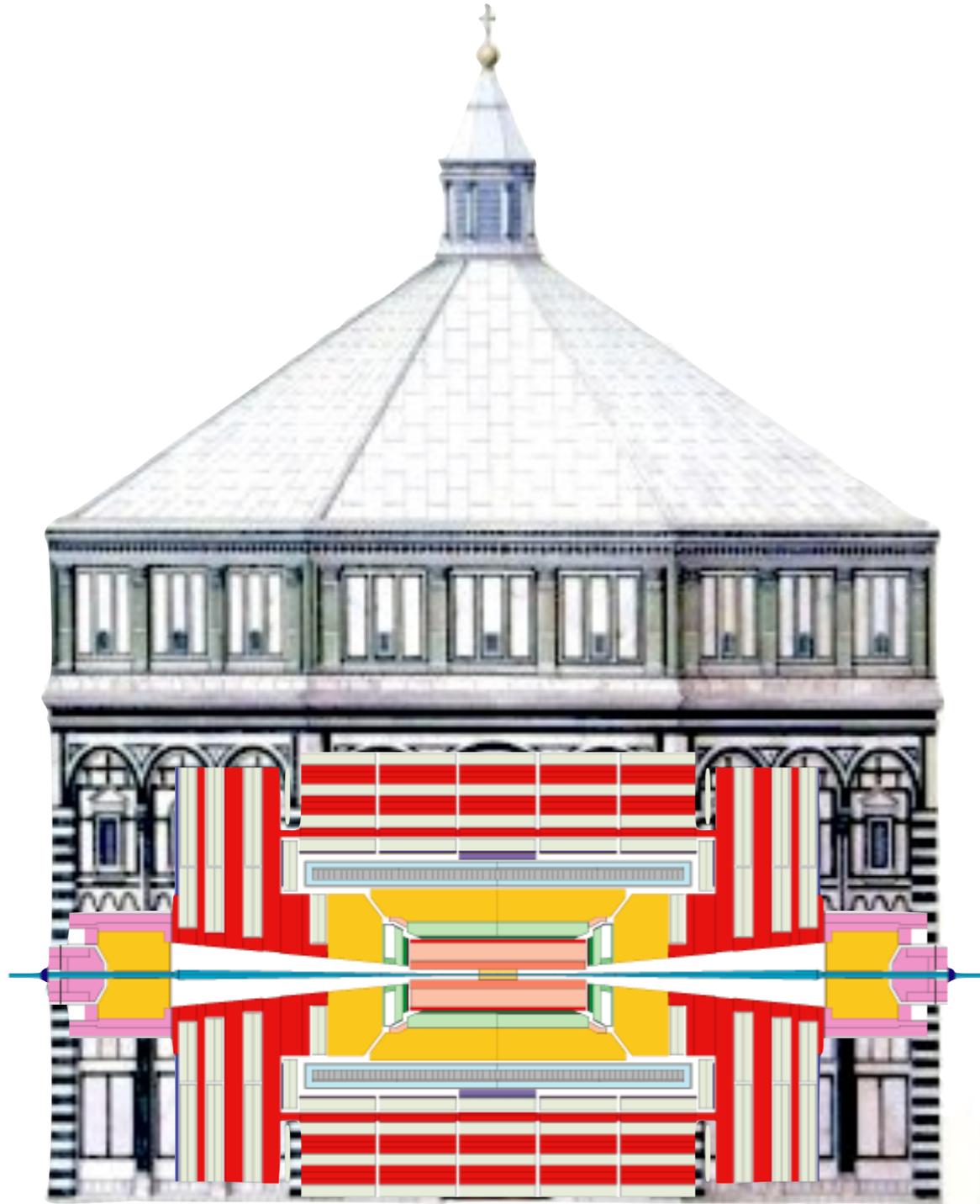


Progetto “Art and Science Across Italy”

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

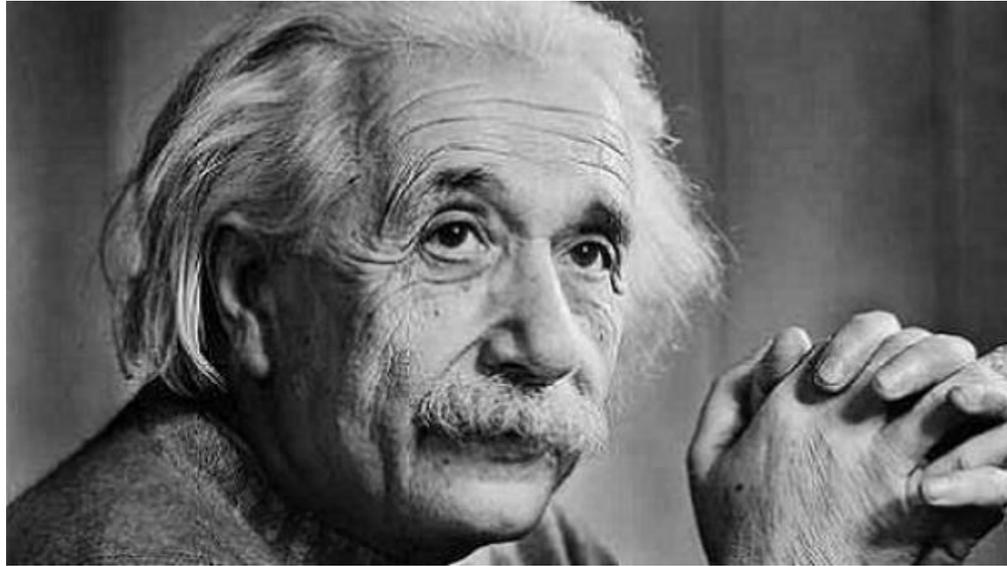


**Incontro con il Liceo Scientifico
“A.M. E. Agnoletti”
Firenze 27JAN2017**

**S. Paoletti
M. Fedi, E. Vannuccini
INFN Firenze**



ARTE e SCIENZA



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

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...

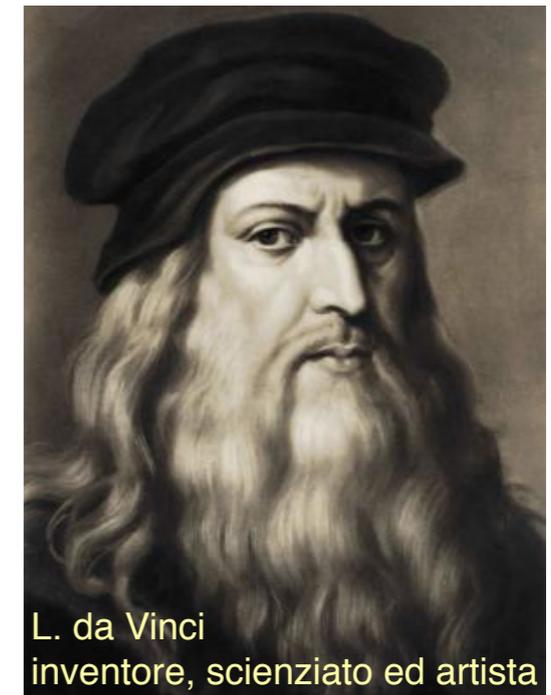


~1700: pura estetica
e priva di utilità

- “belle arti”



capacità di veicolare
emozioni e messaggi
soggettivi

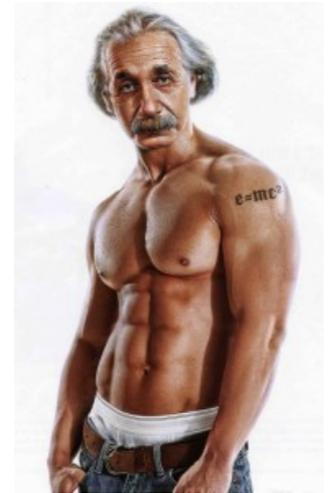
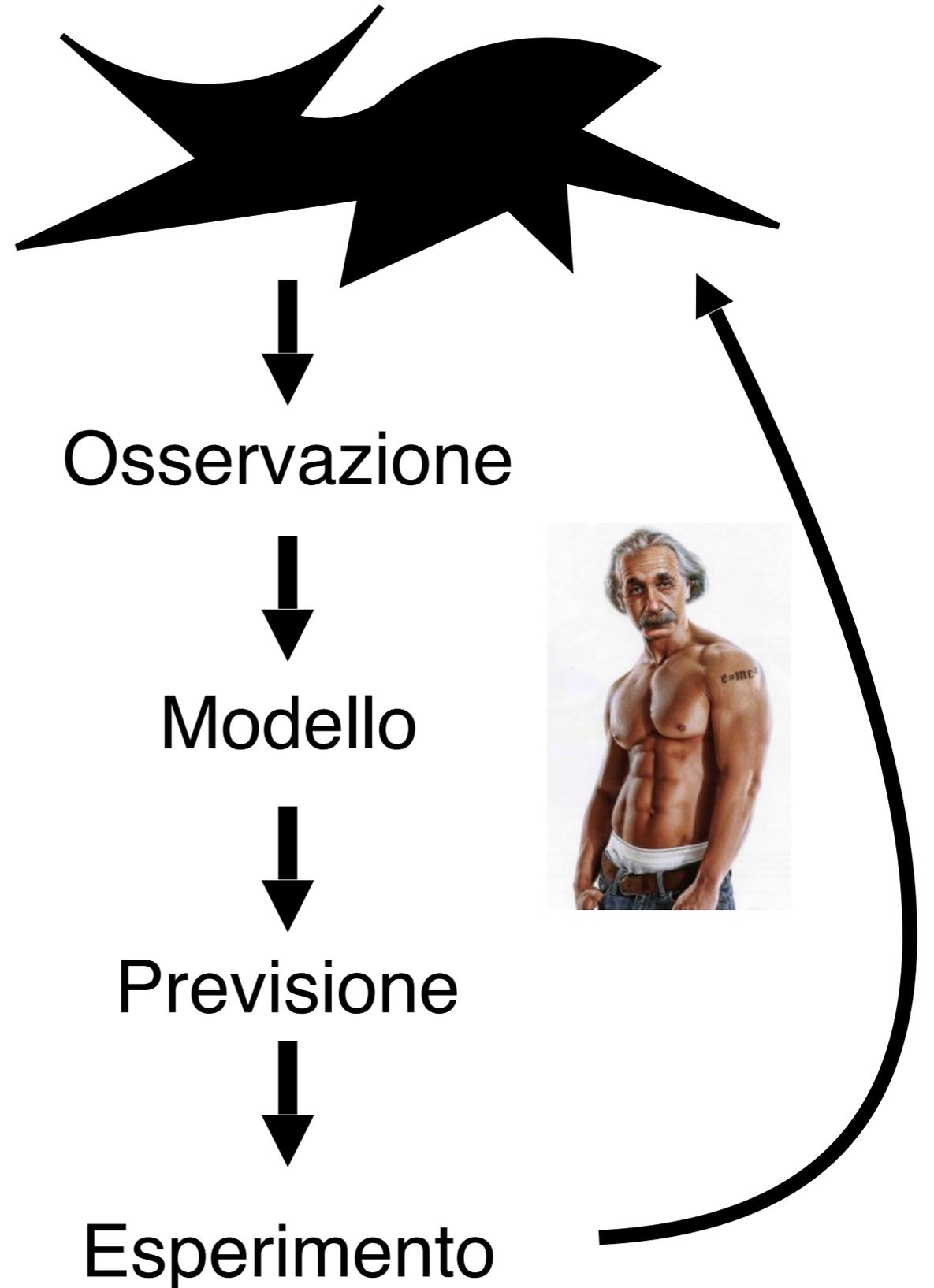
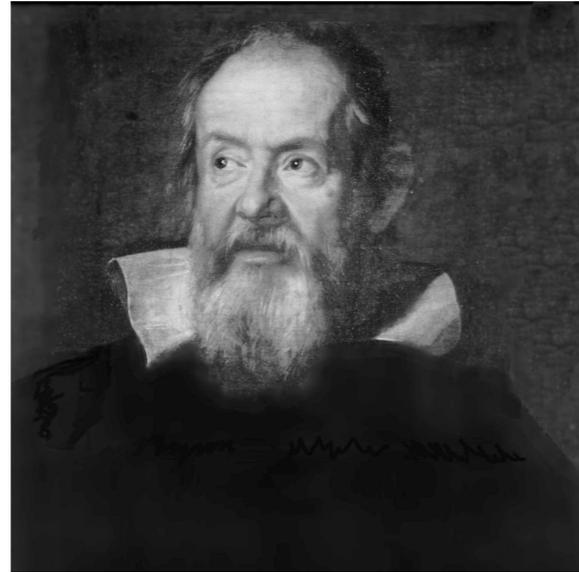


Originalità dell'idea

La scienza “moderna”

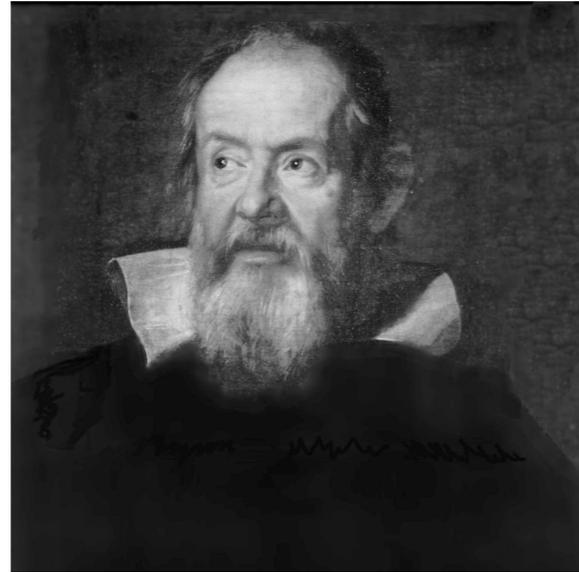
Fondamentale il
riscontro
sperimentale

- riproducibilità

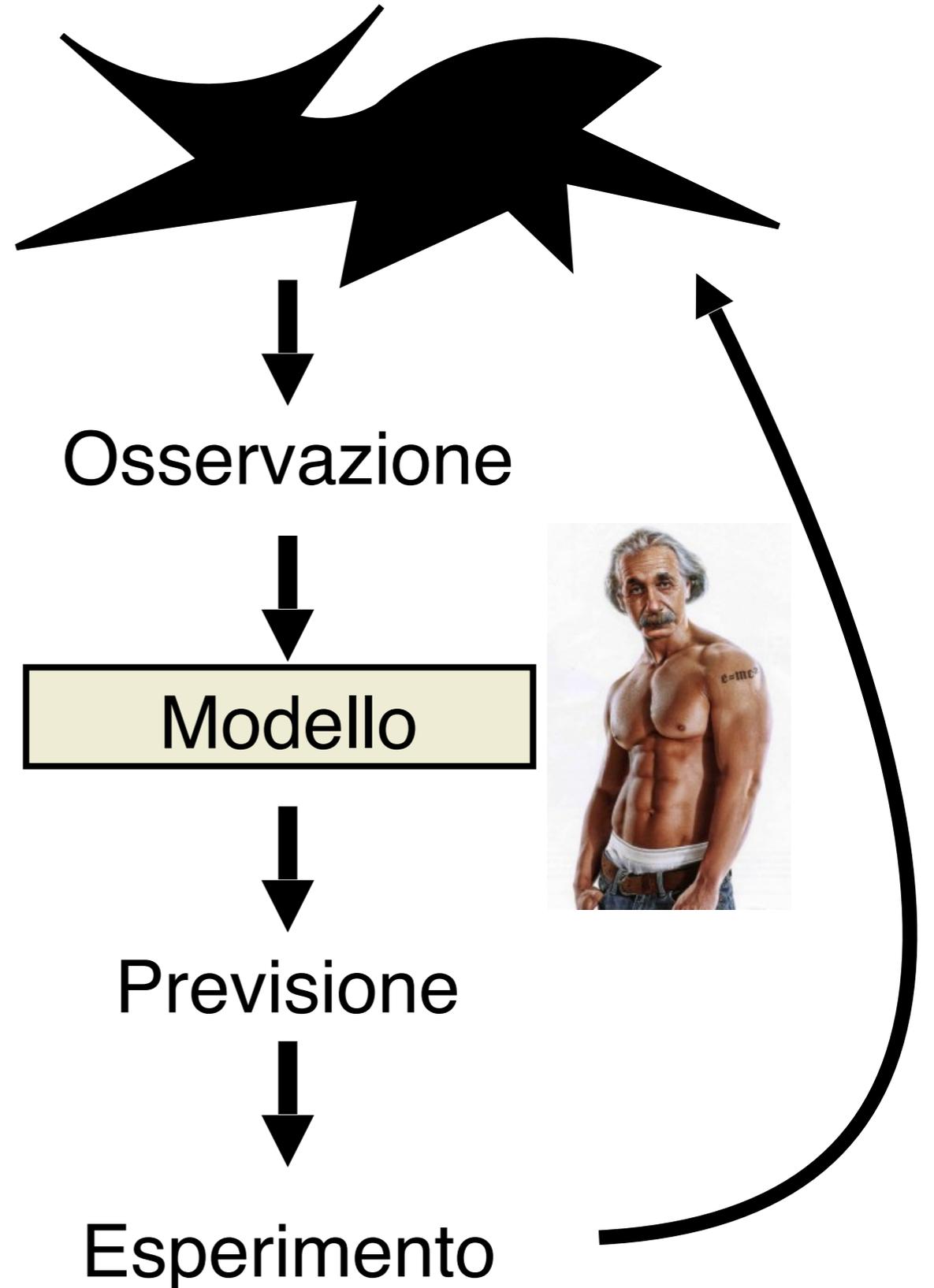


La scienza “moderna”

Fondamentale il
riscontro
sperimentale
• riproducibilità



Semplificazione
Schematizzazione
Astrazione,
idealizzazione



Simmetria ↔ Armonia



bellezza, assoluto, perfezione



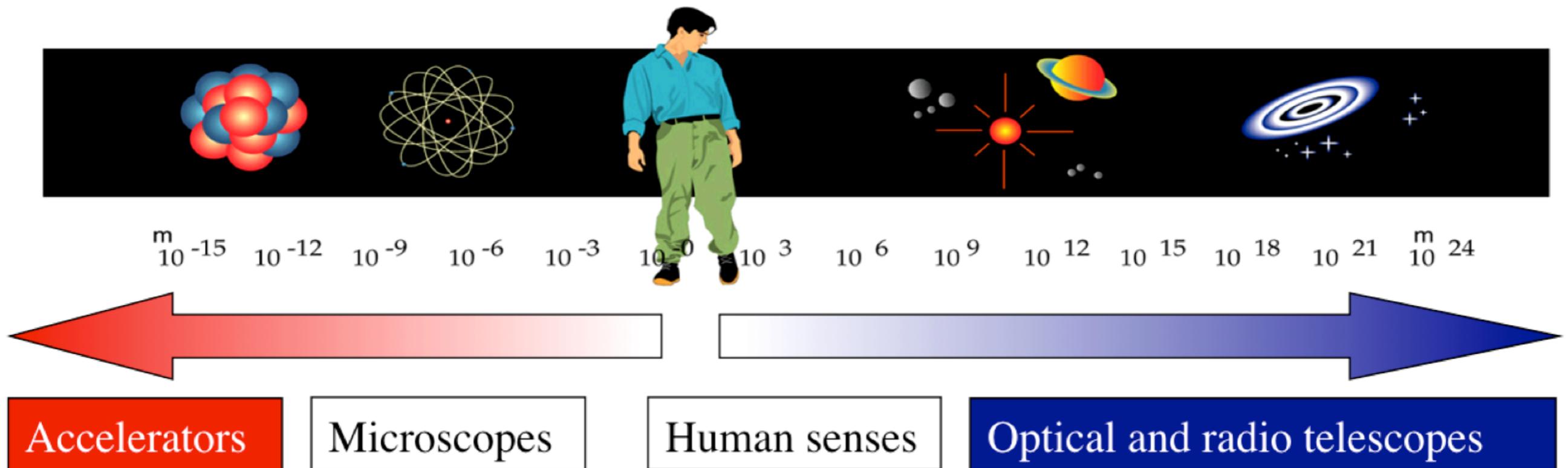
Nel modello faccio delle approssimazioni per semplificare il problema

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 ?



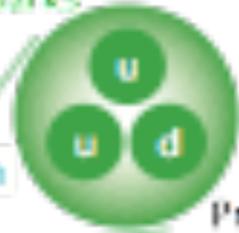
Alla scoperta del mondo subatomico

Verso l'infinitamente piccolo!



1 fm (10^{-15}m)

Quarks



Proton

Nucleon



Nucleus

$O(10^{-14}\text{m})$

Electron



Atom

$\sim 1 \text{ \AA} (10^{-10}\text{m})$

Molecule



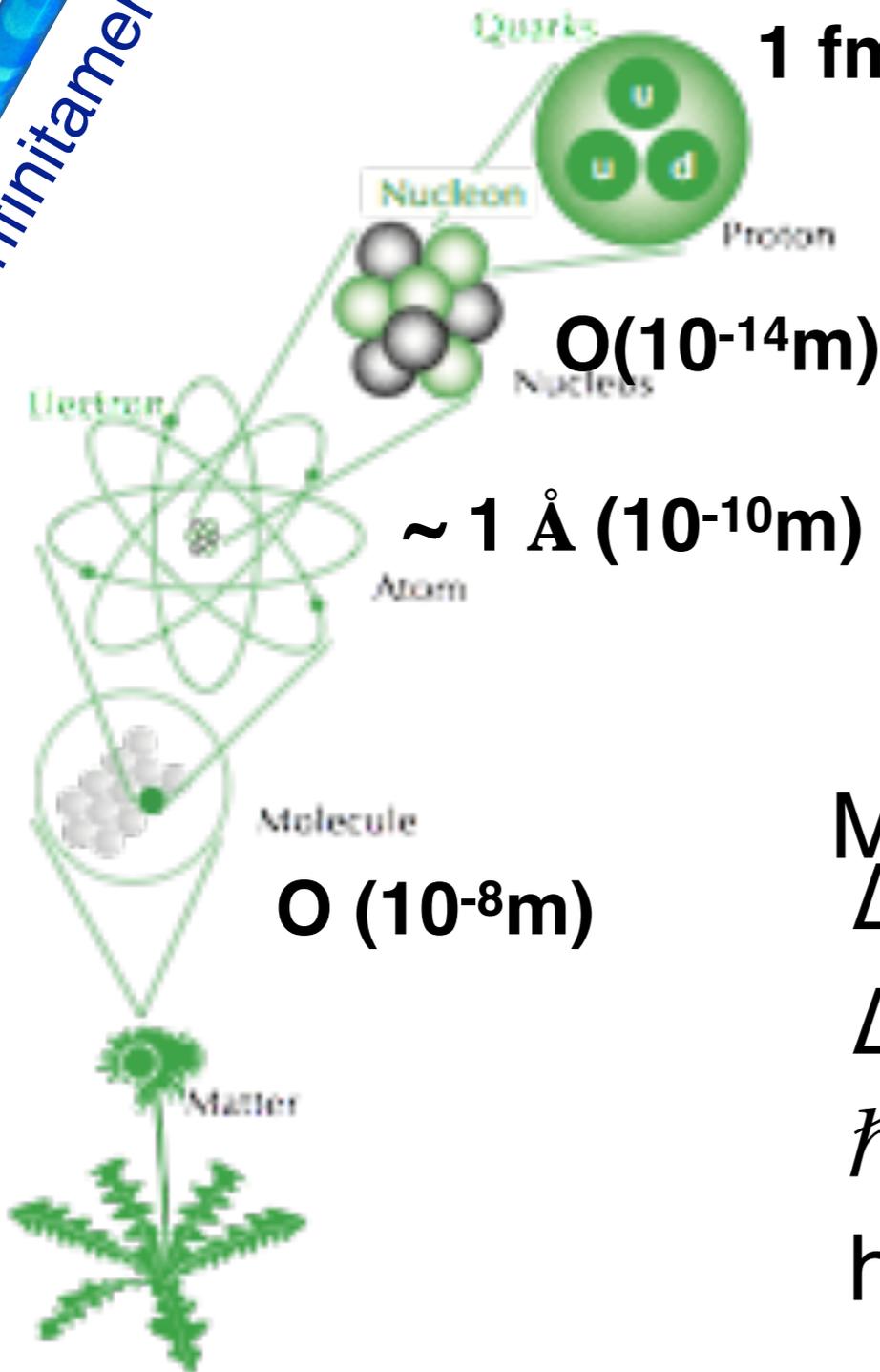
$O (10^{-8}\text{m})$

Matter



Alla scoperta del mondo subatomico

Verso l'infinitamente piccolo!



1 fm (10^{-15}m)

$O(10^{-14}\text{m})$

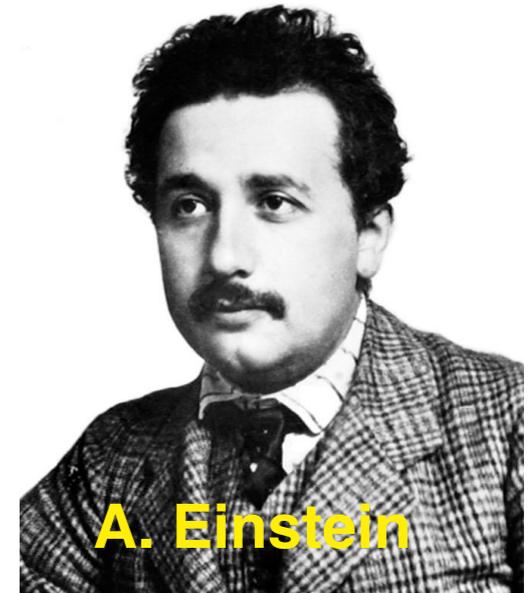
$\sim 1 \text{ \AA} (10^{-10}\text{m})$

$O(10^{-8}\text{m})$

Relatività

$$E = mc^2$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$



A. Einstein

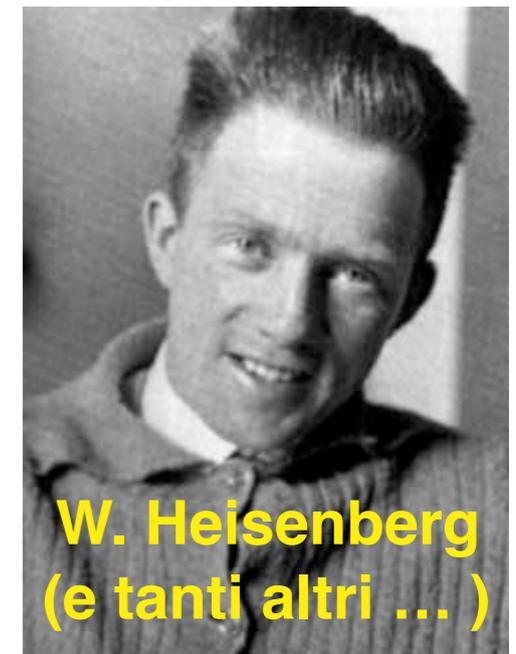
Meccanica quantistica

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

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

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

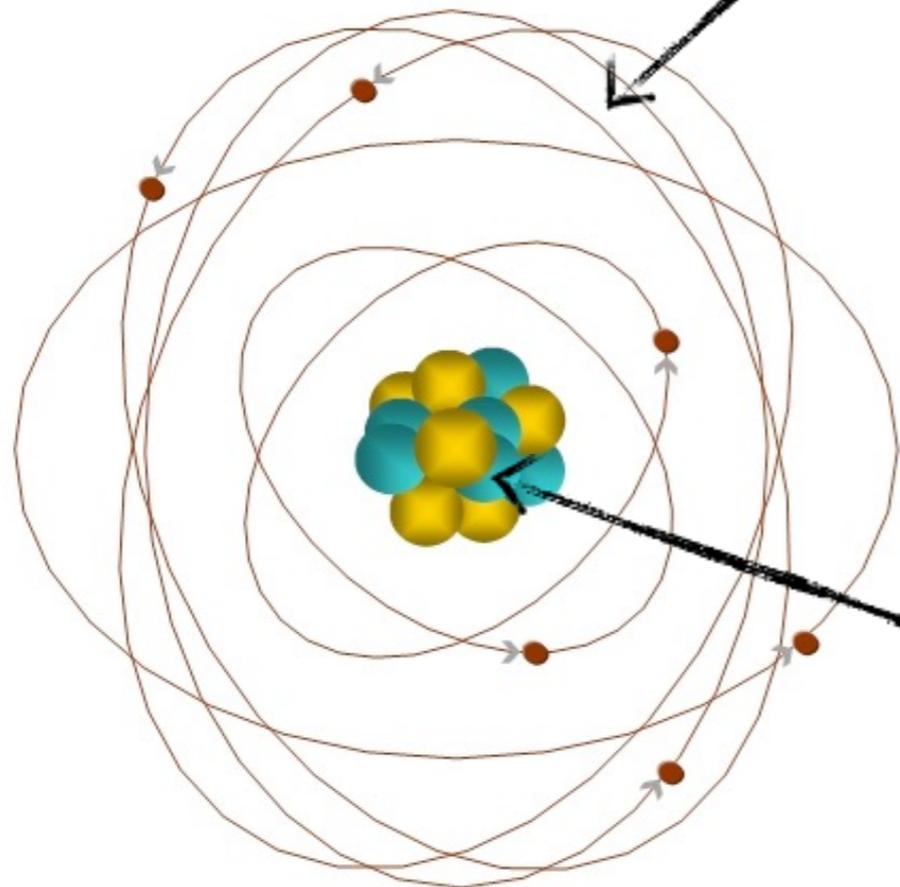
$$h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ Js}$$



W. Heisenberg
(e tanti altri ...)

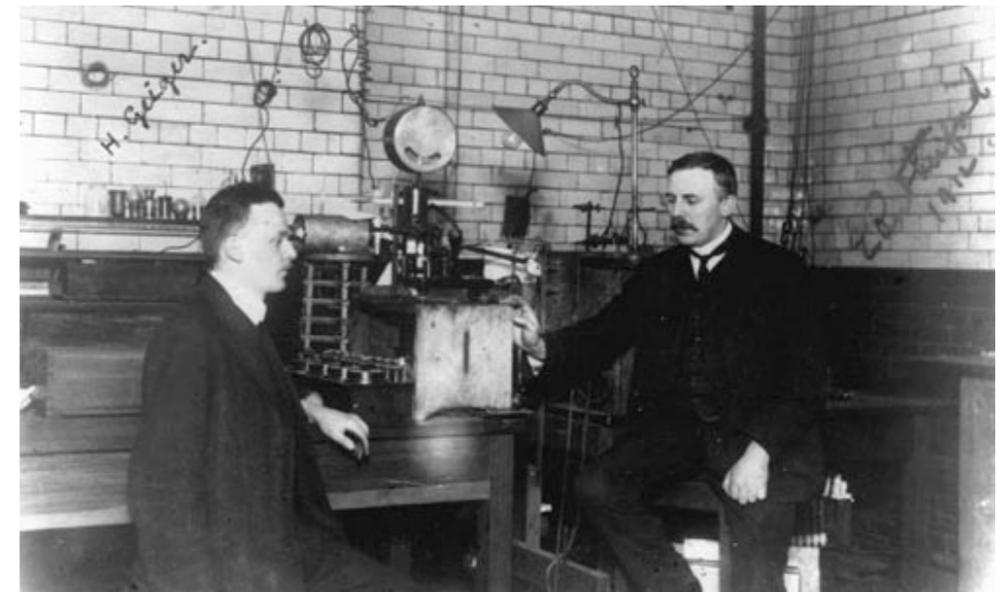
Meccanica quantistica → gli atomi possono esistere

