



# IL CERN

## LE RAGIONI DI UN SUCCESSO

**Franco Bradamante**

Ciclo seminari di Fisica "Le forze della Natura"  
Auditorium Salone degli Incanti, Cyborn  
Trieste, 11 ottobre 2020

# **FISICA CLASSICA**

**XVI-XIX SECOLO**

# **FISICA MODERNA**

**XX SECOLO**

**FISICA CLASSICA**

# **GRAVITAZIONE**

## **le osservazioni:**

**N. Copernico (1473-1543)**

**J. Kepler (1571-1630)**



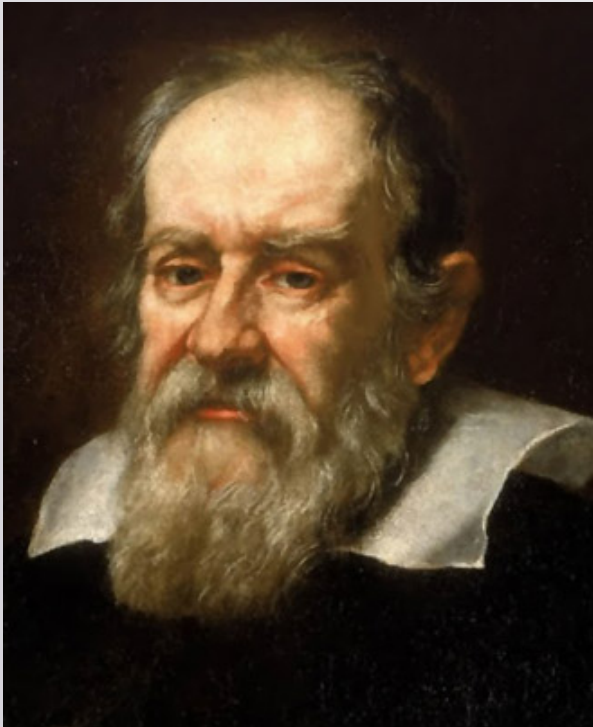
## **le osservazioni:**

**N. Copernico (1473-1543)**

**J. Kepler (1571-1630)**

## **il metodo scientifico:**

**G. Galilei (1564-1642)**



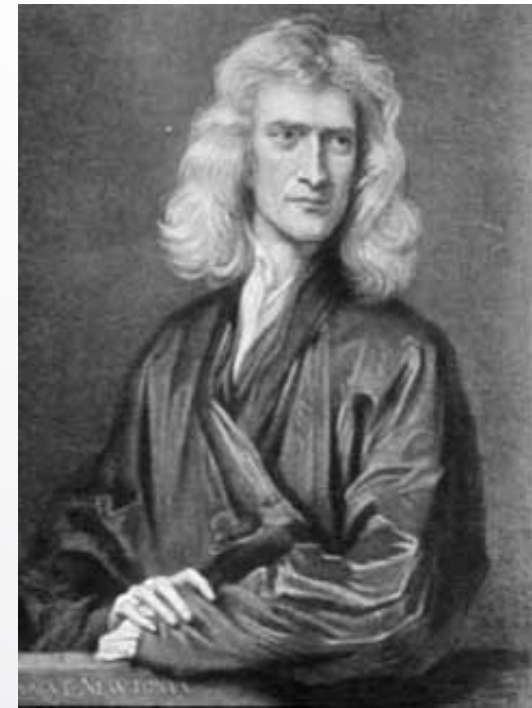
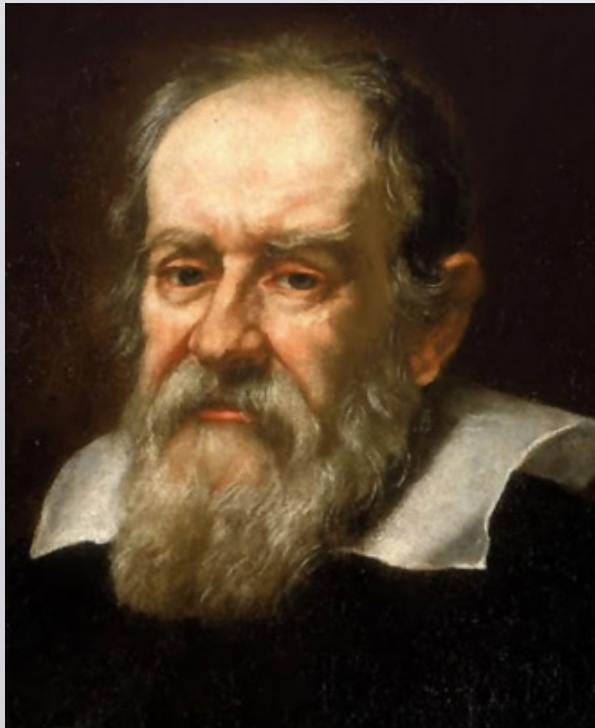
## le osservazioni:

**N. Copernico (1473-1543)**

**J. Kepler (1571-1630)**

## il metodo scientifico:

**G. Galilei (1564-1642)**



## le leggi:

**I. Newton (1642-1727)**

calcolo differenziale e integrale

(G. W. Leibniz)

$$T = 1\text{h } 24'$$

$$R = 42500 \text{ km}$$

**RINASCIMENTO !**

**FISICA CLASSICA**

# **ELETTROMAGNETISMO**

**legge della  
induzione elettromagnetica  
generatori di corrente**

**M. Faraday (1791-1867)**





**legge della  
induzione elettromagnetica**  
**generatori di corrente**

**M. Faraday (1791-1867)**



**J.C. Maxwell (1831-1879)**

**onde elettromagnetiche**

**J. Hertz, G. Marconi**

**RIVOLUZIONE INDUSTRIALE**

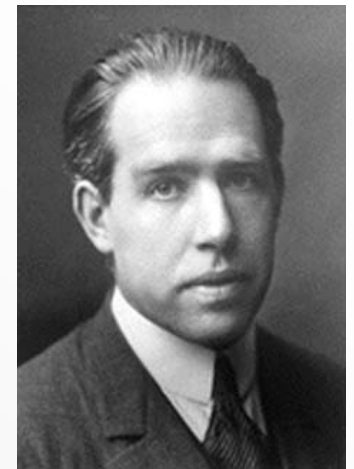
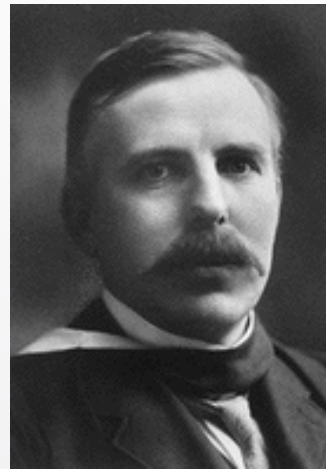
# FISICA MODERNA

# **FISICA MODERNA**

- **la struttura microscopica della materia**
- **l'esigenza di una nuova meccanica**

# ~1910 Fisica atomica

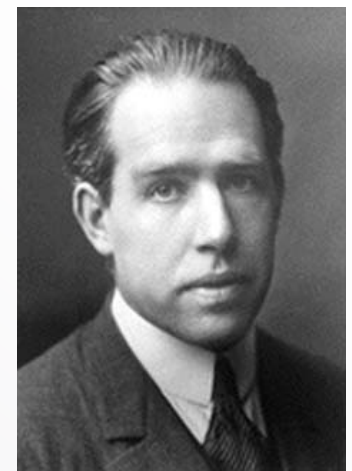
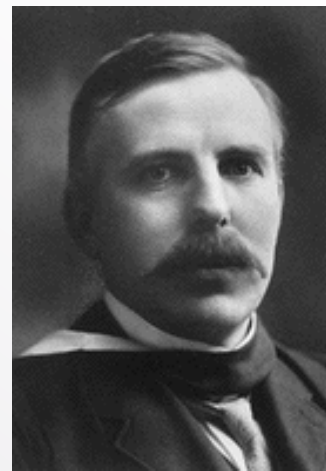
E. Rutherford, N. Bohr





