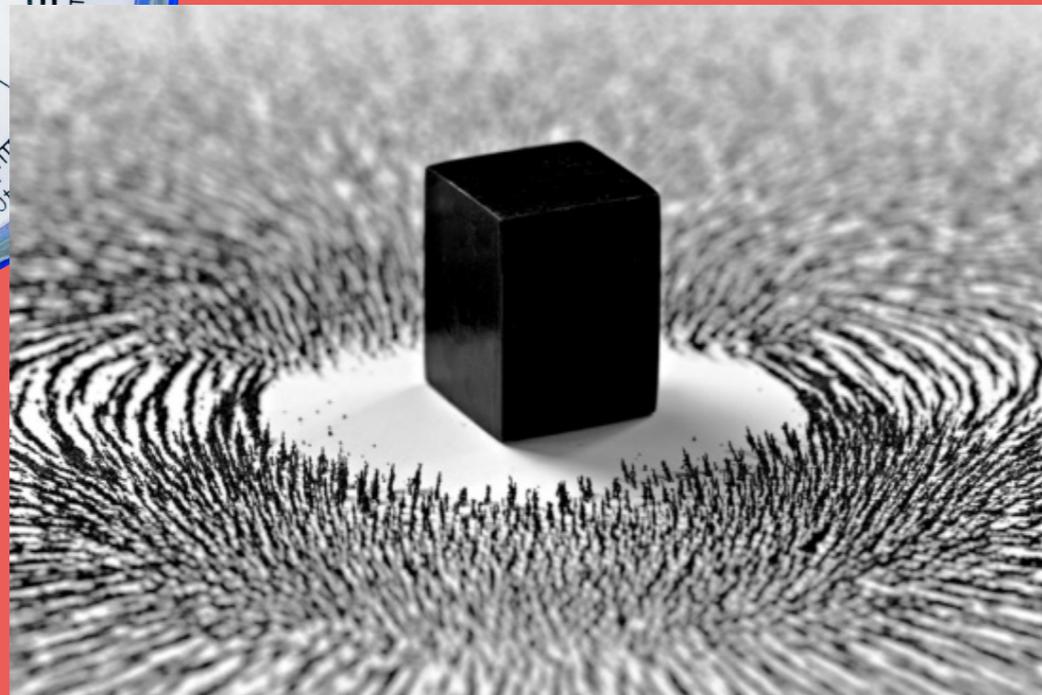
- Tantissimi tipi di forze diverse, ma tutte riconducibili a un insieme ridotto di interazioni fondamentali



# La forza gravitazionale



# La forza elettromagnetica



Radio waves



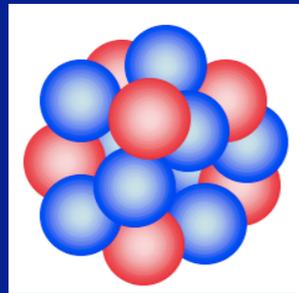
Microwaves



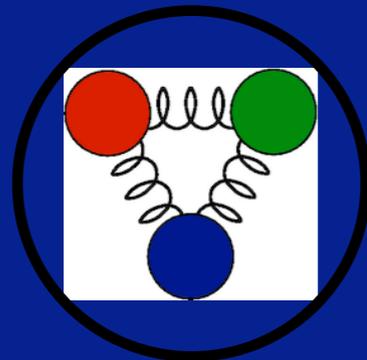
Light



# Forza “forte”



- Tiene insieme i nucleoni (protoni e neutroni) nel nucleo atomico



- Confina quark diversi all'interno della stessa particella

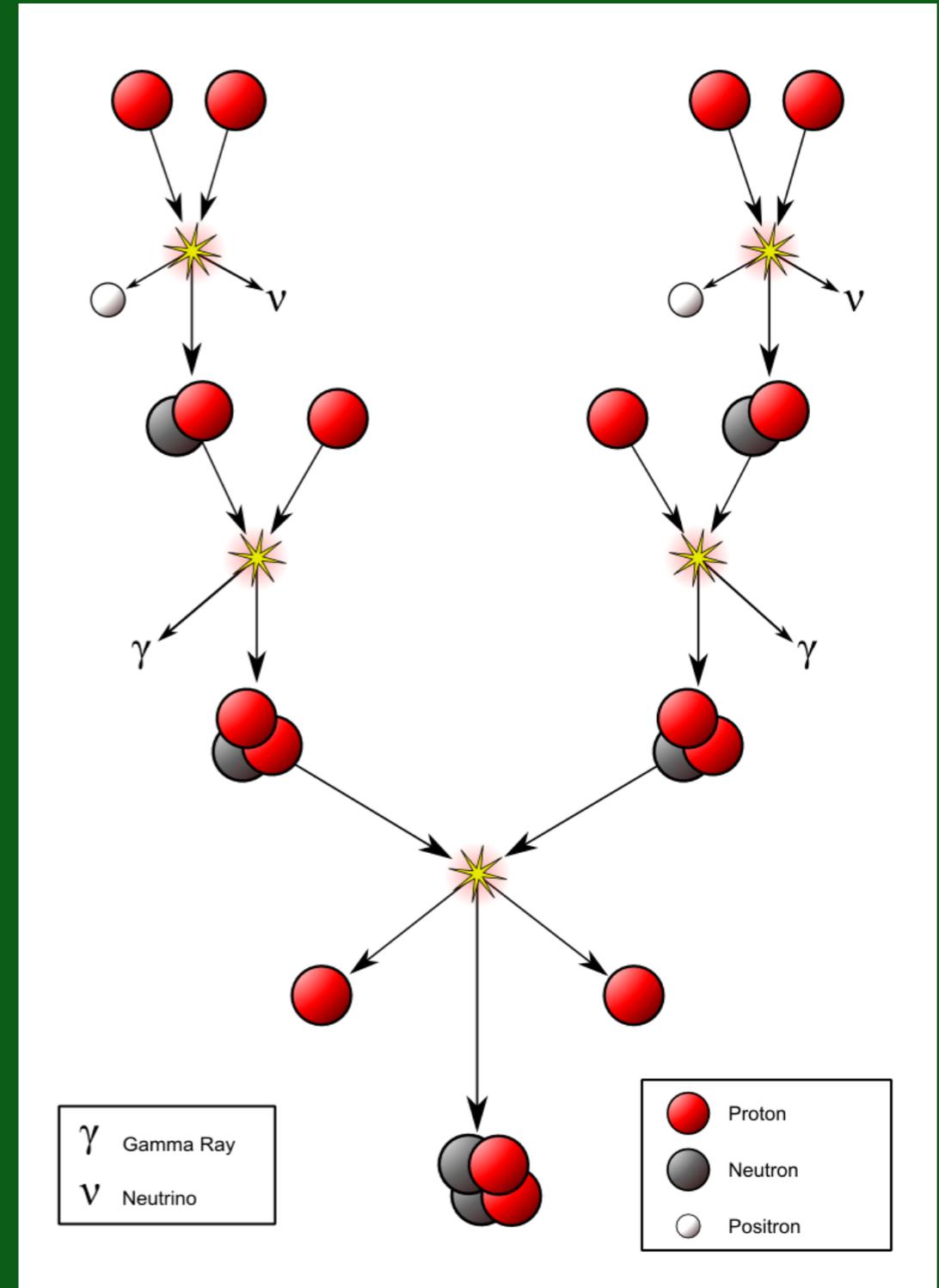
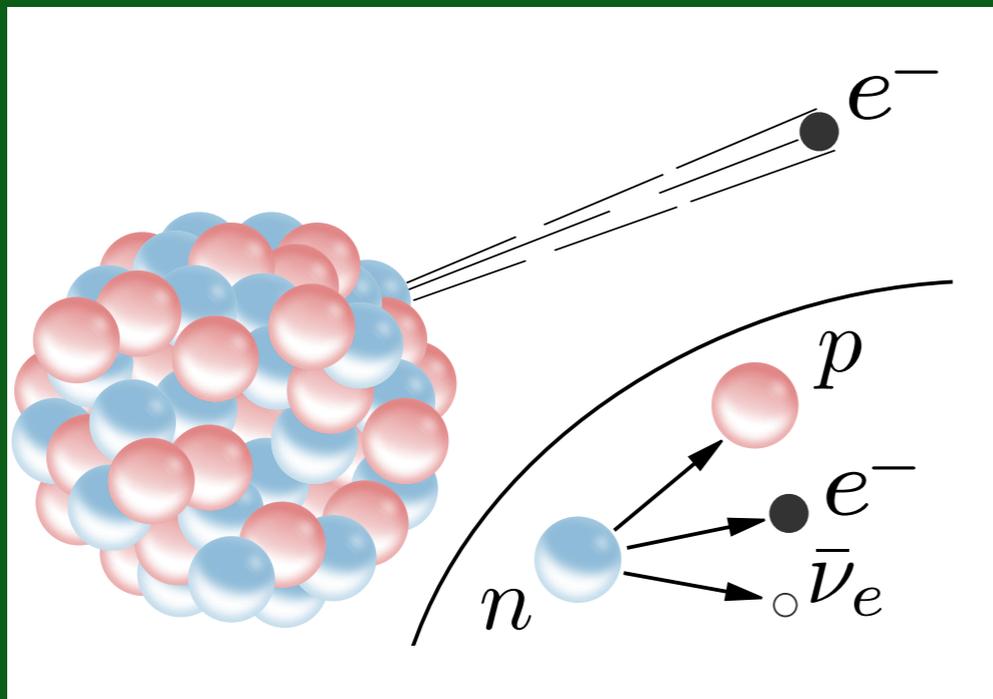
== range limitato ==

# Forza “debole”

## Catena protone-protone nel sole

Responsabile di un'ampia casistica di interazioni tra le particelle

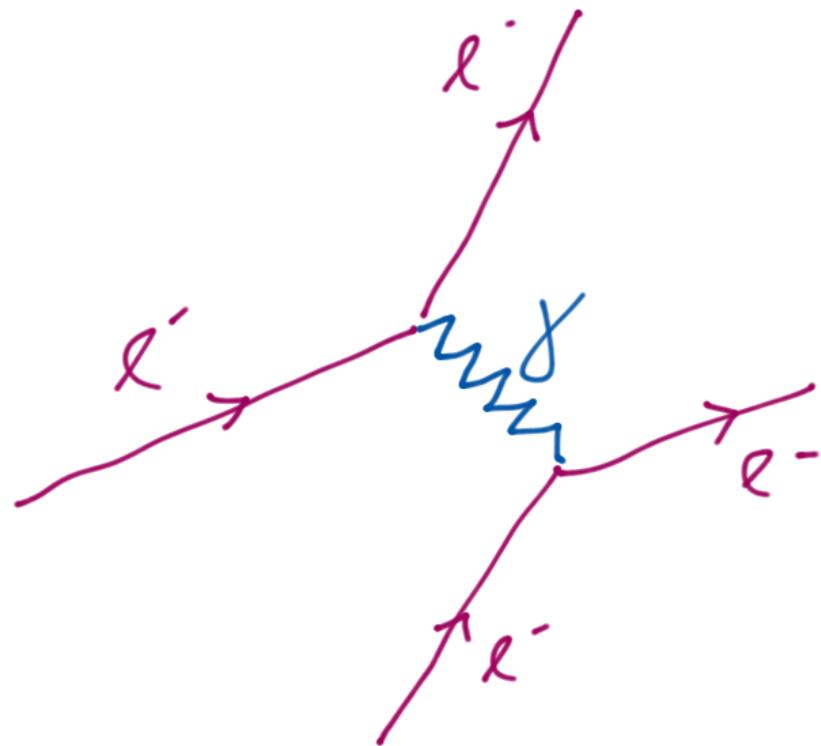
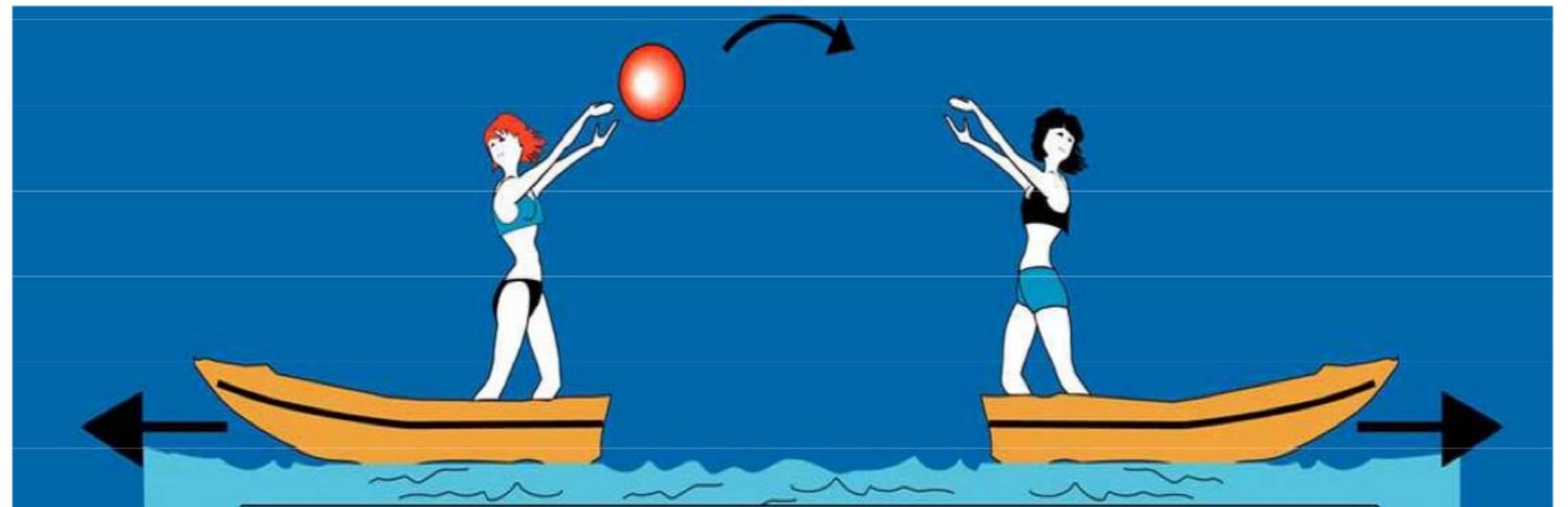
decadimento  $\beta$  del neutrone  
→ trasmutazioni nucleari



== range limitato ==

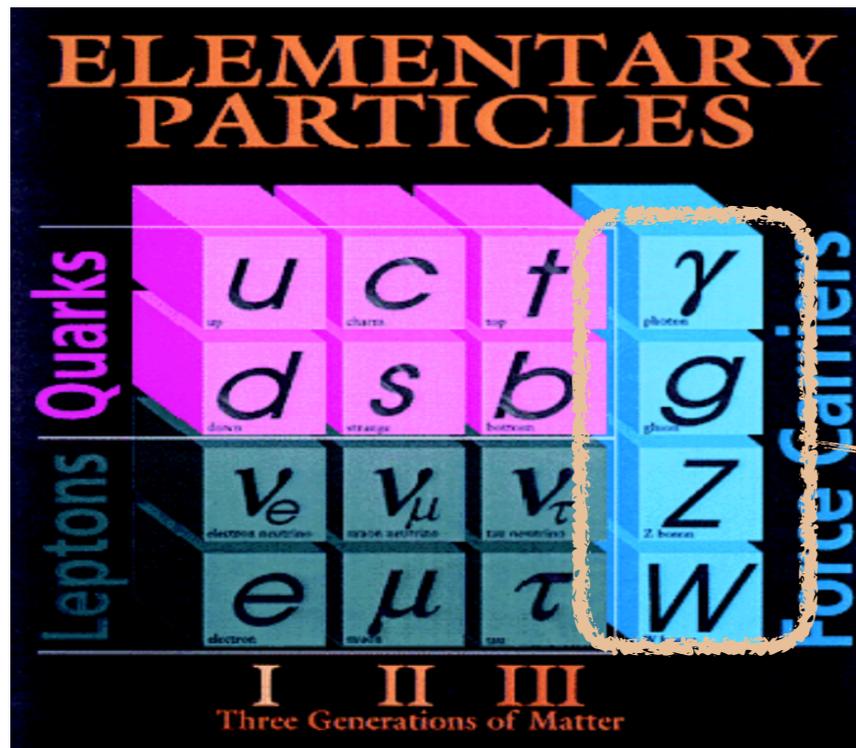
# Un modello per le interazioni

Le particelle elementari interagiscono tra loro scambiandosi i quanti del campo di interazione, ovvero una terza particella (un bosone)

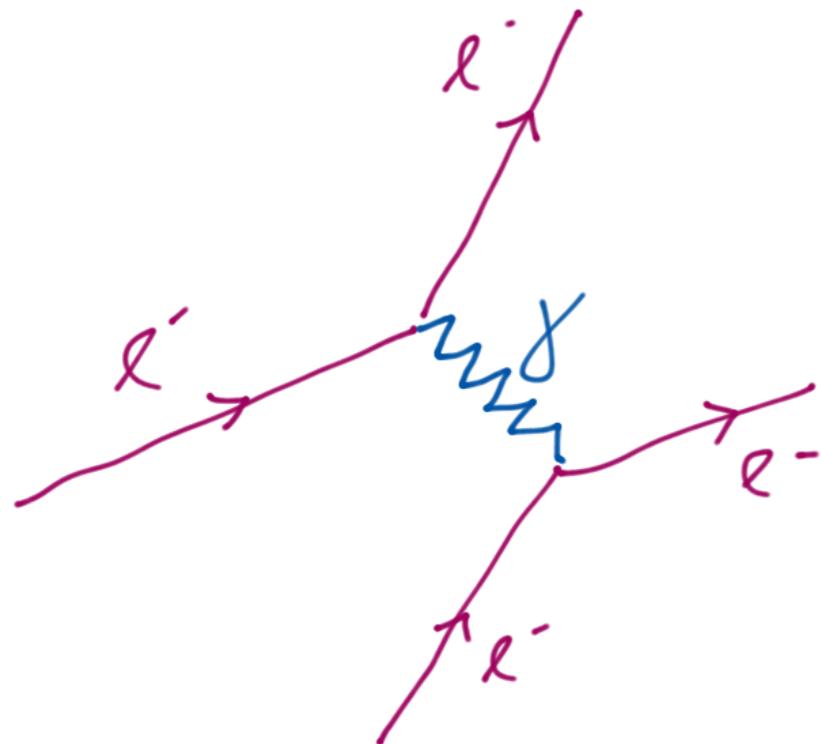
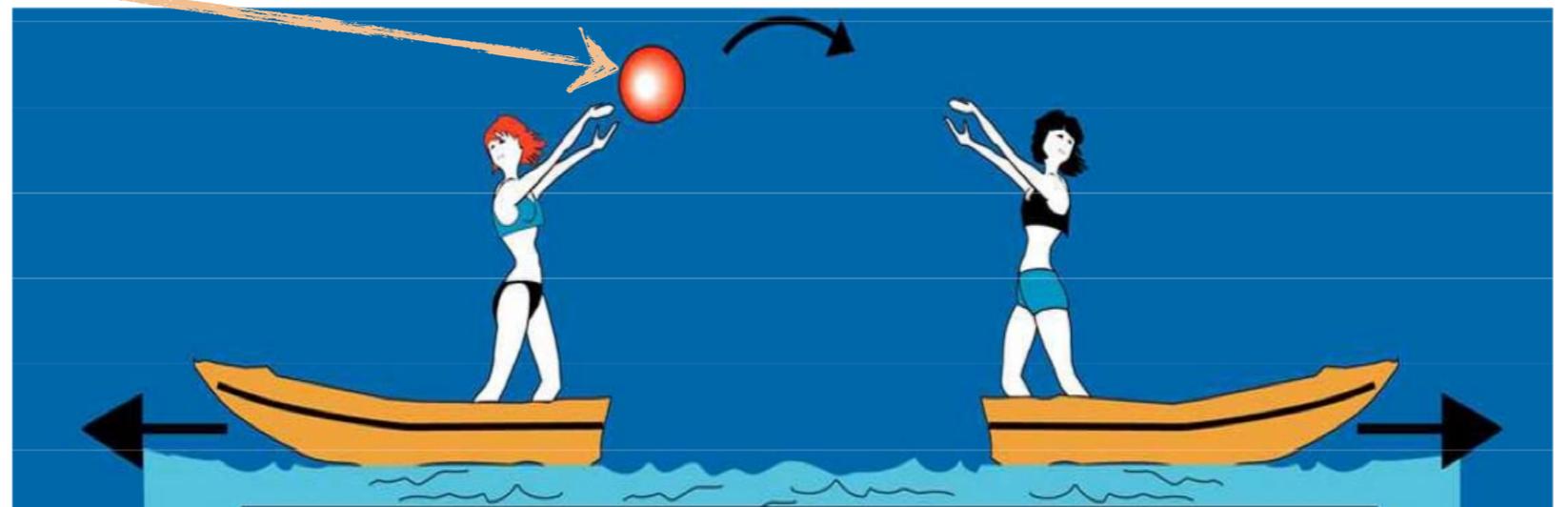


Esempio: forza  
elettromagnetica  
tra due elettroni

# Un modello per le interazioni



Le particelle elementari interagiscono tra loro scambiandosi i quanti del campo di interazione, ovvero una terza particella (un bosone)



Esempio: forza elettromagnetica tra due elettroni

# Il Modello Standard

- **Nel Modello Standard le forze sono ricavate da principi di simmetria**
- le interazioni elettromagnetiche e deboli sono aspetti diversi della stessa interazione (elettrodebole)
  - i portatori dell'interazione:  $\gamma$ ,  $Z$ ,  $W^+$ ,  $W^-$

# Il Modello Standard

- **Nel Modello Standard le forze sono ricavate da principi di simmetria**
  - le interazioni elettromagnetiche e deboli sono aspetti diversi della stessa interazione (elettrodebole)
    - i portatori dell'interazione:  $\gamma$ ,  $Z$ ,  $W^+$ ,  $W^-$
- ma soltanto se le particelle non hanno massa**

# Il Modello Standard

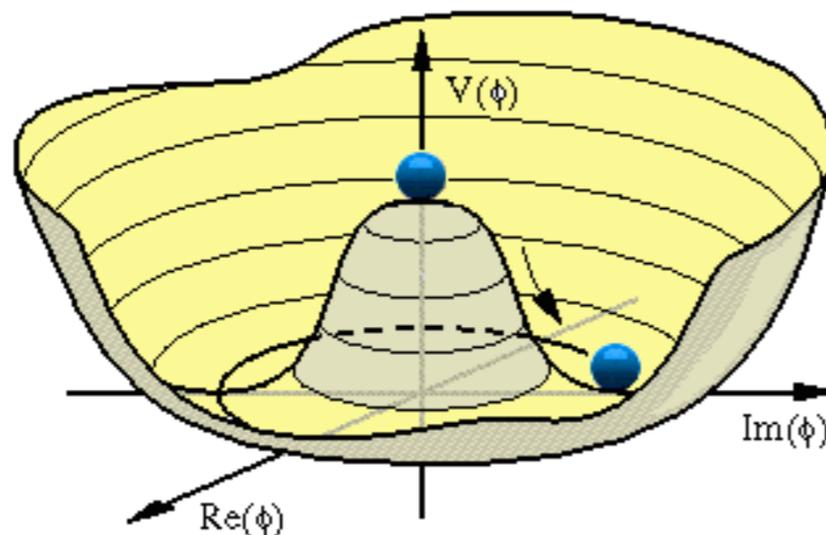
- **Nel Modello Standard le forze sono ricavate da principi di simmetria**
  - le interazioni elettromagnetiche e deboli sono aspetti diversi della stessa interazione (elettrodebole)
    - i portatori dell'interazione:  $\gamma$ ,  $Z$ ,  $W^+$ ,  $W^-$
- ma soltanto se le particelle non hanno massa**

nella teoria è difficile spiegare perché  $Z$ ,  $W^+$  e  $W^-$  abbiano masse molto diverse dal  $\gamma$ .