Elettroni, orbitali



N. Bohr,
Premio
Nobel
1922

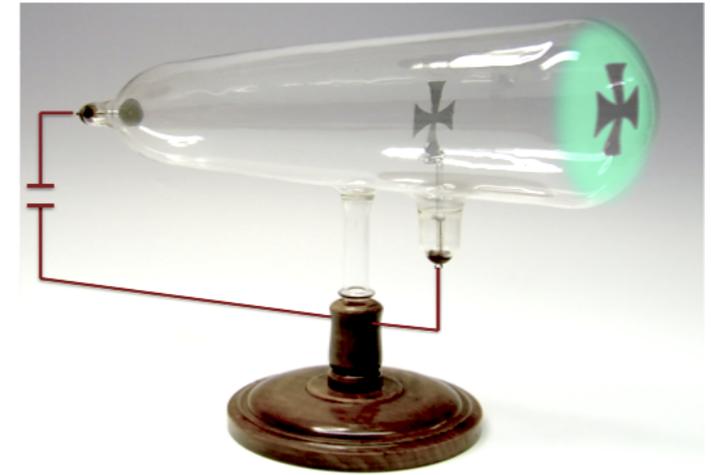
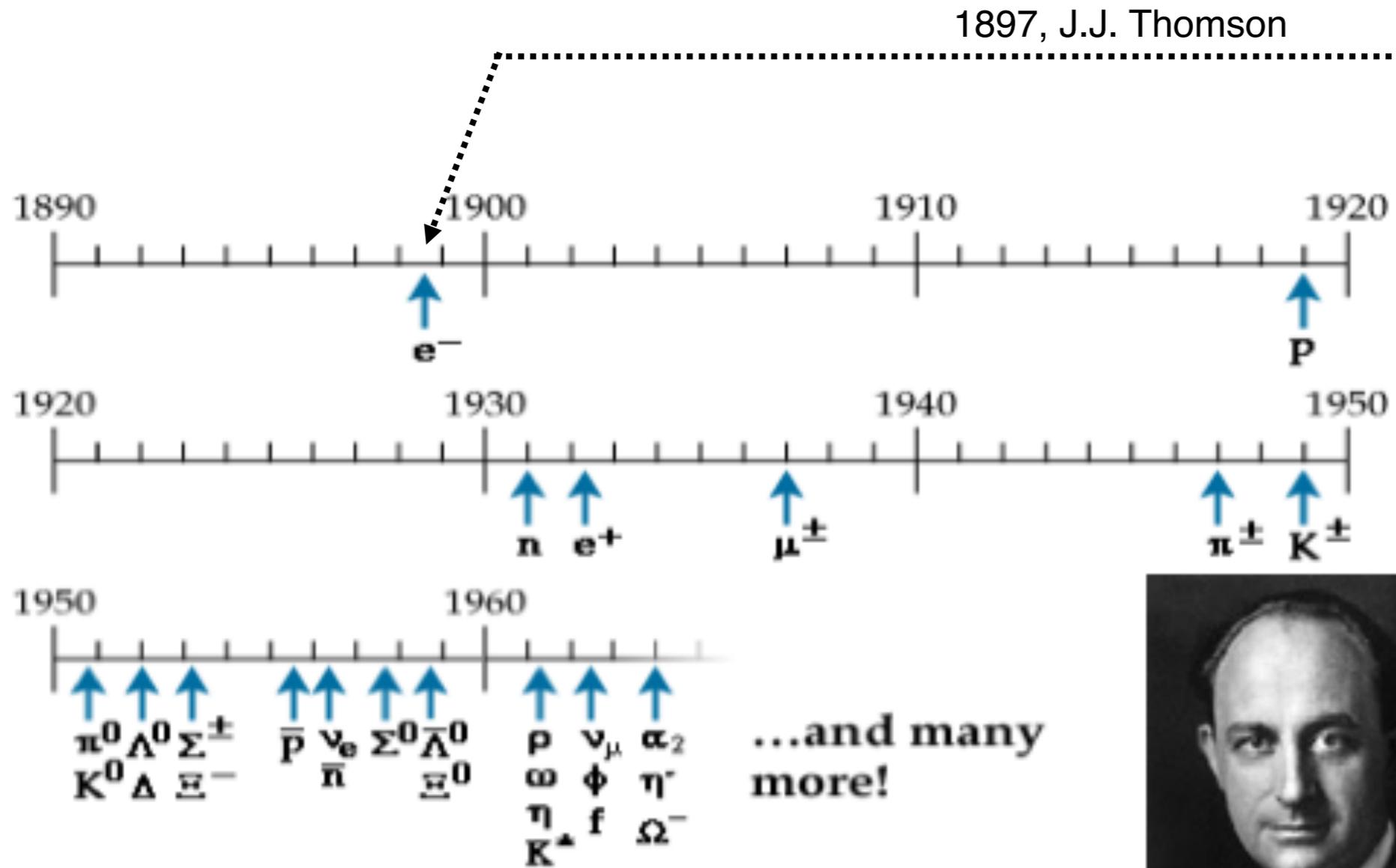
Un nucleo,
formato da
protoni e
neutroni



E. Rutherford
Premio
Nobel 1908

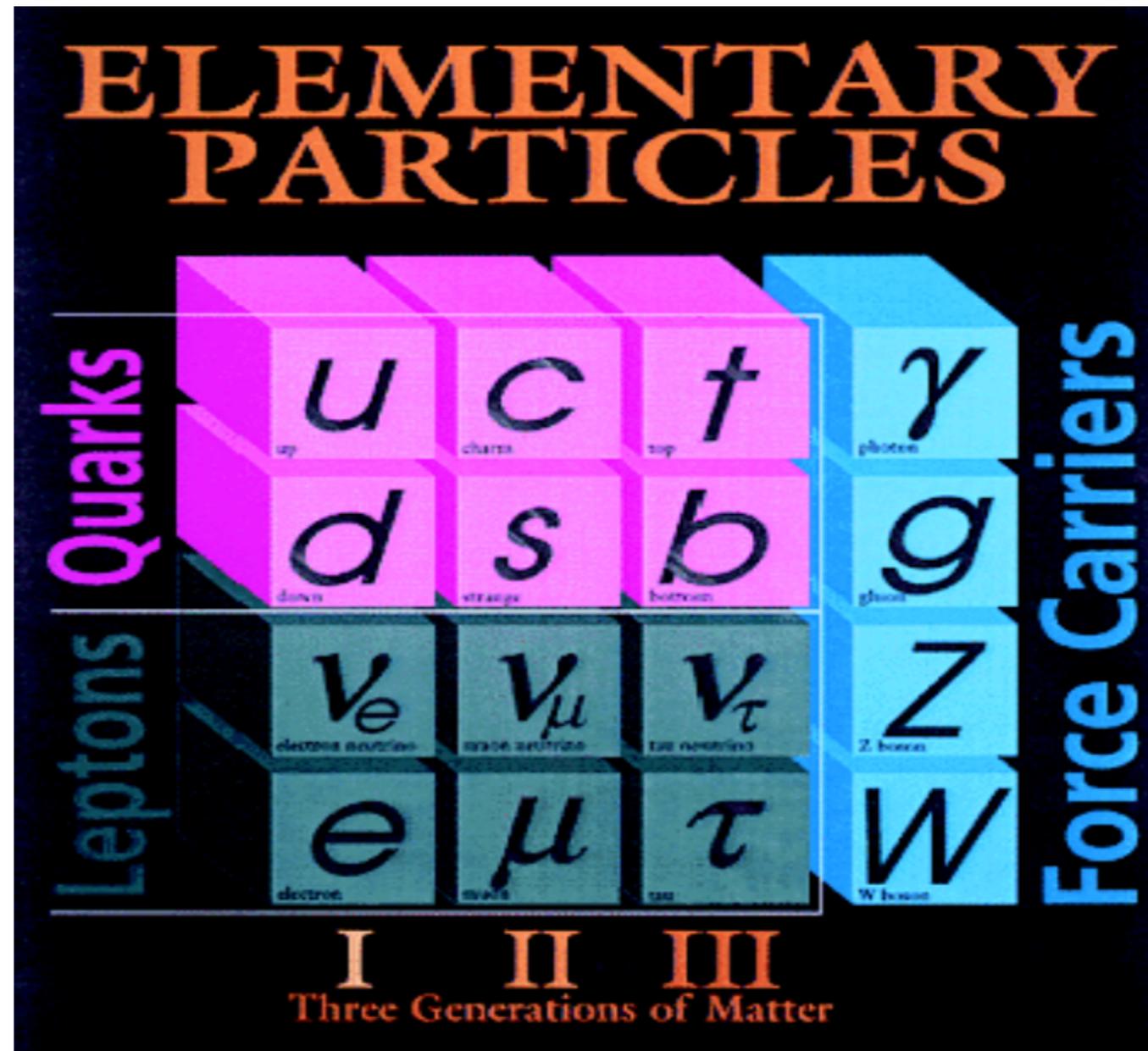
? Chi tiene insieme i
protoni ?

Un mare di particelle !

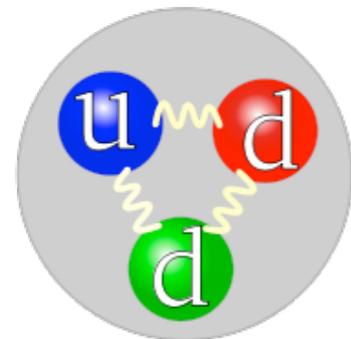
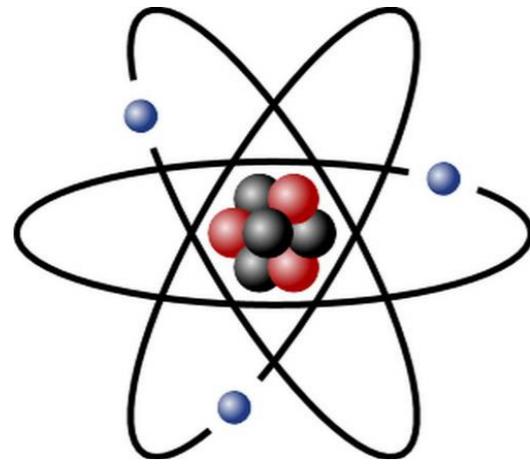


Enrico Fermi: "Ragazzo, se io potessi ricordare il nome di tutte queste particelle sarei un botanico!"

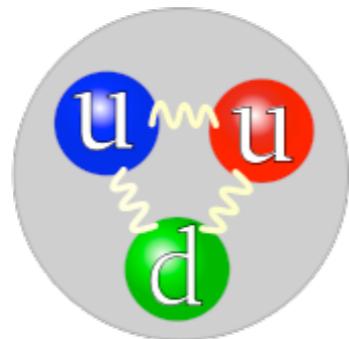
II Modello Standard



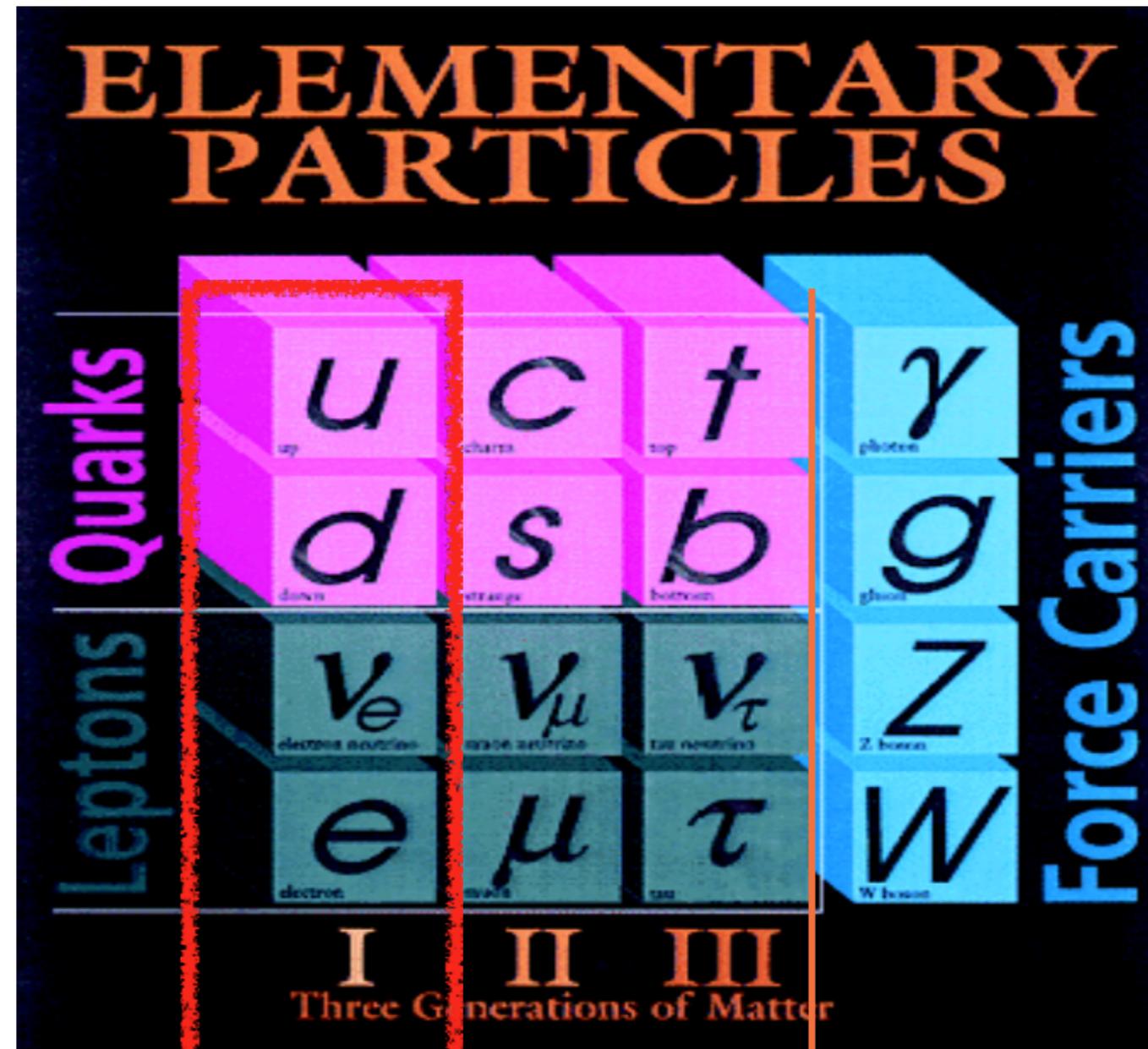
Il Modello Standard



Il neutrone



protone

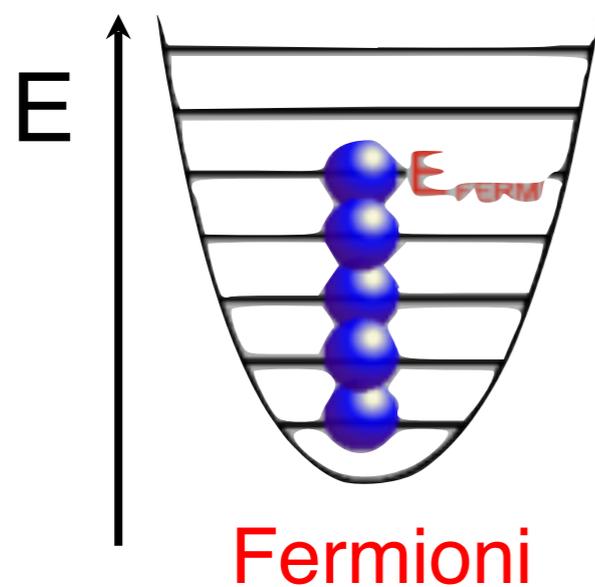


FERMIONI

BOSONI

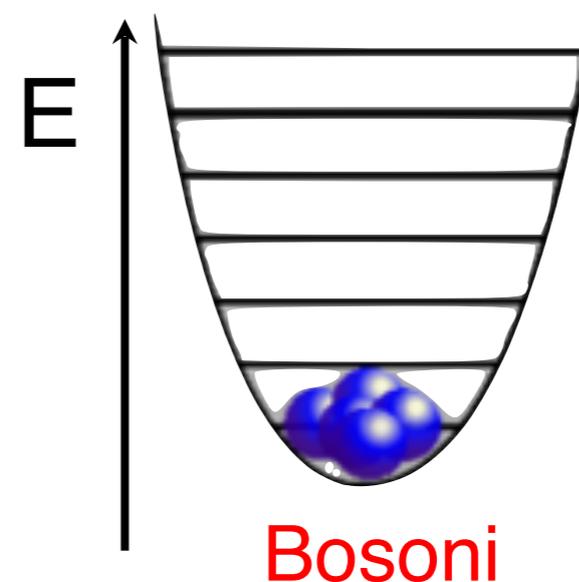
Fermioni

I “mattoni” della materia



Bosoni

I messaggeri



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

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

		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																	

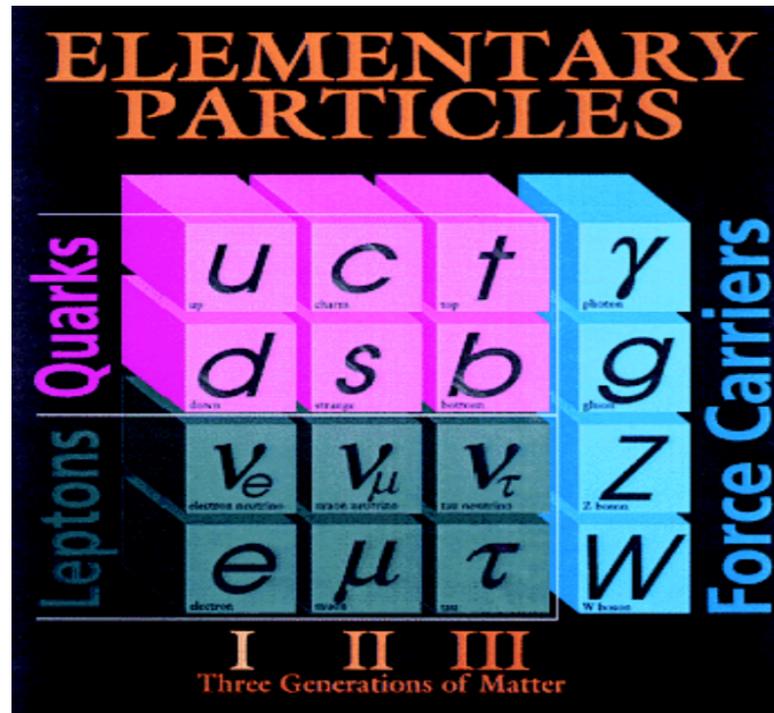
* Lanthanides	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
** Actinides	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

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



onde o corpuscoli ?



ELEMENTARY PARTICLES

Quarks	u up	c charm	t top	Force Carriers	γ photon
	d down	s strange	b bottom		g gluon
Leptons	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Force Carriers	Z Z boson
	e electron	μ muon	τ tau		W W boson
			I	II	III
Three Generations of Matter					

onde o corpuscoli ?



La forma è il contenuto !

Le Forze

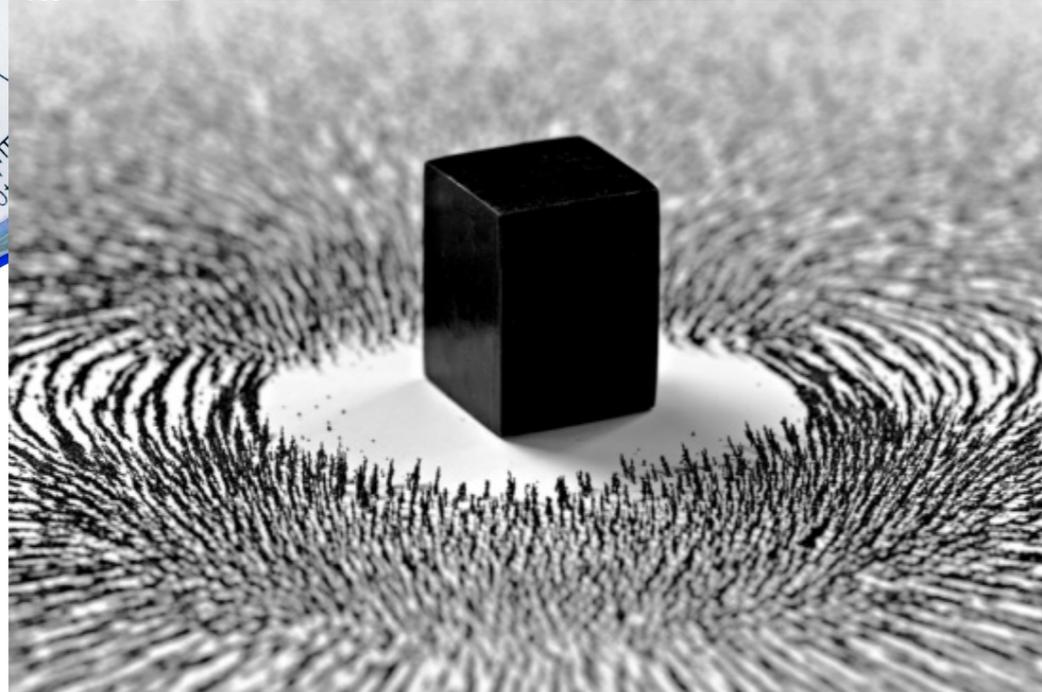
- Tantissimi tipi di forze diverse, ma tutte riconducibili a un insieme ridotto di interazioni fondamentali



La forza gravitazionale



La forza elettromagnetica



Radio waves



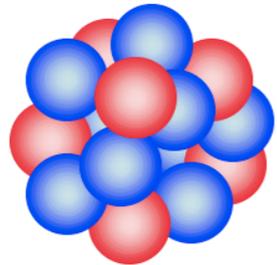
Microwaves



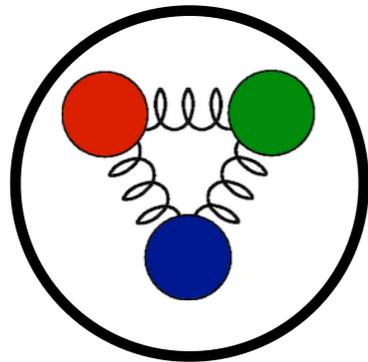
Light



Forza “forte”



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



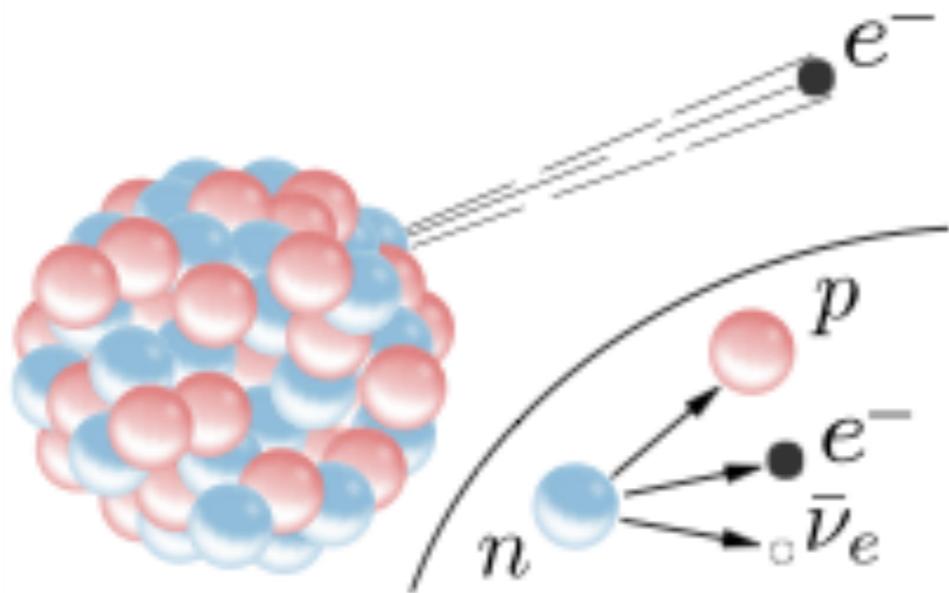
- Confina quark diversi all'interno della stessa particella

== range limitato ==

Forza “debole”

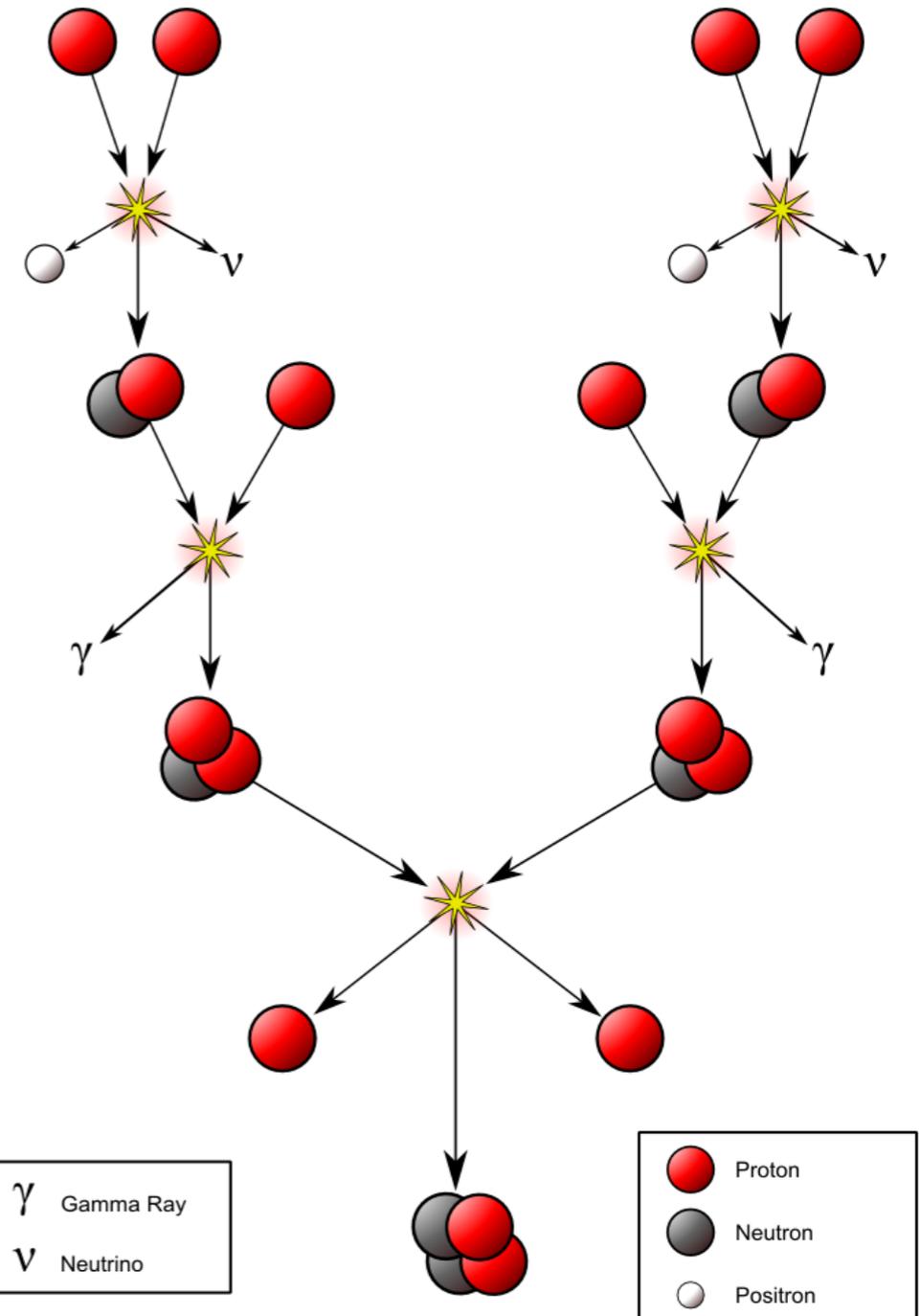
Responsabile di un'ampia casistica di interazioni tra le particelle

decadimento β del neutrone
→ trasmutazioni nucleari



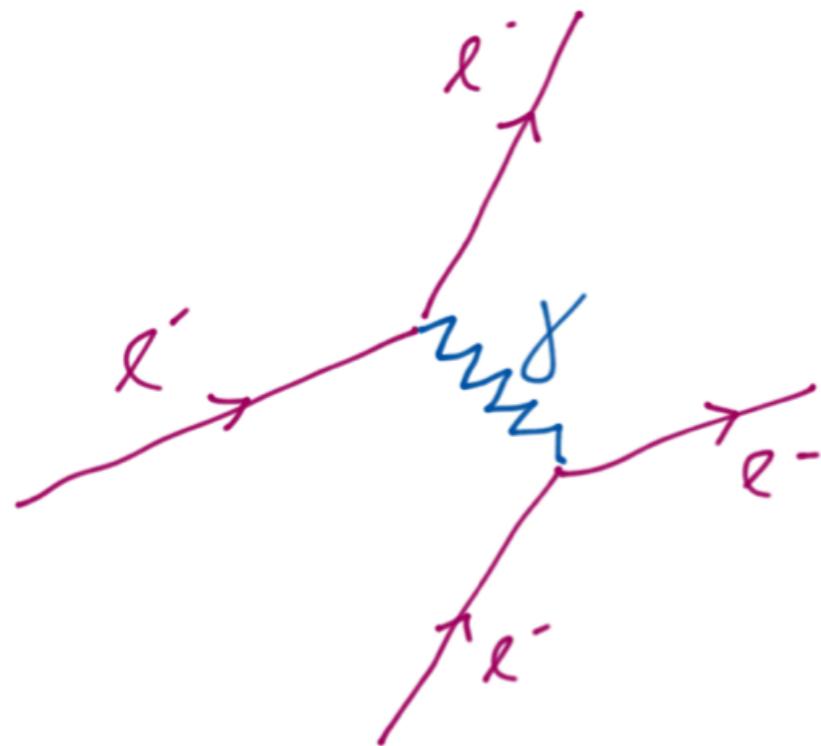
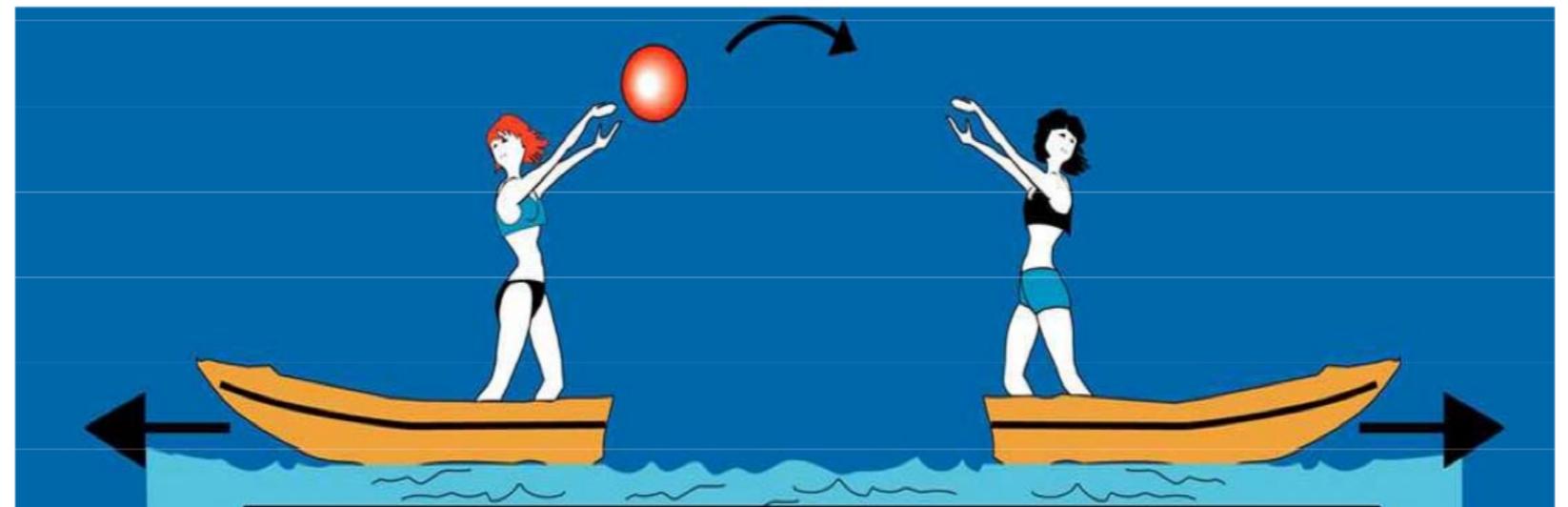
== range limitato ==

