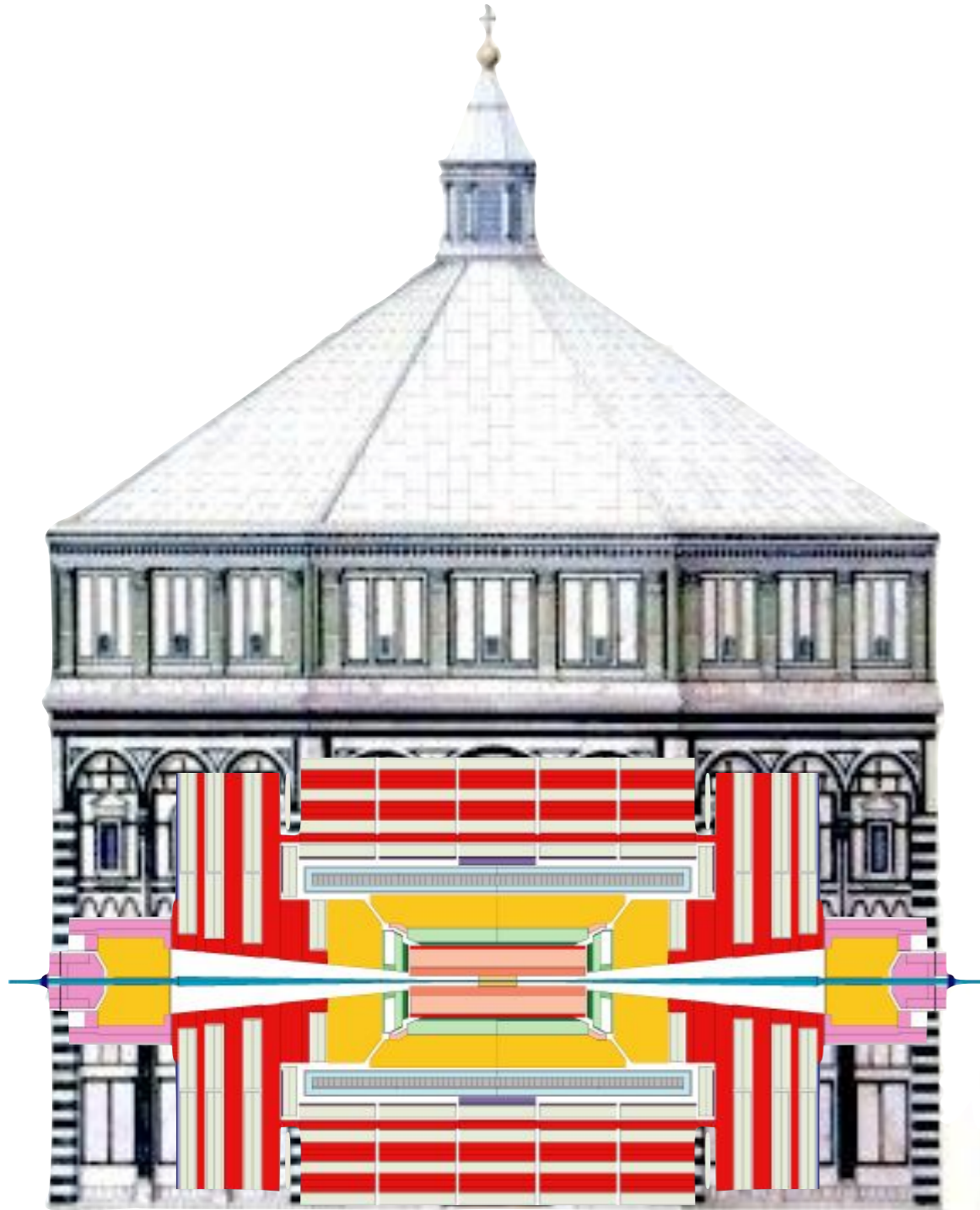


**Progetto**

**Art**  **Science** ACROSS ITALY

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



# Oltre la materia

**Incontro con il Liceo  
Scientifico Rodolico  
15 gennaio 2018**

**Lucio Anderlini**

per il comitato organizzatore:

**L. A., M. Fedi, L. Liccioli, S. Mariani, S.  
Paoletti, R. Stanga, E. Vannuccini**

**INFN Firenze**



# L'INFN

<http://www.infn.it/comunicazione>

e

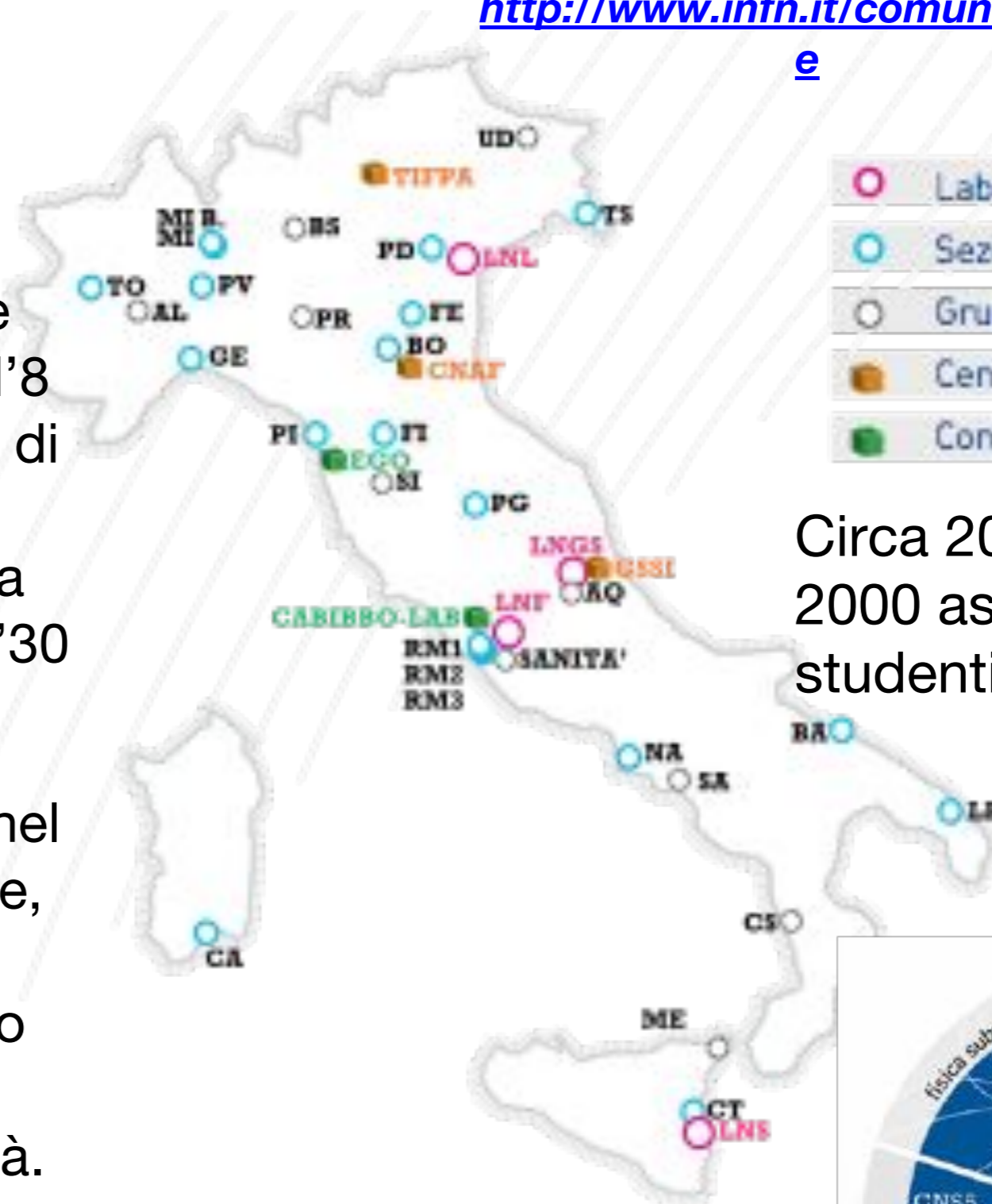


- **L'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare** è un Ente Pubblico di Ricerca, nato l'8 agosto 1951 con lo scopo di raccogliere l'eredità delle ricerche svolte dalla scuola di Enrico Fermi negli anni '30

- promuove, coordina ed effettua la ricerca italiana nel campo della fisica nucleare, subnucleare ed astroparticellare, nonché lo sviluppo tecnologico necessario a queste attività.

- Opera in stretta connessione con l'Università e nell'ambito della collaborazione e del confronto internazionale.

- Modello organizzativo democratico sviluppato su 5 grandi linee di ricerca.



○	Laboratori	4
○	Sezioni	20
○	Gruppi Collegati	10
○	Centri Nazionali	3
○	Consorti	2

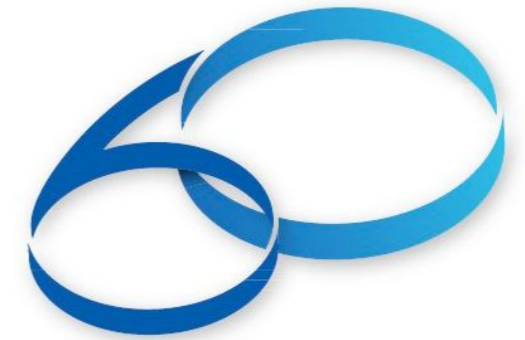
Circa 2000 dipendenti, 2000 associati, 1000 studenti e borsisti



# 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.

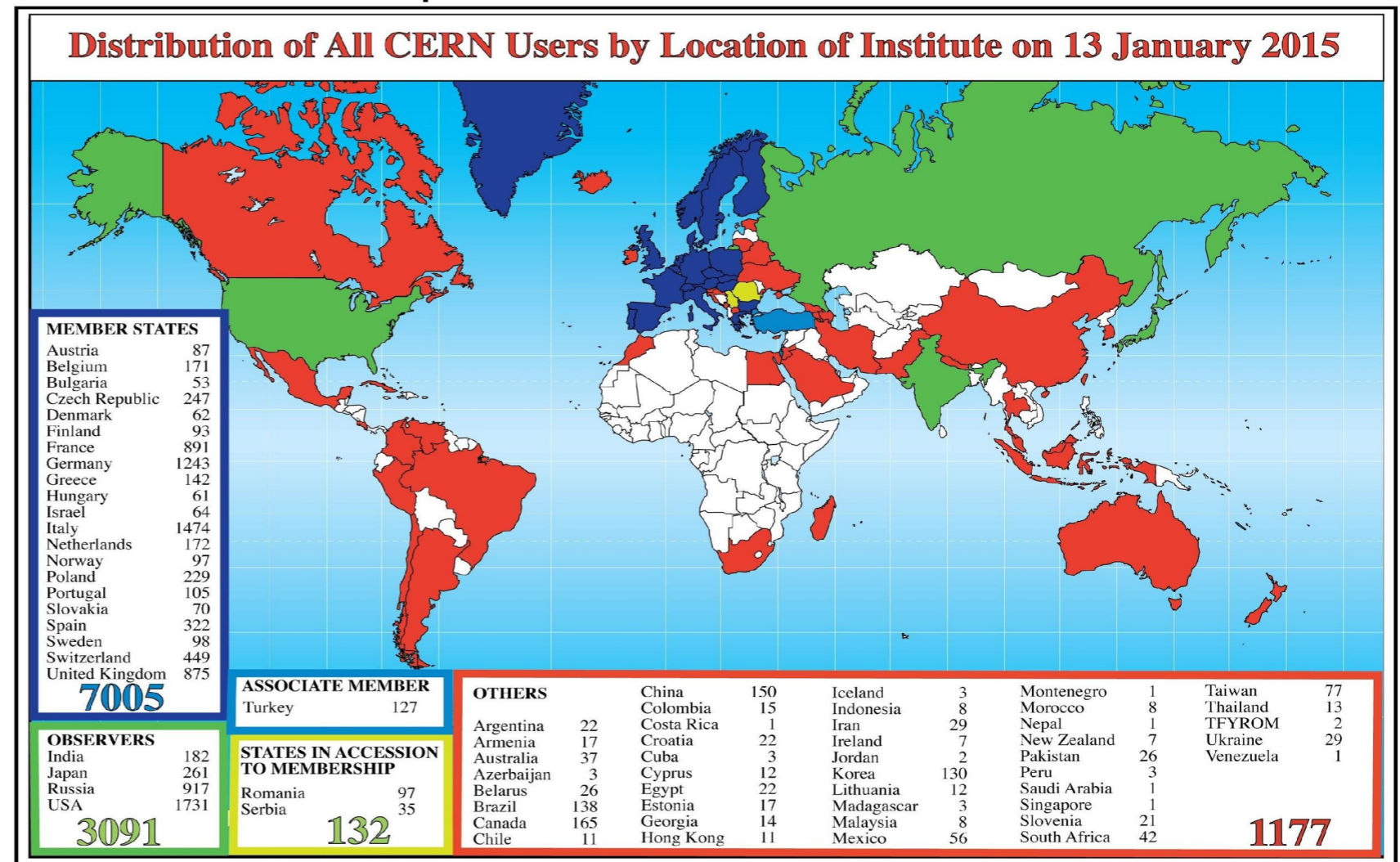


YEARS / ANS CERN  
**1954 2014**

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.



# ARTE e SCIENZA



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

**Arte = “saper fare”**

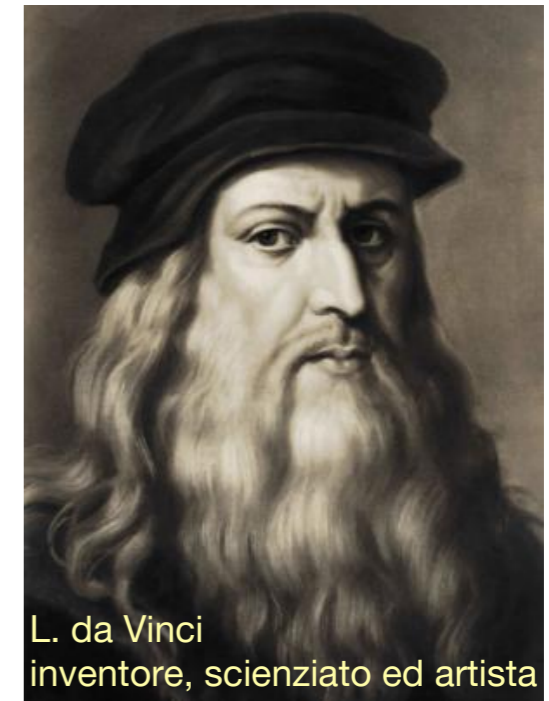
- ...a regola d'arte
- arti e mestieri...



~1700: estetica  
 (“belle arti”)



capacità di veicolare  
emozioni e messaggi  
soggettivi



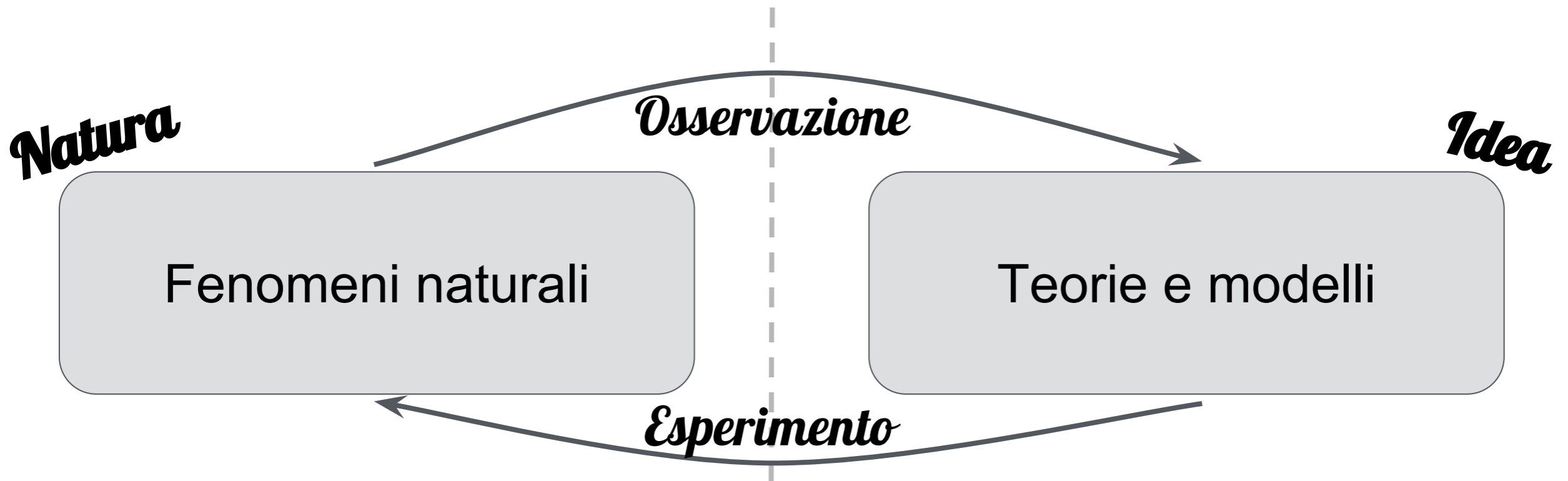
Originalità dell'idea

anche messaggi  
politico/sociali

# La scienza “moderna”

*Secondo mio avviso si ha a distinguere primieramente queste cose:  
che è quello che sempre è, e non ha generazione;  
e che è quello che sempre si genera, e mai non è?*

*Timeo, Platone*



*Galileo Galilei,  
il primo scienziato moderno*

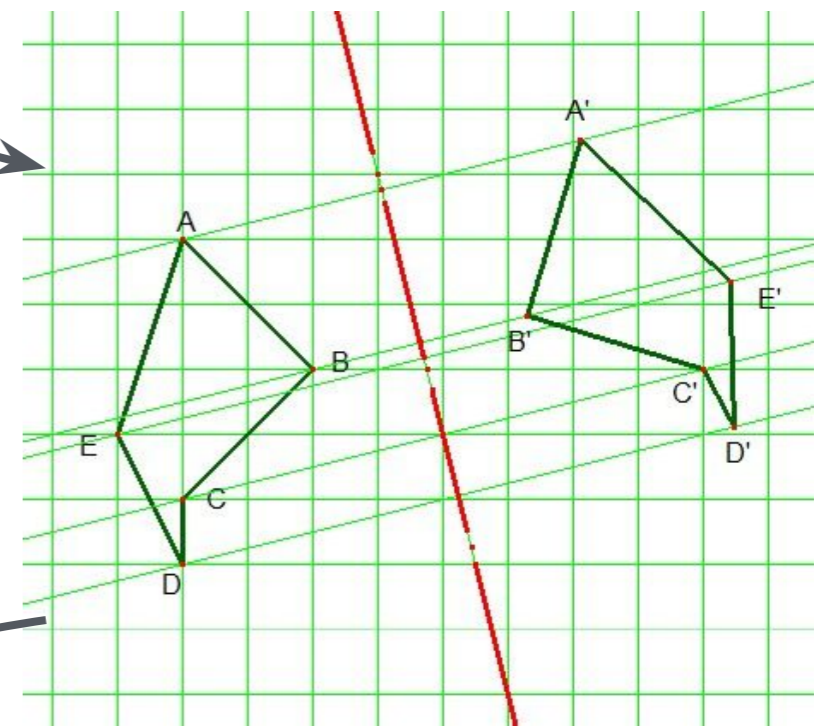
Questo dialogo tra *Natura* e *Idea* è formalizzato nel **Metodo Sperimentale** che rappresenta il fondamento della scienza moderna.

# Che cos'è un modello?

*A serious man, Fratelli Cohen, 2009*



*Osservazione*



*Esperimento*



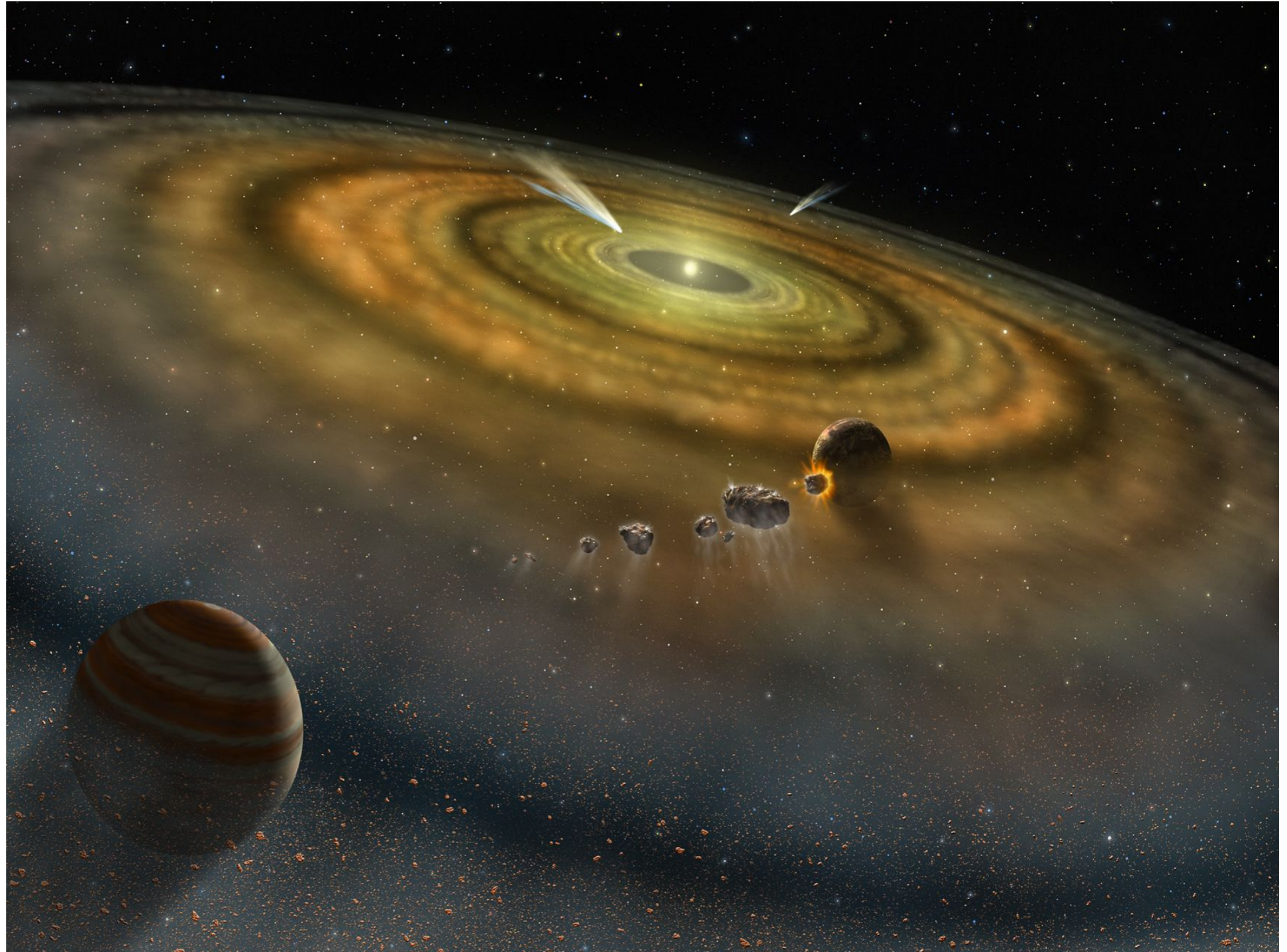
# Simmetria ↔ Armonia



bellezza, assoluto, perfezione

Ad ogni simmetria di un sistema  
corrisponde una legge di conservazione:

- traslazione → quantità di moto
- rotazione → momento angolare





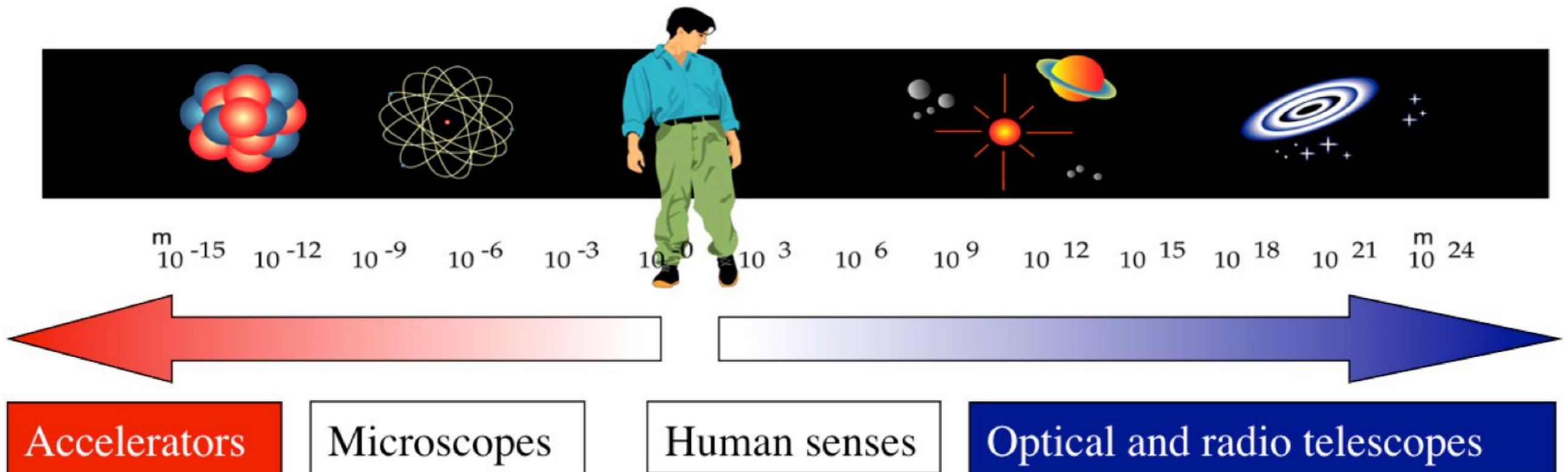
Nel modello faccio delle approssimazioni per semplificare il problema

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

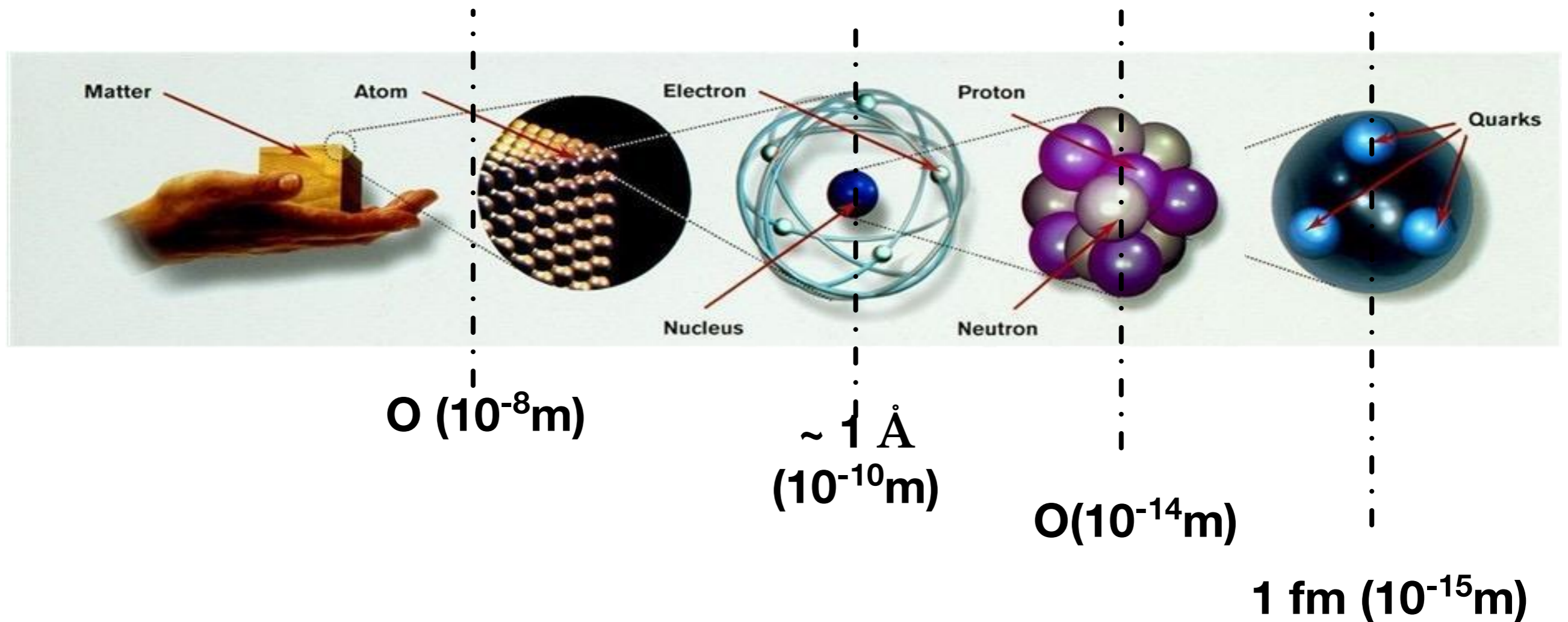
La natura non è mai completamente simmetrica  
→ la simmetria è “rotta” a qualche ordine di grandezza

# La missione: capire la natura

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

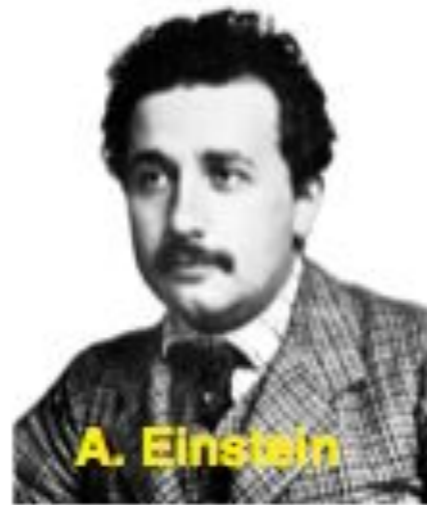


# La struttura della Materia

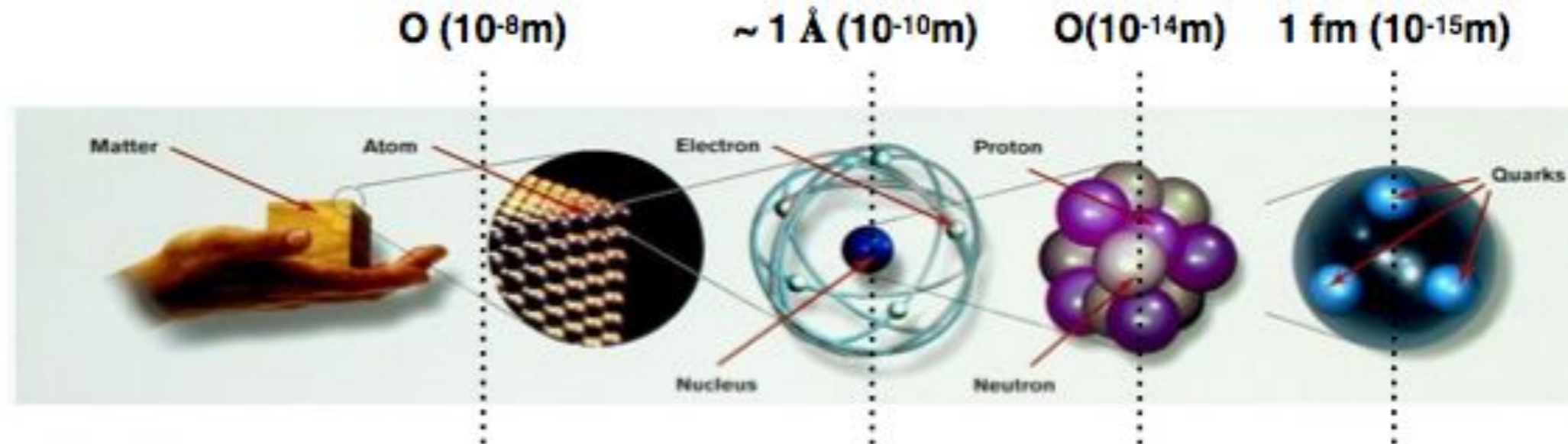
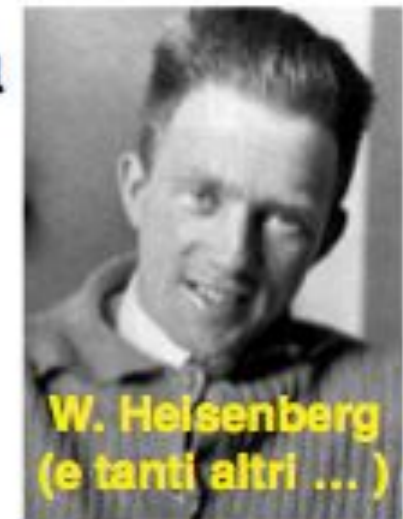


# Nuove regole del gioco

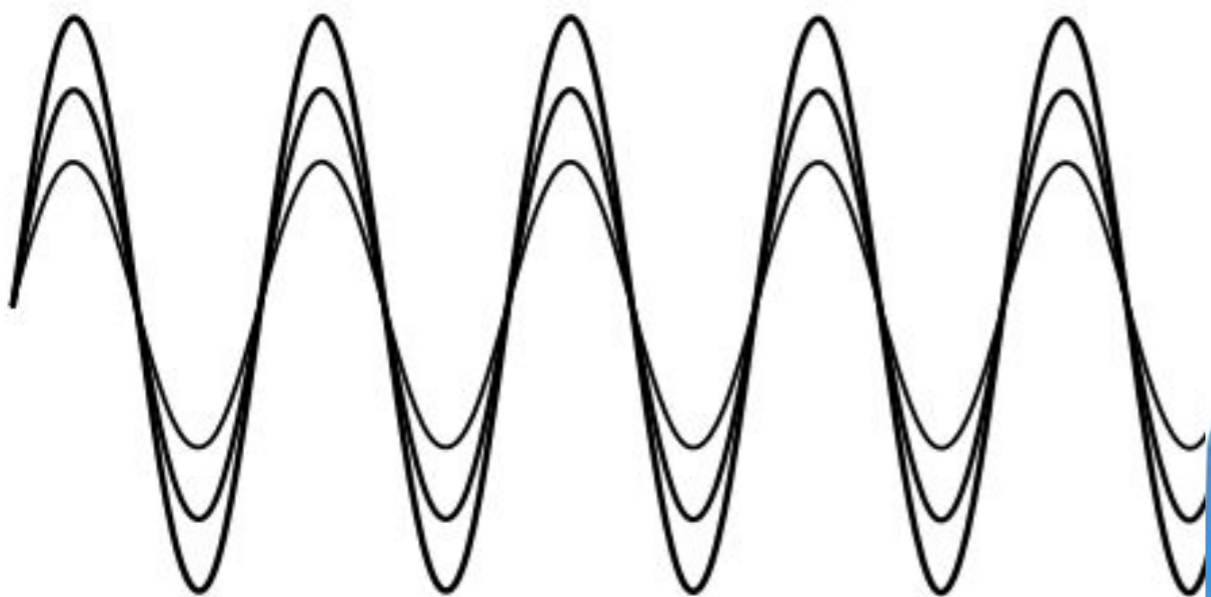
Relatività  
 $E = mc^2$   
 $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$



Meccanica quantistica  
 $\Delta p \times \Delta x \geq \hbar$   
 $\Delta E \times \Delta t \geq \hbar$   
 $\hbar = h/2\pi$   
 $h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ Js}$



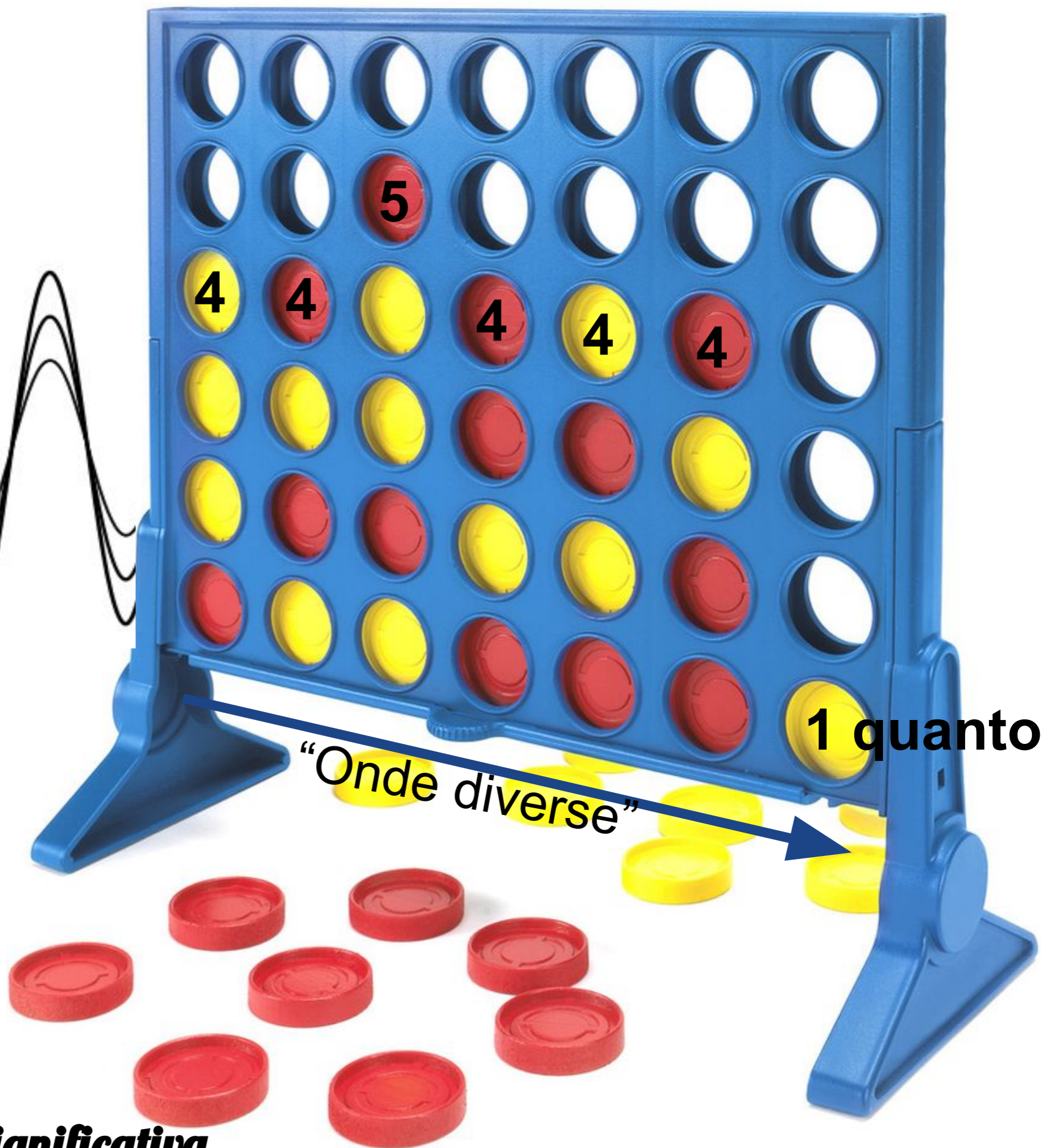
# *Dualismo Onda-Corpuscolo*



L'intensità delle onde (ad esempio le onde elettromagnetiche) varia in modo "discreto", non "continuo".

Per questo, quando l'onda è molto poco intensa, è più semplice descriverla come un "quanto di eccitazione" ossia una particella.