# ~1910 Fisica atomica

E. Rutherford, N. Bohr



## Meccanica Quantistica

E. Schroedinger

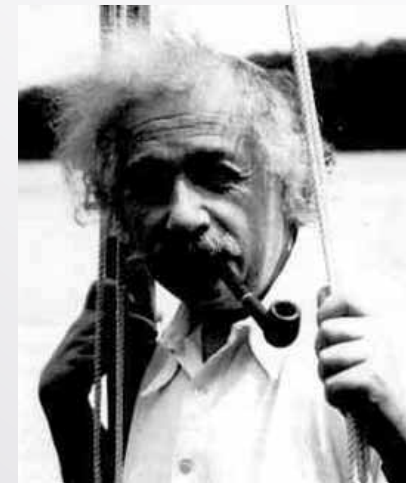
W. Heisenberg

P.A. Dirac

## Relativita'

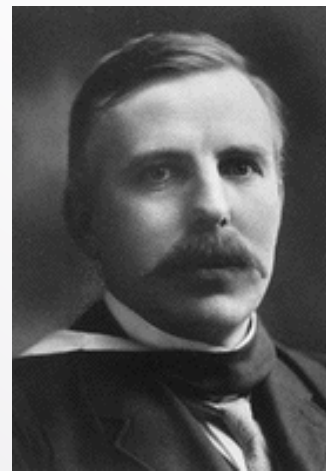
A. Einstein

*ruolo centrale dei fisici europei*



## ~1910 Fisica atomica

E. Rutherford, N. Bohr



## Meccanica Quantistica

E. Schroedinger  
W. Heisenberg  
P.A. Dirac

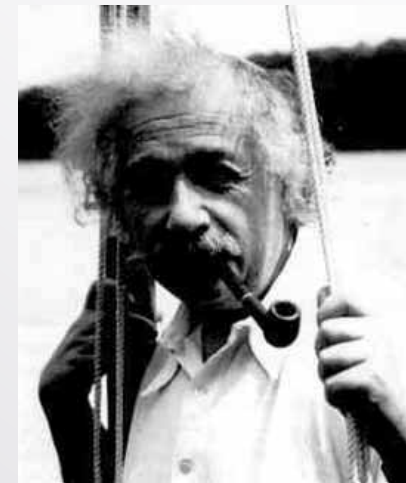
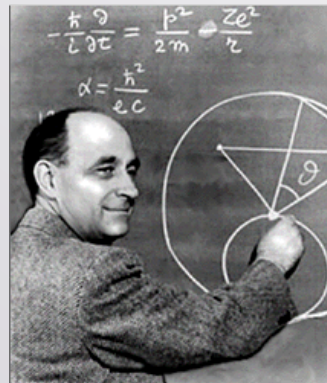
## Relativita'

A. Einstein

*ruolo centrale dei fisici europei*

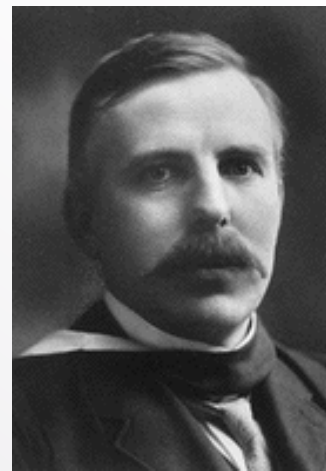
## ~1930 Fisica nucleare

E. Fermi



## ~1910 Fisica atomica

E. Rutherford, N. Bohr



## Meccanica Quantistica

E. Schroedinger  
W. Heisenberg  
P.A. Dirac

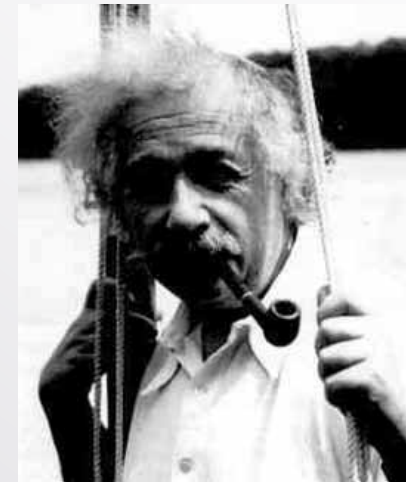
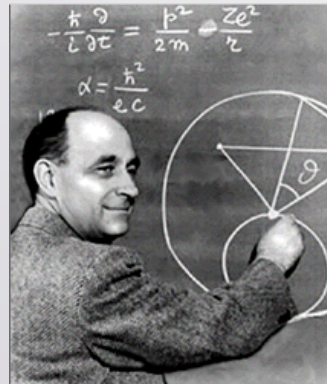
## Relativita'

A. Einstein

*ruolo centrale dei fisici europei*

## ~1930 Fisica nucleare

E. Fermi



## ~1950 Fisica delle particelle elementari

**MECCANICA  
QUANTISTICA**

**RELATIVITA'**



**MECCANICA  
QUANTISTICA**

**RELATIVITA'**

**NUOVA RIVOLUZIONE**

**scoperta dell'antimateria**



**P.A. Dirac**

**MECCANICA  
QUANTISTICA**

**RELATIVITA'**

**NUOVA RIVOLUZIONE**

scoperta dell'antimateria



**P.A. Dirac**

scoperte **due nuove forze** in natura, di corta portata:

**forza "debole"** ➡ **radioattività**

**forza "forte"** ➡ **trasmutazioni nucleari**

**MECCANICA  
QUANTISTICA**

**RELATIVITA'**

**NUOVA RIVOLUZIONE**

scoperta dell'antimateria



P.A. Dirac

scoperte **due nuove forze** in natura, di corta portata:

**forza "debole"** ➔ **radioattività**

**forza "forte"** ➔ **trasmutazioni nucleari**

capita **l'energia delle stelle**

cosmologia **BIG BANG**

scoperto un nuovo "livello" nella struttura  
microscopica della materia **QUARKS**

**grazie alla**

# **FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI**

**nata studiando i “raggi cosmici”**

**esplosa nel 1950 con lo sviluppo degli acceleratori di  
particelle di alta energia**



# Fasci di particelle cariche

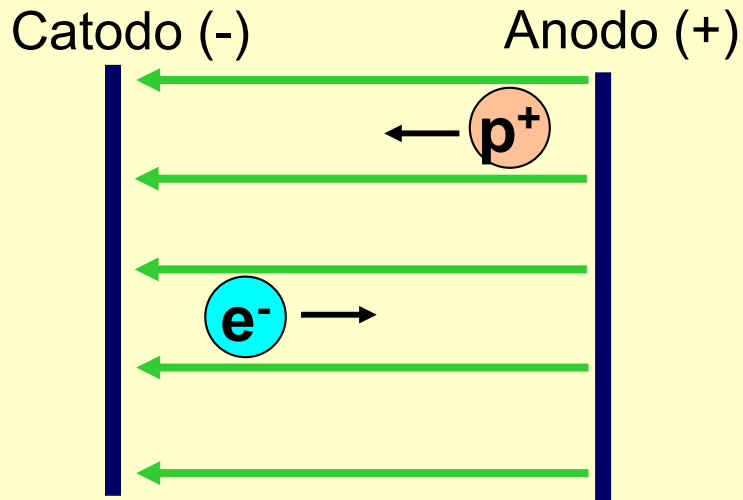
$$\bar{F} = q\bar{E} + q\bar{v} \times \bar{B}$$