# Il bosone di Higgs

- Nel 1964 R. Brout, F. Englert e P. Higgs immaginarono un meccanismo per dare massa alle particelle, senza violare la simmetria fondamentale della natura



L'idea di sistemi simmetrici che perdono la loro simmetria nello stato fondamentale non è nuova in fisica:

- magnetismo
- superconduttività

- Come conseguenza di questo meccanismo doveva però esistere una particella che aveva proprietà molto particolari: il Bosone di Higgs
- Per anni questa particella è stata il tassello mancante nel quadro del Modello Standard

# Filmato

<http://cds.cern.ch/record/1490683>

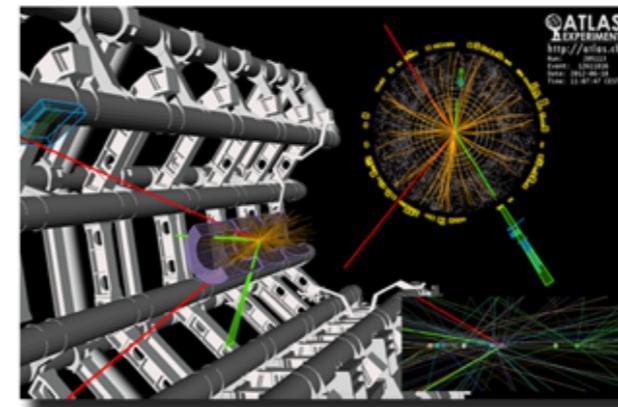
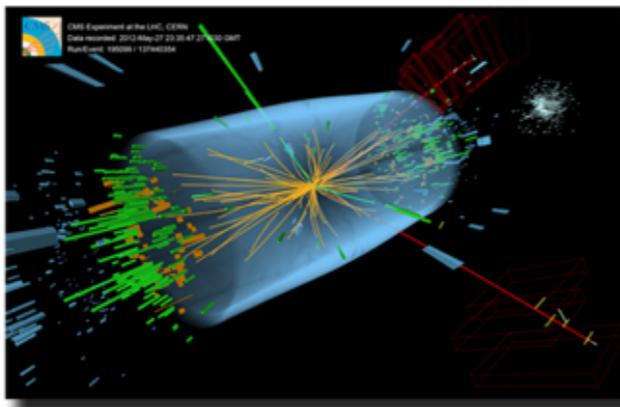
CERN Higgs 4JULY



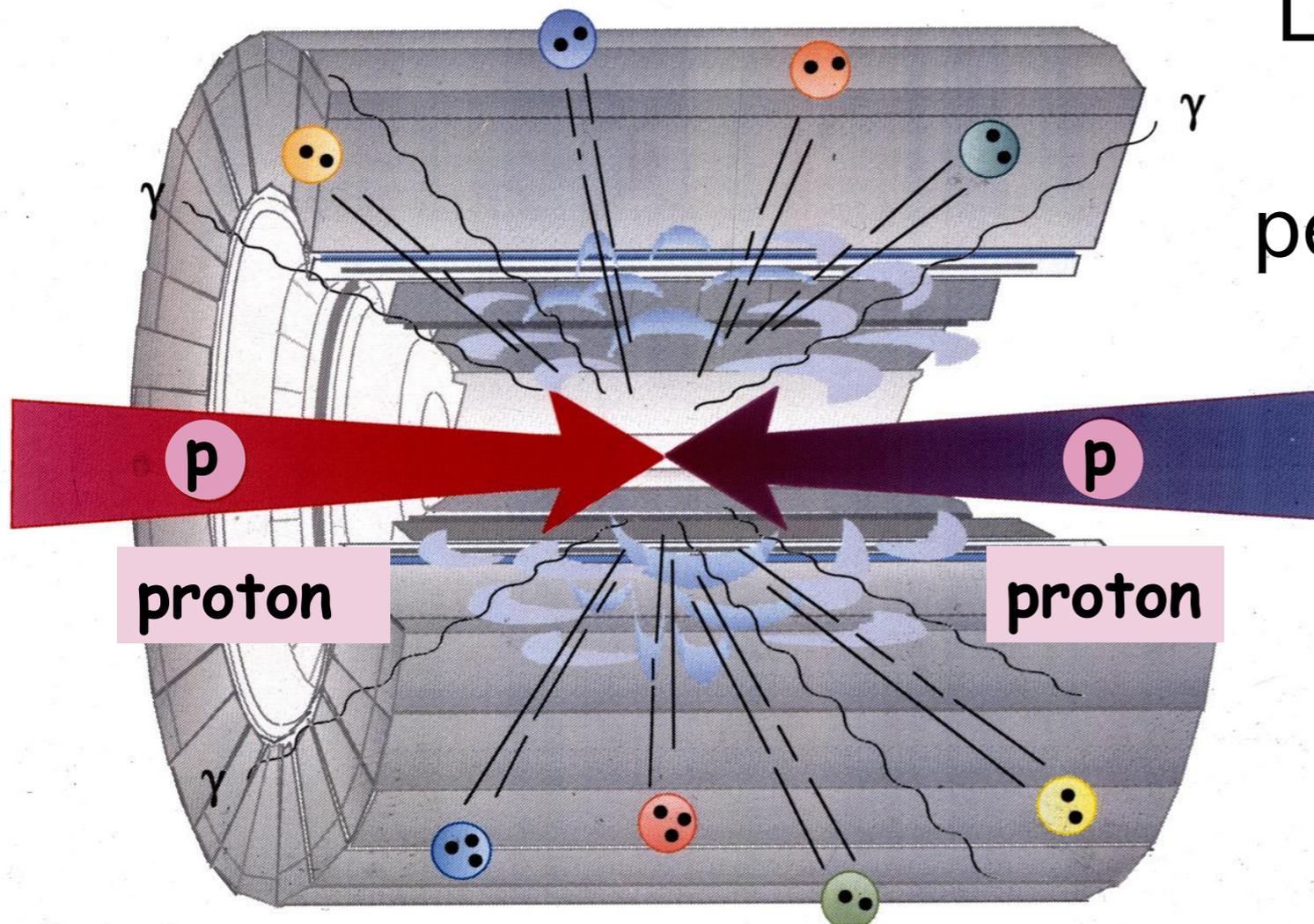
**4 luglio 2012:** le collaborazioni degli esperimenti **ATLAS** e **CMS** ad **LHC** annunciano la scoperta di una nuova particella di massa intorno a  $125 \text{ GeV}/c^2$  con caratteristiche consistenti con quelle aspettate per il **bosone di Higgs**



# 8 ottobre 2013 - Premio Nobel per la Fisica a François Englert e Peter Higgs

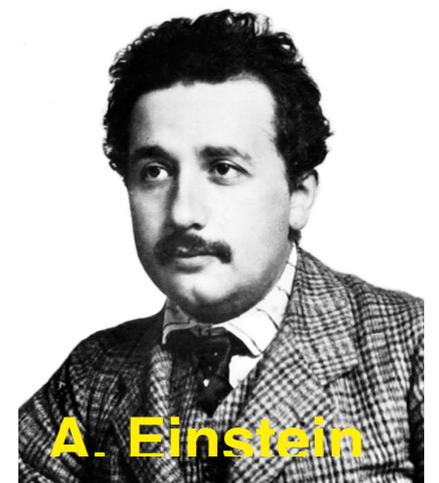


# Come è stato visto il bosone di Higgs ?



L'energia resa disponibile dall'urto delle particelle permette di materializzare altre particelle

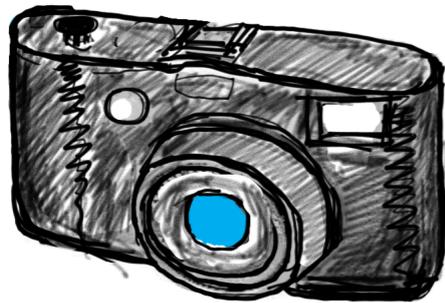
$$E = mc^2$$



# Gli ingredienti della fisica agli acceleratori:



- Acceleratori per produrre le collisioni



- rivelatori per registrare e studiare le particelle prodotte nella collisione



- computers per registrare, distribuire ed analizzare i dati raccolti

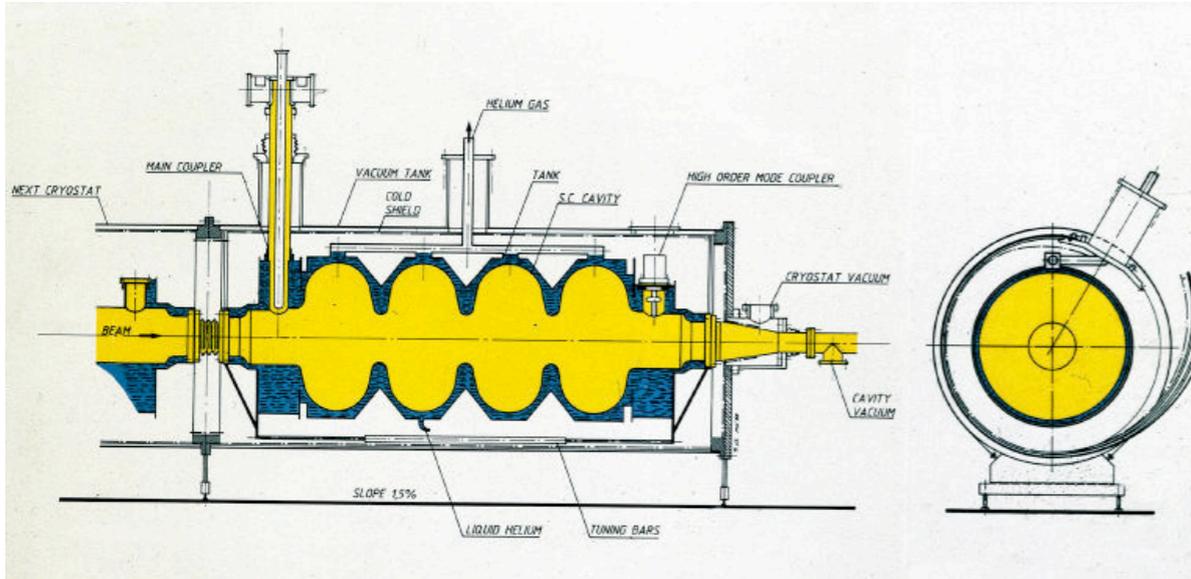
# Acceleratori per produrre le collisioni



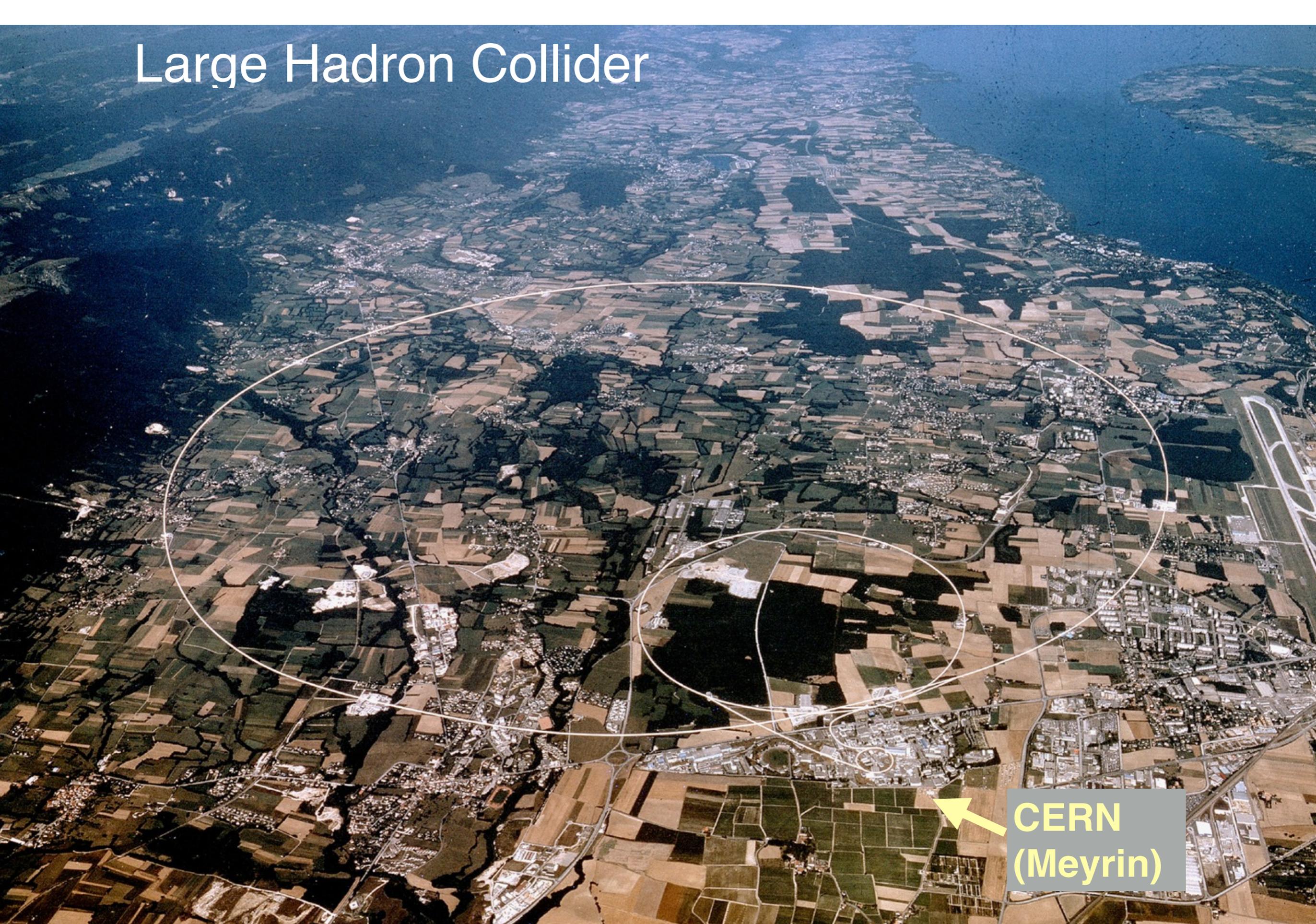
# Le componenti principali di un acceleratore

campi elettrici per accelerare le particelle

campi magnetici per guidare le particelle



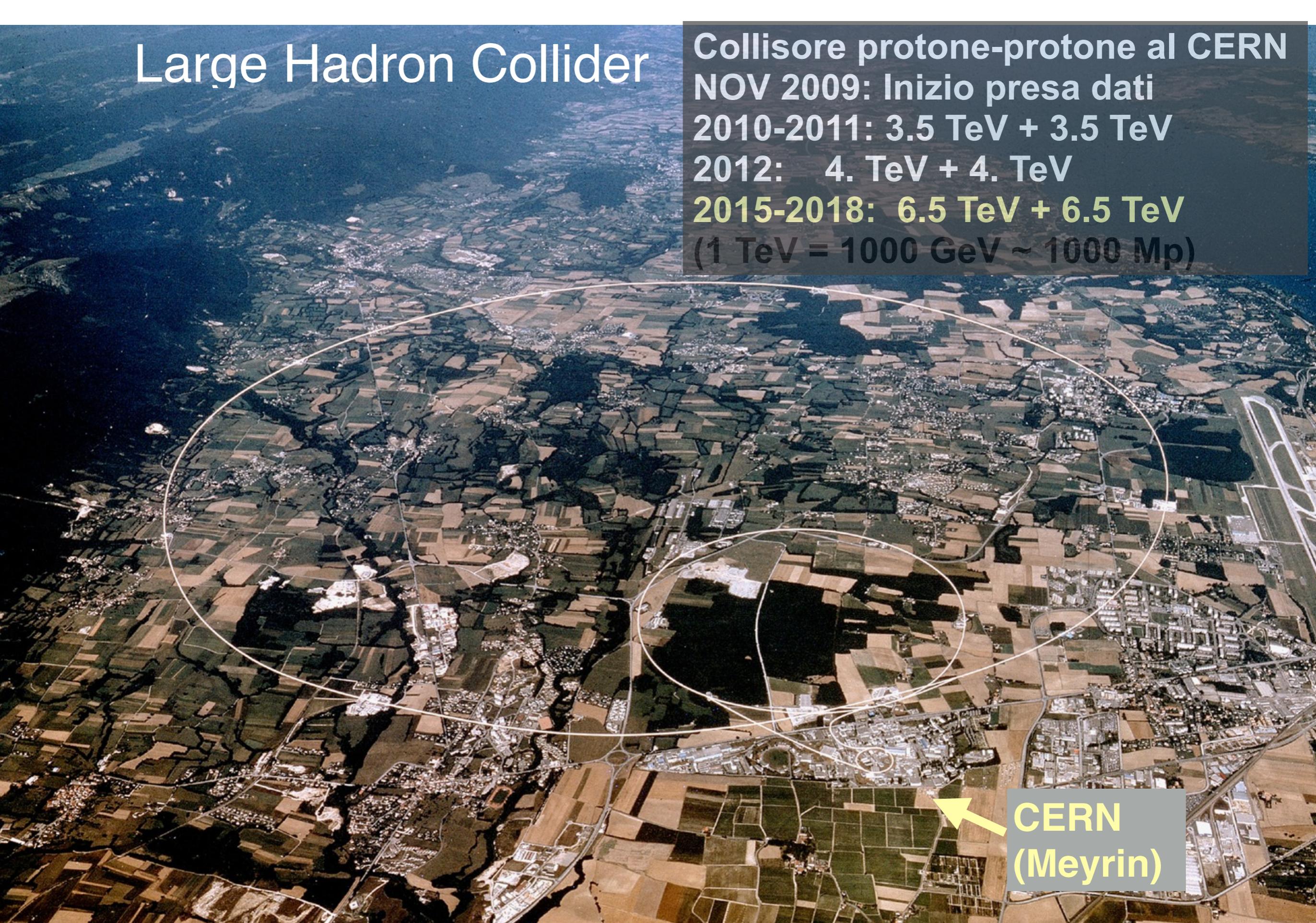
# Large Hadron Collider



CERN  
(Meyrin)

# Large Hadron Collider

Collisore protone-protone al CERN  
NOV 2009: Inizio presa dati  
2010-2011: 3.5 TeV + 3.5 TeV  
2012: 4. TeV + 4. TeV  
2015-2018: 6.5 TeV + 6.5 TeV  
(1 TeV = 1000 GeV ~ 1000 Mp)



CERN  
(Meyrin)

# Large Hadron Collider

Collisore protone-protone al CERN  
NOV 2009: Inizio presa dati  
2010-2011: 3.5 TeV + 3.5 TeV  
2012: 4. TeV + 4. TeV  
2015-2018: 6.5 TeV + 6.5 TeV  
(1 TeV = 1000 GeV ~ 1000 Mp)

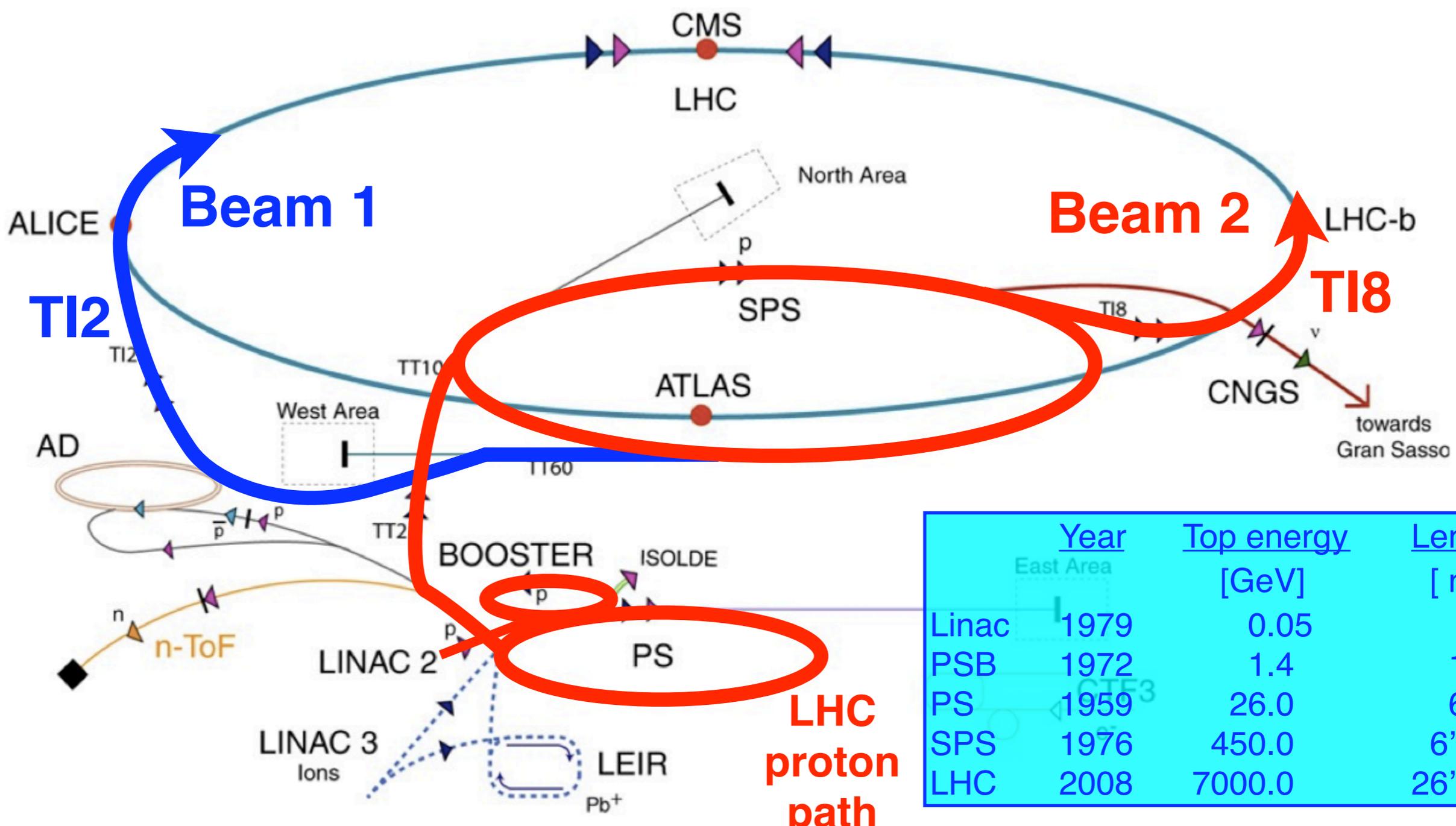
CMS

LHCb

ATLAS

ALICE

CERN  
(Meyrin)



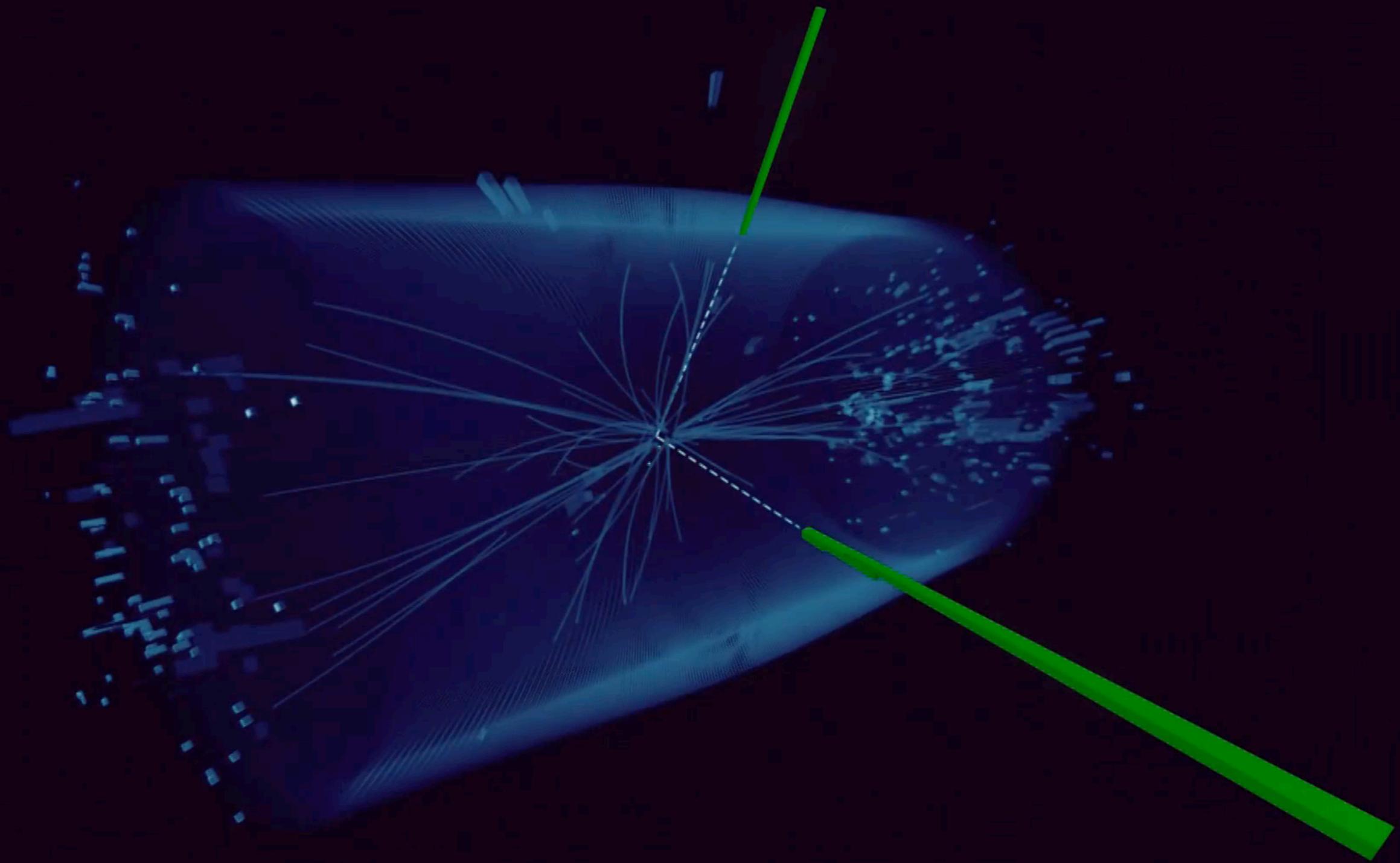
|       | Year | Top energy [GeV] | Length [m] |
|-------|------|------------------|------------|
| Linac | 1979 | 0.05             | 30         |
| PSB   | 1972 | 1.4              | 157        |
| PS    | 1959 | 26.0             | 628        |
| SPS   | 1976 | 450.0            | 6'911      |
| LHC   | 2008 | 7000.0           | 26'657     |

- ▶ protons
- ▶ antiprotons
- ▶ ions
- ▶ electrons
- ▶ neutrons
- ▶ neutrinos
- AD Antiproton Decelerator
- PS Proton Synchrotron
- SPS Super Proton Synchrotron
- LHC Large Hadron Collider
- n-ToF Neutron Time of Flight
- CNGS CERN Neutrinos Gran Sasso
- CTF3 CLIC Test Facility 3

# FILMATO

Animation of CERN's accelerator network

<http://cds.cern.ch/record/1610170>



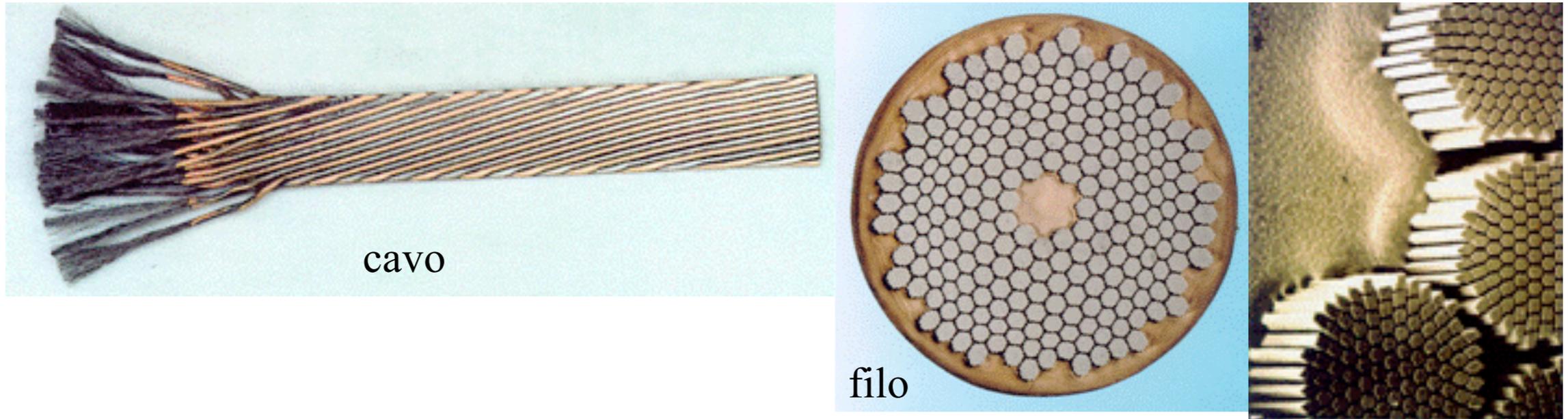
# I numeri di LHC



# I numeri di LHC

- Energia nominale dei fasci: fino a 7 TeV per fascio
- 1232 dipoli superconduttori ( $B_{\max} = 8.4 \text{ T}$ ) che lavorano a 1.9 K (-271 °C)
- 33 000 tonnellate di massa fredda (il più grande sistema di criogenia mai costruito)
- fino a 2808 pacchetti di  $10^{11}$  protoni per fascio
- Energia immagazzinata in 1 fascio: 350 MJoule (treno da 400 t a 150km/h)
- Energia immagazzinata nei magneti: 11 GJ
- consumo energetico: 120 MW
- 40 MHz: la frequenza con cui si incrociano i fasci
- $f_{\text{rev}} \sim 11 \text{ kHz}$  frequenza di rivoluzione ( $c / 27 \text{ km}$ )
- $\sigma_x = \sigma_y \sim 15 \text{ }\mu\text{m}$  sezione trasversa del fascio nei punti di collisione