***Ma con una differenza molto significativa...***

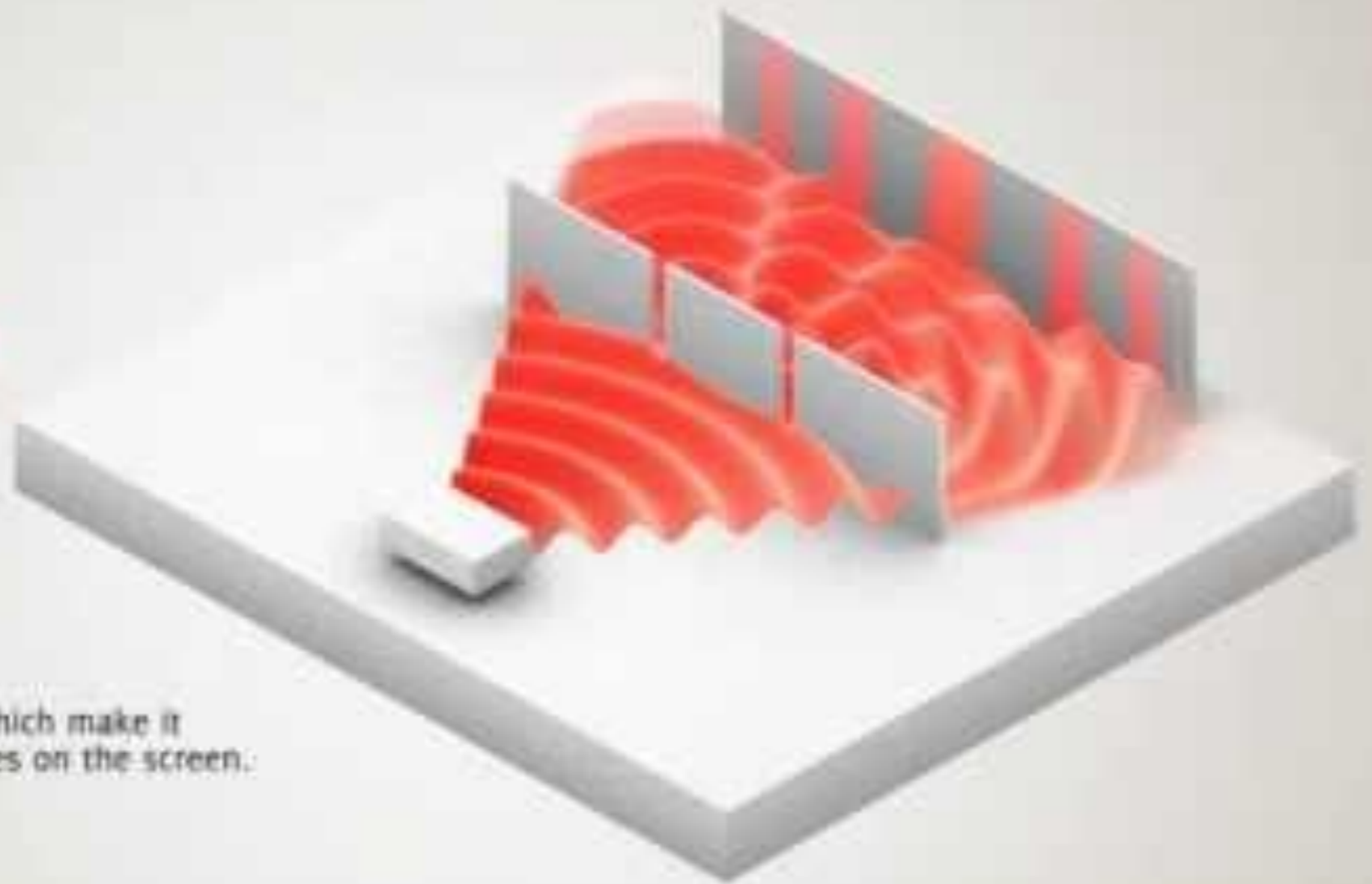




## WAVE PARTICLE DUALITY

- ▶ particle
- ▶ wave
- ▶ quantum object
- ▶ add an observer

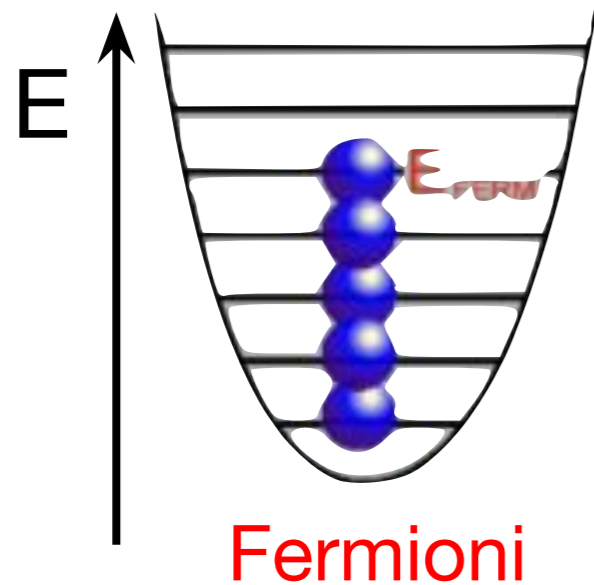
▶ A wave is sent on two slits which make it interfere. This results in fringes on the screen.





# Fermioni

I “mattoni” della materia



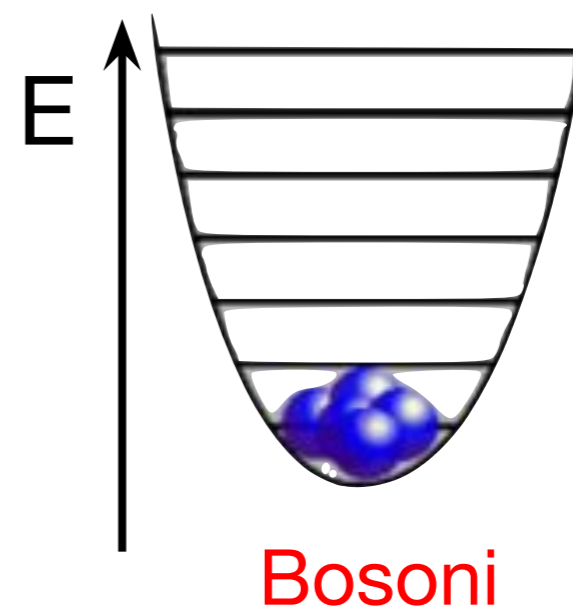
**Statistica di Fermi-Dirac** → due fermioni identici non possono occupare lo stesso stato quantistico (principio di esclusione di Pauli).

→ orbitali atomici e varietà degli elementi chimici



# Bosoni

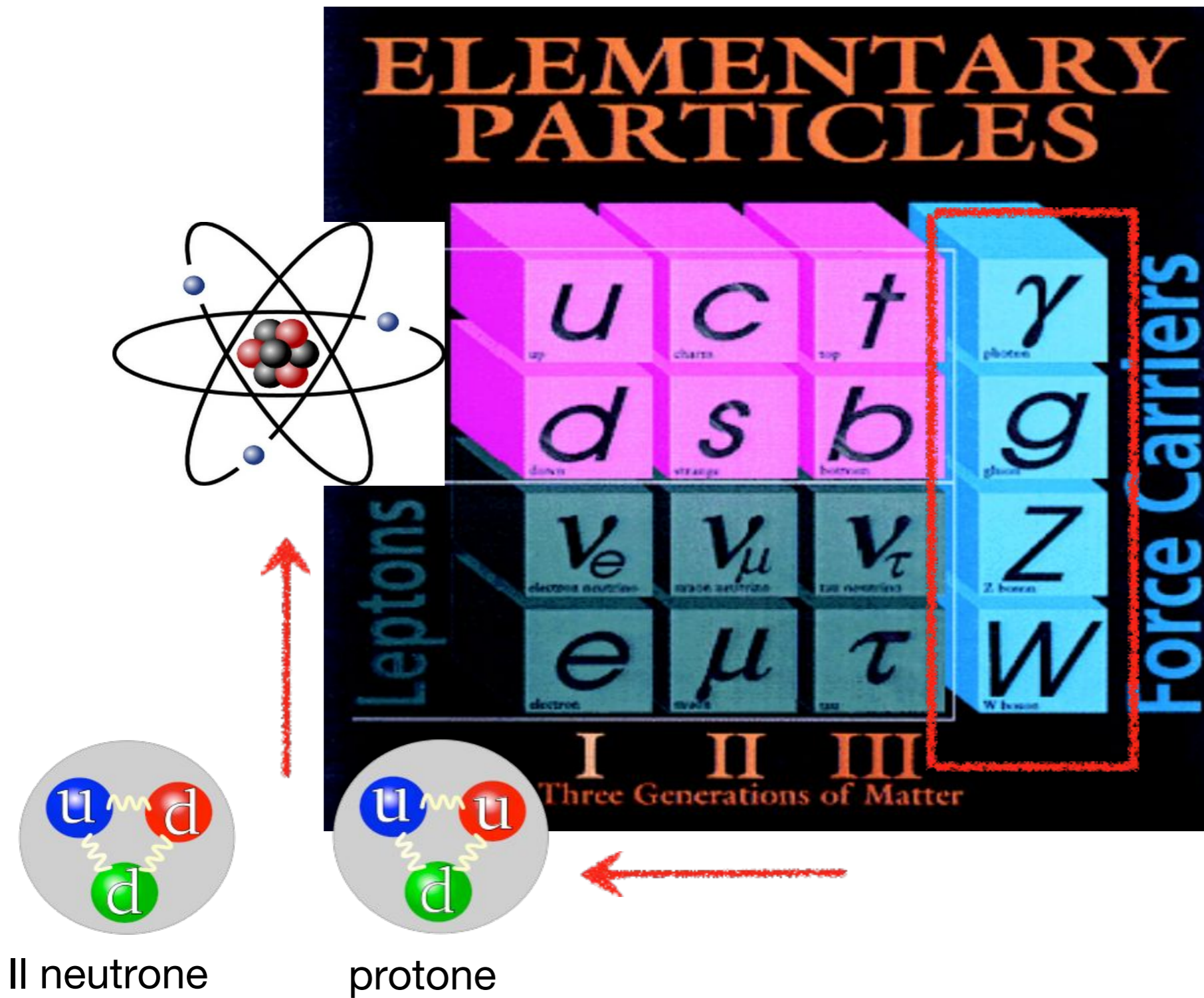
I messaggeri



**Statistica di Bose-Einstein:** due bosoni identici possono coesistere nello stesso stato quantistico.  
→ laser, superconduttività, ...



# Il Modello Standard



# Le Forze

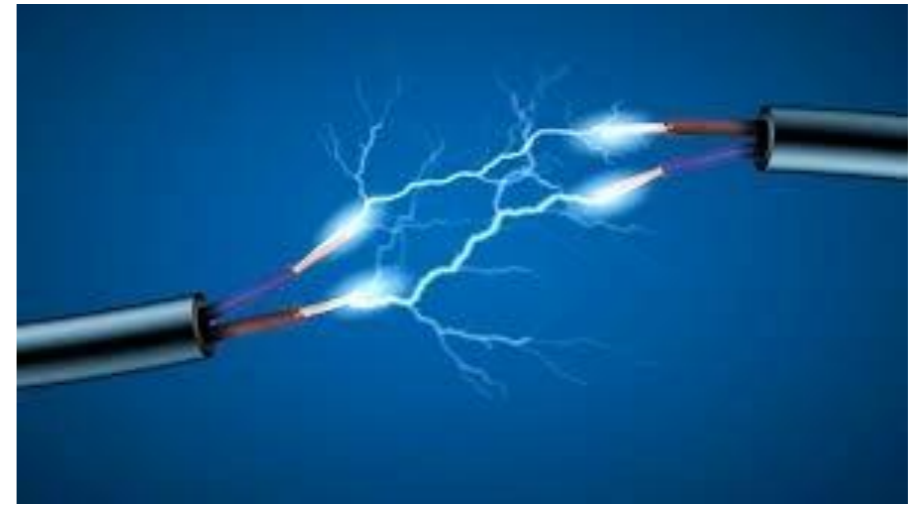
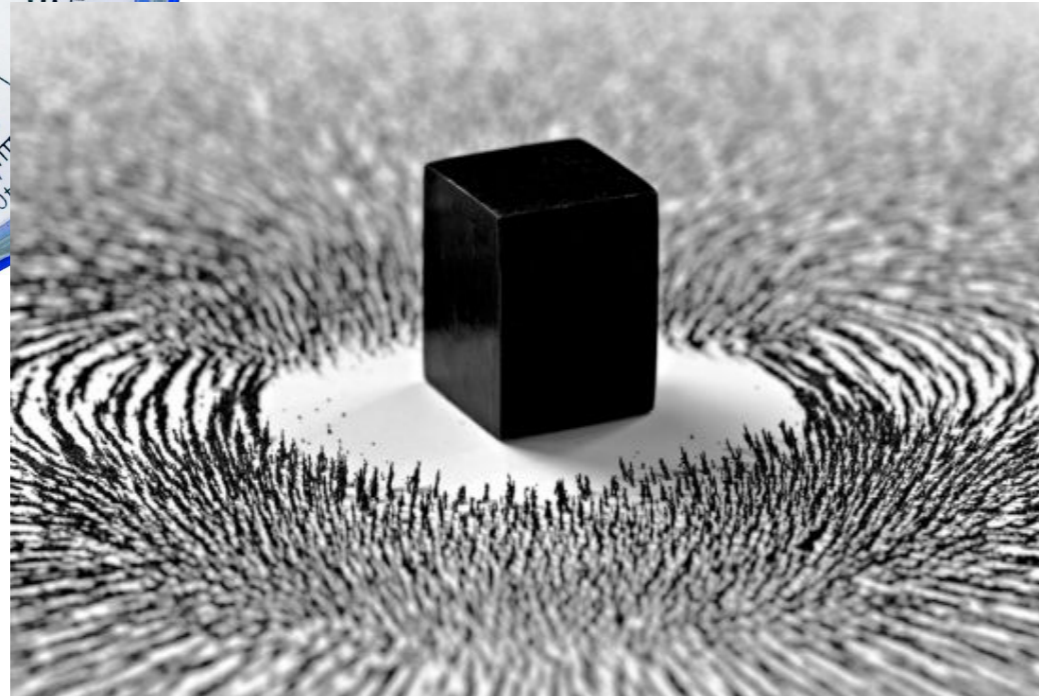
- Tantissimi tipi di forze diverse, ma tutte riconducibili a un insieme ridotto di interazioni fondamentali



# La forza gravitazionale



# La forza elettromagnetica



Radio waves



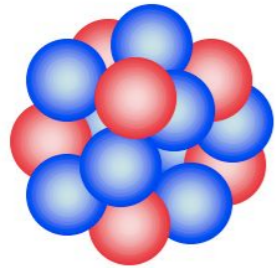
Microwaves



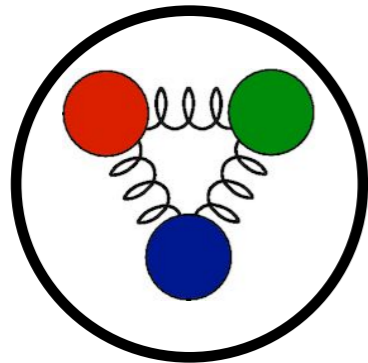
Light



# Forza “forte”



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



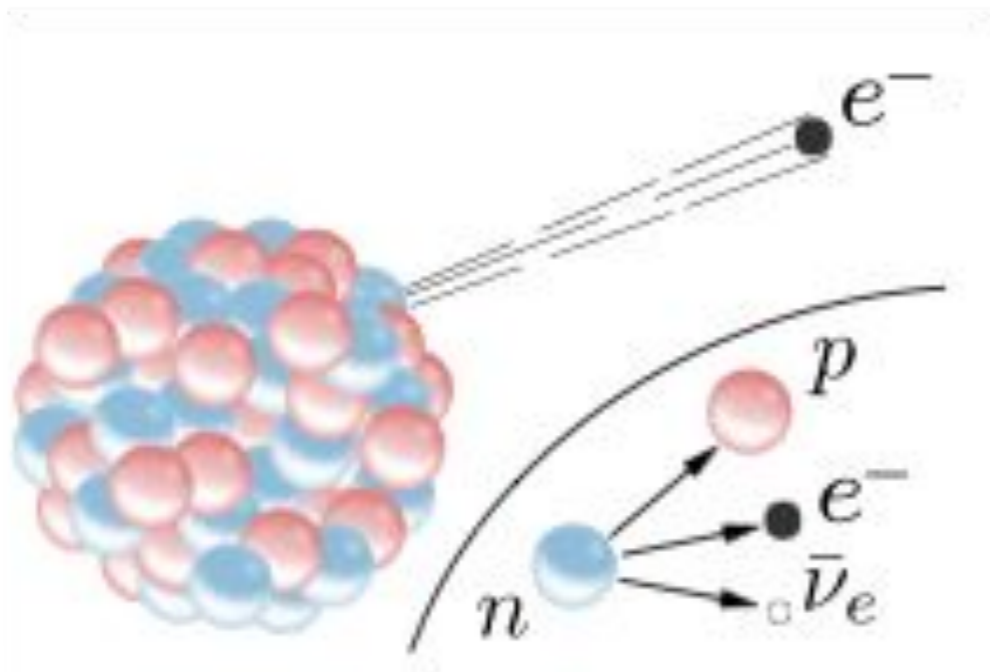
- Confina quark diversi all'interno della stessa particella

*Analogamente alla forza elettromagnetica, esiste una carica (non “elettrica”, ma di “colore”).  
La forza forte è però così forte che solo in condizioni estreme (tipo durante il Big Bang) si possono tenere separati oggetti non neutri.*

# Forza “debole”

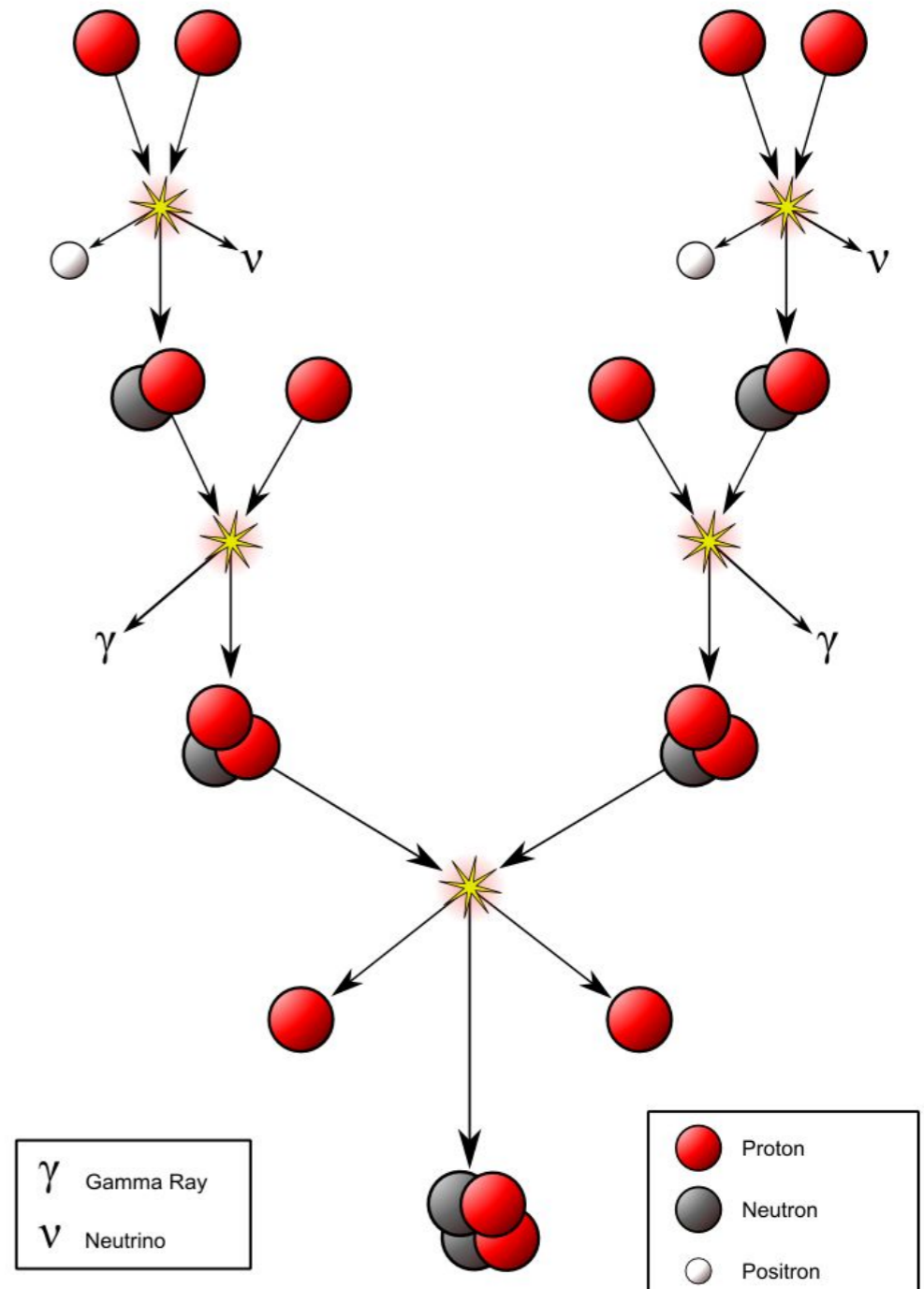
Responsabile di un'ampia casistica di interazioni tra le particelle

decadimento  $\beta$  del neutrone  $\rightarrow$  trasmutazioni nucleari

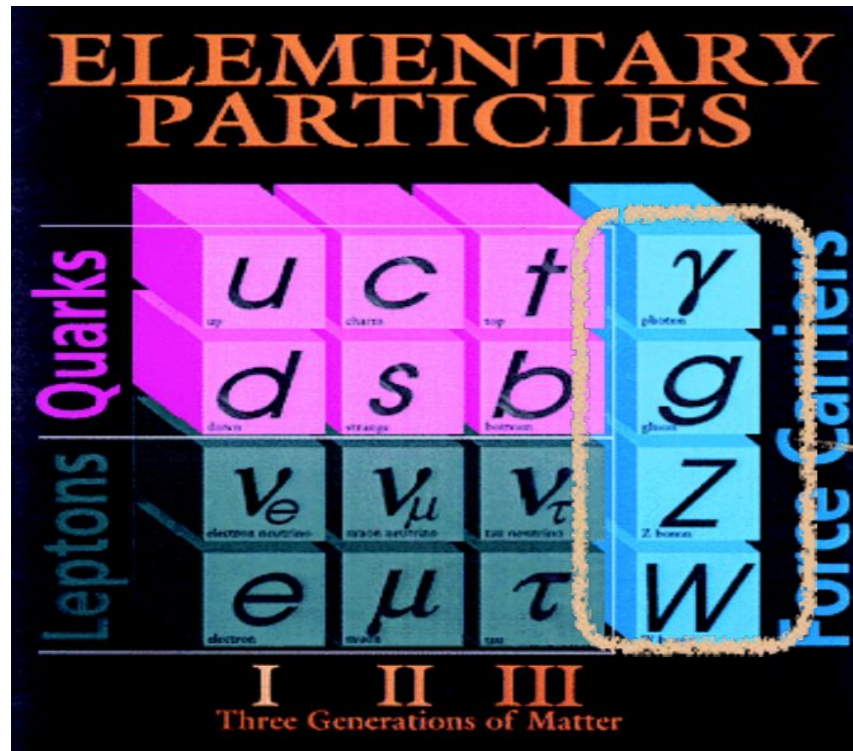


== range limitato ==

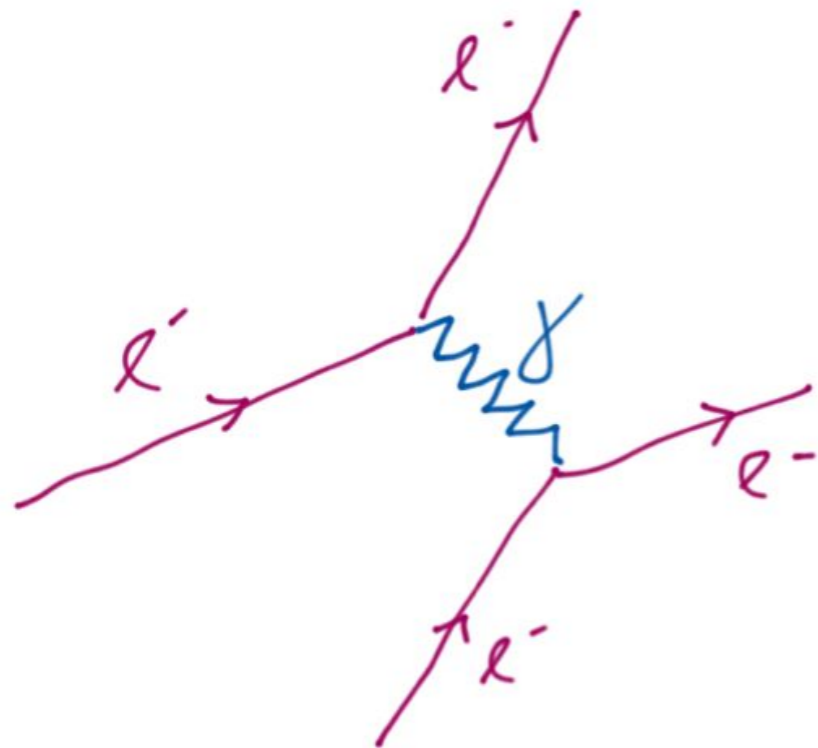
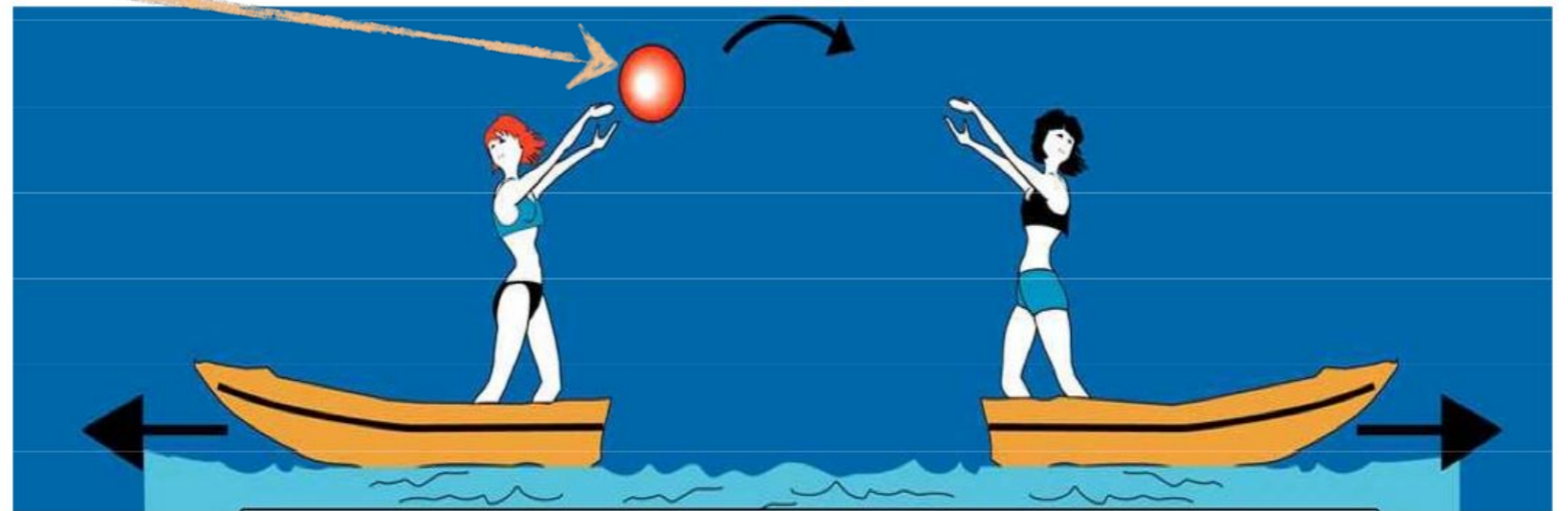
## Catena protone-protone nel sole



# Un modello per le interazioni



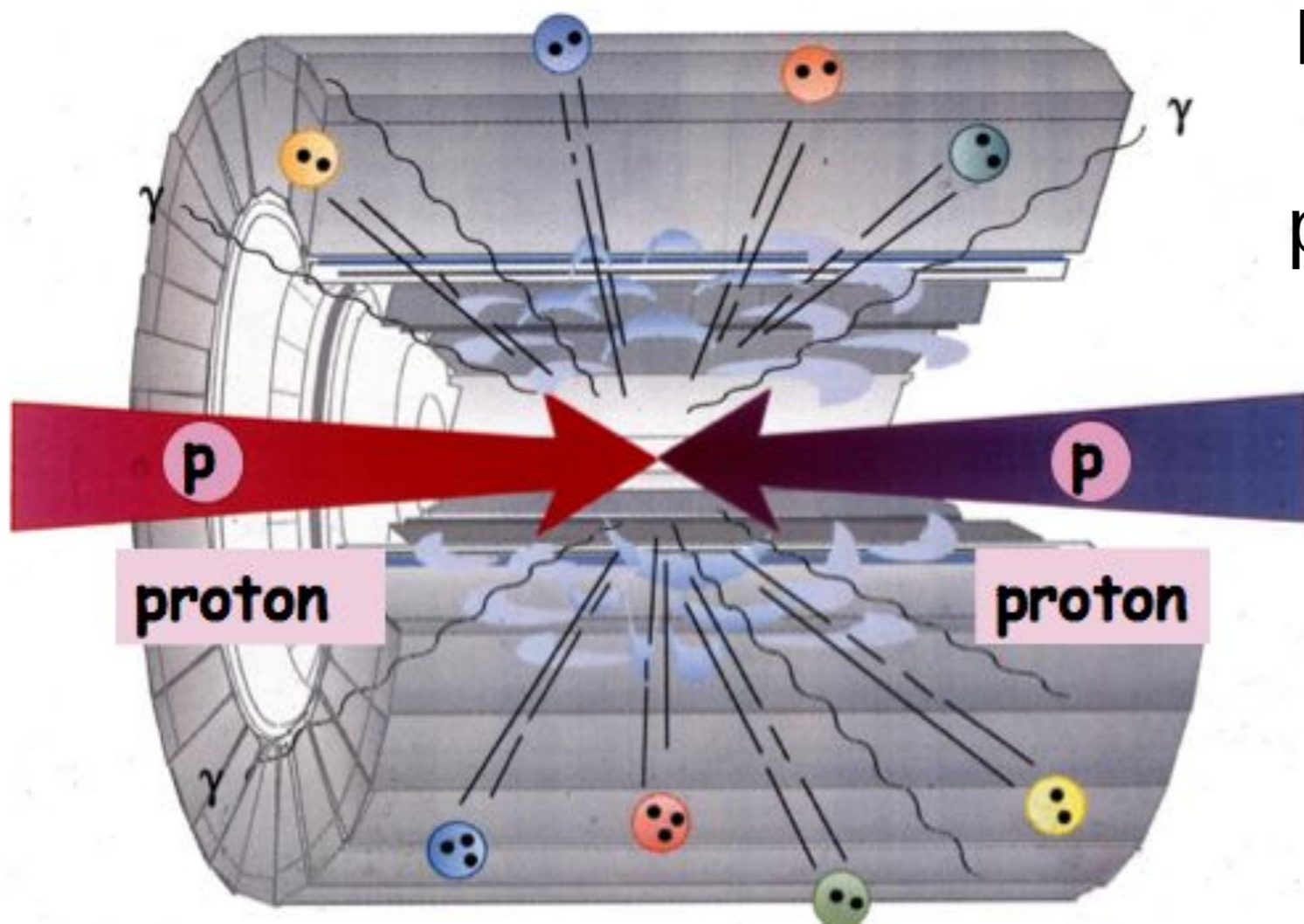
Le particelle elementari interagiscono tra loro scambiandosi i quanti del campo di interazione, ovvero una terza particella (un bosone)



Esempio: forza elettromagnetica tra due elettroni

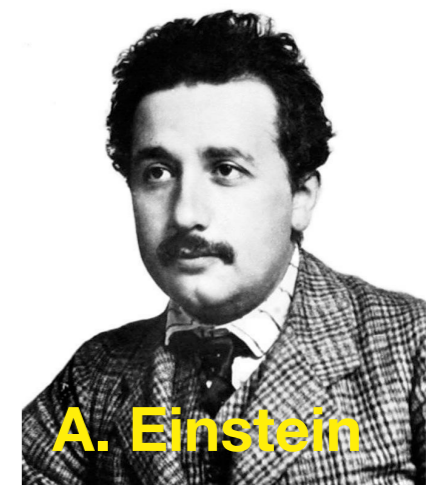


# Ricerca oltre la materia



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

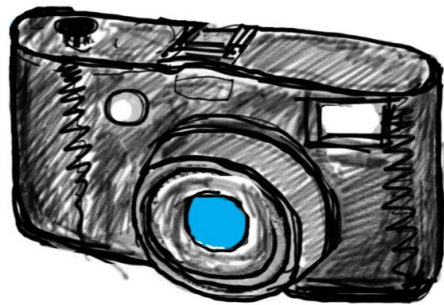
$$E = mc^2$$



# Gli ingredienti della fisica agli acceleratori:



- Acceleratori per produrre le collisioni



- rivelatori per registrare e studiare le particelle prodotte nella collisione



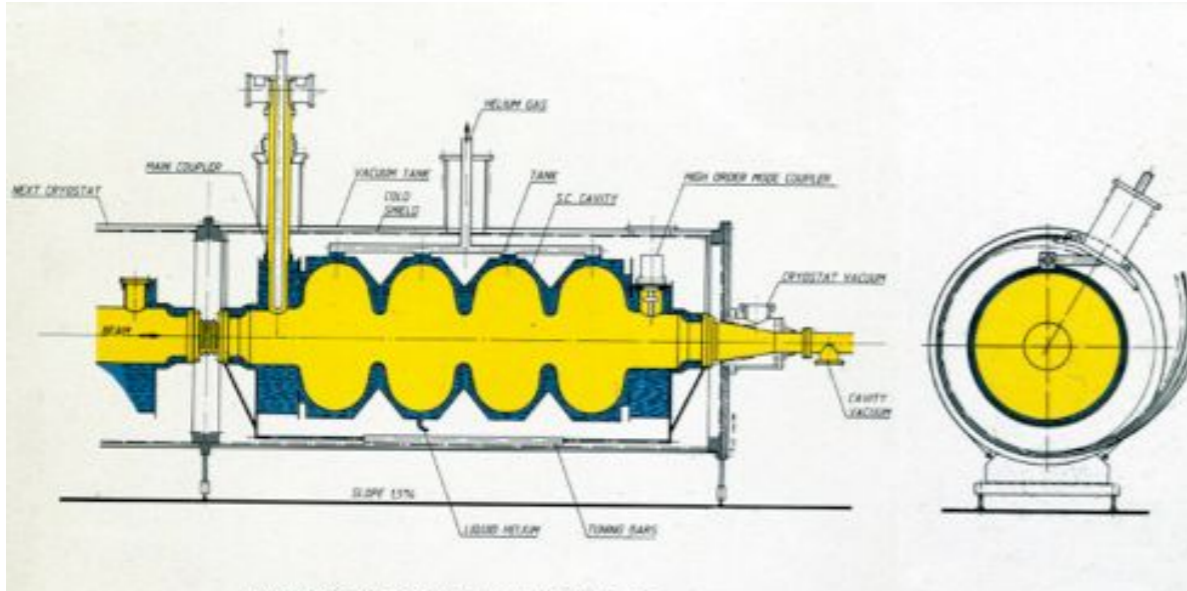
- computers per registrare, distribuire ed analizzare i dati raccolti



# Le componenti principali di un acceleratore

campi elettrici per accelerare le particelle

campi magnetici per guidare le particelle



# 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

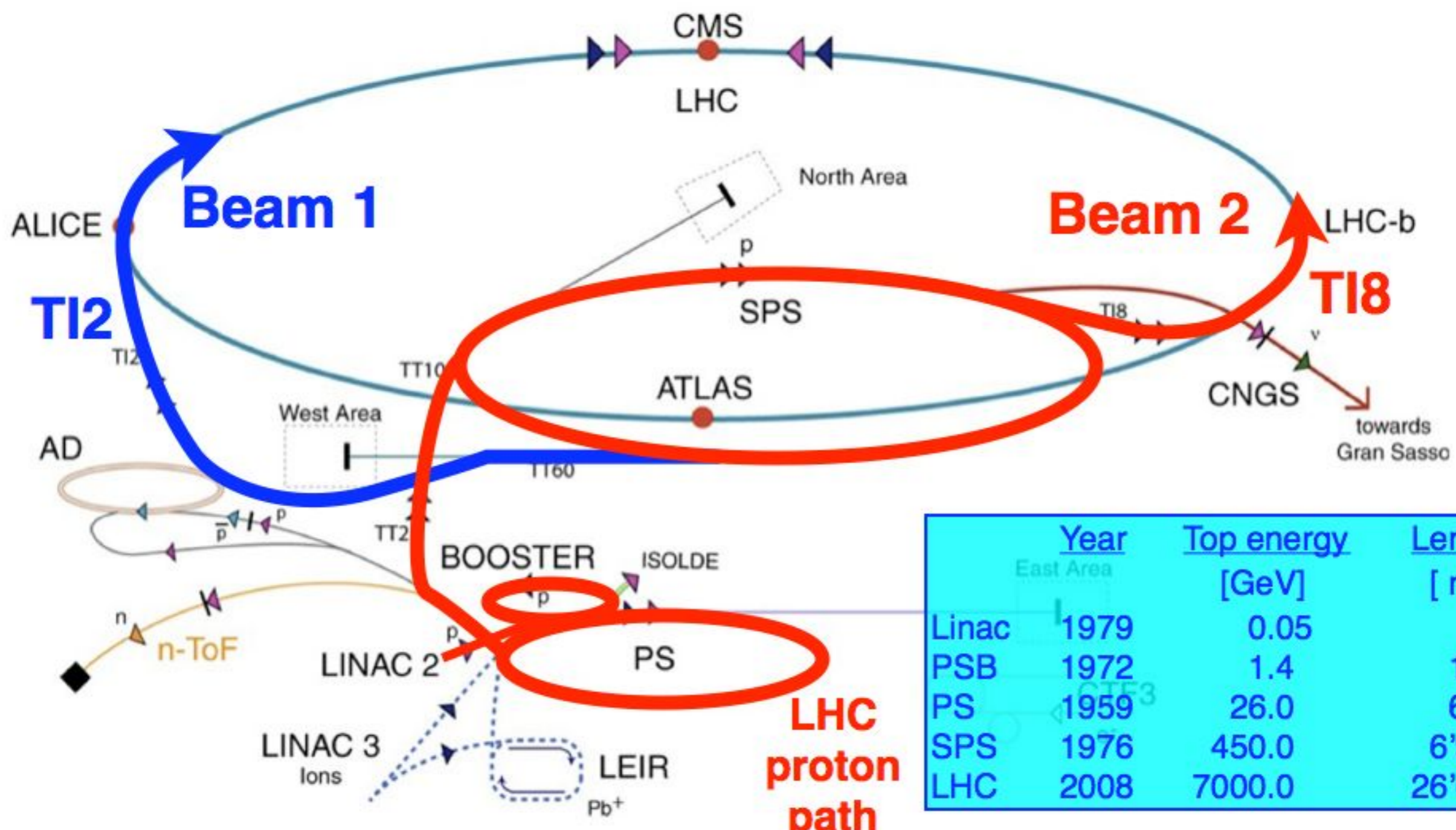
CERN  
(Preveessin)

LHCb

ATLAS

ALICE

CERN  
(Meyrin)



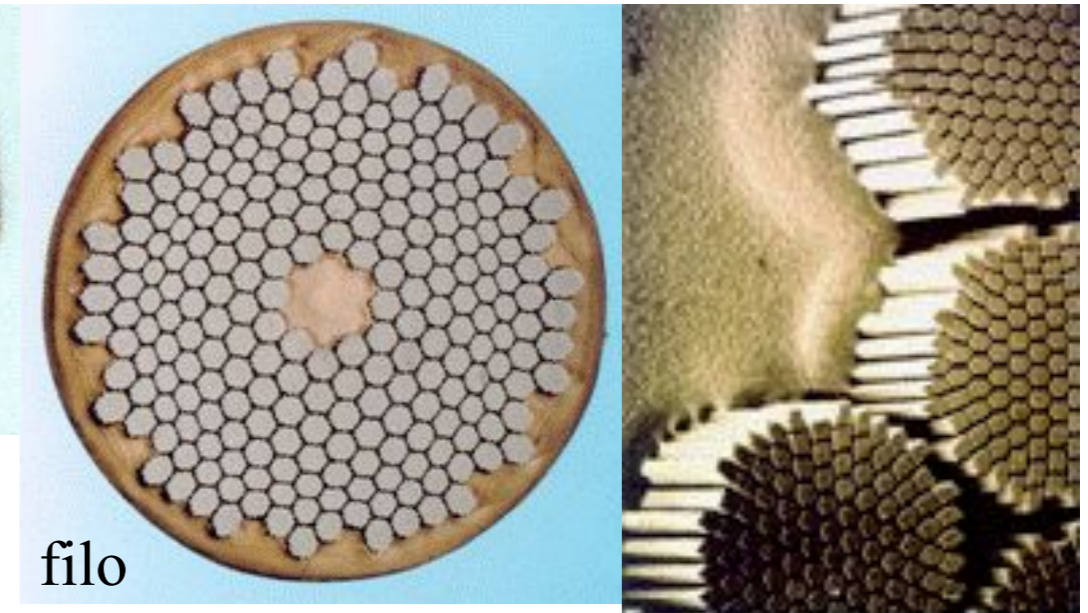
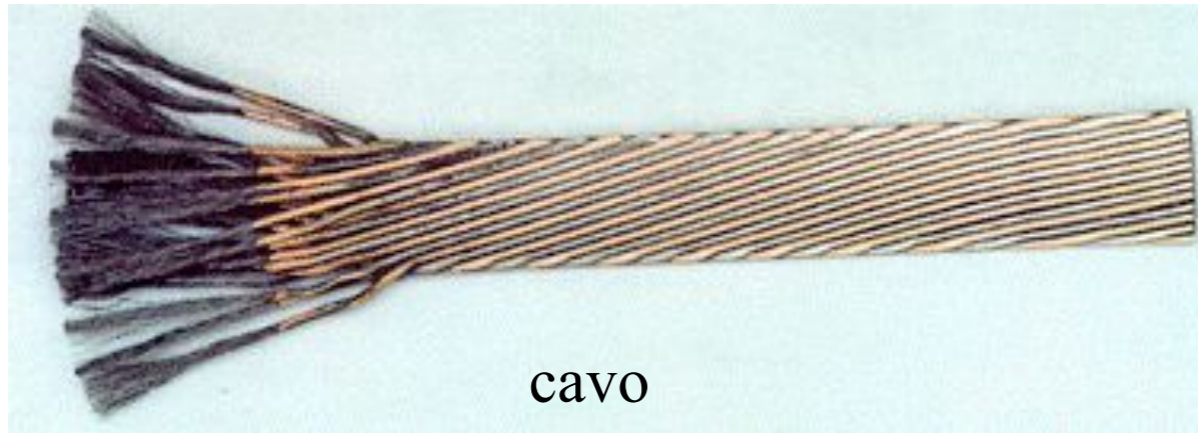
	Year	Top energy [GeV]	Length [m]
Linac	1979	0.05	30
PSB	1972	1.4	157
PS	1959	26.0	628
SPS	1976	450.0	6'911
LHC	2008	7000.0	26'657