# Fasci di particelle cariche

$$\bar{F} = q\bar{E} + q\bar{v} \times \bar{B}$$



**campo elettrico**  
***Accelerazione***

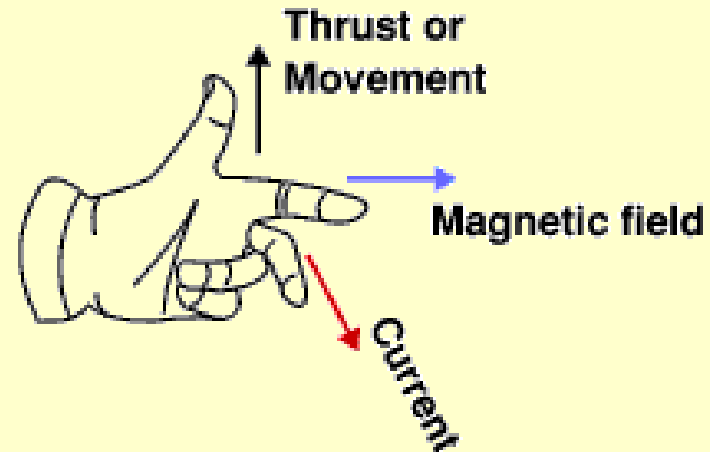
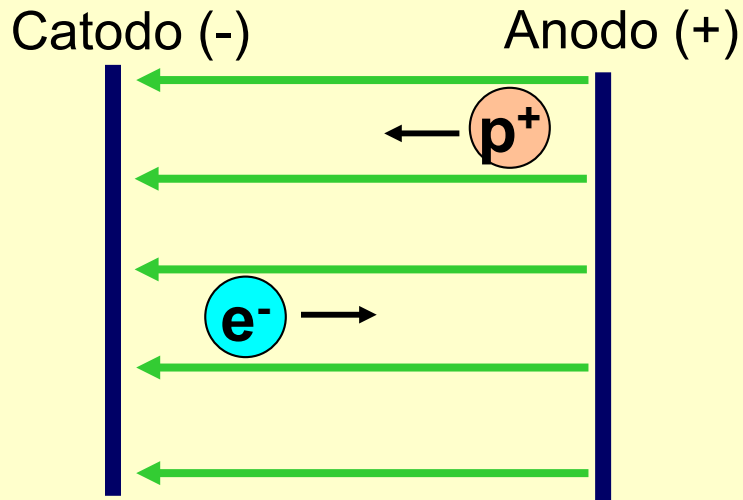
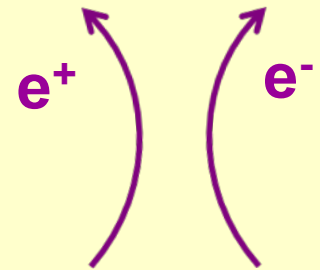


# Fasci di particelle cariche

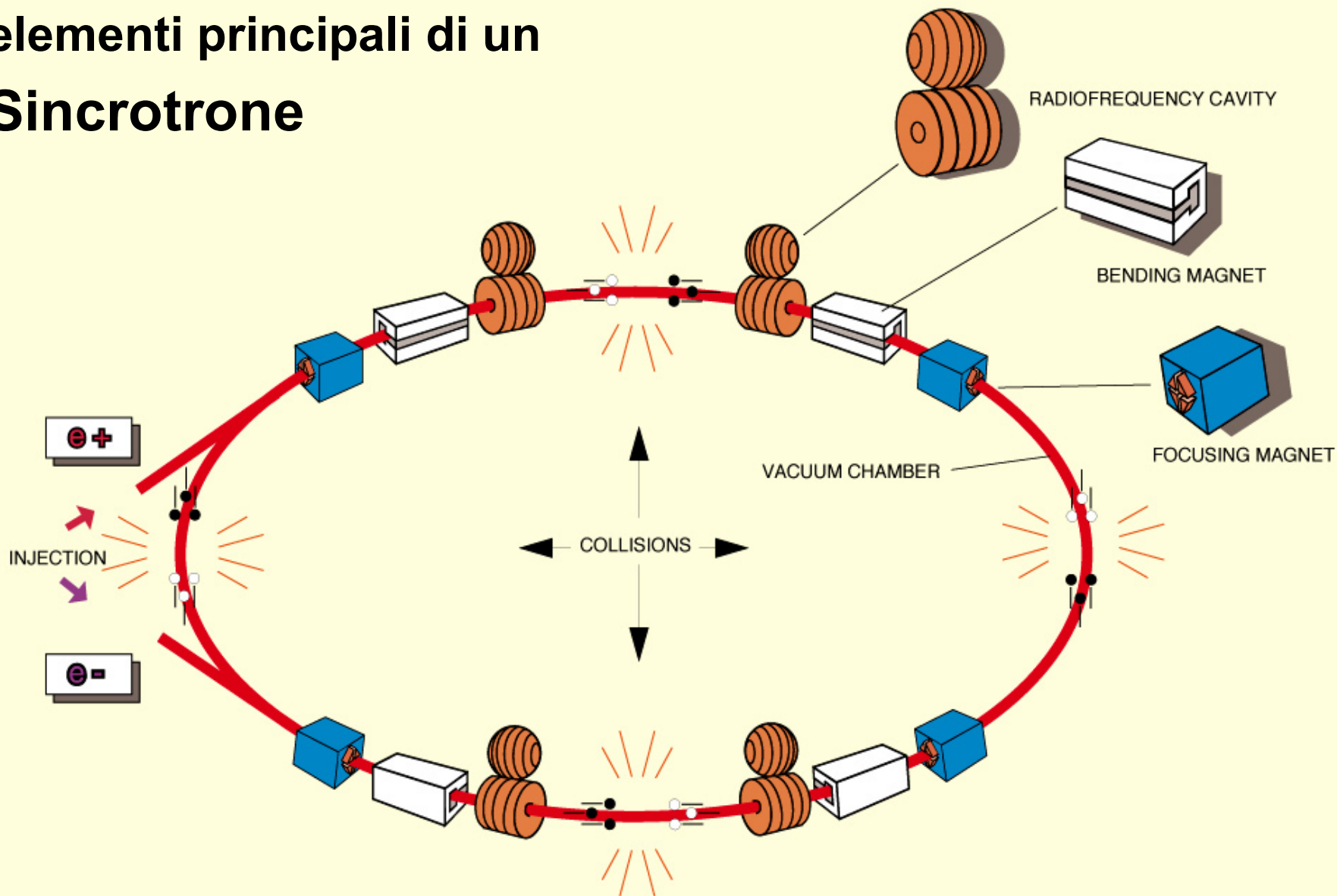
$$\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$$

**campo elettrico**  
*Accelerazione*

**campo magnetico**  
*Deflessione*



# elementi principali di un Sincrotrone



**grazie alla**

# **FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI**

**nata studiando i “raggi cosmici”**

**esplosa nel 1950 con lo sviluppo degli acceleratori di particelle di alta energia**

## **Stati Uniti**

**1948 sincrociclotrone  
di Berkeley**

**1952 cosmotrone  
di Brookhaven**

**1954 bevatrone  
di Berkeley**

.....

## **Unione Sovietica**

**1955 sincrofasatrone  
di Dubna**

.....

grazie alla

# FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI

nata studiando i “raggi cosmici”

esplosa nel 1950 con lo sviluppo degli acceleratori di particelle di alta energia

## Stati Uniti

1948 sincrociclotrone  
di Berkeley

1952 cosmotrone  
di Brookhaven

1954 bevatrone  
di Berkeley

.....

## Unione Sovietica

1955 sincrofasatrone  
di Dubna

.....

**e l'Europa?**



# **distrutta !**

**prima dalle leggi razziali**

**Fermi →**

**Segre' →**

**Pontecorvo →**

**Einstein →**

**.....**

**poi dalla guerra**

**bisognava ripartire da zero ... !**

# distrutta !

prima dalle leggi razziali

Fermi →

Einstein →

Segre' →

.....

Pontecorvo →

poi dalla guerra

bisognava ripartire da zero ... !

Italia:

nel 1951 viene creato l'**INFN** (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare)  
ai fini di perseguire e sviluppare la tradizione scientifica iniziata da  
Fermi negli anni '30

Europa: nel 1954 nasce il CERN

# **il CERN**

**Centre Européenne pour la Recherche Nucléaire**

## **IERI**

**il primo esempio di collaborazione tra paesi europei di questo dopoguerra**

**il tentativo di ricreare una scuola in un settore dove prima del 1938 c'era supremazia**

**partecipazione a pieno titolo alla competizione dei grandi acceleratori di particelle**

## **OGGI**

**il piu' importante laboratorio al mondo per la ricerca nel campo della fisica delle particelle elementari**

**1949 prima proposta per un laboratorio europeo**

**L. de Broglie**

**1950 proposta all'UNESCO**

**1952 scelta della sede di Ginevra**

**E. Amaldi nominato Segretario Generale del CERN**

**1954 ratifica della convenzione tra i 12 Stati Fondatori**

**Repubblica Federale Tedesca, Belgio, Danimarca, Francia, Grecia, Italia, Norvegia, Olanda, Gran Bretagna, Svezia, Svizzera, Jugoslavia**

**obiettivo: ricerca fondamentale**

**costruire l'acceleratore di protoni piu' potente del mondo**

**CPS = CERN Proton Synchrotron**

**focalizzazione forte: TECNICA NUOVA !**

**1949 prima proposta per un laboratorio europeo**

**L. de Broglie**

**1950 proposta all'UNESCO**

**1952 scelta della sede di Ginevra**

**E. Amaldi nominato Segretario Generale del CERN**

**1954 ratifica della convenzione tra i 12 Stati Fondatori**

**Repubblica Federale Tedesca, Belgio, Danimarca, Francia, Grecia, Italia, Norvegia, Olanda, Gran Bretagna, Svezia, Svizzera, Jugoslavia**