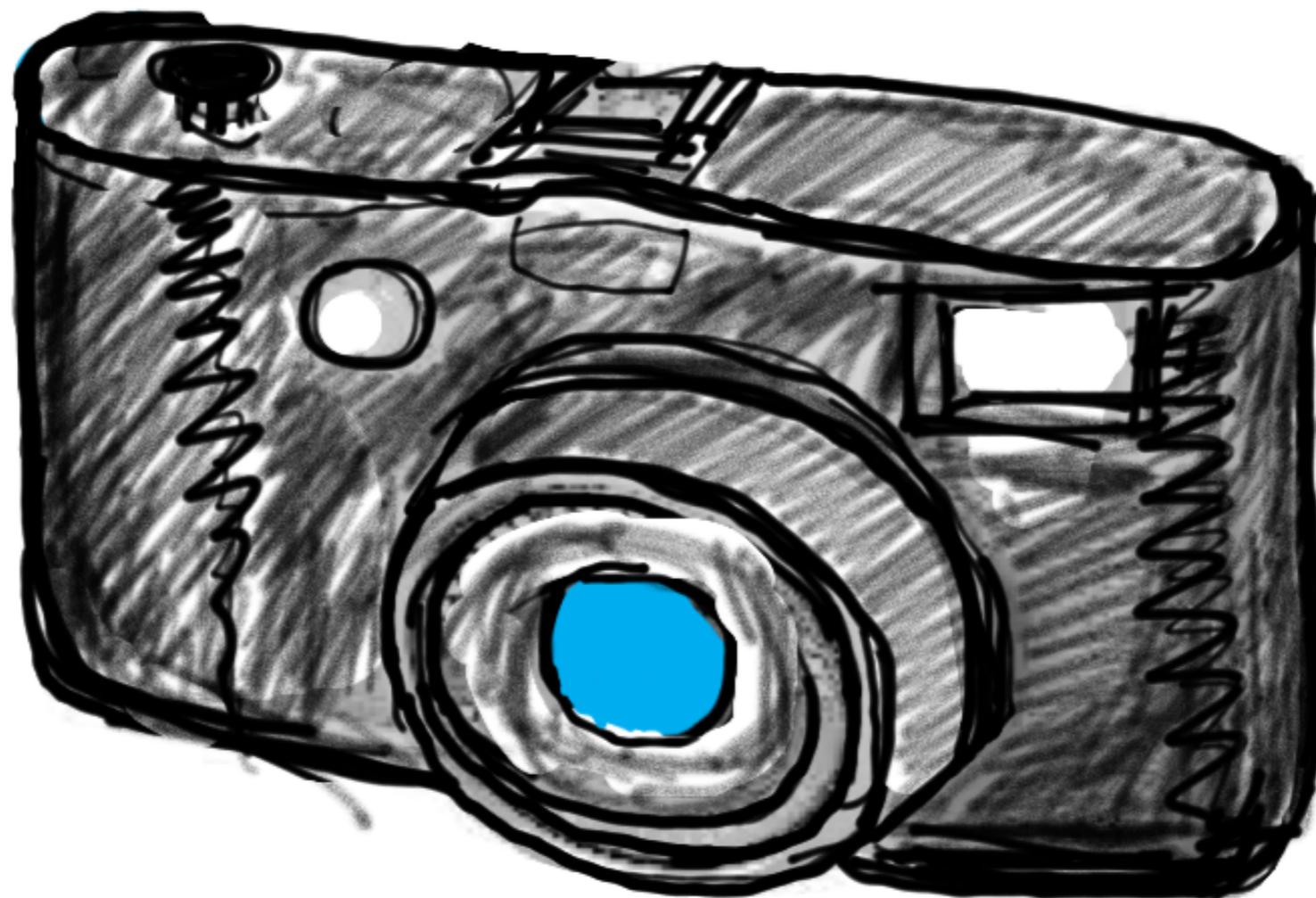
## il cavo superconduttore



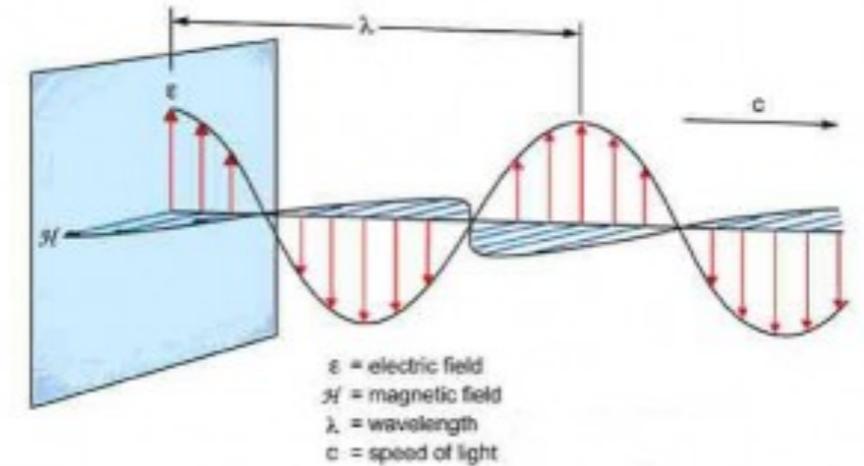
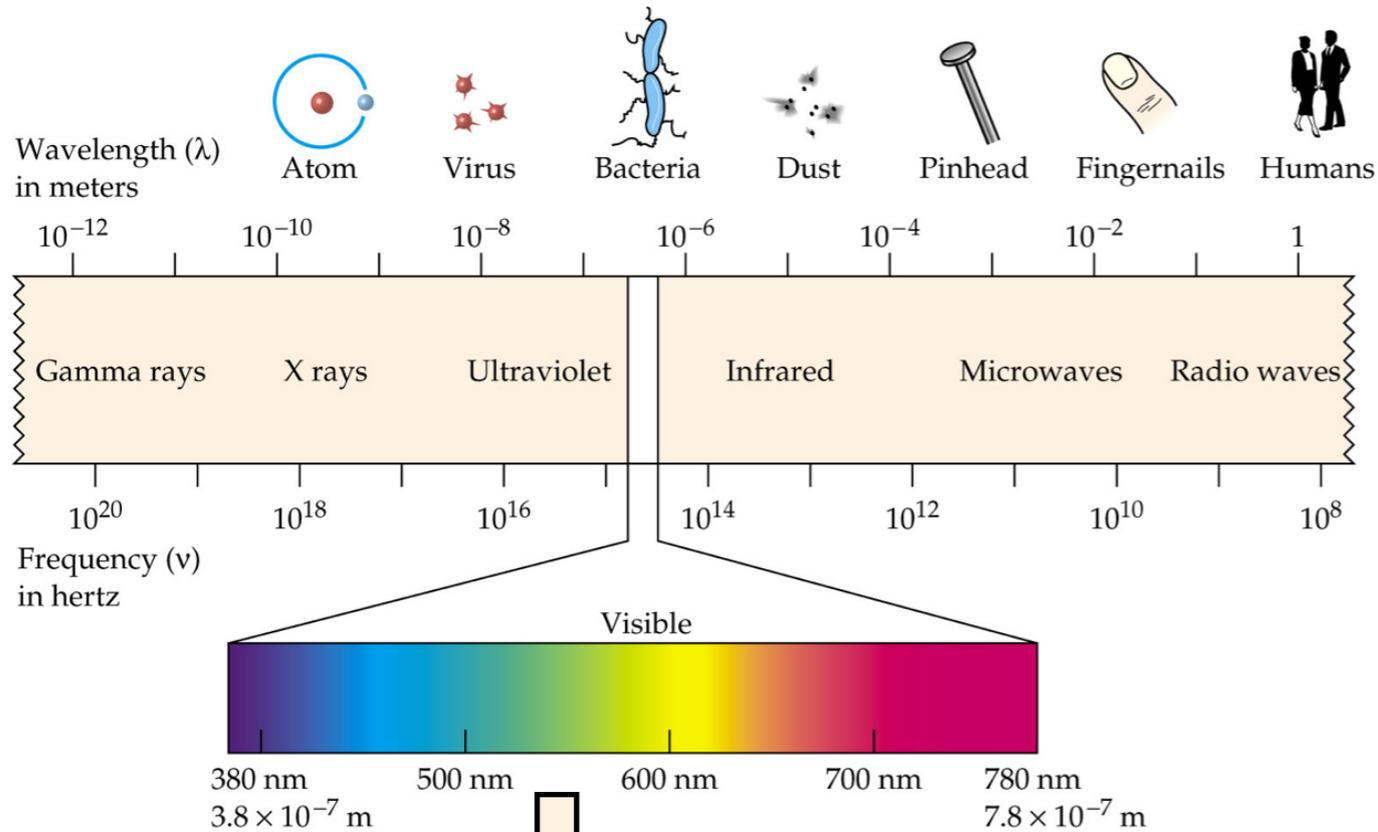
Cavi composti da 36 fili superconduttori, per 6300 filamenti di Niobio-titanio (NbTi) immersi in rame puro. NbTi è una lega superconduttrice sotto i  $-263\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



# I rivelatori



# Si possono vedere le particelle ?

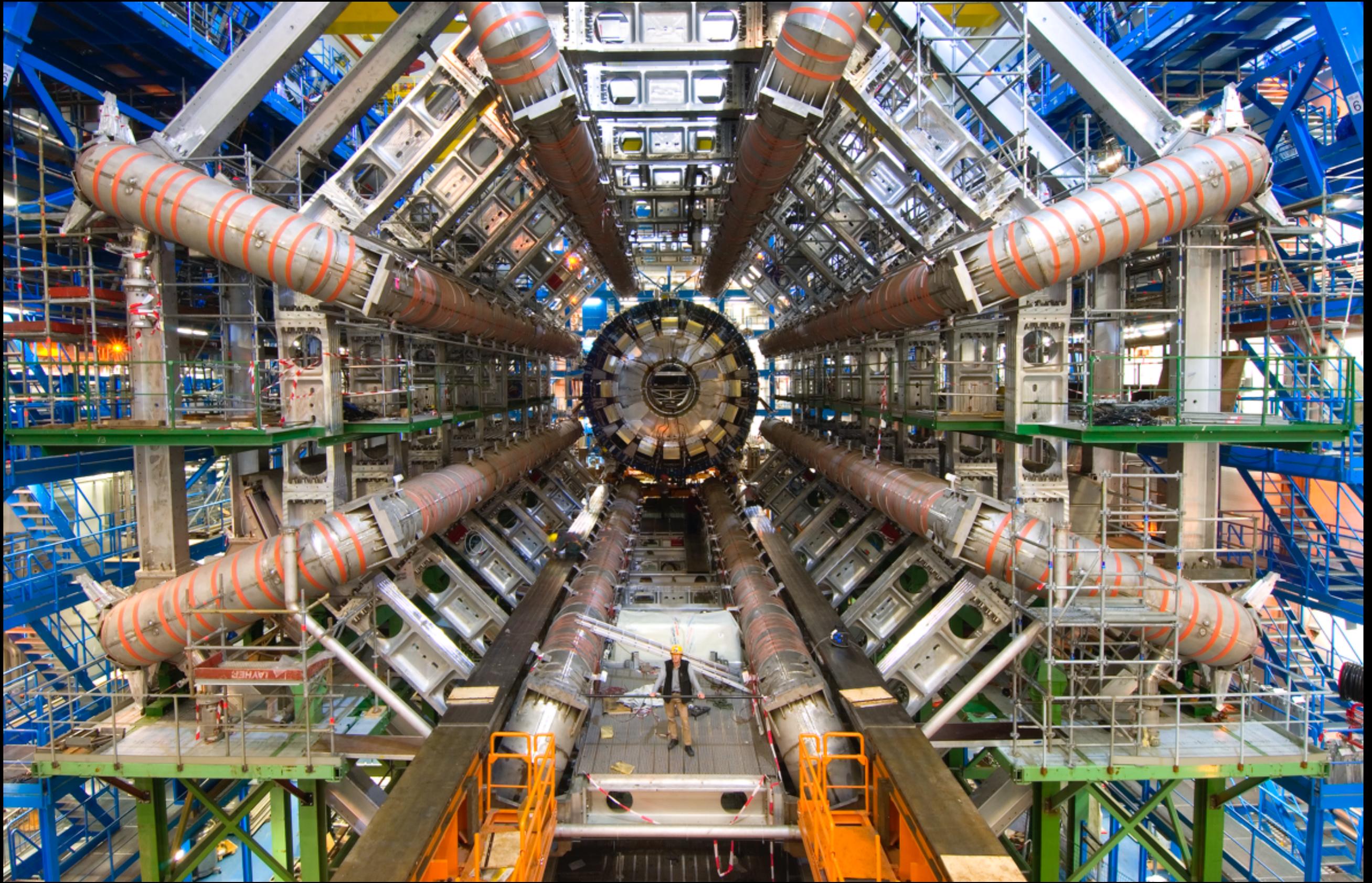


Esiste un limite alle dimensioni che posso “risolvere” con la luce.

Nei rivelatori registriamo gli effetti del passaggio delle particelle



ATLAS: è grande come una cattedrale ed è un vero capolavoro di tecnologia. È come una macchina che fotografa la collisione, facendo circa 300 foto al secondo.



# CMS DETECTOR

Total weight : 14,000 tonnes  
Overall diameter : 15.0 m  
Overall length : 28.7 m  
Magnetic field : 3.8 T

# CMS Detector

STEEL RETURN YOKE  
12,500 tonnes

SILICON TRACKERS  
Pixel (100x150  $\mu\text{m}$ )  $\sim 16\text{m}^2 \sim 66\text{M}$  channels  
Microstrips (80x180  $\mu\text{m}$ )  $\sim 200\text{m}^2 \sim 9.6\text{M}$  channels

SUPERCONDUCTING SOLENOID  
Niobium titanium coil carrying  $\sim 18,000\text{A}$

MUON CHAMBERS  
Barrel: 250 Drift Tube, 480 Resistive Plate Chambers  
Endcaps: 468 Cathode Strip, 432 Resistive Plate Chambers

PRESHOWER  
Silicon strips  $\sim 16\text{m}^2 \sim 137,000$  channels

FORWARD CALORIMETER  
Steel + Quartz fibres  $\sim 2,000$  Channels

14000 t

7m

29m

CRYSTAL  
ELECTROMAGNETIC  
CALORIMETER (ECAL)  
 $\sim 76,000$  scintillating  $\text{PbWO}_4$  crystals

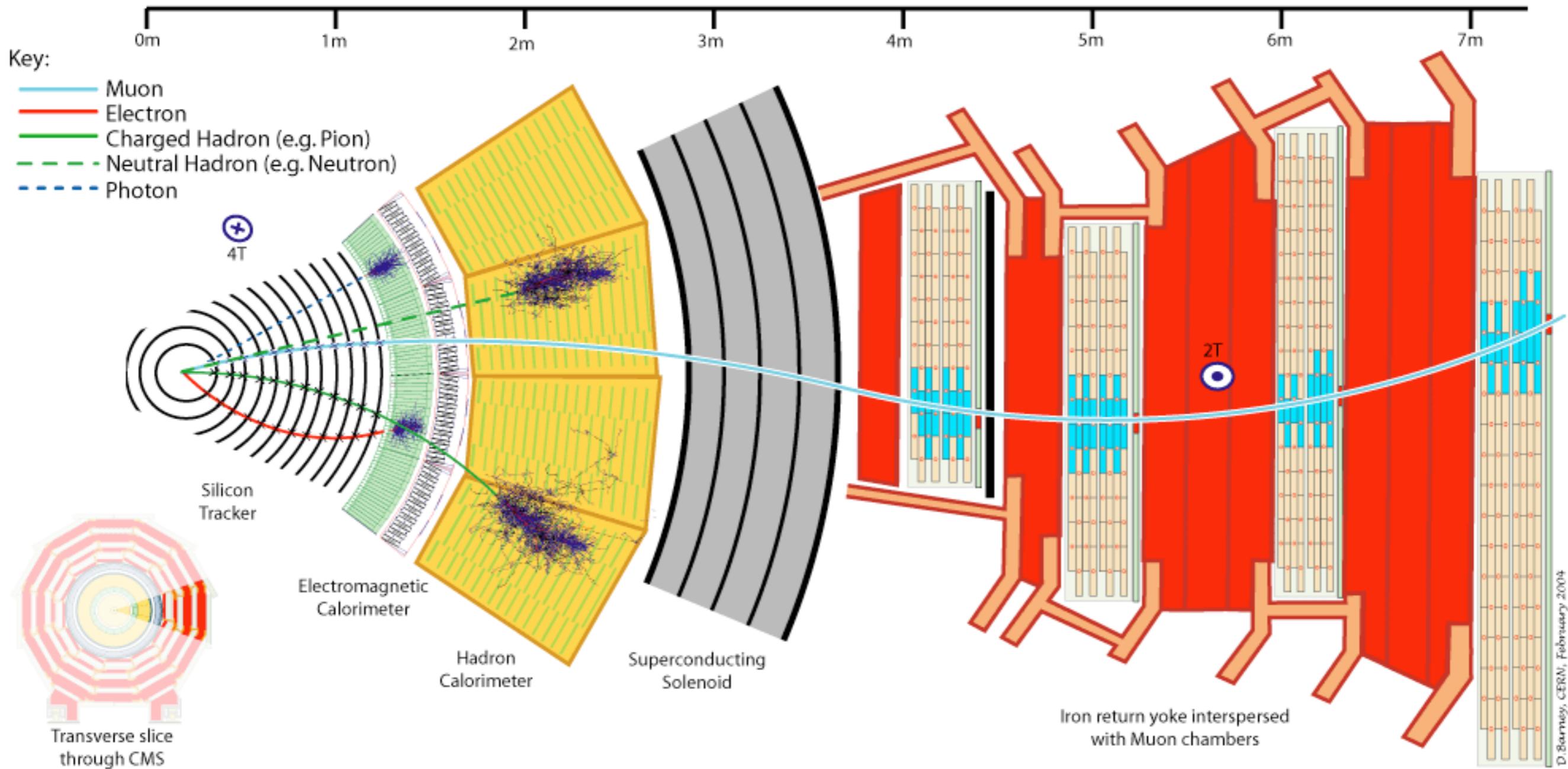
HADRON CALORIMETER (HCAL)  
Brass + Plastic scintillator  $\sim 7,000$  channels

# Il Magnete di CMS

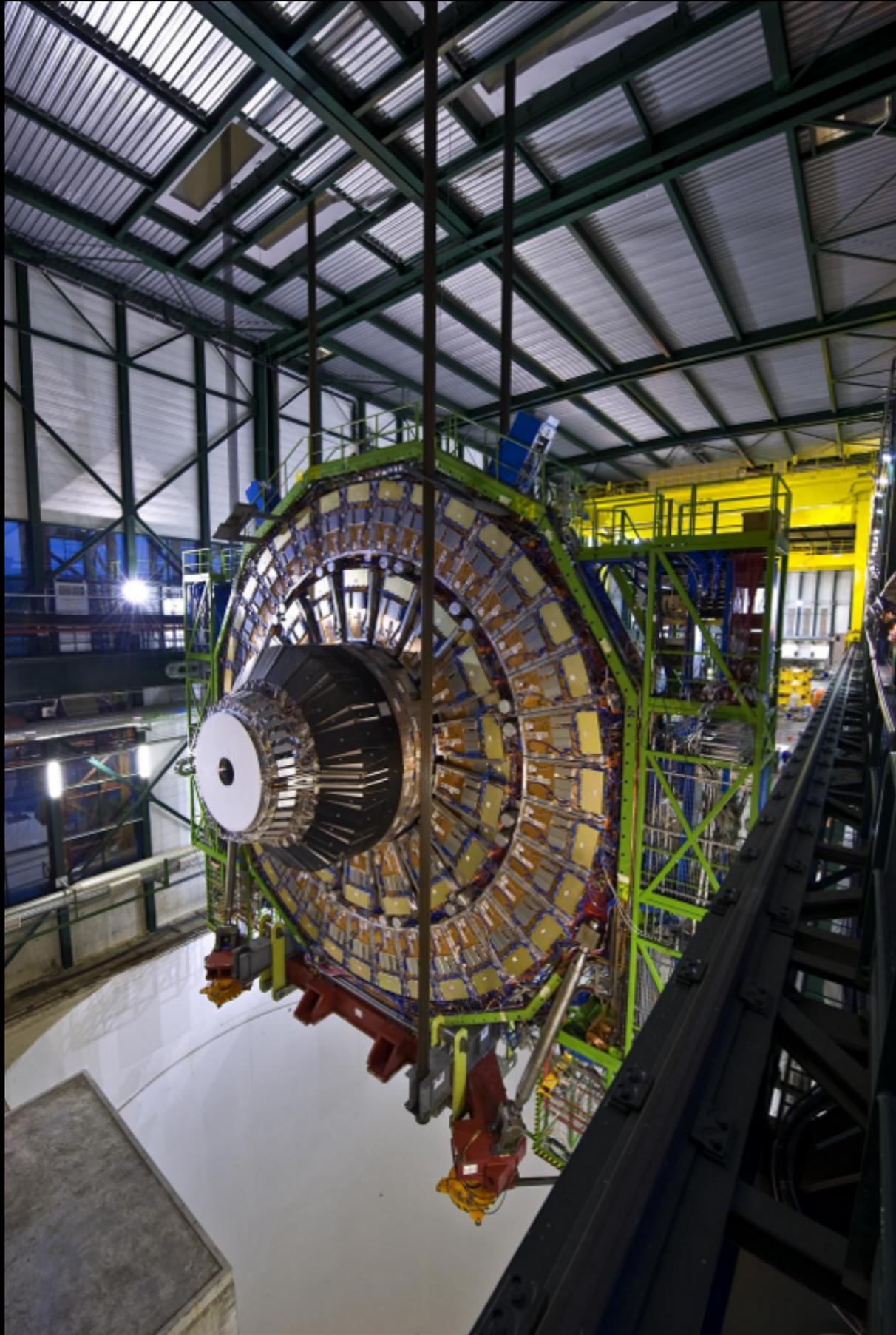
- dimensioni:
  - 13 m di lunghezza
  - 6 m di diametro
- superconduttore
  - raffreddato a 4K
  - 20000 A di corrente
- campo magnetico di 3.8 Tesla
- 2.5 GJ di energia
  - un Eurostar a 300 km/h
- È stato costruito dall'ANSALDO