- ▶ 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

# 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 (-271.0 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 ( $c / 27 \text{ km}$ )

## il cavo superconduttore

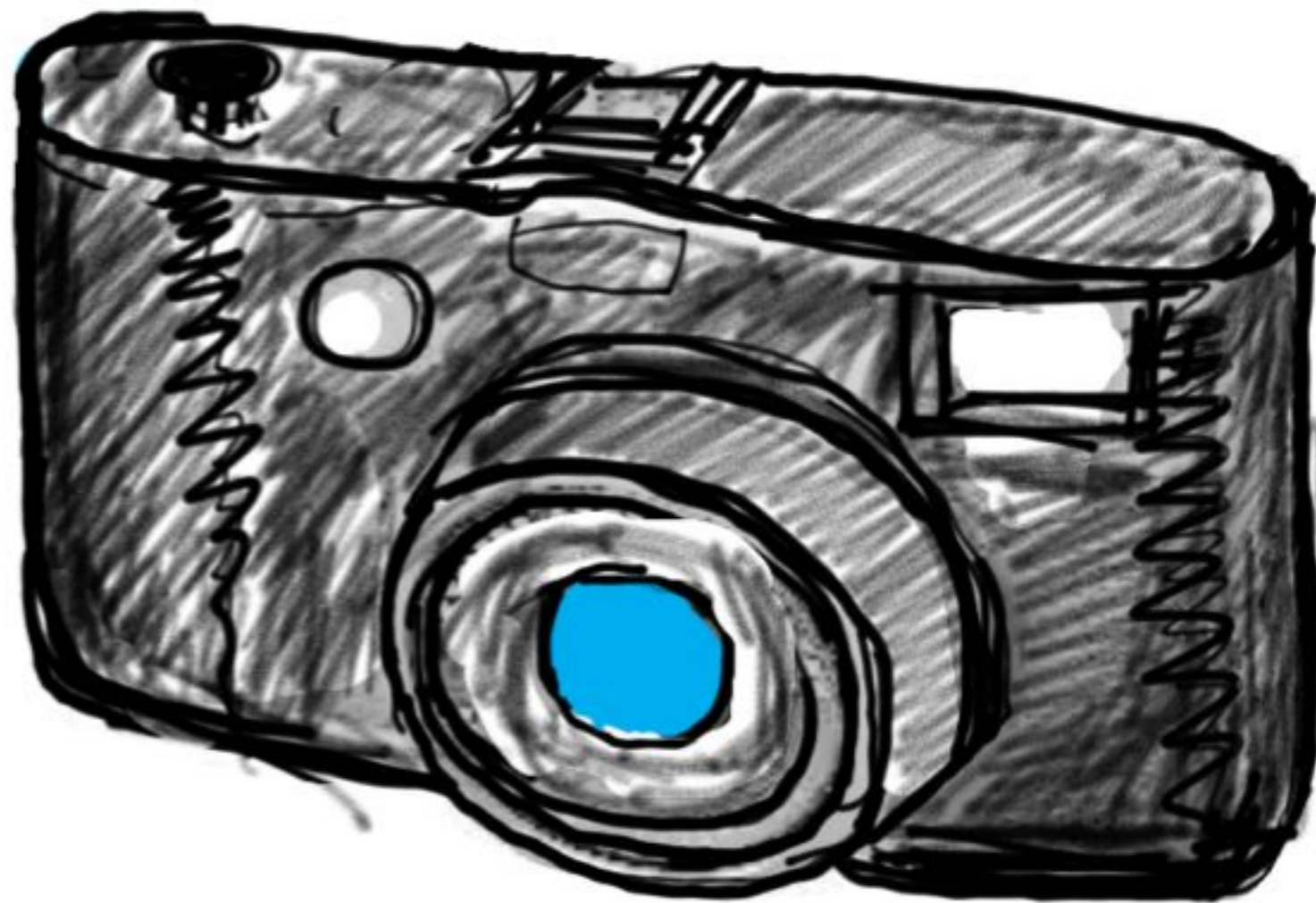


Cavi composti da 36 fili superconduttori, per 6300 filamenti di Niobio-titanio (NbTi) immersi in rame puro. NbTi è una lega superconduttrice sotto i  $-263\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

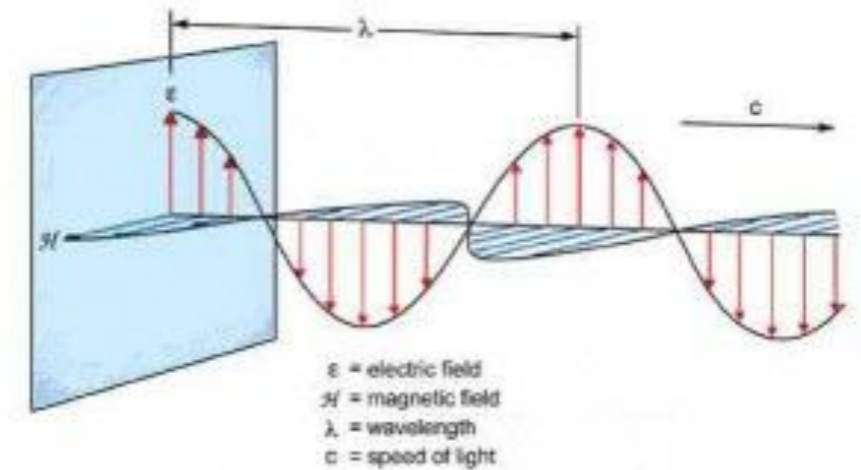
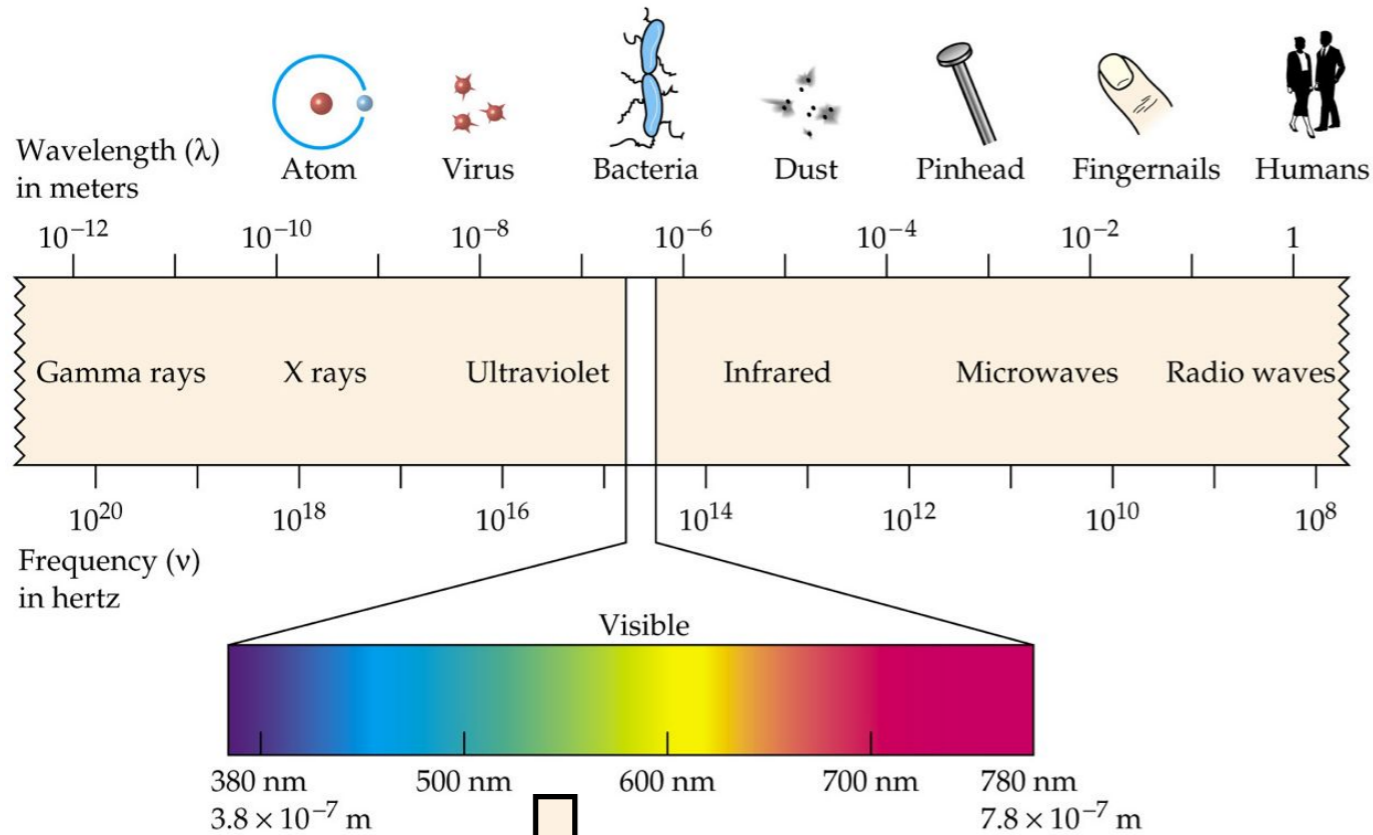




# I Rivelatori



# Si possono vedere le particelle ?

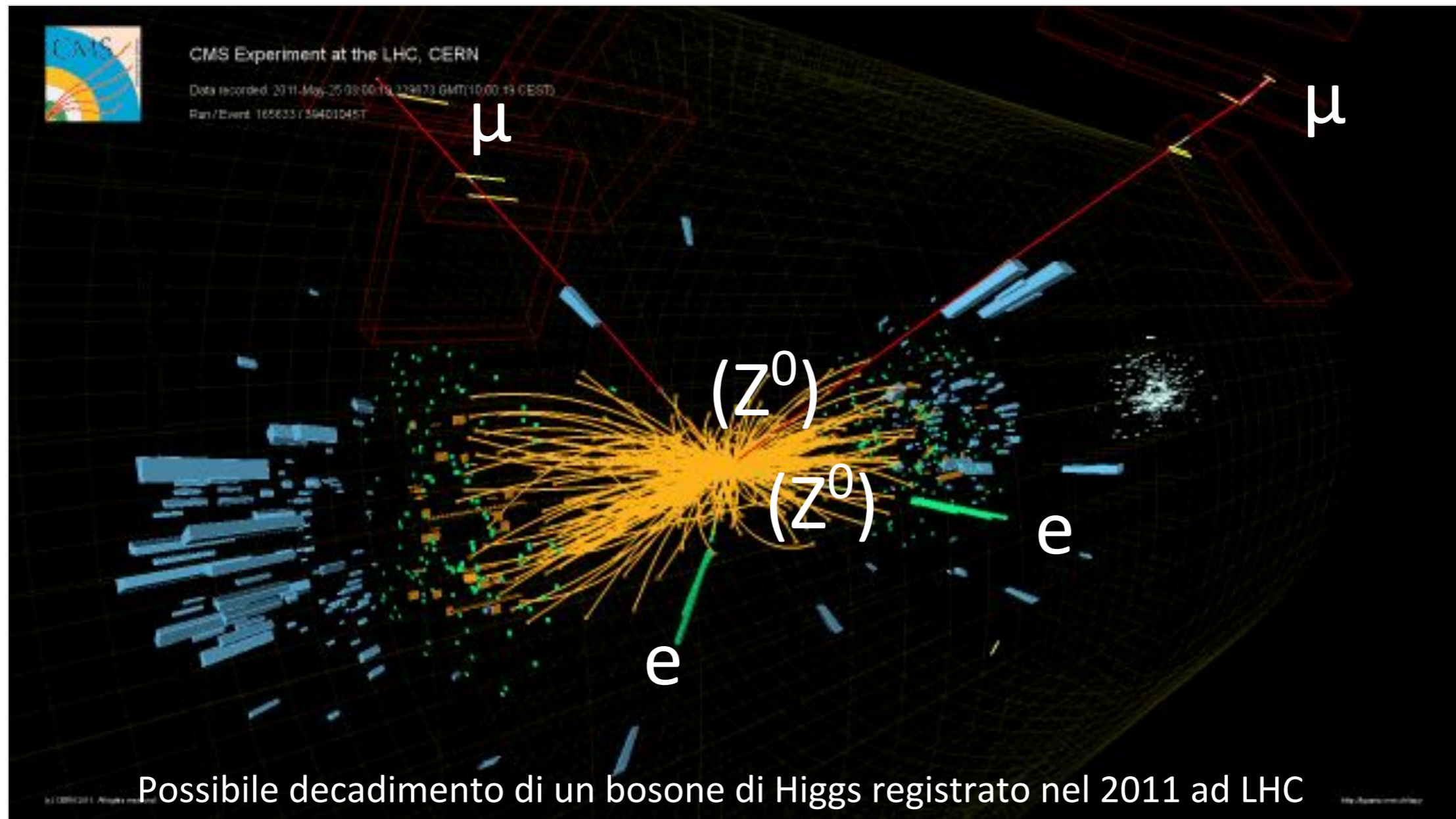


Esiste un limite alle dimensioni che posso “risolvere” con la luce.

Nei rivelatori registriamo gli effetti del passaggio delle particelle

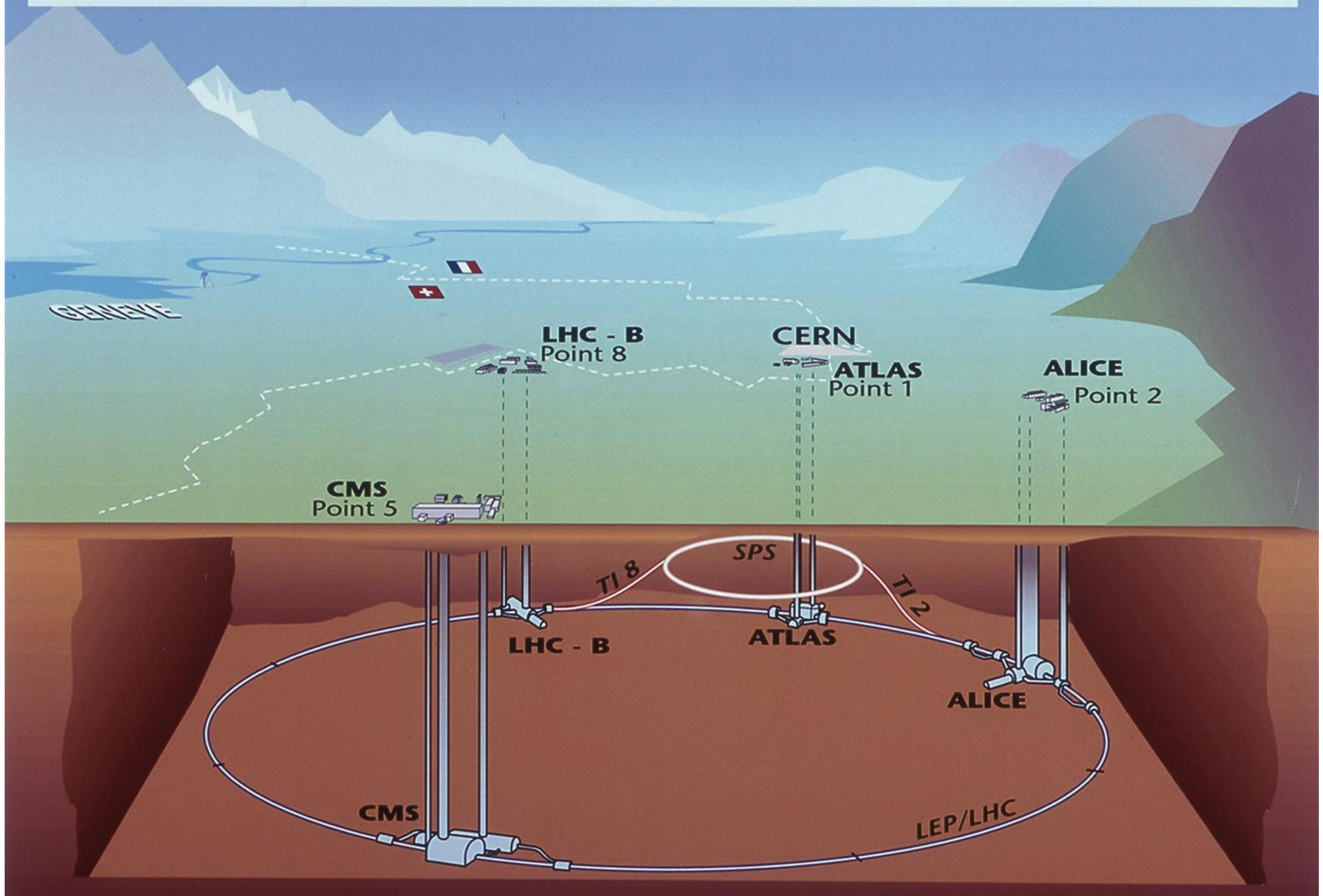


# Come si riconoscono le particelle ?

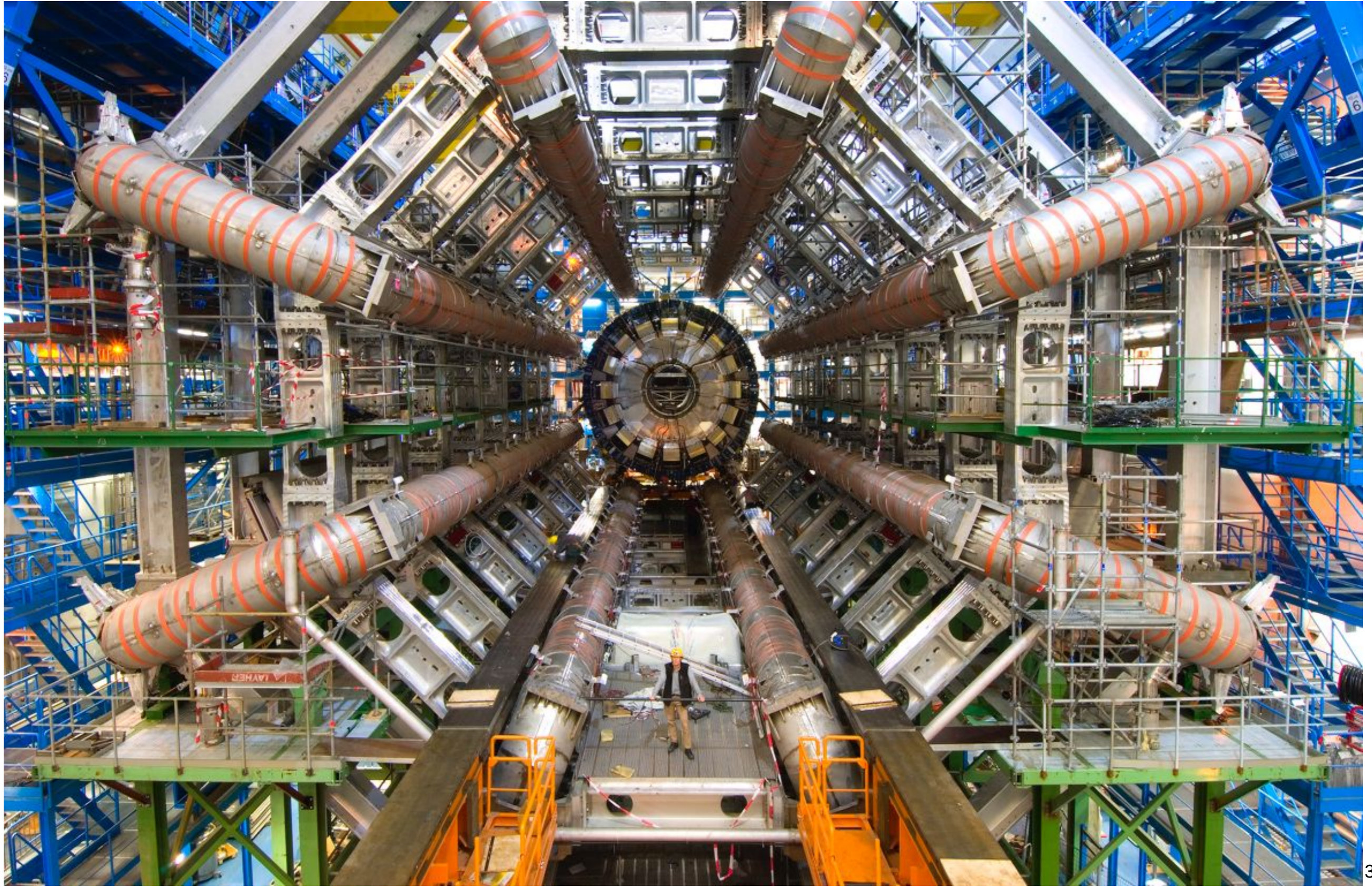


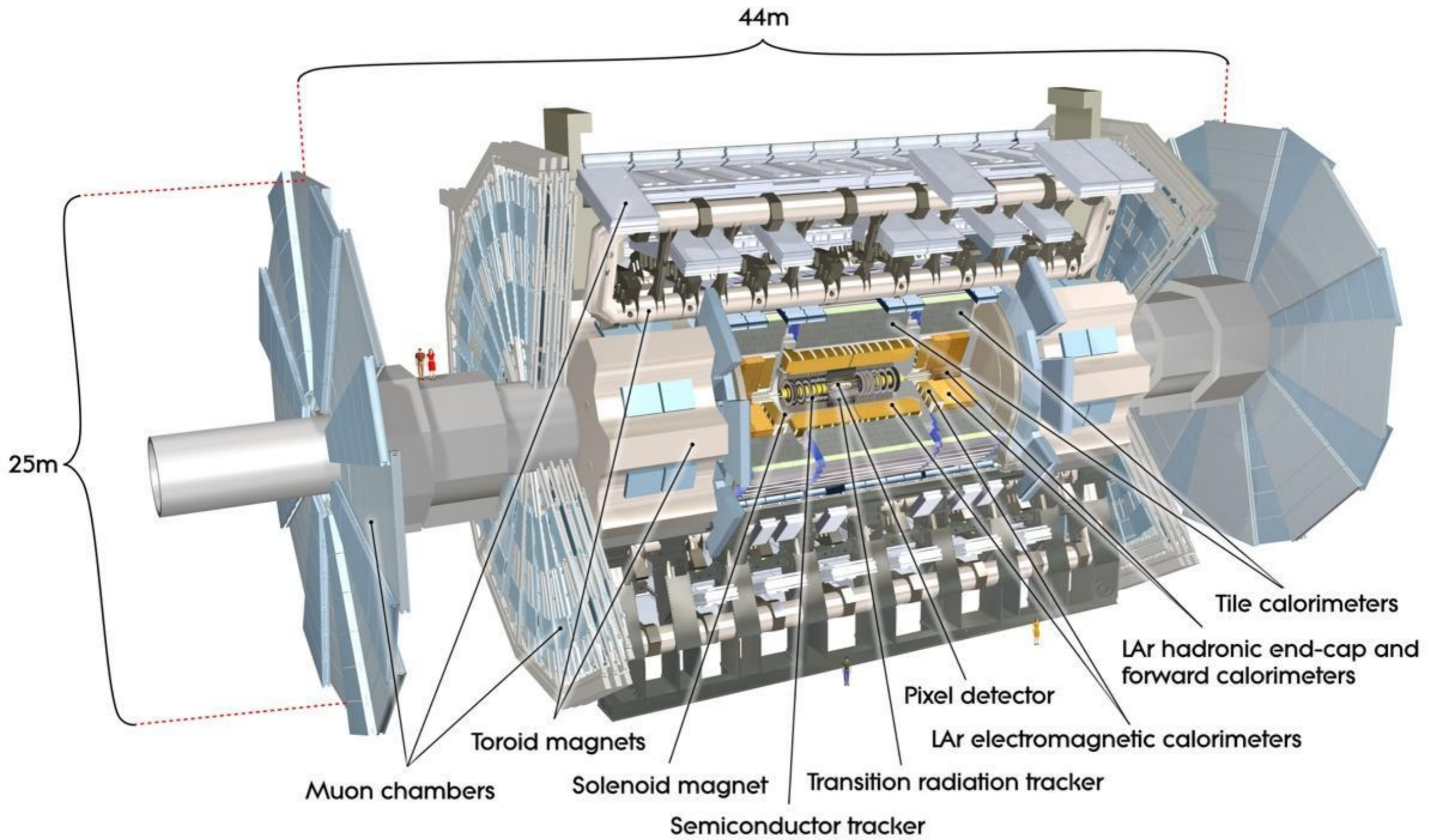
Le “impronte digitali” delle particelle sono: la massa; i prodotti di decadimento. In questo esempio: 2 particelle  $Z^0$ : una decade in 2 muoni e una in 2 elettroni. (potrebbero provenire da un bosone di Higgs !)

# Overall view of the LHC experiments.



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

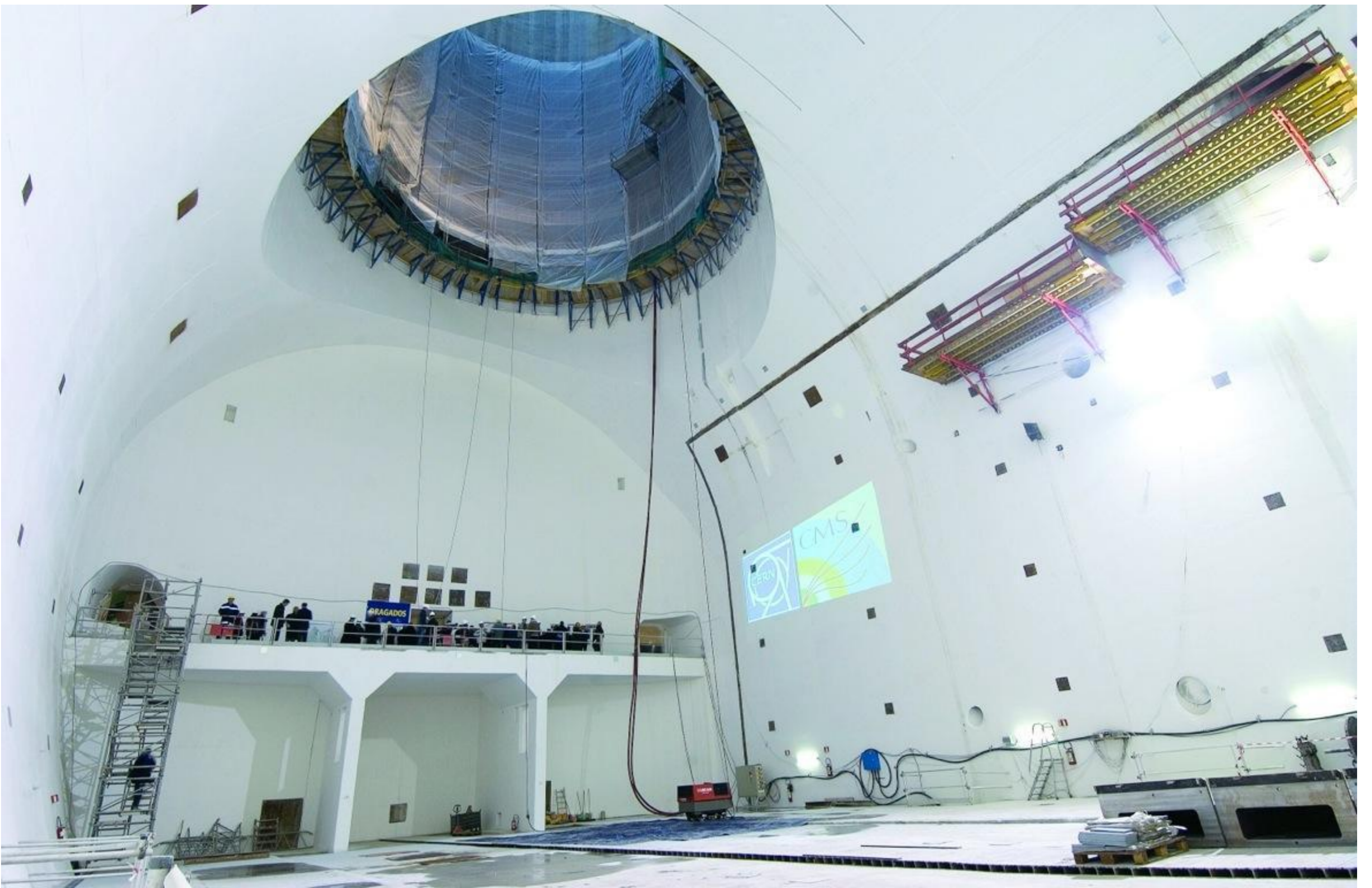
14000 t

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 “rivelatore” come insieme di rivelatori

Magnete per curvare le particelle e misurarne l'impulso

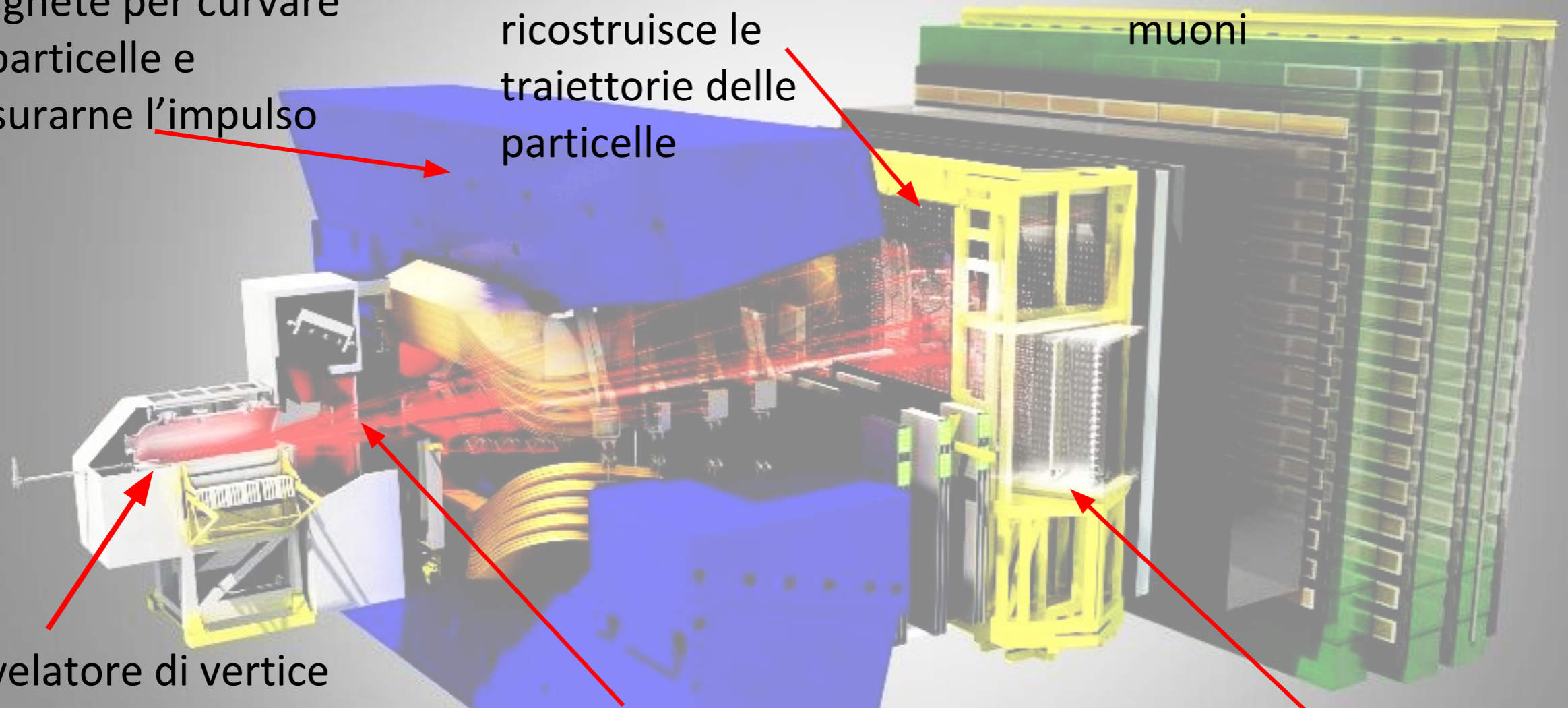
Rivelatore di tracce: ricostruisce le traiettorie delle particelle

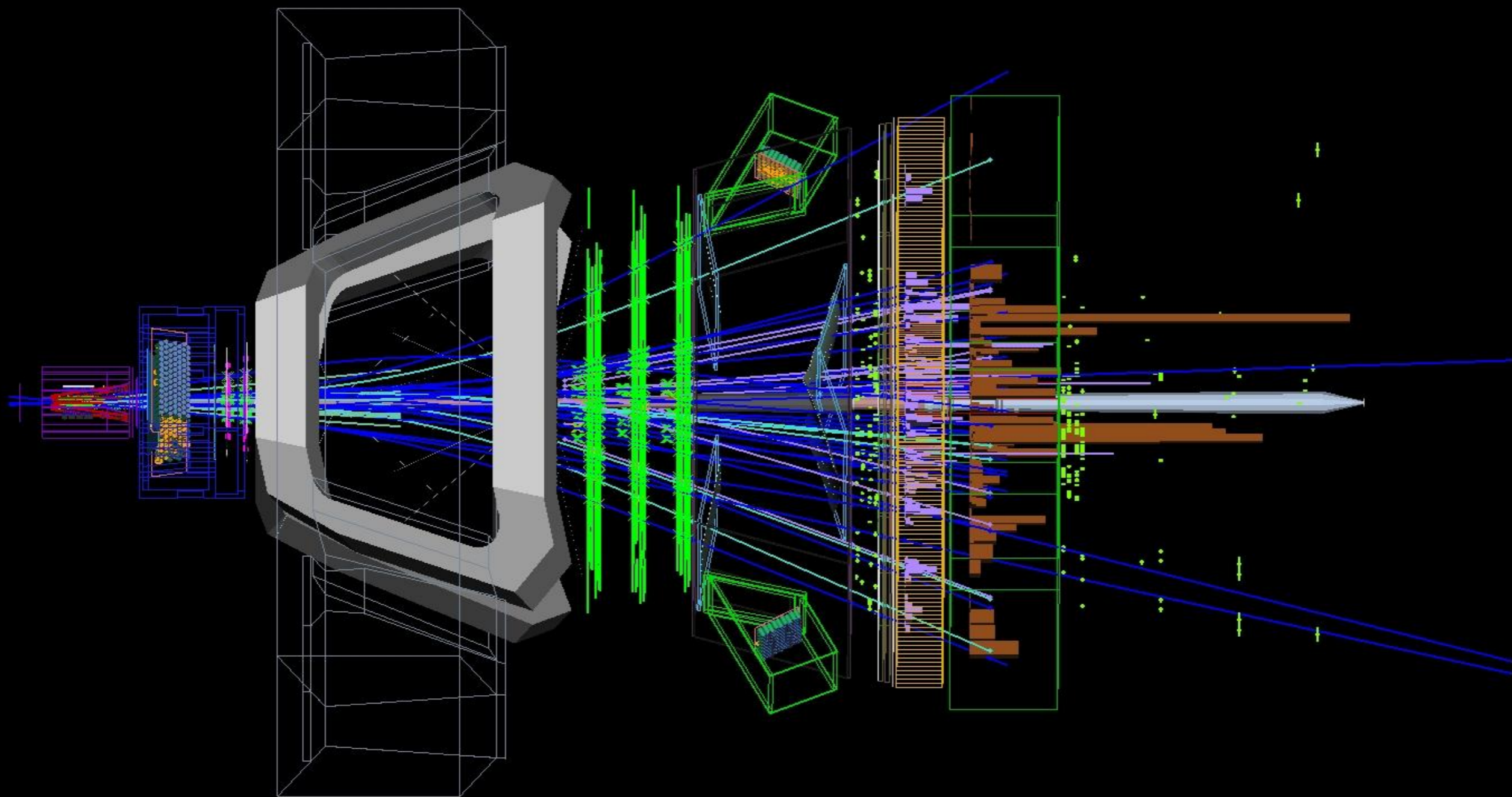
Rivelatore di muoni

Rivelatore di vertice  
Per individuare i decadimenti di particelle instabili

Rivelatore Cherenkov:  
permette di riconoscere il tipo di particella

Calorimetri: misurano l'energia delle particelle





Questo evento contiene un decadimento come quello ricordato prima dove si sono formate due particelle ( $K$ ,  $\pi$ ) che lasciano due tracce nell'esperimento: sapreste trovarle ?