**obiettivo: ricerca fondamentale**

**costruire l'acceleratore di protoni piu' potente del mondo**

**CPS = CERN Proton Synchrotron**

**focalizzazione forte: TECNICA NUOVA !**

**1957 entra in funzione il SincroCiclotrone**

**1959 entra in funzione il ProtoSincrotrone**



**Pierre Auger, Edoardo Amaldi  
e Lew Kowarski  
Febbraio 1952**

**Giuseppe Fidecaro, Edoardo Amaldi  
e Werner Heisenberg  
Dicembre 1960**

Franco Bradamante, 11 ottobre 2020

# alcuni dei padri fondatori





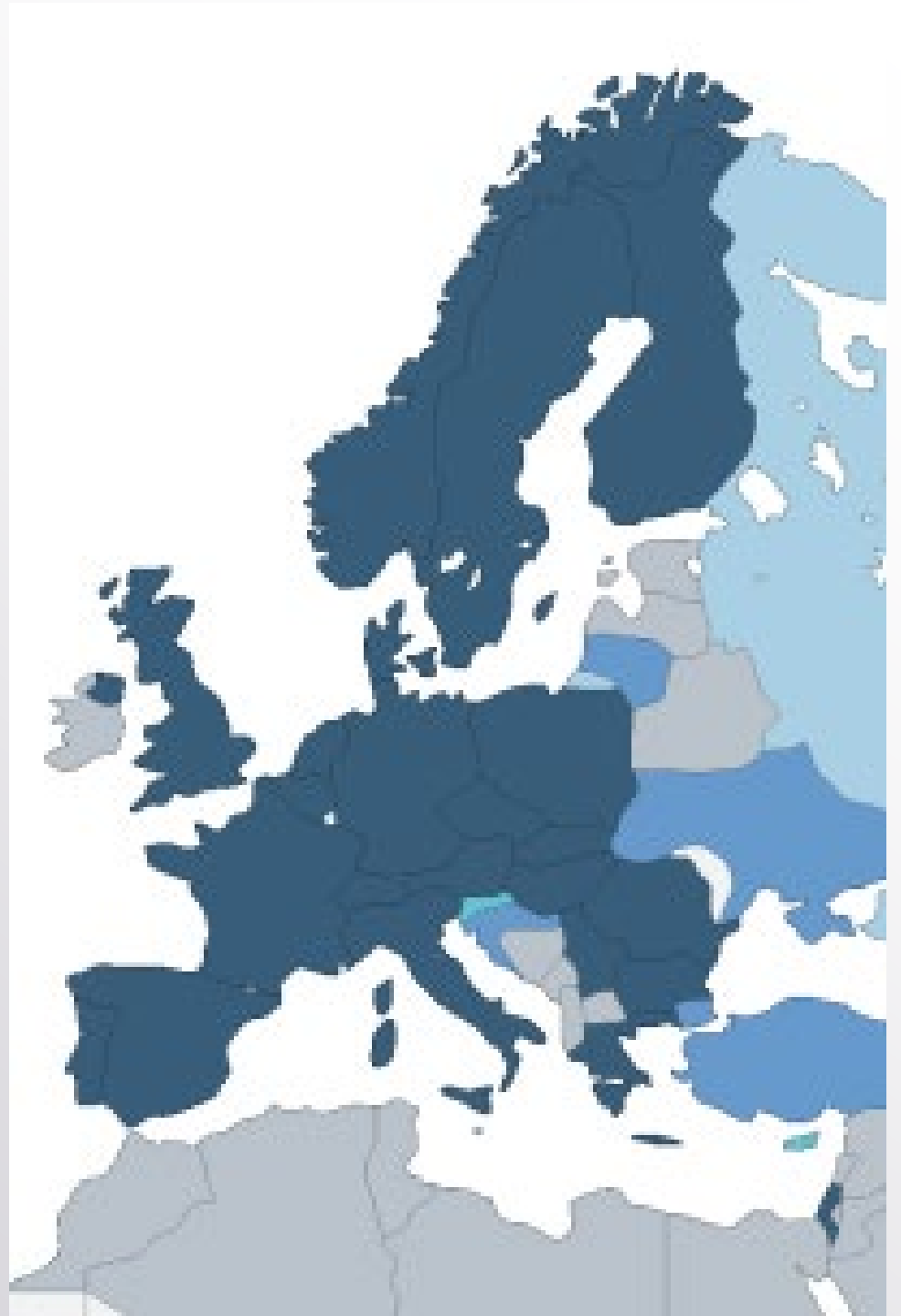
# il CERN oggi



# **il CERN e' gestito da 23 Stati Membri**

**gli Stati Membri hanno  
doveri e privilegi speciali:**

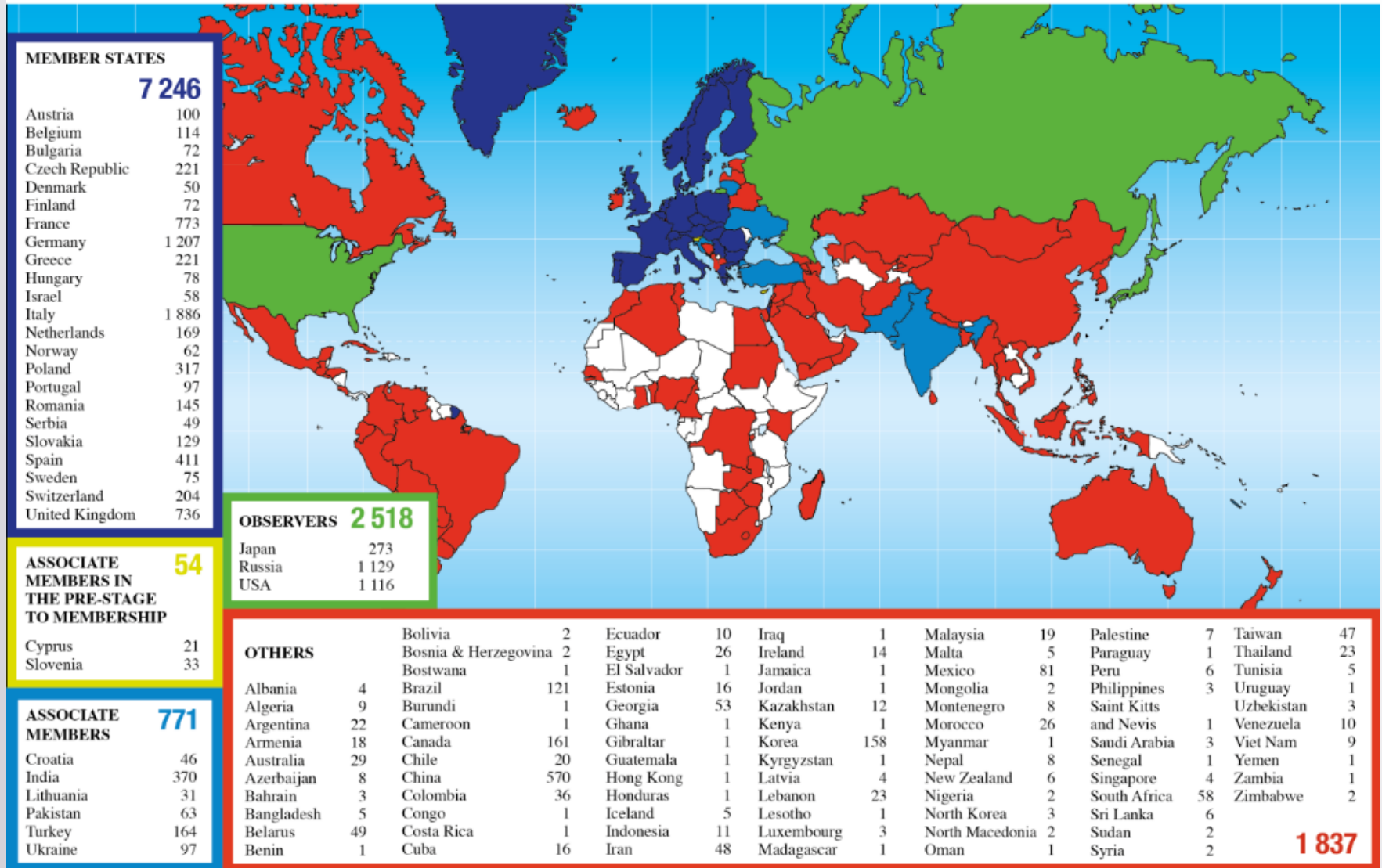
- **contribuiscono ai costi dei programmi del CERN**
- **sono rappresentati nel Council, responsabile per tutte le decisioni importanti sul Laboratorio e le sue attivita'**