Catena protone-protone nel sole



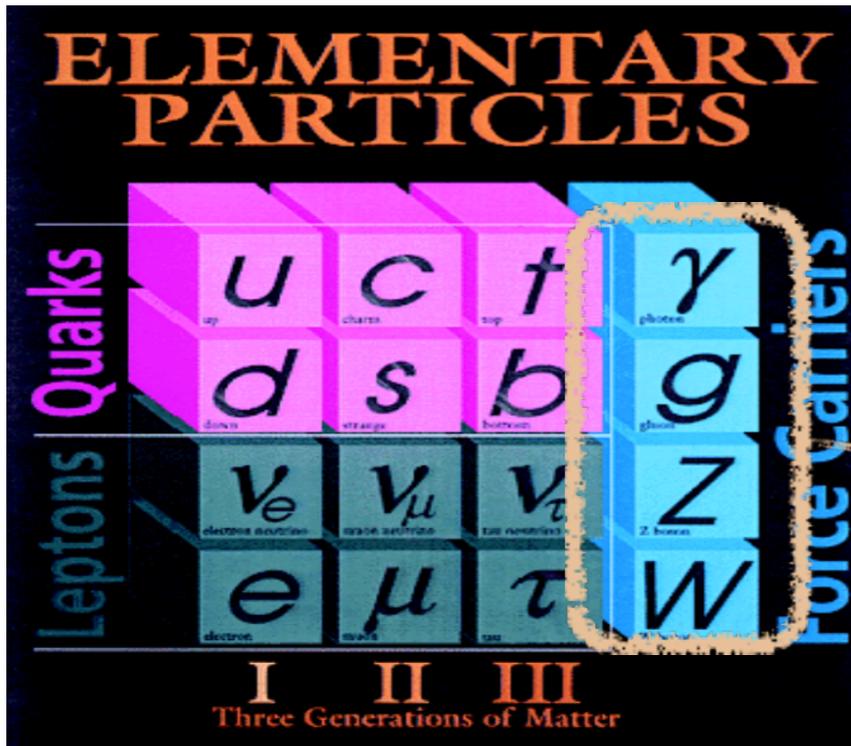
Un modello per le interazioni

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

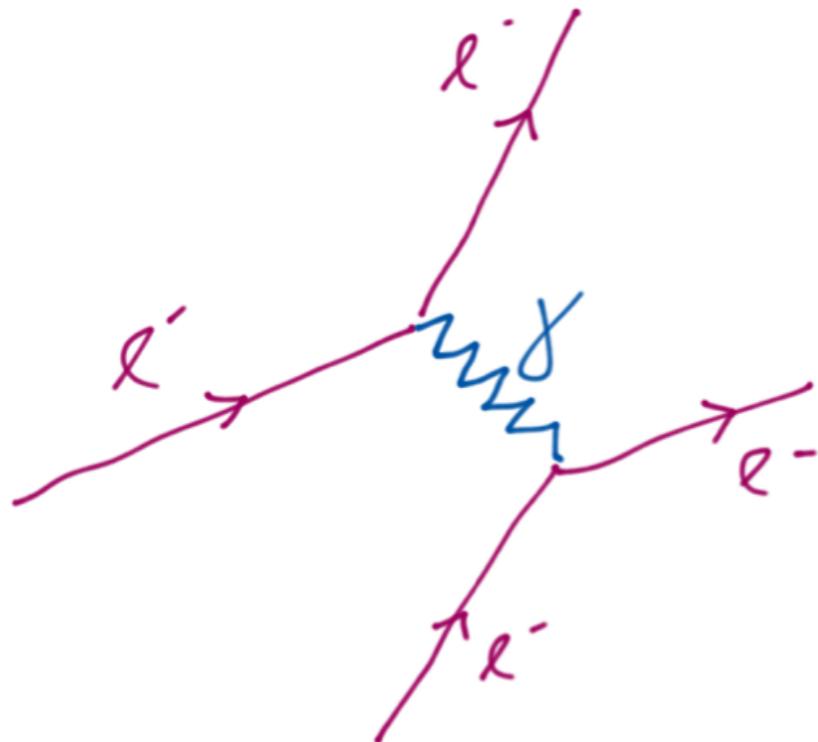
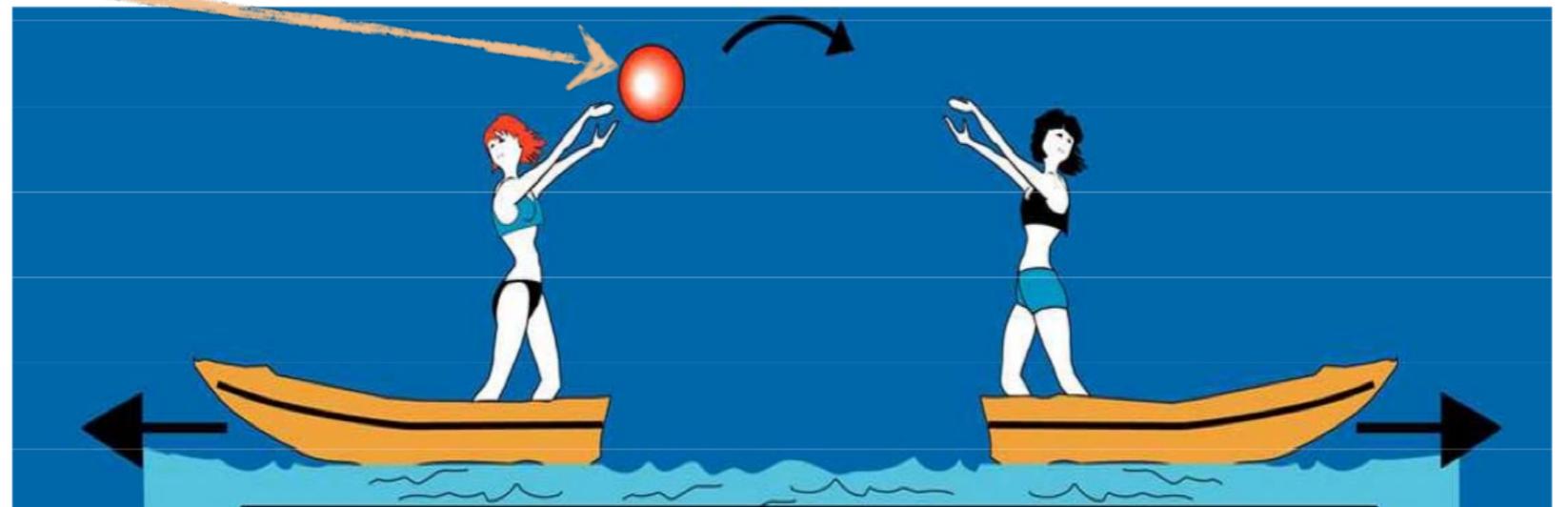


Esempio: forza
elettromagnetica
tra due elettroni

Un modello per le interazioni



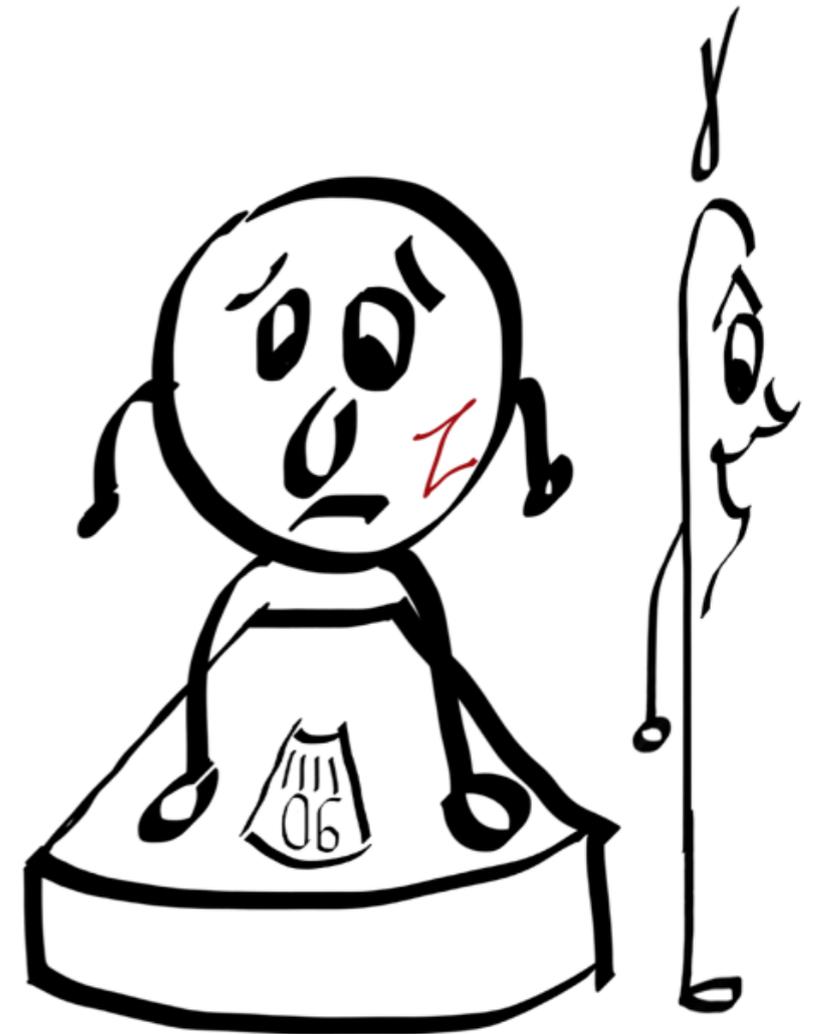
Le particelle elementari interagiscono tra loro scambiandosi i quanti del campo di interazione, ovvero una terza particella (un bosone)



Esempio: forza elettromagnetica tra due elettroni

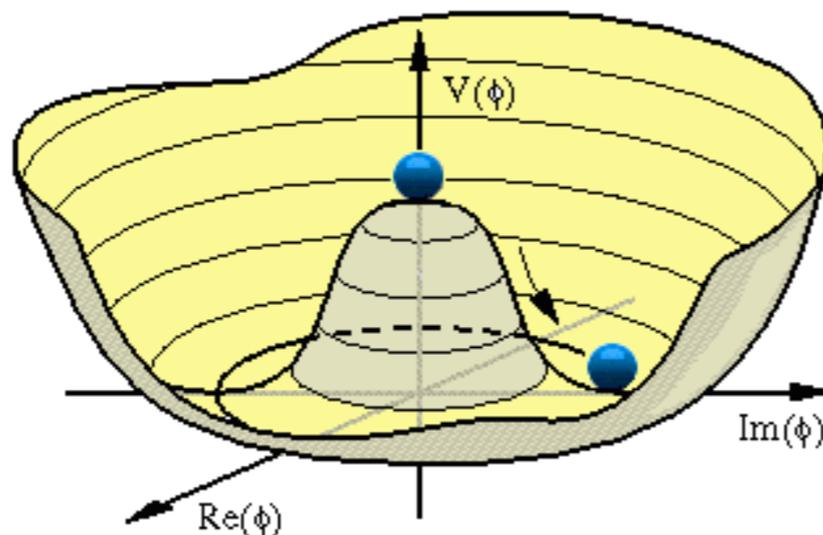
L'unificazione elettrodebole

- Nel Modello Standard le interazioni elettromagnetiche e deboli sono aspetti diversi della stessa interazione (elettrodebole)
 - portatori dell'interazione: γ , 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 γ .



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

già, la massa ...

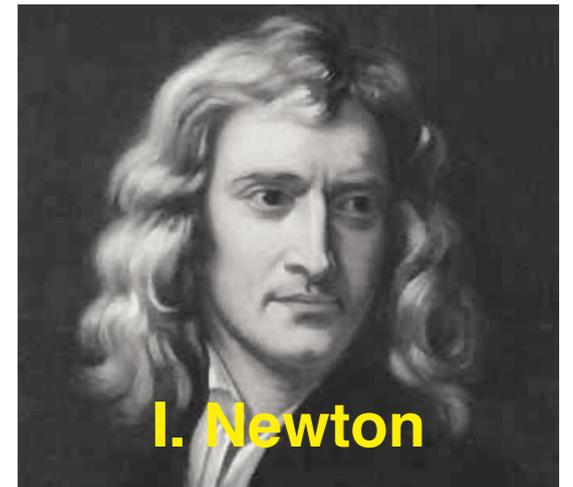


già, la massa ...



Inerzia: in assenza di forze i corpi non variano il loro stato di moto.

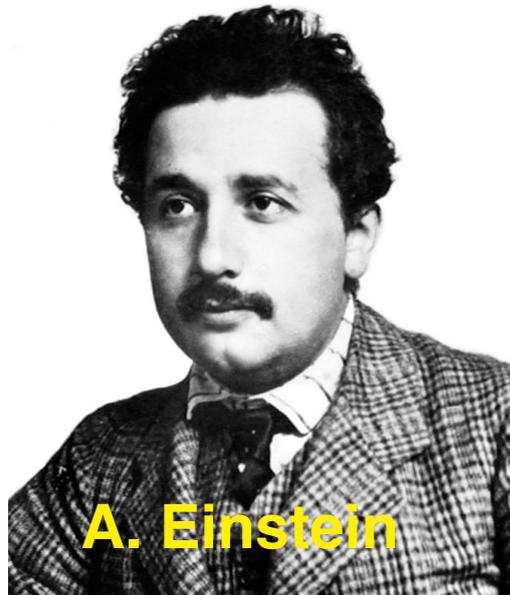
$$F = ma$$



già, la massa ...



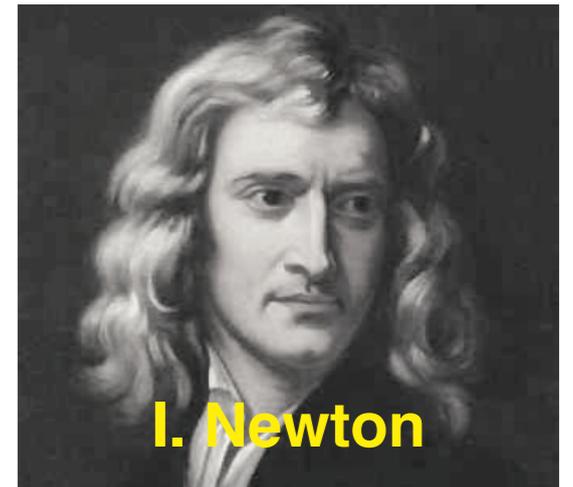
Inerzia: in assenza di forze i corpi non variano il loro stato di moto.



A. Einstein

$$E = mc^2$$

La massa di una particella è la sua energia a riposo



I. Newton

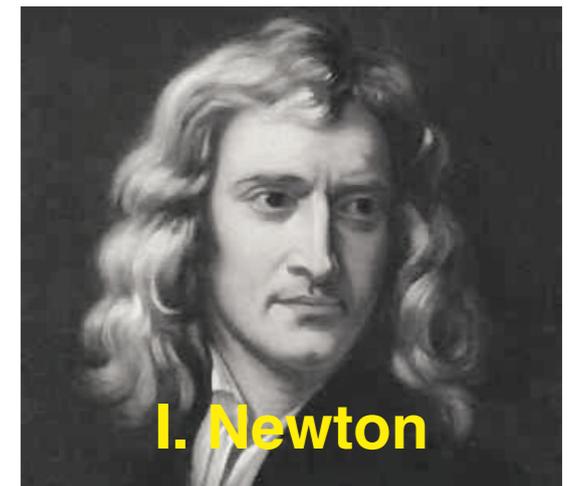
$$F = ma$$

già, la massa ...

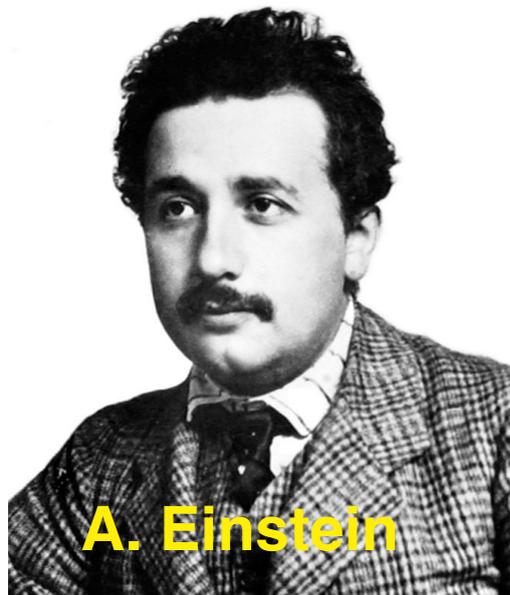


Inerzia: in assenza di forze i corpi non variano il loro stato di moto.

$$F = ma$$



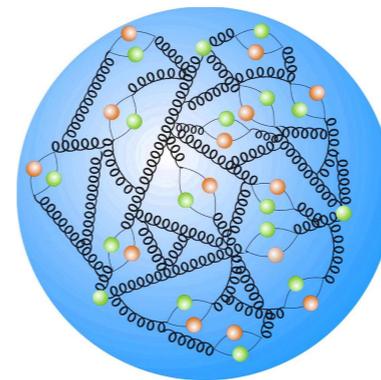
I. Newton



A. Einstein

$$E = mc^2$$

La massa di una particella è la sua energia a riposo



Solo una piccola frazione della massa del protone deriva dalla massa dei suoi quark

Come funziona il campo di Higgs

La particella che dà la massa alla materia

Il campo **permea tutto l'universo**.
Le particelle che lo attraversano
avvertono ognuna
una resistenza diversa.
Questa **resistenza** è quella
che chiamiamo **massa**

CAMPO DI HIGGS

Particelle di massa
piccolissima o zero
(fotoni, elettroni, ecc.)

Particelle
di massa media
(muoni, ecc.)

Particelle
di grande massa
(quark top, ecc.)

Per spiegare come mai
la materia abbia massa,
il fisico Peter Higgs
nel 1960 ha ipotizzato
l'esistenza del campo
di Higgs.

Il campo di Higgs dà la
massa a tutte le particelle
elementari.
Ciò avviene quando queste
interagiscono coi bosoni,
che trasmettono il campo.

L'osservazione del bosone
di Higgs, da parte degli
esperimenti ATLAS e CMS,
è il primo obiettivo
raggiunto
dall'acceleratore LHC.



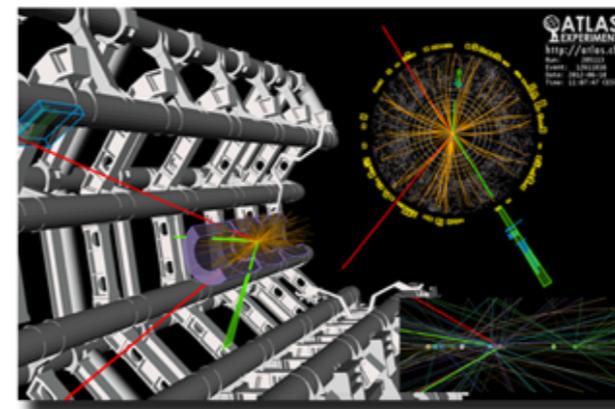
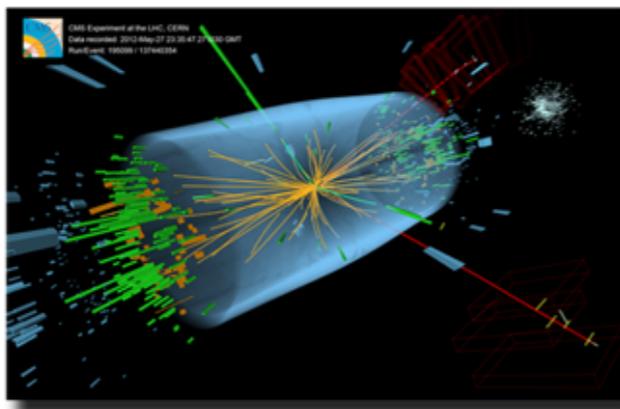
Fonte: Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

#centimetri

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

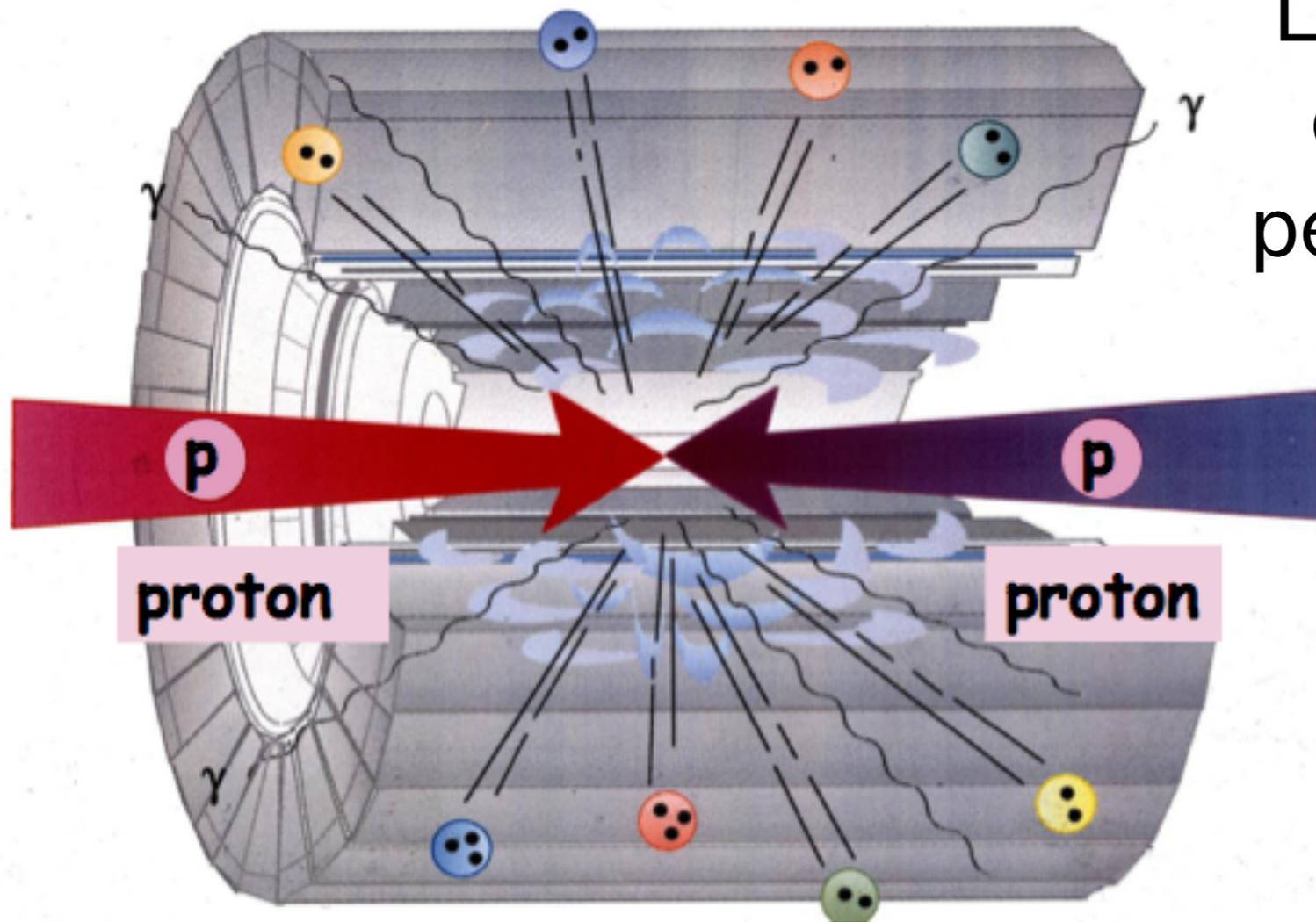


Filmato

CERN Higgs 4JULY

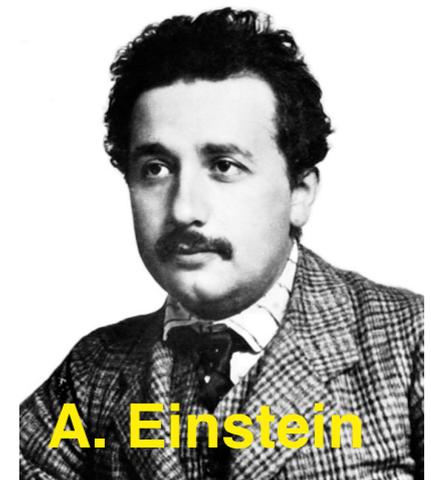
<http://cds.cern.ch/record/1490683>

Come è stato visto il bosone di Higgs ?



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

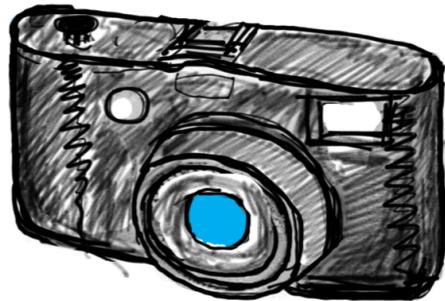
$$E = mc^2$$



Gli ingredienti della fisica agli acceleratori:



- Acceleratori per produrre le collisioni



- rivelatori per registrare e studiare le particelle prodotte nella collisione



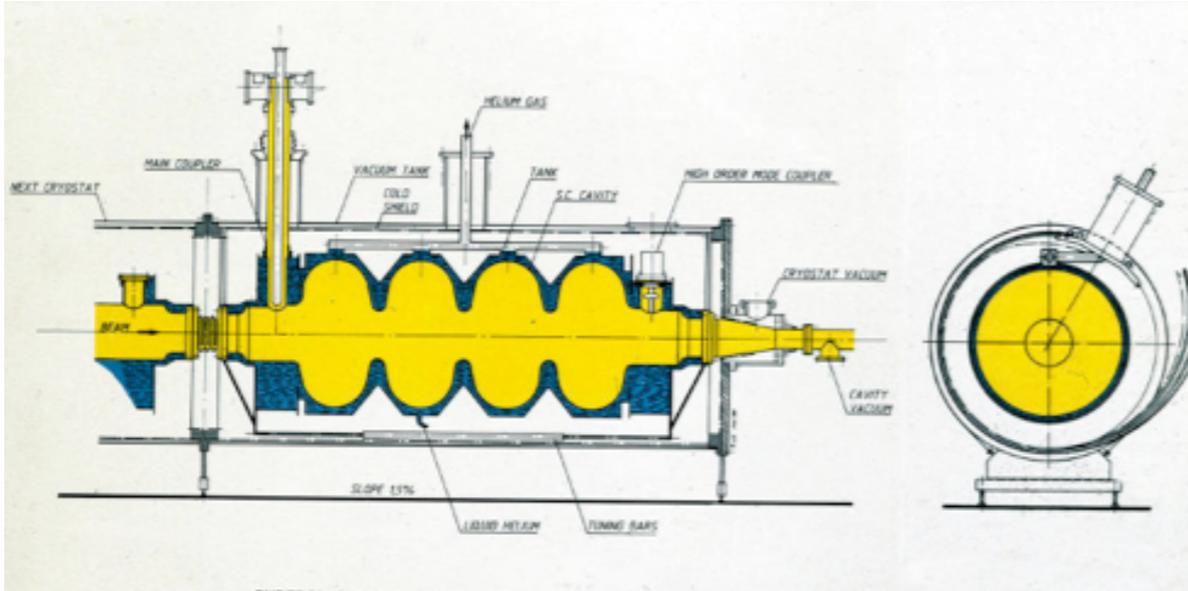
- computers per registrare, distribuire ed analizzare i dati raccolti



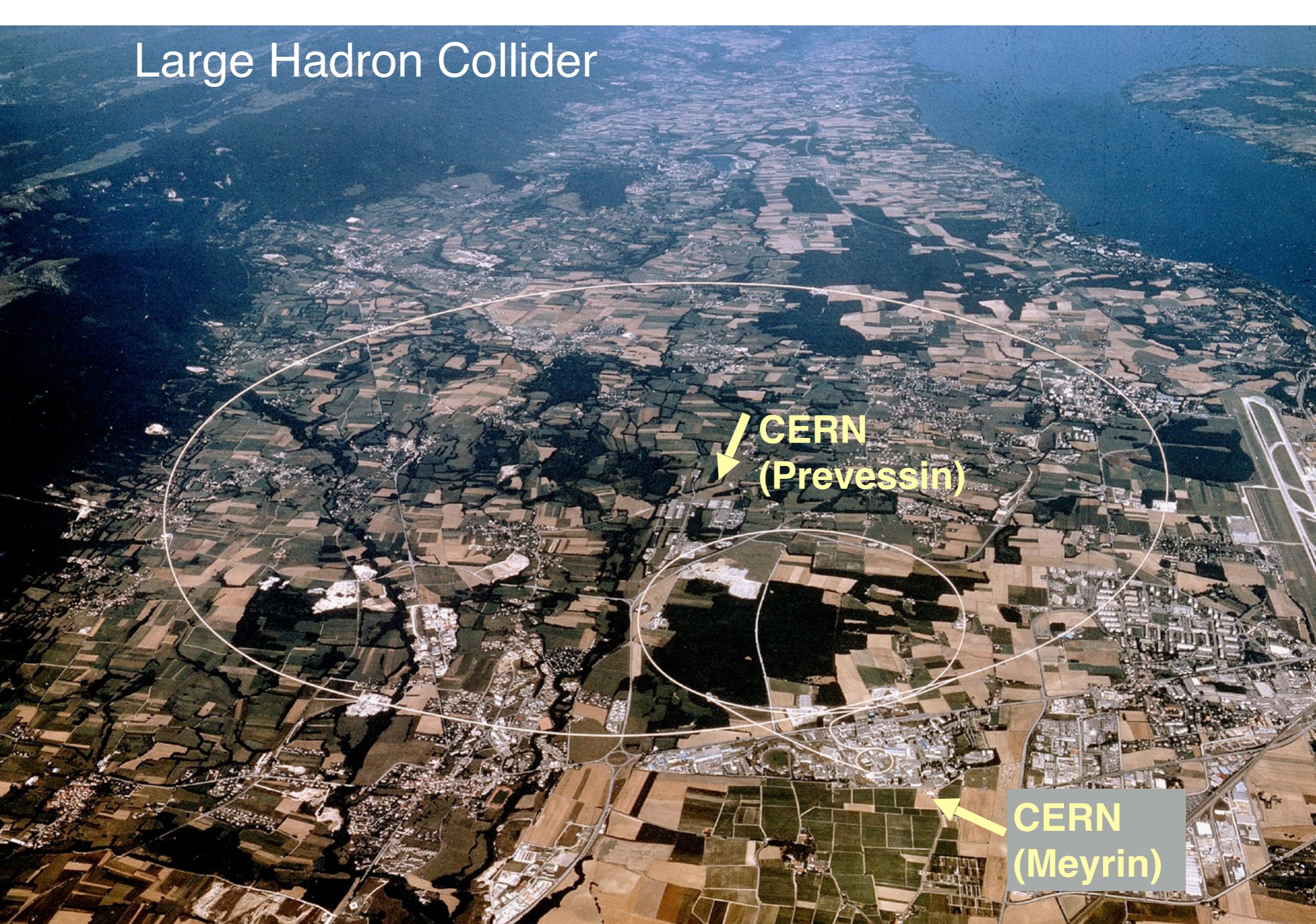
Le componenti principali di un acceleratore

campi elettrici per accelerare le particelle

campi magnetici per guidare le particelle



Large Hadron Collider



CERN
(Preessin)