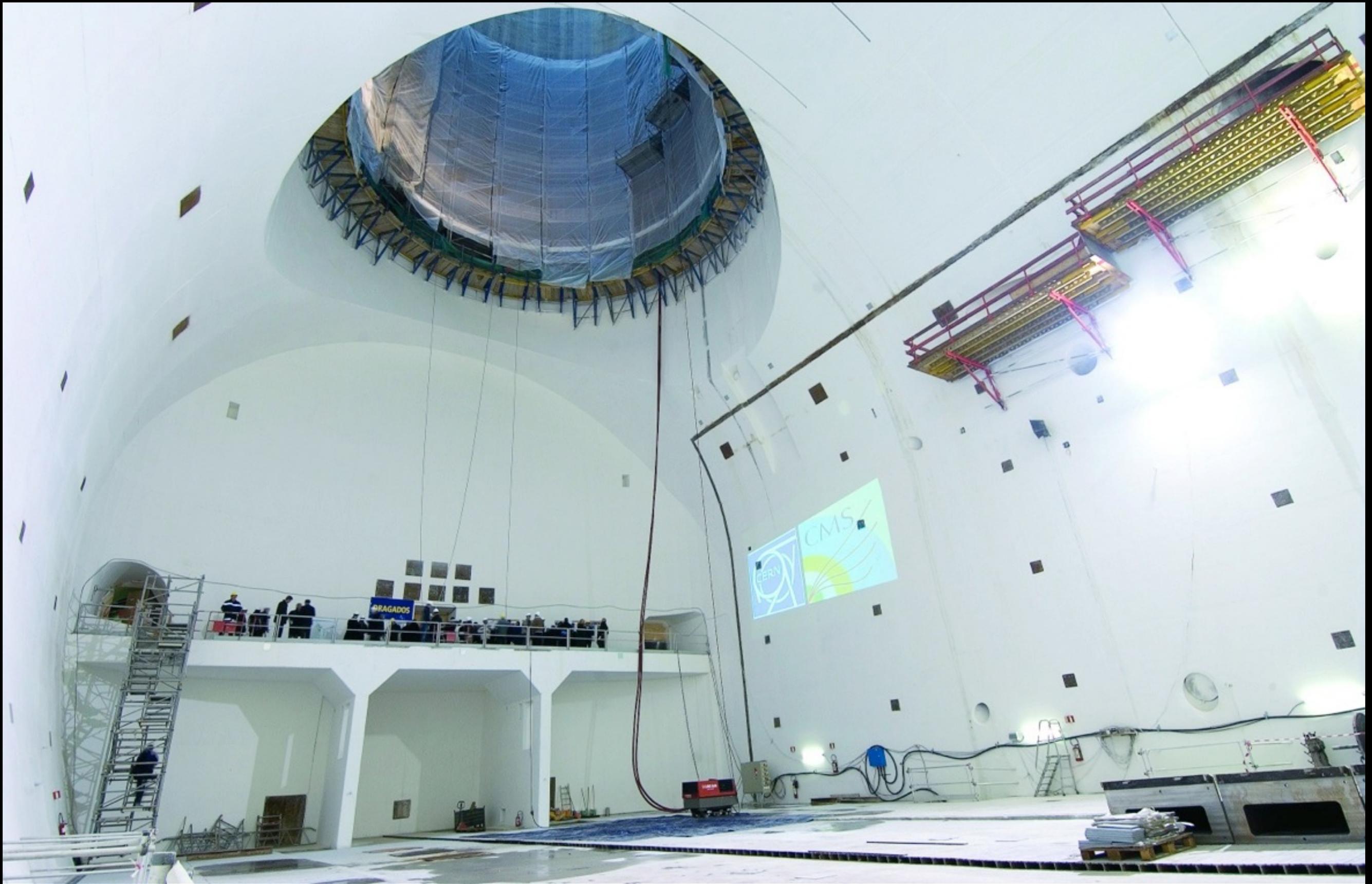


# Uno spaccato di CMS

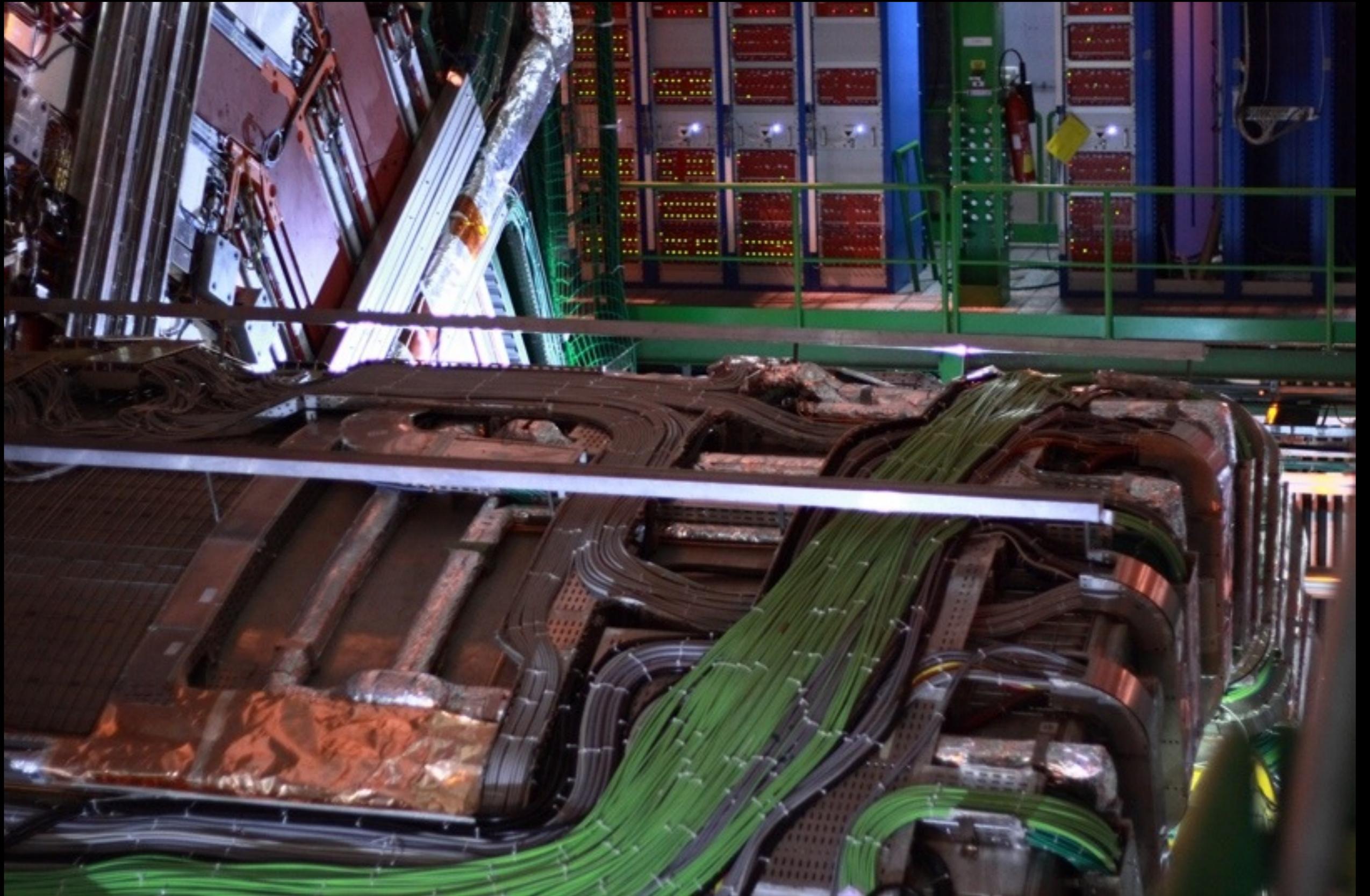


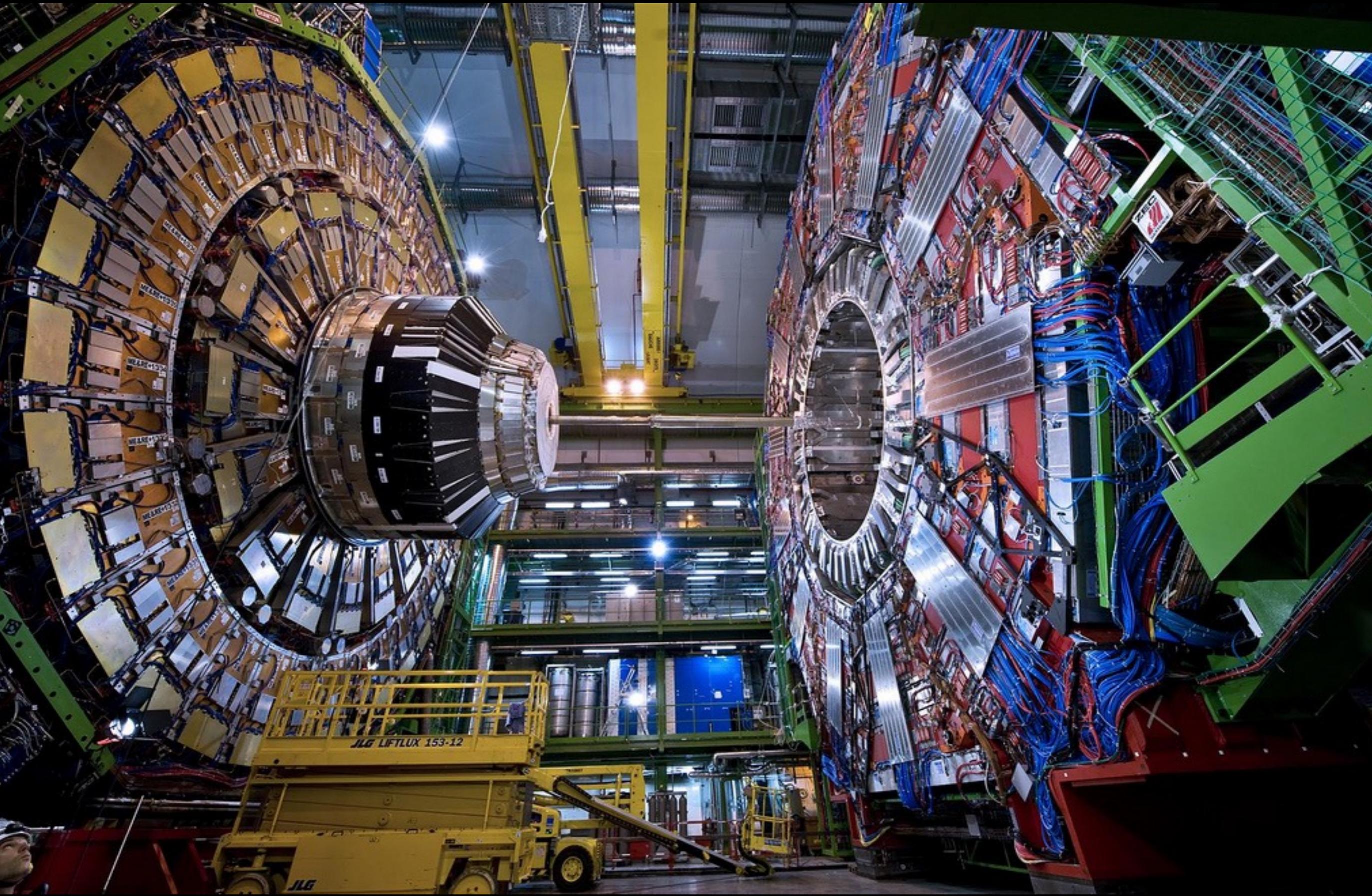
1993-2008 15 anni di sviluppo e costruzione !

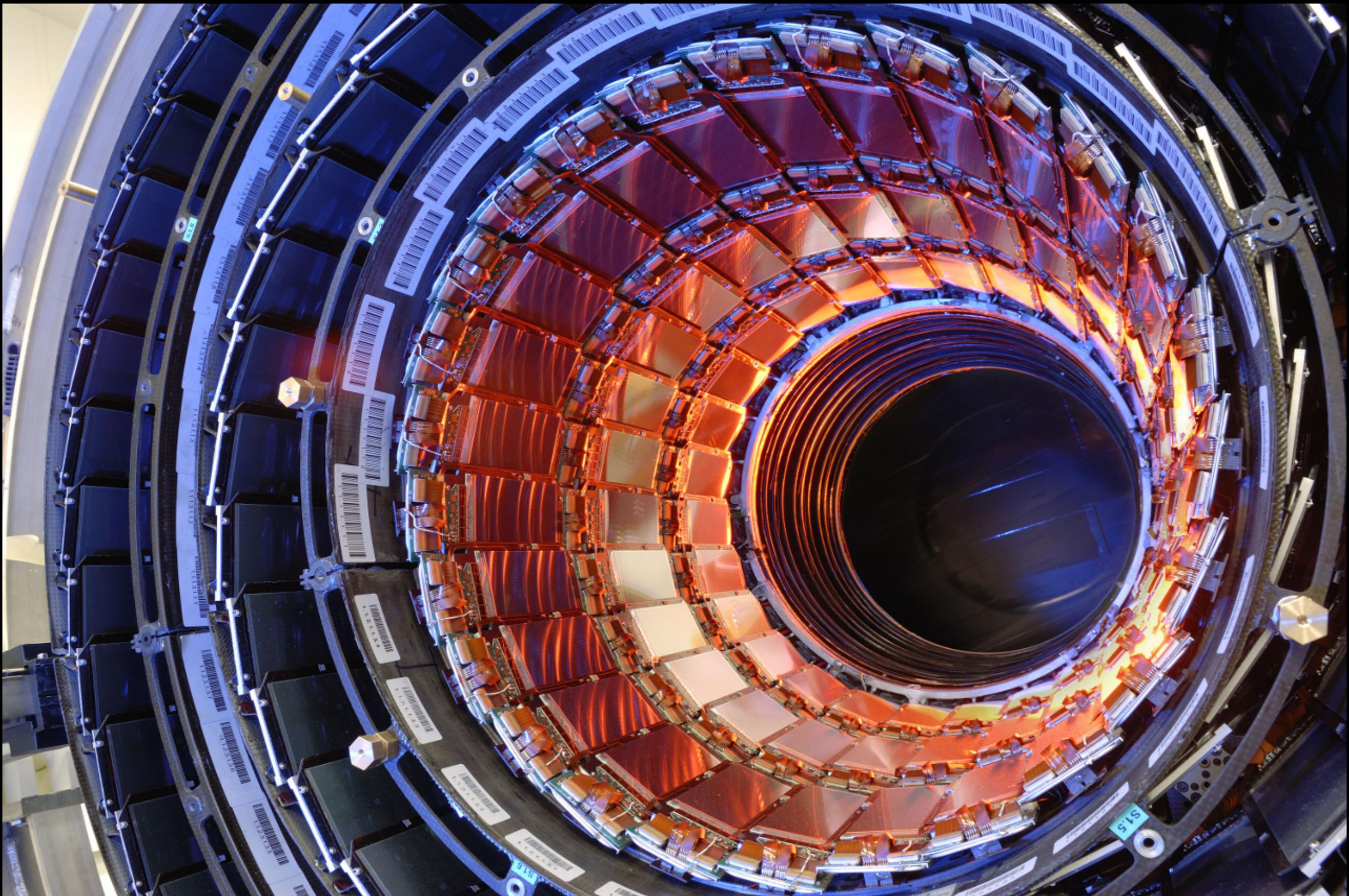






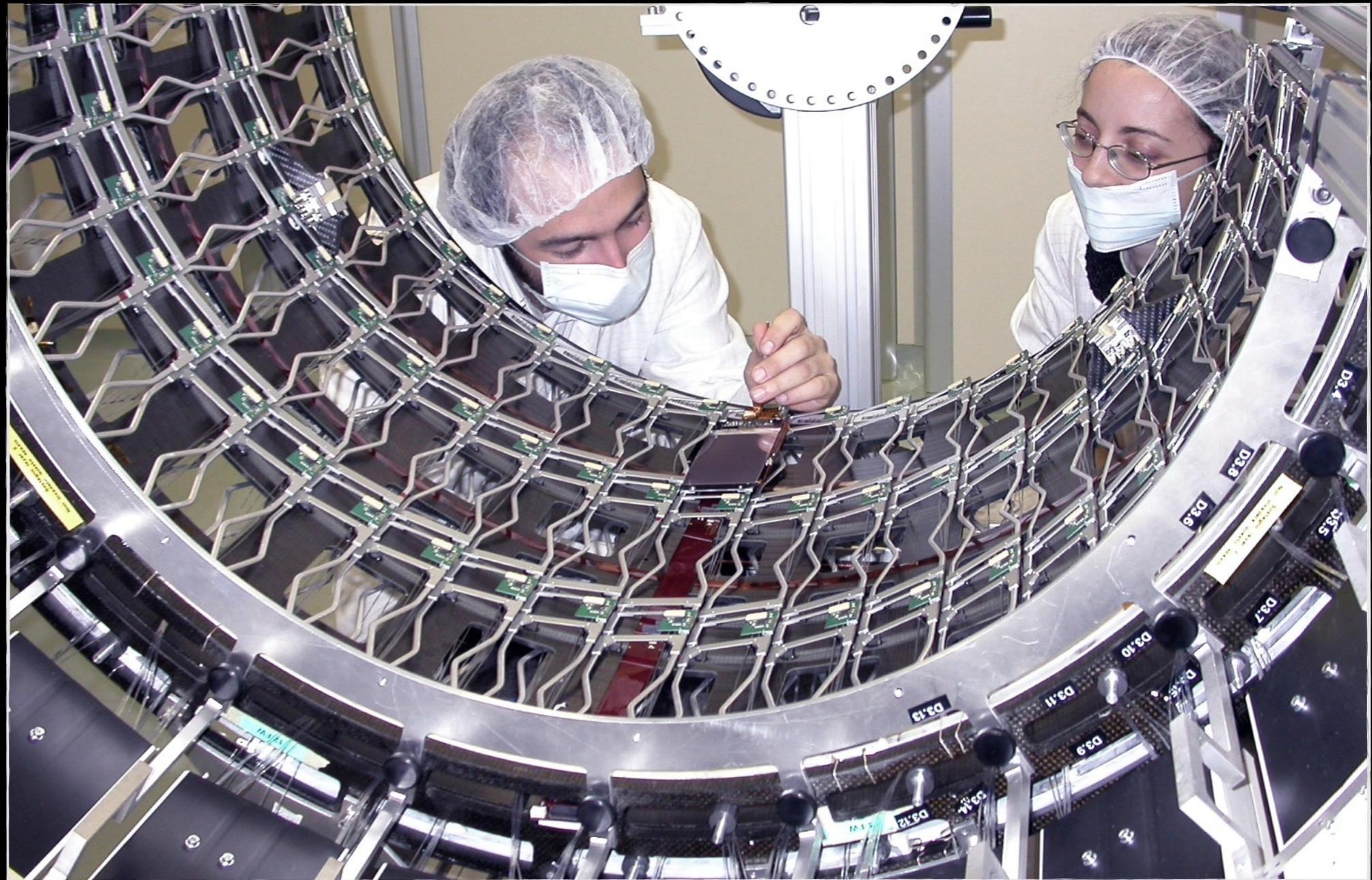




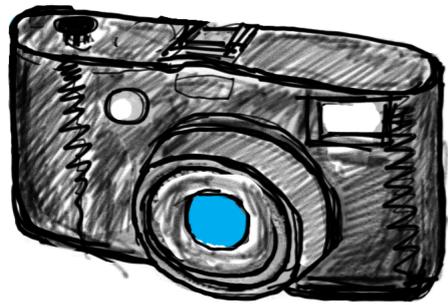


Metà del tracciatore interno centrale, il cuore dell'apparato CMS, è nata nei laboratori del Polo Scientifico di Sesto Fiorentino.

Un sofisticato sistema di circa 15 mila sensori al silicio che coprono una superficie totale di 200 m<sup>2</sup>, circa 10 milioni di canali di elettronica, che scatta 40 milioni di fotografie al secondo !



# I computers





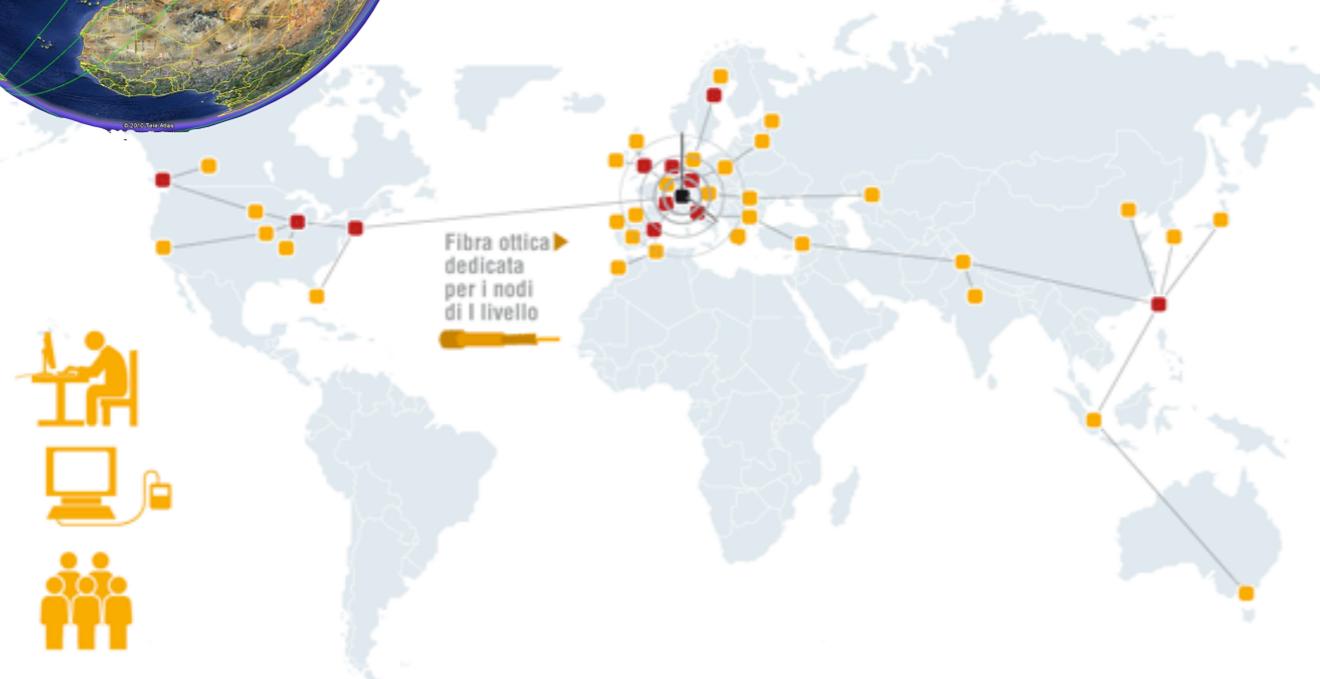
Il CERN è sempre stato all'avanguardia nel campo del calcolo:

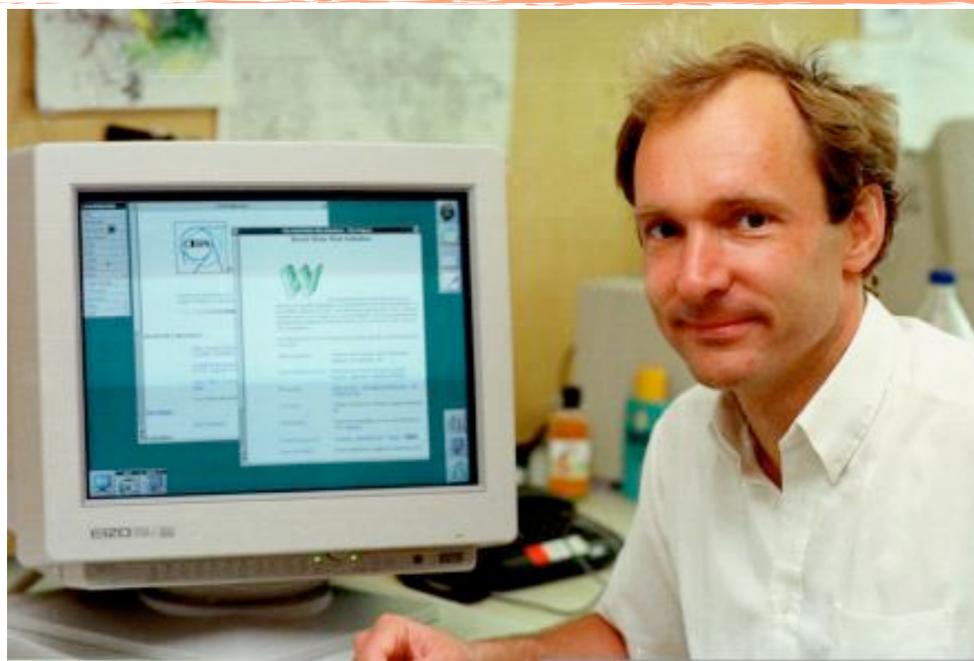
- ricostruzione degli eventi
- simulazione
- controlli automatici



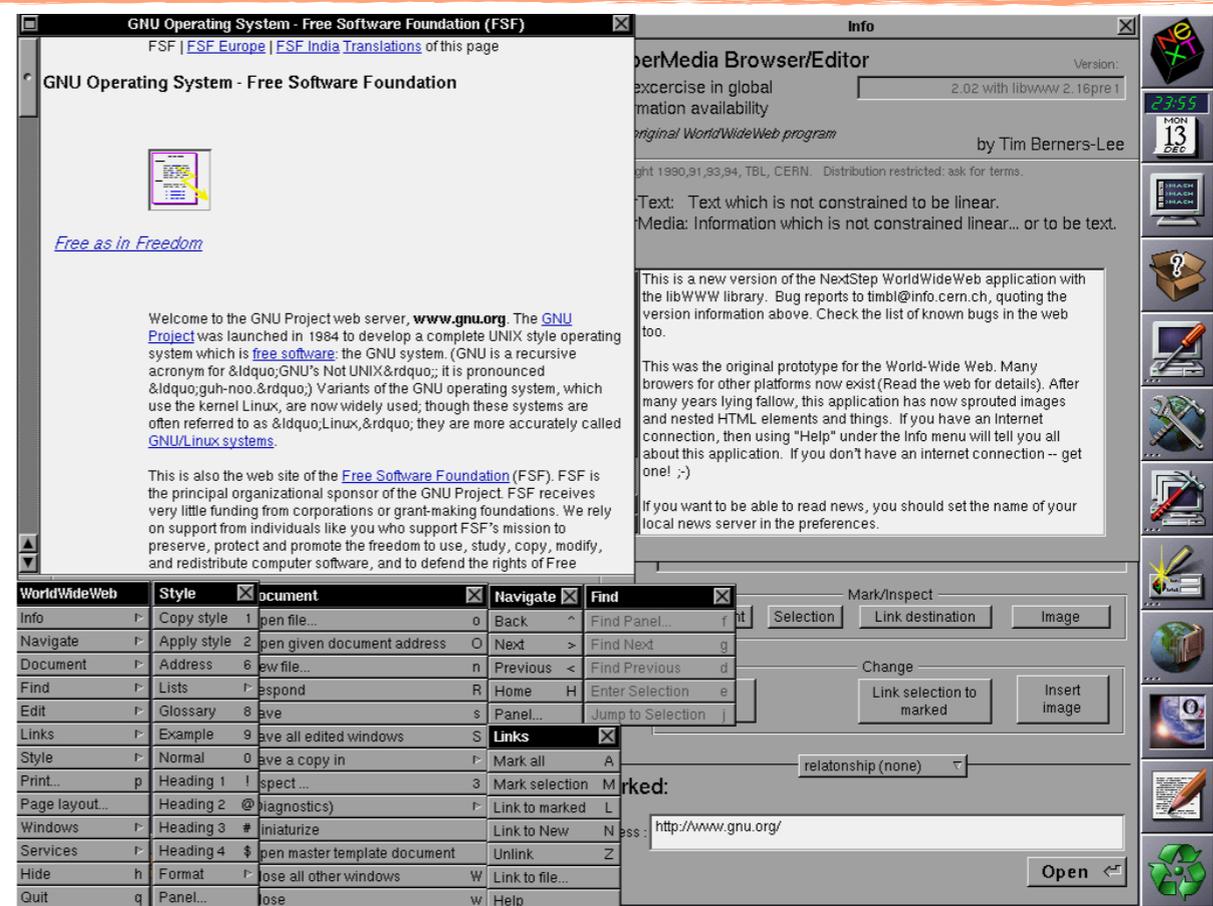
**GRID = Big data**

> 20 Peta-byte per esperimento





Nel 1989, Tim Berners Lee lavorava al CERN quando inventò il web, insieme a Robert Cailliau

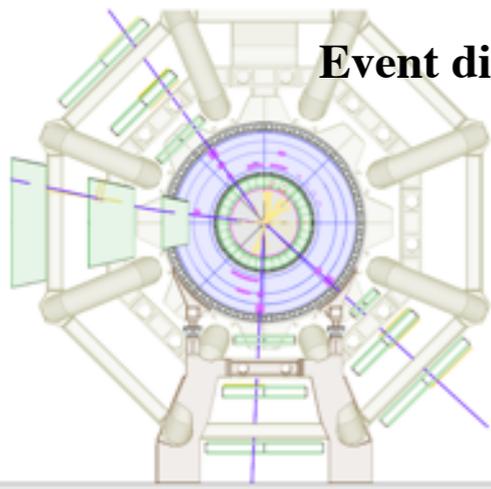


*Les Horribles Cernettes*

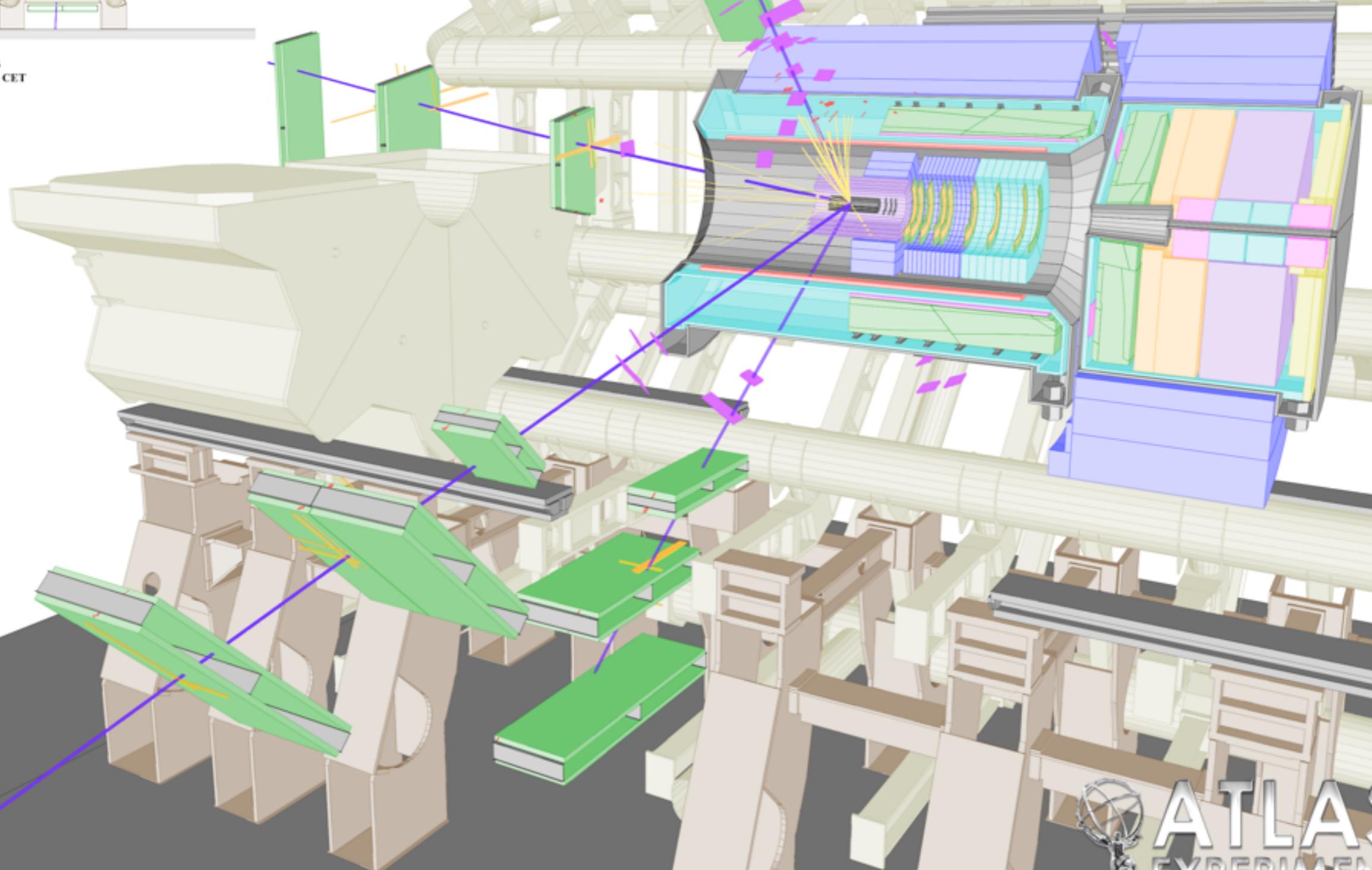


Event display of a 4mu candidate with the 4 muons invariant mass:  $m(4\mu) = 124.6 \text{ GeV}$ .