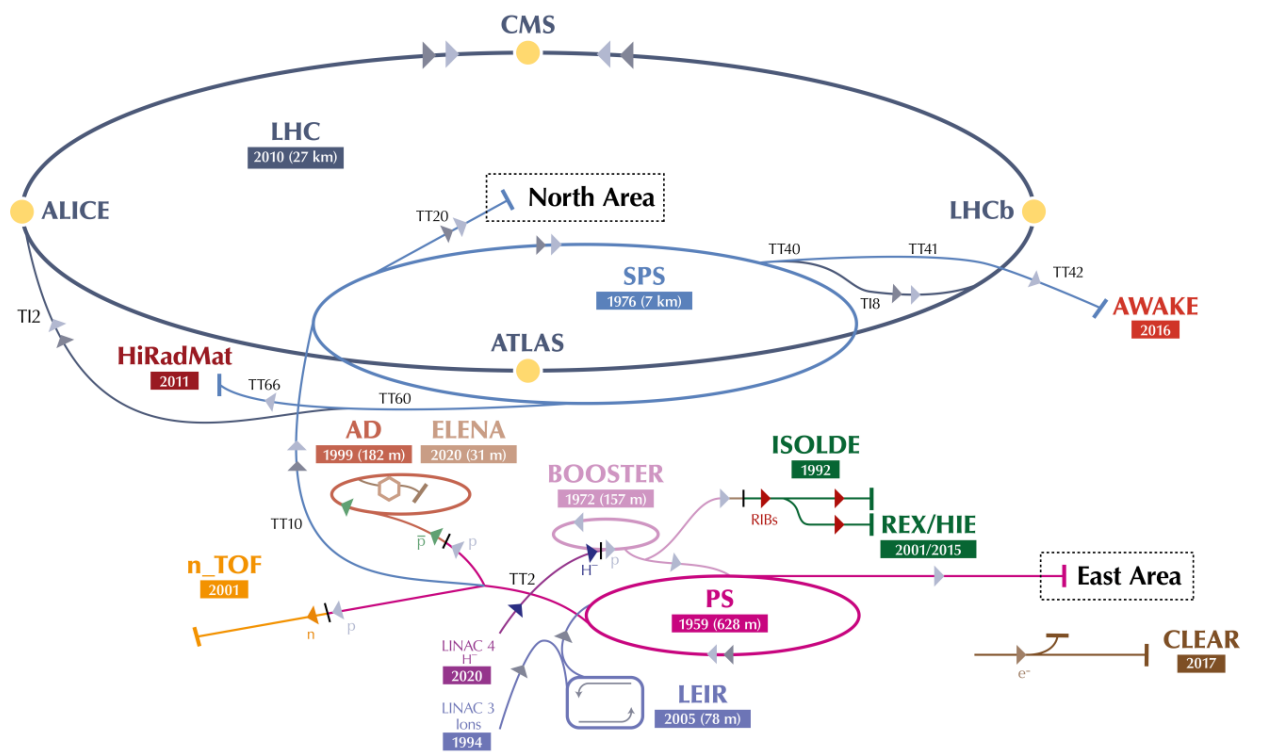


# e partecipano anche Paesi non europei:

## Distribution of All CERN Users by Nationality on 31 December 2019



# il complesso degli acceleratori al CERN



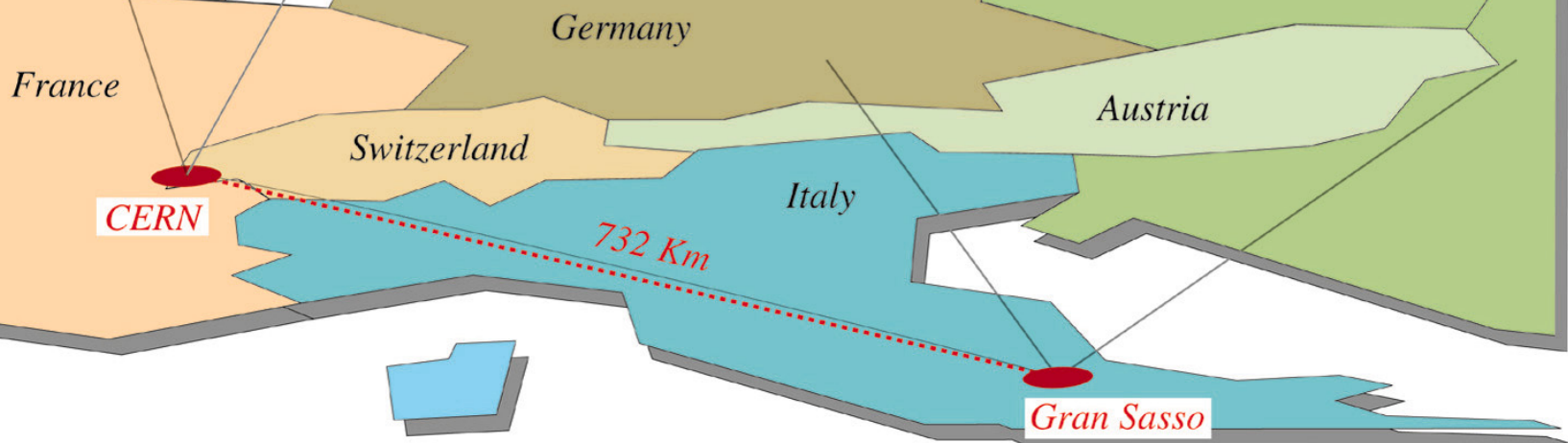
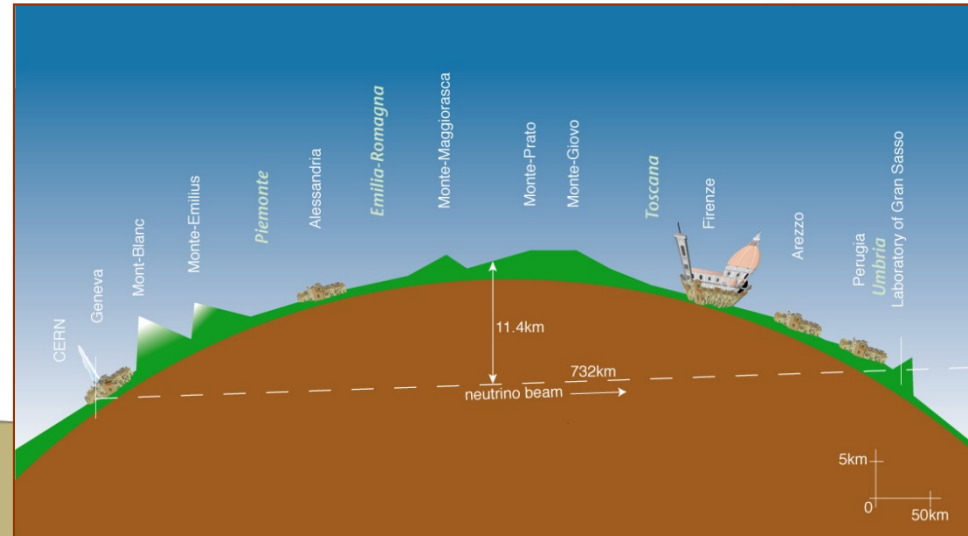
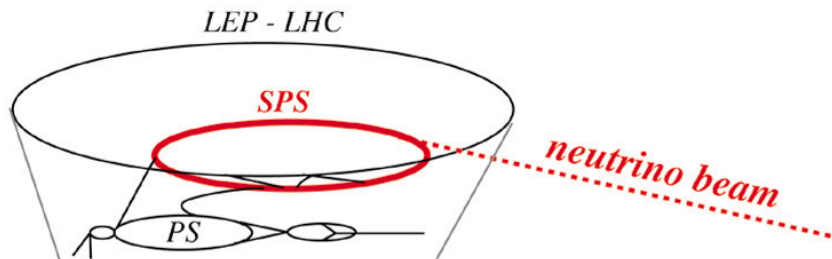
▶  $H^-$  (hydrogen anions) ▶ p (protons) ▶ ions ▶ RIBs (Radioactive Ion Beams) ▶ n (neutrons) ▶  $\bar{p}$  (antiprotons) ▶  $e^-$  (electrons)