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

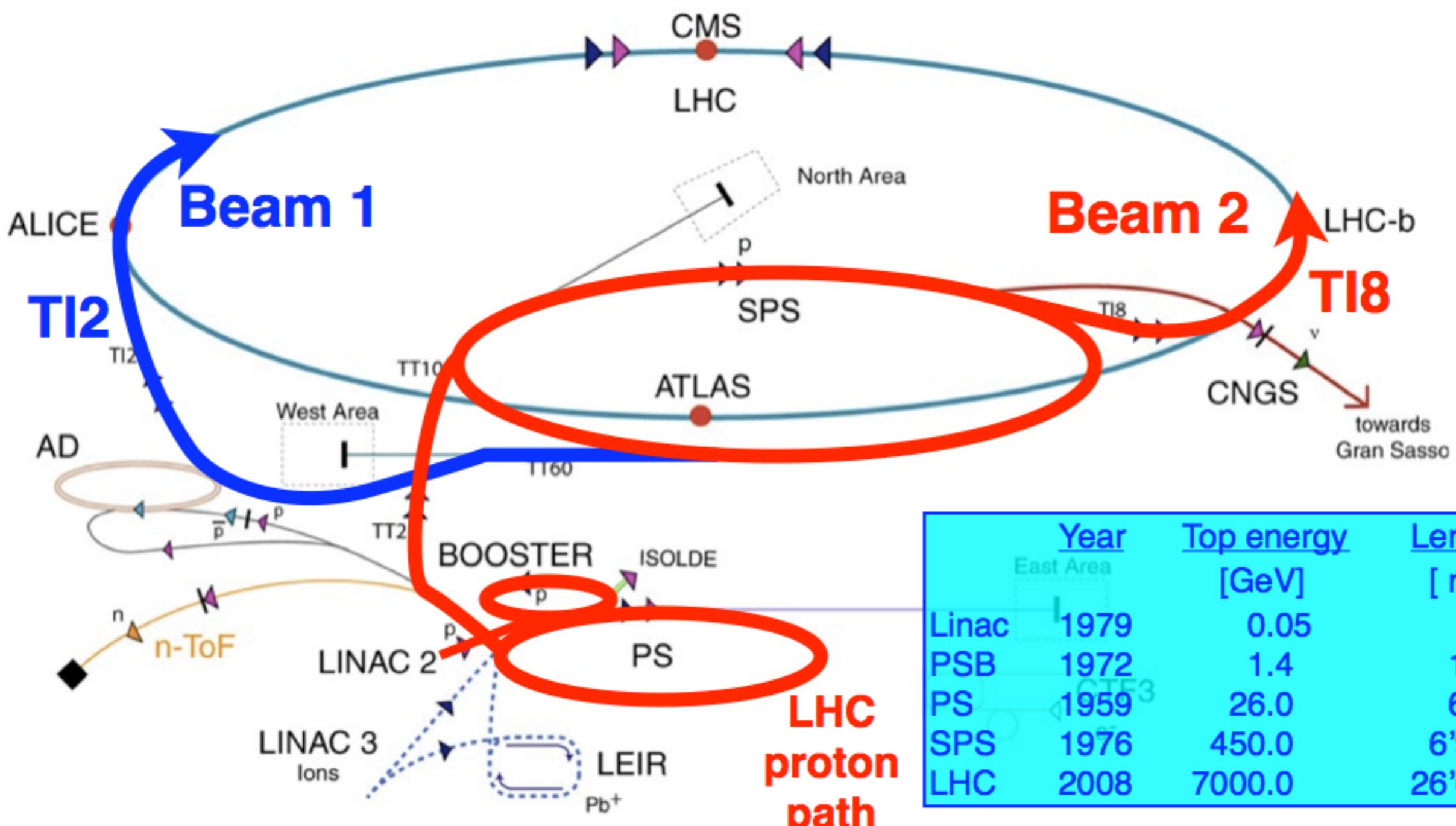
CERN
(Preveessin)

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

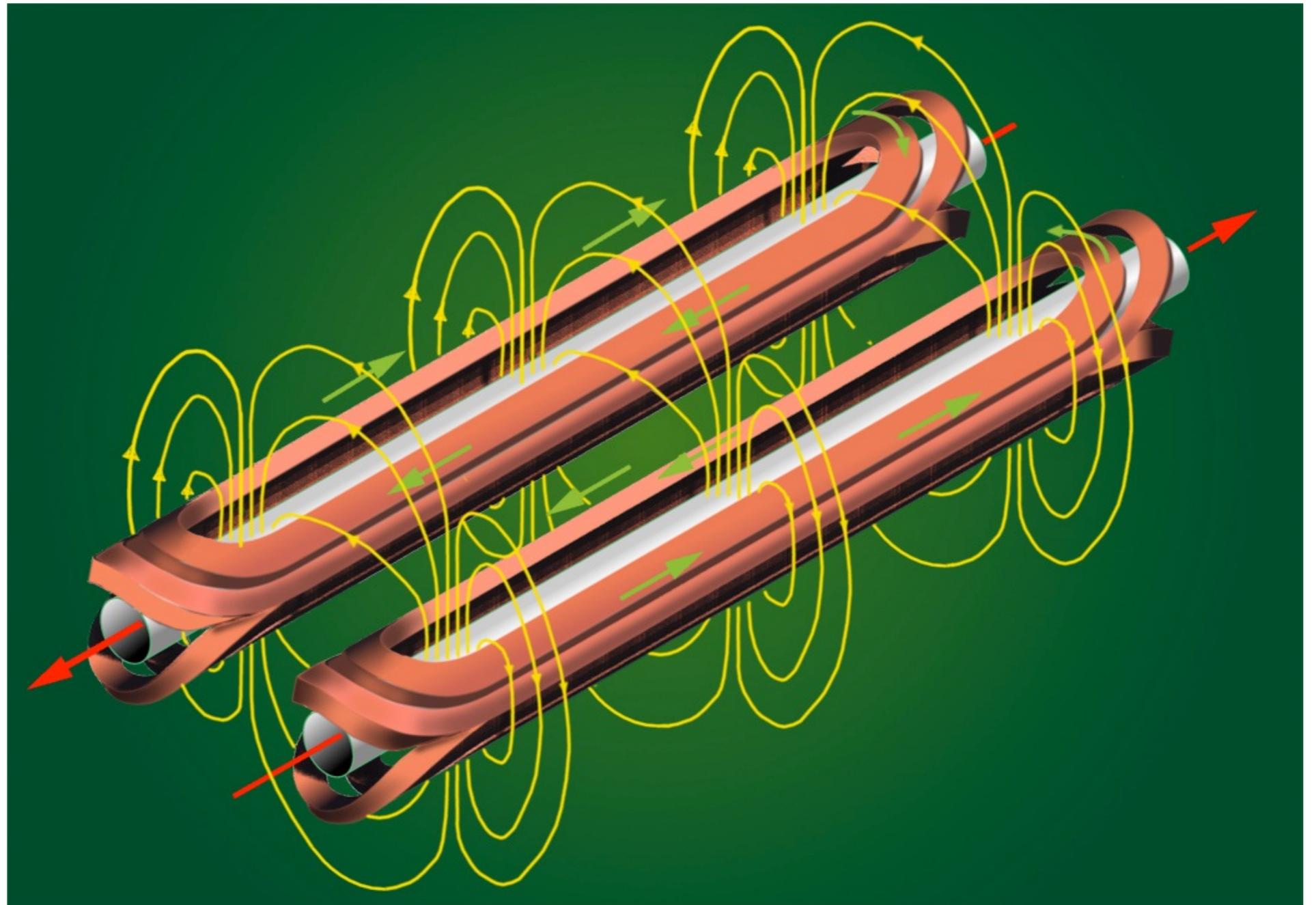
I numeri di LHC



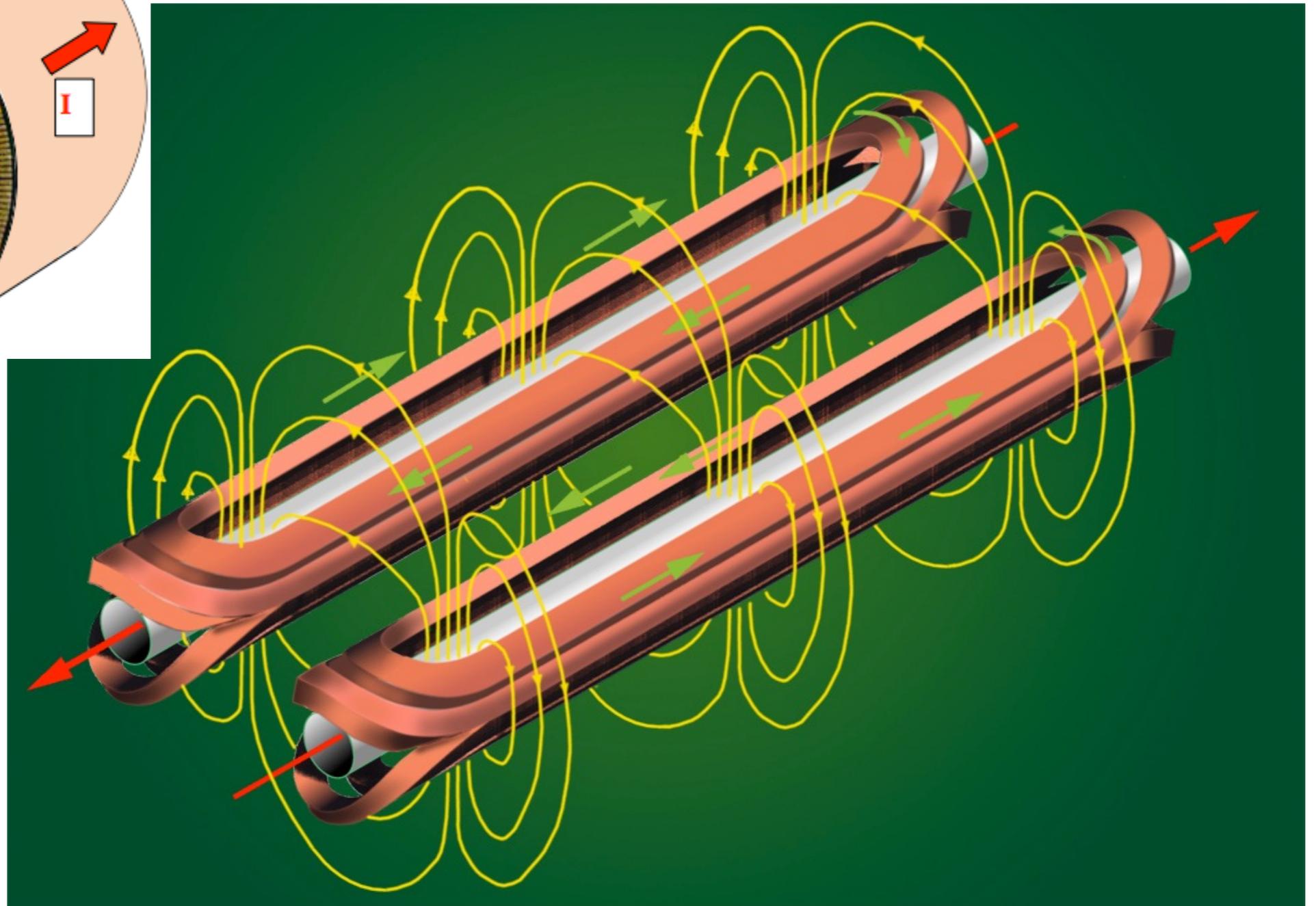
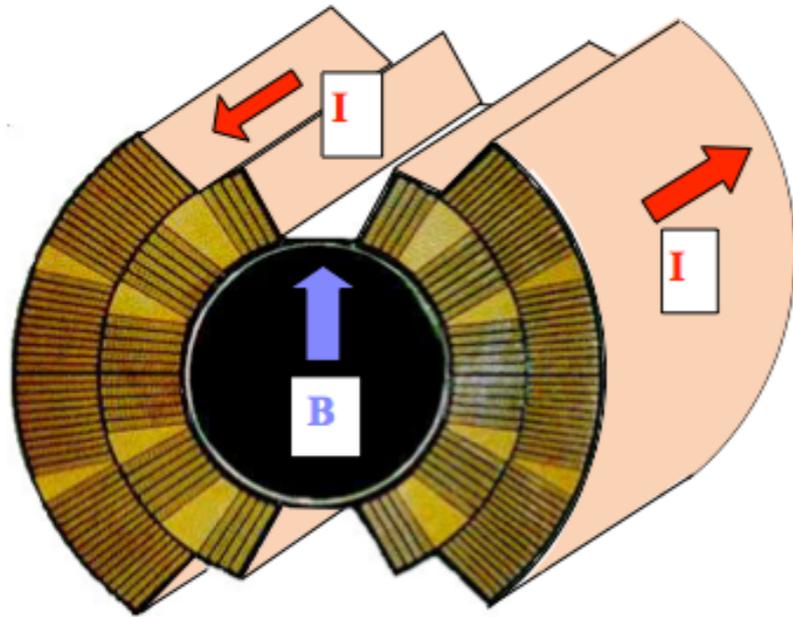
I numeri di LHC

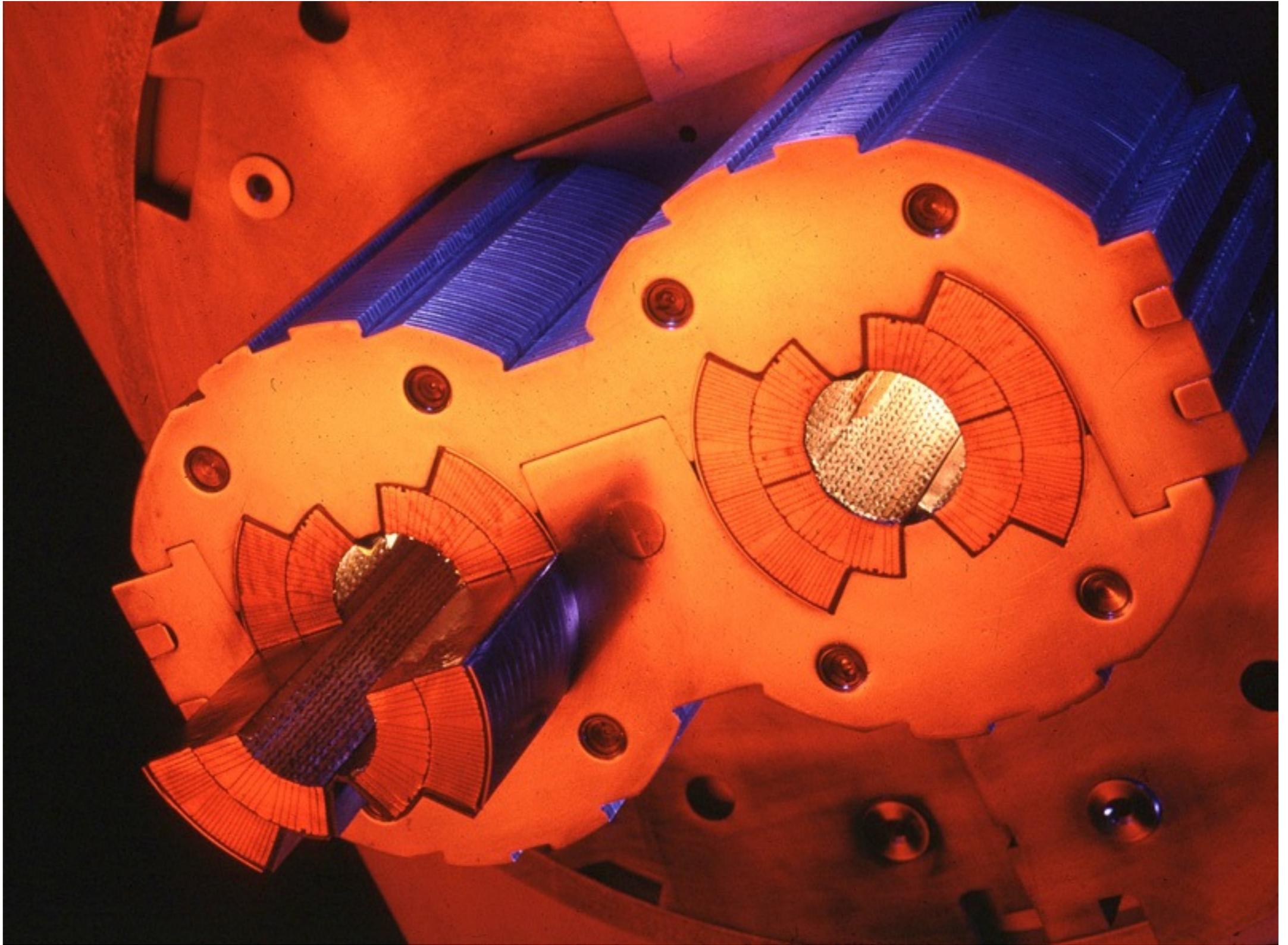
- Energia nominale dei fasci: fino a 7 TeV per fascio
- 1232 dipoli superconduttori ($B_{\max} = 8.4 \text{ T}$) che lavorano a 1.9 K (-271 °C)
- 33 000 tonnellate di massa fredda (il più grande sistema di criogenia mai costruito)
- fino a 2808 pacchetti di 10^{11} protoni per fascio
- Energia immagazzinata 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 ($c / 27 \text{ km}$)
- $\sigma_x = \sigma_y \sim 15 \mu\text{m}$ sezione trasversa del fascio nei punti di collisione

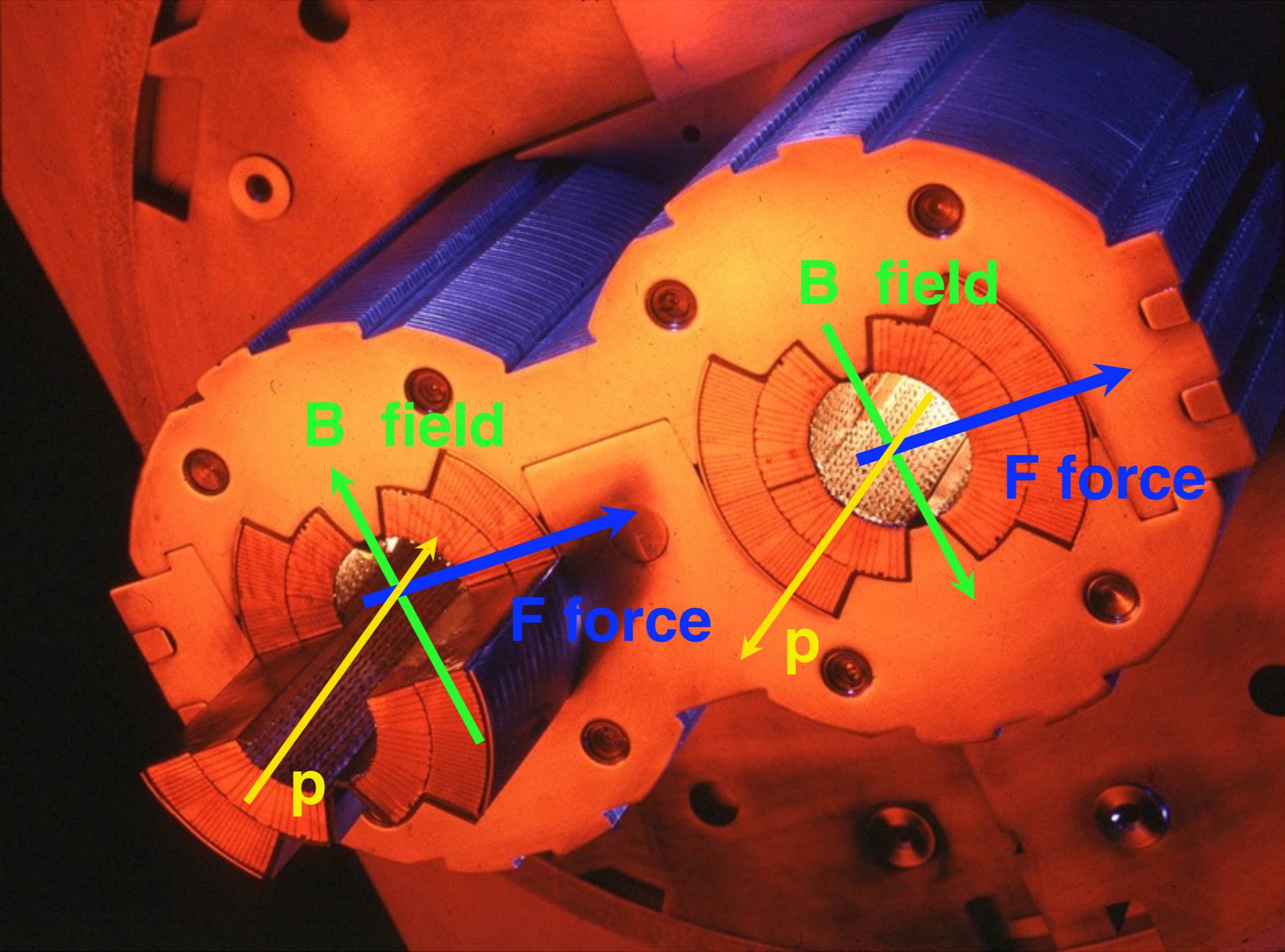
- un condotto per ogni fascio di protoni
- 2 dipoli che condividono lo stesso giogo di ritorno



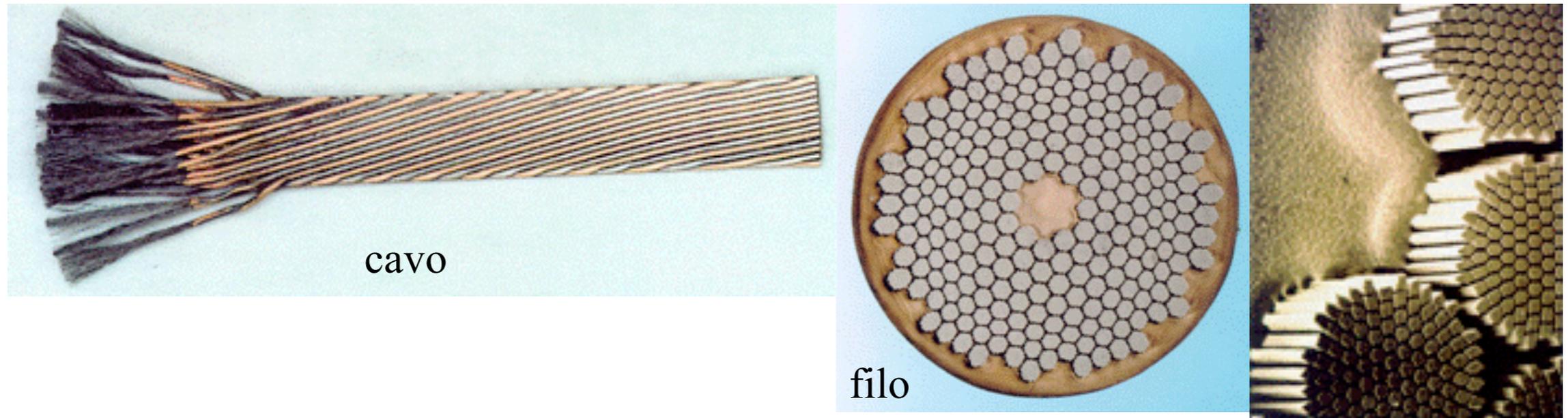
- un condotto per ogni fascio di protoni
- 2 dipoli che condividono lo stesso giogo di ritorno







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 $-263\text{ }^{\circ}\text{C}$.

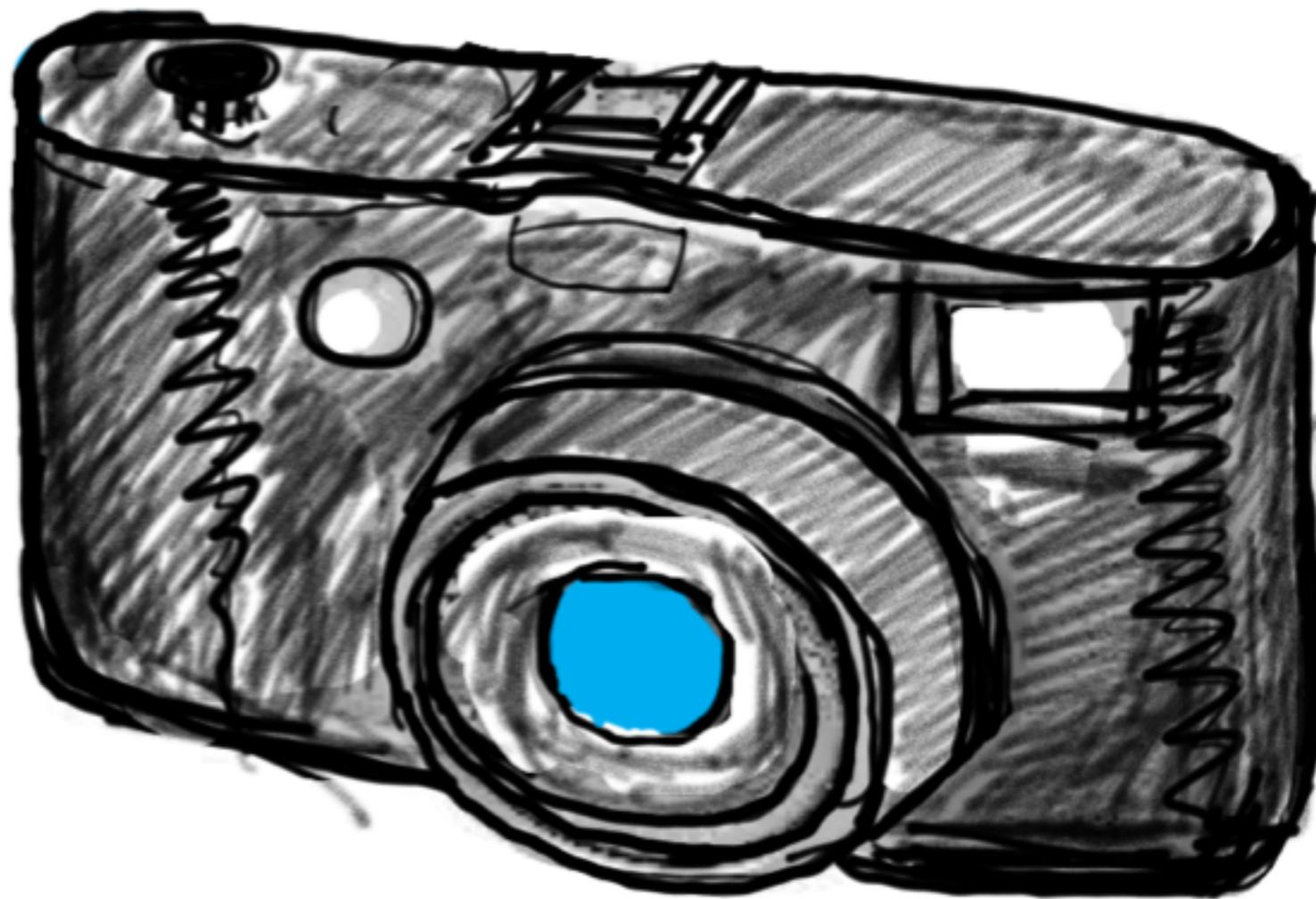


FILMATO

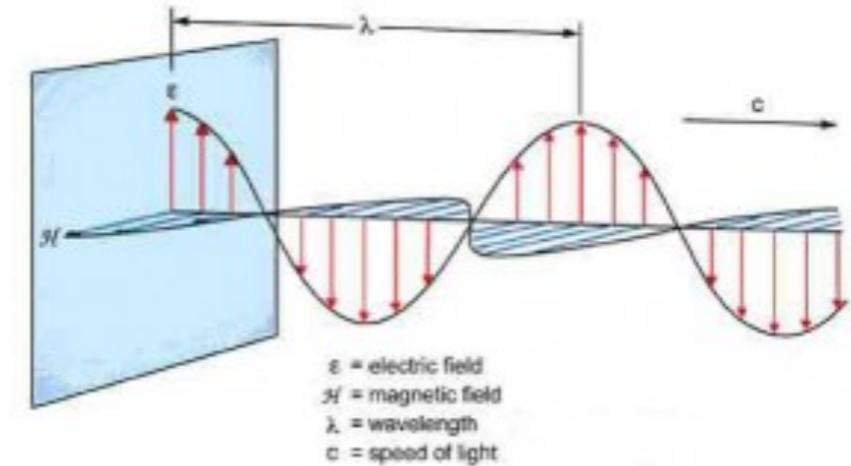
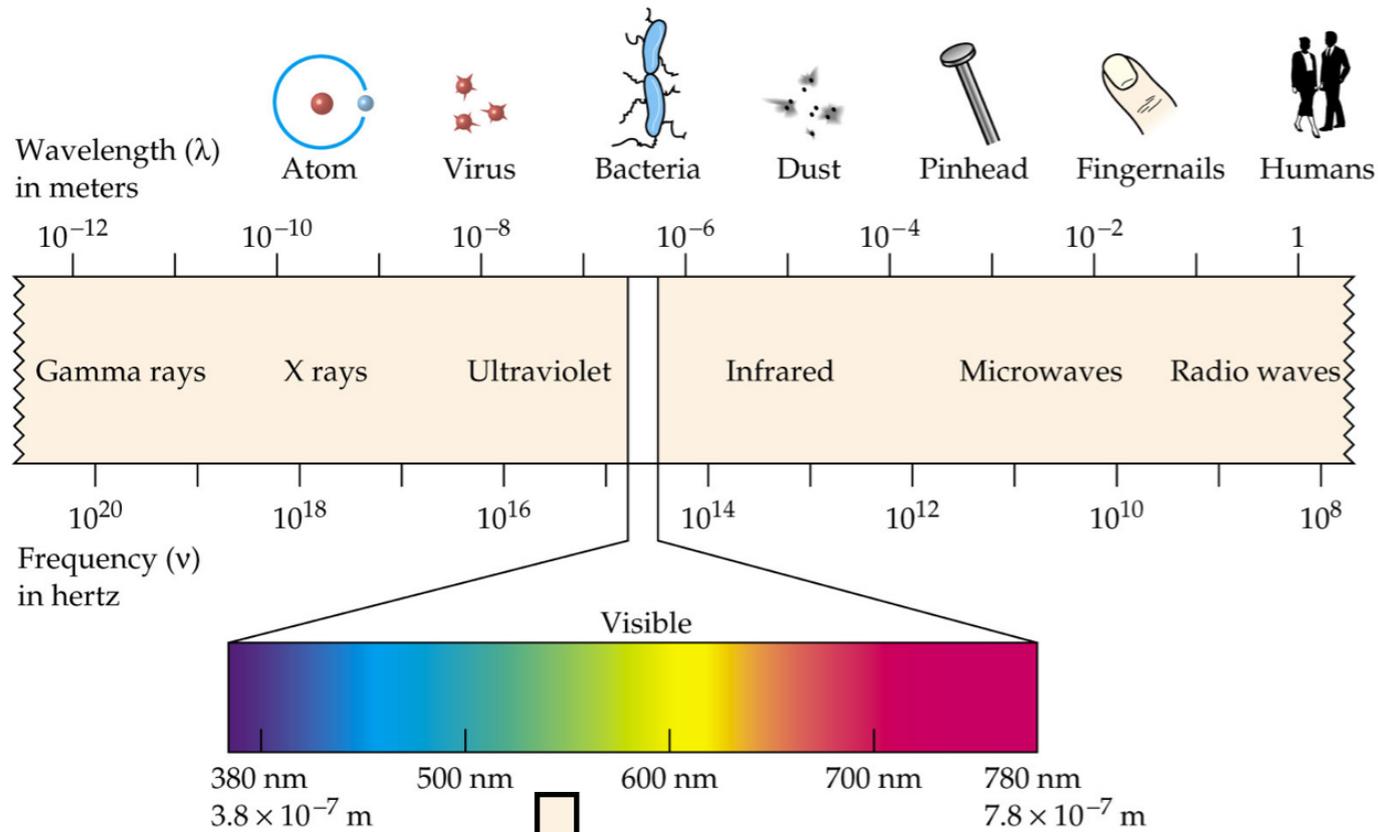
Animation of CERN's accelerator network

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

I Rivelatori



Si possono vedere le particelle ?