RunNumber: 189280, EventNumber: 143576946

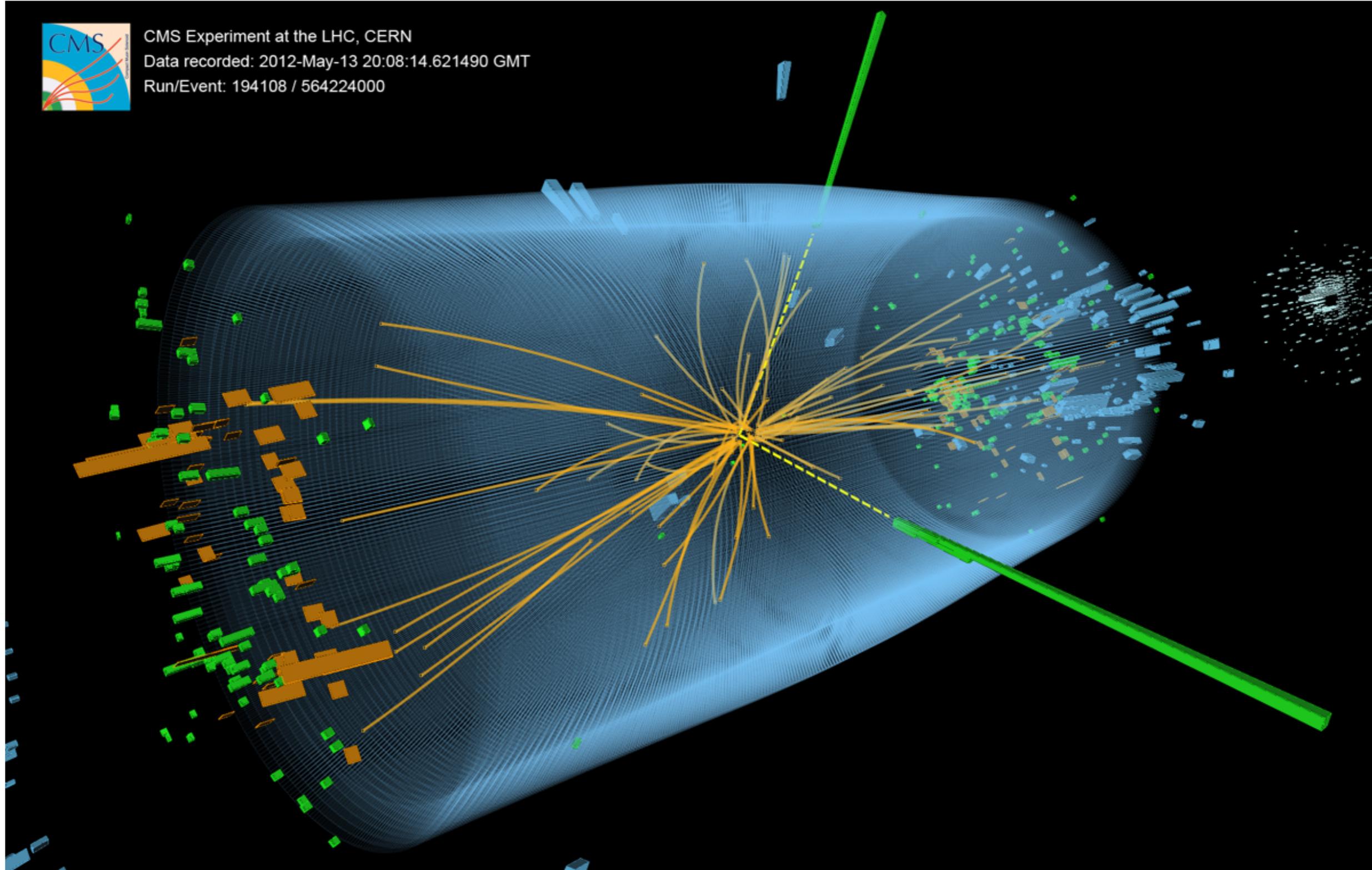


Parameters  
Run Number: 189280,  
Event Number: 143576946  
Date: 2011-09-14, 11:37:11 CET  
EtCut=0.3 GeV  
PtCut=3.0 GeV  
Vertex Cuts:  
Z direction <1cm  
Rphi <1cm  
Muon: blue  
Cells: Tiles, EMC





CMS Experiment at the LHC, CERN  
Data recorded: 2012-May-13 20:08:14.621490 GMT  
Run/Event: 194108 / 564224000





CMS Experiment at the LHC, CERN

Data recorded: 2011-Jun-05 09:01:21.346043 GMT(04:01:21 CDT)

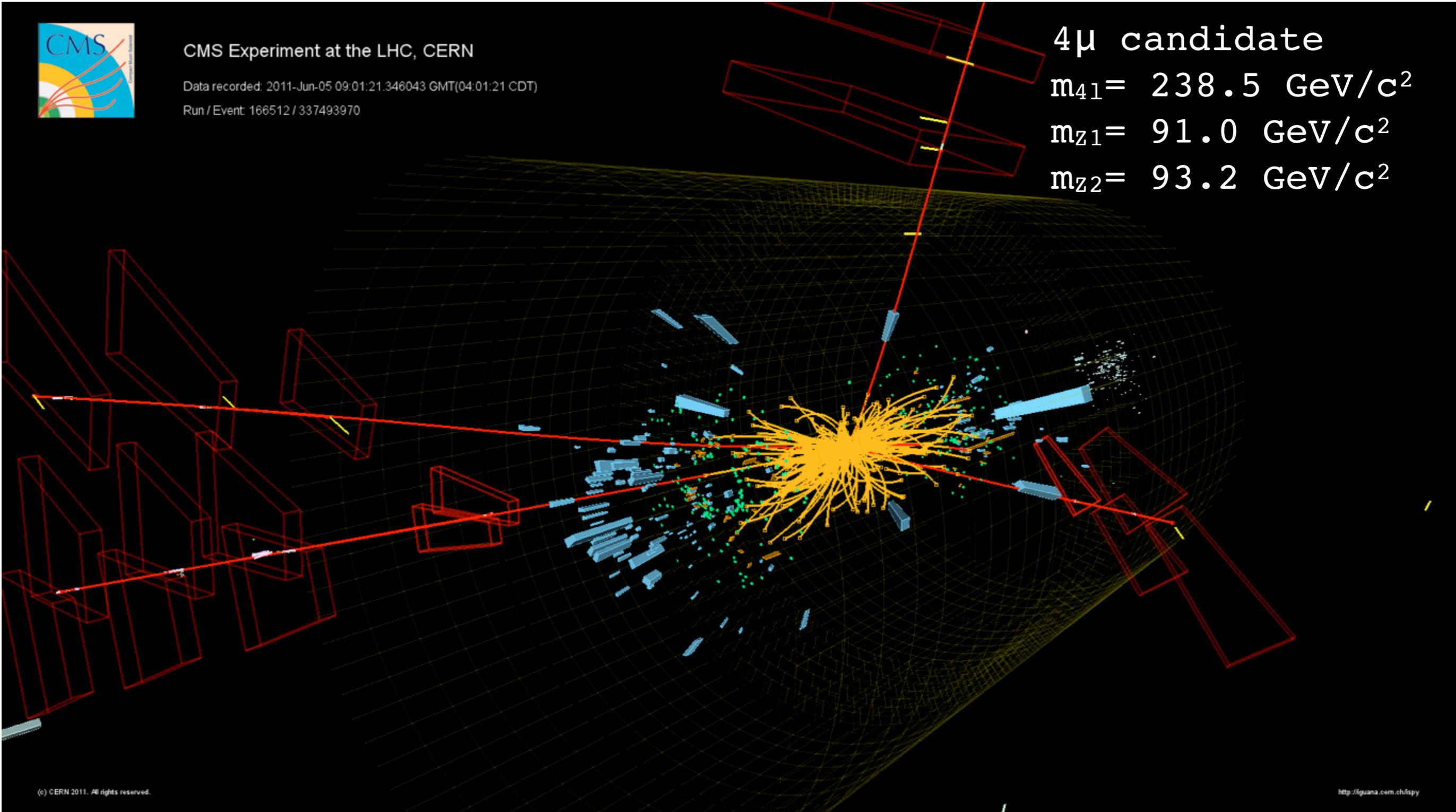
Run / Event: 166512 / 337493970

4 $\mu$  candidate

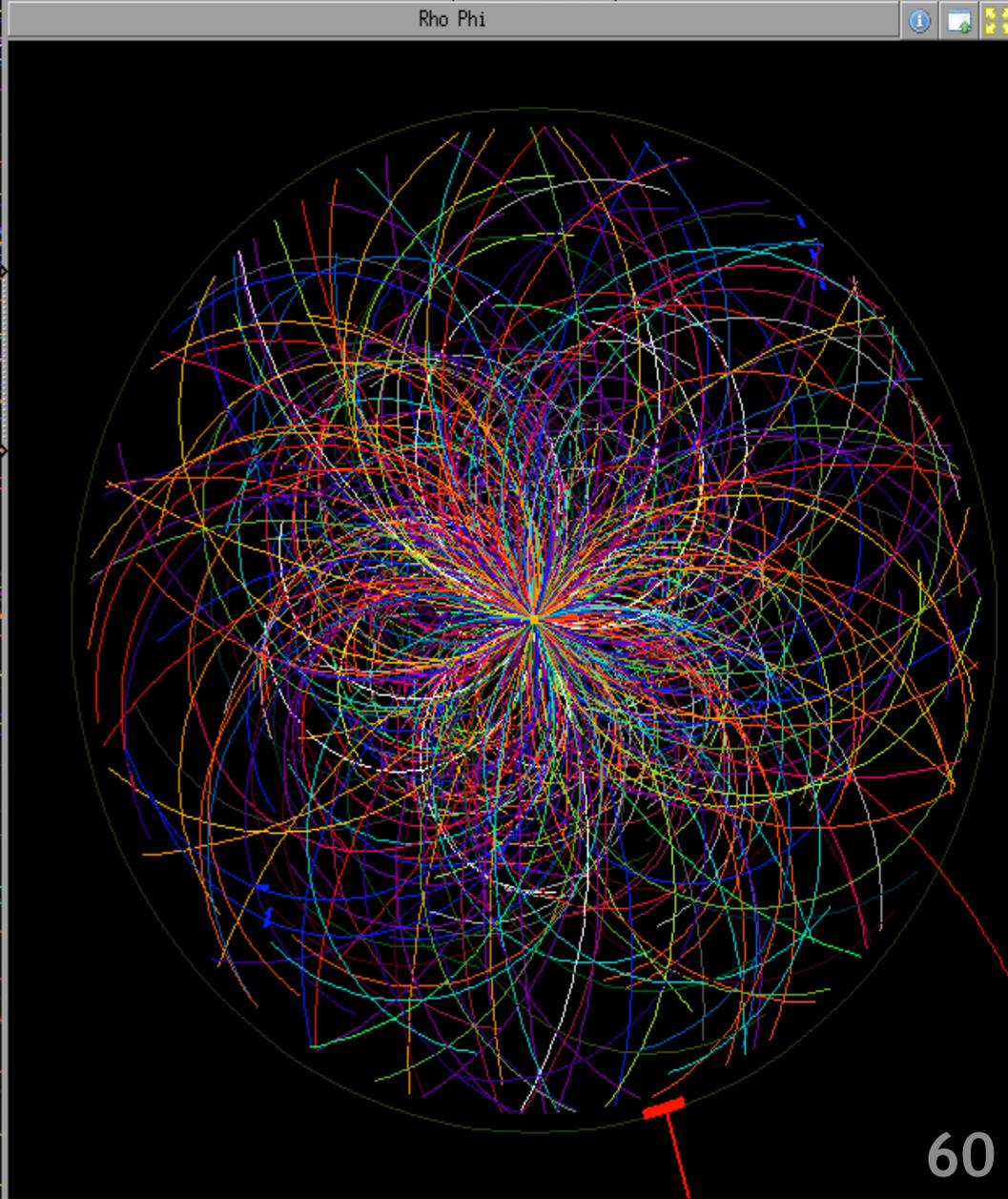
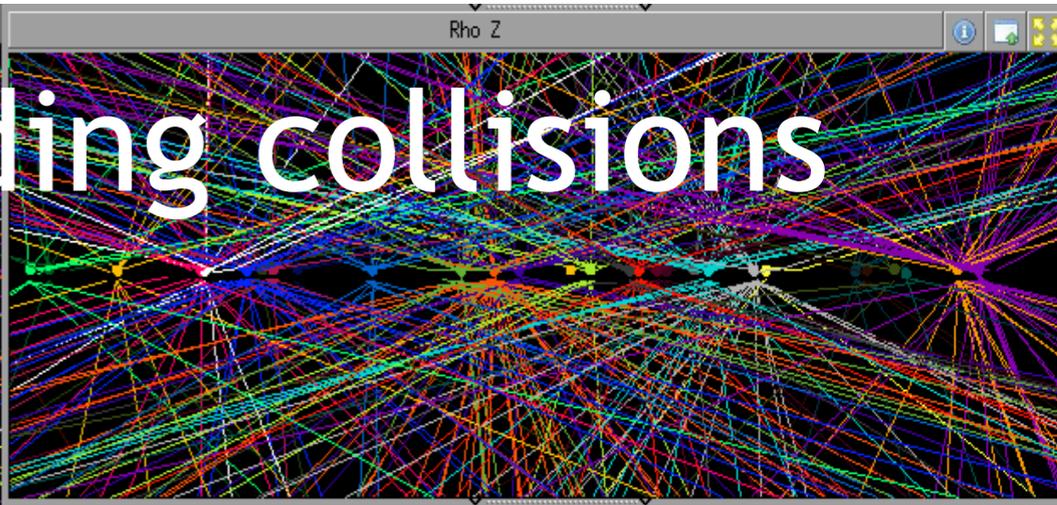
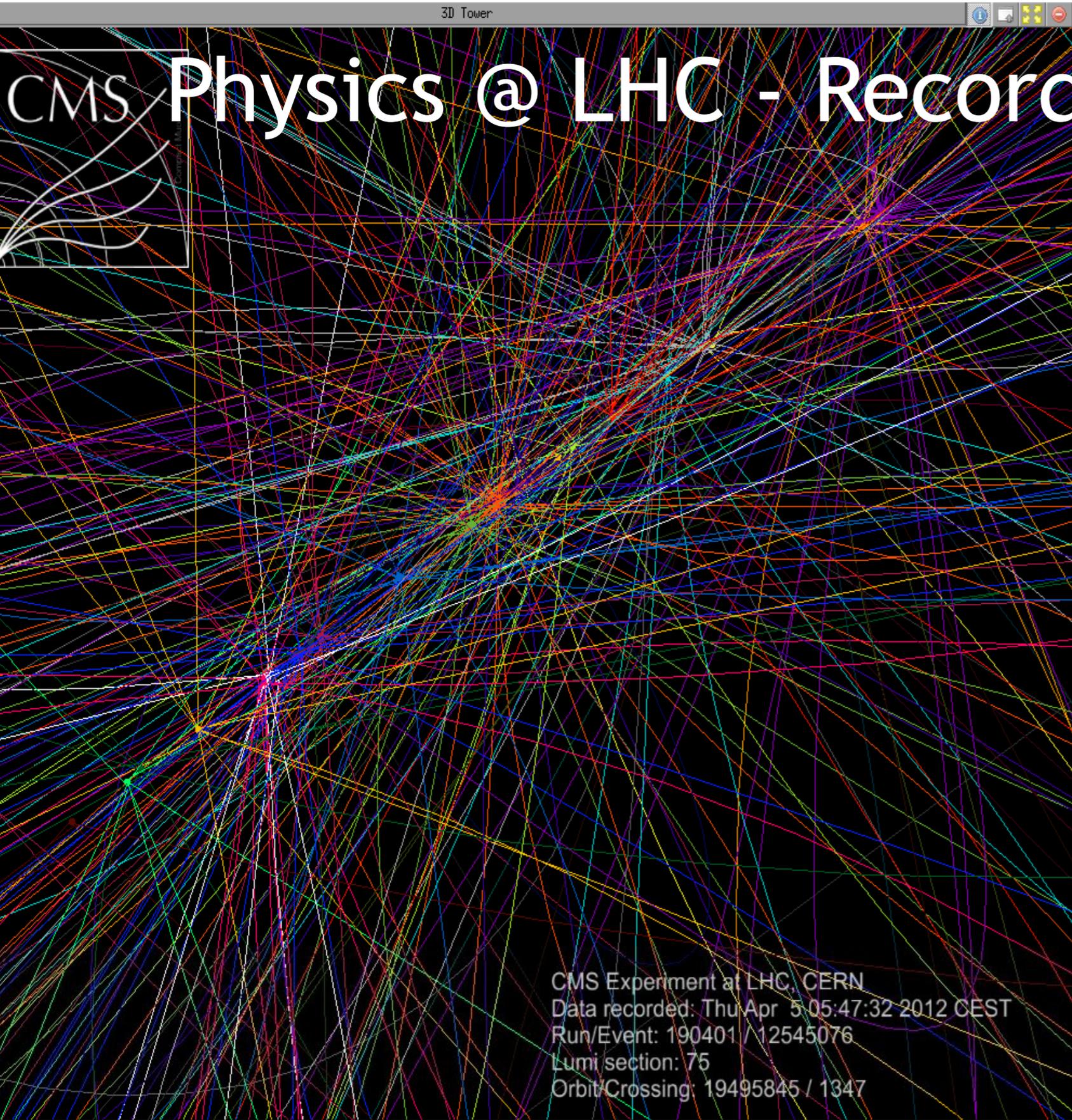
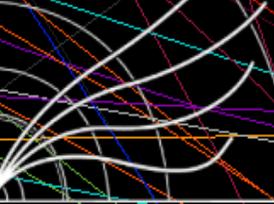
$$m_{41} = 238.5 \text{ GeV}/c^2$$

$$m_{Z1} = 91.0 \text{ GeV}/c^2$$

$$m_{Z2} = 93.2 \text{ GeV}/c^2$$

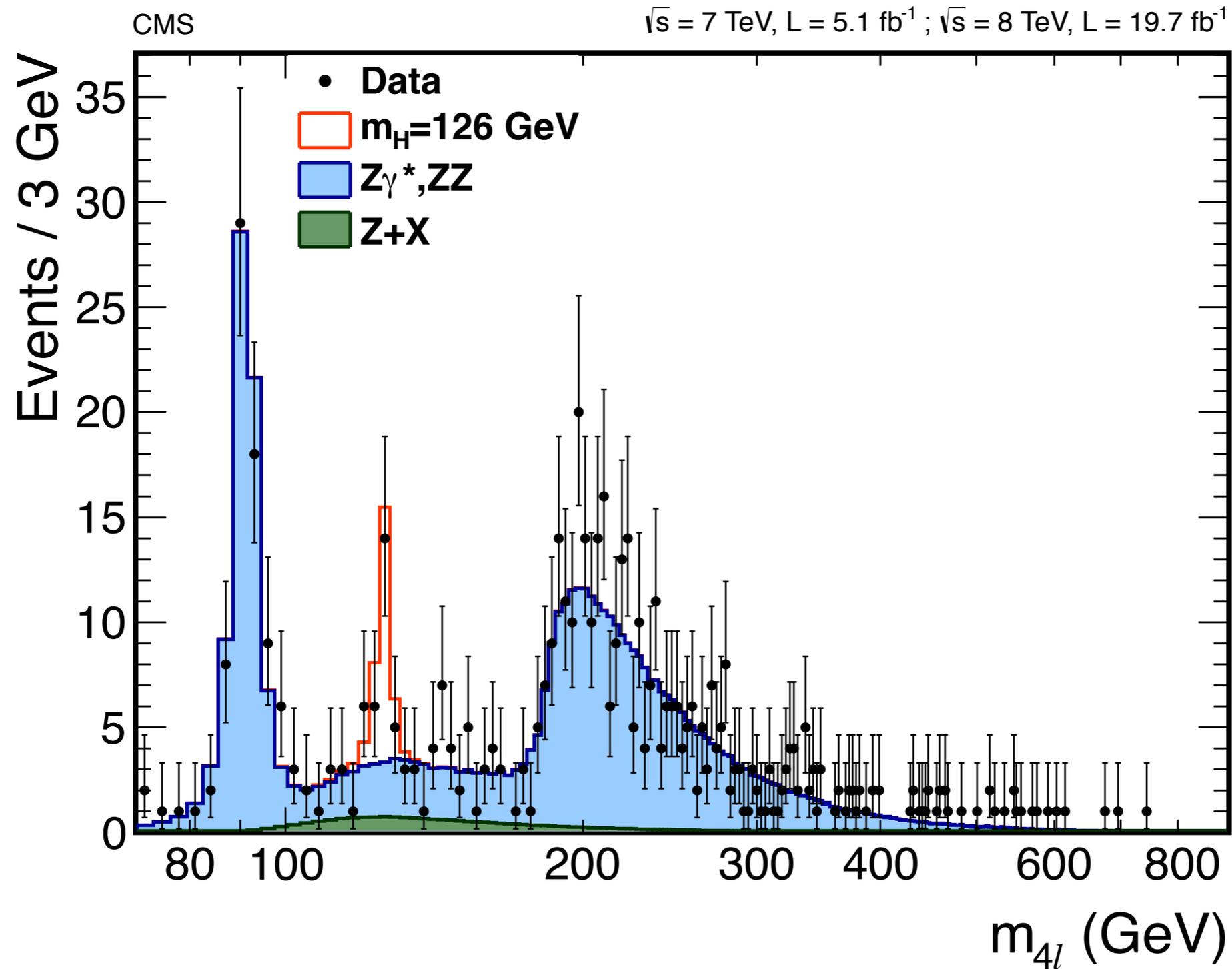


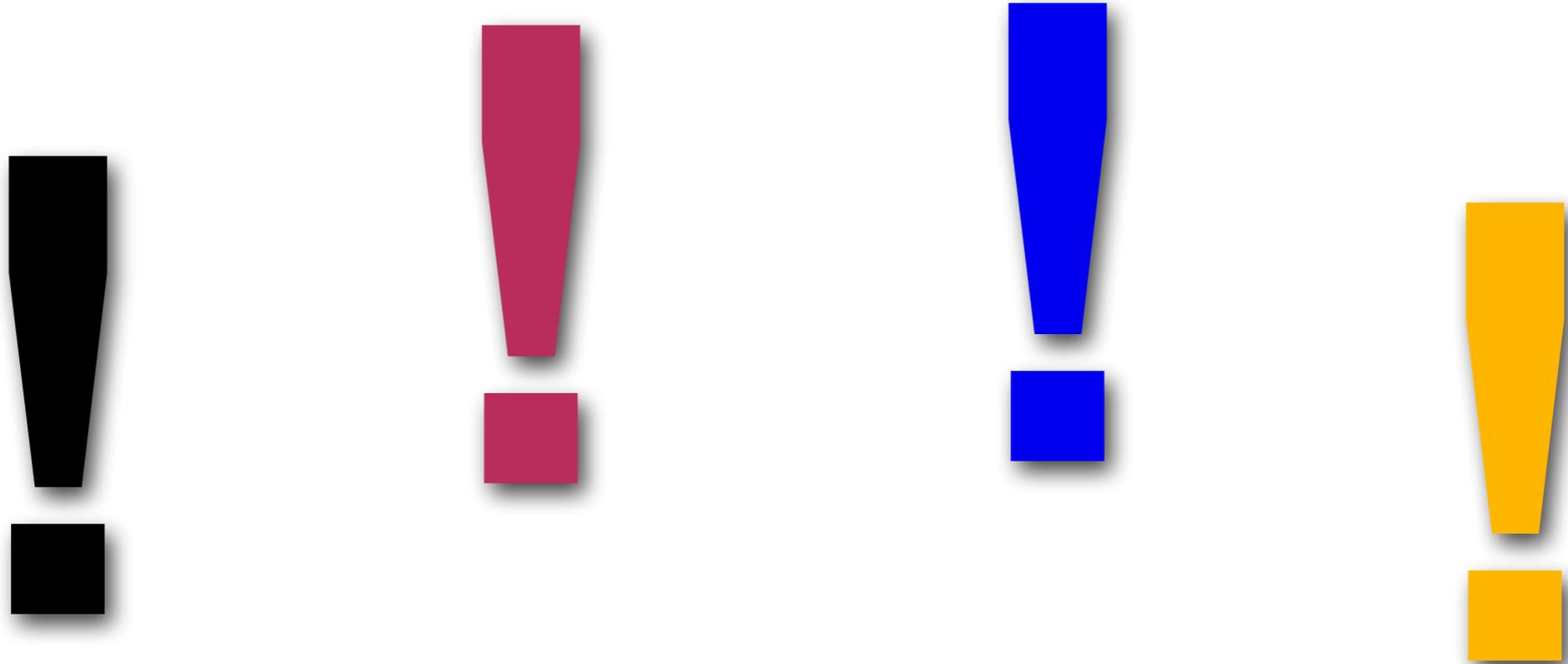
# CMS Physics @ LHC - Recording collisions



CMS Experiment at LHC, CERN  
Data recorded: Thu Apr 5 05:47:32 2012 CEST  
Run/Event: 190401 / 12545076  
Lumi section: 75  
Orbit Crossing: 19495845 / 1347

# CMS: $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4\ell$





**Abbiamo scoperto  
tutto !**

# ... È impressionante quello che NON sappiamo !



- **Siamo solo all'inizio !**
  - è "LA" particella o "UNA" particella di Higgs ?
  - quali nuove particelle ci consentirà di scoprire ?
  - di cosa è fatto il nostro universo ?
  - esistono altre dimensioni oltre alle 4 conosciute ?