LHC - Large Hadron Collider // SPS - Super Proton Synchrotron // PS - Proton Synchrotron // AD - Antiproton Decelerator // CLEAR - CERN Linear Electron Accelerator for Research // AWAKE - Advanced WAKEfield Experiment // ISOLDE - Isotope Separator OnLine // REX/HIE - Radioactive Experiment/High Intensity and Energy ISOLDE // LEIR - Low Energy Ion Ring // LINAC - LINear ACcelerator // n\_TOF - Neutrons Time Of Flight // HiRadMat - High-Radiation to Materials



# UN PROGETTO INTERESSANTE

## *CERN to Gran Sasso Neutrino Beam*

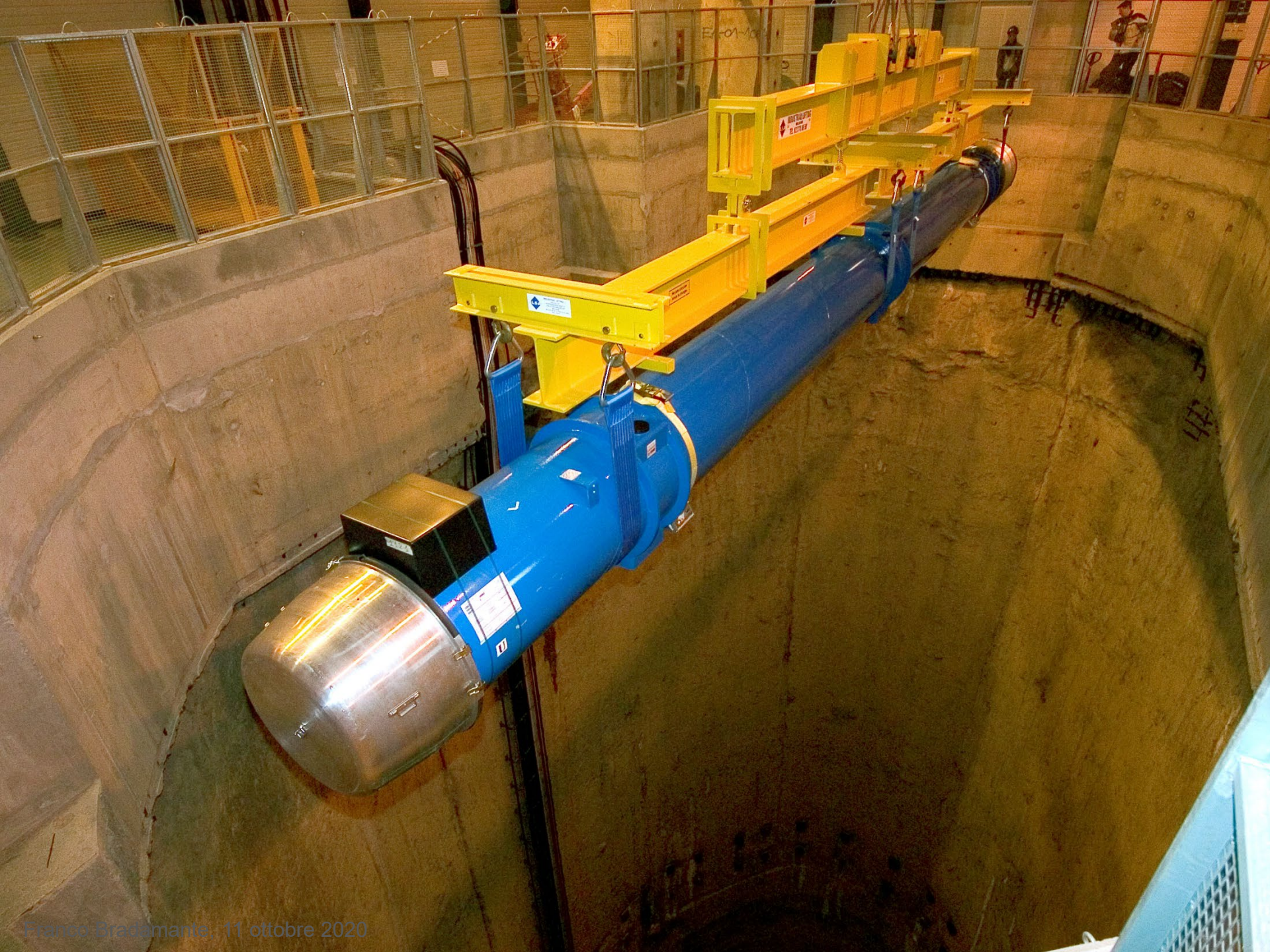




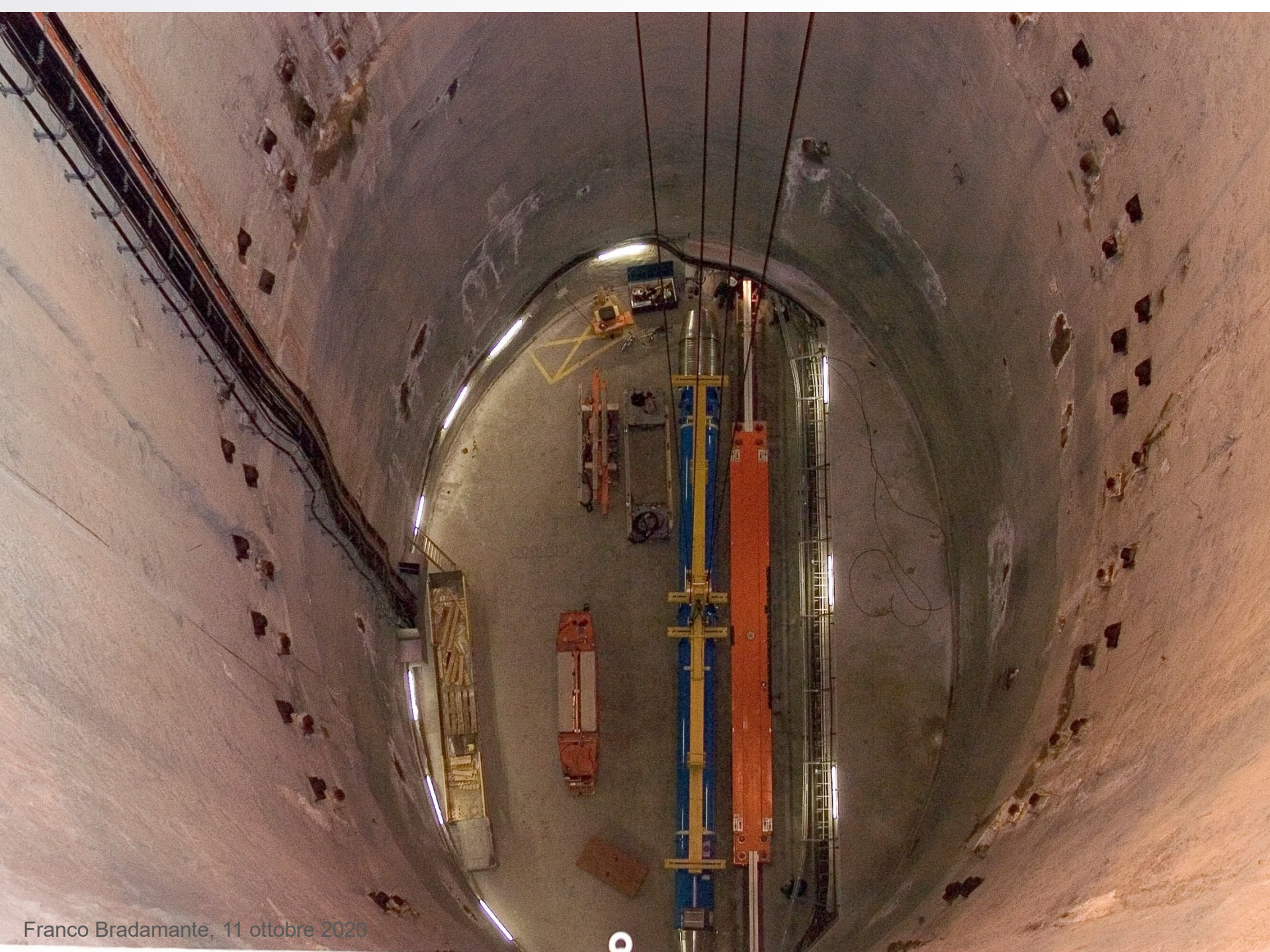


Franco Bradamante, 11 ottobre 2020



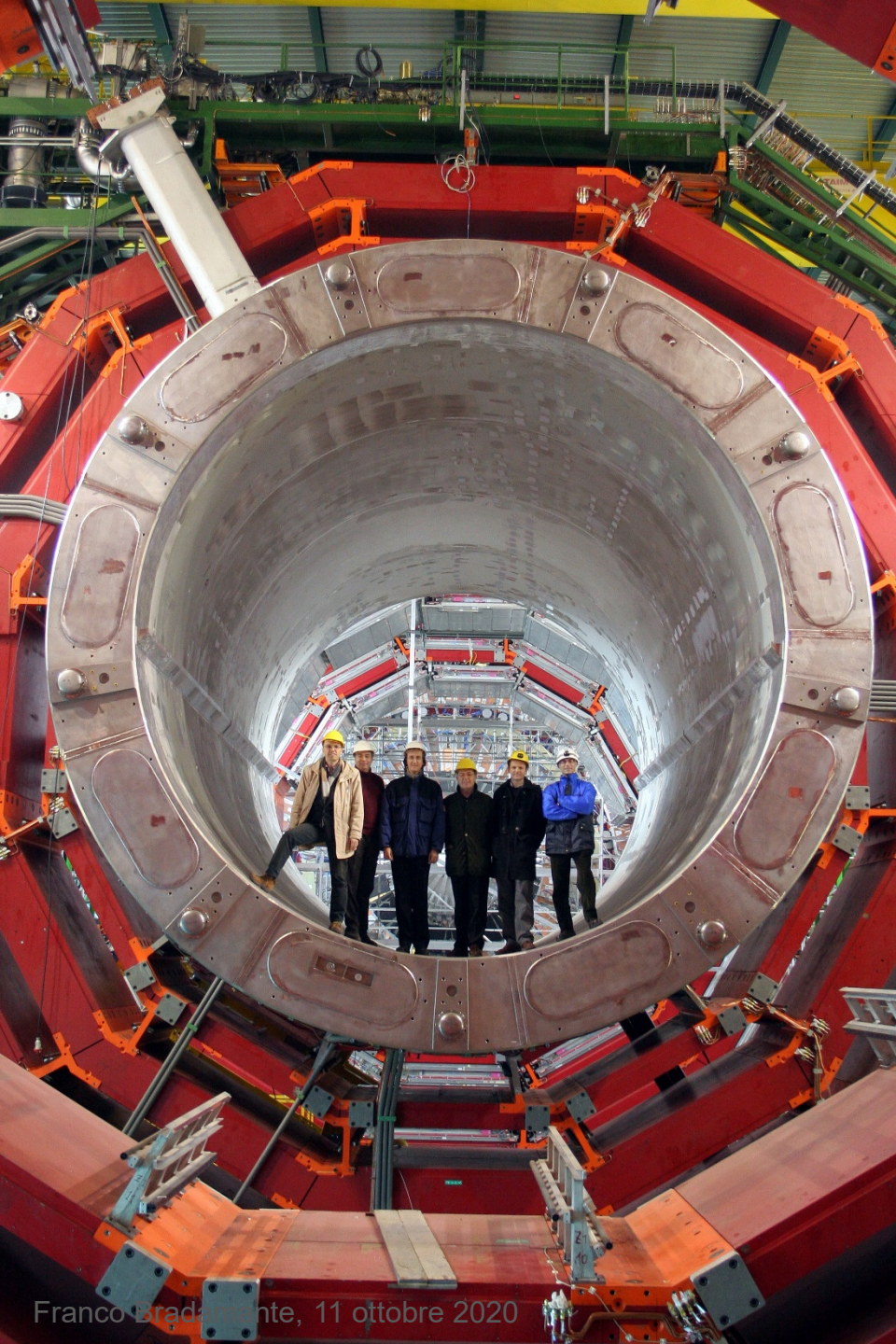








**selezione di**  
**IMMAGINI DELLA**  
**STRUMENTAZIONE**  
**UTILIZZATA**



# **CMS: magnete superconduttore di 223.5 t**

- **14.5 t di cavo  
superconduttore**
- **74 t di Al puro**
- **126 t di lega di Al**
- **9 t di isolante**