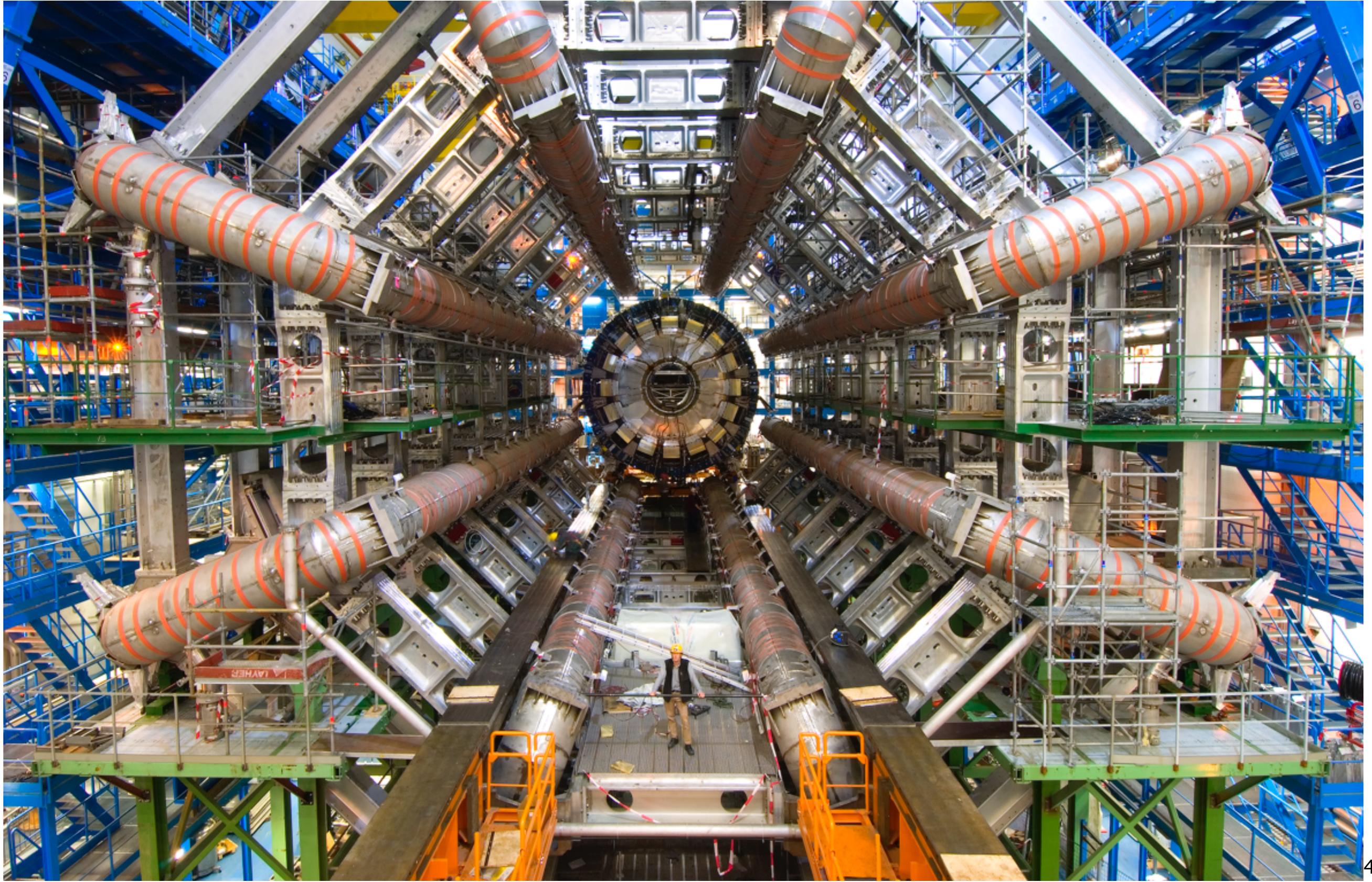


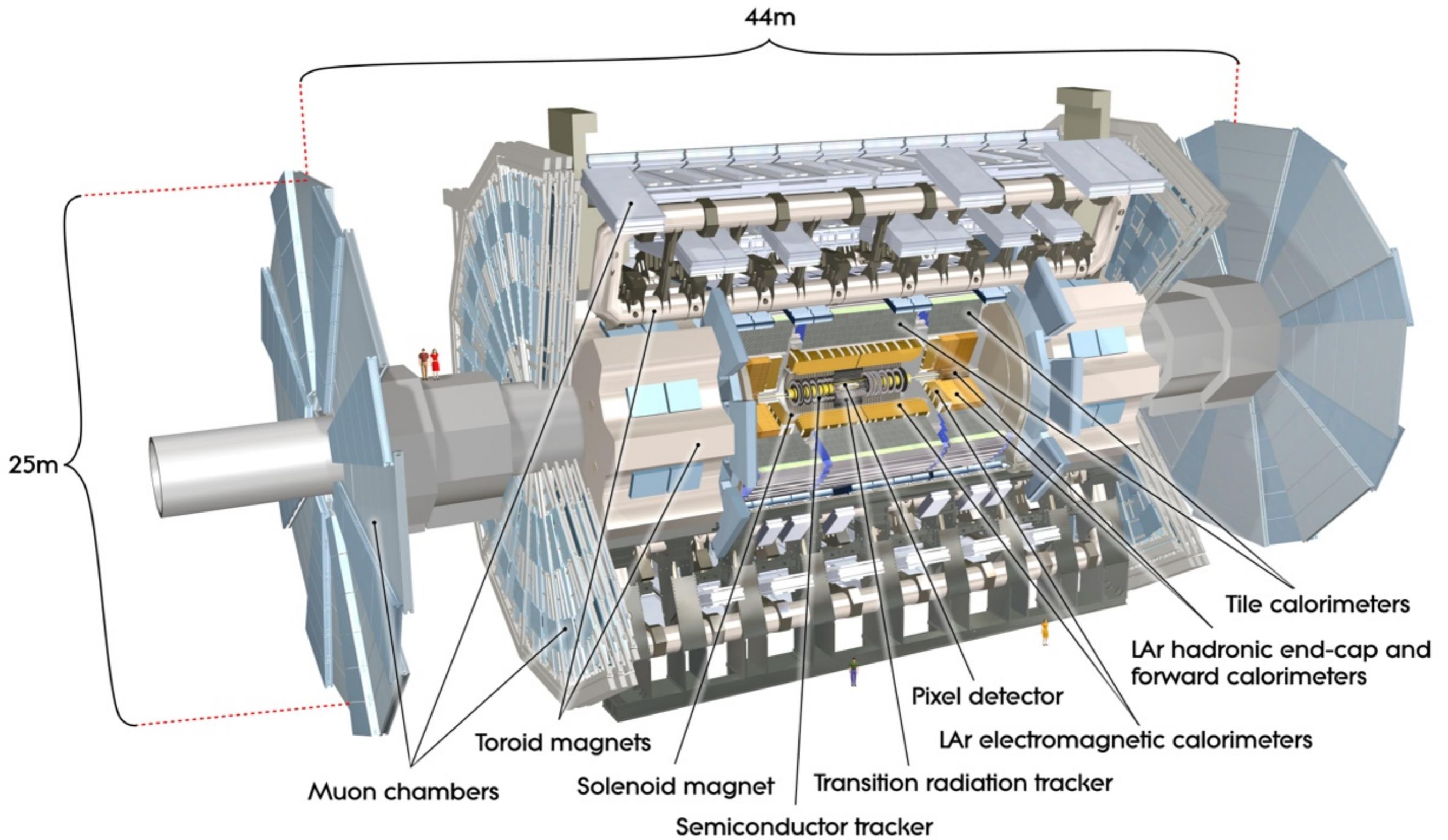
Esiste un limite alle dimensioni che posso “risolvere” con la luce.

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 ($100 \times 150 \mu\text{m}$) $\sim 16\text{m}^2$ $\sim 66\text{M}$ channels
Microstrips ($80 \times 180 \mu\text{m}$) $\sim 200\text{m}^2$ $\sim 9.6\text{M}$ 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

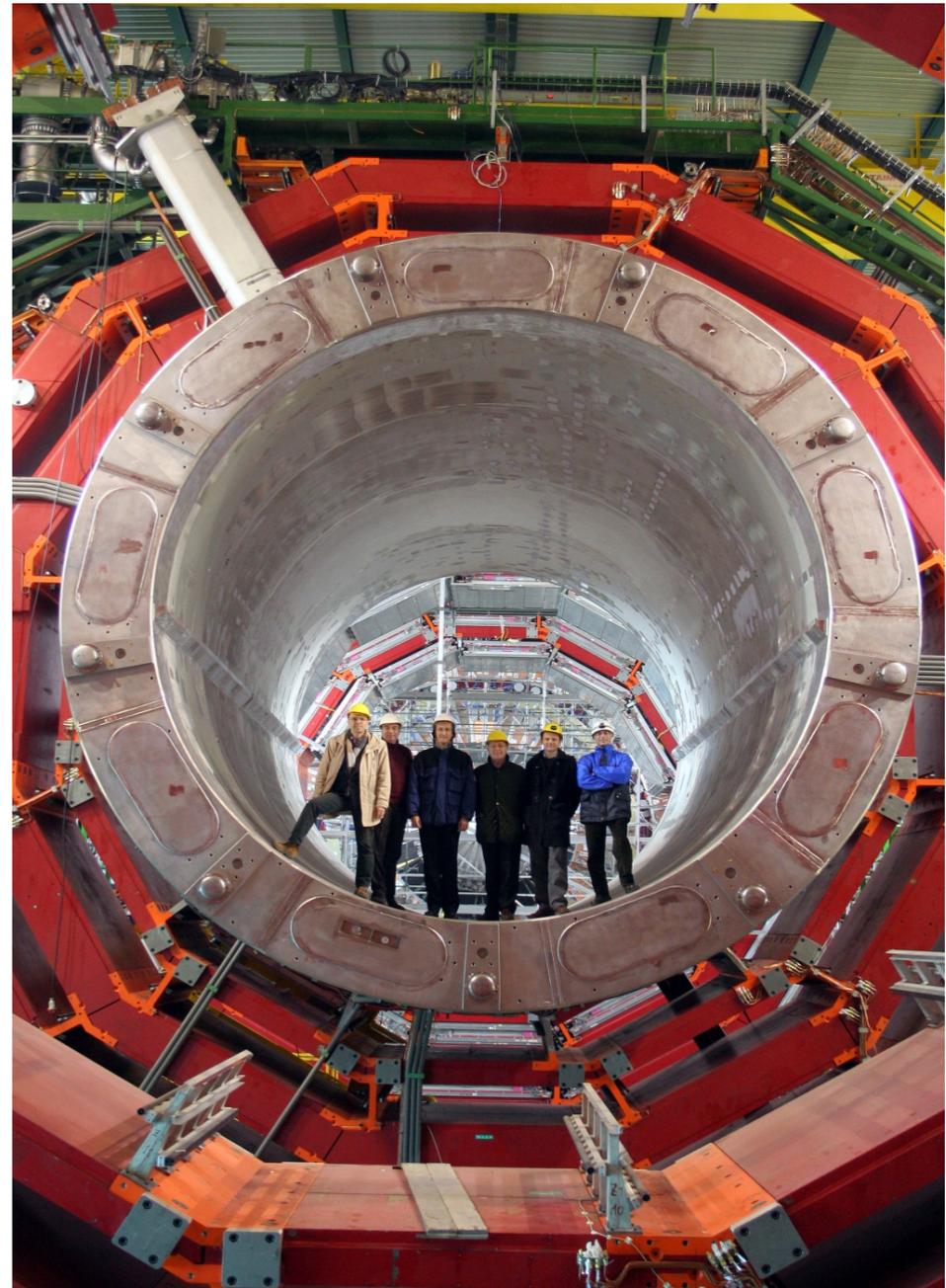
29m

CRYSTAL ELECTROMAGNETIC CALORIMETER (ECAL)
 $\sim 76,000$ scintillating PbWO_4 crystals

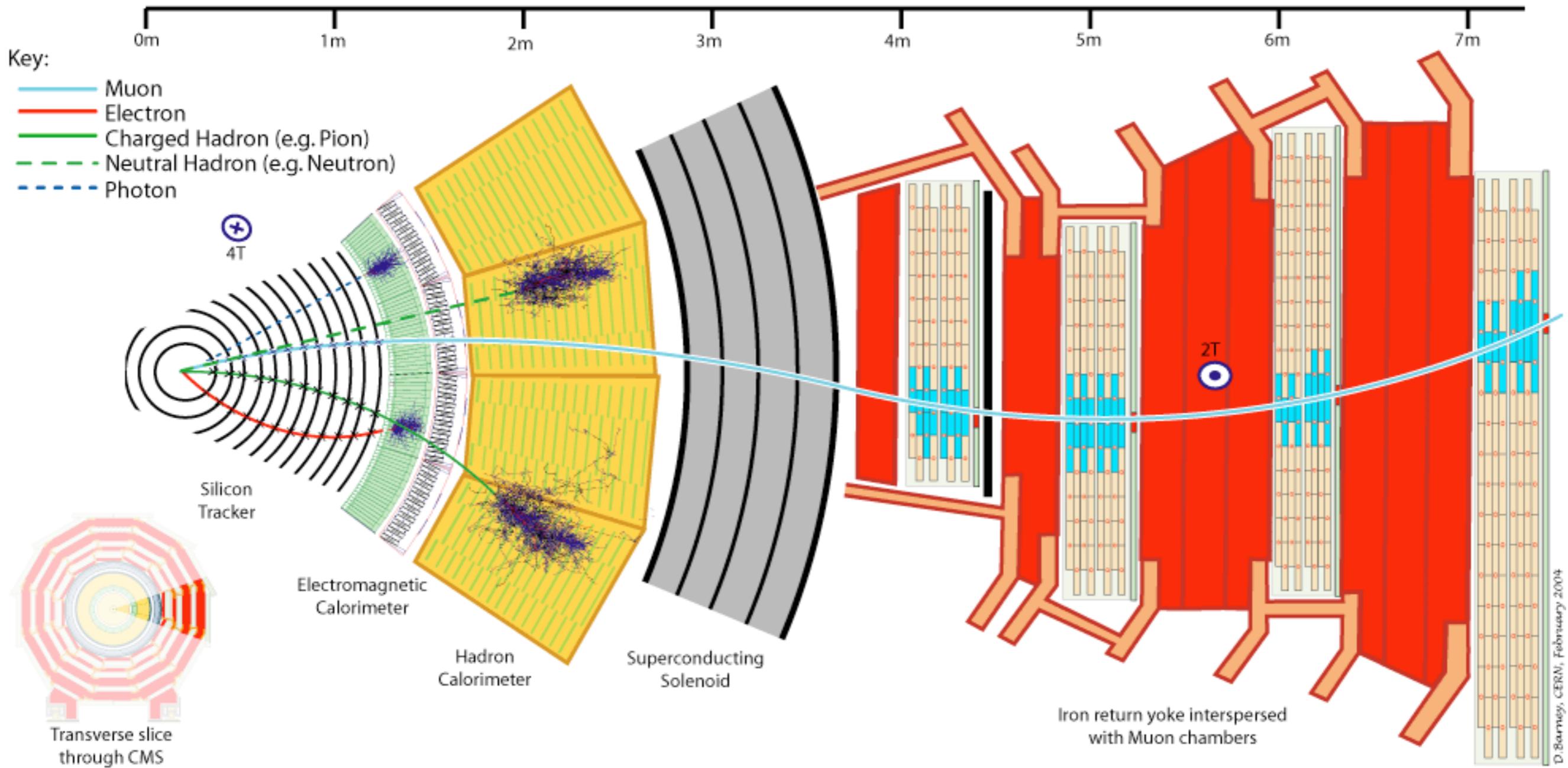
HADRON CALORIMETER (HCAL)
Brass + Plastic scintillator $\sim 7,000$ channels

Il Magnete

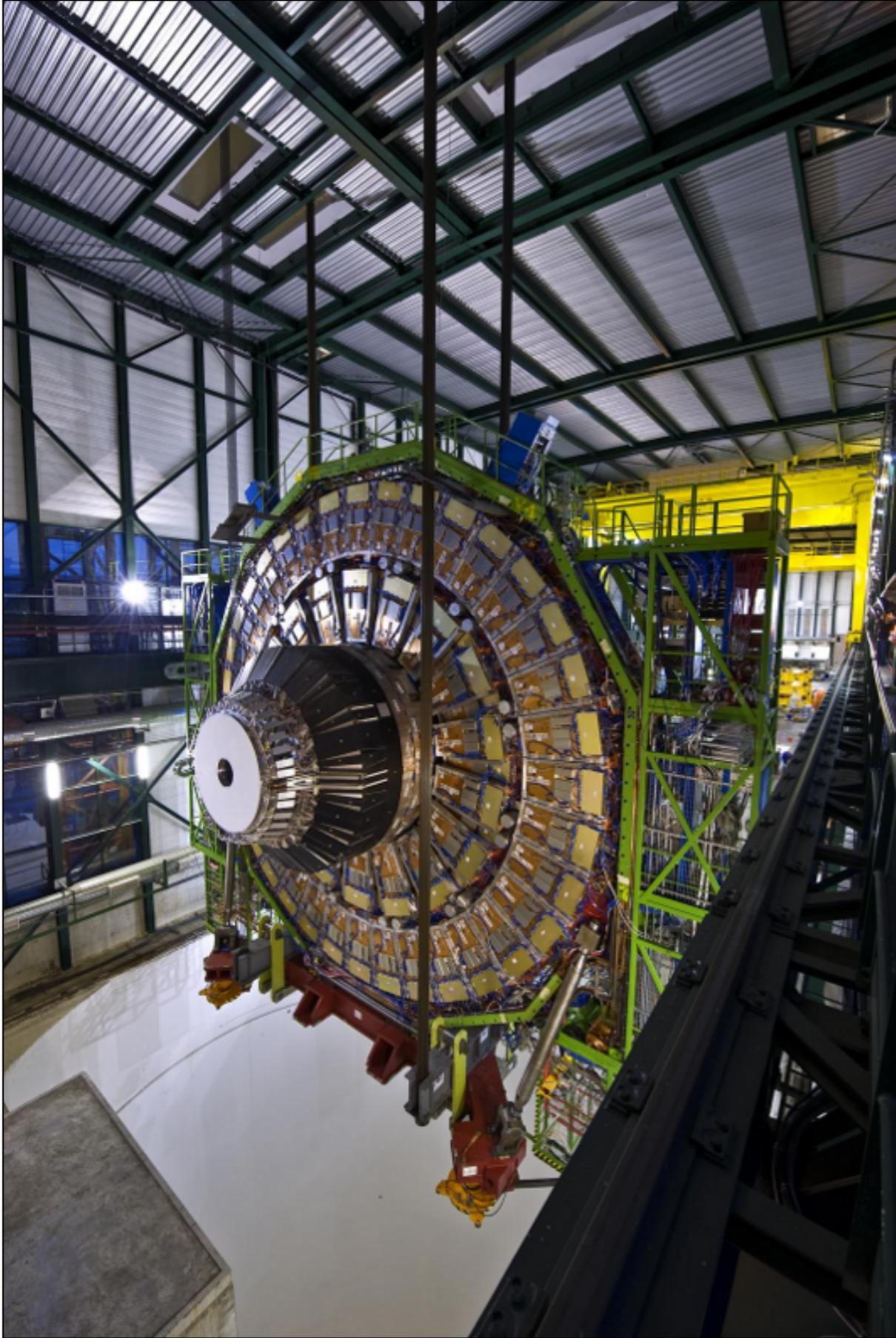
- dimensioni:
 - 13 m di lunghezza
 - 6 m di diametro
- superconduttore
 - raffreddato a 4K
 - 20000 A di corrente
- campo magnetico di 3.8 Tesla
- 2.5 GJ di energia
 - un Eurostar a 300 km/h
- È stato costruito dall'ANSALDO



Uno spaccato di CMS



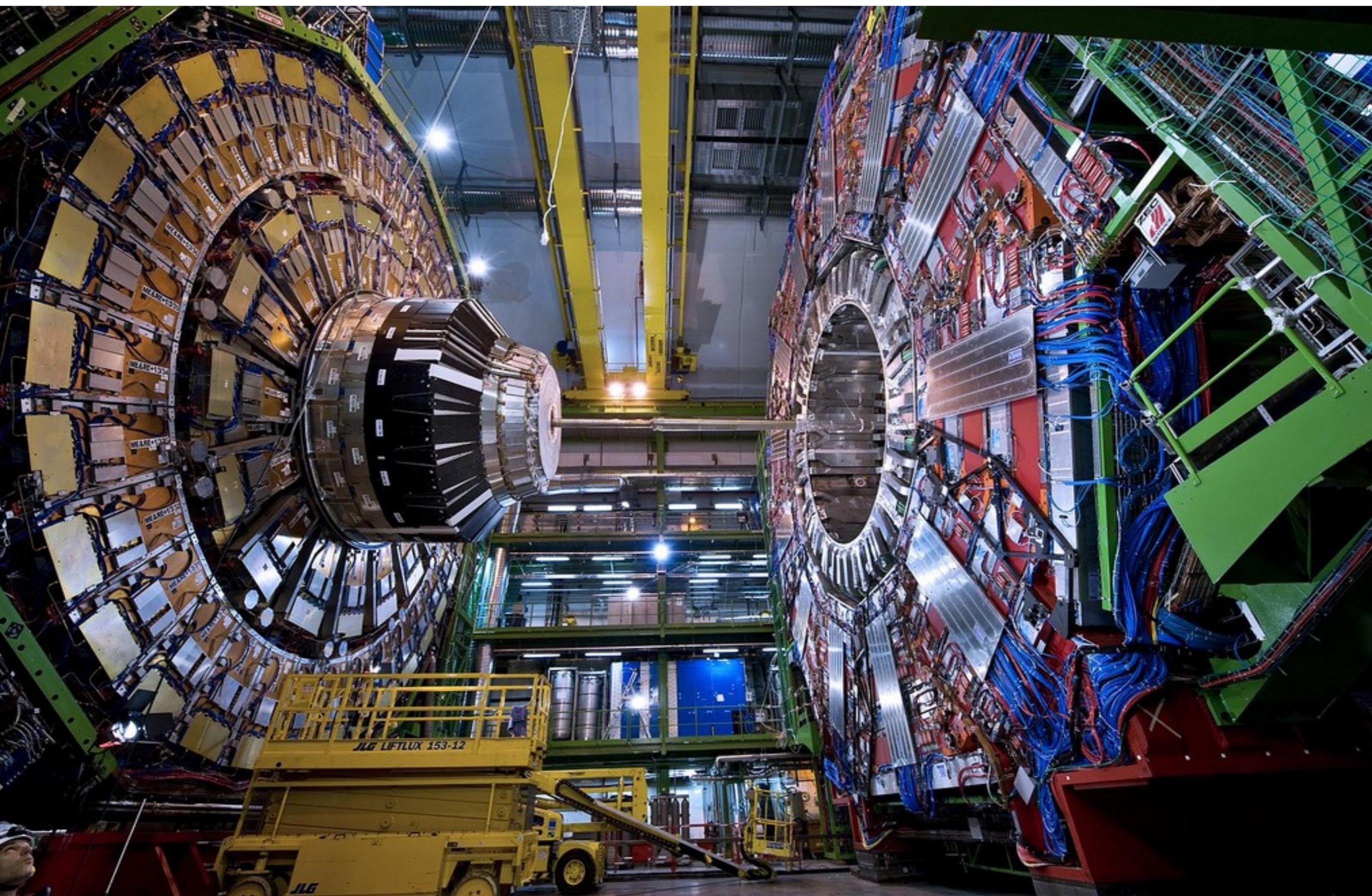
1993-2008 15 anni di R&S e costruzione !

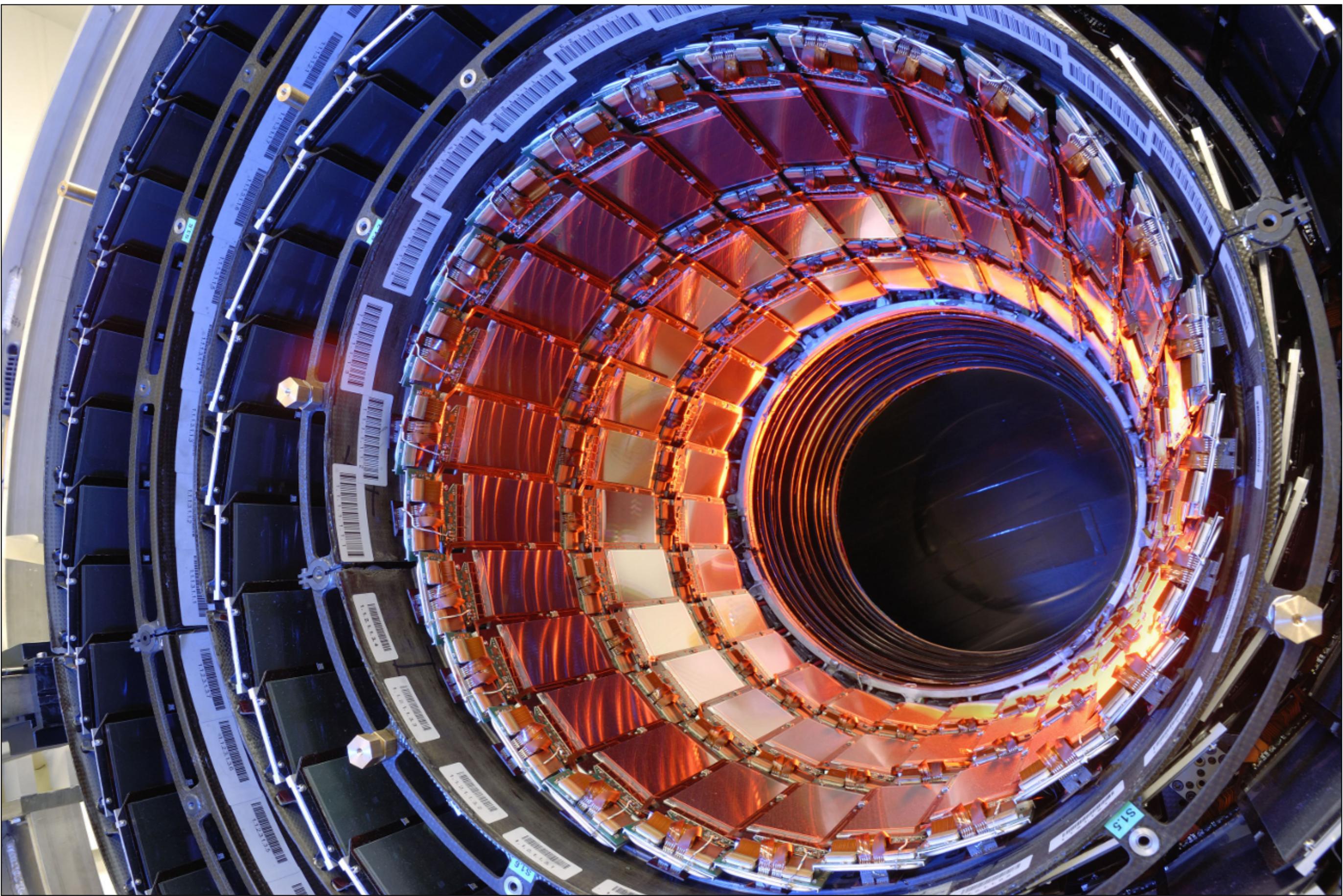






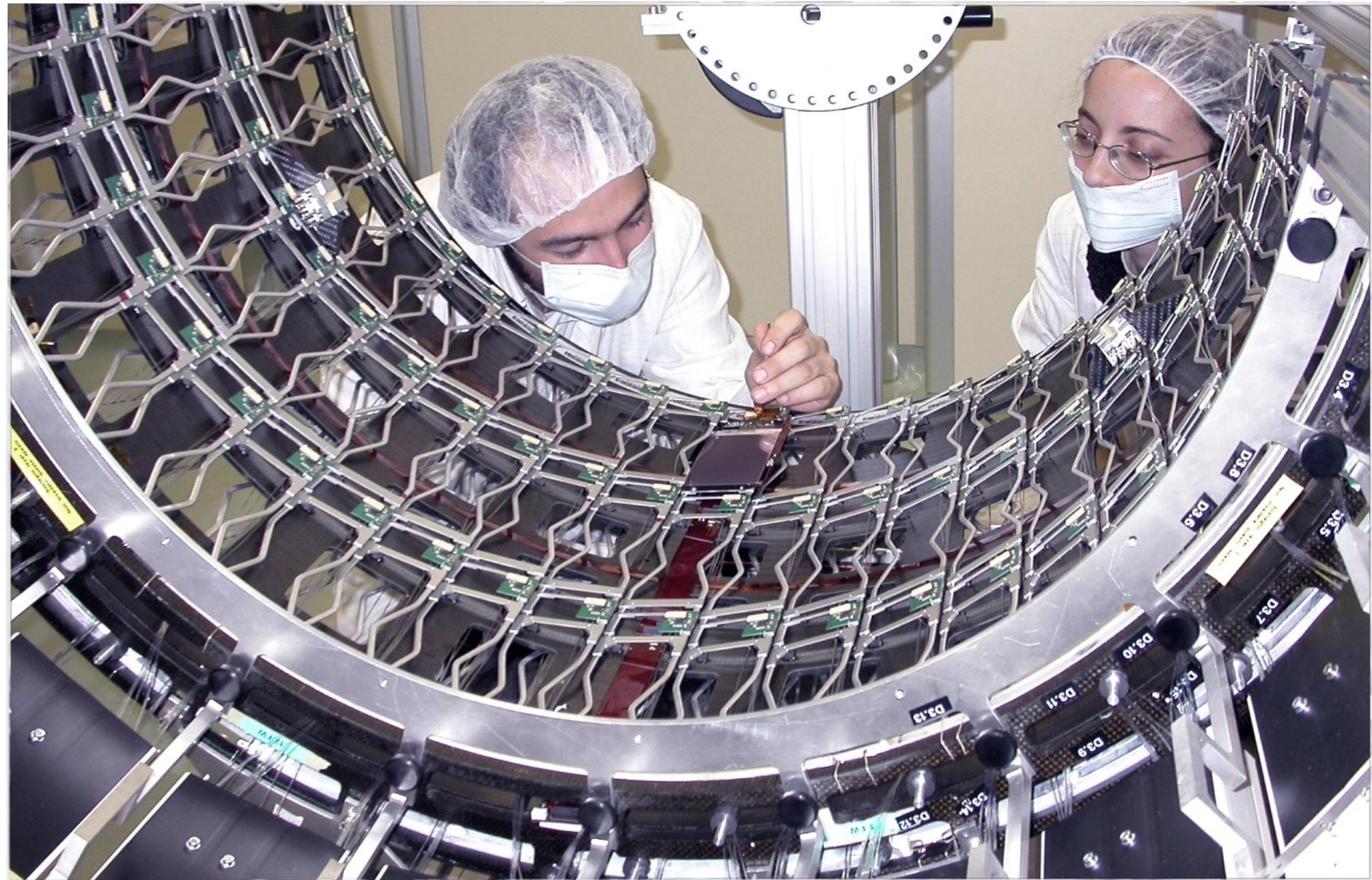






Metà del tracciatore interno centrale, il cuore dell'apparato CMS, è nata nei laboratori del Polo Scientifico di Sesto Fiorentino.

Un sofisticato sistema di circa 15 mila sensori al silicio che coprono una superficie totale di 200 m², circa 10 milioni di canali di elettronica, che scatta 40 milioni di fotografie al secondo !