*Oltre la materia...*

*... l'antimateria*

# Predizione dell'antimateria



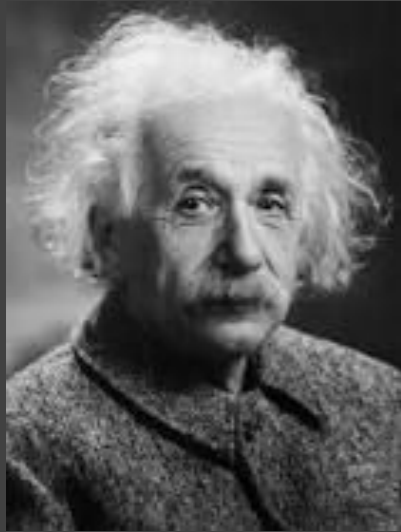
Erwin Schrodinger, 1926

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi(\mathbf{r}, t) = \hat{H} \Psi(\mathbf{r}, t)$$

Meccanica Quantistica

Meccanica Relativistica

$$E = \gamma mc^2$$



Meccanica Quantistica Relativistica

$$(i\gamma^\mu \partial_\mu - m) \psi = 0$$

*Apparente difetto: presenta soluzioni ad energia negativa...*



Paul A. M. Dirac, 1929

# Predizione dell'antimateria



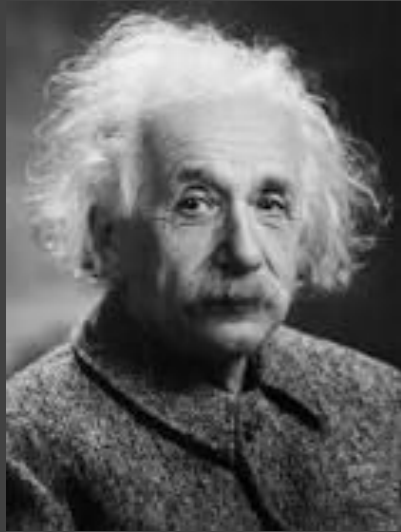
Erwin Schrodinger, 1926

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi(\mathbf{r}, t) = \hat{H} \Psi(\mathbf{r}, t)$$

Meccanica Quantistica

Meccanica Relativistica

$$E = \gamma mc^2$$



Meccanica Quantistica Relativistica

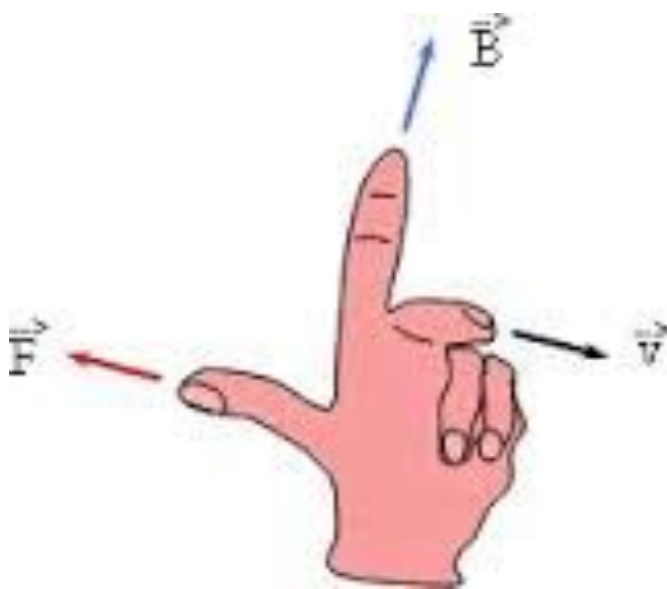
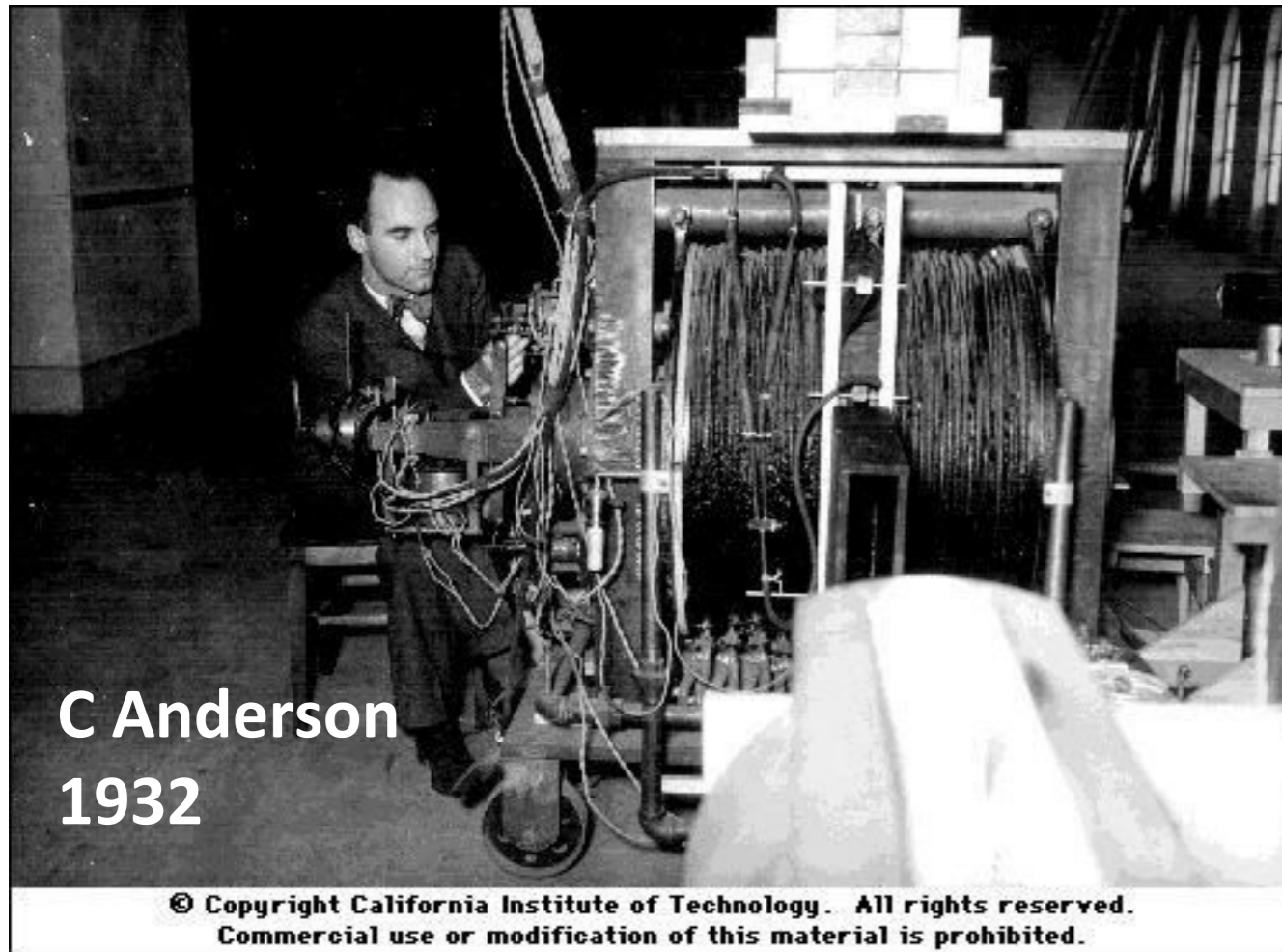
$$(i\gamma^\mu \partial_\mu - m) \psi = 0$$



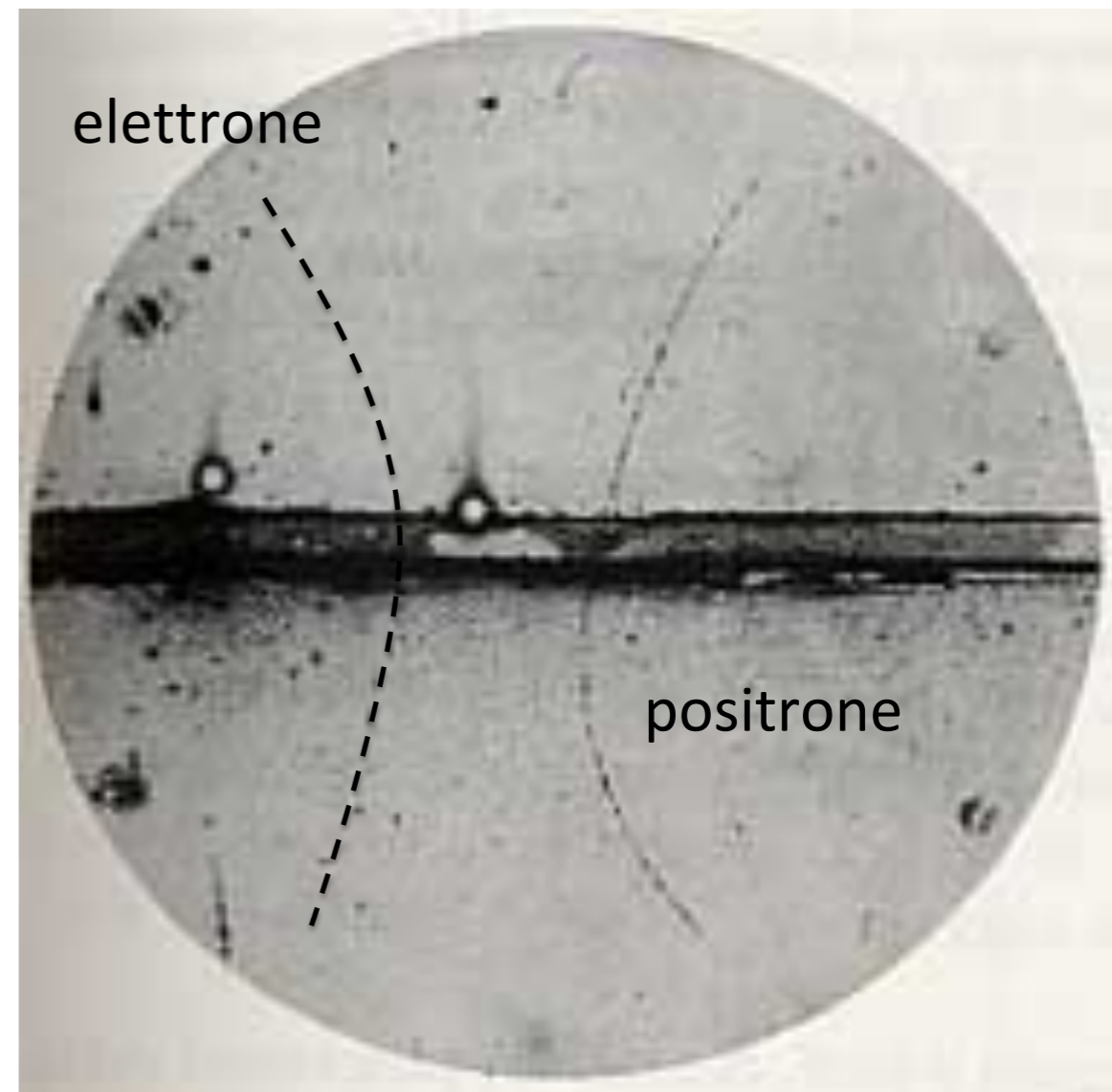
*Soluzioni a energia negativa descriverebbero bene "elettroni di carica positiva"...  
che però non conosciamo...*

Paul A. M. Dirac, 1929

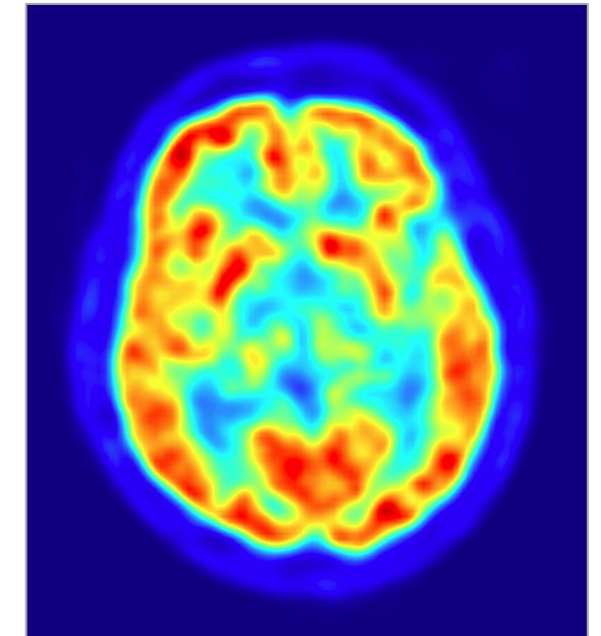
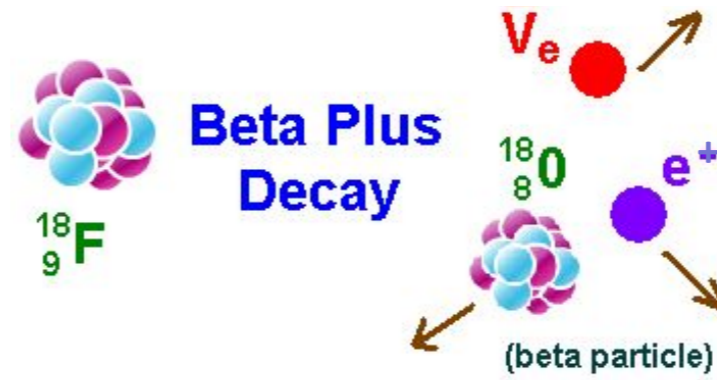
# Osservazione dell'antimateria



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



# Applicazioni tecnologiche dell'antimateria, oggi.



Positron



LHC



# L'antimateria

Per ogni particella di materia esiste una particella di antimateria.

elettrone  $\leftrightarrow$  positrone

muone  $\leftrightarrow$  antimuone

quark up  $\leftrightarrow$  antiquark antiup

Stesse identiche proprietà, tranne la carica elettrica: che è opposta.





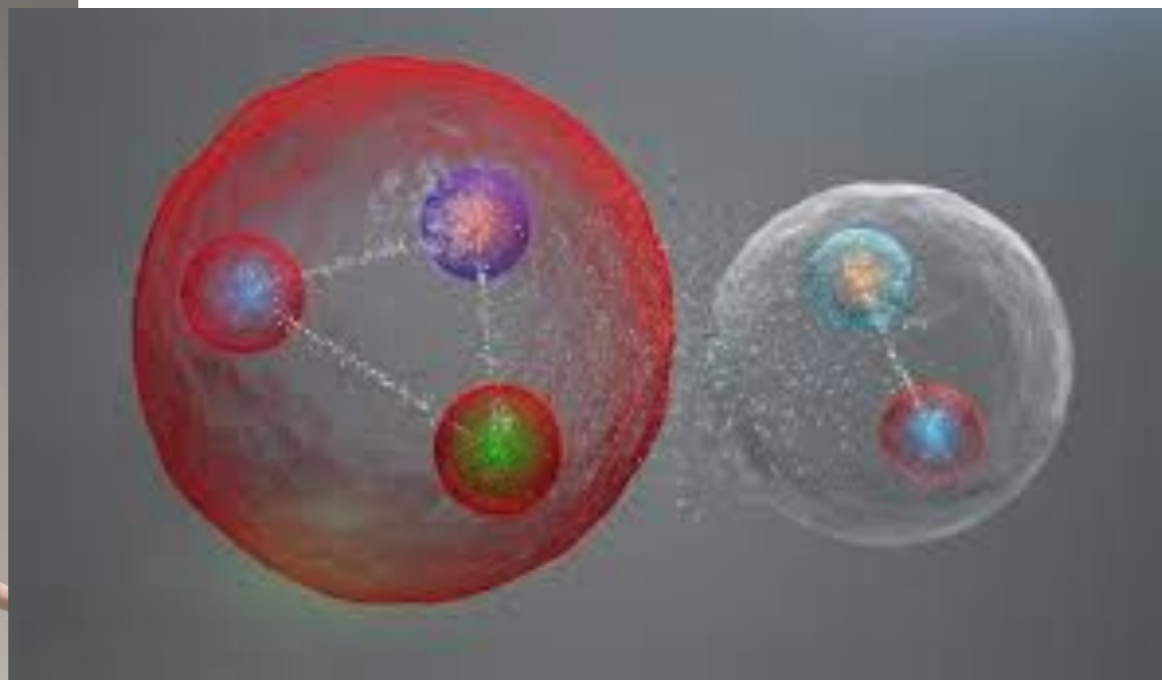
# “Composti” di materia ed antimateria *legati dall'interazione forte*



**Barioni...**

*ad esempio*

*protoni e neutroni*



Particelle elementari  
di materia  
(e di antimateria)  
possono combinarsi  
tra loro in  
**particelle composte**



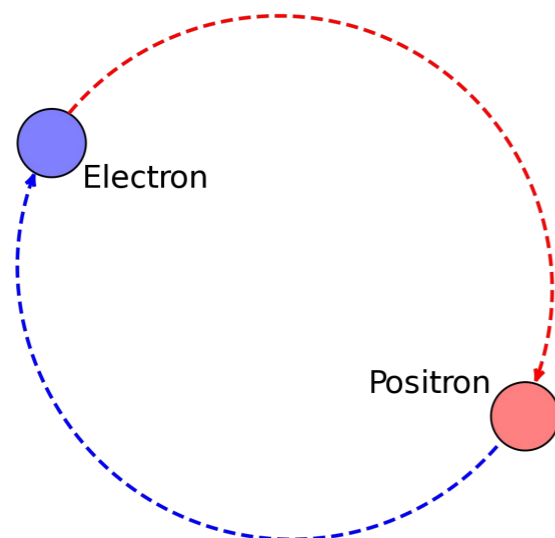
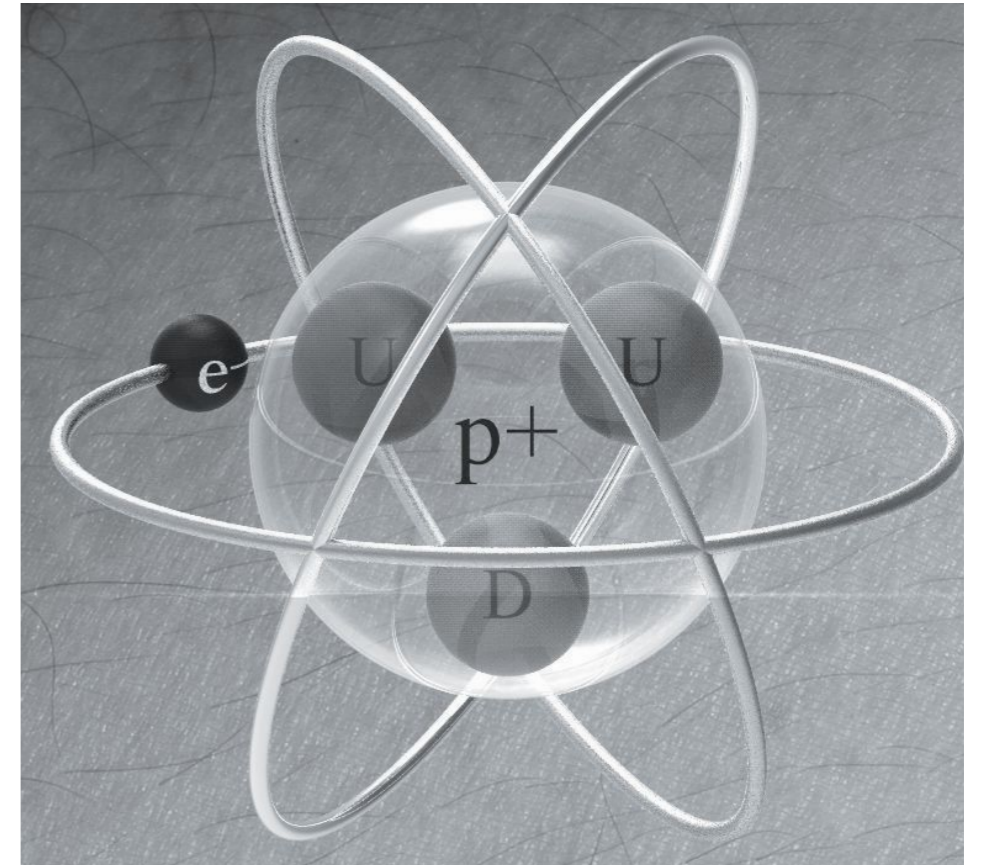
**... mesoni**  
*composti*  
*quark antiquark*

# Composti di materia ed antimateria

*legati dall'interazione elettromagnetica*

Particelle composte ed elementari possono combinarsi fra loro.

Un esempio noto è l'atomo: combinazione di un protone (particelle composta) e di un elettrone (particella elementare).



E se sostituiamo il protone con un positrone?

Si ottiene il **positronio**, un'altra particella composta.

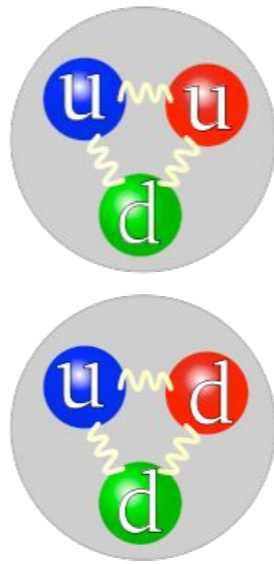
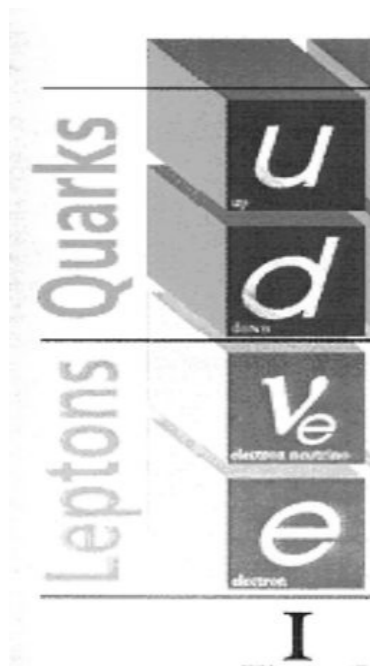
In Natura, così come in Arte, è proprio la possibilità di combinare *elementi* a creare **complessità**. E bellezza.



*Il Lago dei Cigni*

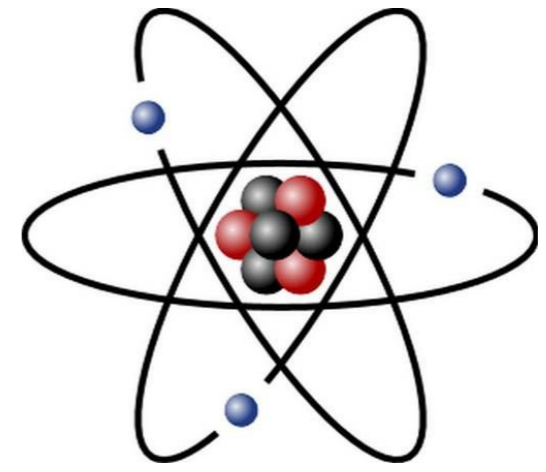
*Rudolf Nureyev*

*foto da Wikipedia*



proton

neutron



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

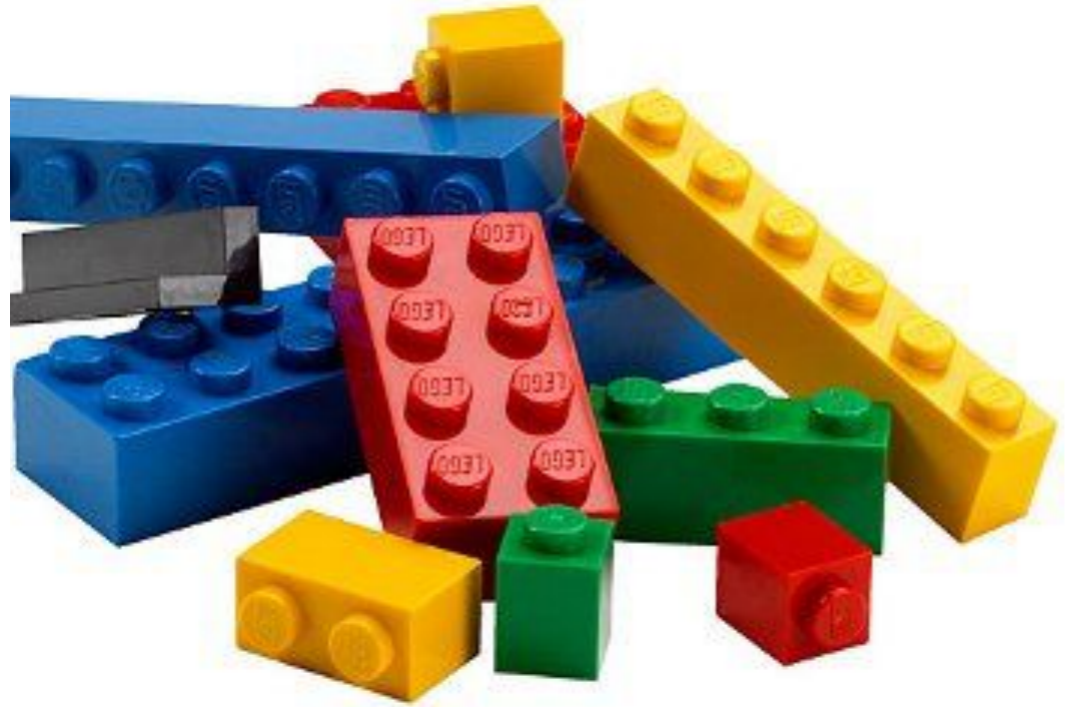
\* Lanthanides

57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

\*\* Actinides

89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr
----------	----------	----------	---------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	-----------	-----------	-----------	-----------

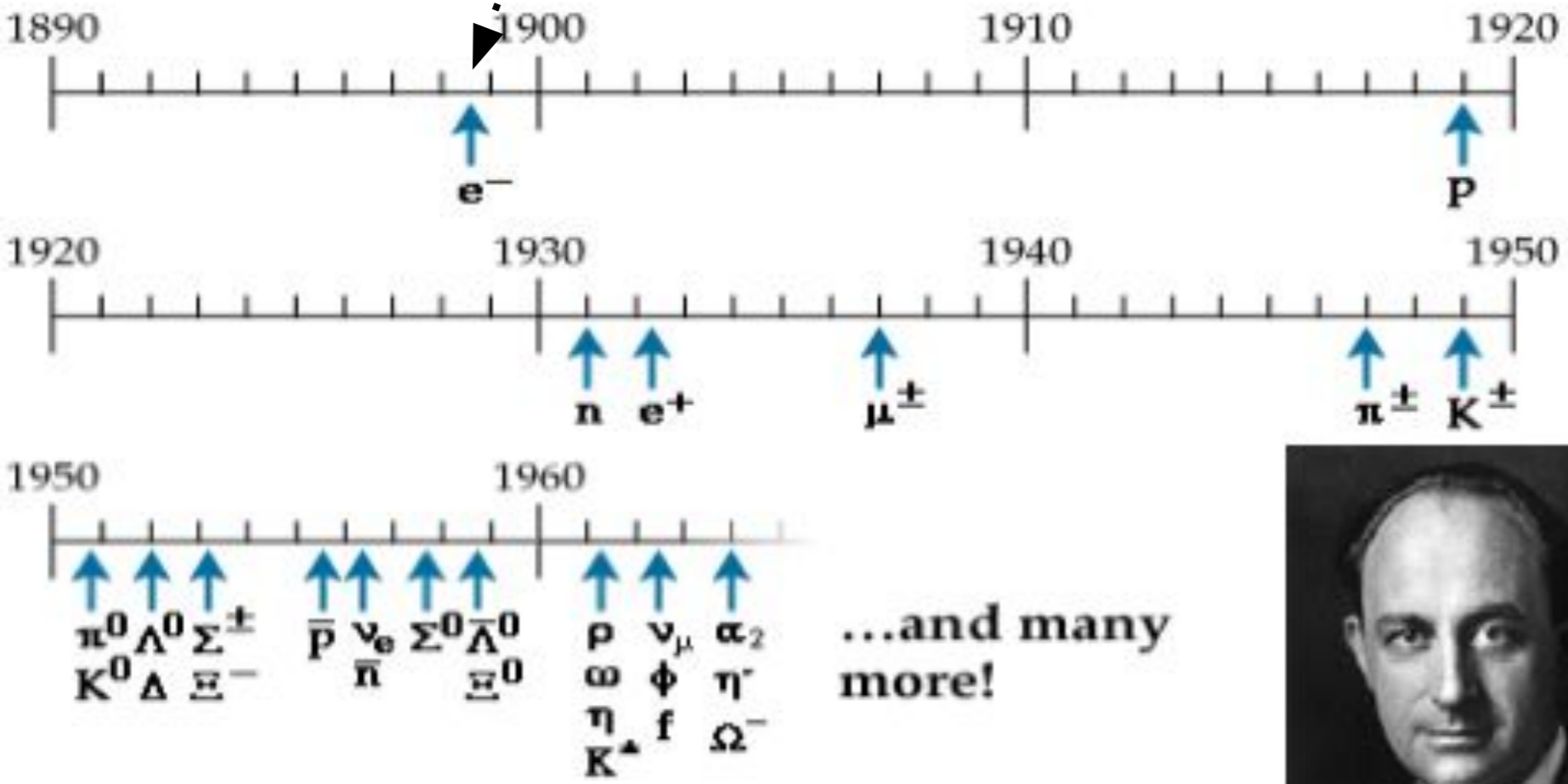
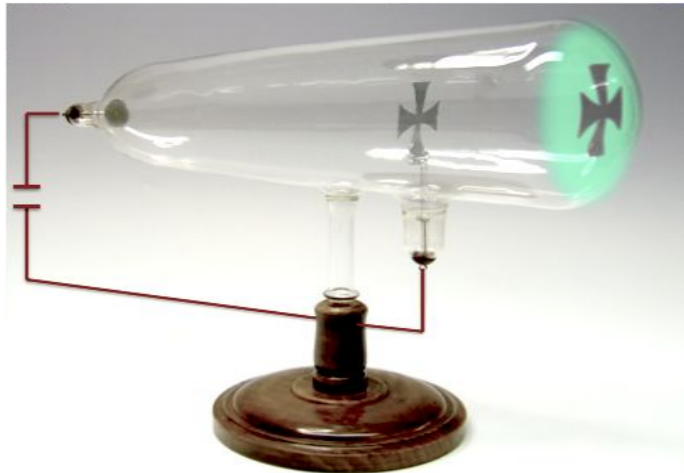
Alkali metals	Alkaline earth metals	Lanthanides	Actinides	Transition metals
Poor metals	Metalloids	Nonmetals	Halogens	Noble gases



# Un mare di particelle !

Quarks	$u$ <small>up</small>	$c$ <small>charm</small>	$t$ <small>top</small>
	$d$ <small>down</small>	$s$ <small>strange</small>	$b$ <small>bottom</small>
	$v_e$ <small>electron neutrino</small>	$v_\mu$ <small>muon neutrino</small>	$v_\tau$ <small>tau neutrino</small>
Leptons	$e$ <small>electron</small>	$\mu$ <small>muon</small>	$\tau$ <small>tau</small>
	I	II	III

1897, J.J. Thomson



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

## Come si crea l'antimateria?

L'energia (ad esempio un fotone) può trasformarsi in materia e antimateria.

**Ma** senza mai cambiare il bilanciamento complessivo tra materia ed antimateria.

Una particella di materia si può *annichilire* con la sua particella di antimateria e sprigionare energia



$$\text{Fotone} \rightarrow e^+ e^-$$

$$e^+ e^- \rightarrow \text{Fotoni}$$

*Ma se materia ed antimateria sono simmetrici...*

*Perché viviamo in un **Universo**  
fatto quasi solo di materia?*

# Piccole asimmetrie tra materia ed antimateria

**Ancora oggi è una domanda aperta.**

Anche se sappiamo che esistono piccole differenze esse non sembrano sufficienti a spiegare la “sparizione dell’antimateria” ...



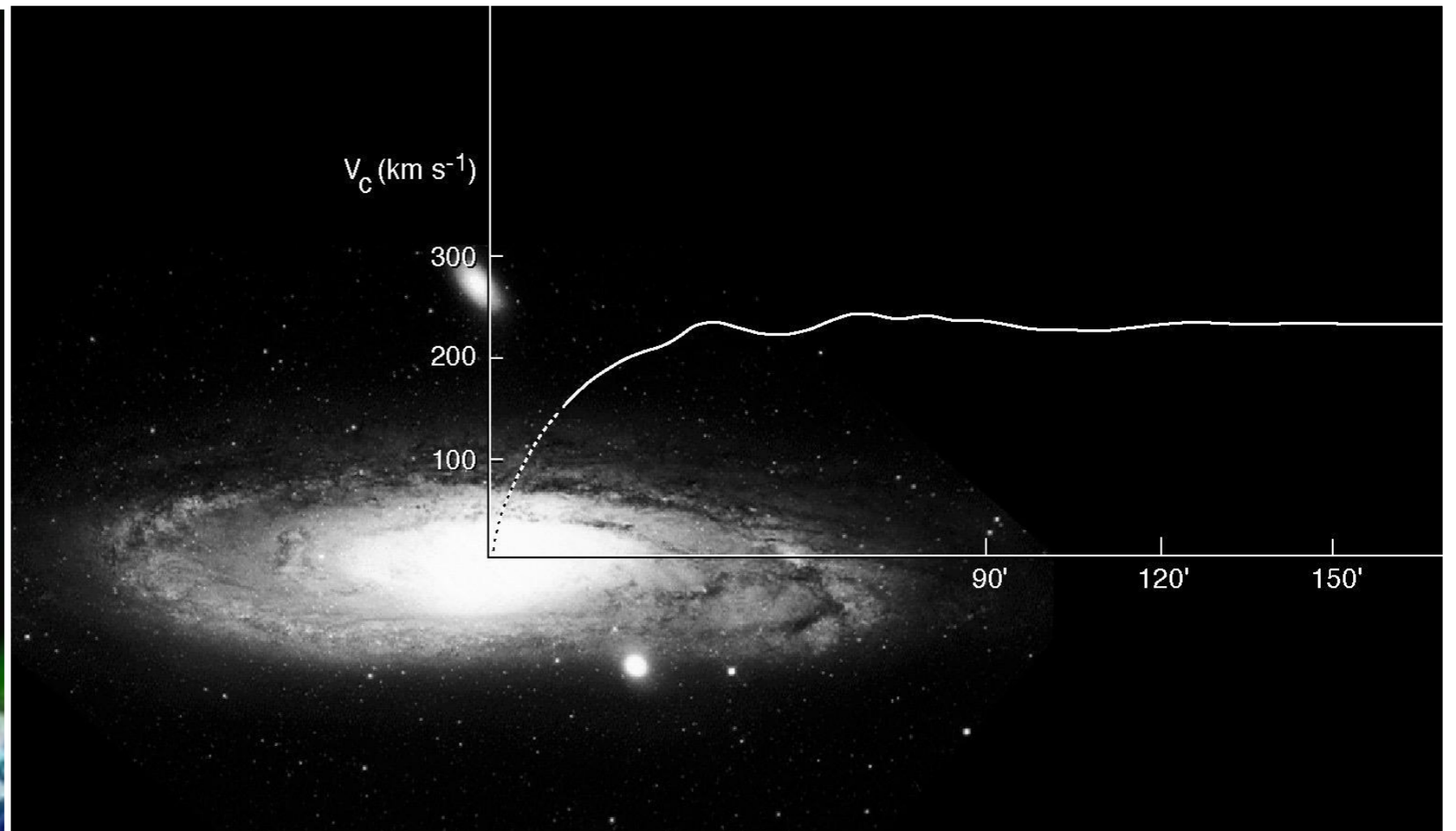




*Oltre la materia...*

*... la materia oscura*

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



# Scontri galattici



Distribuzione della materia luminosa

Immagine ai raggi X e nel visibile (Chandra)

Galaxy cluster  
1E 0657-56, "bullet cluster"

## Distribuzione di massa



Immagine dal gravitational lensing e nel visibile

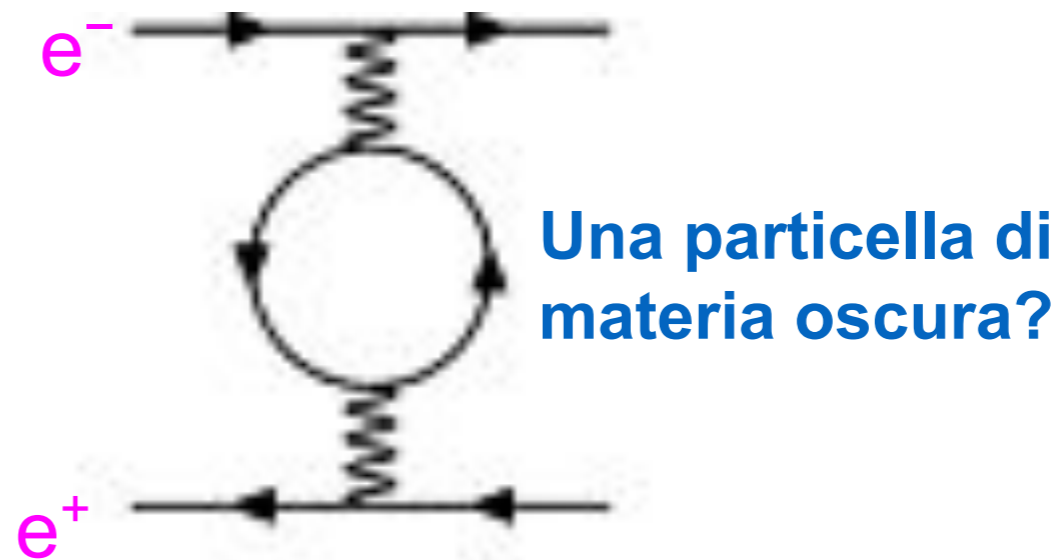
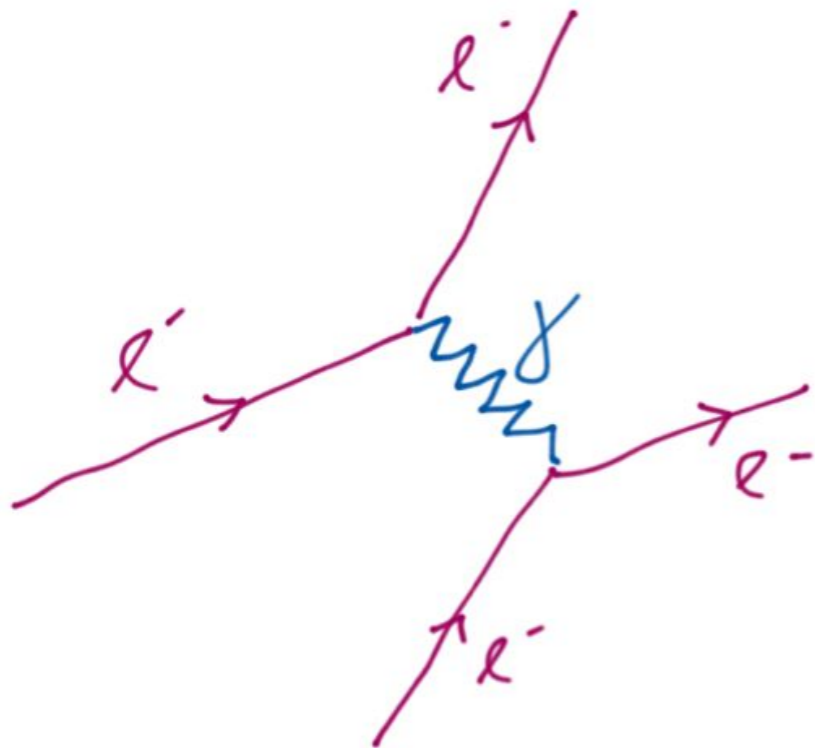
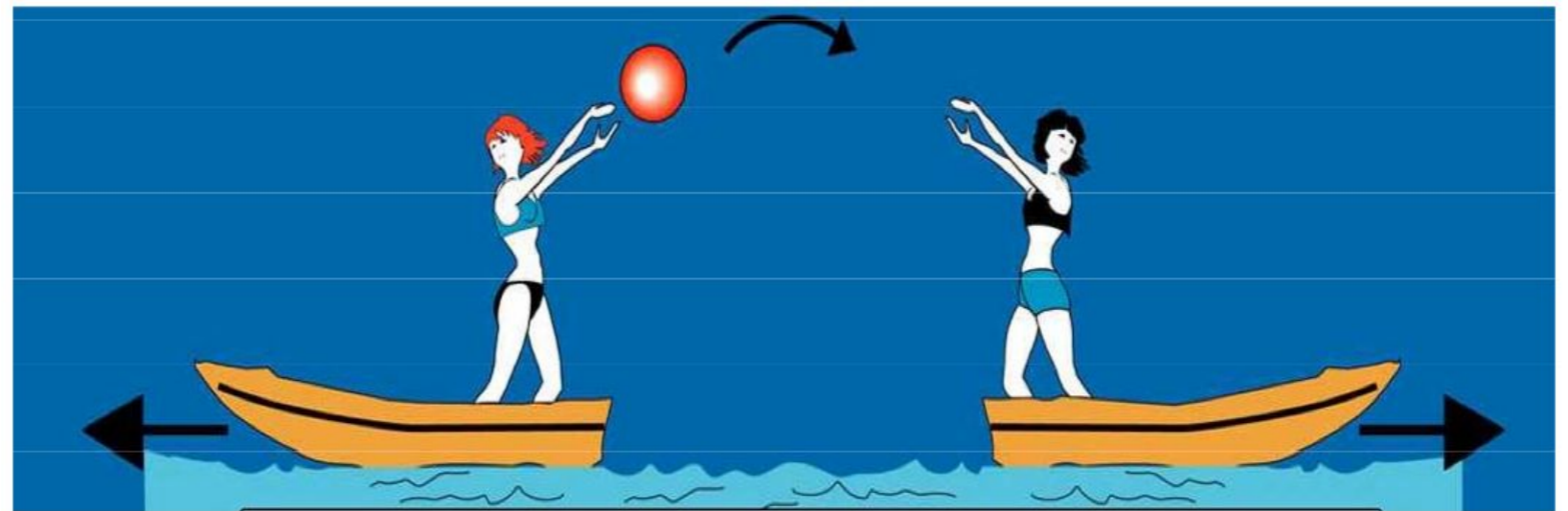
# Materia ordinaria e oscura



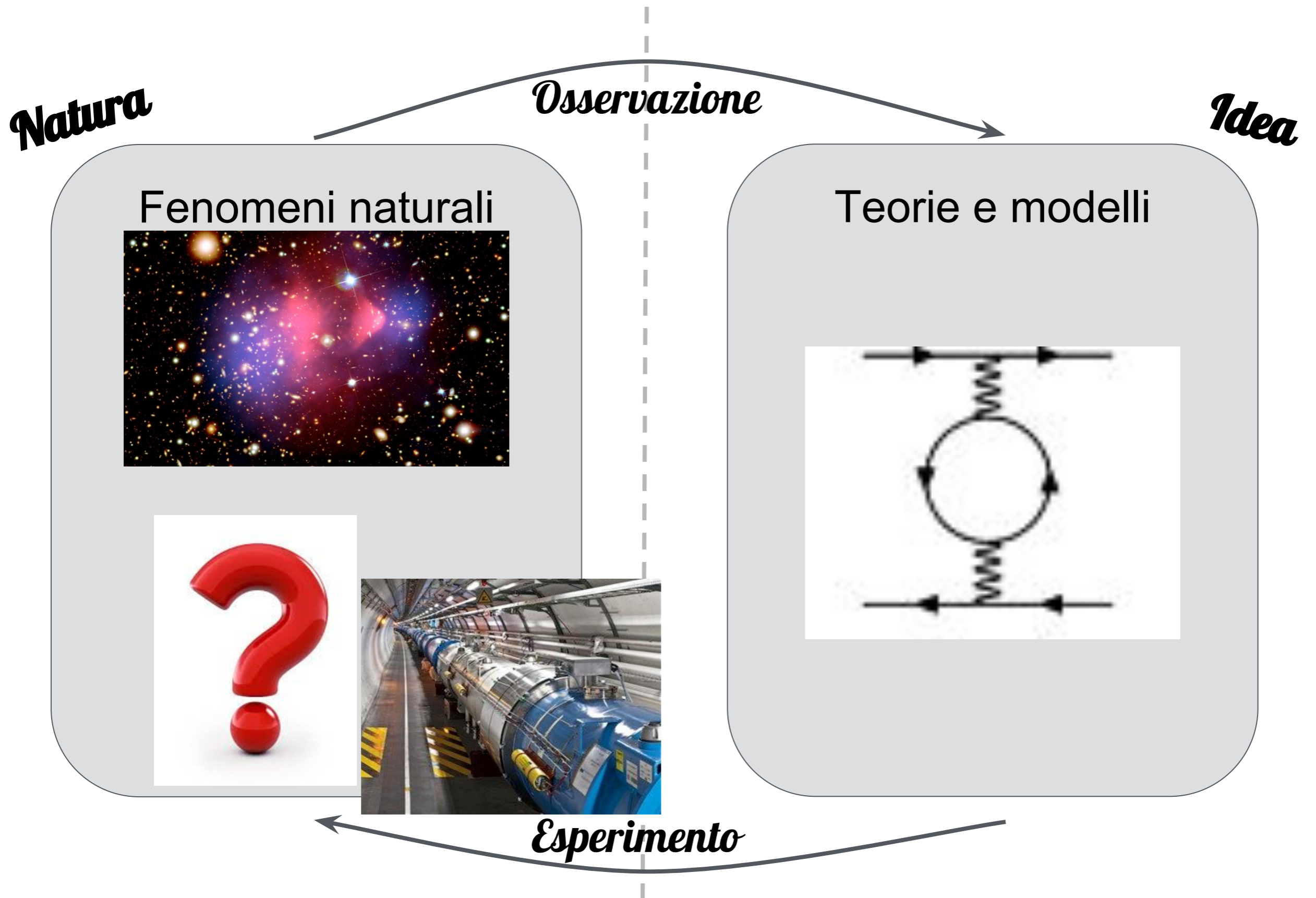
# Cercare la materia oscura sulla Terra

Se la materia oscura è stata generata durante il Big Bang, come la materia ordinaria, è ragionevole assumere che esista qualche meccanismo di interazione tra la materia oscura e la materia ordinaria.