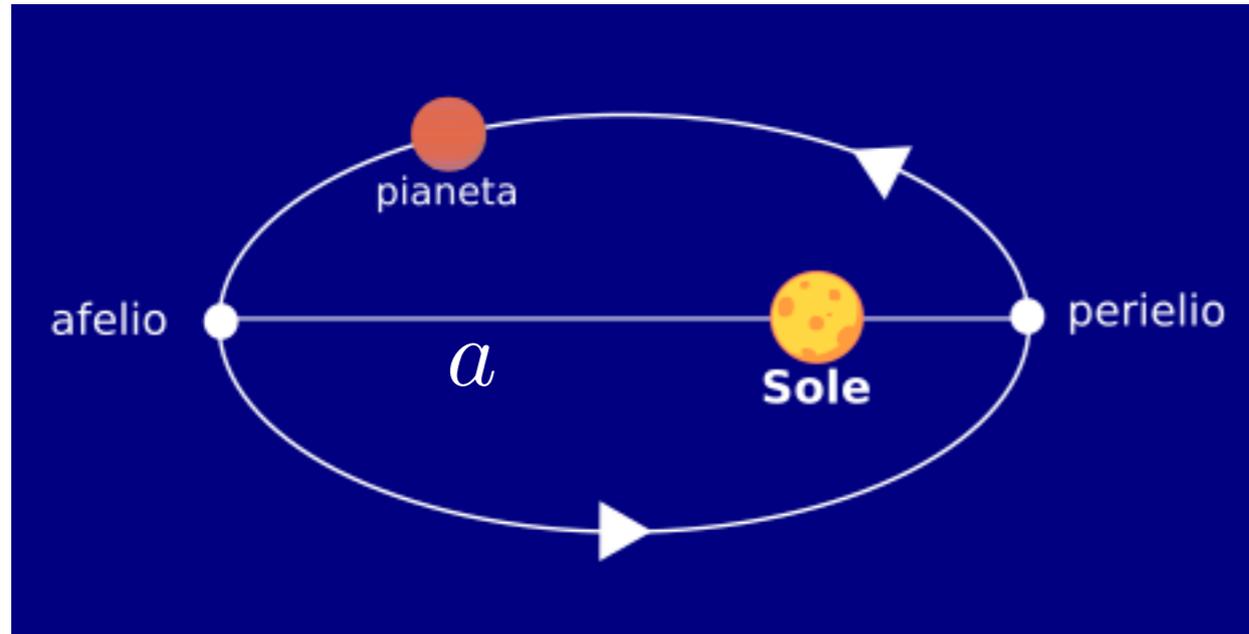
# ... È impressionante quello che NON sappiamo !



- **Siamo solo all'inizio !**
  - è "LA" particella o "UNA" particella di Higgs ?
  - quali nuove particelle ci consentirà di scoprire ?
  - di cosa è fatto il nostro universo ?
  - esistono altre dimensioni oltre alle 4 conosciute ?
- **Cosa è la materia oscura ?**

<https://youtu.be/ge06Znj7hyk>

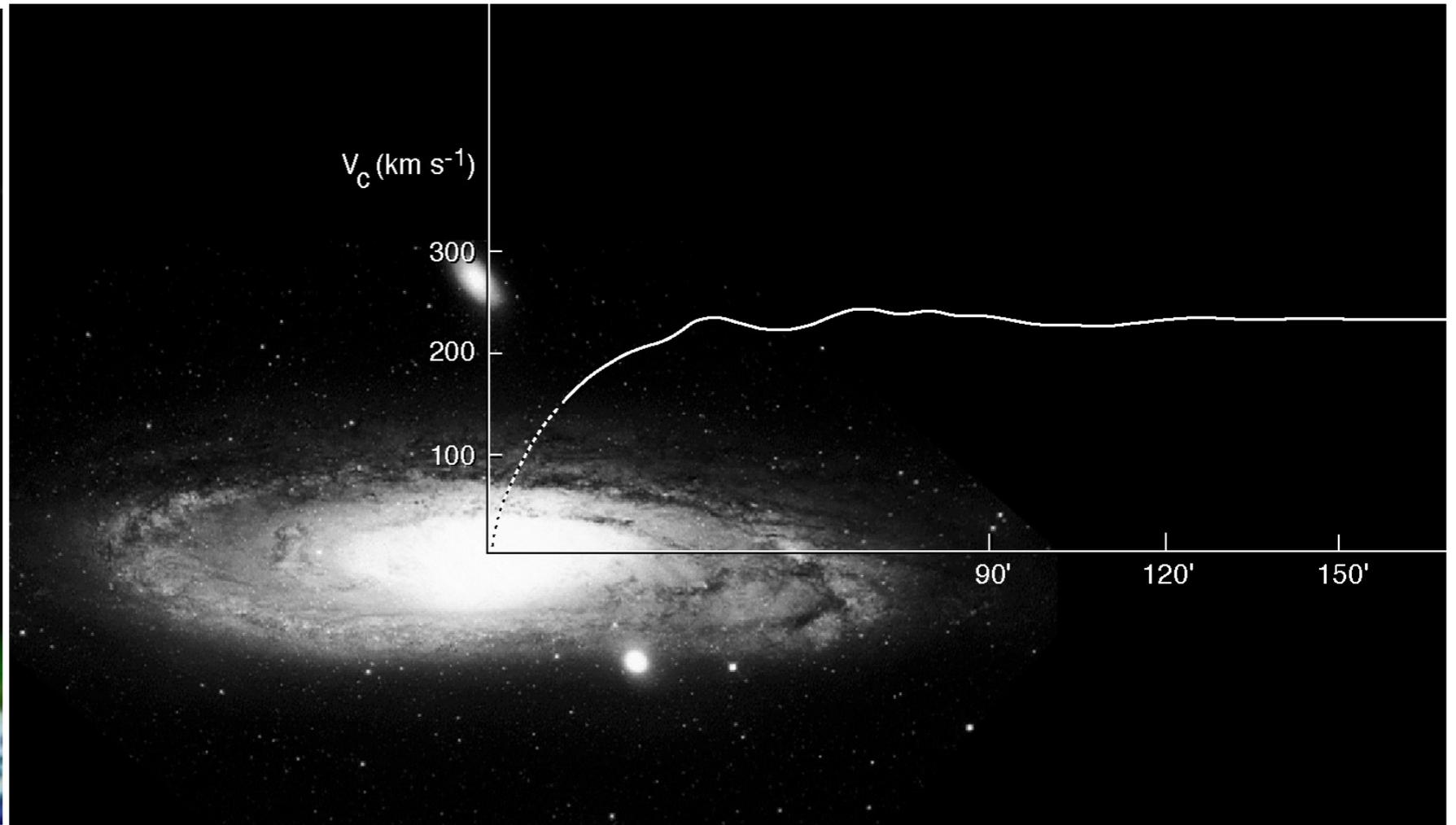
# La III legge di Keplero ...



$$\frac{T^2}{a^3} = \text{cost}$$



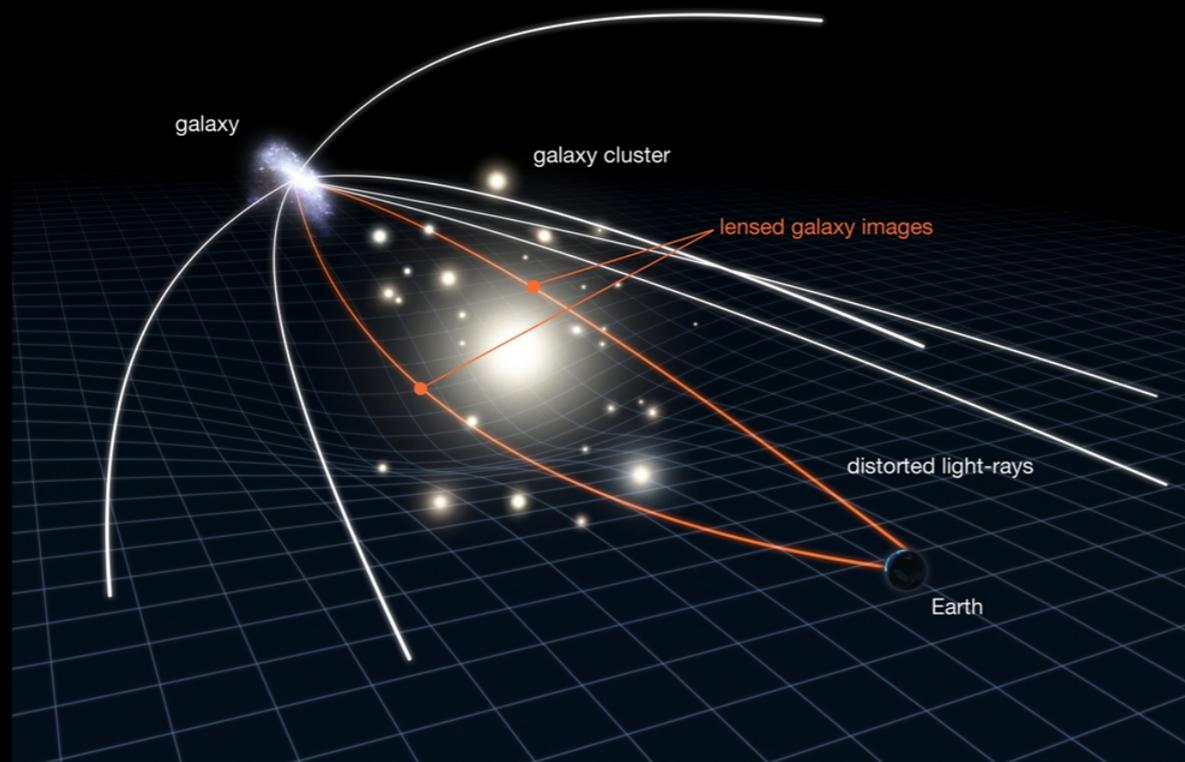
1970s: Vera Rubin e le curve di rotazione piatte delle galassie: la materia oscura è vicina a casa !



# Materia ordinaria e oscura



Light bent by gravitational field of dark matter





**Materia Oscura (Dark Matter) = materia che non interagisce con la radiazione elettromagnetica**

**Non le possiamo vedere, ma sappiamo della sua presenza dagli effetti gravitazionali**

Per esempio è necessaria per tenere insieme le galassie, e per tenere insieme gli ammassi di galassie

**La materia oscura che tiene insieme l'universo è costituita da un insieme di particelle elementari create al momento del Big Bang.**



DON'T LET THE BRIGHT  
LIGHTS FOOL YOU

THE DARK SIDE

CONTROLS THE UNIVERSE

OUR UNIVERSE

STARS: 0.5%

DARK  
MATTER: 33%

DARK  
ENERGY: 66%

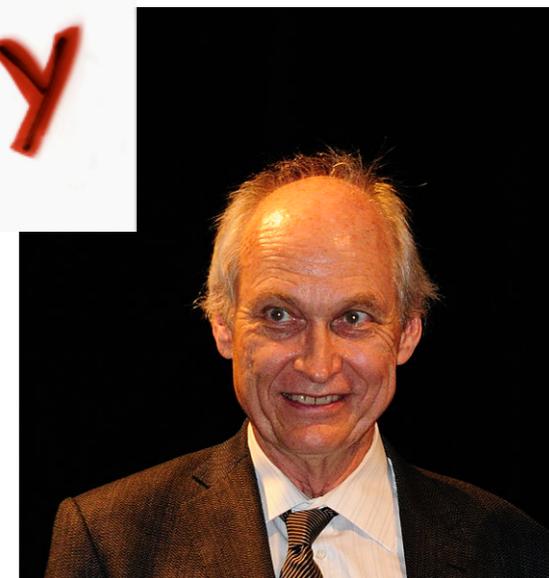
DARK MATTER HOLDS IT TOGETHER

DARK ENERGY DETERMINES HIS DESTINY

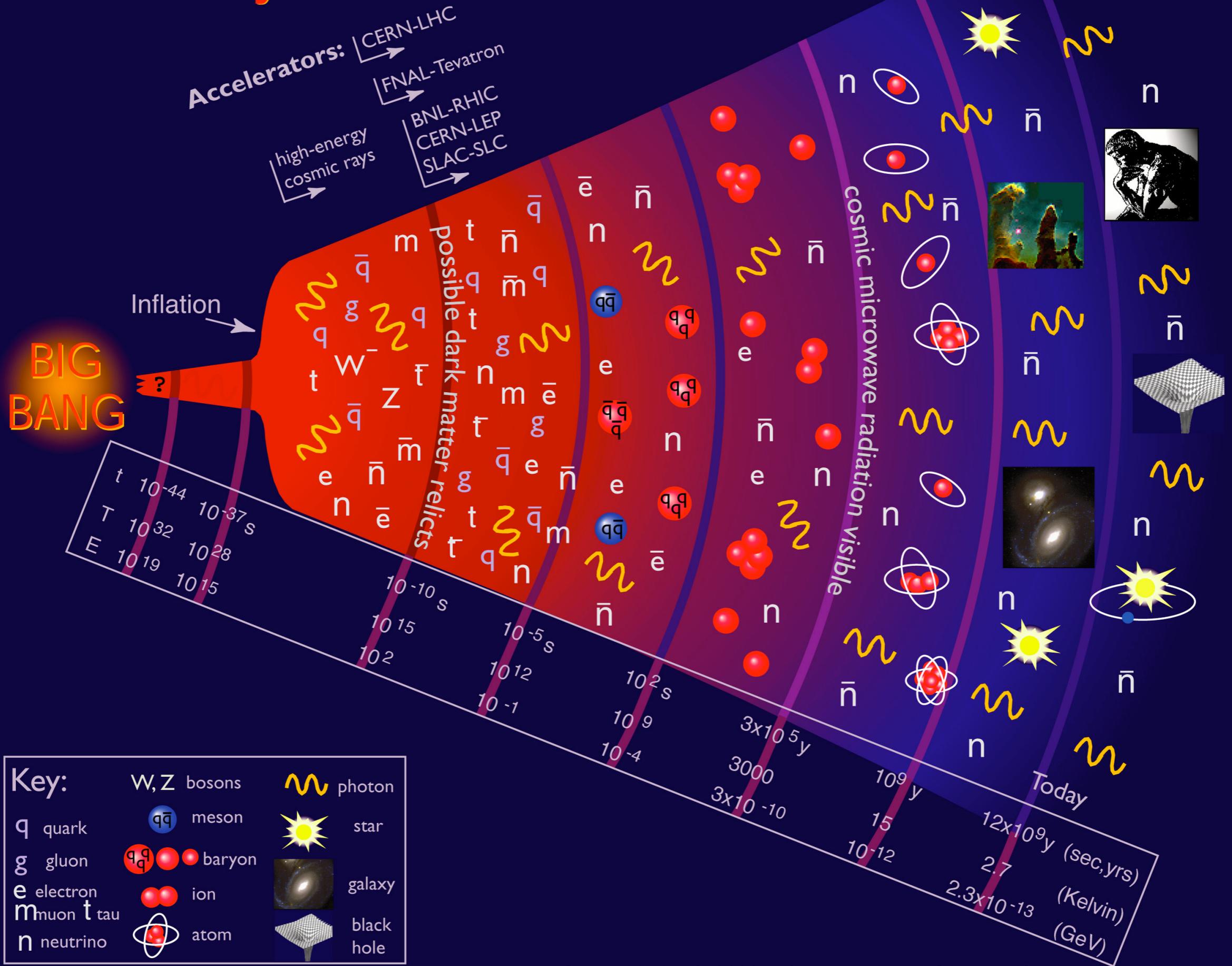
<http://indico.cern.ch/event/77816/>

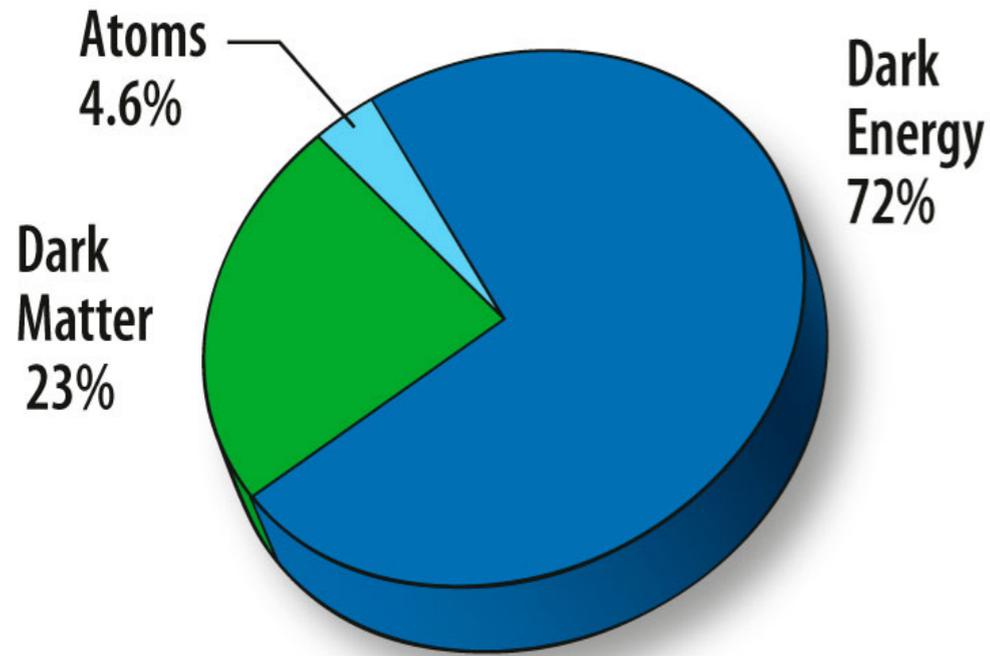
<http://cds.cern.ch/record/1248220/>

Michael S Turner



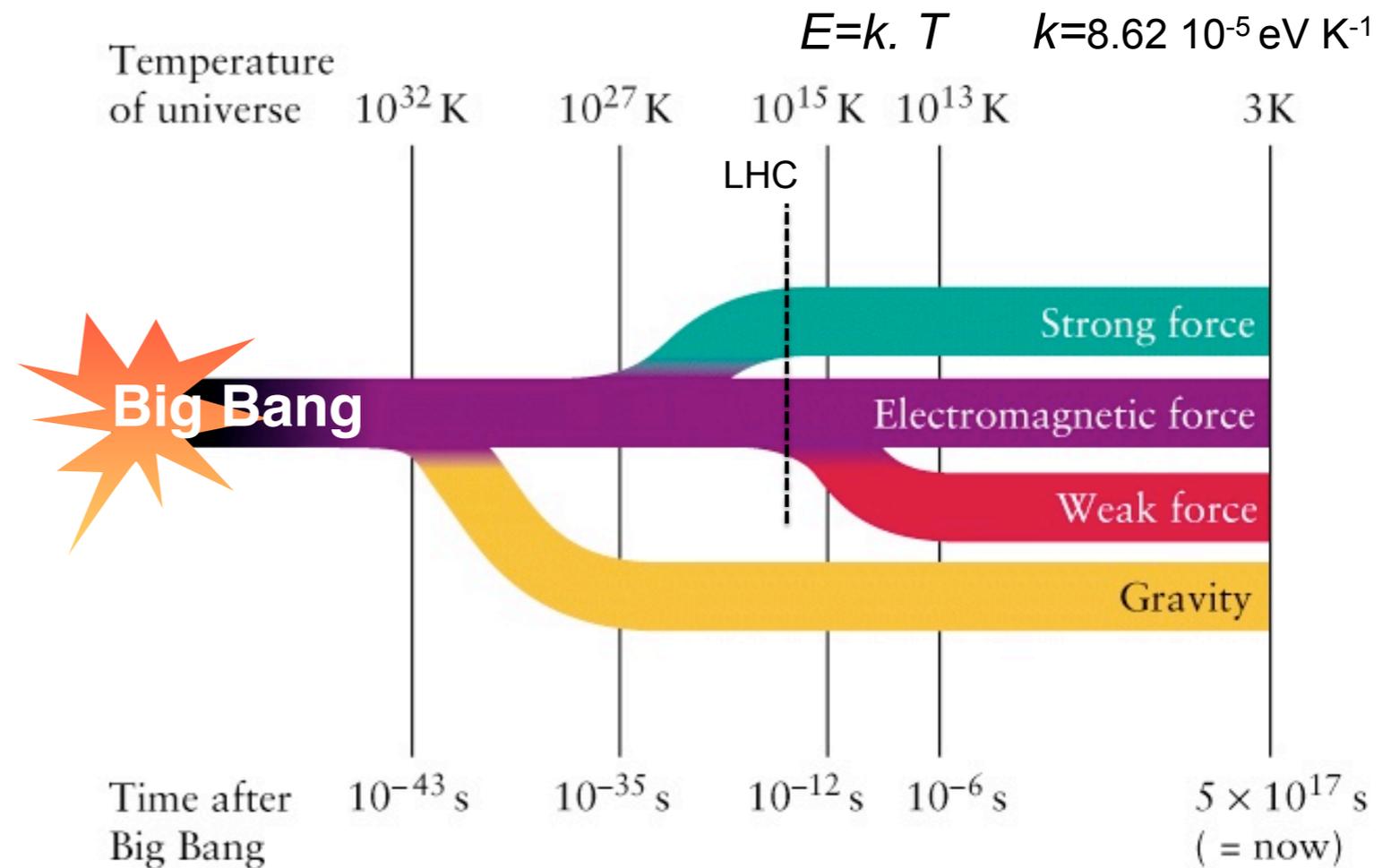
# History of the Universe





Le particelle che conosciamo compongono solo il 4% di tutto l'universo. Gran parte della massa non è visibile ma ne misuriamo gli effetti gravitazionali

È possibile che ad alta energia tutte le forze siano unificate in una sola interazione fondamentale ?