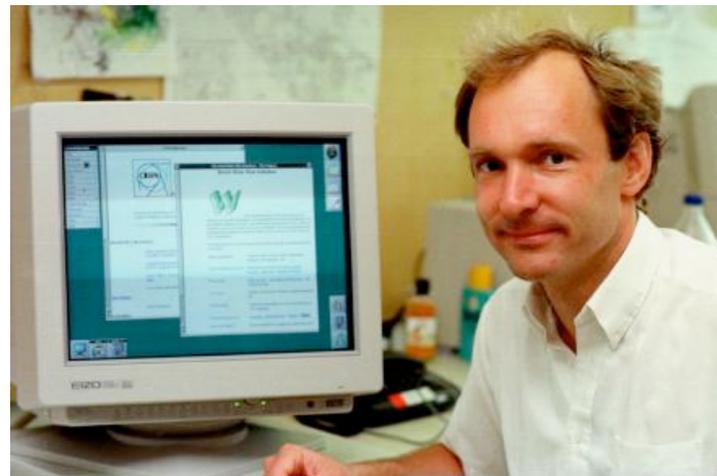
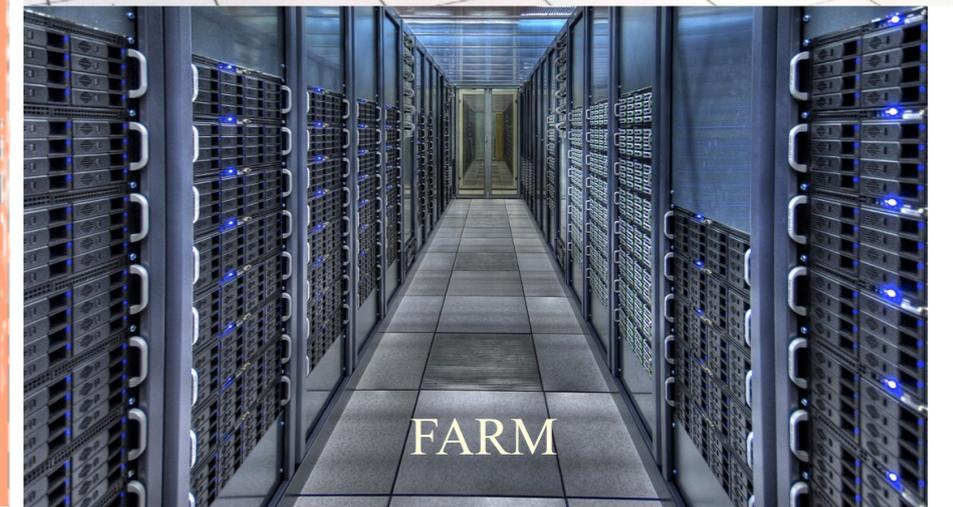




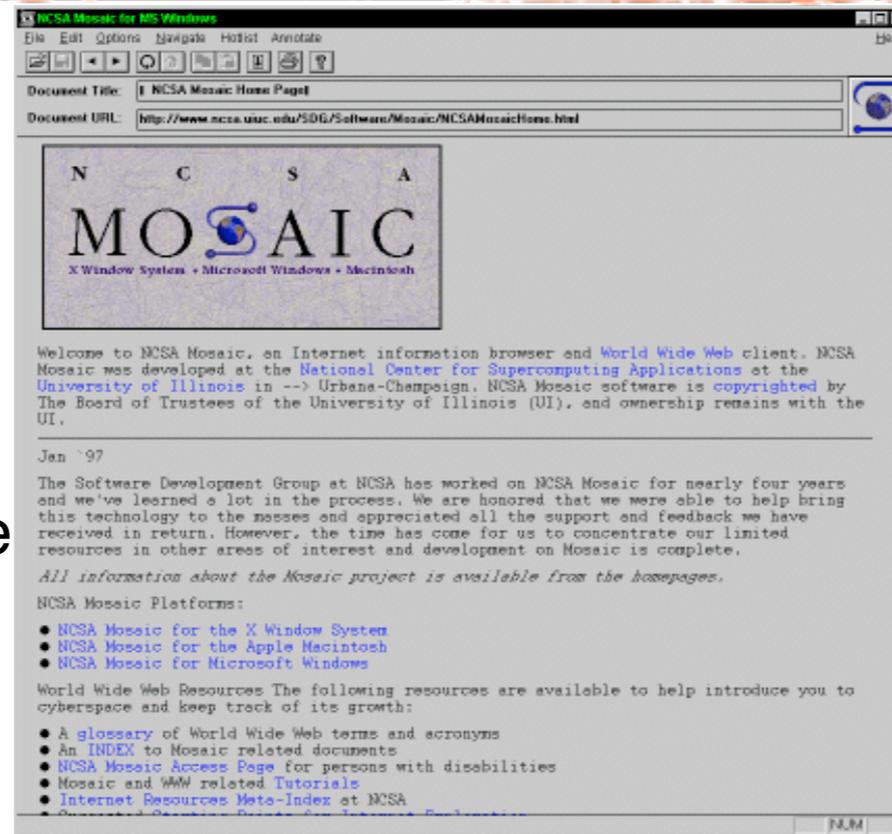


Il CERN è sempre stato all'avanguardia nel campo del calcolo:

- ricostruzione degli eventi
- simulazione
- controlli automatici



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



LA GRID

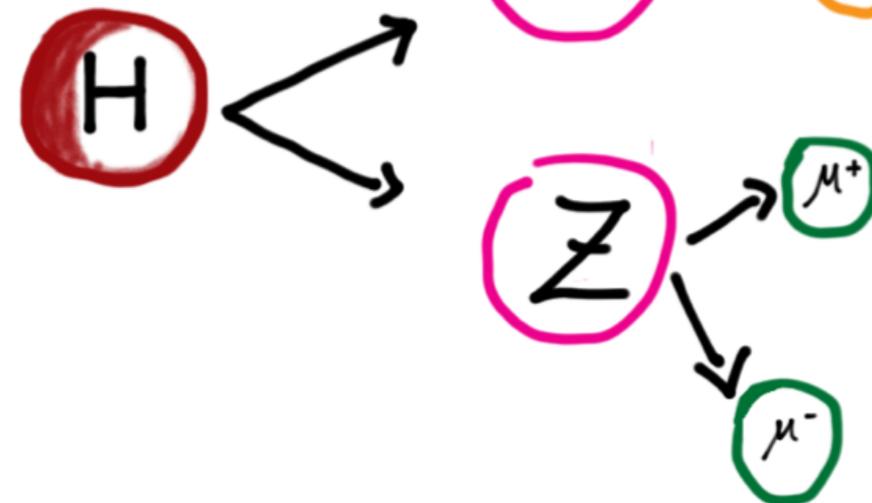
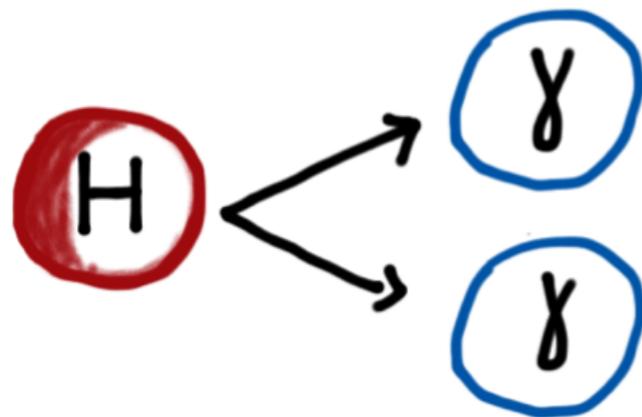
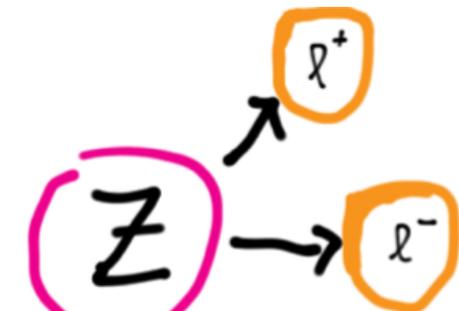
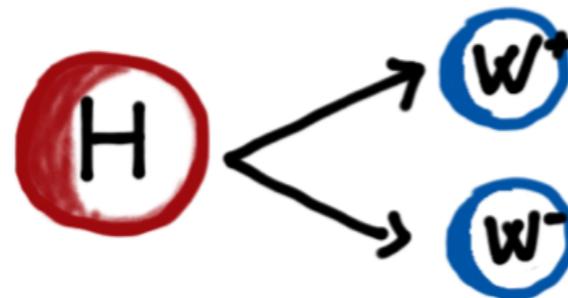
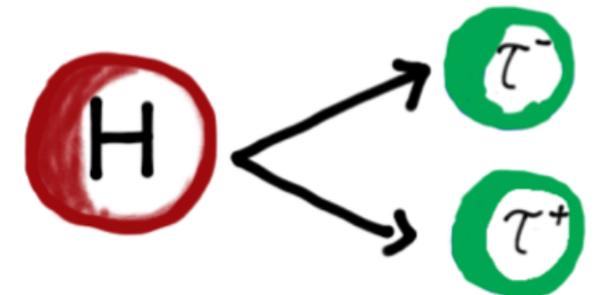
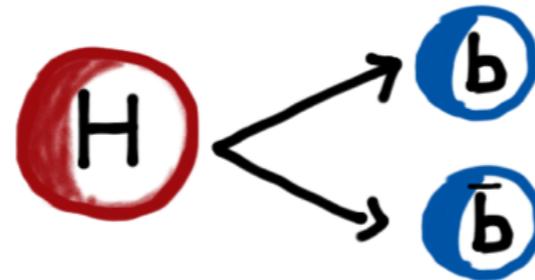
Una rete di computers e reti, sparsi in tutto il mondo e collegati come nella rete elettrica



- I dati acquisiti finora ammontano a circa **18 Peta-byte** per esperimento ($1\text{PB} = 10^6 \text{GB}$) + il doppio di dati simulati
- LHC deve usare molti centri di calcolo distribuiti sull'intero pianeta

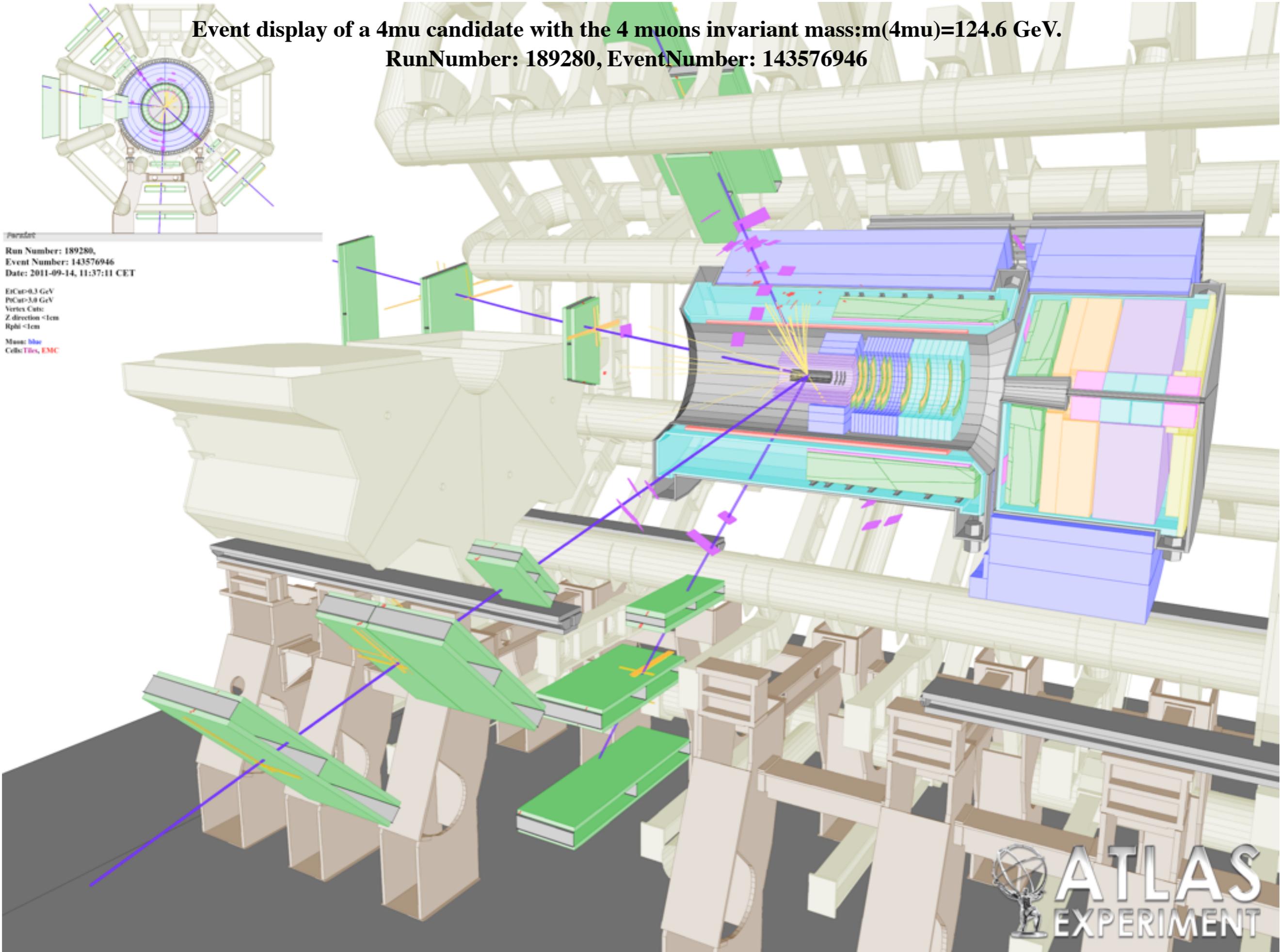
La ricerca del bosone di Higgs

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: $m(4\mu) = 124.6$ GeV.

RunNumber: 189280, EventNumber: 143576946



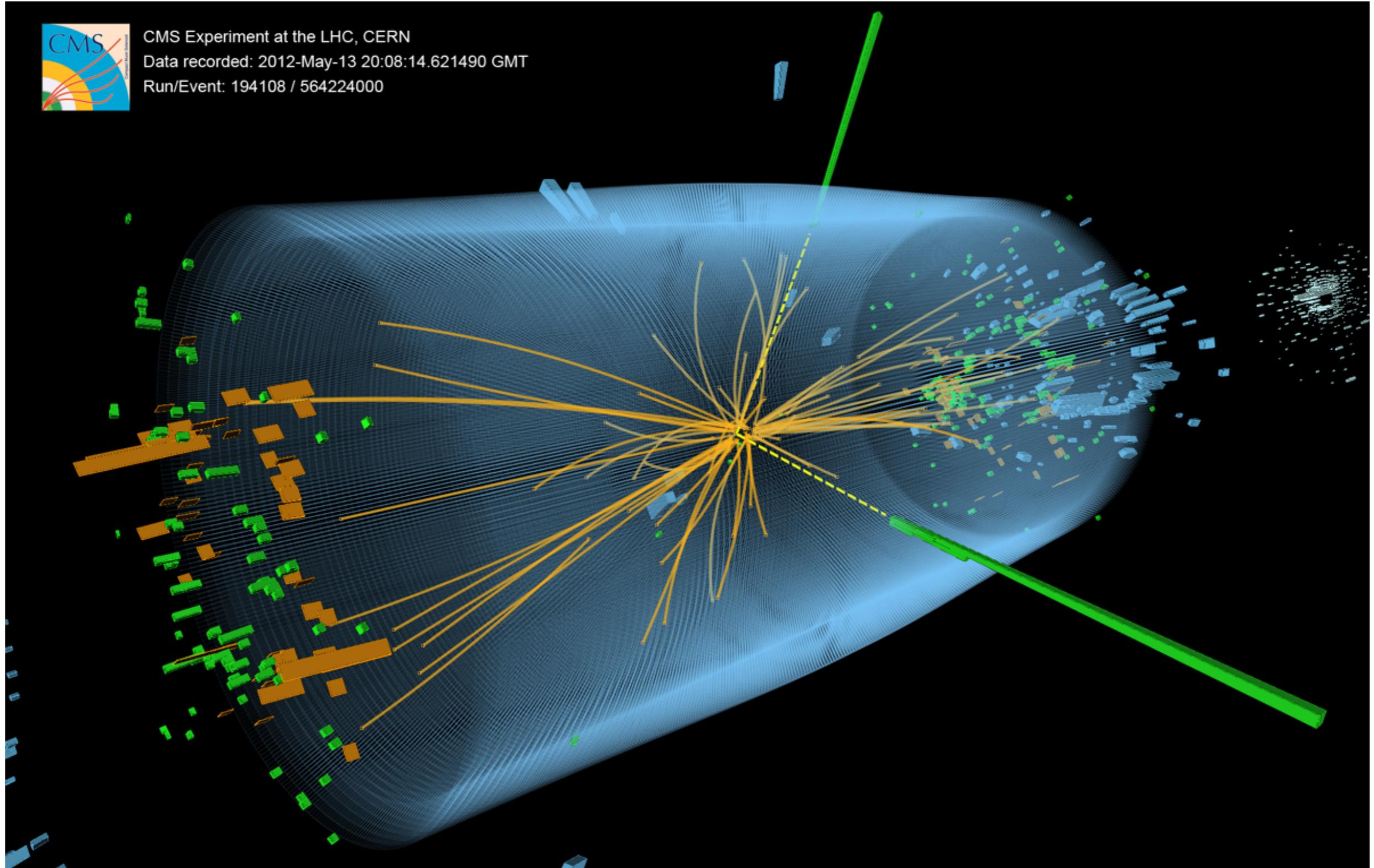
Run Number: 189280,
Event Number: 143576946
Date: 2011-09-14, 11:37:11 CET

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

Muon: blue
Cells: TEs, EMC



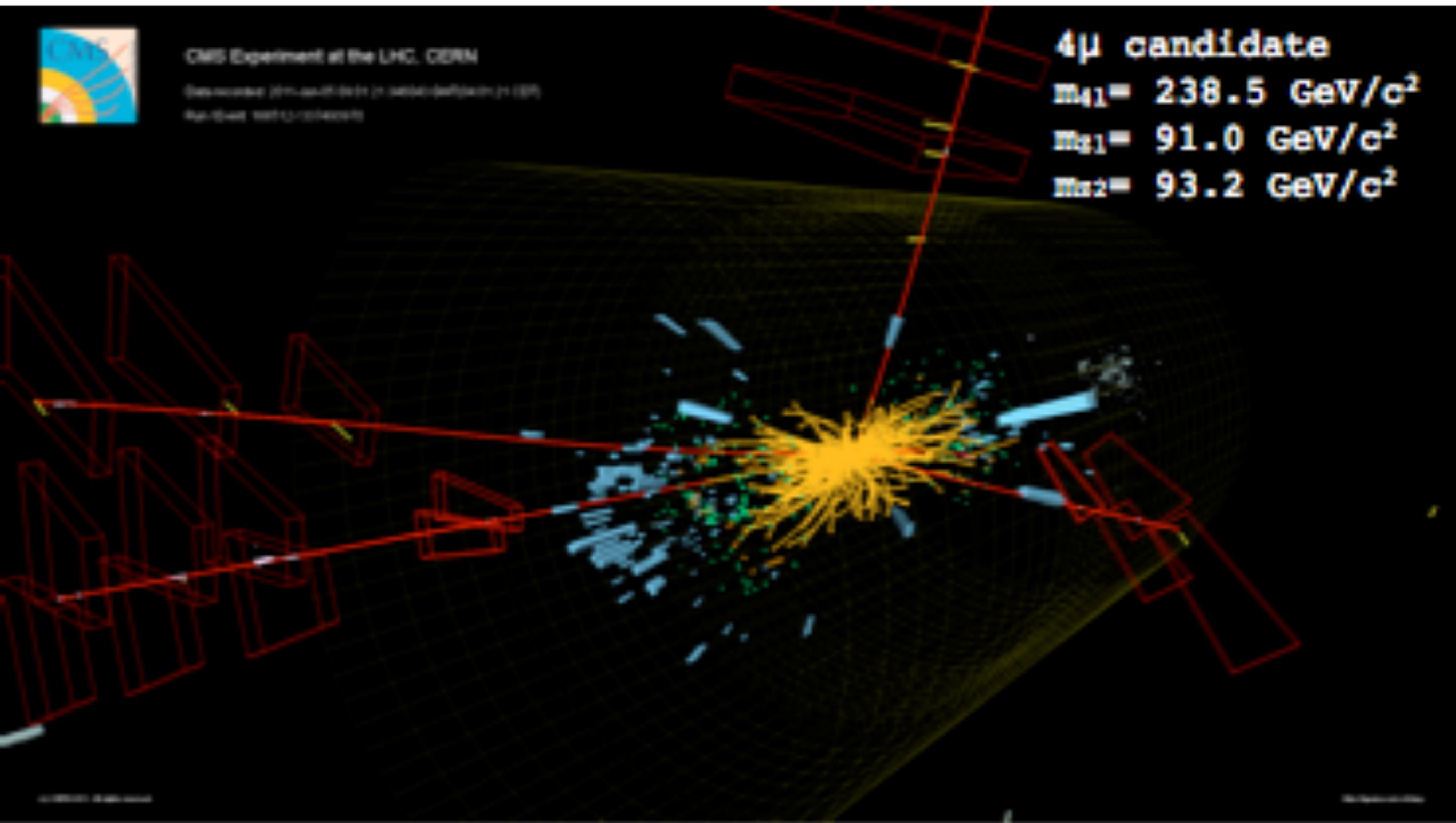
CMS Experiment at the LHC, CERN
Data recorded: 2012-May-13 20:08:14.621490 GMT
Run/Event: 194108 / 564224000



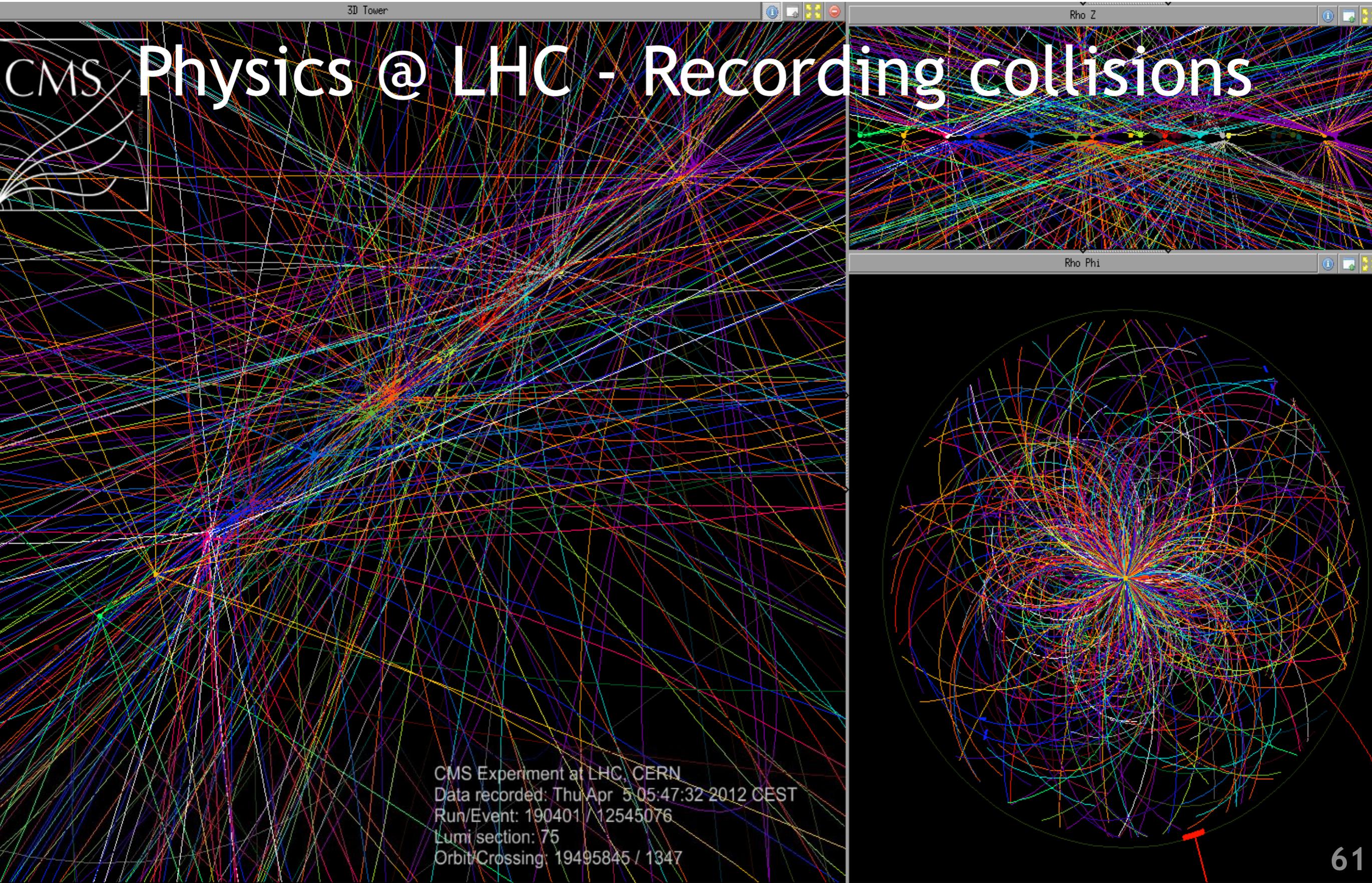


CMS Experiment at the LHC, CERN

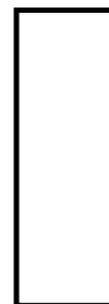
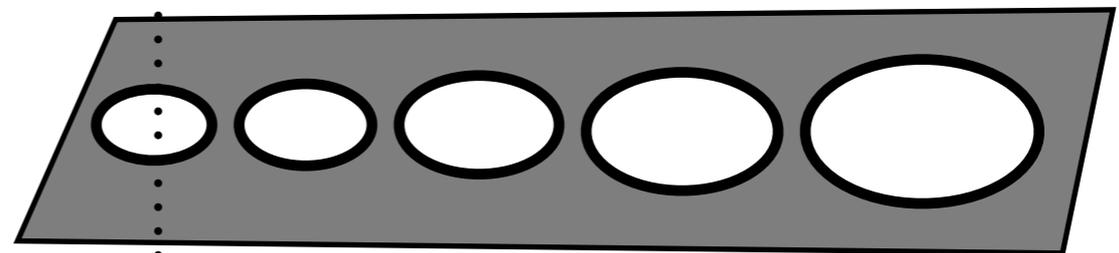
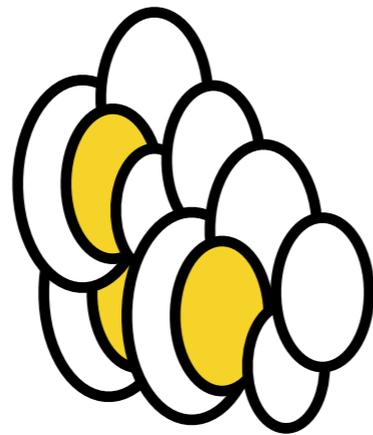
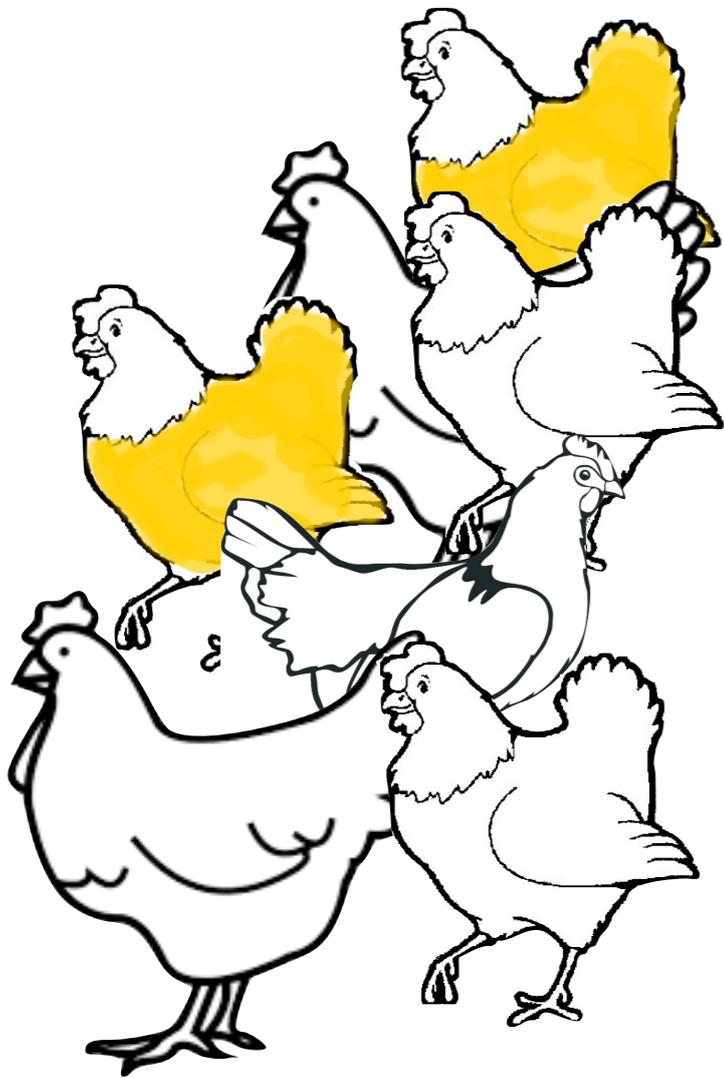
Geant4 (https://gitlab.cern.ch/geant4/geant4) (CERN)
FastSim (https://gitlab.cern.ch/fast-sim) (CERN)



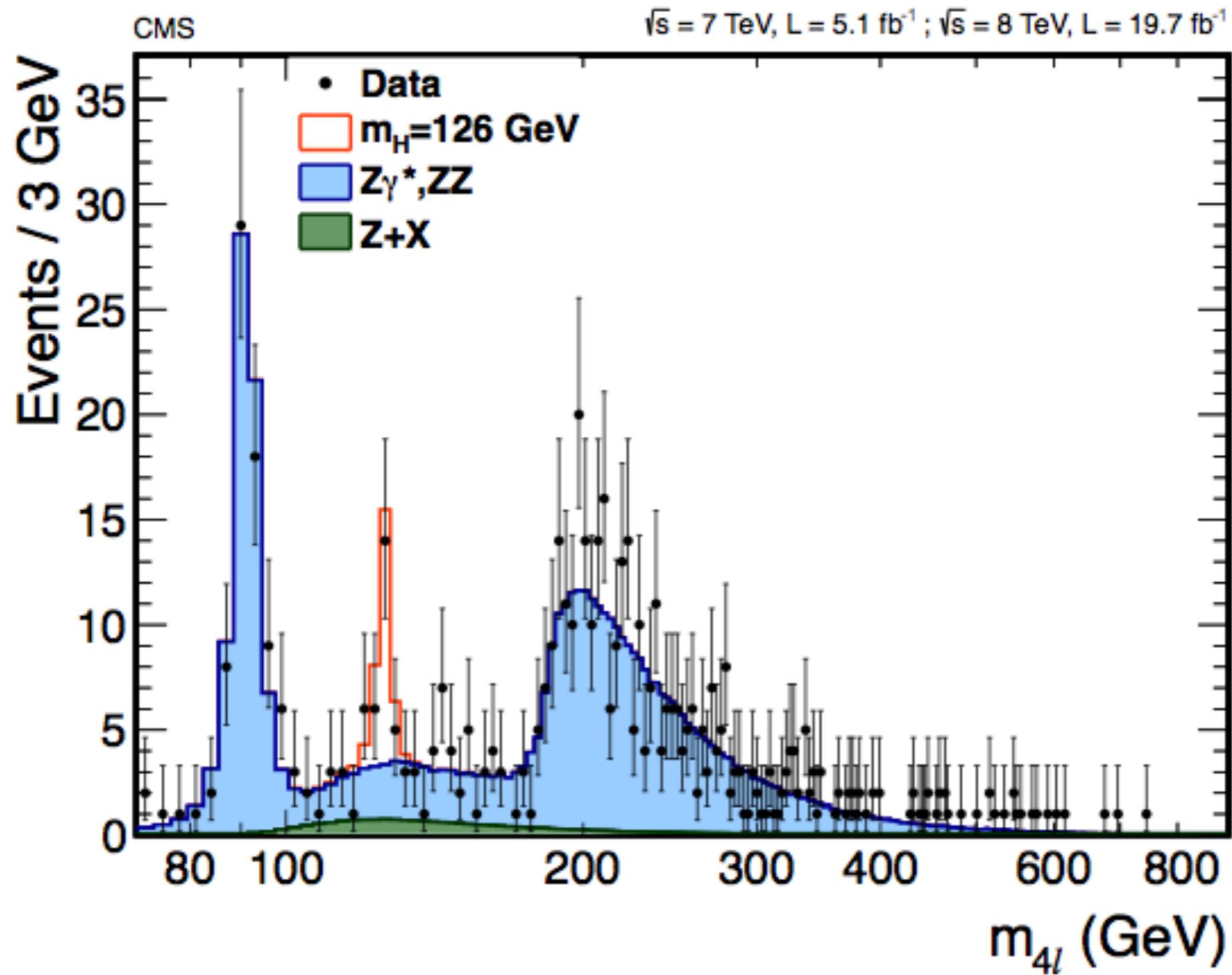
4 μ candidate
 $m_{41} = 238.5 \text{ GeV}/c^2$
 $m_{31} = 91.0 \text{ GeV}/c^2$
 $m_{12} = 93.2 \text{ GeV}/c^2$



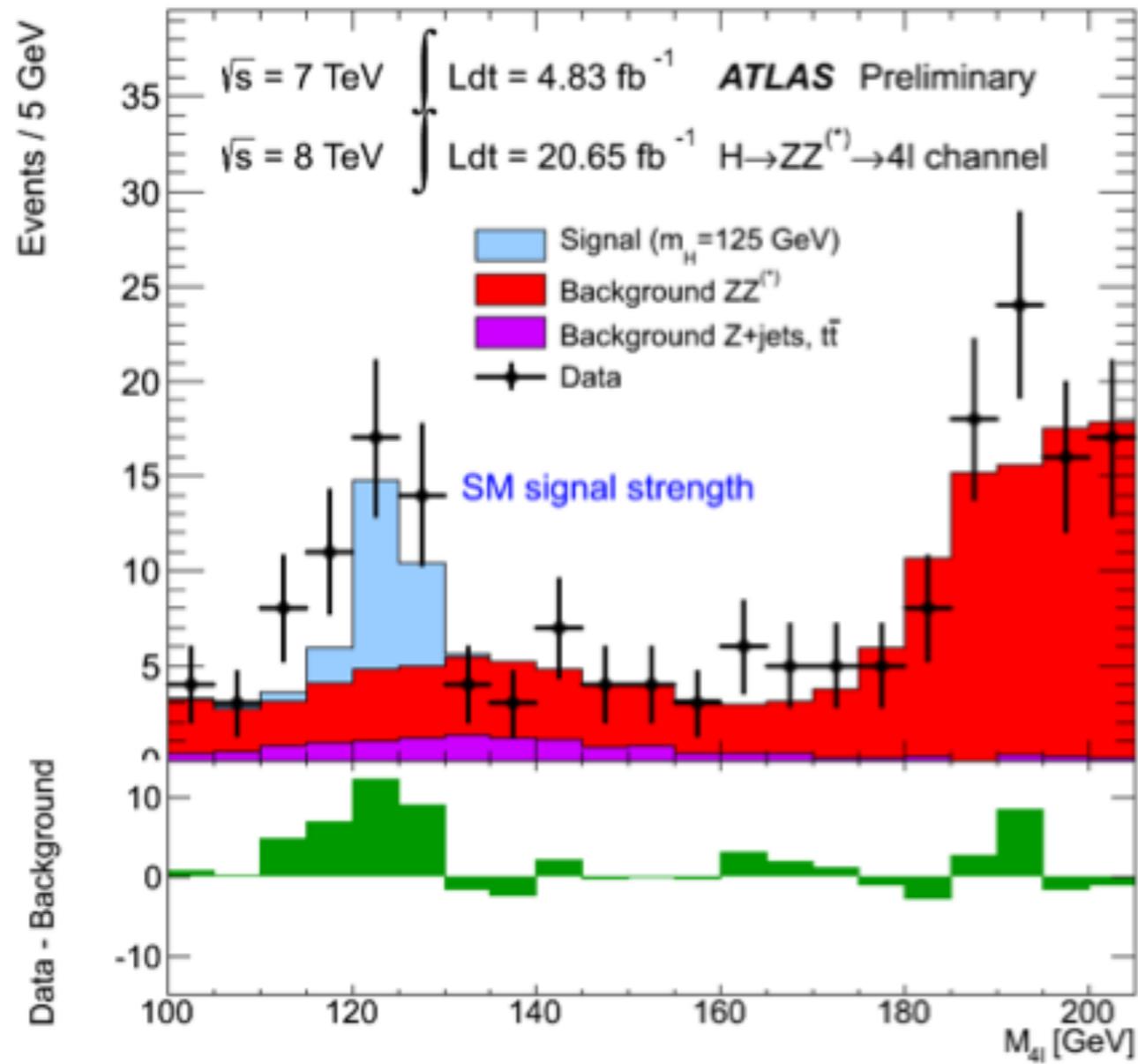
La gallina dalle uova d'oro ...