Allora possiamo vederne gli effetti sulla Terra...



# Un altro esempio di Metodo Scientifico





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%

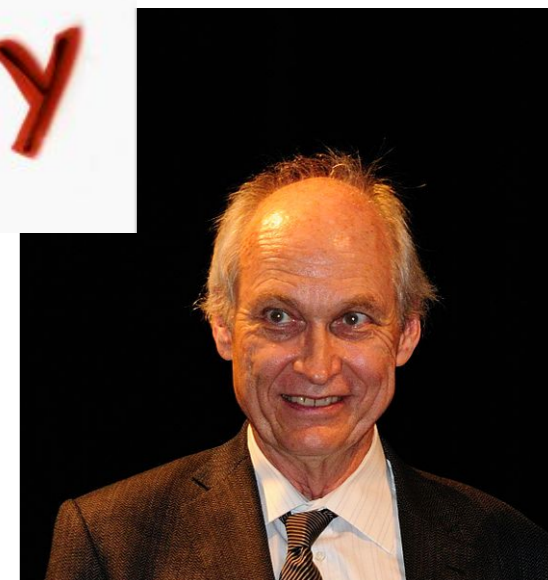
DARK MATTER HOLDS IT TOGETHER

DARK ENERGY DETERMINES HIS DESTINY

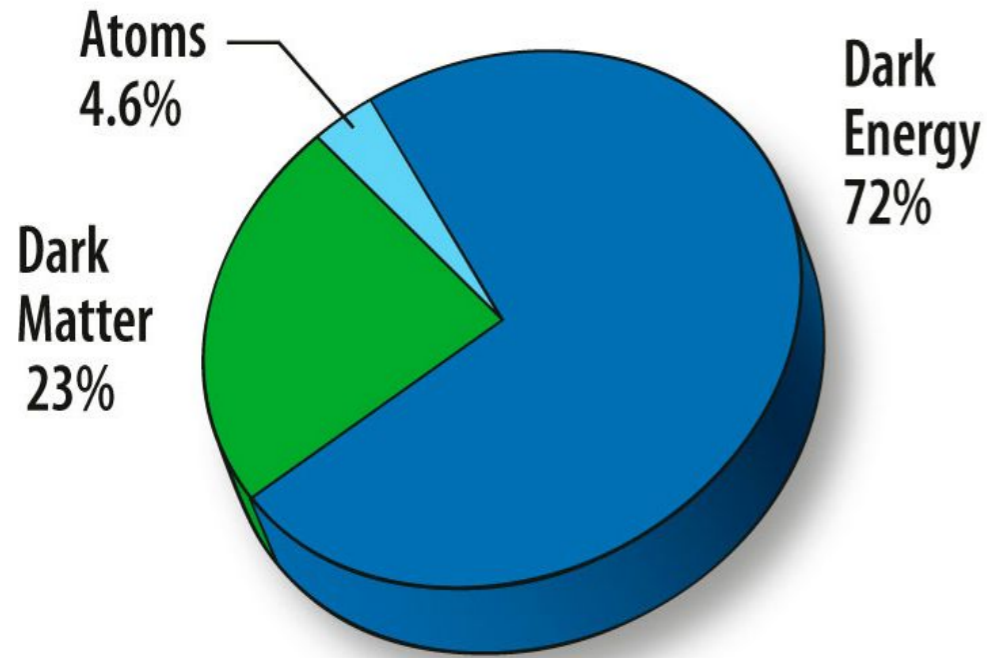
<http://indico.cern.ch/event/77816/>

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

Michael S Turner

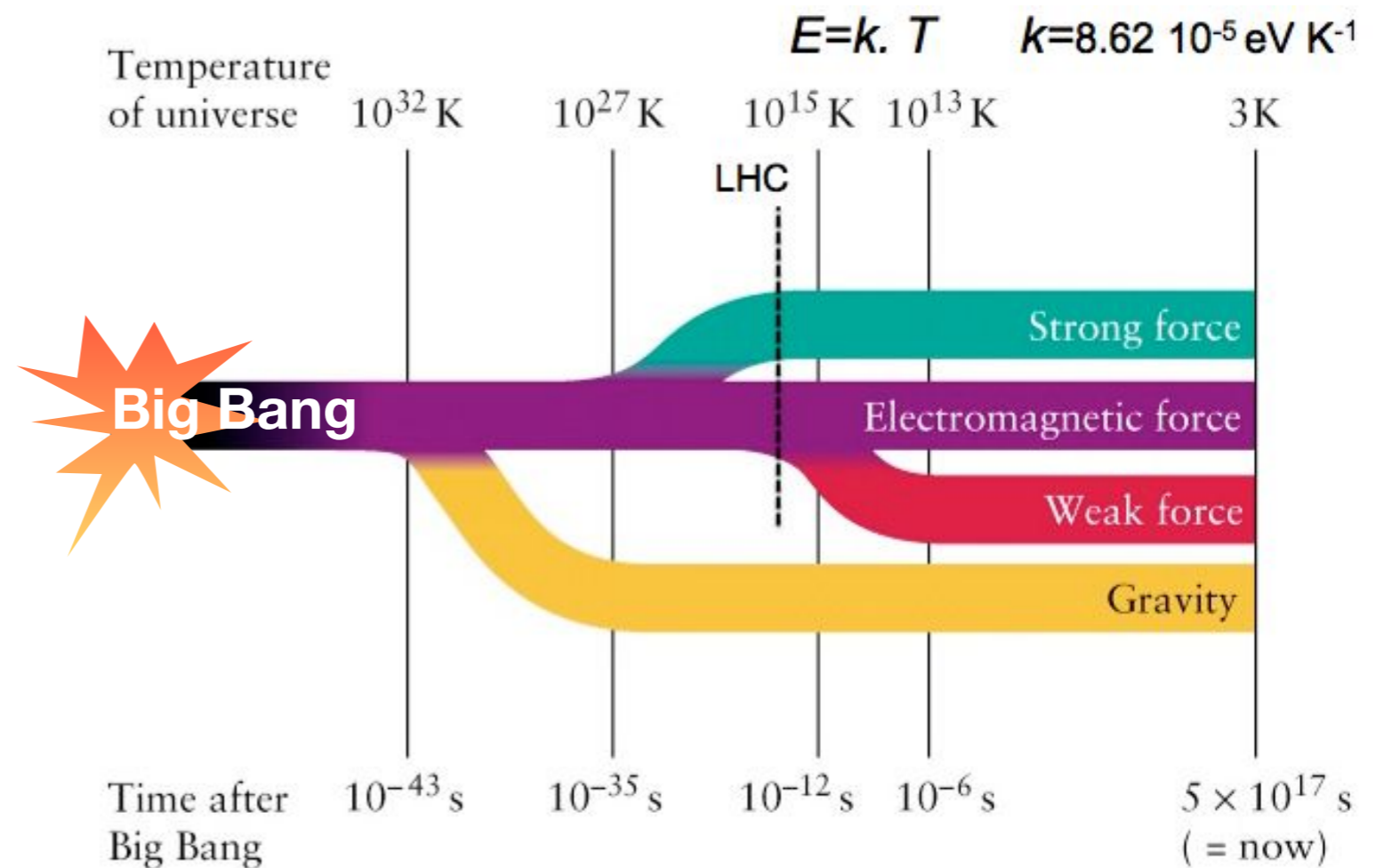






Le particelle che conosciamo compongono solo il 4% di tutto l'universo. Gran parte della massa non è visibile ma ne misuriamo gli effetti gravitazionali

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 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

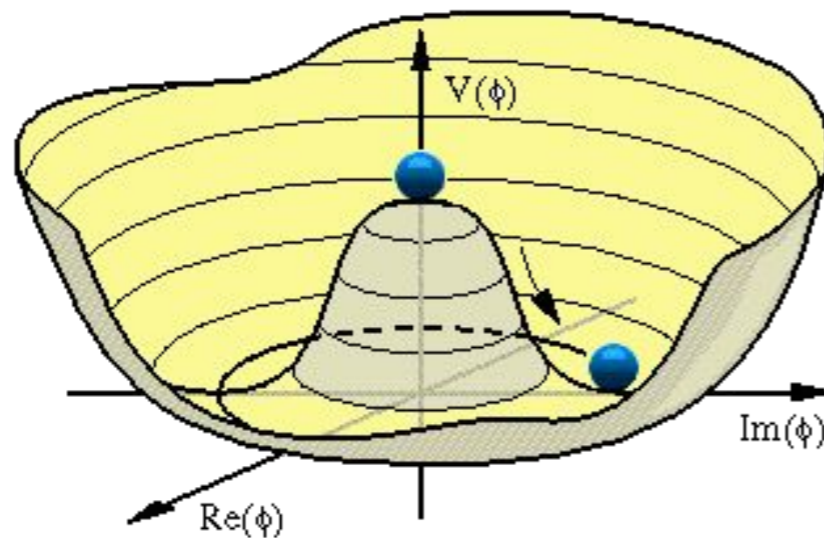
Arte e Scienza	<a href="https://web.infn.it/artandscience/index.php/en/">https://web.infn.it/artandscience/index.php/en/</a>
Rivista Asimmetrie	<a href="http://www.asimmetrie.it">www.asimmetrie.it</a>
Fisicast	<a href="http://www.radioscienza.it/2016/06/25/la-materia-oscura/">http://www.radioscienza.it/2016/06/25/la-materia-oscura/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

# 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:

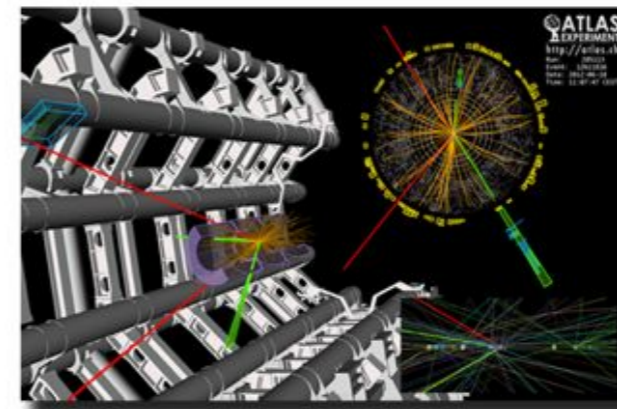
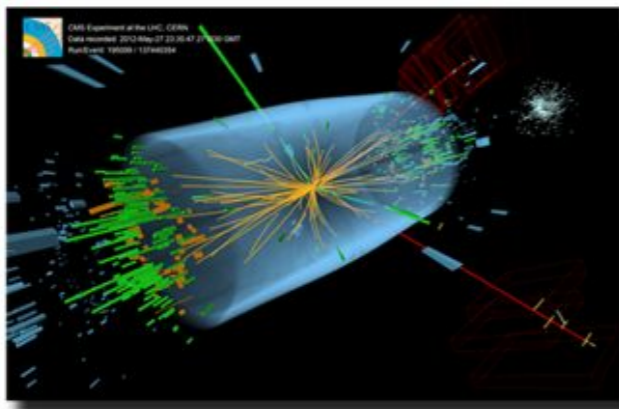
- magnetismo
- superconduttività

- 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

**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



# 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:  $E = mc^2$



## Group

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

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

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

**State at standard temperature and pressure**

- Atomic number in **red**: gas
- Atomic number in **blue**: liquid
- Atomic number in **black**: solid

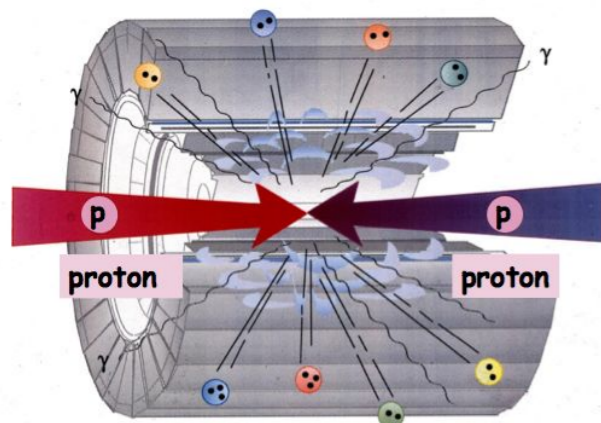
solid border: at least one isotope is older than the Earth (Primordial elements)
dashed border: at least one isotope naturally arise from decay of other chemical elements and no isotopes are older than the earth
dotted border: only artificially made isotopes (synthetic elements)
no border: undiscovered

- 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

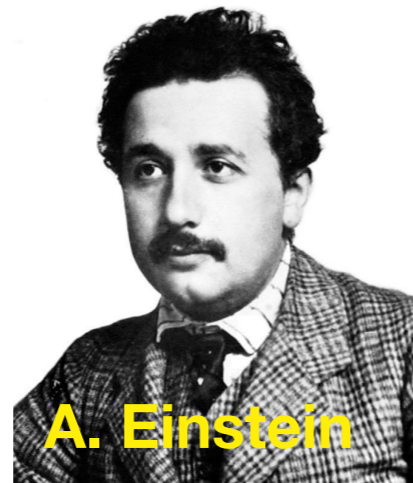
# Aumentando E



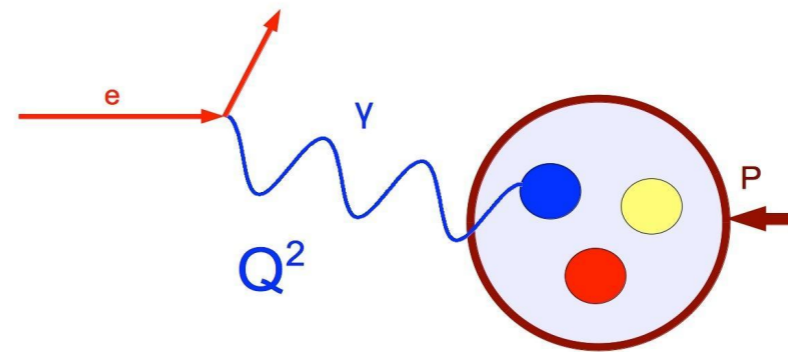
Posso materializzare  
particelle di massa  
maggiore



$$E = mc^2$$



Migliora il potere  
risolutivo.



$$\Delta p \times \Delta x \gtrsim \hbar$$
$$\Delta E \times \Delta t \gtrsim \hbar$$



# 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.

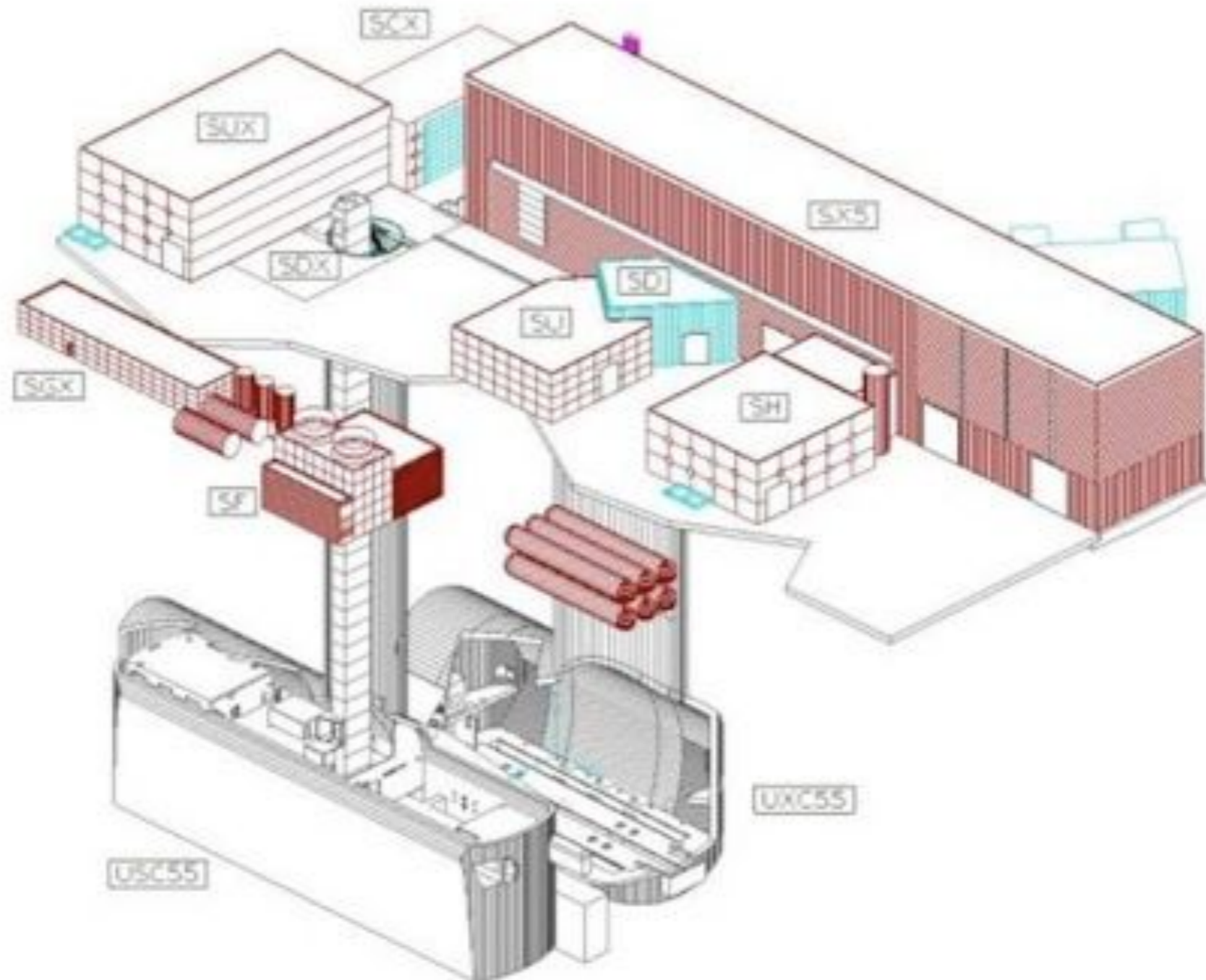
- Allora è freddo come la neve?

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)*

# Mappa del luogo



# **Trasferimento Tecnologico**

# Cambiamento di paradigma

scienza  
applicata

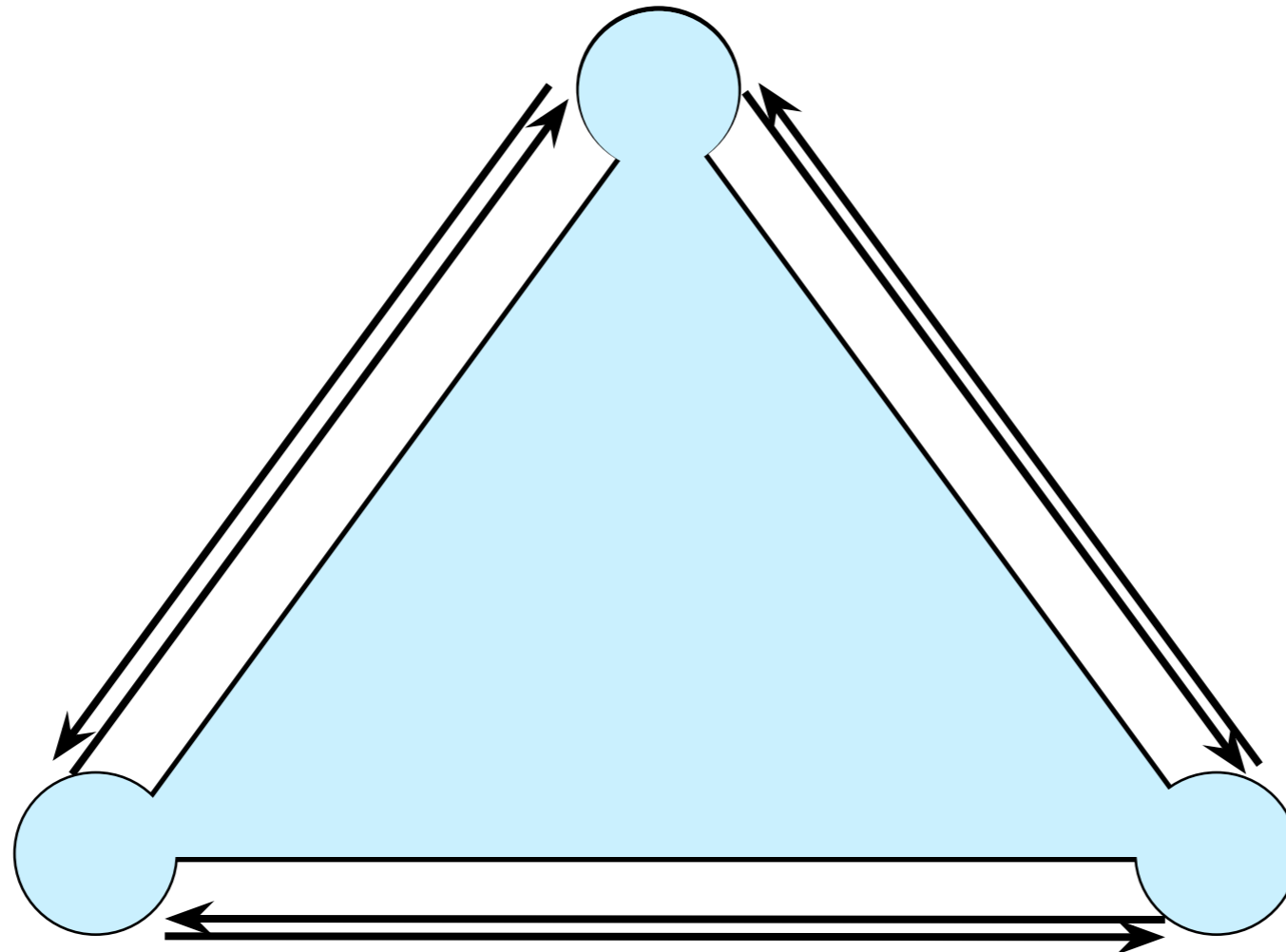


scienza  
fondamentale



# Il triangolo dell'innovazione

INNOVAZIONE



ISTRUZIONE

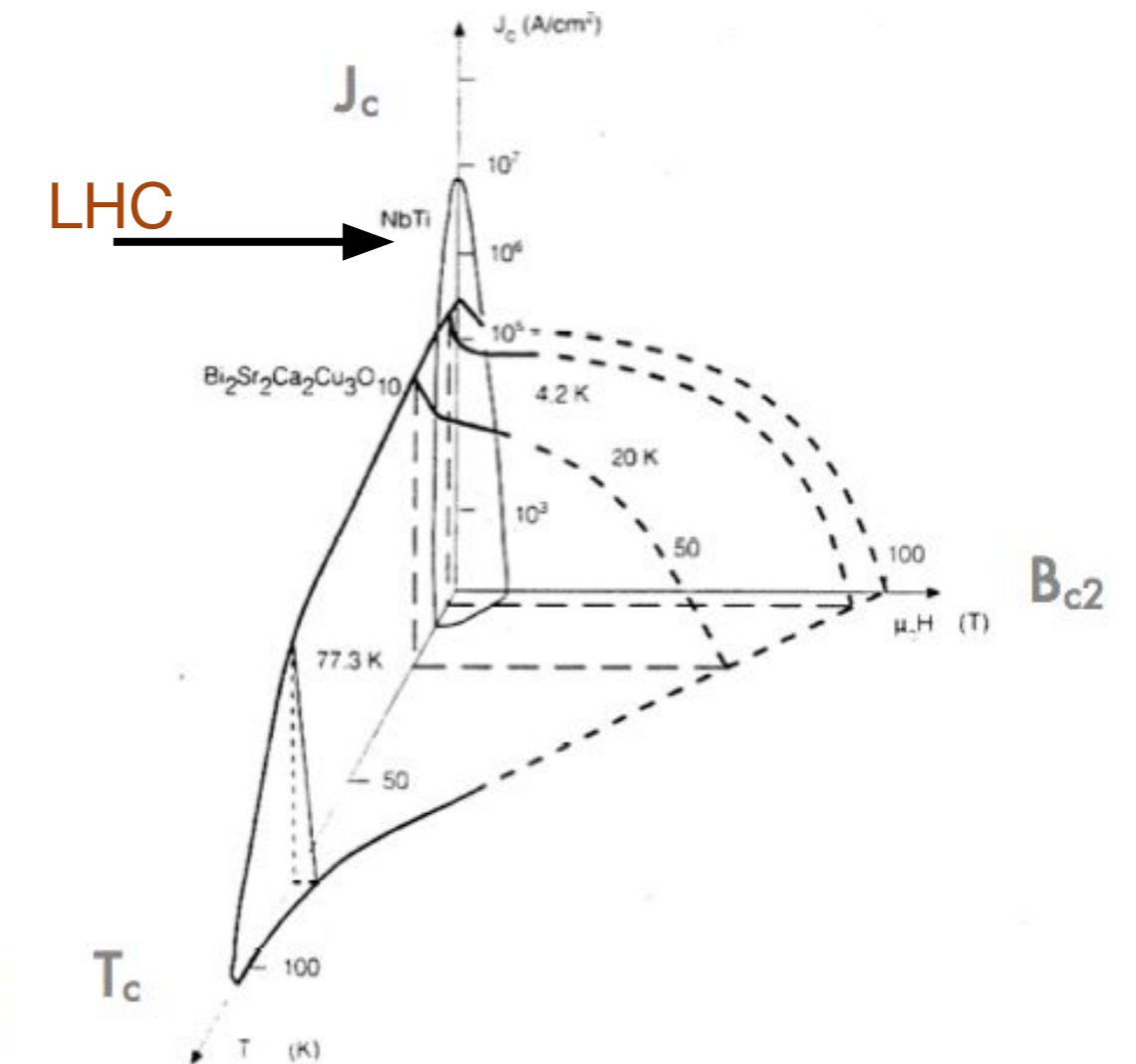
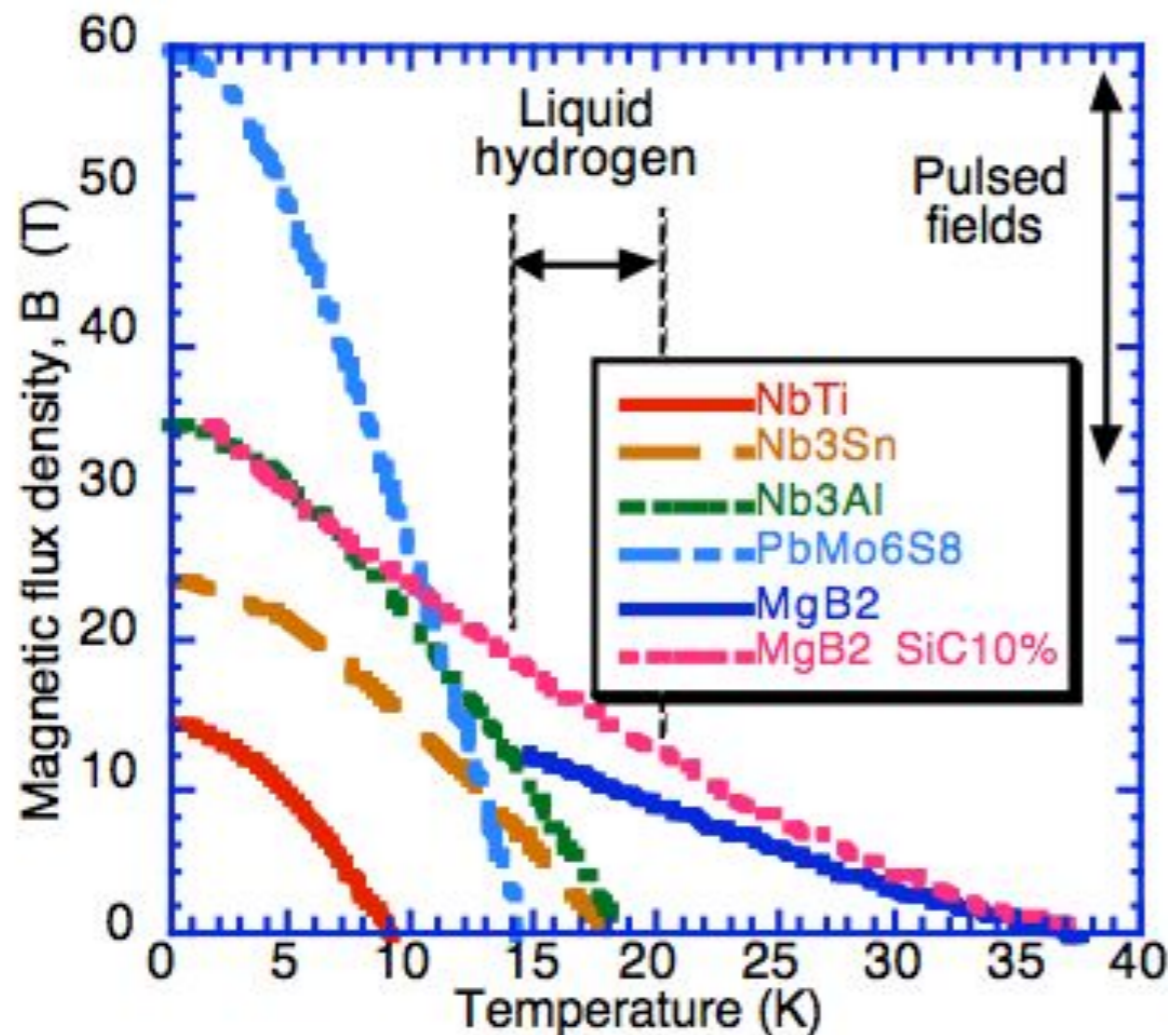
RICERCA



# Perché NbTi ?

- La fase superconduttiva dipende da tre parametri:

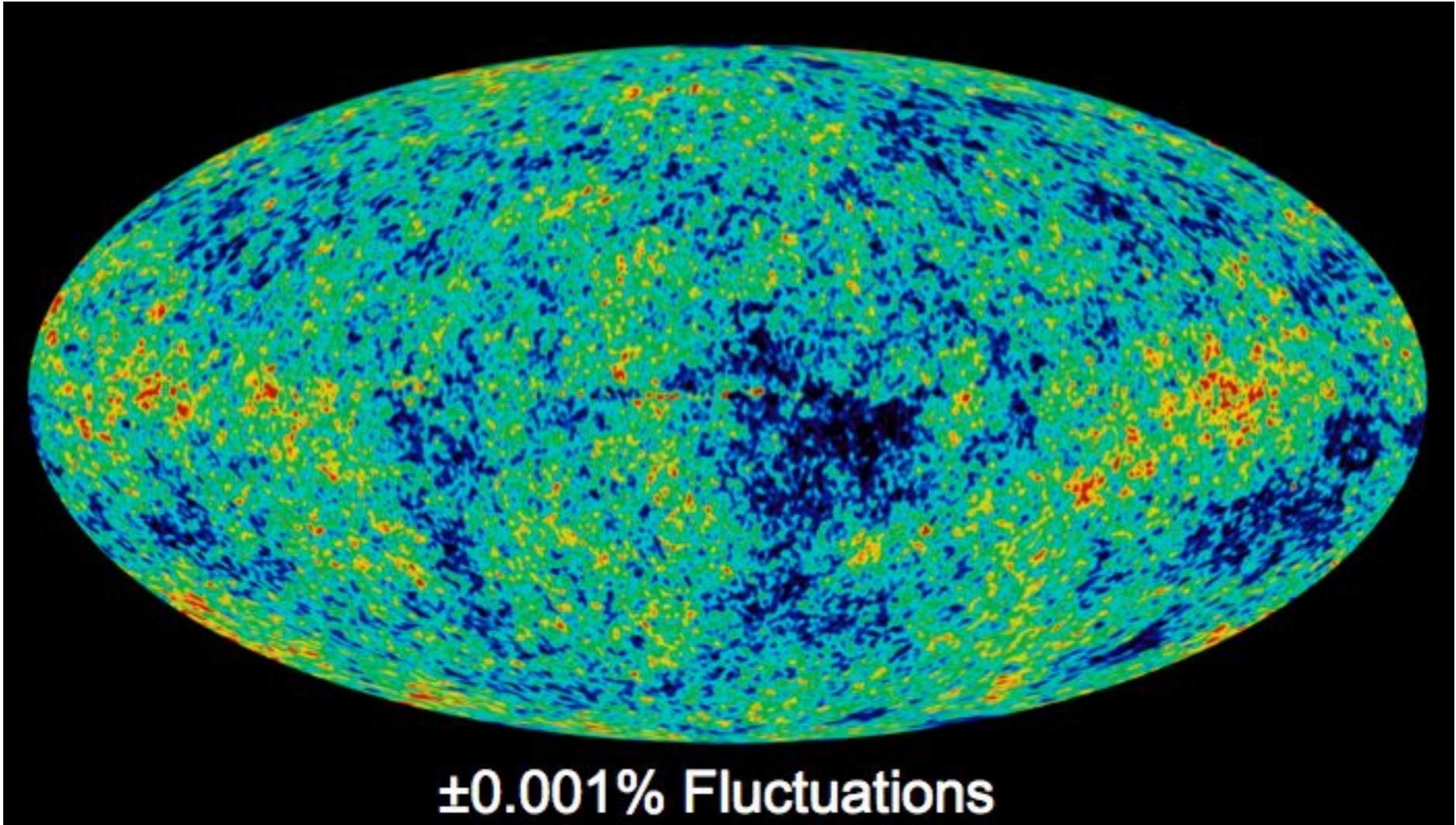
- temperatura
- campo magnetico
- densità di corrente



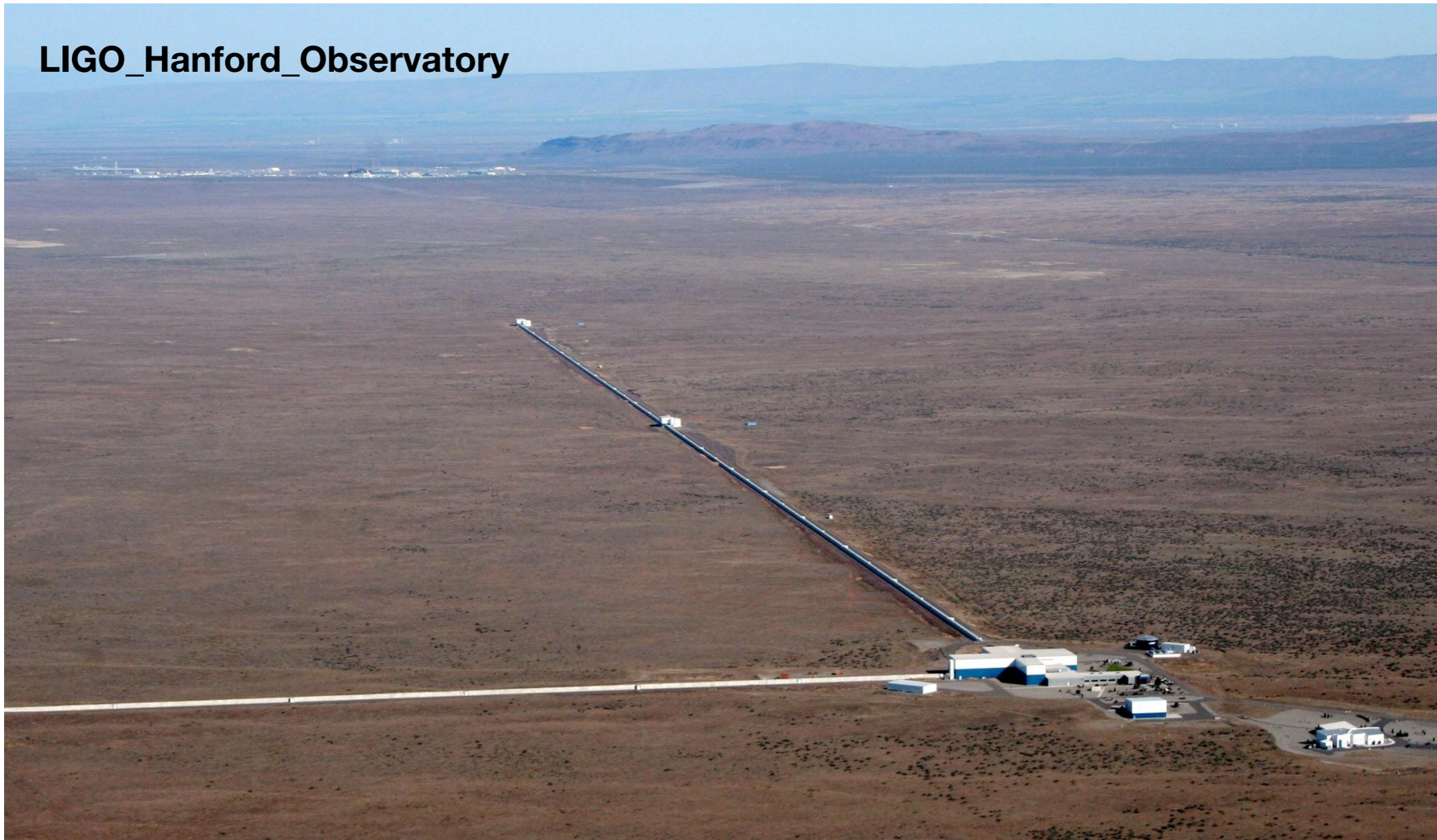
# Energia dei fasci e magneti

- Relazione diretta tra energia del fascio e corrente nei dipoli

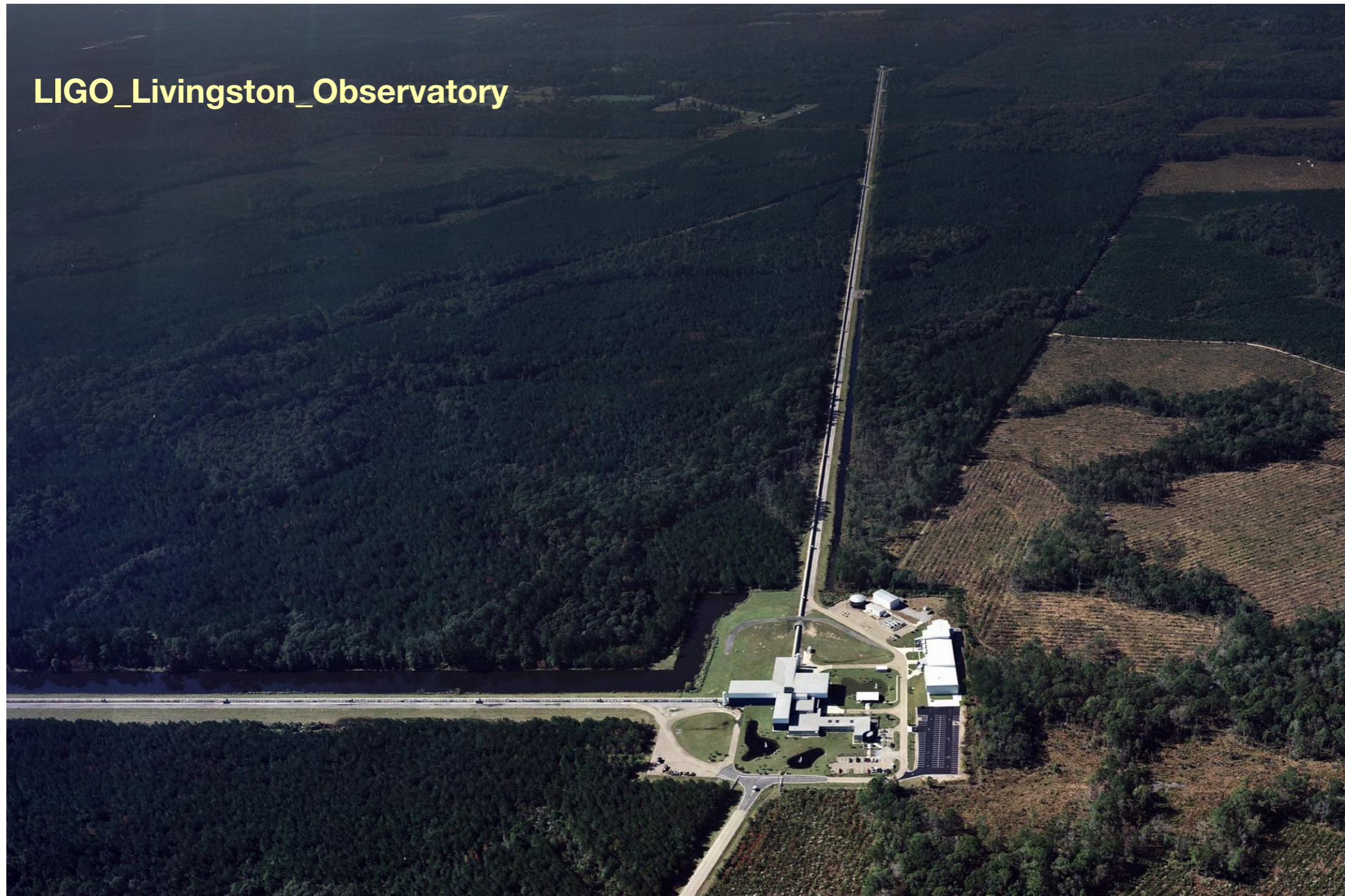
I (kA)	Energy (TeV)
0.76	0.45
2	1.18
6	3.5
6.7	4
8.5	5
9.3	5.5
10	6
12	7