# ... buon lavoro !

- La fisica seleziona un aspetto della realtà: ciò che posso misurare in modo riproducibile
- Misurare significa mettere cose in relazione
  - è alla base dei nostri processi cognitivi.
- La fisica propone sempre una schematizzazione della realtà
  - l'ambito di validità di ogni modello non è infinito
  - l'esperimento è sovrano → una teoria cessa di valere non appena contraddetta dall'esperimento
- **Il mondo di oggi richiede innovazione, interdisciplinarietà e creatività:**
  - non si può prescindere dalla visione data dalla scienza fondamentale



# Alcuni link

|                       |                                                                                                                                                   |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Arte e Scienza        | <a href="https://web.infn.it/artandscience/index.php/en/">https://web.infn.it/artandscience/index.php/en/</a>                                     |
| Rivista<br>Asimmetrie | <a href="http://www.asimmetrie.it">www.asimmetrie.it</a>                                                                                          |
| Fisicast              | <a href="http://www.radioscienza.it/2016/06/25/la-materia-oscura/">http://www.radioscienza.it/2016/06/25/la-materia-oscura/</a>                   |
| INFN:                 | <a href="http://home.infn.it/it/">http://home.infn.it/it/</a><br><a href="http://home.infn.it/it/comunicazione">home.infn.it/it/comunicazione</a> |
| CERN TV:              | <a href="http://www.youtube.com/cern">www.youtube.com/cern</a>                                                                                    |

**BACKUP**

BACKUP

# L'energia di un acceleratore

$$1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ KeV} = 10^3 \text{ eV}$$

$$1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$$

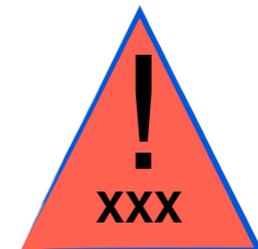
$$1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV} \quad (M_p \sim 1 \text{ GeV}/c^2)$$

$$1 \text{ TeV} = 10^{12} \text{ eV}$$

$$1 \text{ GeV}/c^2 = 1.7 \cdot 10^{-27} \text{ kg} : \text{sempre vera}$$

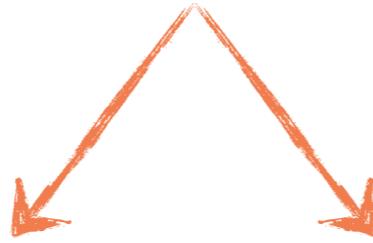
“Dall'annichilazione di un protone a riposo posso ottenere una energia nel centro di massa pari a 0.938 GeV”

→ conseguenza della relativita' ristretta:  $E = mc^2$

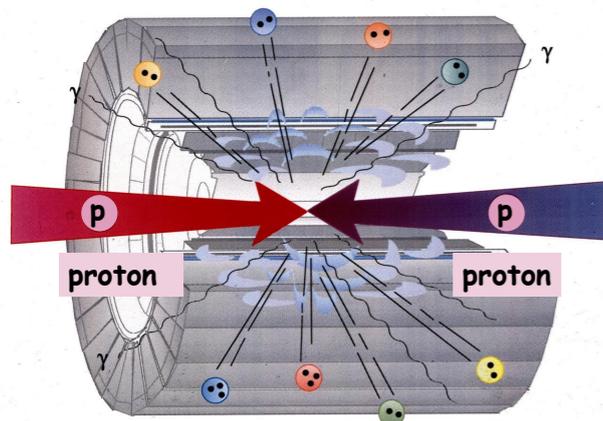


- Le forze si possono ricavare da “principi di simmetria”, ma soltanto se le particelle non hanno massa
- Nel 1964 R. Brout, F. Englert e P. Higgs immaginarono un meccanismo per dare massa alle particelle, senza violare la simmetria fondamentale della natura
  
- Come conseguenza di questo meccanismo doveva però esistere una particella che aveva proprietà molto particolari: il Bosone di Higgs

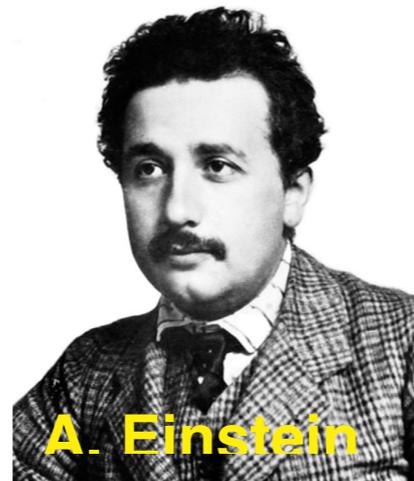
# Aumentando E



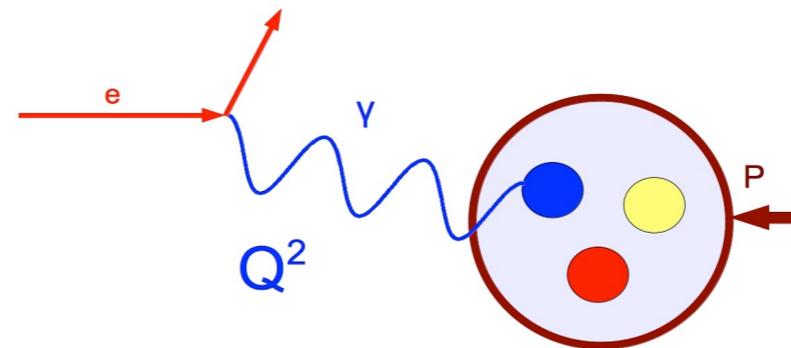
Posso materializzare  
particelle di massa  
maggiore



$$E = mc^2$$

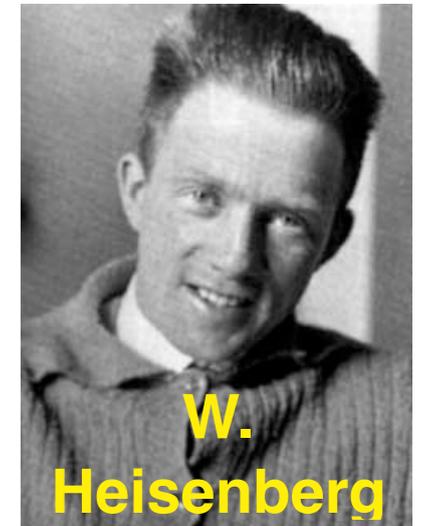


Migliora il potere  
risolutivo.



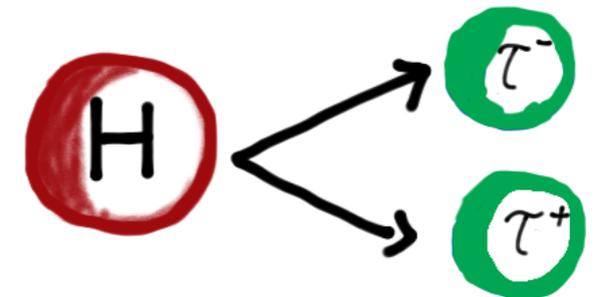
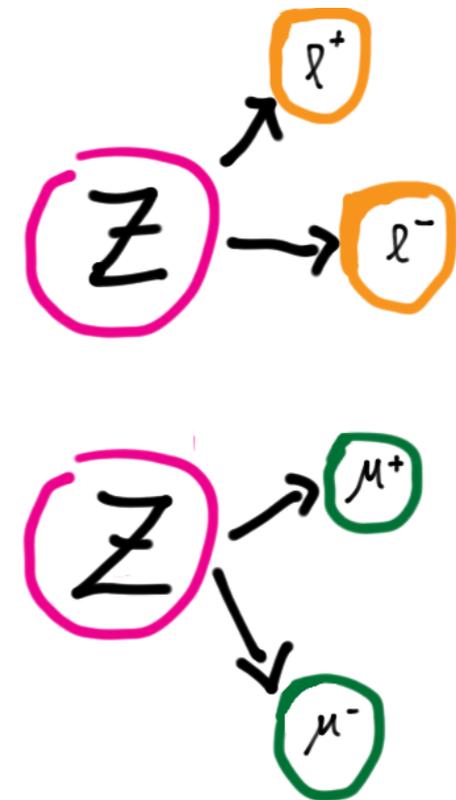
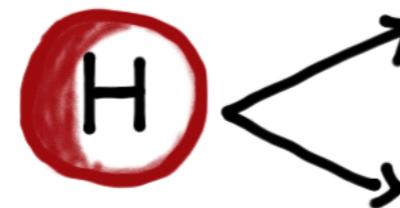
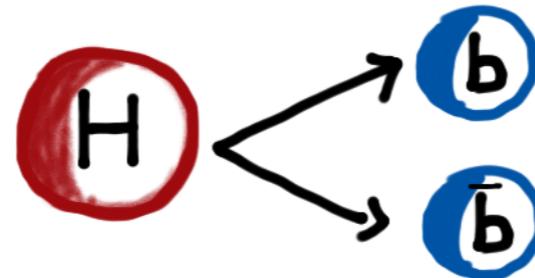
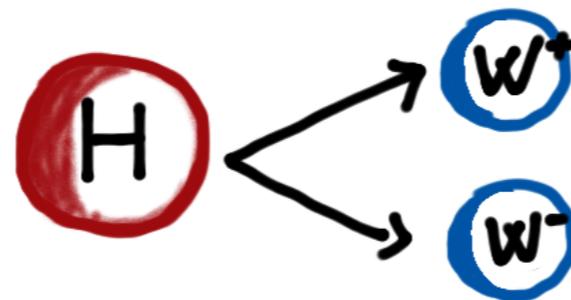
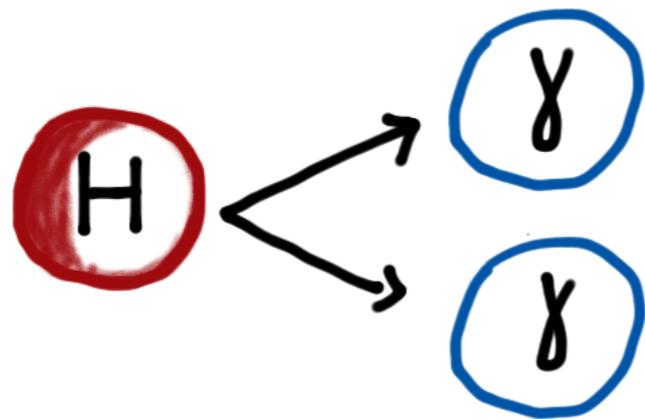
$$\Delta p \times \Delta x \approx \hbar$$

$$\Delta E \times \Delta t \approx \hbar$$

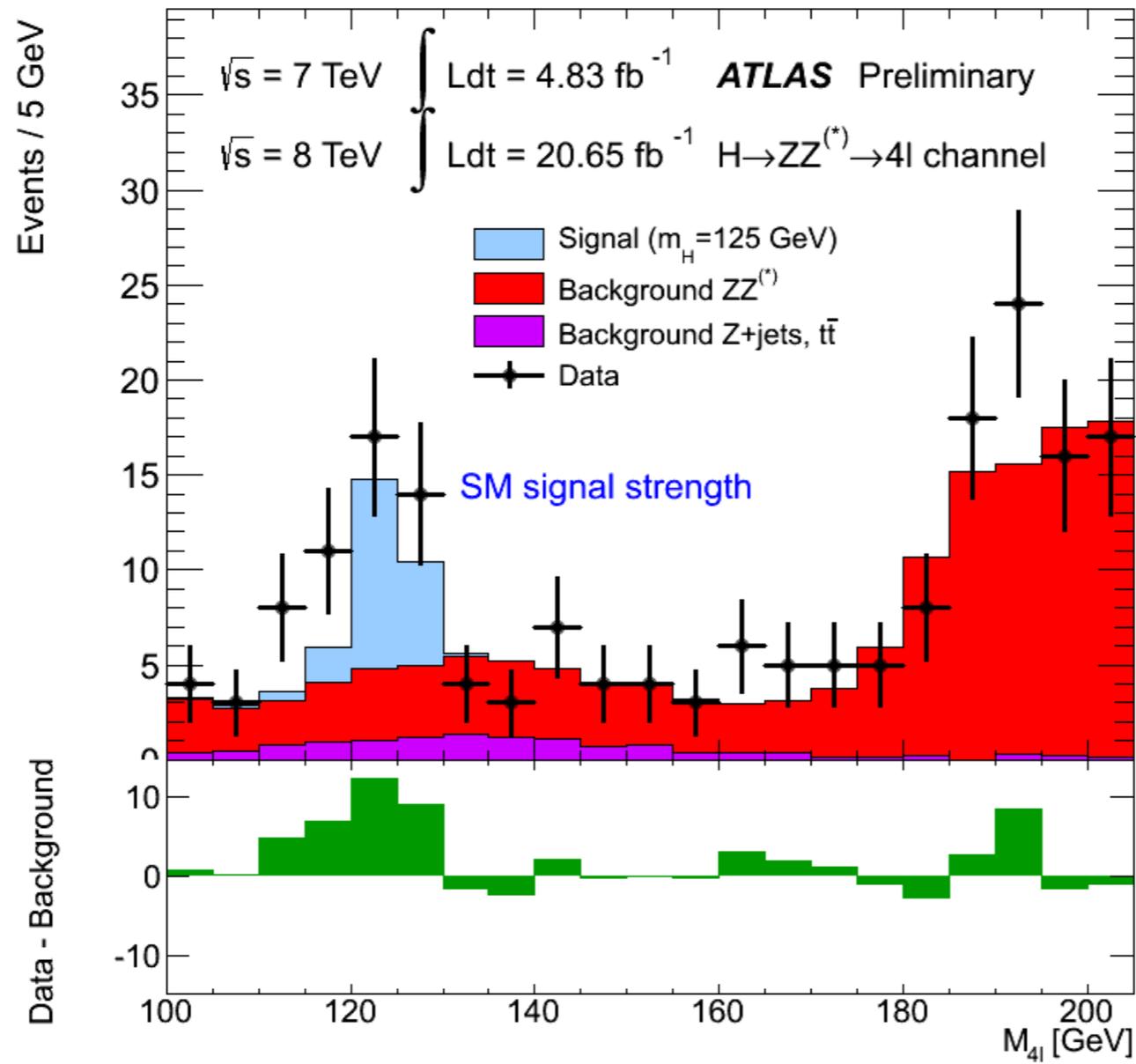


# La ricerca del bosone di Higgs

Circa 1 collisione p-p su 5 miliardi produce un bosone di Higgs. Come lo individuavo?

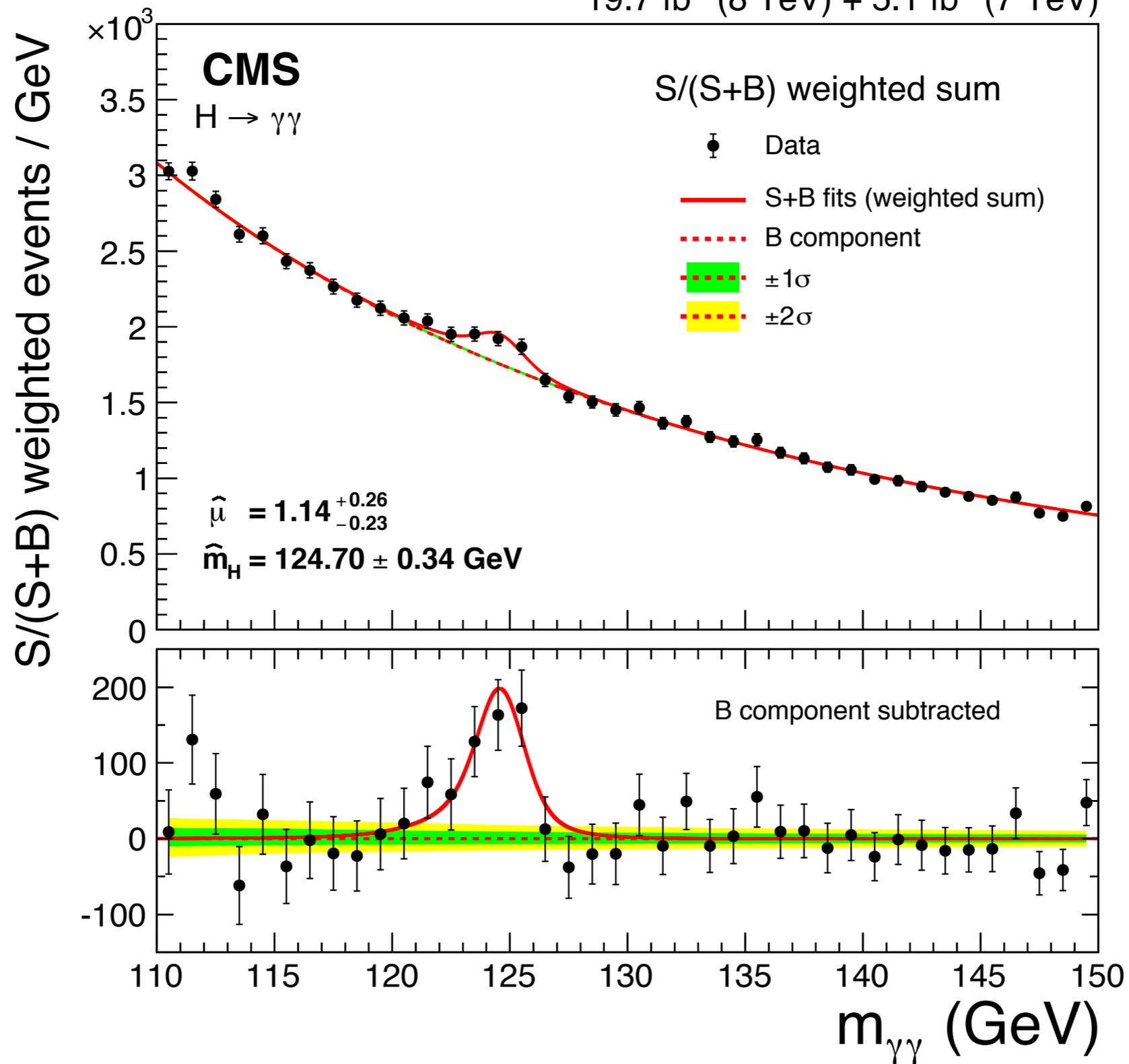


# ATLAS: $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4\ell$



# CMS: $H \rightarrow \gamma\gamma$

19.7 fb<sup>-1</sup> (8 TeV) + 5.1 fb<sup>-1</sup> (7 TeV)



# **Trasferimento Tecnologico**

# Cambiamento di paradigma

scienza  
applicata



# Cambiamento di paradigma

scienza applicata

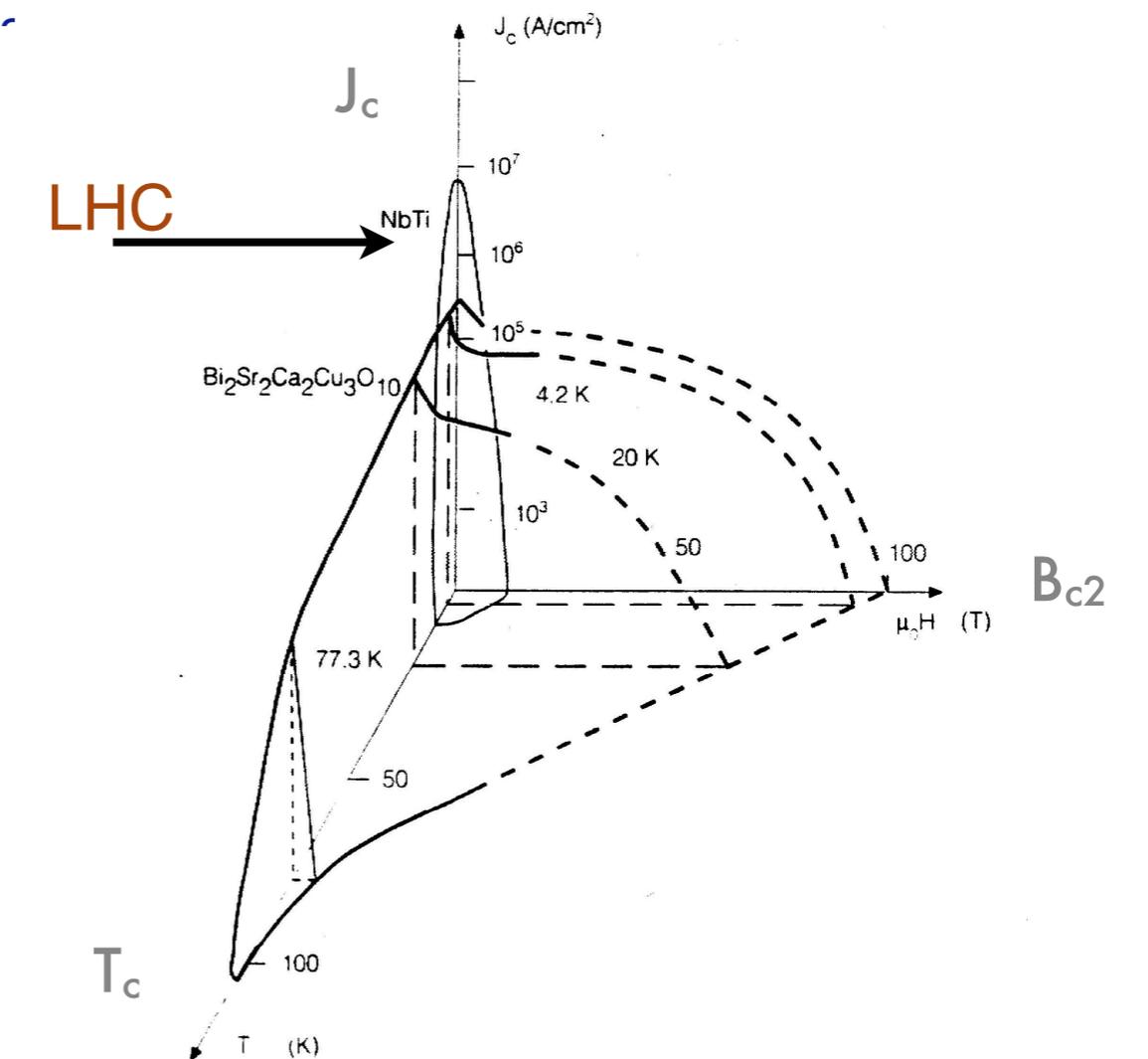
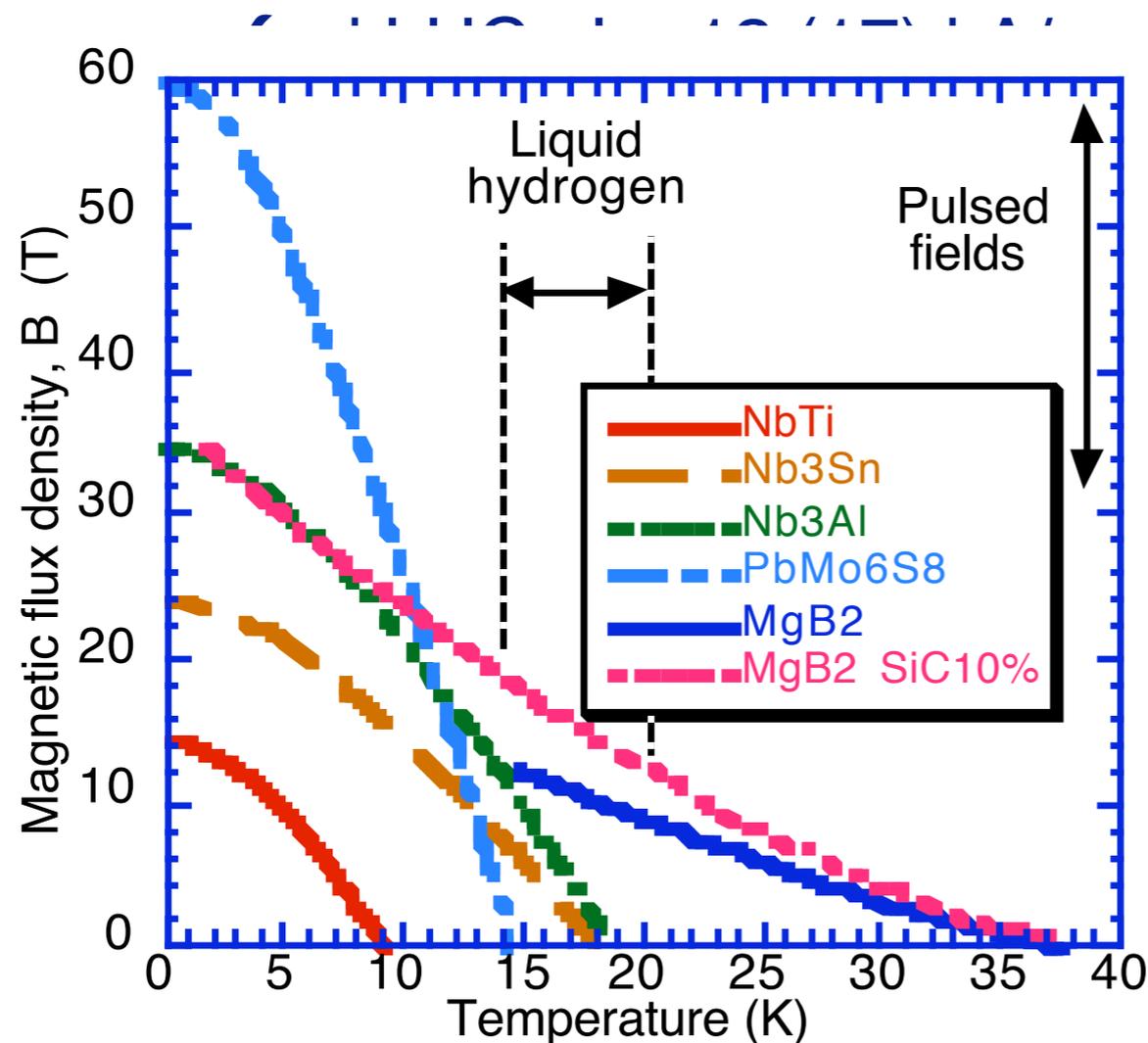


scienza  
fondamentale



# Perché NbTi ?

- La fase superconduttiva dipende da tre parametri:
  - temperatura
  - campo magnetico
  - densità di corrente