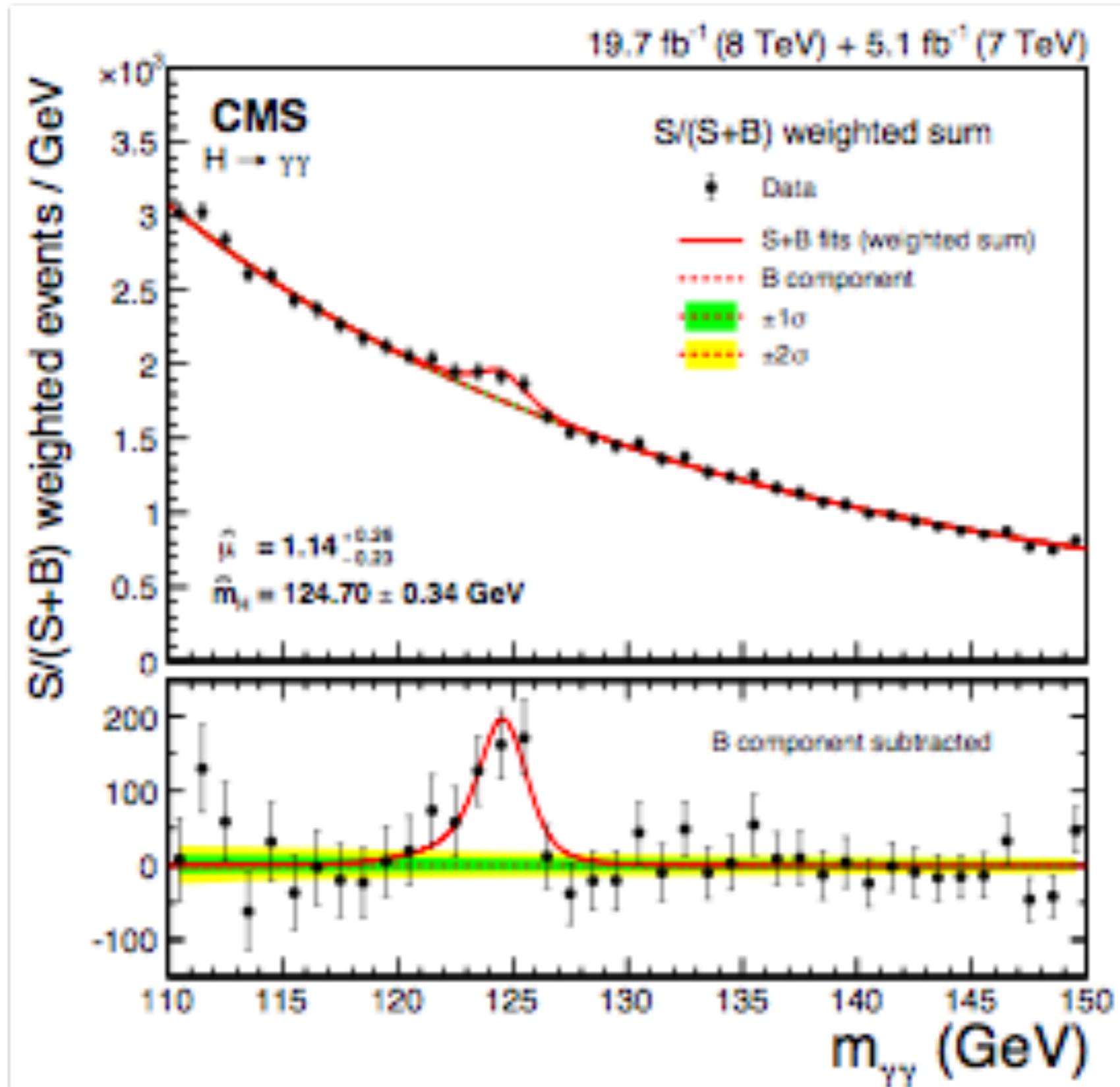
CMS: $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4\ell$

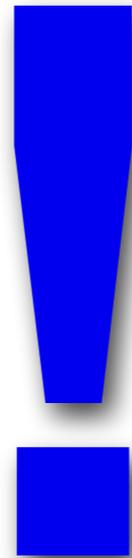


ATLAS: $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4\ell$



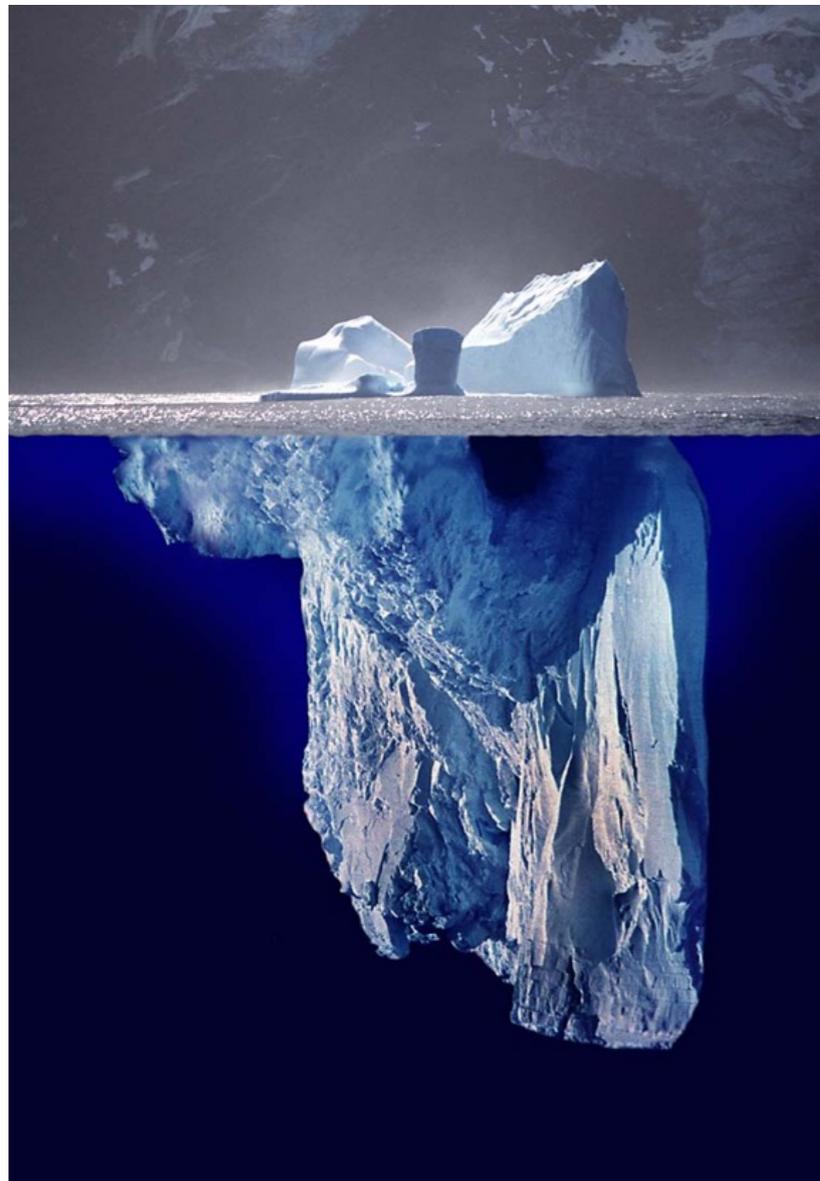
CMS: $H \rightarrow \gamma\gamma$





**Abbiamo scoperto
tutto !**

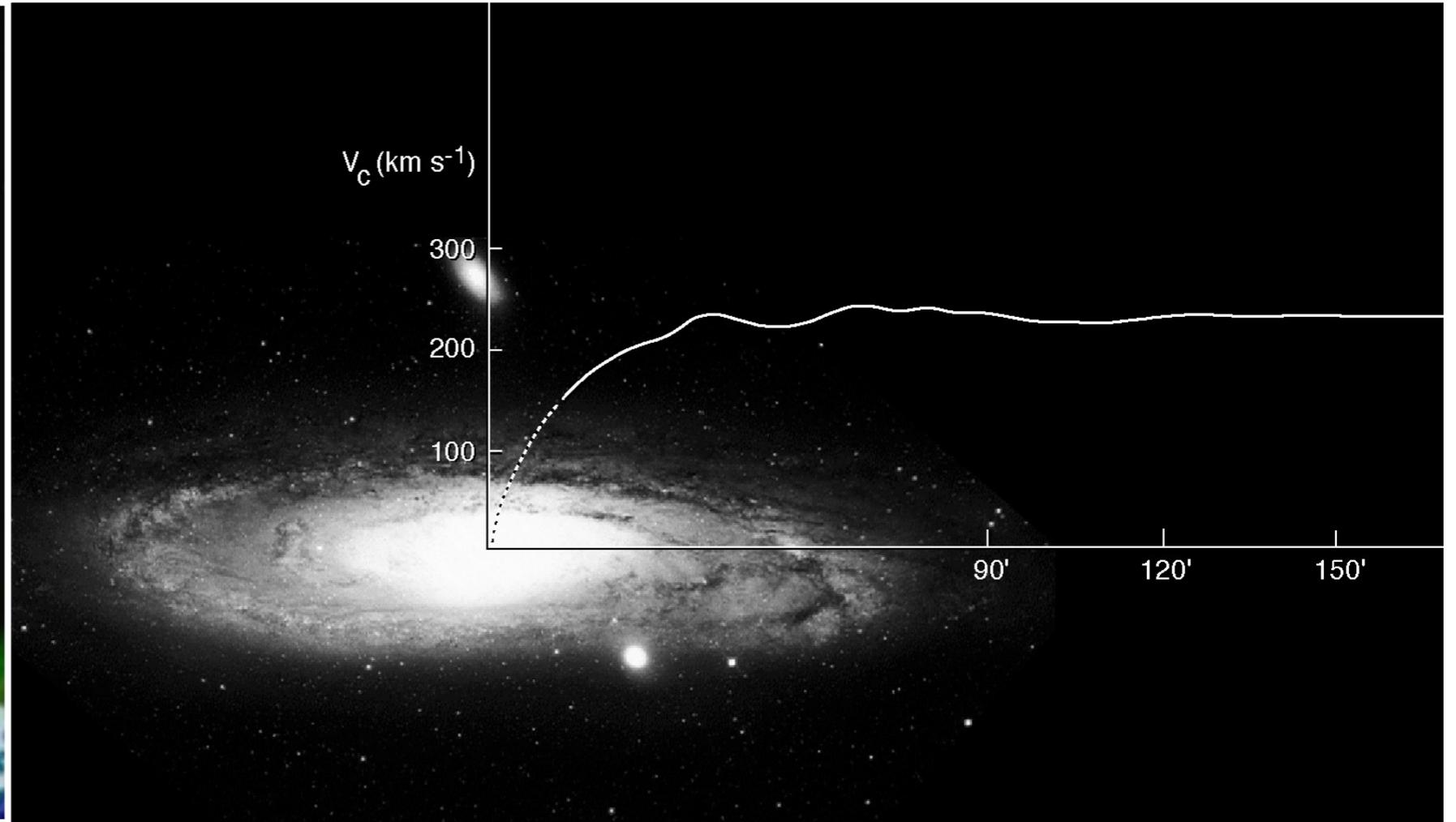
... È impressionante quello che NON sappiamo !



- 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 ?

LHC ha in serbo un programma di fisica che va oltre il 2025 !

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





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%

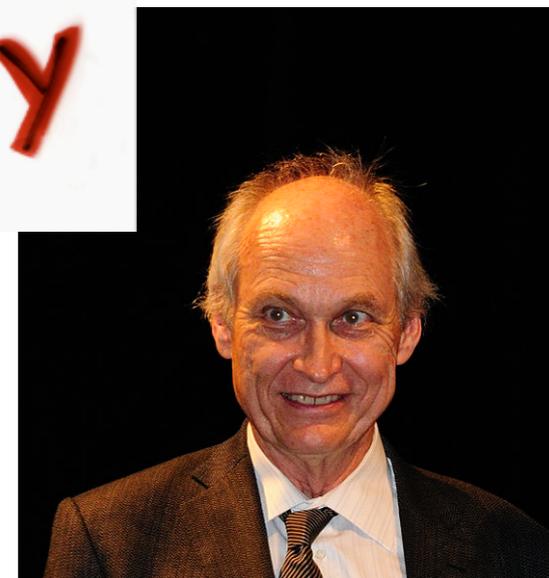
DARK MATTER HOLDS IT TOGETHER

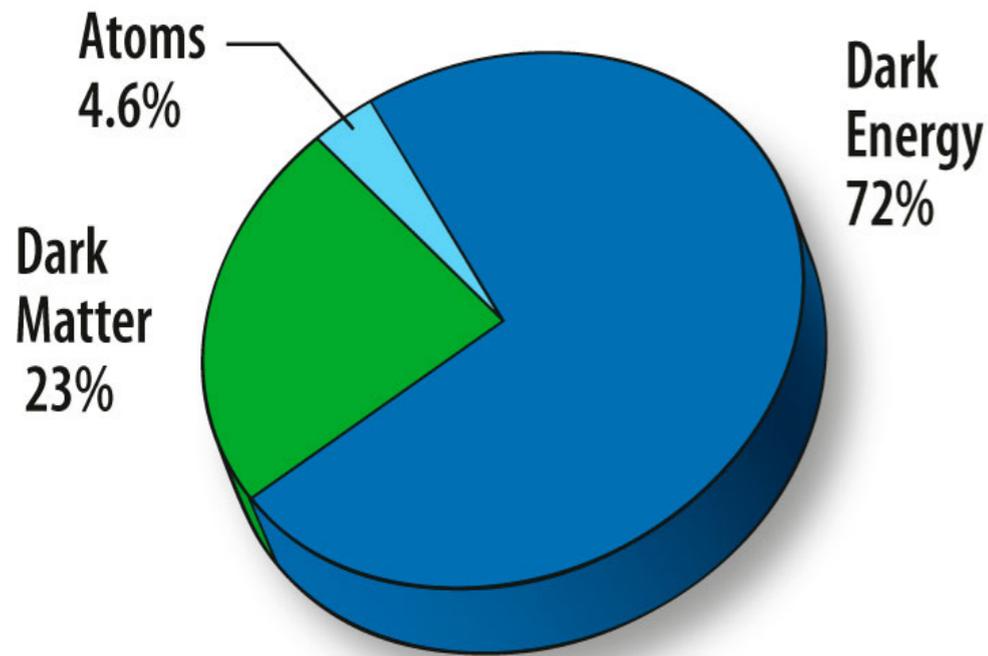
DARK ENERGY DETERMINES HIS DESTINY

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

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

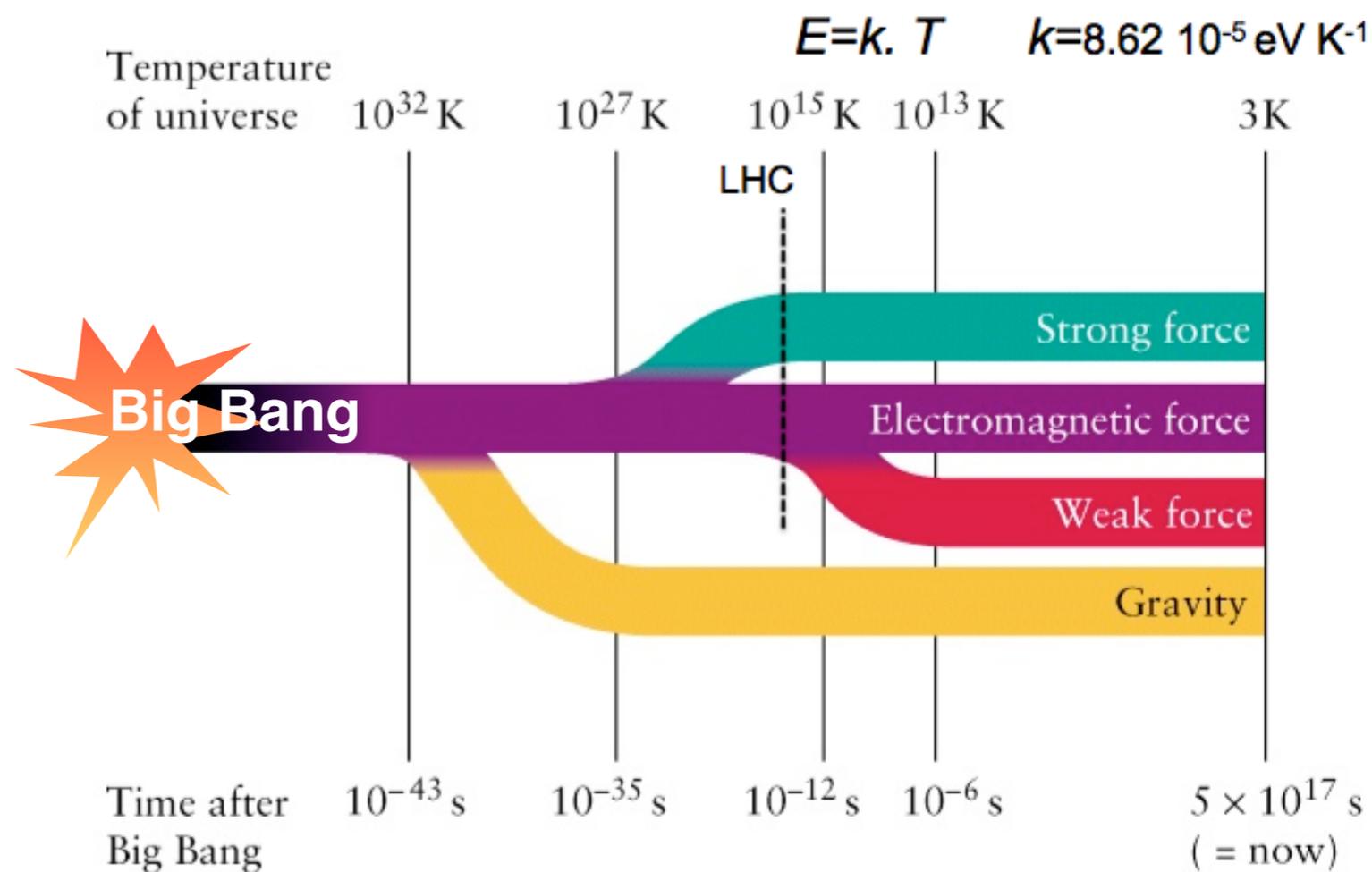
Michael S Turner





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

INFN:	<u>http://home.infn.it/it/ home.infn.it/it/comunicazione</u>
Rivista Asimmetrie	<u>www.asimmetrie.it</u>
CERN TV:	<u>www.youtube.com/cern</u>
Webcast	<u>webcast.web.cern.ch/webcast</u>
Recruitment	<u>www.cern.ch/jobs</u>

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: $E = mc^2$

Una breve storia del CERN ...

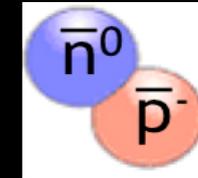
1954, nascita



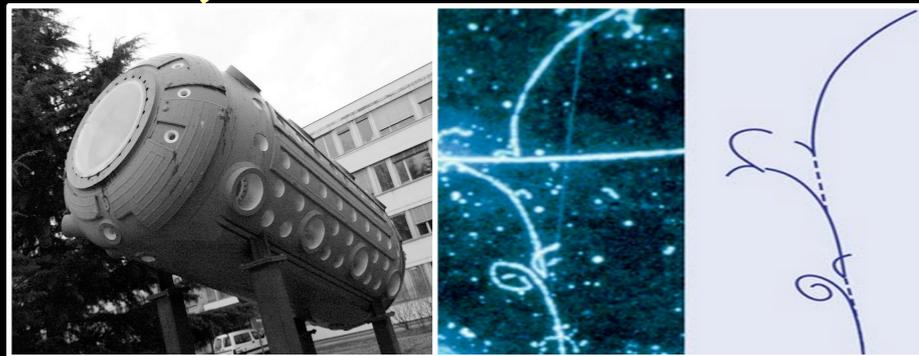
1957, Synchro-Cyclotron



1965, antideuteron



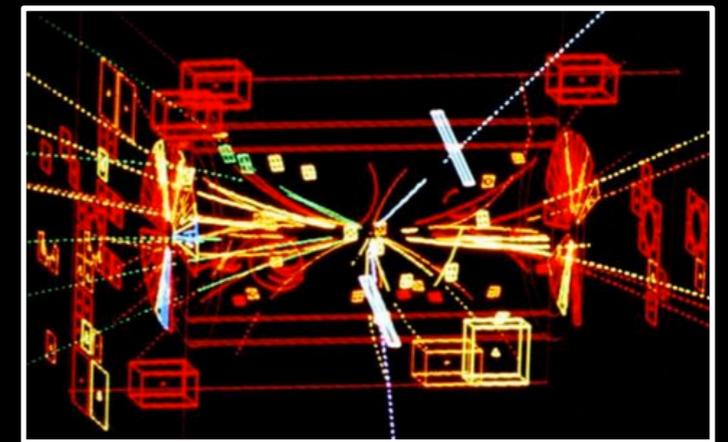
1973, Bubble chambers



1976-83, SPS 7km
proton-antiproton
collisions



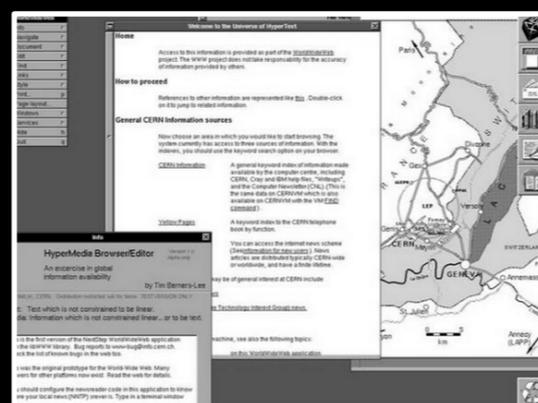
1983, Z⁰, W[±]



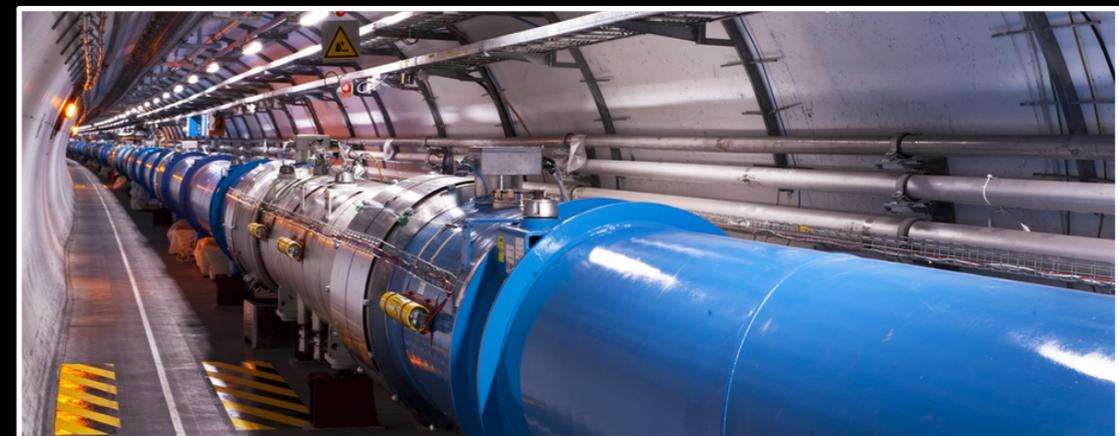
1989-2000,
LEP 27km,
e-e⁺ collisions



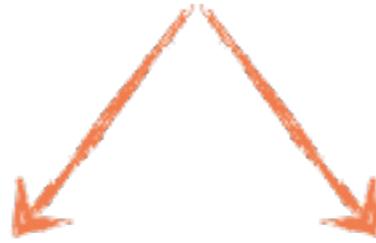
1989 il primo web
server !



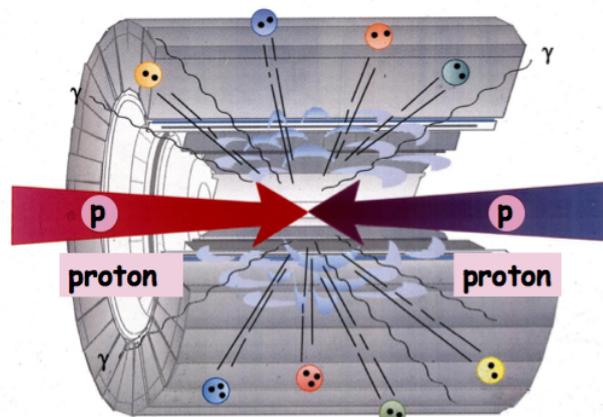
2012 LHC e la scoperta del
bosone di Higgs



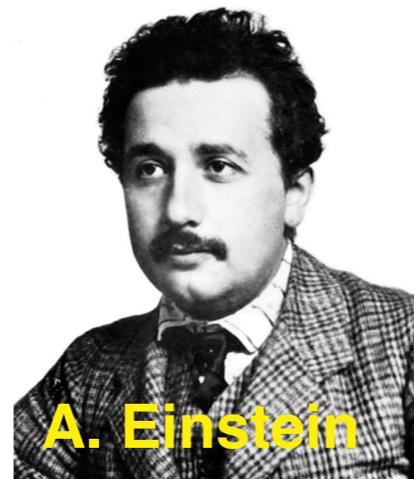
Aumentando E



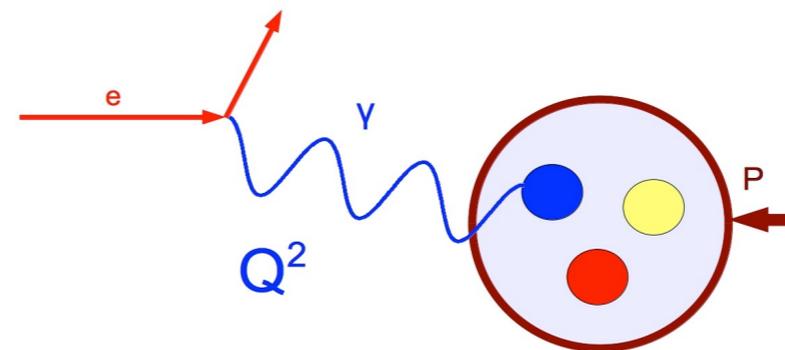
Posso materializzare
particelle di massa
maggiore



$$E = mc^2$$



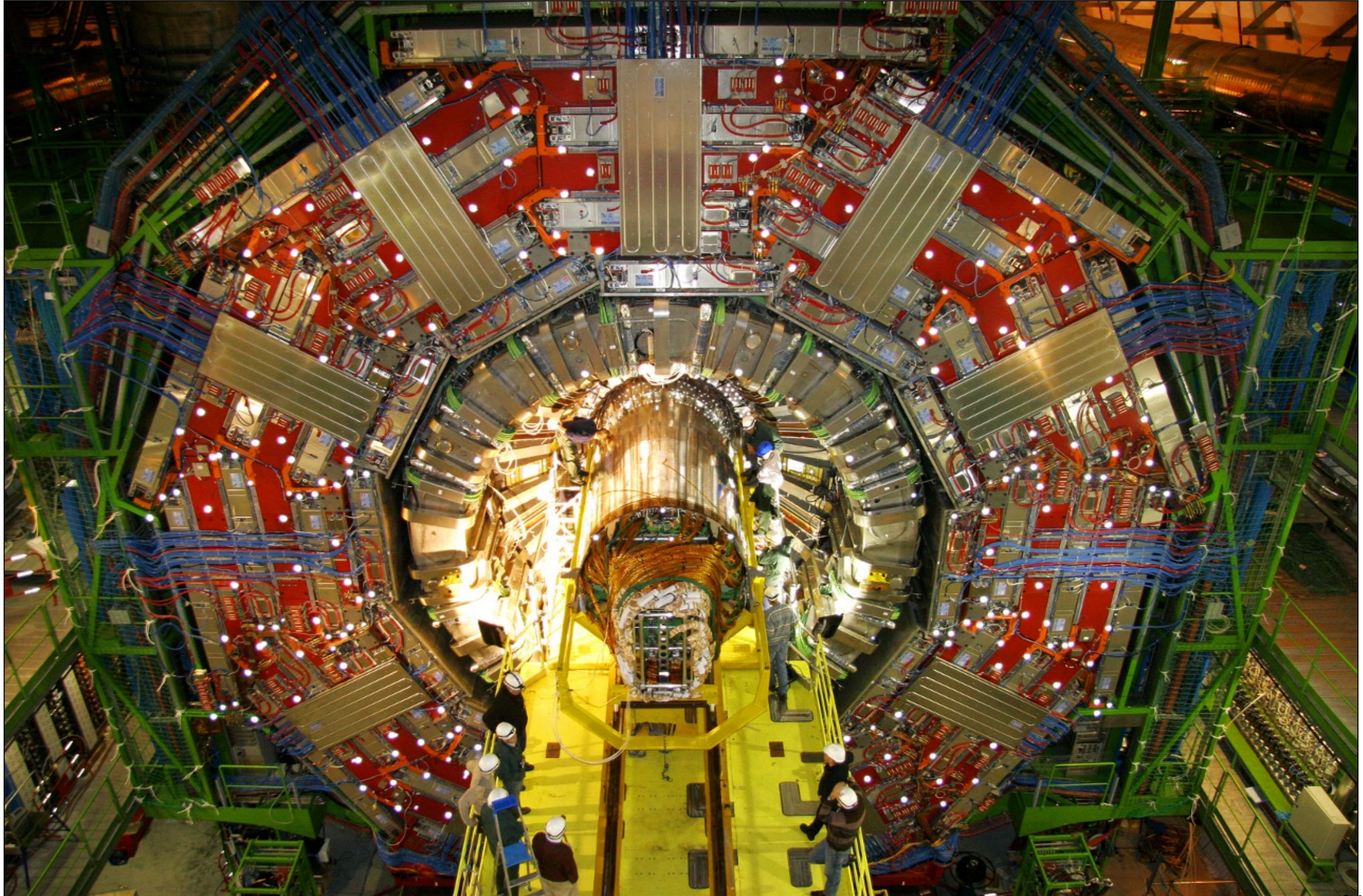
Migliora il potere
risolutivo.