**LIGO\_Hanford\_Observatory**



**LIGO\_Livingston\_Observatory**



**EGO - VIRGO**



## LA SCOPERTA

I dati sono stati analizzati e studiati dalle collaborazioni di **LIGO** e **VIRGO**, che è il terzo interferometro della rete internazionale. VIRGO è stato costruito presso l'European Gravitational Observatory (EGO) a Cascina (PI), dall'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) e dal Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS). L'analisi dei dati ha confermato la prima rivelazione diretta di onde gravitazionali, che è stata annunciata l'11 Febbraio 2016 in modo congiunto a Washington e Cascina

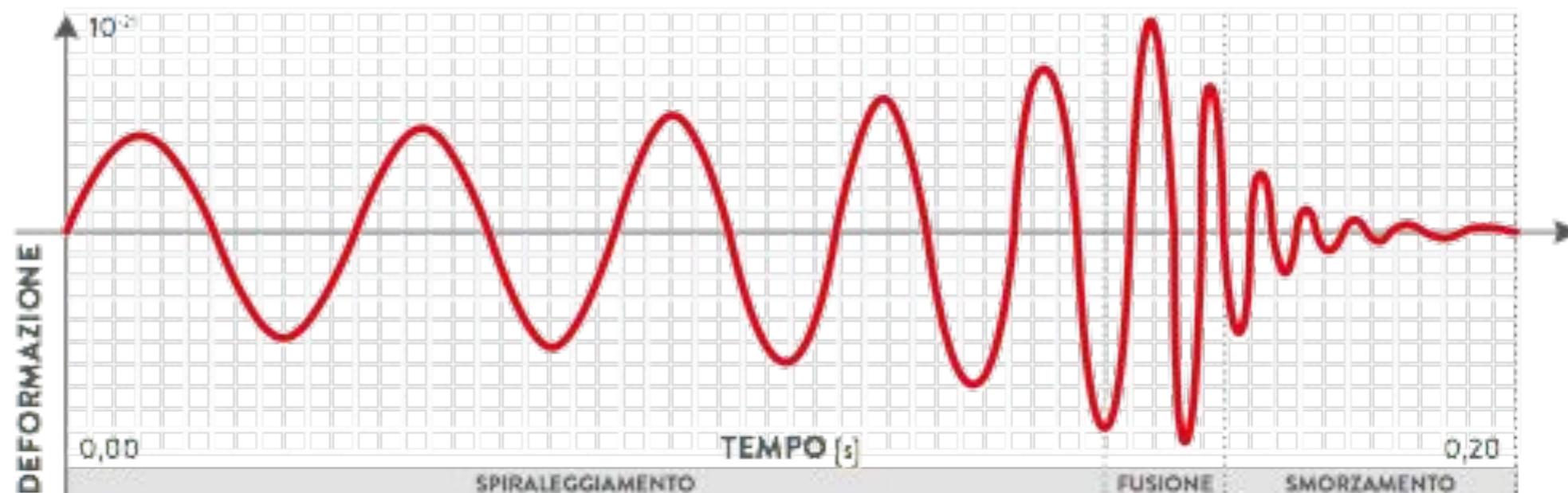


## IL SEGNALE

24 settembre 2015  
Ore 09:50:45 UTC

Prodotto dal passaggio di un'onda gravitazionale, è stato osservato simultaneamente dai due interferometri gravitazionali LIGO, distanti migliaia di km, in Louisiana e nello stato di Washington (USA)

Ha una durata di qualche frazione di secondo e una frequenza variabile: da 30 a 250 Hz

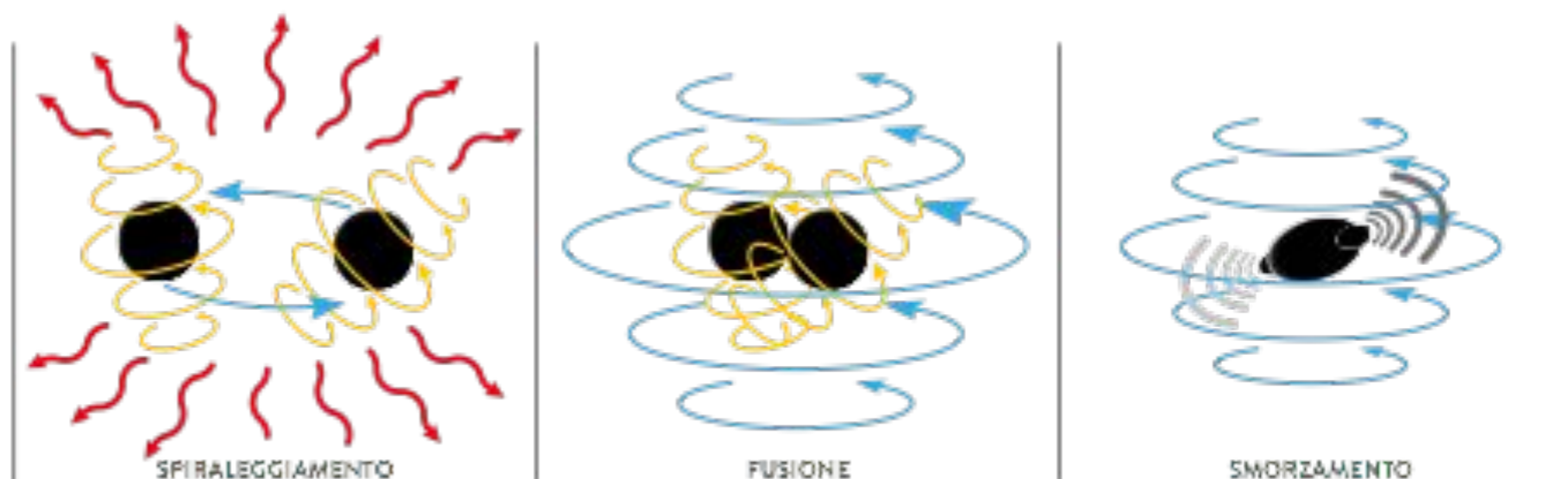


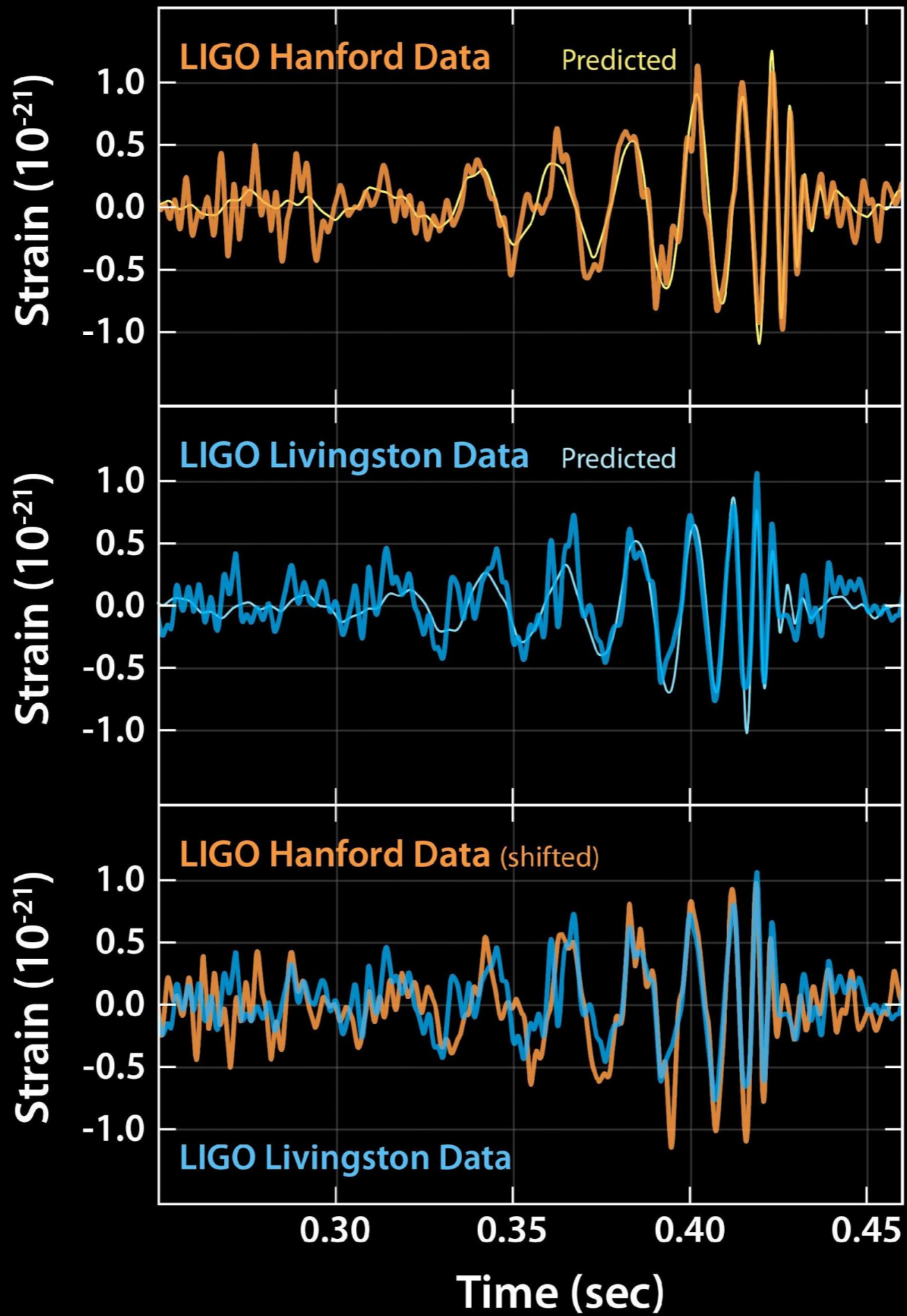
## UNO SCONTRO DI BUCHI NERI

L'onda è stata prodotta da un gigantesco scontro di due buchi neri distante da noi 1,3 miliardi di anni luce e quindi avvenuto più di un miliardo di anni fa.

I due buchi neri di massa circa uguale (36 e 29 masse solari) si sono scontrati a una velocità di 150.000 km/s (la metà della velocità della luce)

È la prima osservazione diretta mai realizzata di un fenomeno di questo tipo

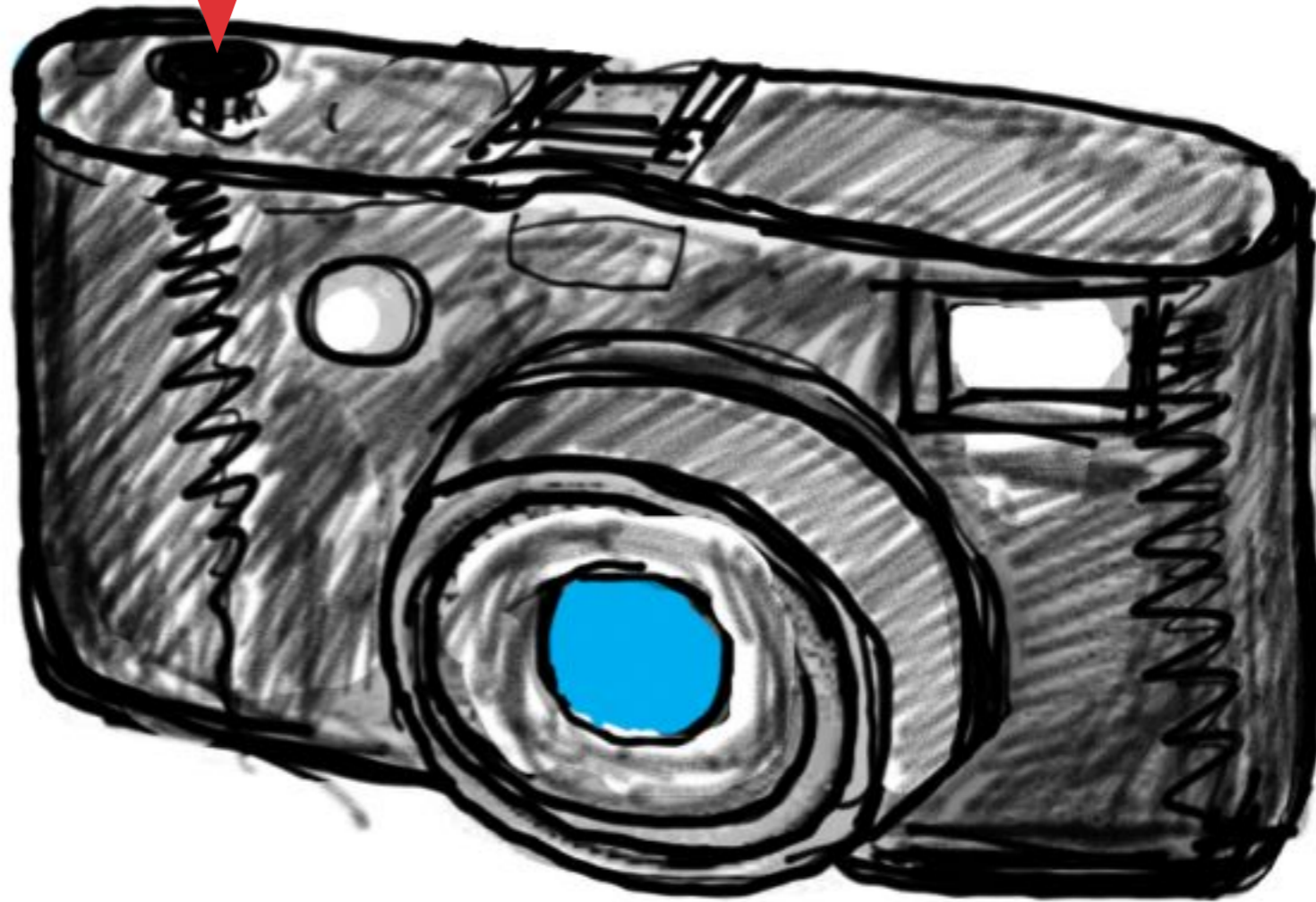






Chi scatta la foto ?

Trigge  
r



# Il sistema di trigger

L'esperimento acquisisce sincrono con il fascio di LHC a 40 MHz

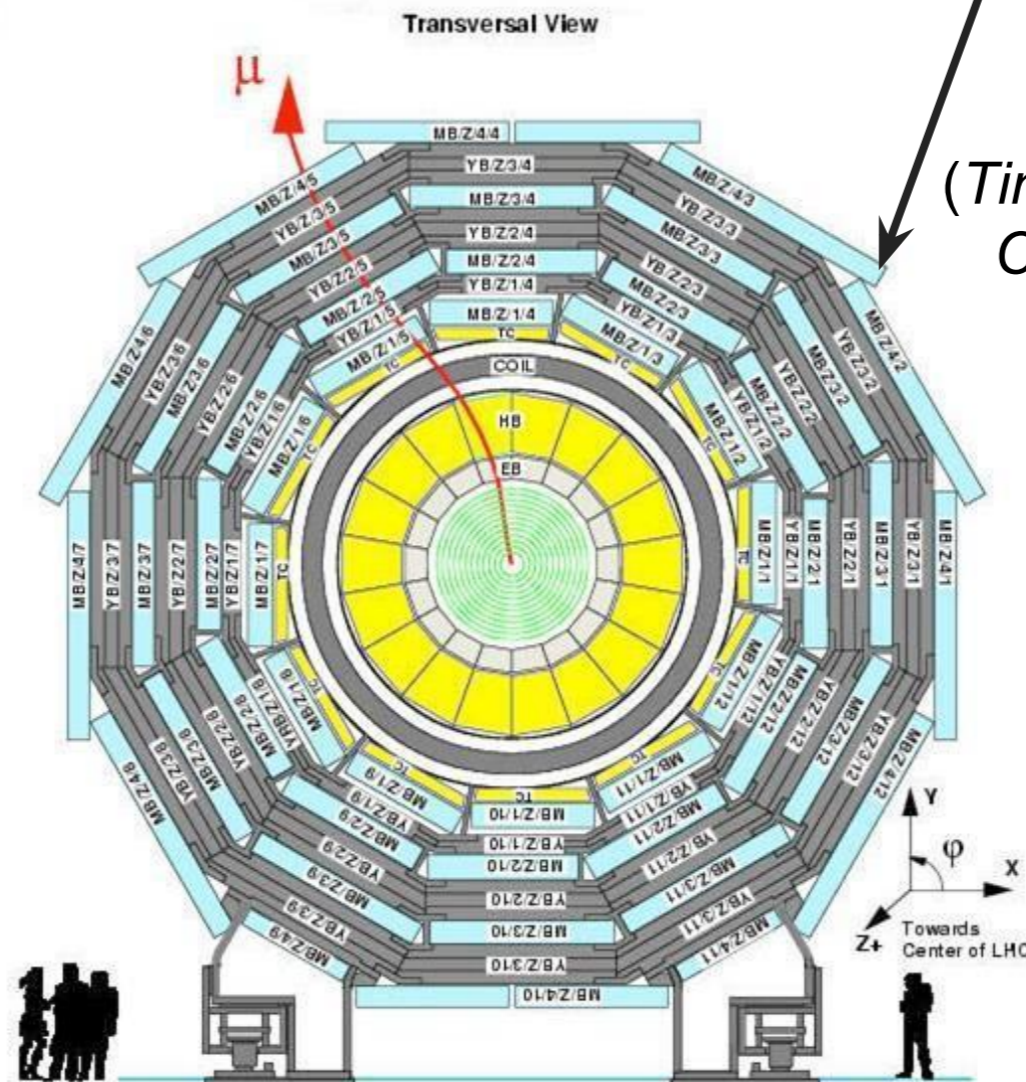
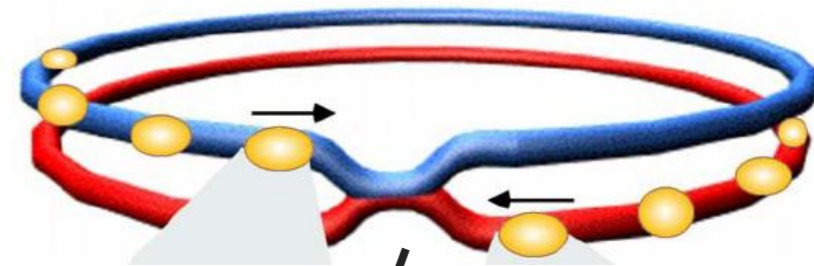
LHC: 40 MHz clock

TRIGGER



40 MHz

300 Hz  
dati  
salvati



TTC  
(Timing and Trigger Control signals)



# 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)



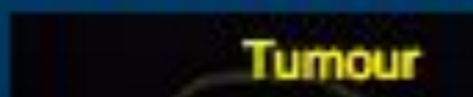
Examples of applications: medical imaging, cancer therapy, solar panels, materials science, airport scanners, cargo screening, food sterilization, nuclear waste transmutation, analysis of historical relics, etc. etc. ...not to mention the WEB ...



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



## Hadron Therapy



Tumour



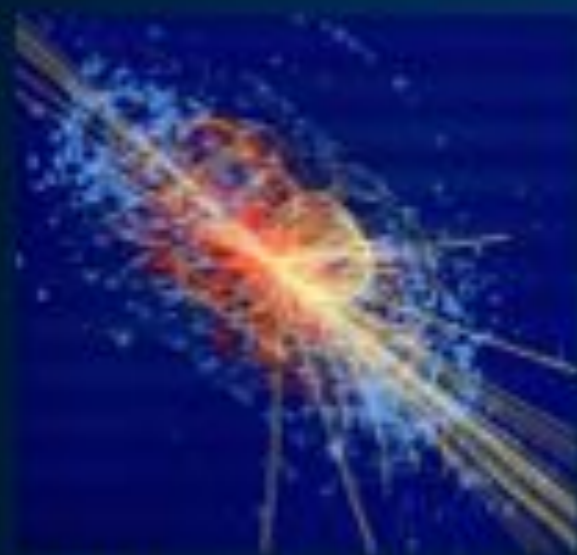
Leadership in Ion  
Beam Therapy

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:

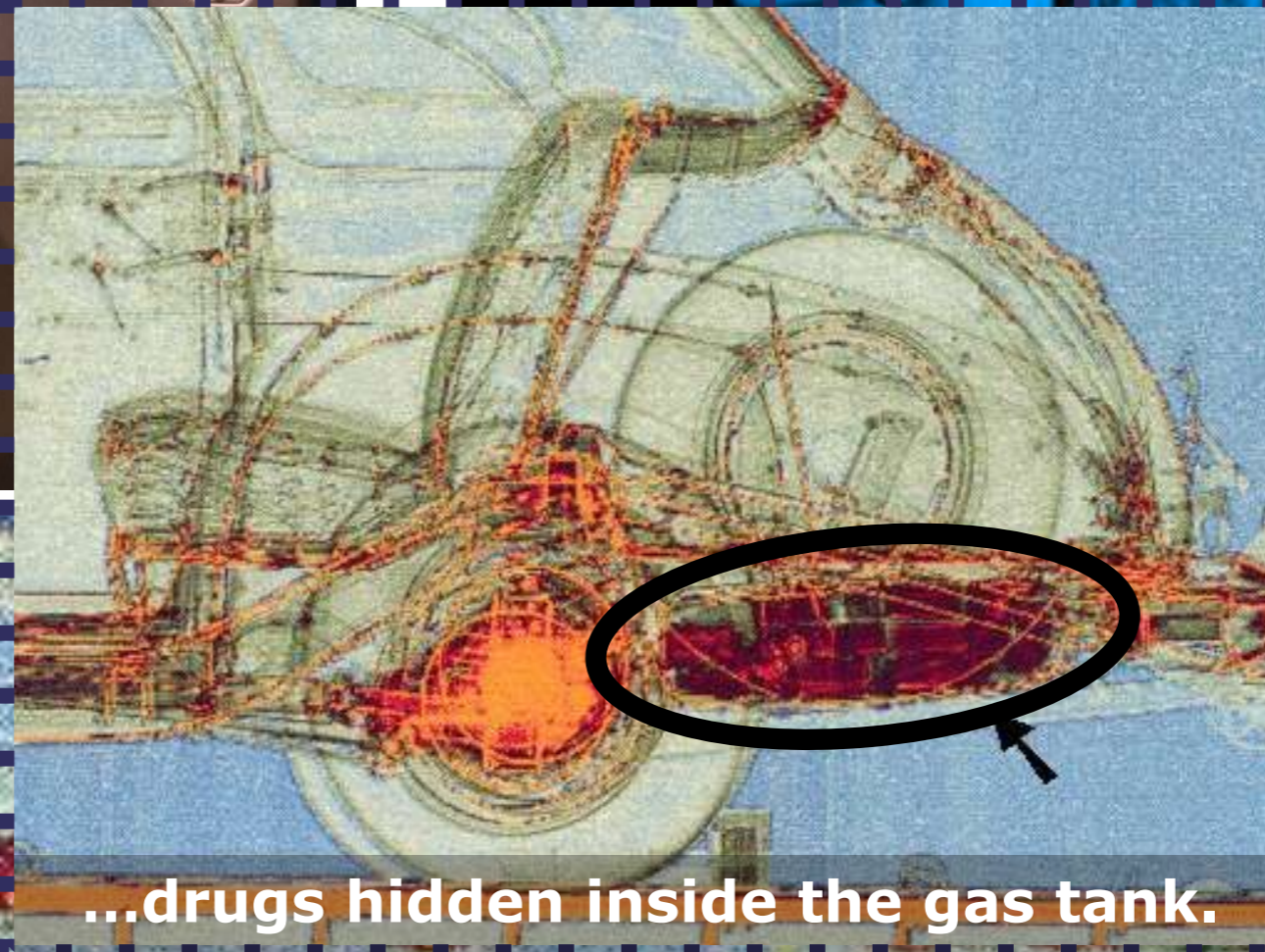
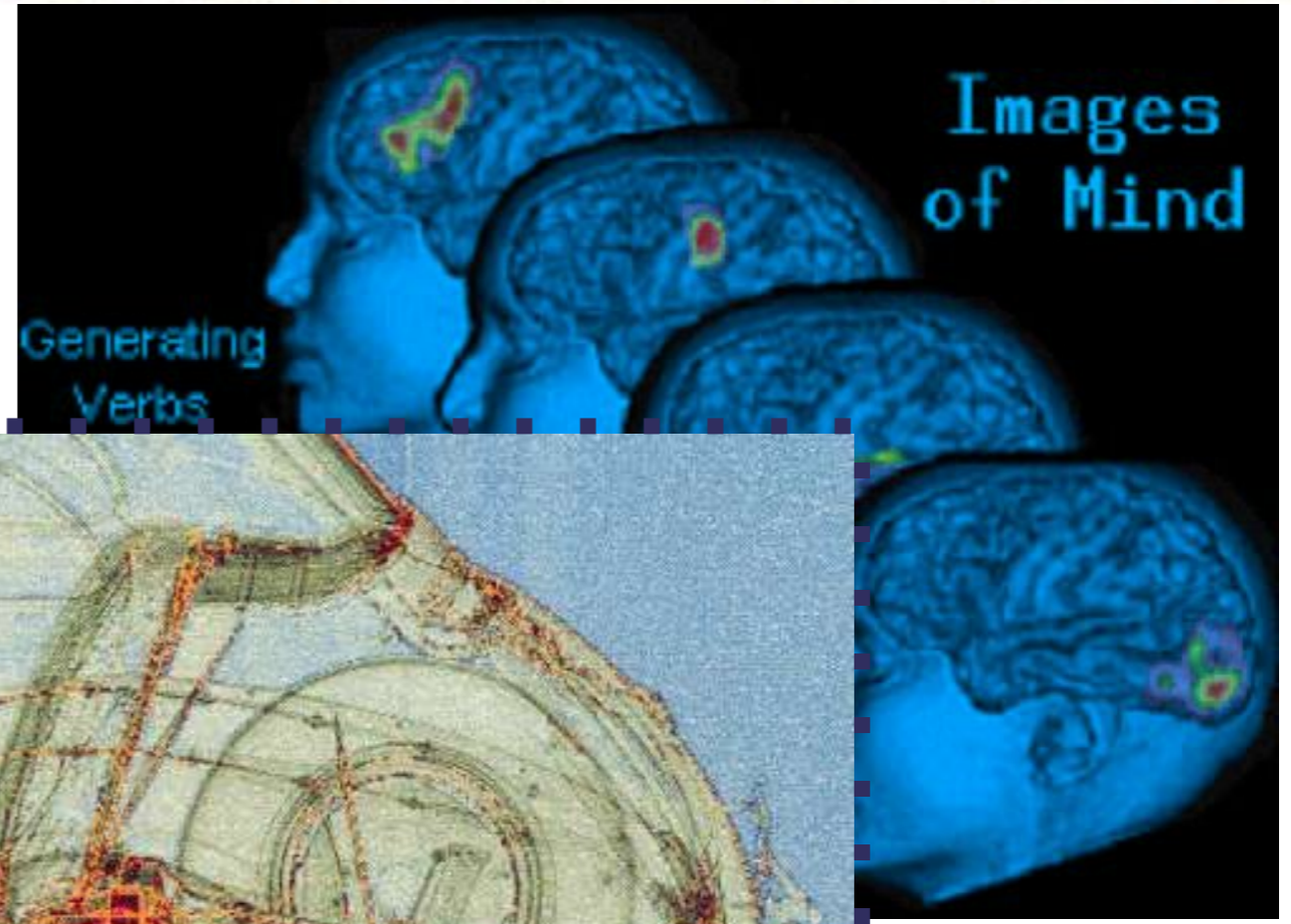
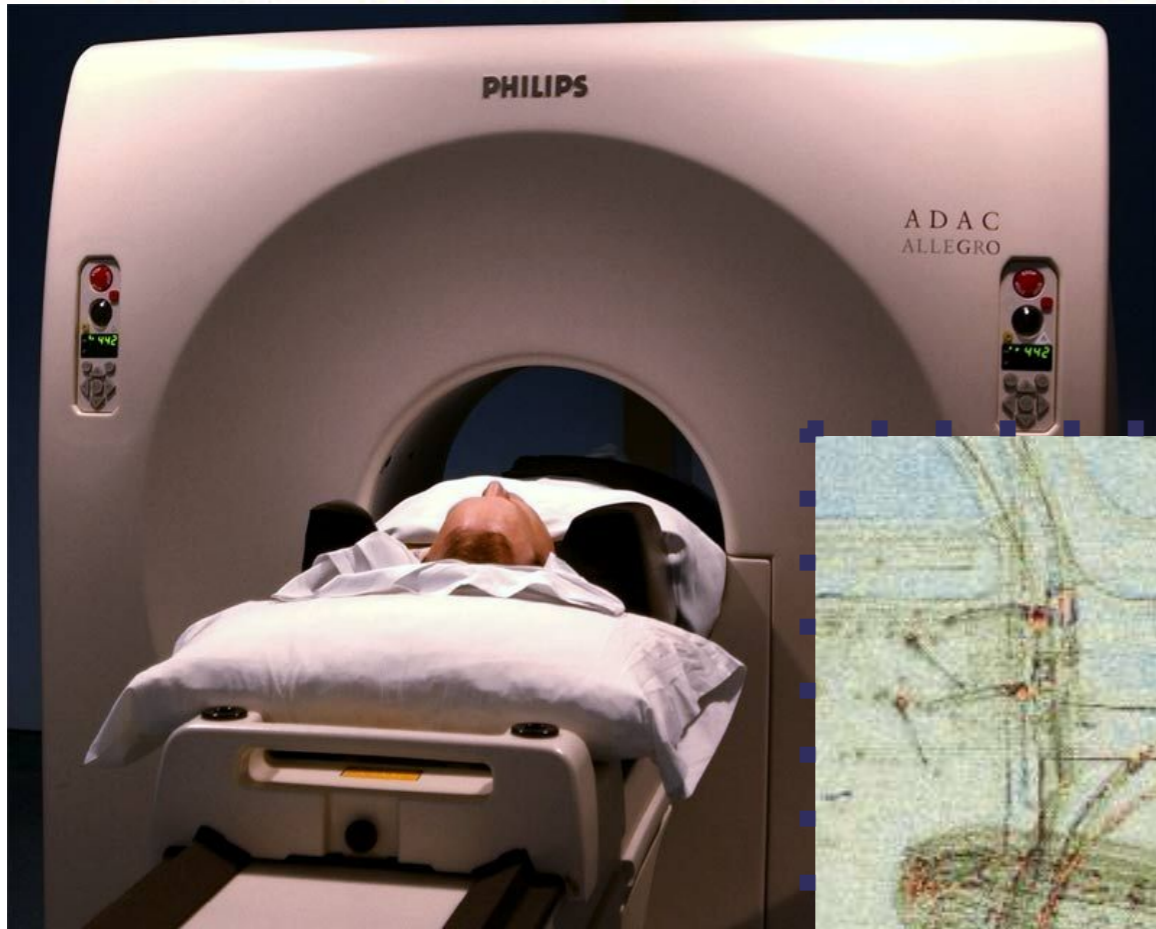
- cura dei tumori
- industria dei semiconduttori
- saldatura con fasci di elettroni
- sterilizzazione medica o del cibo
- produzione di radioisotopi
- radiazione di sincrotrone
- neutroni per fisica stato solido e biologia
- salvaguardia dei beni culturali



**Detecting particles**



# Other uses for CERN-made detectors



...drugs hidden inside the gas tank.

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

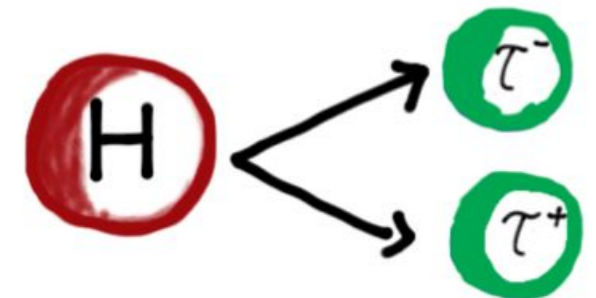
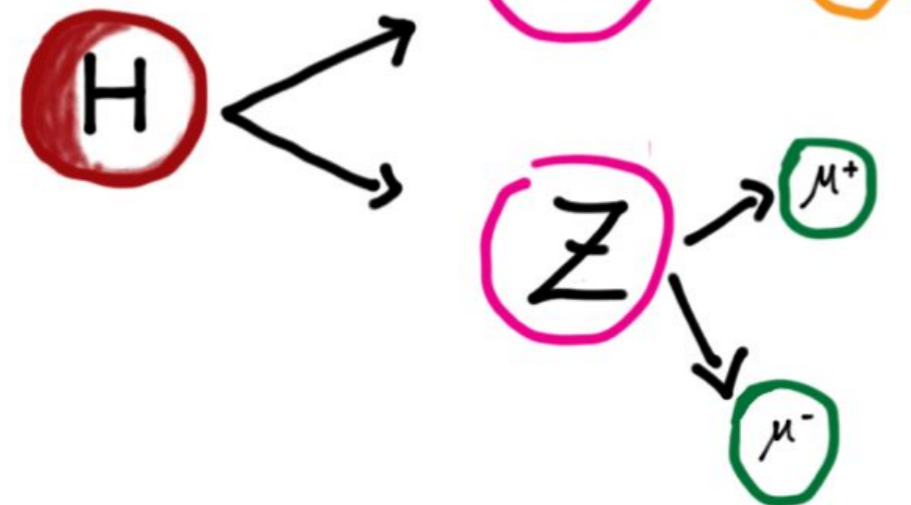
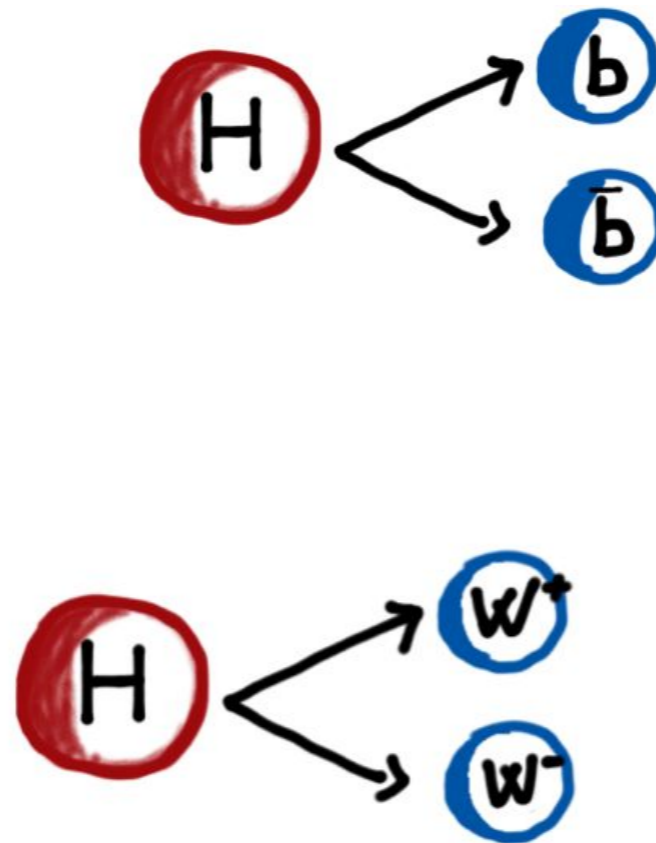
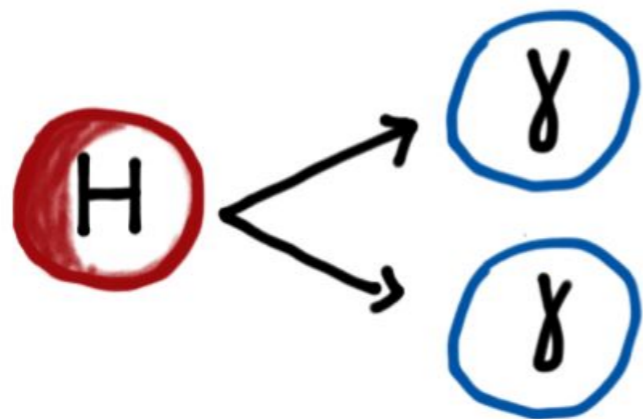
# FILMATO

Animation of CERN's accelerator network

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

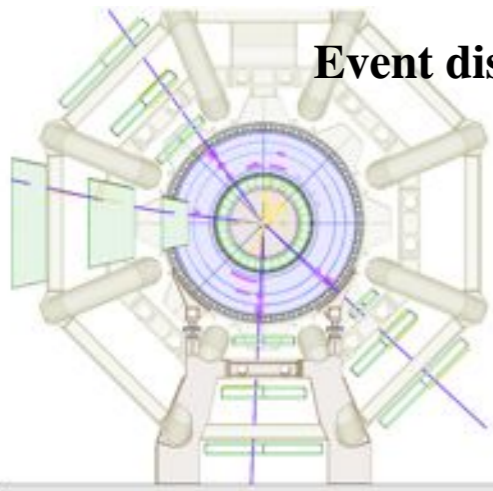
# La ricerca del bosone di Higgs

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

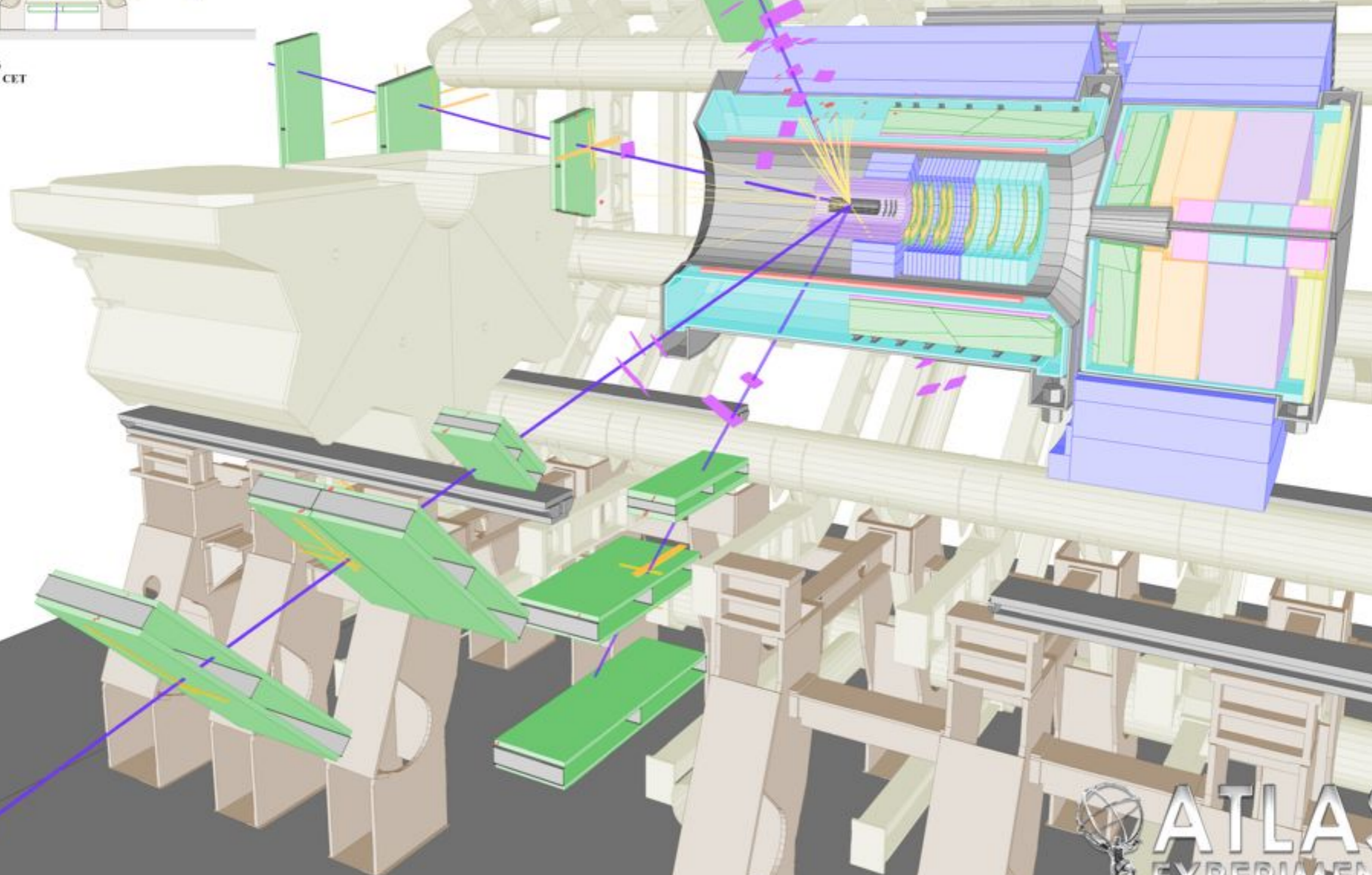


Event display of a 4mu candidate with the 4 muons invariant mass:  $m(4\mu) = 124.6 \text{ GeV}$ .