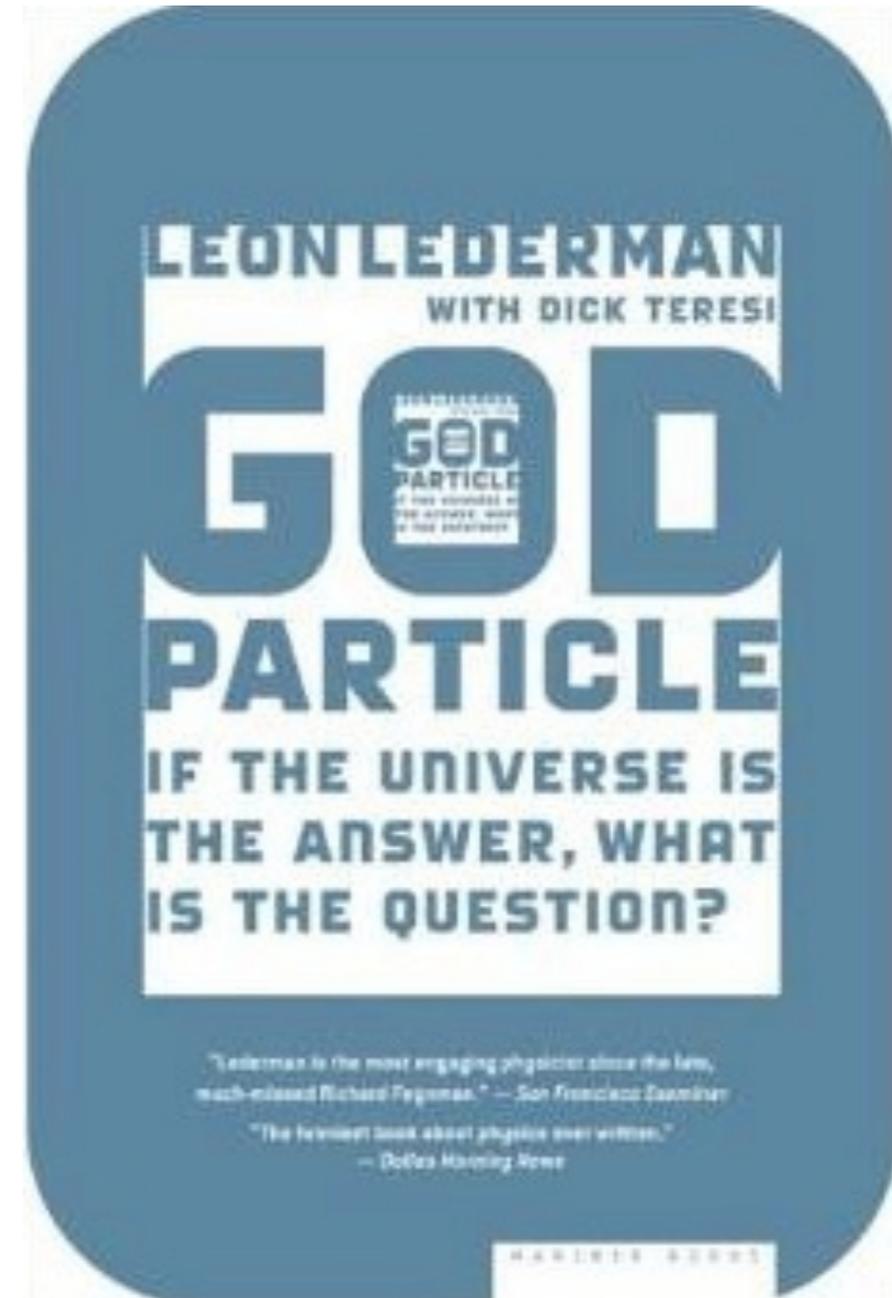
# Energia dei fasci e magneti

- Relazione diretta tra energia del fascio e corrente nei dipoli

| I (kA) | Energy (TeV) |
|--------|--------------|
| 0.76   | 0.45         |
| 2      | 1.18         |
| 6      | 3.5          |
| 6.7    | 4            |
| 8.5    | 5            |
| 9.3    | 5.5          |
| 10     | 6            |
| 12     | 7            |

# The GOD Particle

- Leon Lederman, direttore del Fermilab e premio Nobel per la fisica (insieme a Melvin Schwartz and Jack Steinberger) nel 1988





# CERN: Particle Physics and Innovation

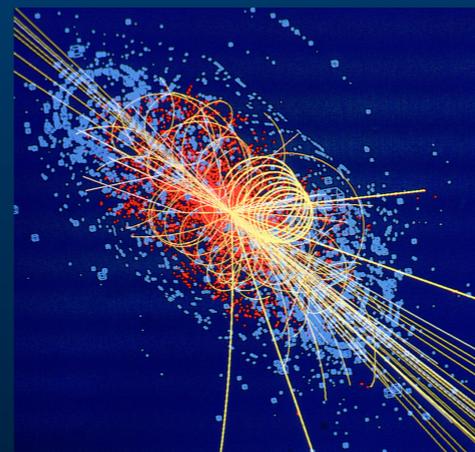
- **Interfacing** between fundamental science and key technological developments



- **CERN Technologies and Innovation**



Accelerating particle beams



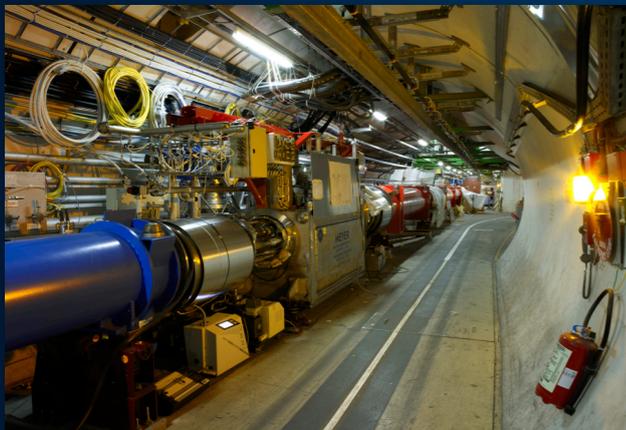
Detecting particles



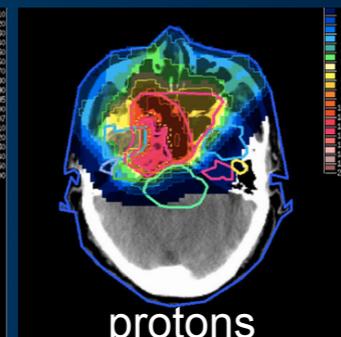
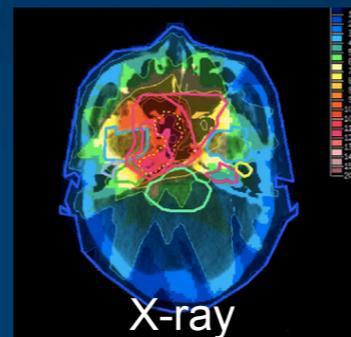
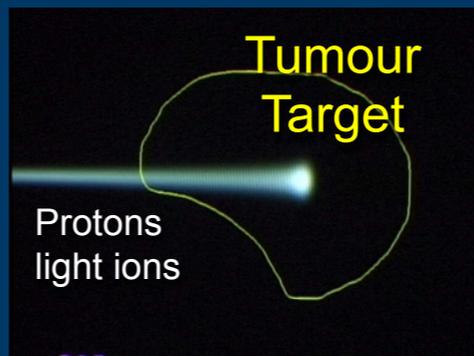
Large-scale computing (Grid)



Examples of applications: medical imaging, cancer therapy, solar panels, materials science, airport scanners, cargo screening, food sterilization, nuclear waste transmutation, analysis of historical relics, etc. etc. ...not to mention the WEB ...



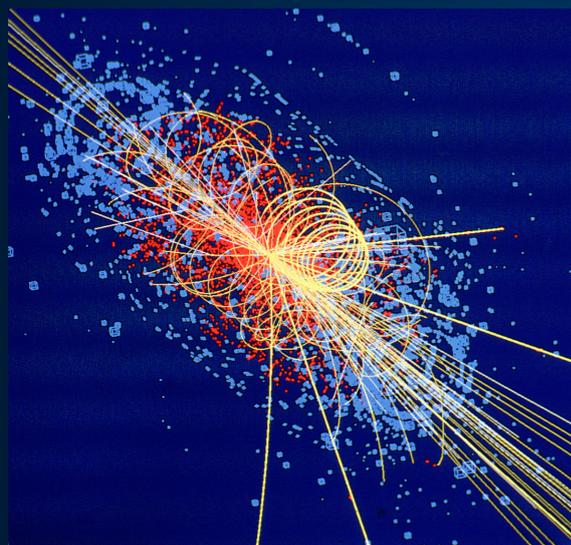
## Hadron Therapy



Leadership in Ion Beam Therapy now in Europe and Japan

Accelerating particle beams  
~30'000 accelerators worldwide  
~17'000 used for medicine

>100'000 patients treated worldwide (45 facilities)  
>50'000 patients treated in Europe (14 facilities – 1 in Krakow, Poland)

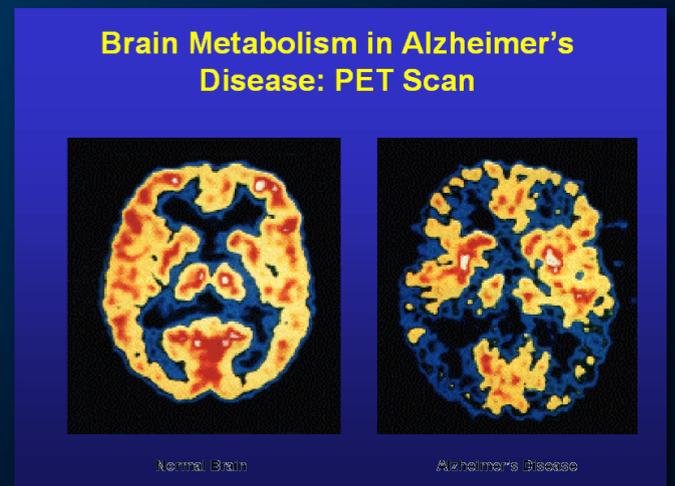


## Imaging

Clinical trial in Portugal, France and Italy for new breast imaging system (ClearPEM)



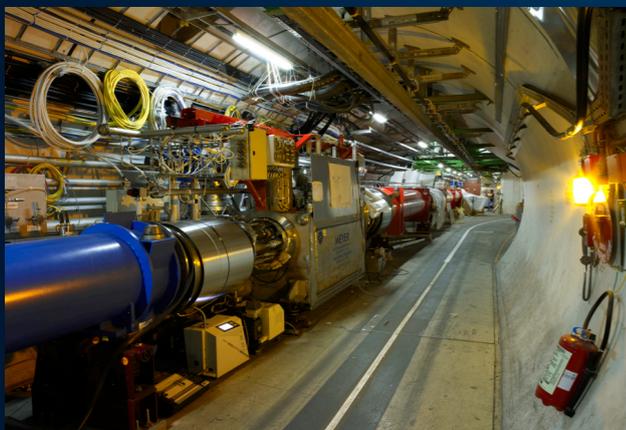
## PET Scanner



Detecting particles



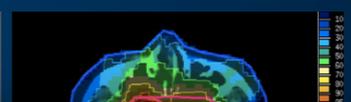
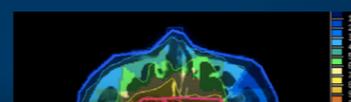
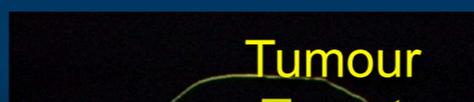
Examples of applications: medical imaging, cancer therapy, solar panels, materials science, airport scanners, cargo screening, food sterilization, nuclear waste transmutation, analysis of historical relics, etc. etc. ...not to mention the WEB ...



Accelerating particle beams  
~30'000 accelerators worldwide  
~17'000 used for medicine



## Hadron Therapy



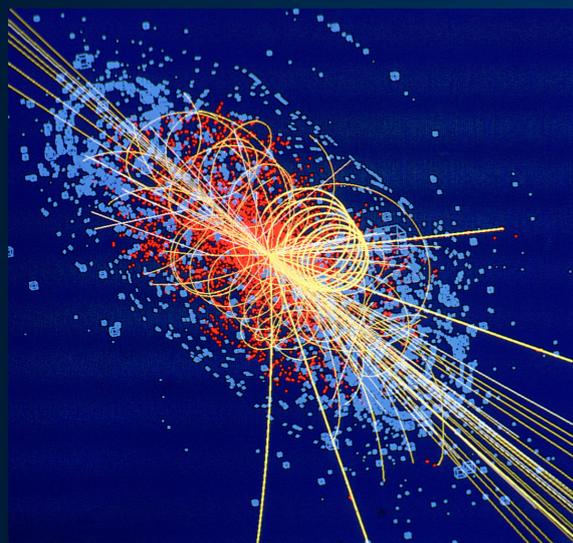
Leadership in Ion  
Beam Therapy now

Più di 30 mila acceleratori nel mondo.

~ 100 di questi sono collegati ad esperimenti di fisica nucleare o delle particelle.

Il resto è utilizzato in diverse aree applicative:

- cura dei tumori
- industria dei semiconduttori
- saldatura con fasci di elettroni
- sterilizzazione medica o del cibo
- produzione di radioisotopi
- radiazione di sincrotrone
- neutroni per fisica stato solido e biologia
- salvaguardia dei beni culturali



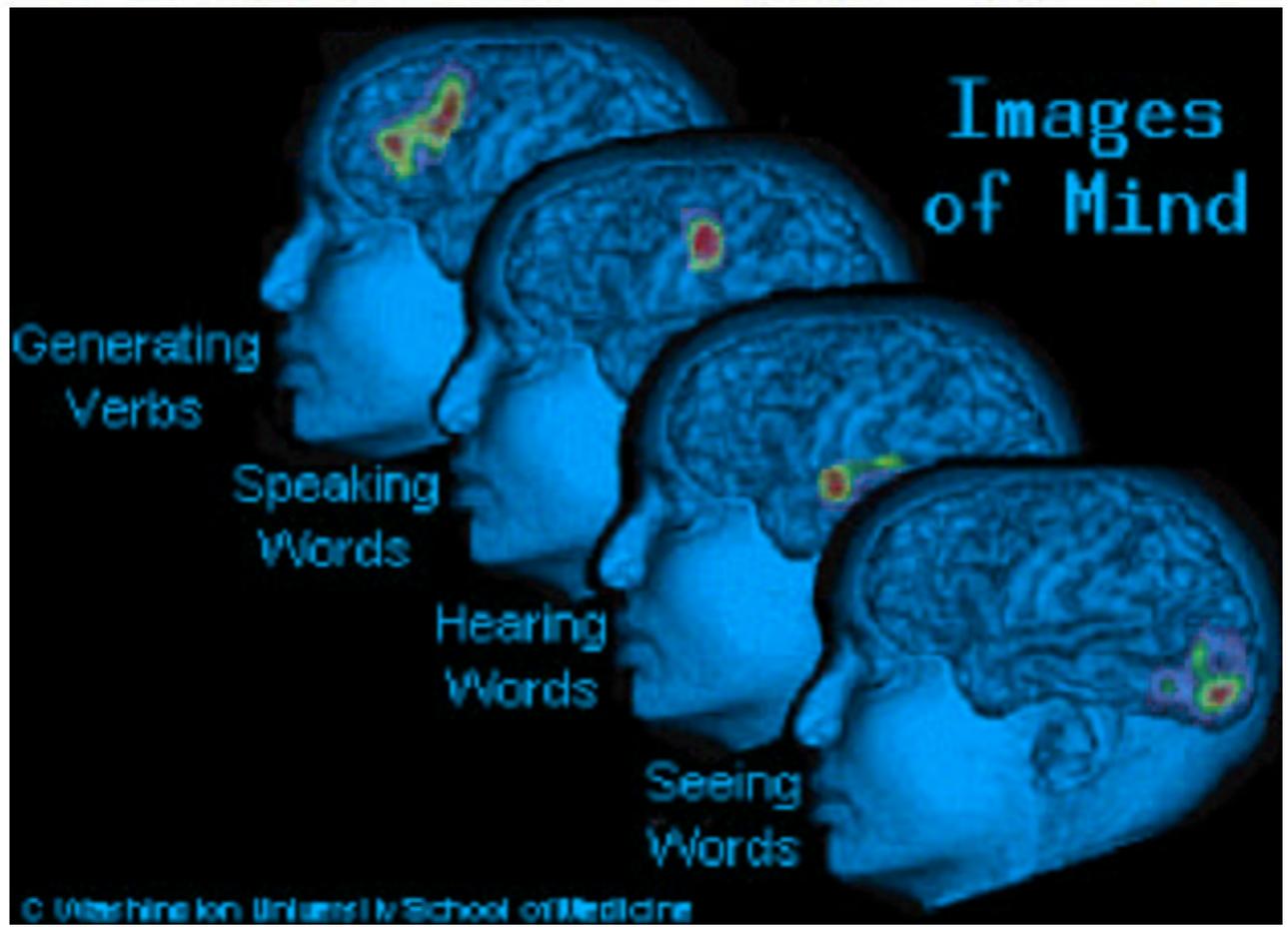
Detecting particles



Normal Brain

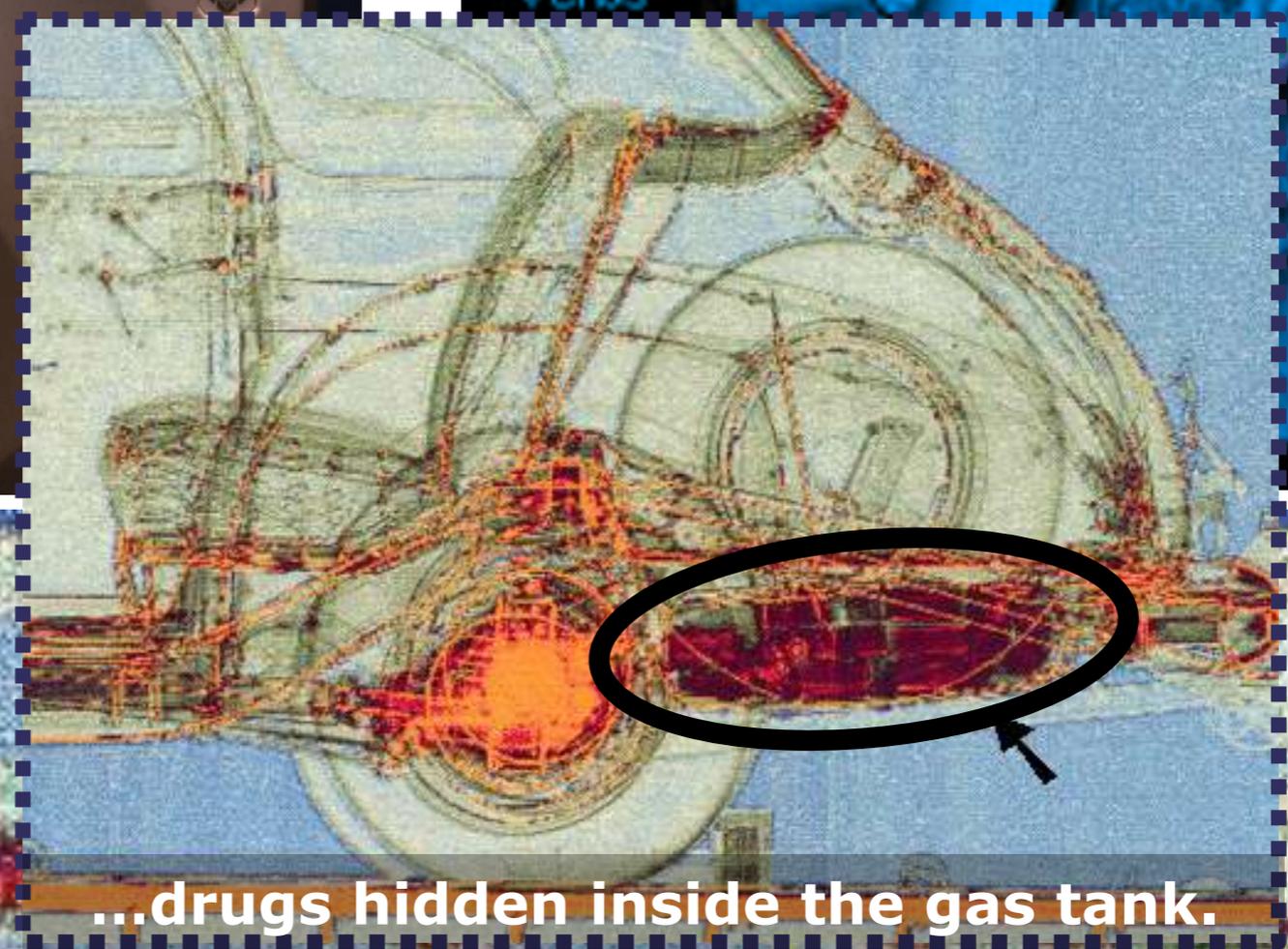
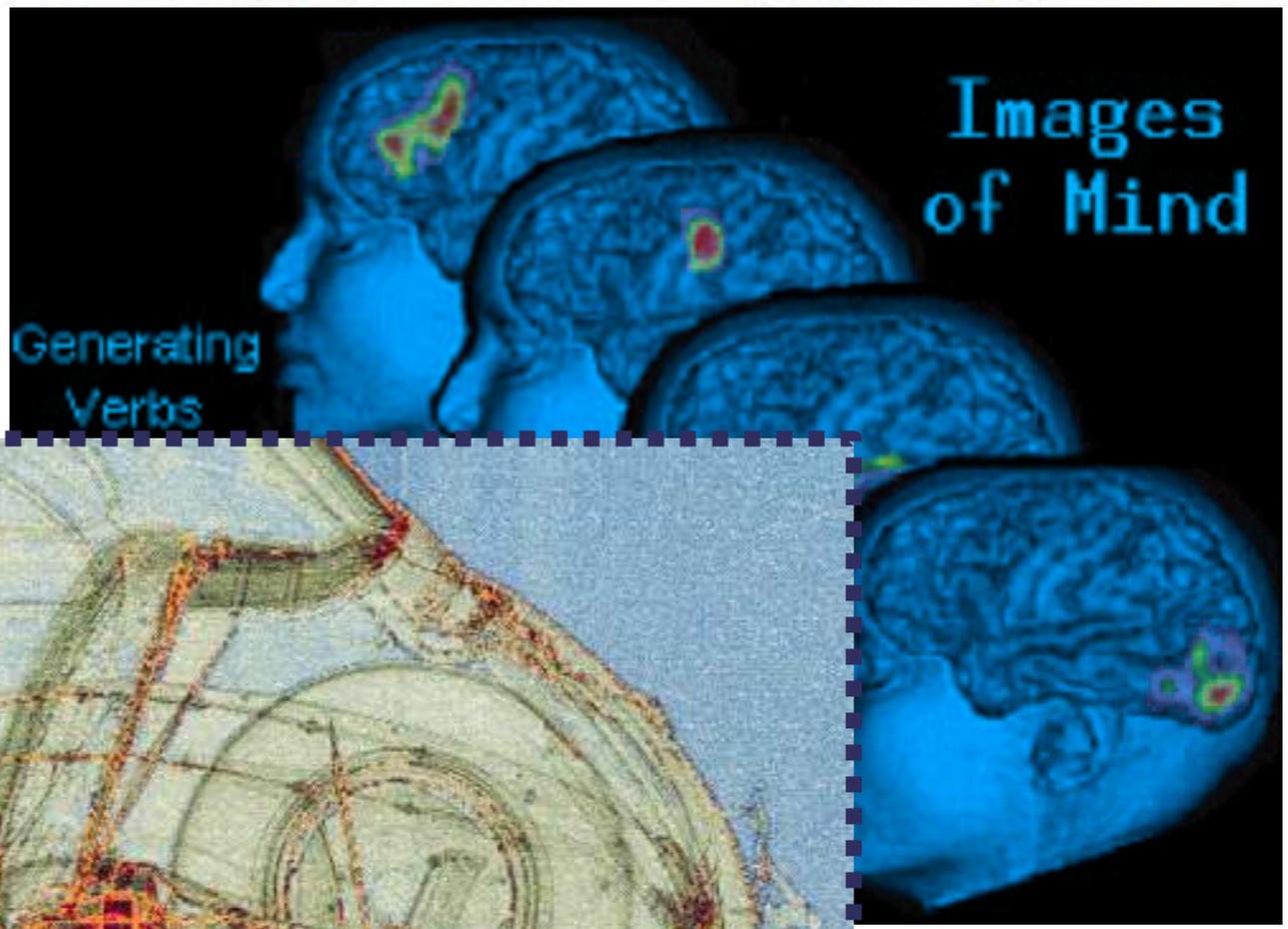
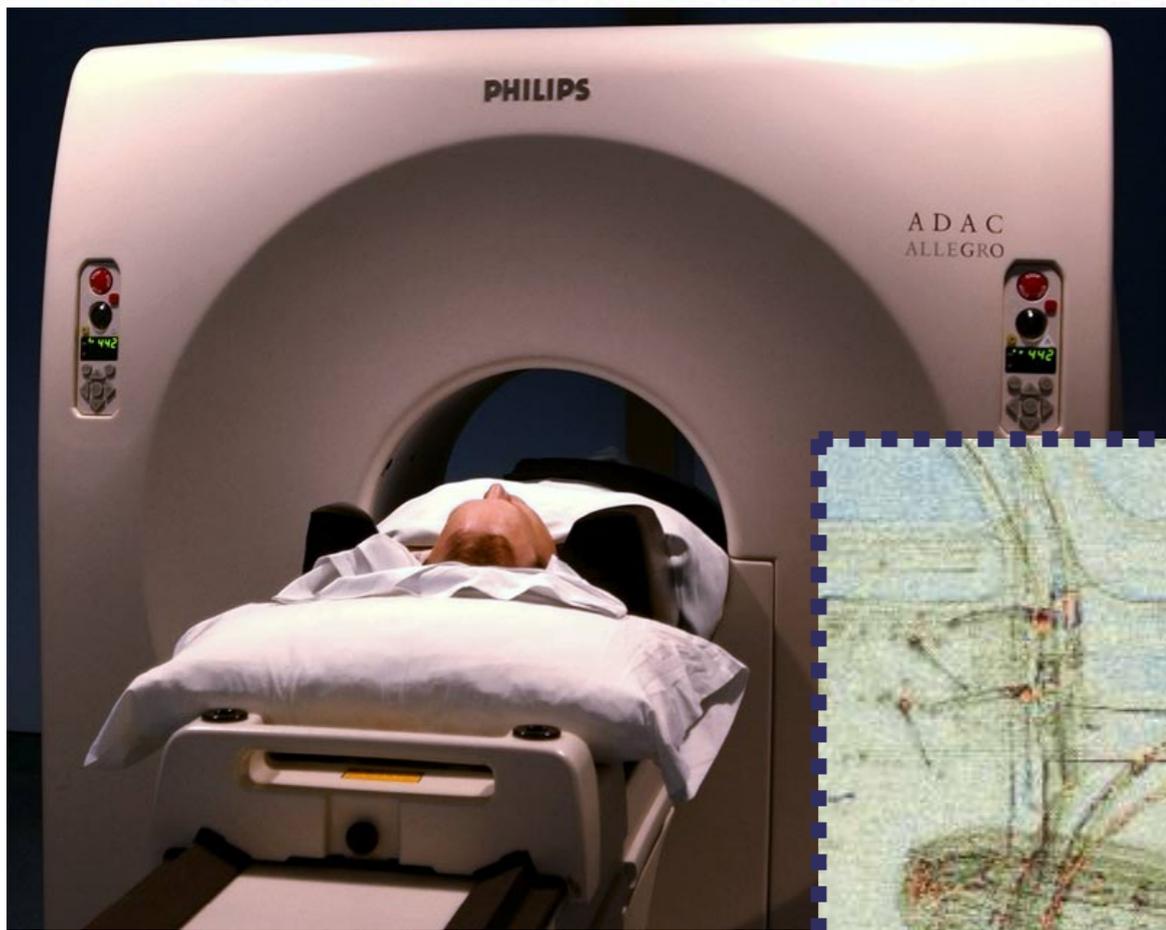
Alzheimer's Disease

# Other uses for CERN-made detectors



**A truck, carrying two cars in a container and...**

# Other uses for CERN-made detectors



...drugs hidden inside the gas tank.

A truck, carrying two cars in a container and...