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

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





Trasferimento Tecnologico

Cambiamento di paradigma



Cambiamento di paradigma

scienza
applicata



Cambiamento di paradigma

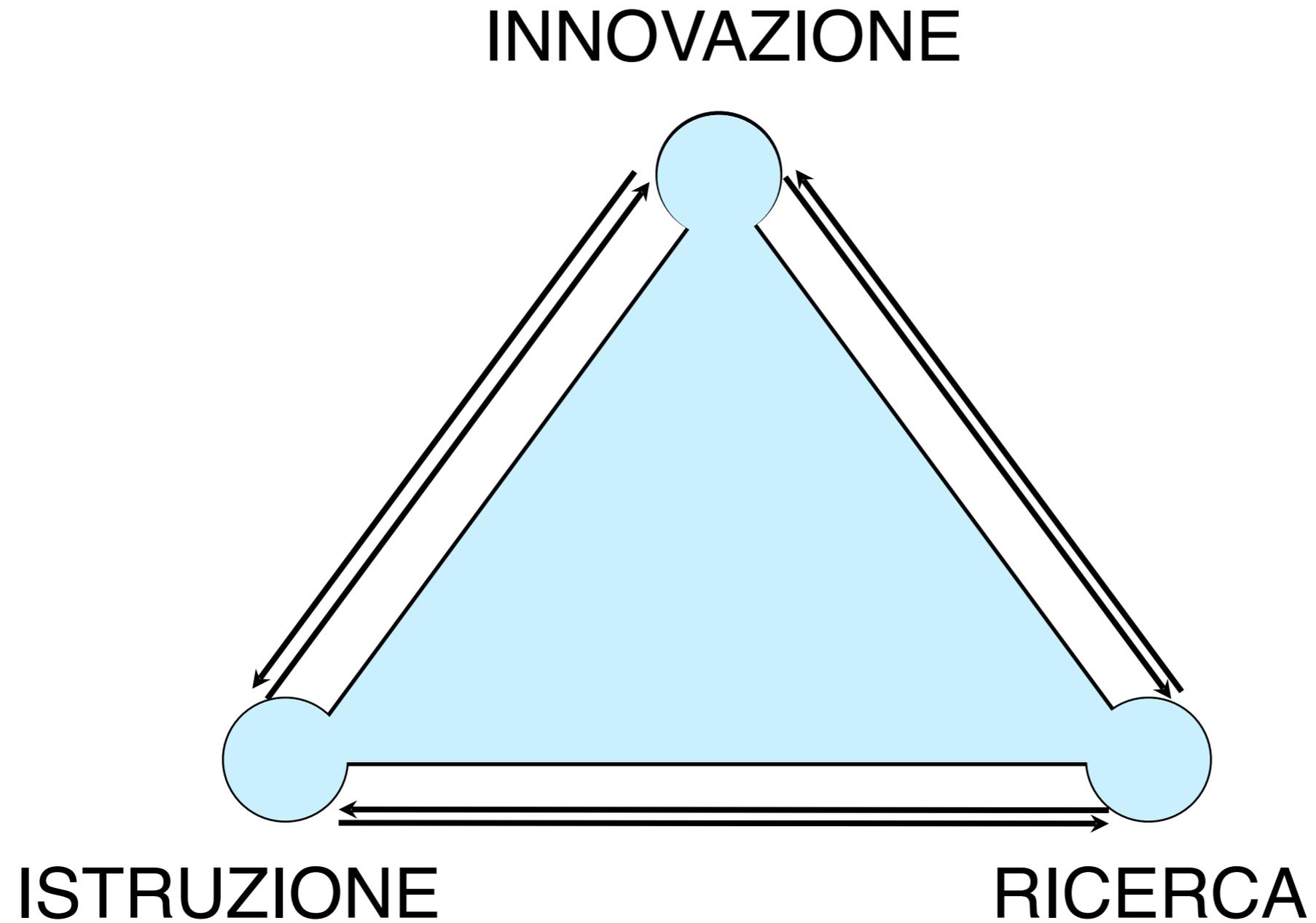
scienza applicata



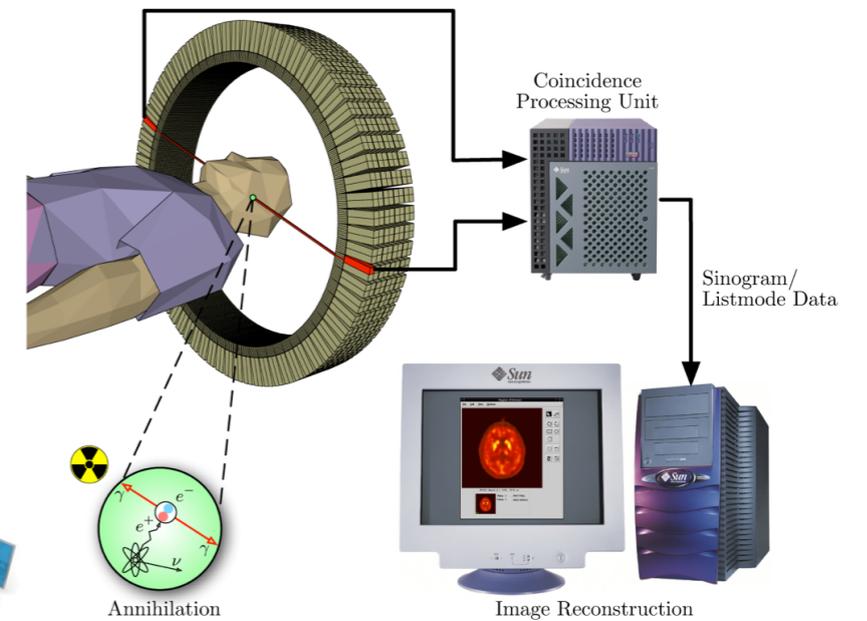
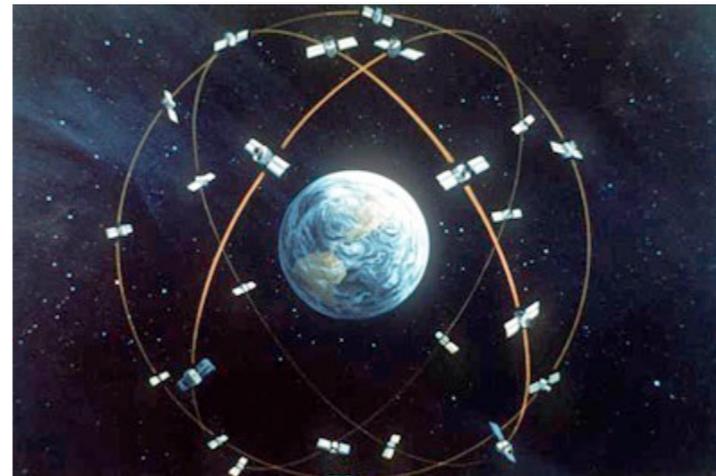
scienza
fondamentale



Il triangolo dell'innovazione



Ricadute della ricerca fondamentale:



Rivelatori nel mondo

Rivelatori a cristalli
imaging medico, diagnostica

Camere multifili
ispezione dei container

rivelatori a semiconduttore
imaging medico
imaging in varie applicazioni industriali

Richard P. Feynman

Physics is like sex: sure, it may
give some practical results, but
that's not why we do it

Computing

World Wide Web
Programmi di simulazione
Controllo di qualità
Sistemi automatici di controllo
Parallel computing



Alcune relazioni utili

$$h = 6.62 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$$

$$\hbar = h/2\pi = 6.5 \cdot 10^{-22} \text{ MeV}\cdot\text{s}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$G_N = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s}^{-2} = 6.71 \cdot 10^{-39} \hbar c \cdot (\text{GeV}/c^2)^{-2}$$

$$1 \text{ MeV}/c^2 = 1.7 \cdot 10^{-30} \text{ kg}$$

- $m_e = 0.511 \text{ MeV}/c^2$

- $m_p = 938 \text{ MeV}/c^2$

$$\alpha = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 \hbar c} = \frac{1}{137} \quad (\text{costante di struttura fine})$$

$$\frac{1 \text{ MeV}}{\hbar c} = \frac{1.6 \cdot 10^{-13} \text{ J}}{1.05 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 0.506 \cdot 10^{13} \text{ m}^{-1} \Rightarrow \boxed{\frac{\hbar c}{197 \text{ MeV}} = 1 \text{ fm}}$$

Unita' "naturali": $\hbar = c = 1$

$m_e = 0.511 \text{ MeV}$

$m_p = 0.938 \text{ GeV}$

$$\hat{\lambda}_e = \frac{\hbar}{m_e c} = \frac{1}{0.511 \text{ MeV}} \approx 2 \text{ MeV}^{-1} \approx 400 \text{ fm}$$

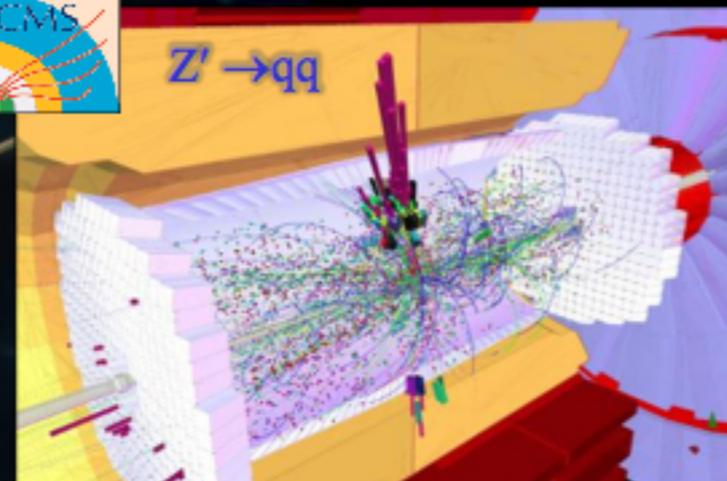
Extra dimensioni



- Alcune teorie prevedono l'esistenza di nuove dimensioni spaziali.
- Le nuove dimensioni non sono accessibili nella nostra esperienza perché "compattificate" con raggi di curvatura molto piccoli.
- Extra dimensioni si possono manifestare con uno spettro di nuove particelle (es: Z') rivelabili ad LHC.

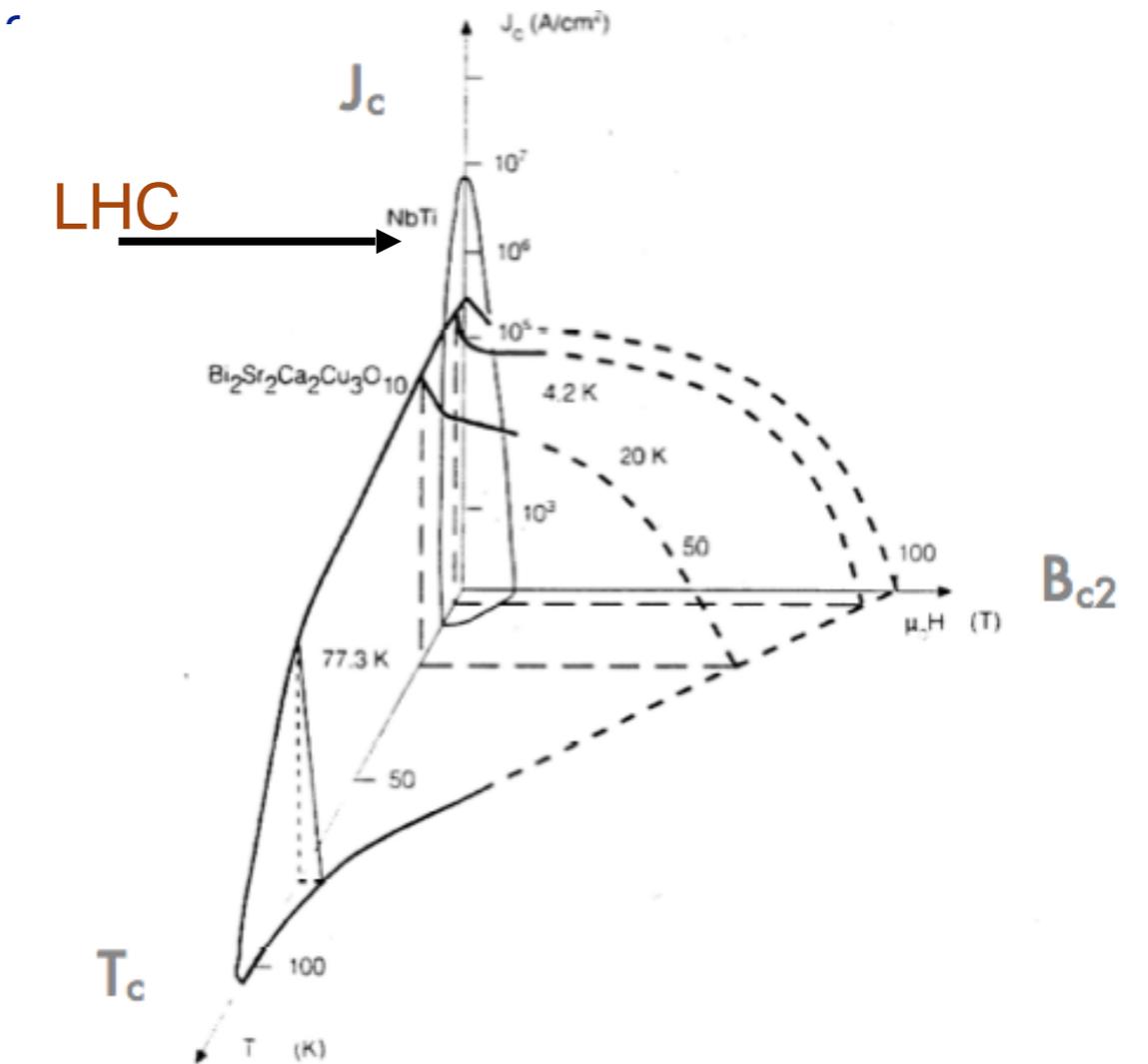
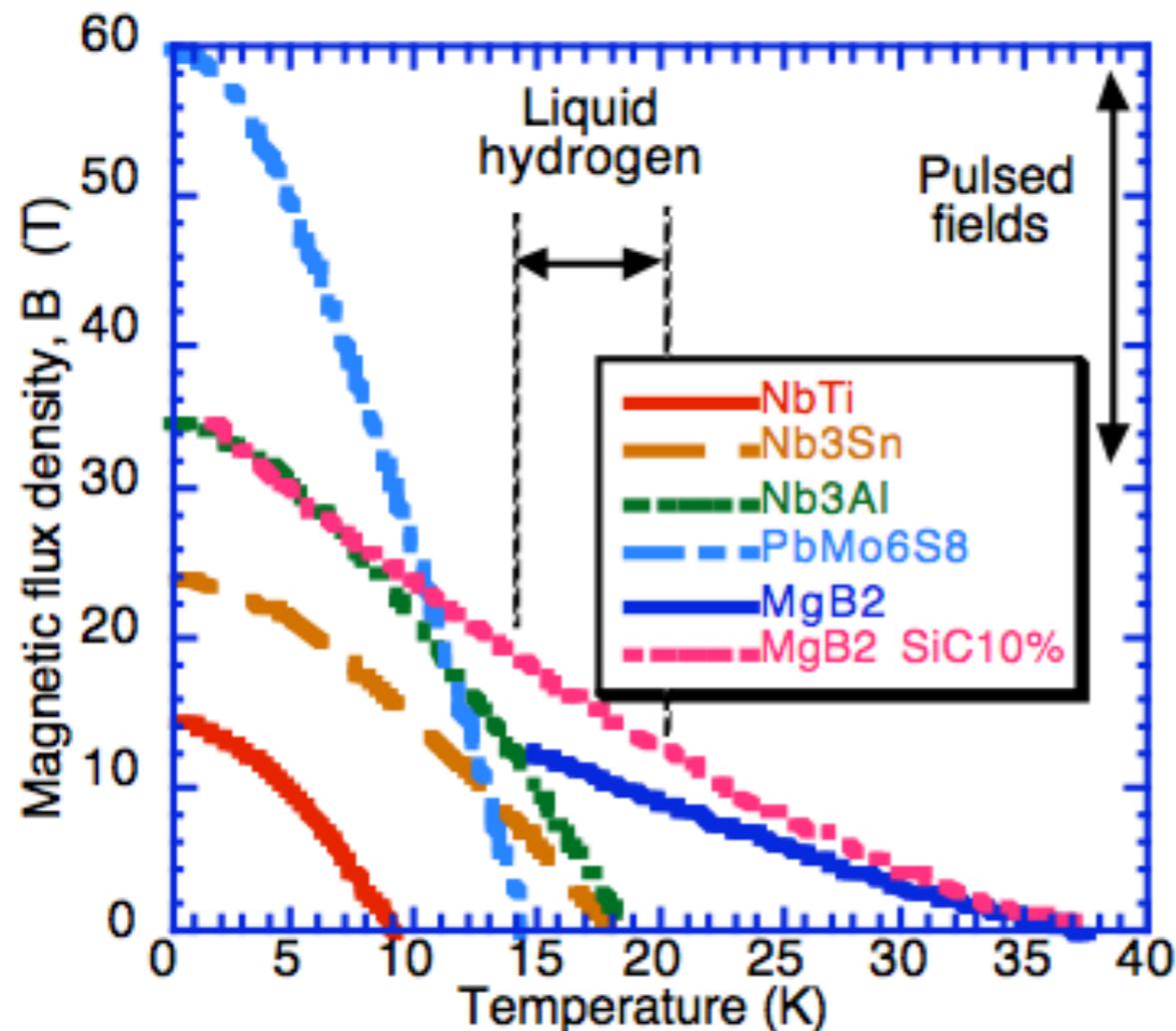


$Z' \rightarrow qq$



Perché NbTi ?

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



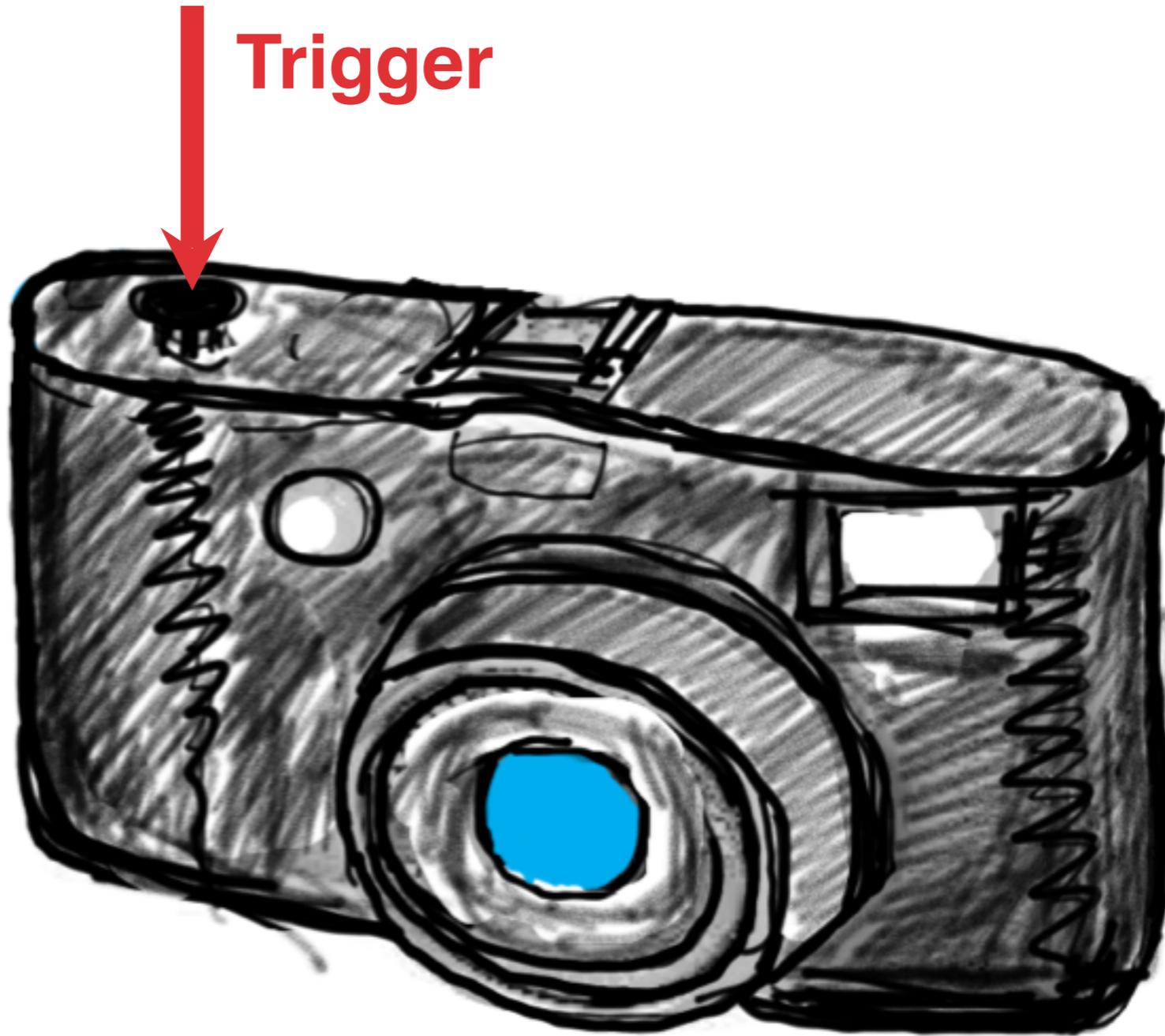
Energia dei fasci e magneti

- 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

Chi scatta la foto ?

Trigger



Il sistema di trigger

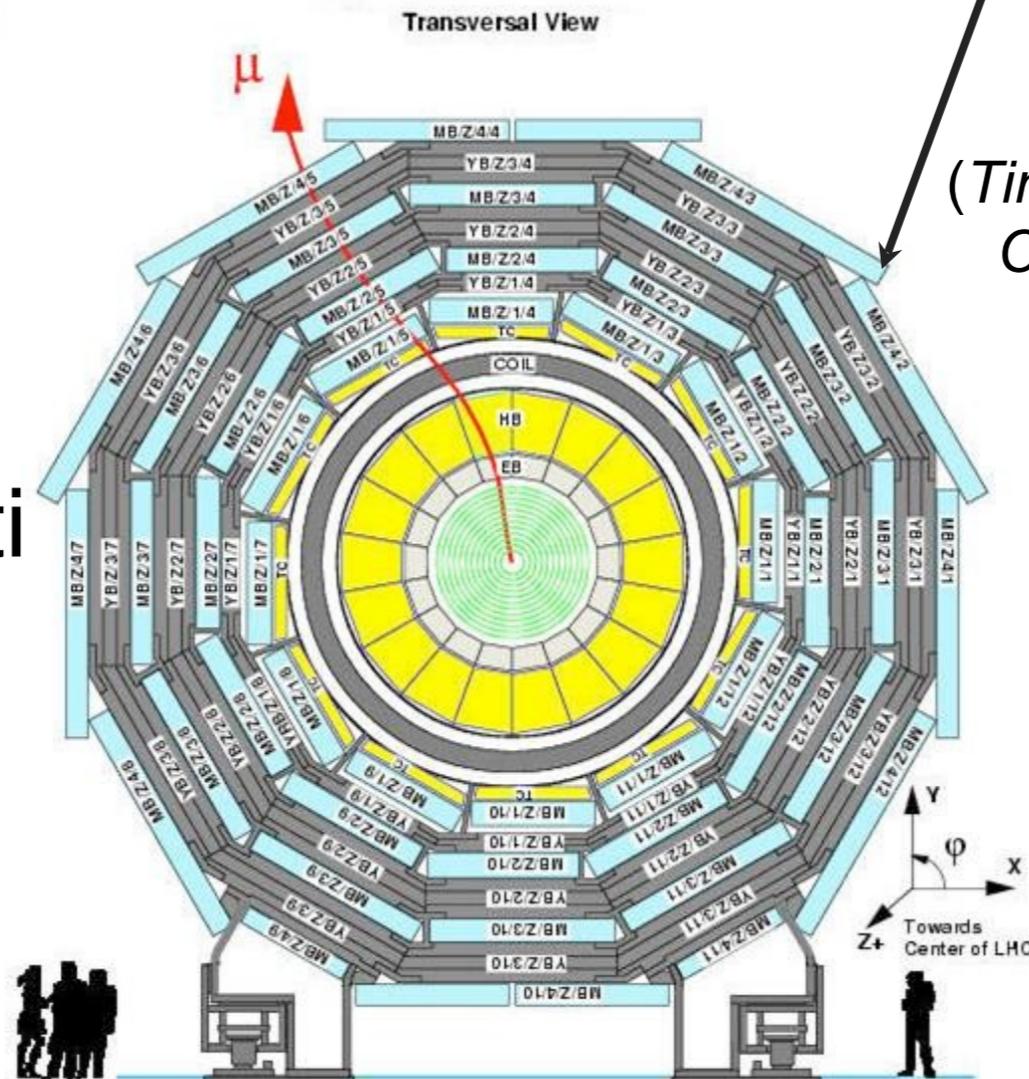
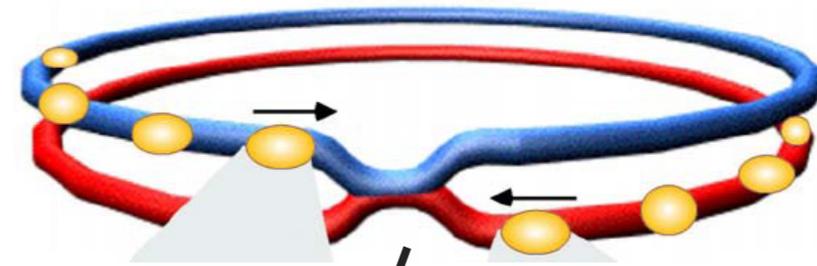
L'esperimento acquisisce sincrono con il fascio di LHC a 40 MHz

LHC: 40 MHz clock

TRIGGER

40 MHz

300 Hz
dati salvati

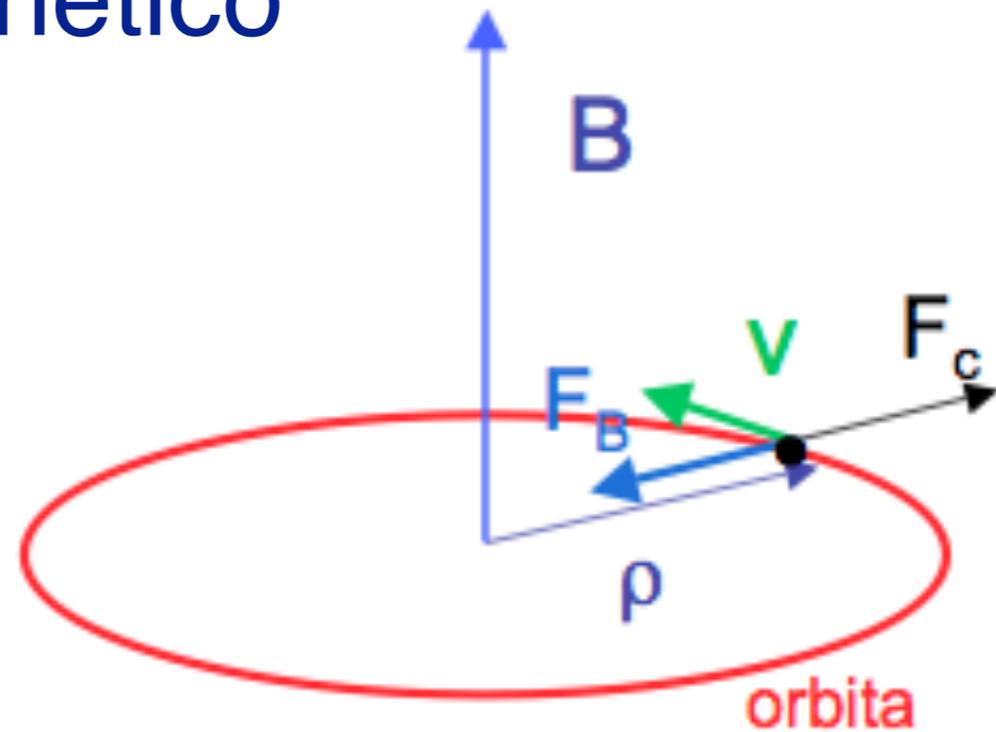


TTC
(Timing and Trigger Control signals)

Curvatura, campo magnetico



$\rho \sim 4. \text{ km}$
 $P = 7 \cdot 10^3 \text{ GeV}/c$
 $B \text{ ??}$



$$F_c = m \times a_c = m \times \frac{v^2}{\rho}$$

$$\mathbf{F}_{Lorentz} = q \mathbf{v} \times \mathbf{B} = \rho q v B_{\perp}$$

$$P = m v = q \rho B_{\perp}$$

$P = 0.3$	B	ρ
\downarrow	\downarrow	\downarrow
$[\text{GeV}/c]$	$[\text{T}]$	$[\text{m}]$

5.8 T →

solo ~ 2/3 del tunnel
puo' essere riempito
con dipoli "bending"

8 T