RunNumber: 189280, EventNumber: 143576946



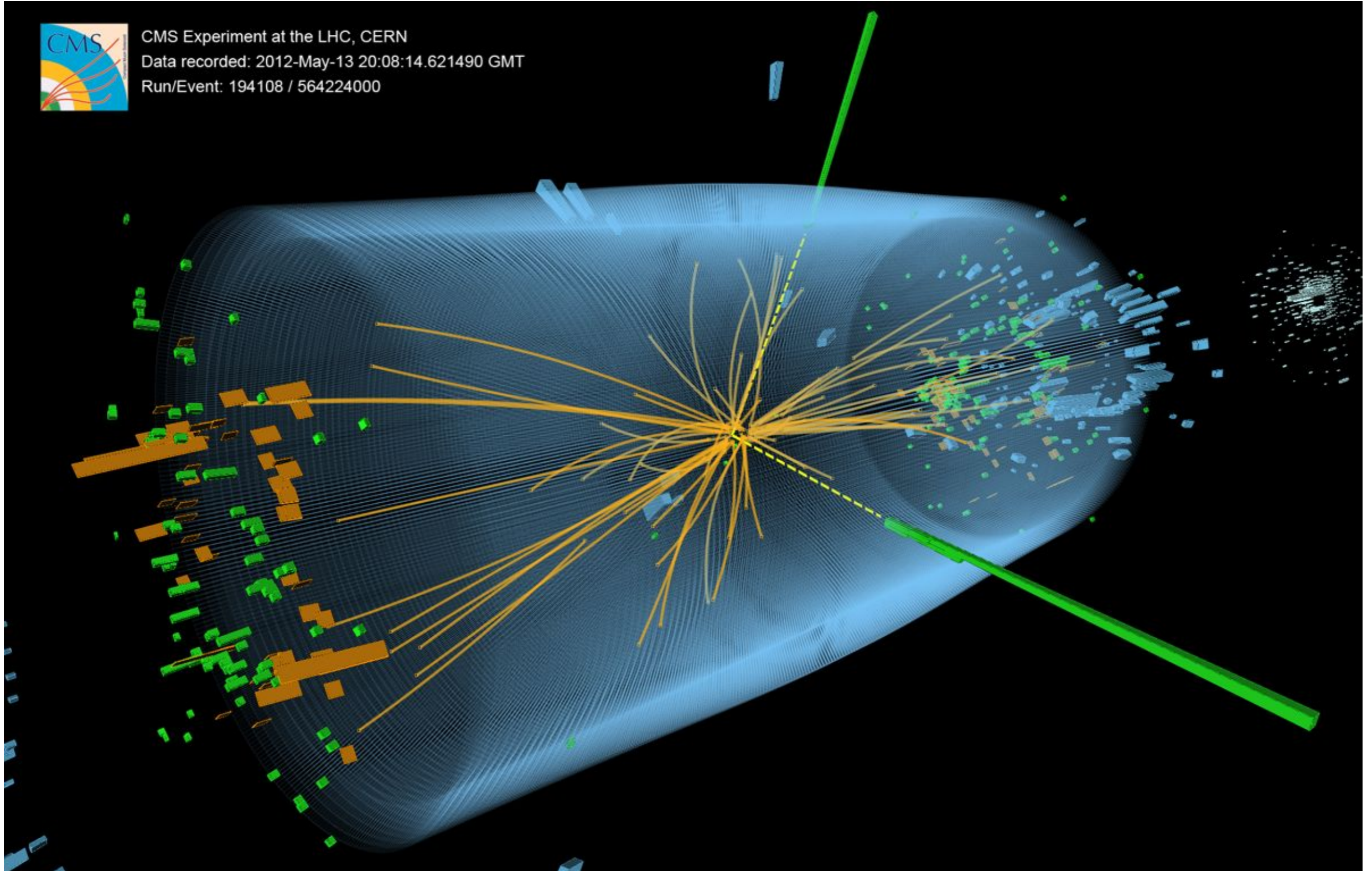
#event: 143576946  
Run Number: 189280,  
Event Number: 143576946  
Date: 2011-09-14, 11:37:11 CET  
EtCut=0.3 GeV  
PtCut=3.0 GeV  
Vertex Cuts:  
Z direction <1cm  
Rphi <1cm  
Muon: blue  
Cells: Tiles, EMC







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

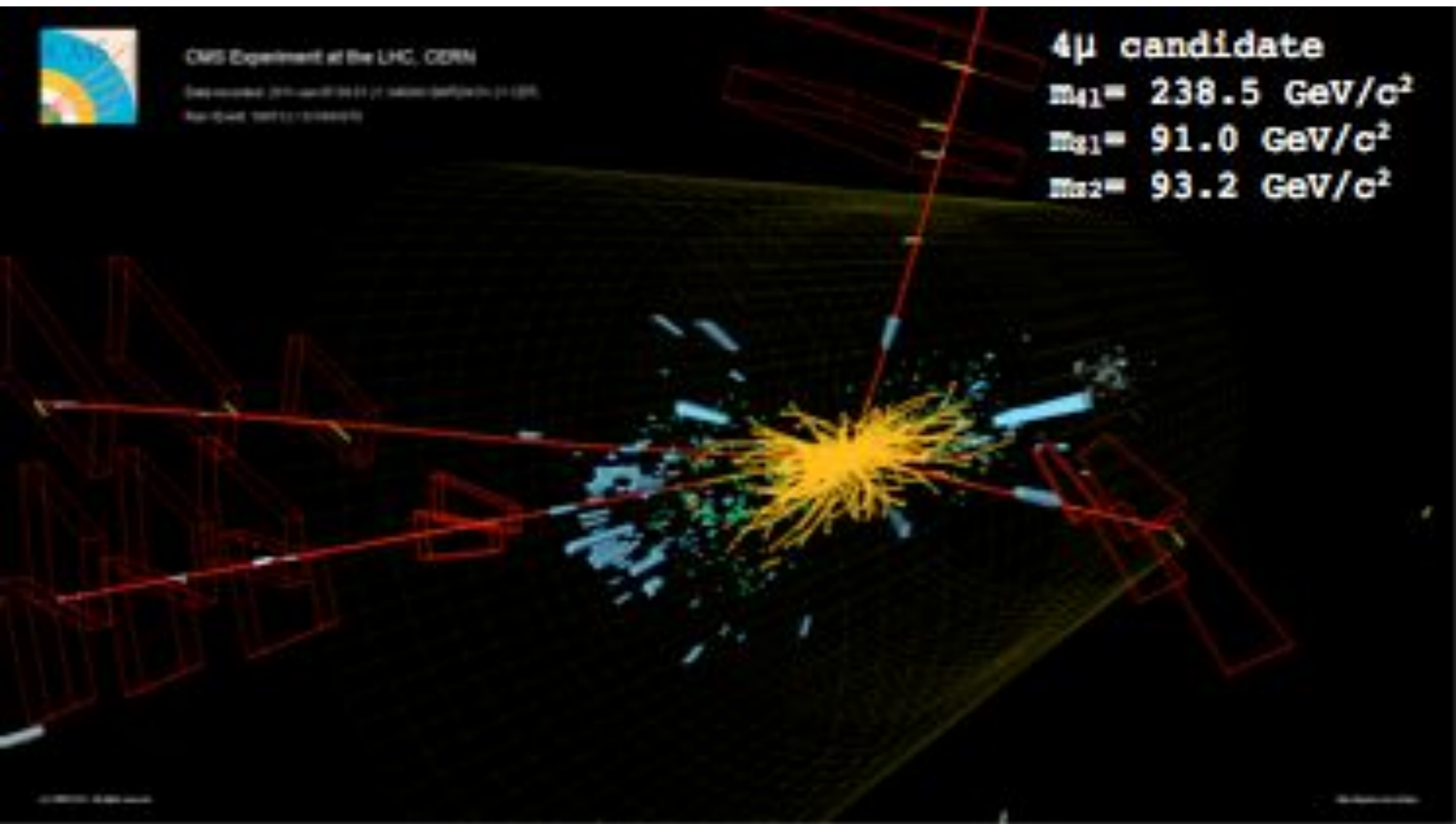




CMS Experiment at the LHC, CERN

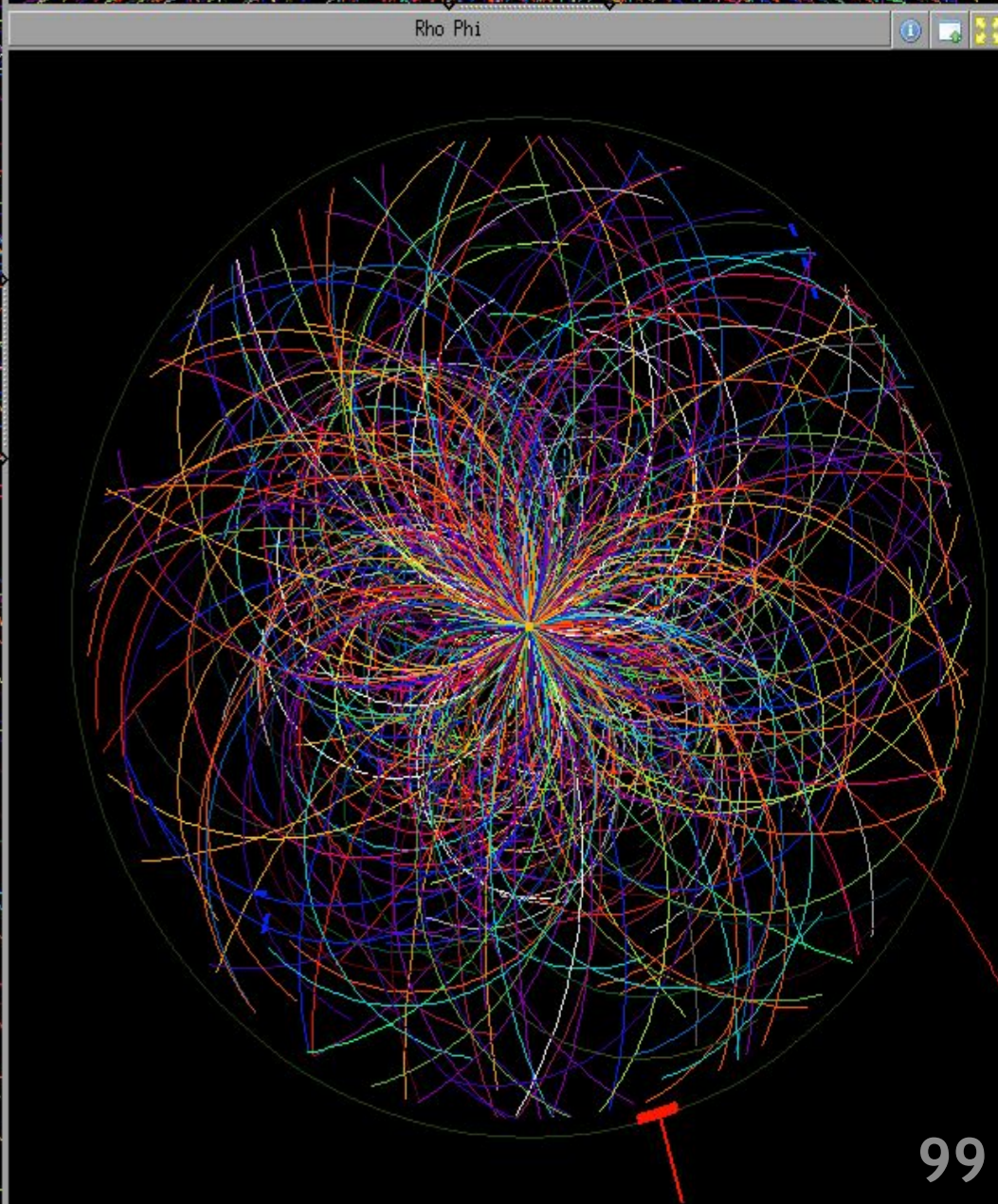
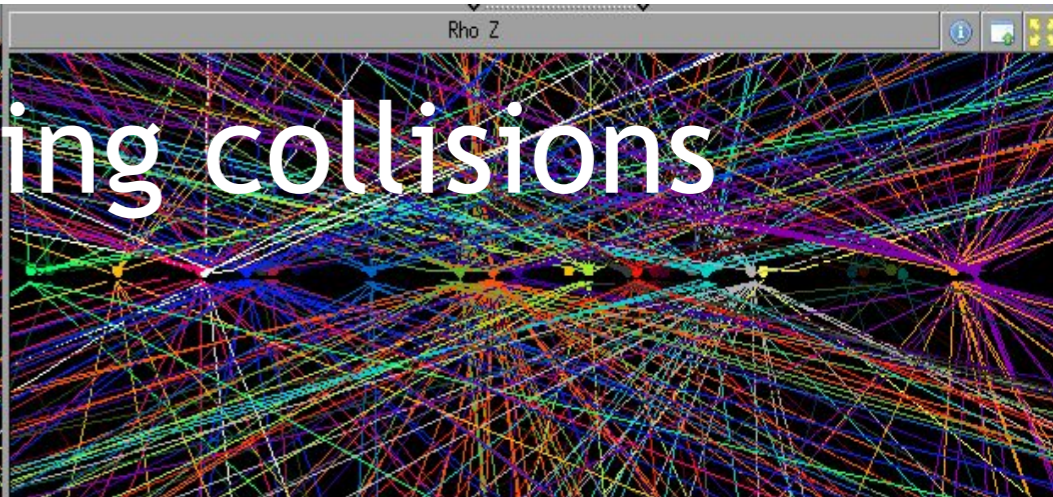
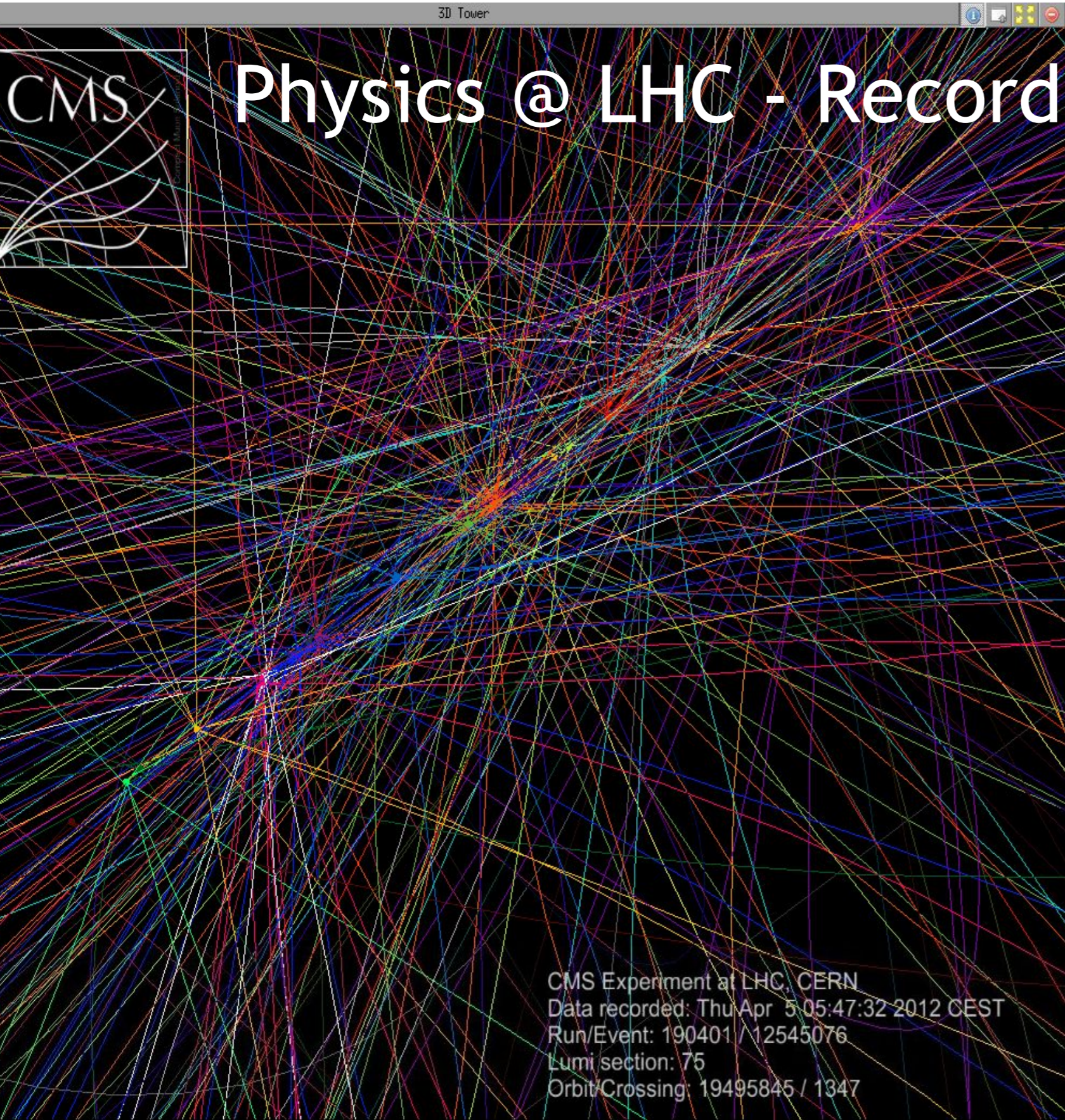
Deposited at <https://cds.cern.ch/record/1325391/files/1302.1579v1.pdf>  
arXiv:1302.1579v1 [hep-ex]

4 $\mu$  candidate  
 $m_{41} = 238.5 \text{ GeV}/c^2$   
 $m_{31} = 91.0 \text{ GeV}/c^2$   
 $m_{12} = 93.2 \text{ GeV}/c^2$



CMS

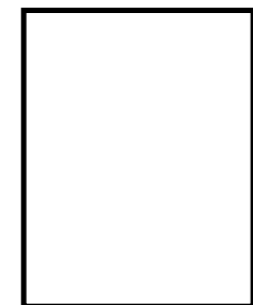
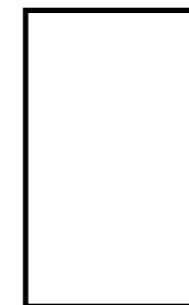
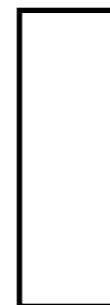
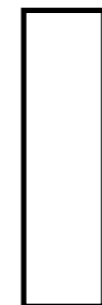
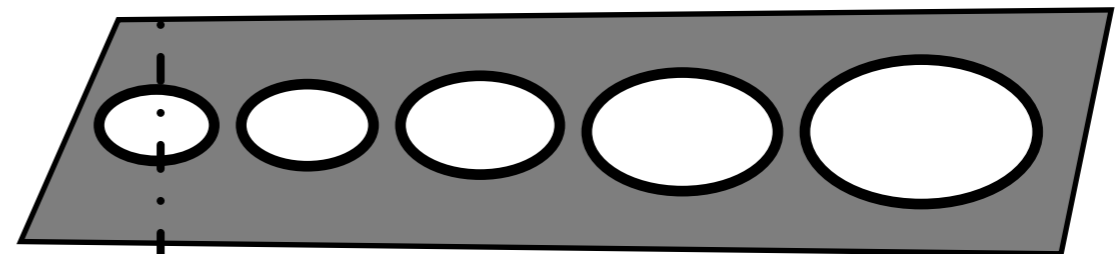
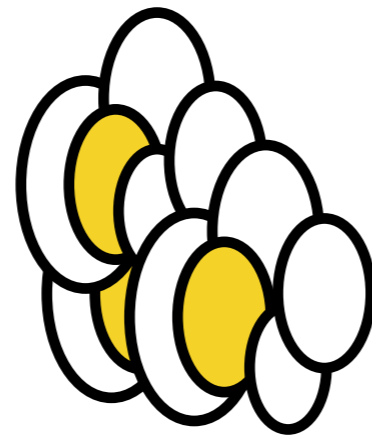
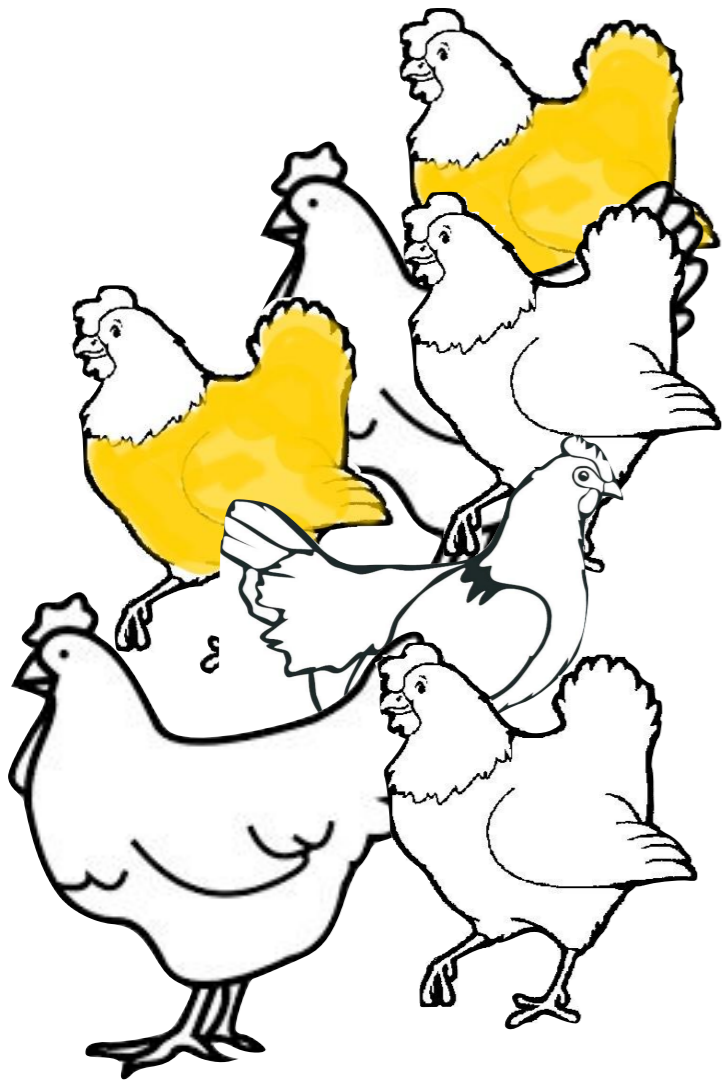
# Physics @ LHC - Recording collisions



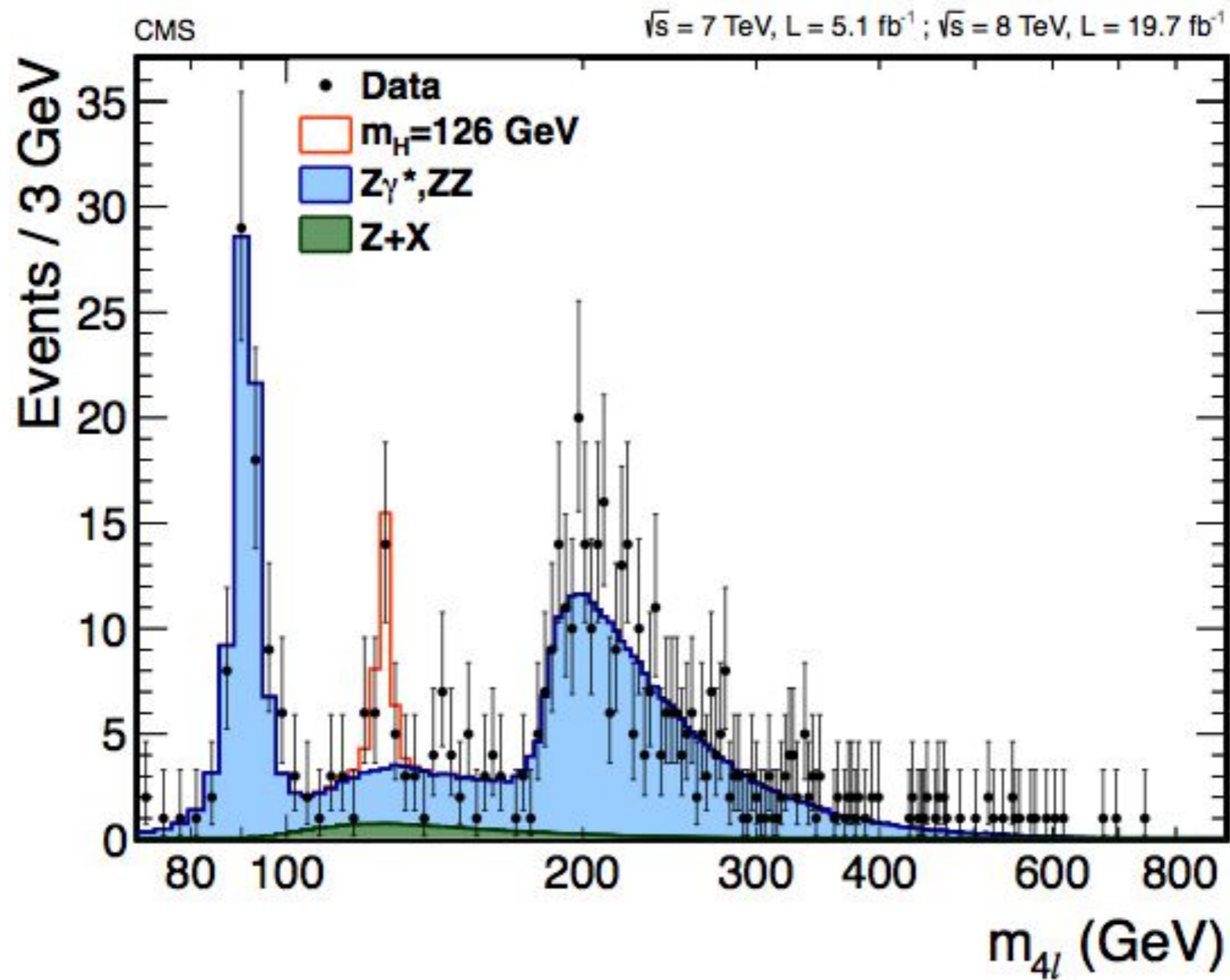
CMS Experiment at LHC, CERN  
Data recorded: Thu Apr 5 05:47:32 2012 CEST  
Run/Event: 190401 / 12545076  
Lumi section: 75  
Orbit Crossing: 19495845 / 1347

# La gallina dalle uova d'oro

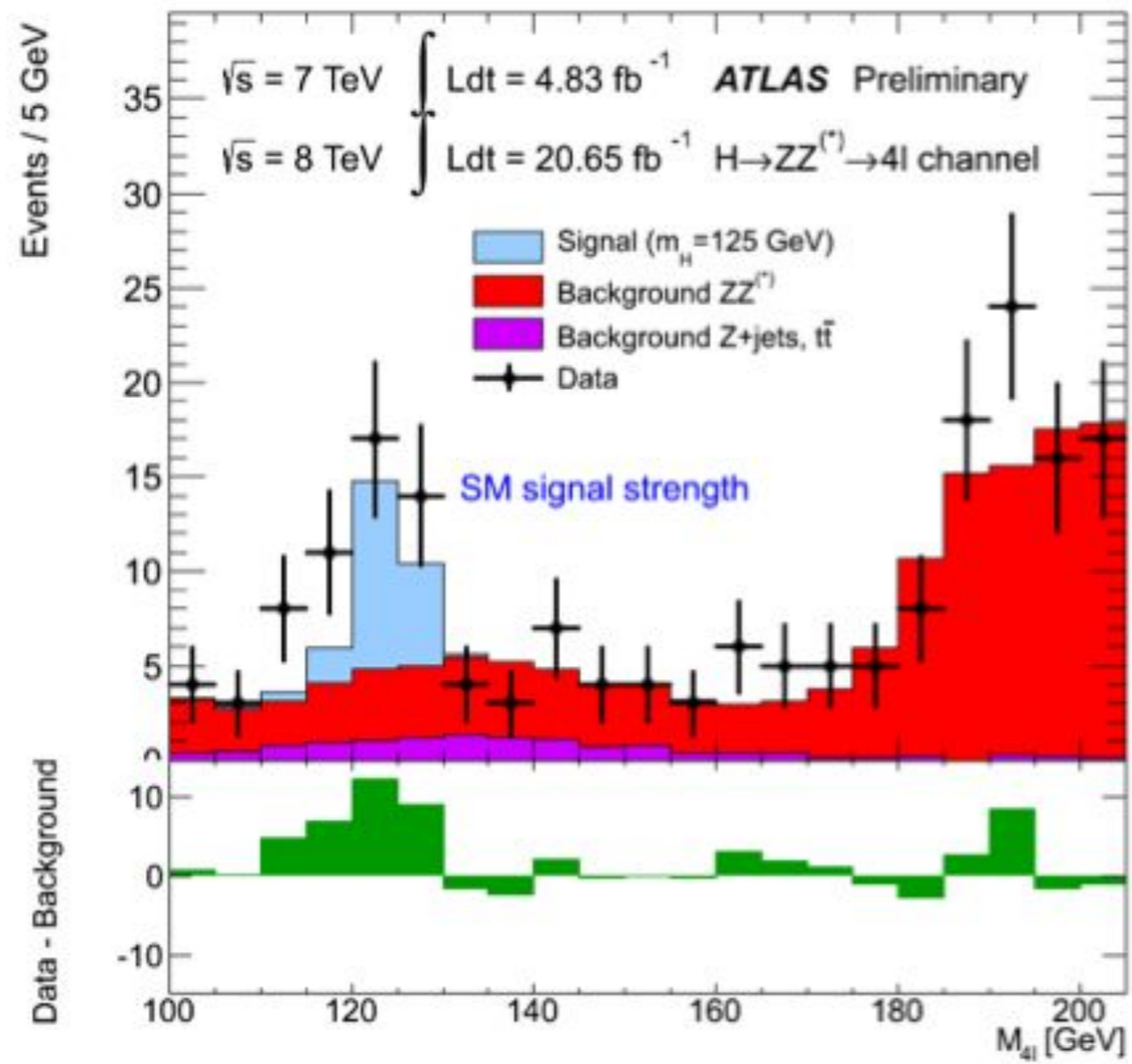
...



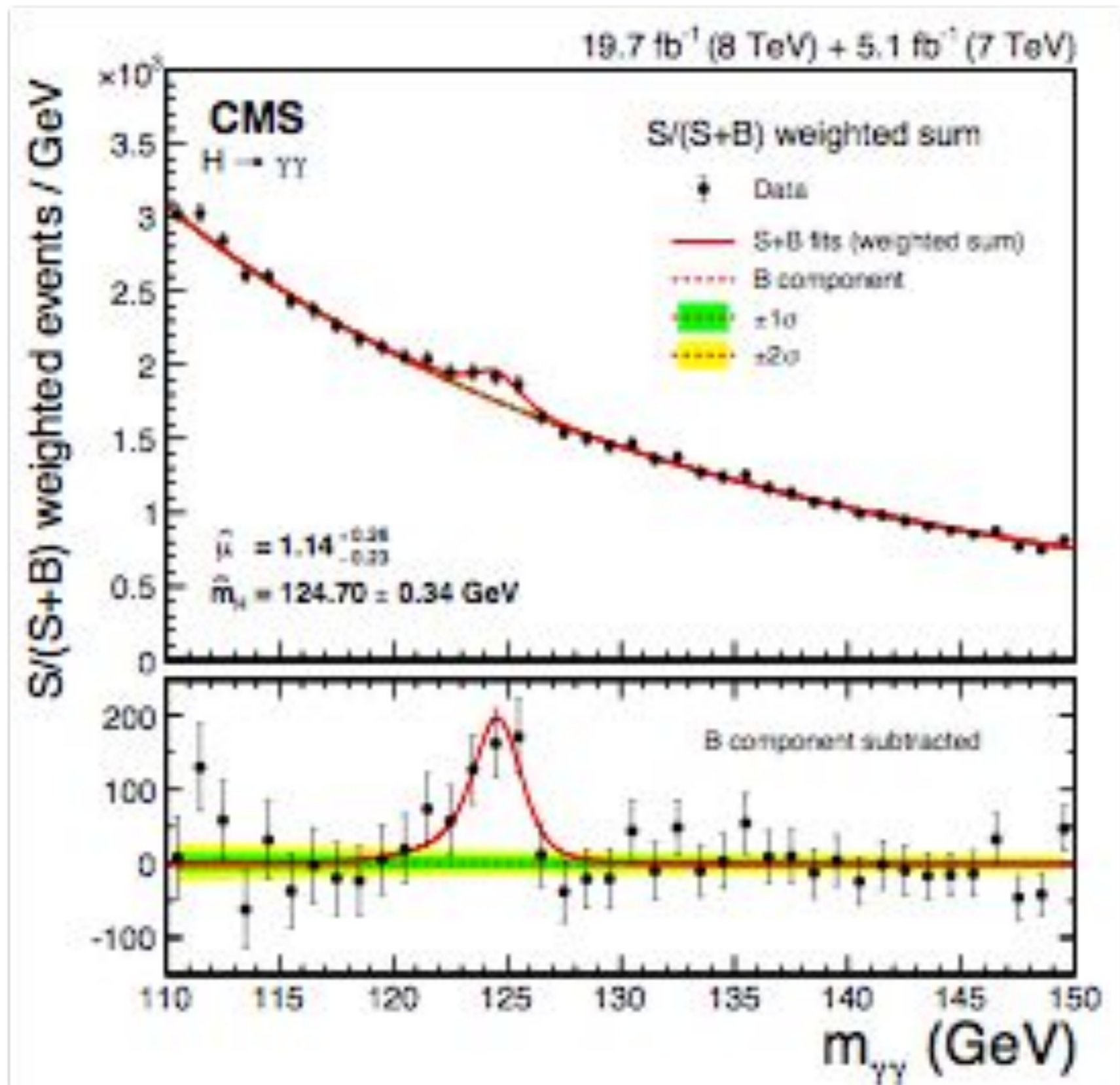
# CMS: $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4\ell$



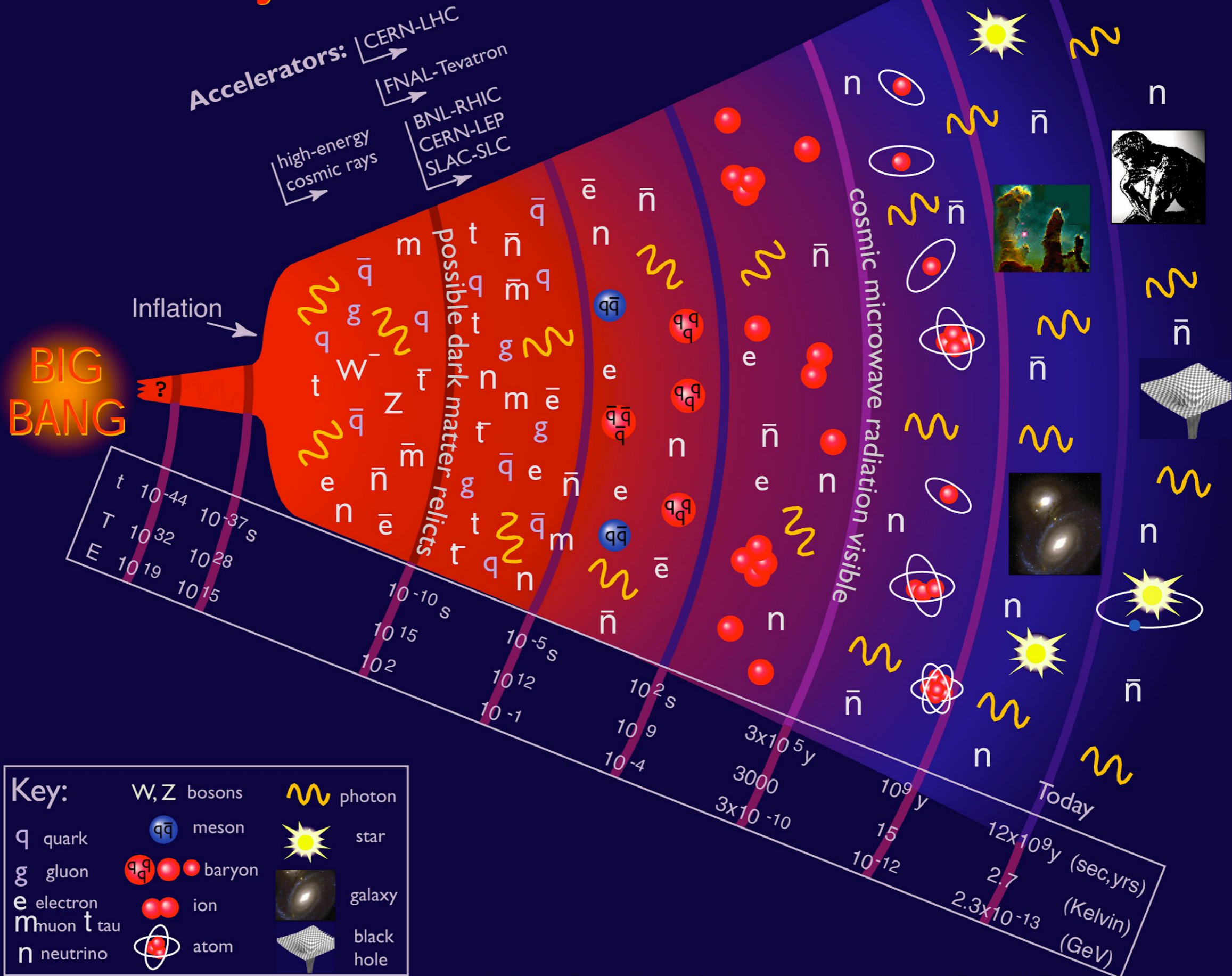
# ATLAS: $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4\ell$



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



# History of the Universe

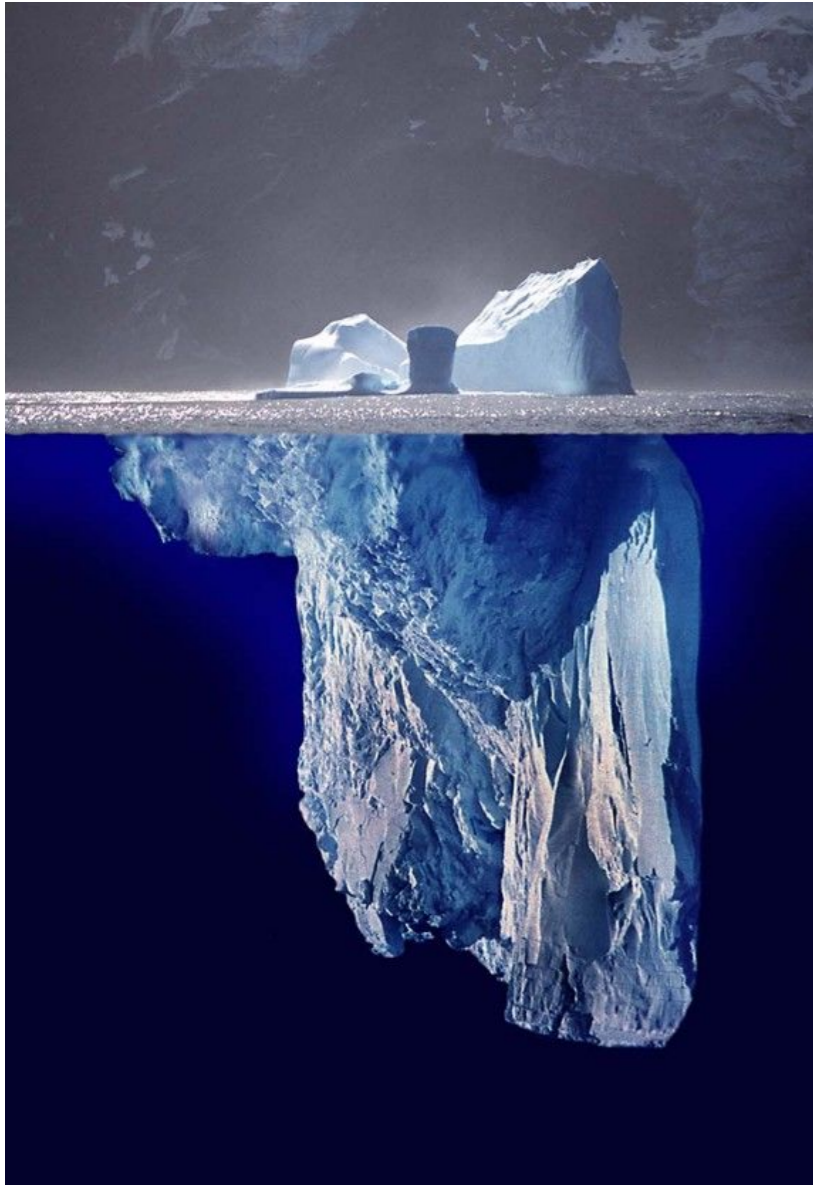


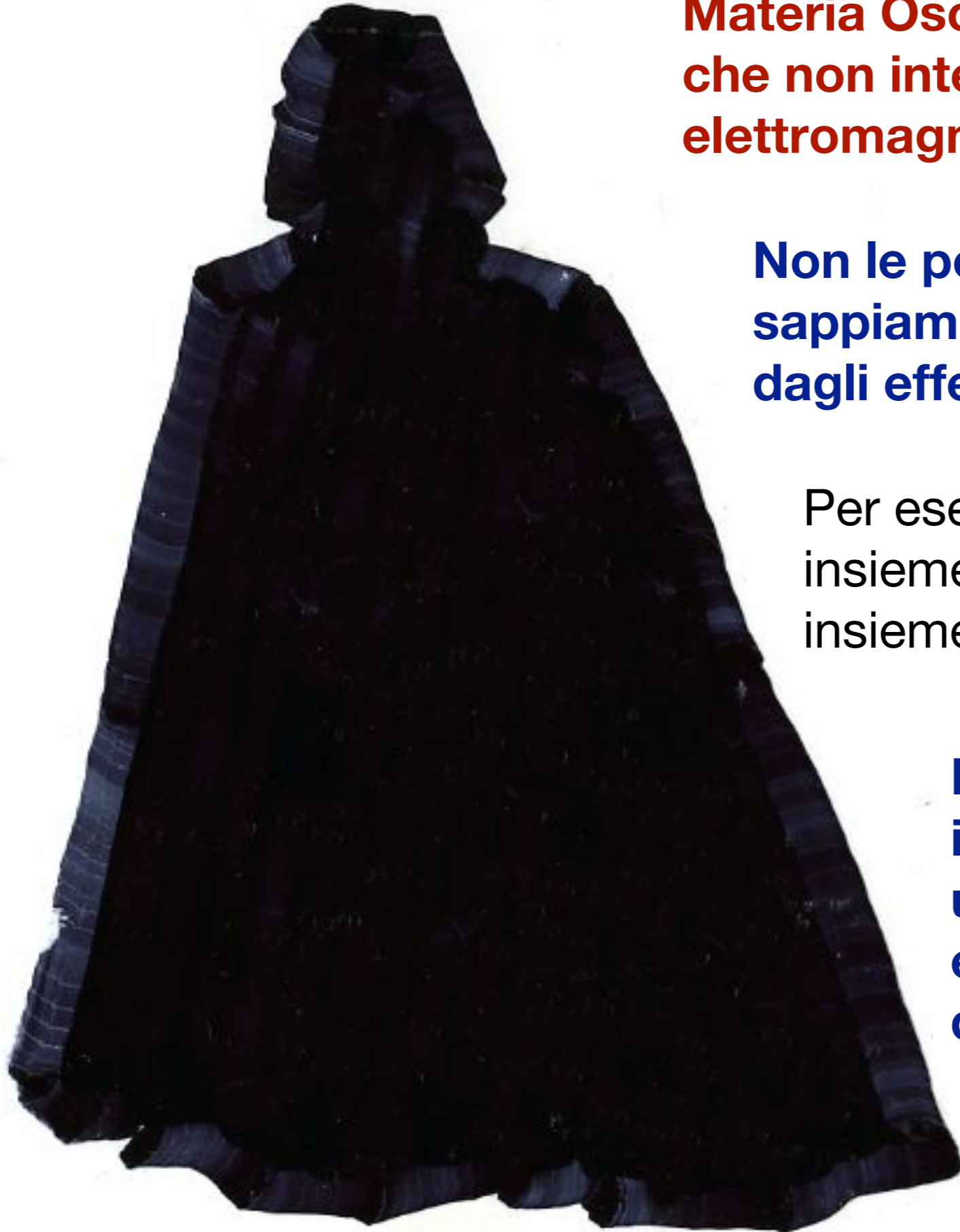


# Ancora oltre...

Ebbene sì, la materia discussa fin qui costituisce meno del 5% dell'universo.

Cosa compone il restante 95%?





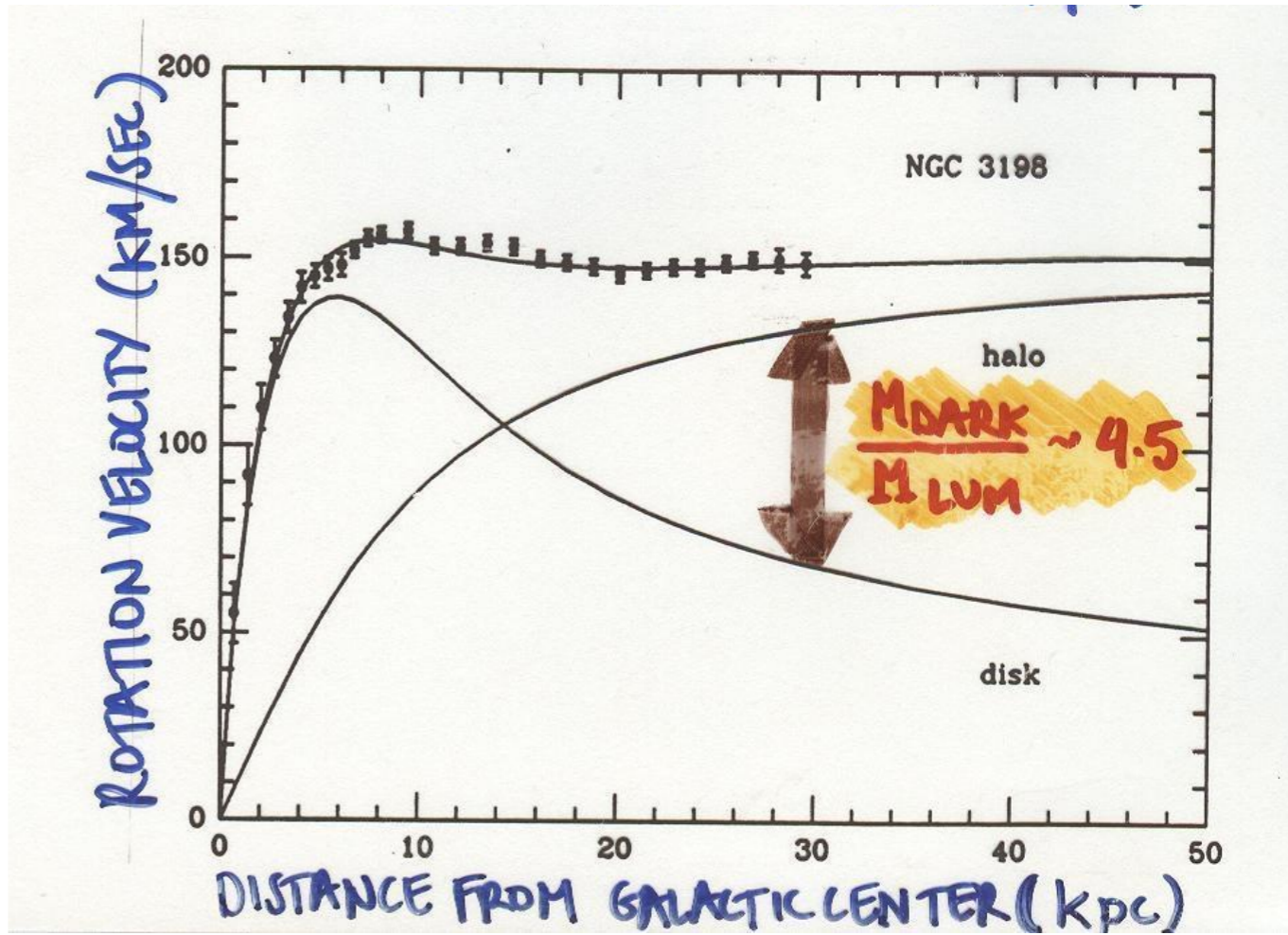
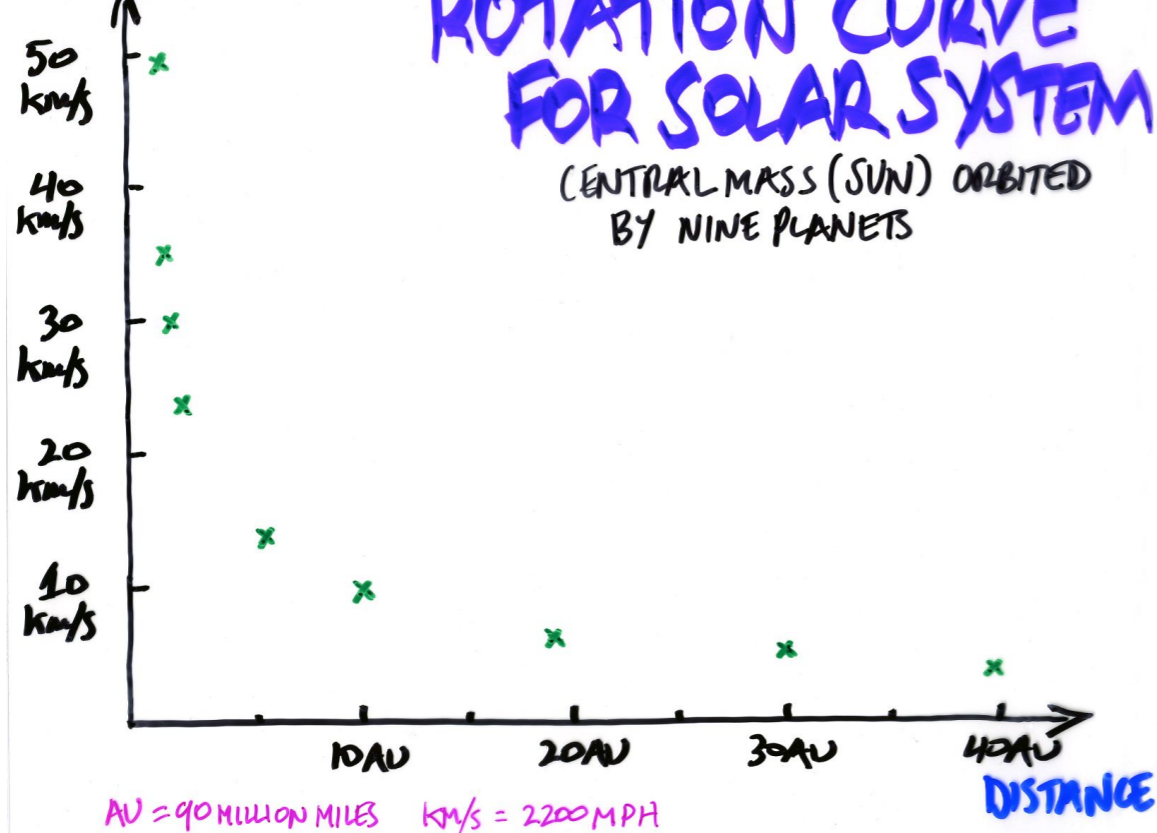
**Materia Oscura (Dark Matter) = materia che non interagisce con la radiazione elettromagnetica**

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

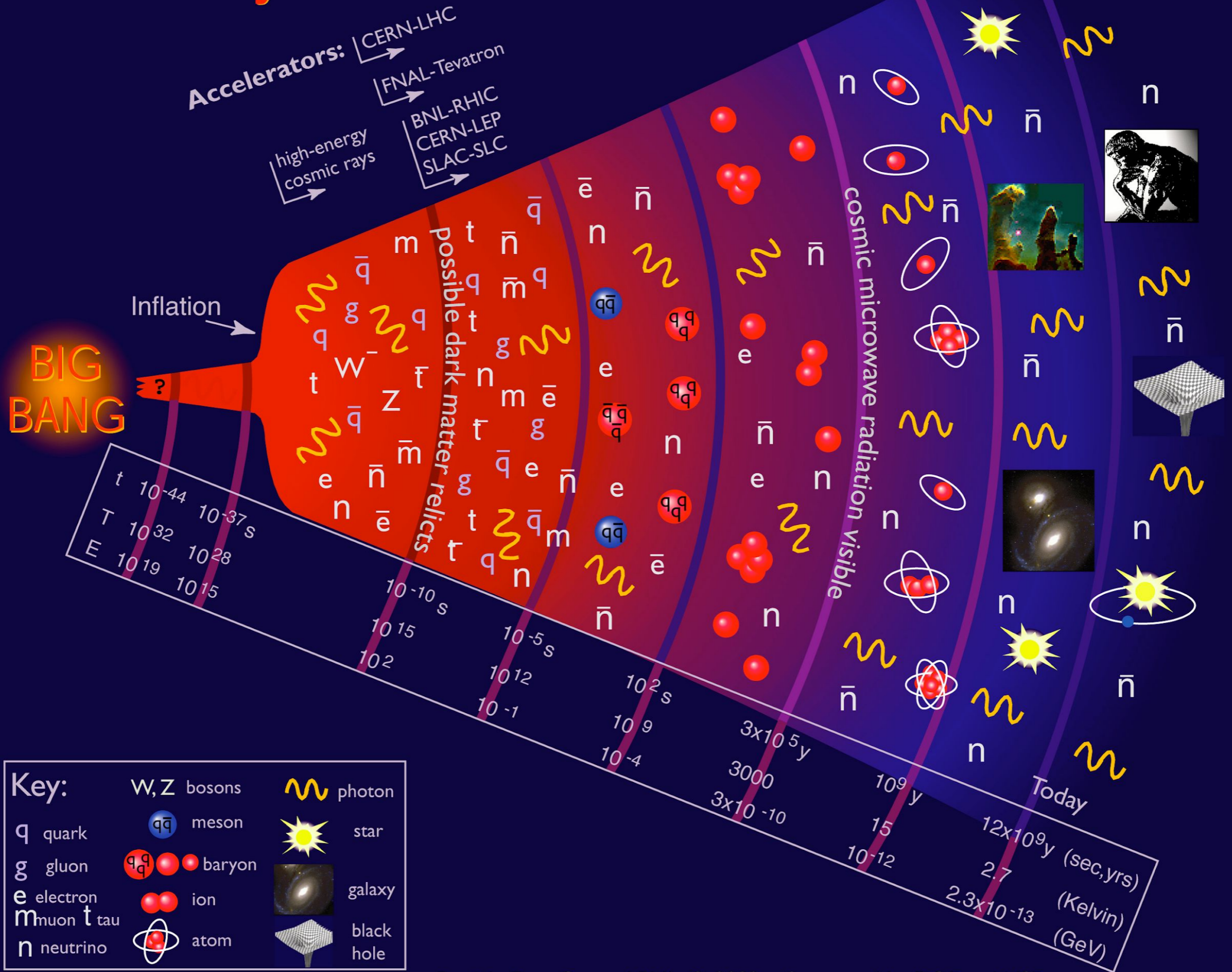
Per esempio è necessaria per tenere insieme le galassie, e per tenere insieme gli ammassi di galassie

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

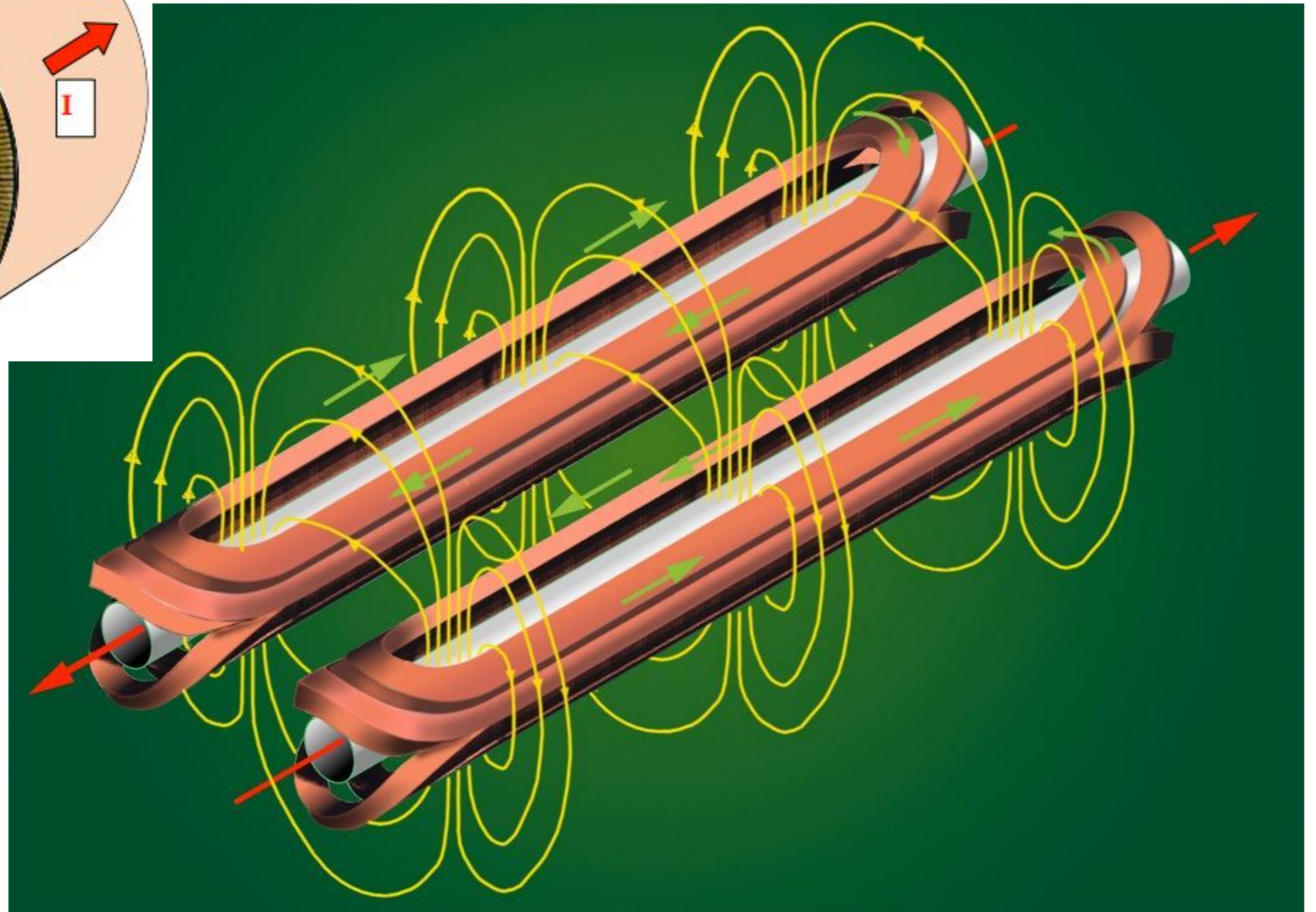
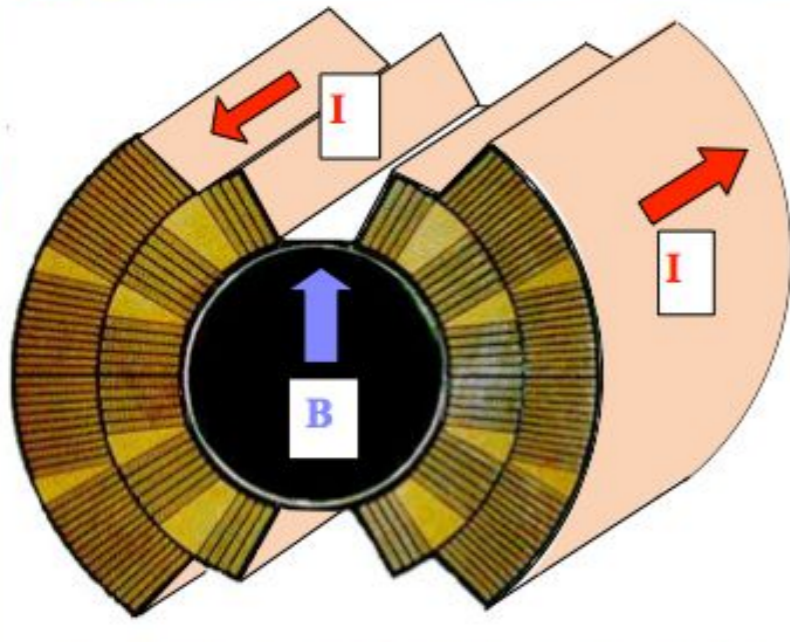
ORBITAL SPEED

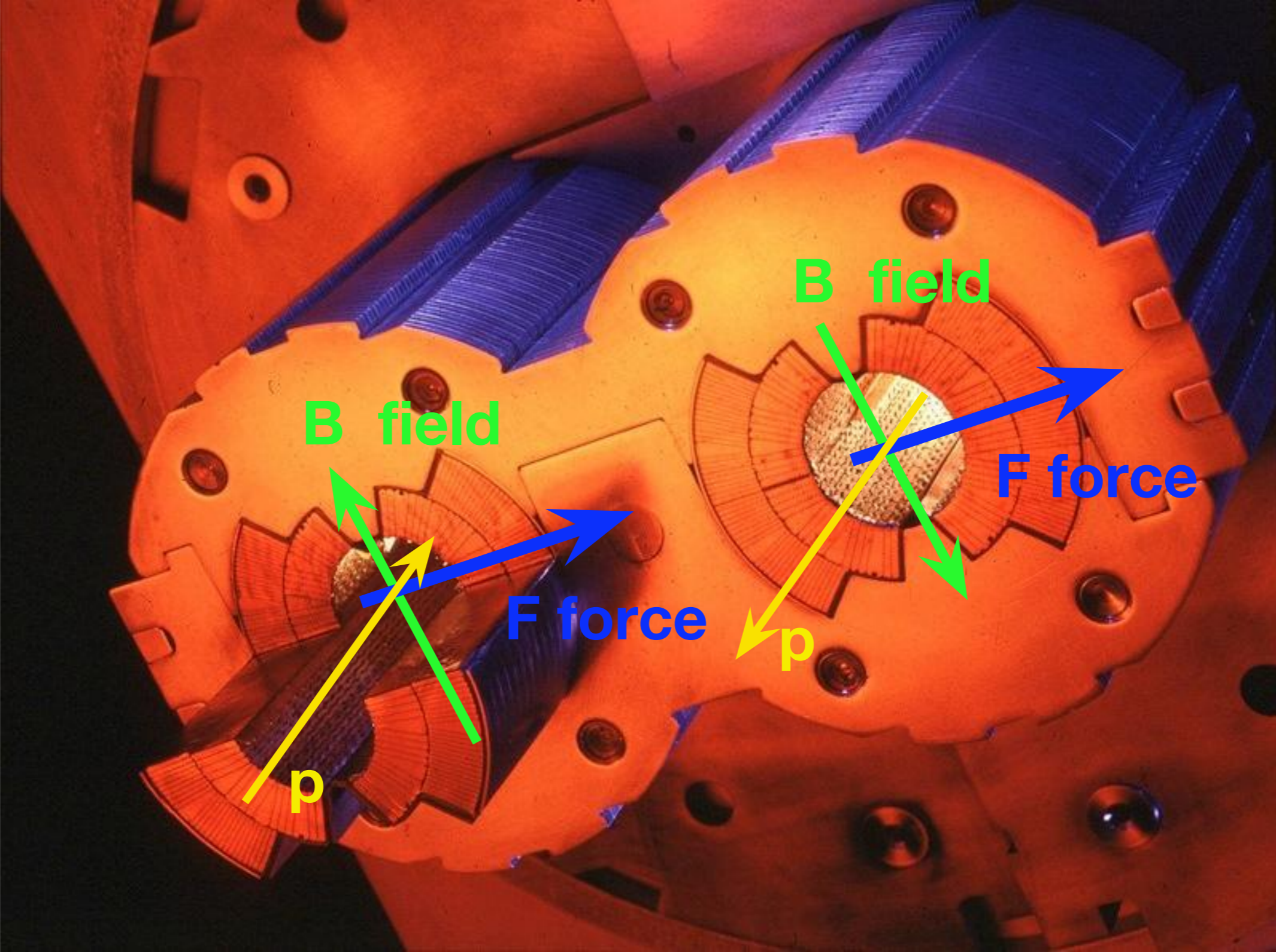


# History of the Universe



- un condotto per ogni fascio di protoni
- 2 dipoli che condividono lo stesso giogo di ritorno





# Group

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

\* Lanthanides

57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

\*\* Actinides

89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr
----------	----------	----------	---------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	-----------	-----------	-----------	-----------

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

State at standard temperature and pressure

Atomic number in red: gas

Atomic number in blue: liquid

Atomic number in black: solid

solid border: at least one isotope is older than the Earth (Primordial elements)

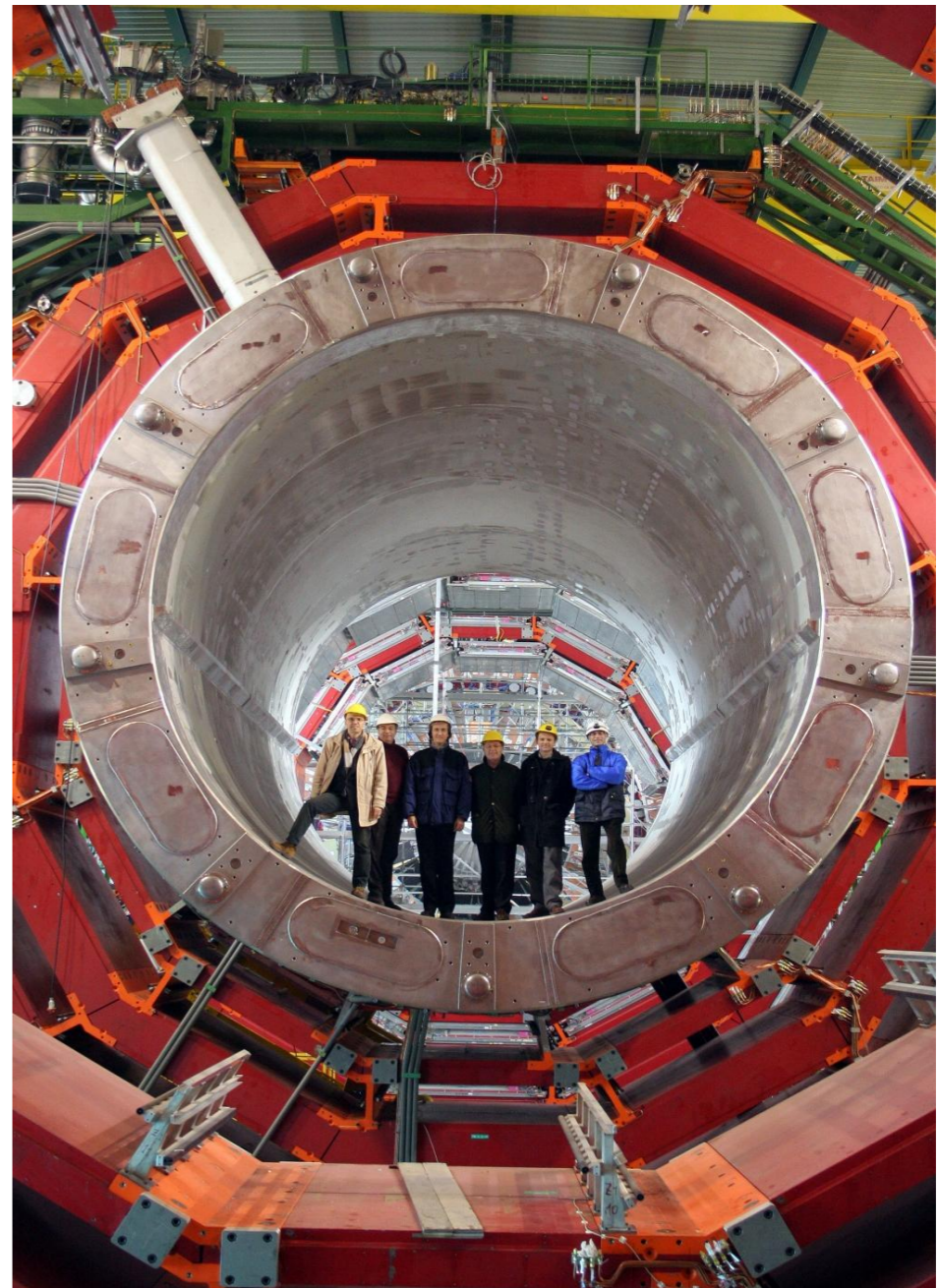
dashed border: at least one isotope naturally arise from decay of other chemical elements and no isotopes are older than the earth

dotted border: only artificially made isotopes (synthetic elements)

no border: undiscovered

# Il Magnete

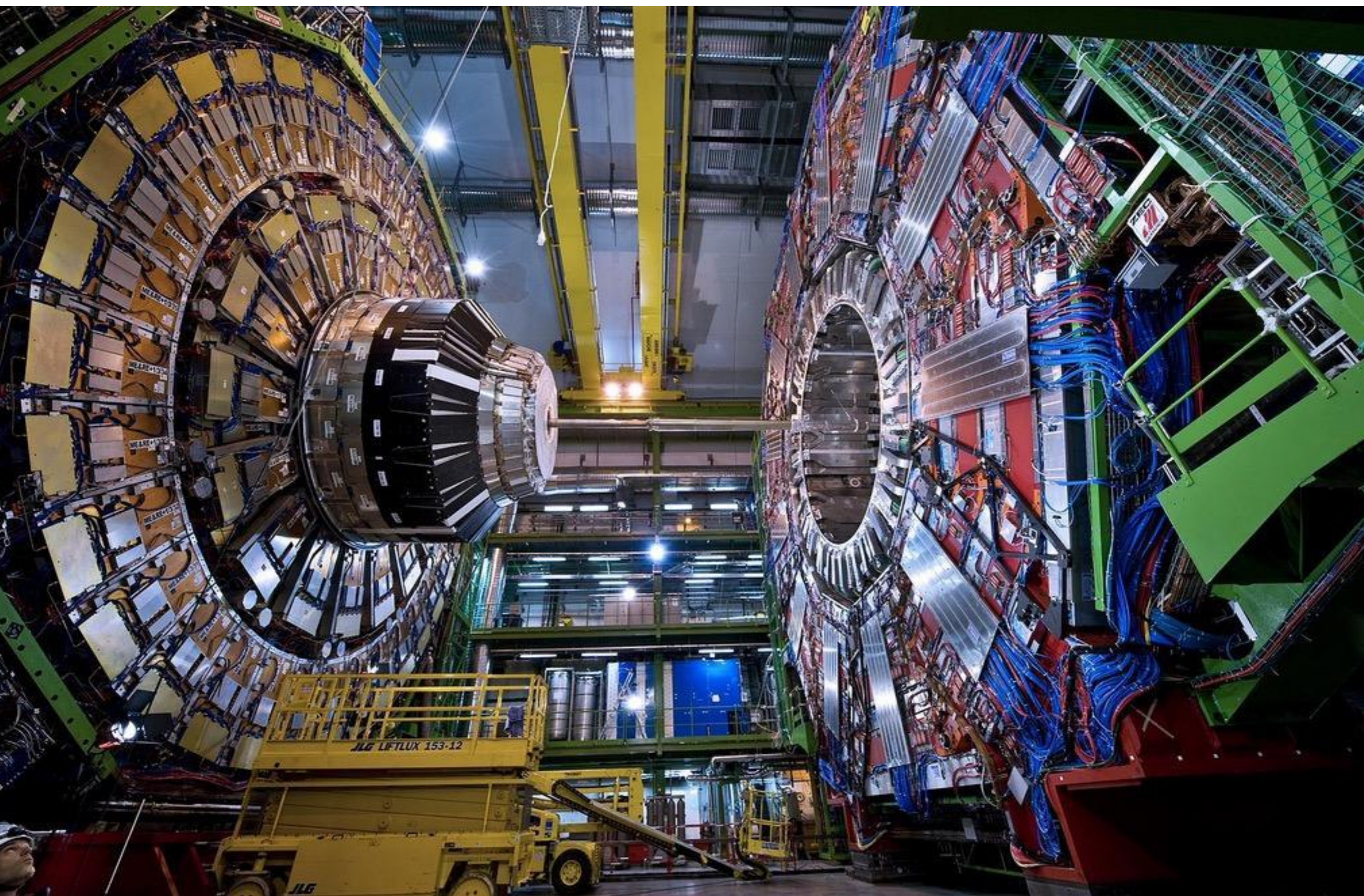
- dimensioni:
  - 13 m di lunghezza
  - 6 m di diametro
- superconduttore
  - raffreddato a 4K
  - 20000 A di corrente
- campo magnetico di 3.8 Tesla
- 2.5 GJ di energia
  - un Eurostar a 300 km/h
  
- È stato costruito dall'ANSALDO

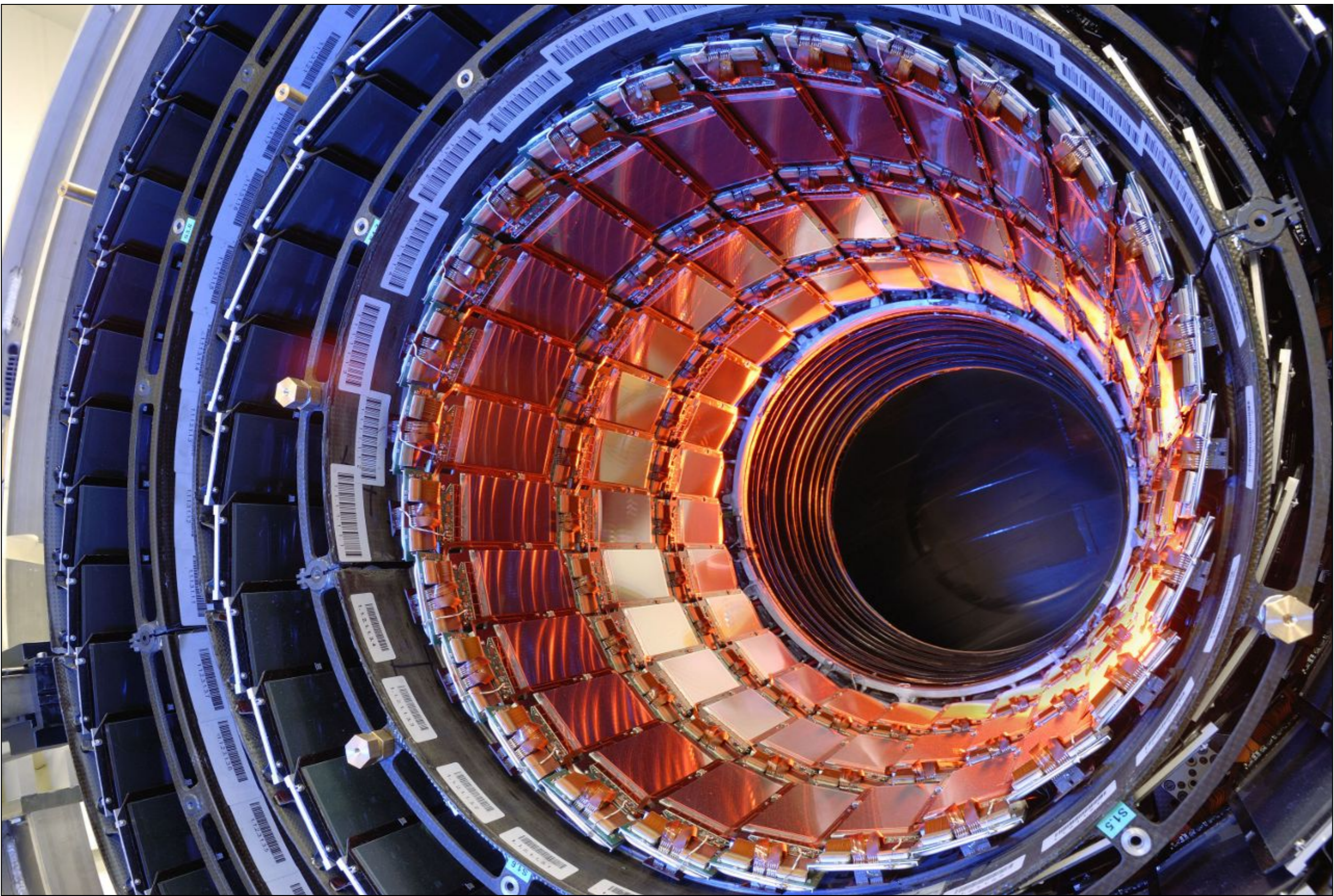






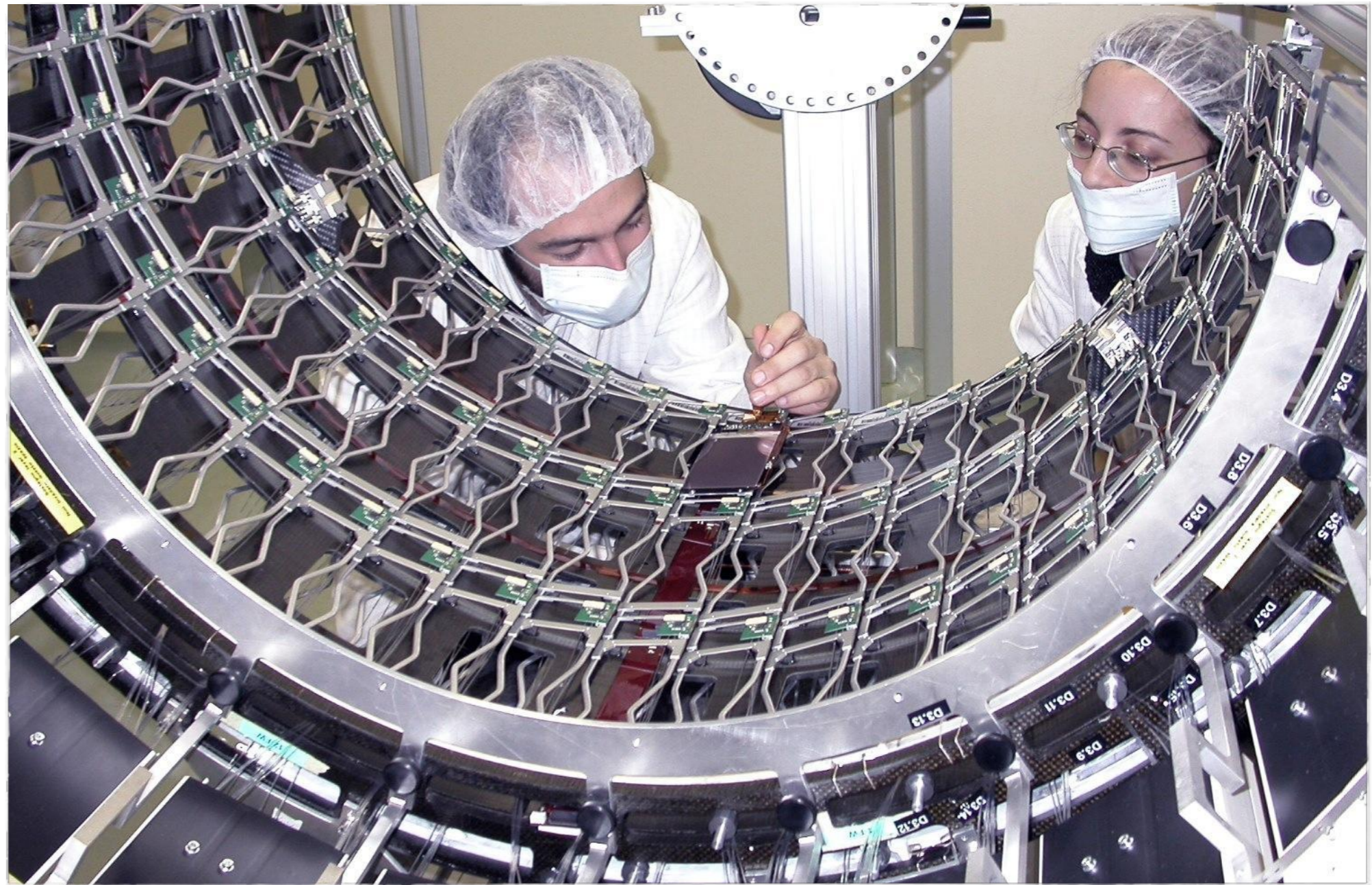






Metà del tracciatore interno centrale, il cuore dell'apparato CMS, è nata nei laboratori del Polo Scientifico di Sesto Fiorentino.

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 !



# L'unificazione elettrodebole

- Nel Modello Standard le interazioni elettromagnetiche e deboli sono aspetti diversi della stessa interazione (elettrodebole)
  - portatori dell'interazione:  $\gamma$ ,  $Z$ ,  $W^+$  e  $W^-$
- Le forze si possono ricavare da principi di simmetria
  - **ma soltanto se le particelle non hanno massa**
- nella teoria è difficile spiegare perché  $Z$ ,  $W_+$  e  $W_-$  abbiano masse molto diverse dal  $\gamma$ .