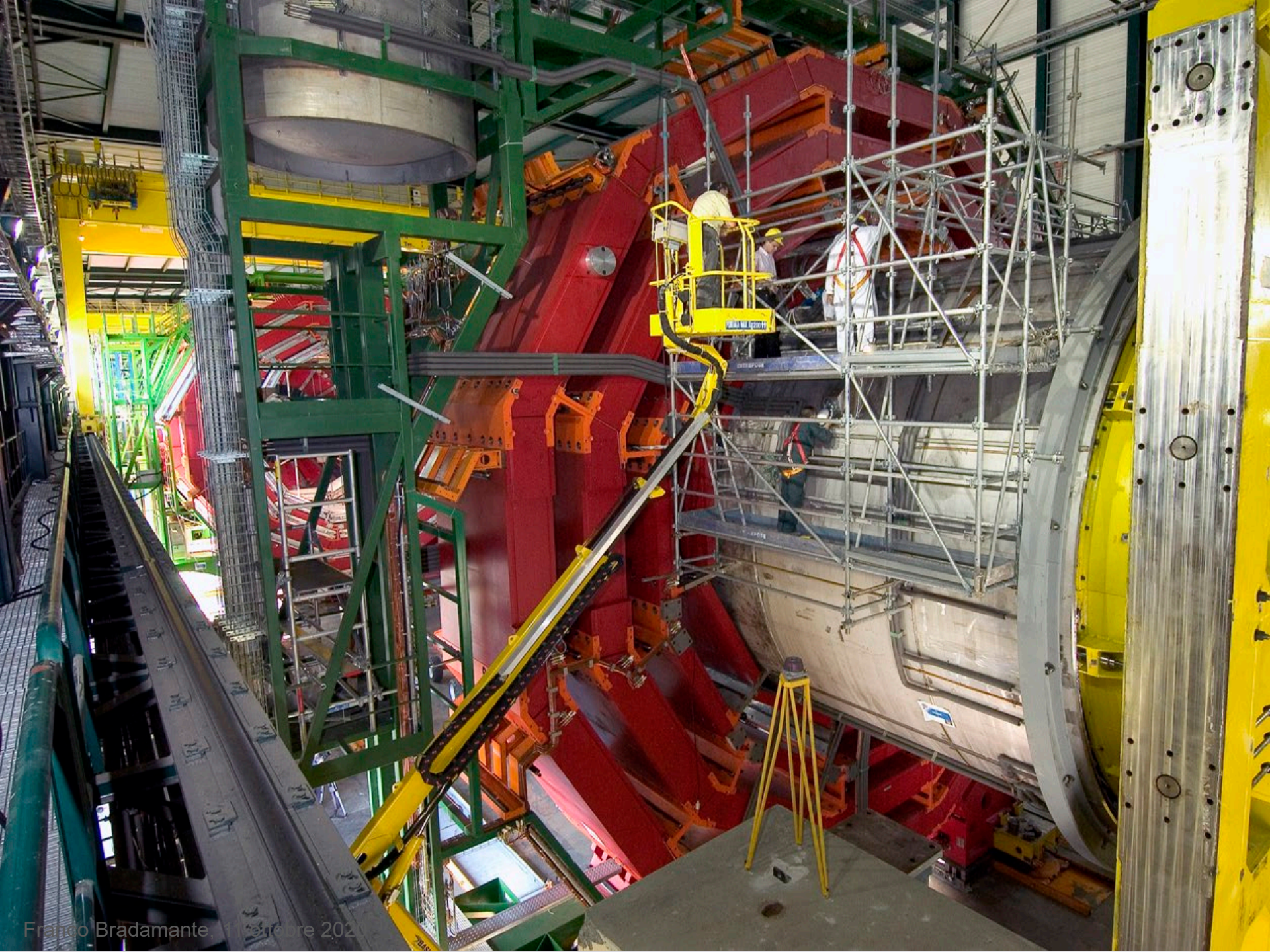
**$I = 20,000 \text{ A}$**

**$B = 4 \text{ T}$  (100000 volte il campo  
magnetico terrestre)**

**$E = 2.7 \text{ GJ}$**

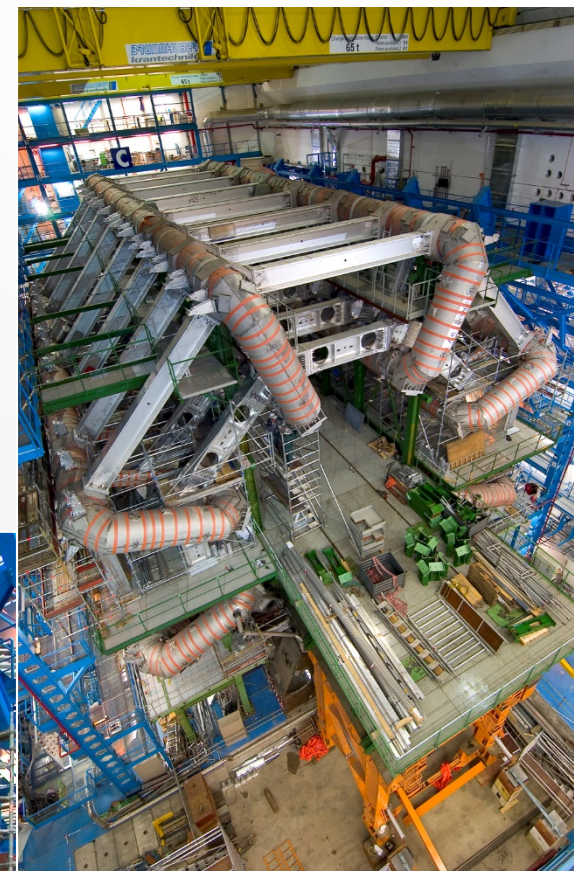
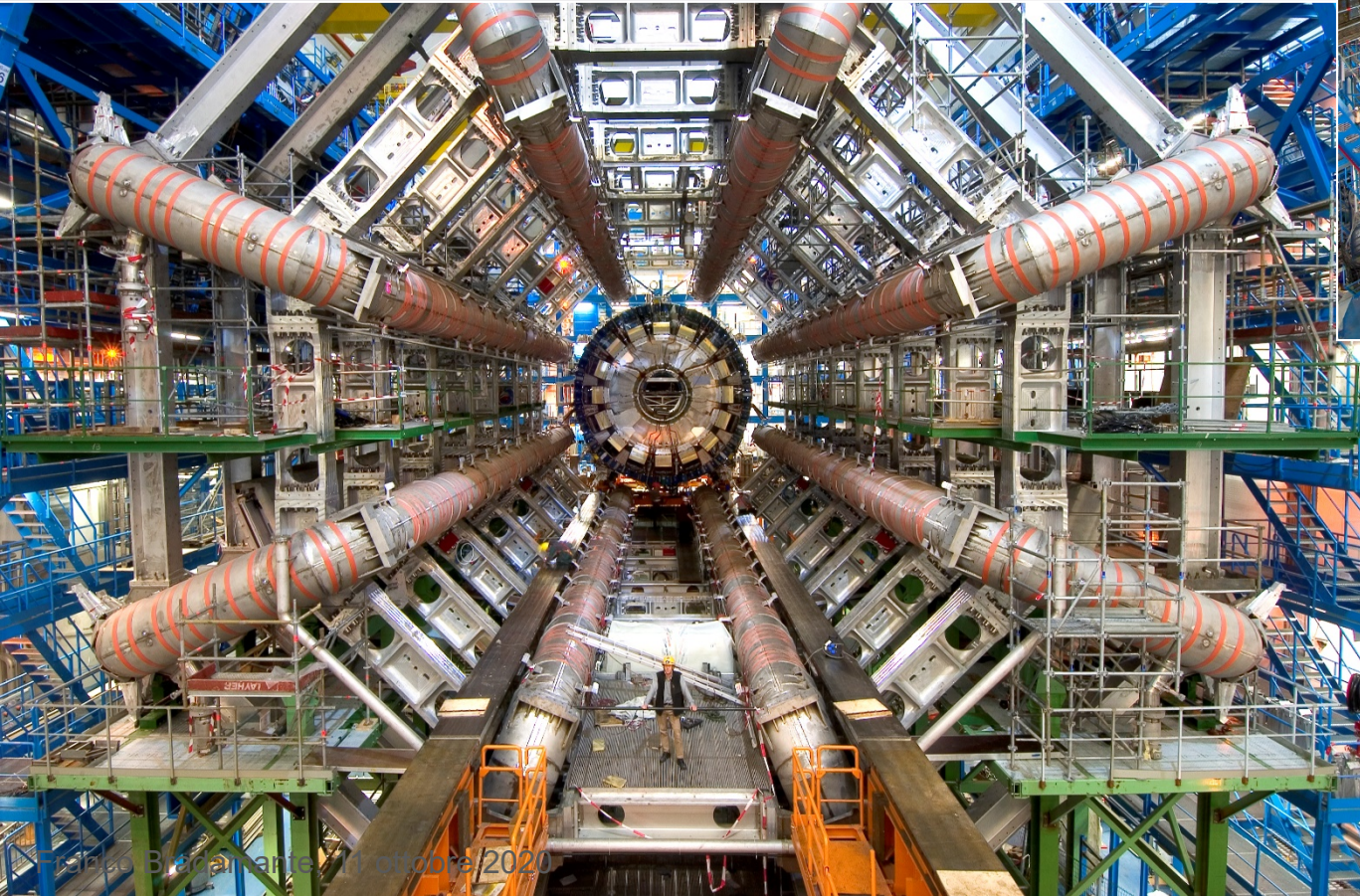
**(sufficienti a liquefare 18 t di oro)**



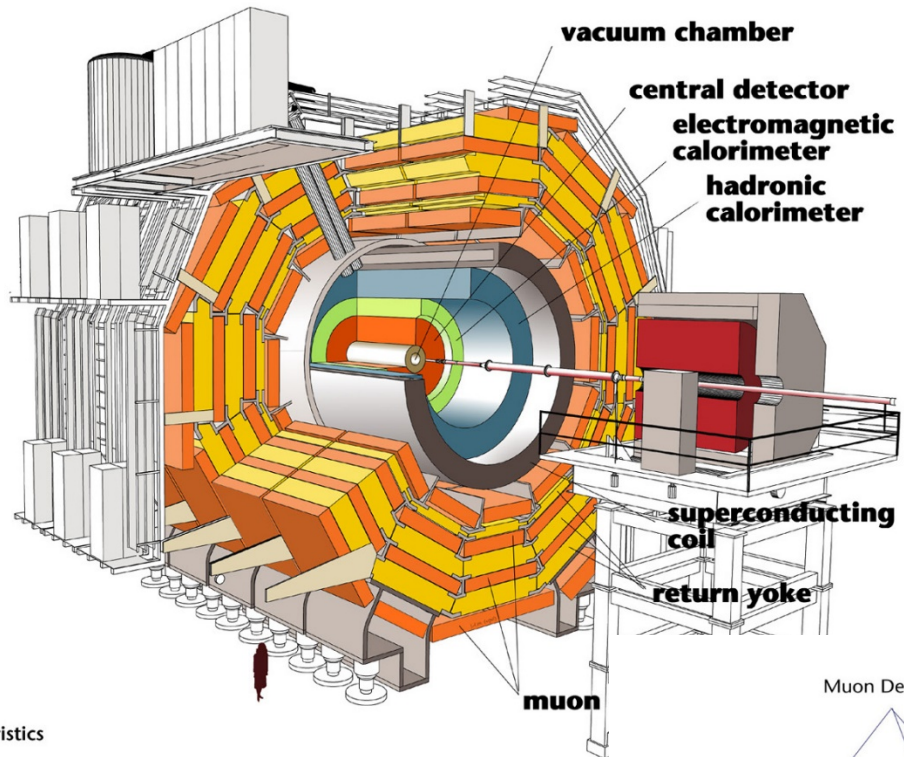




# il magnete di ATLAS





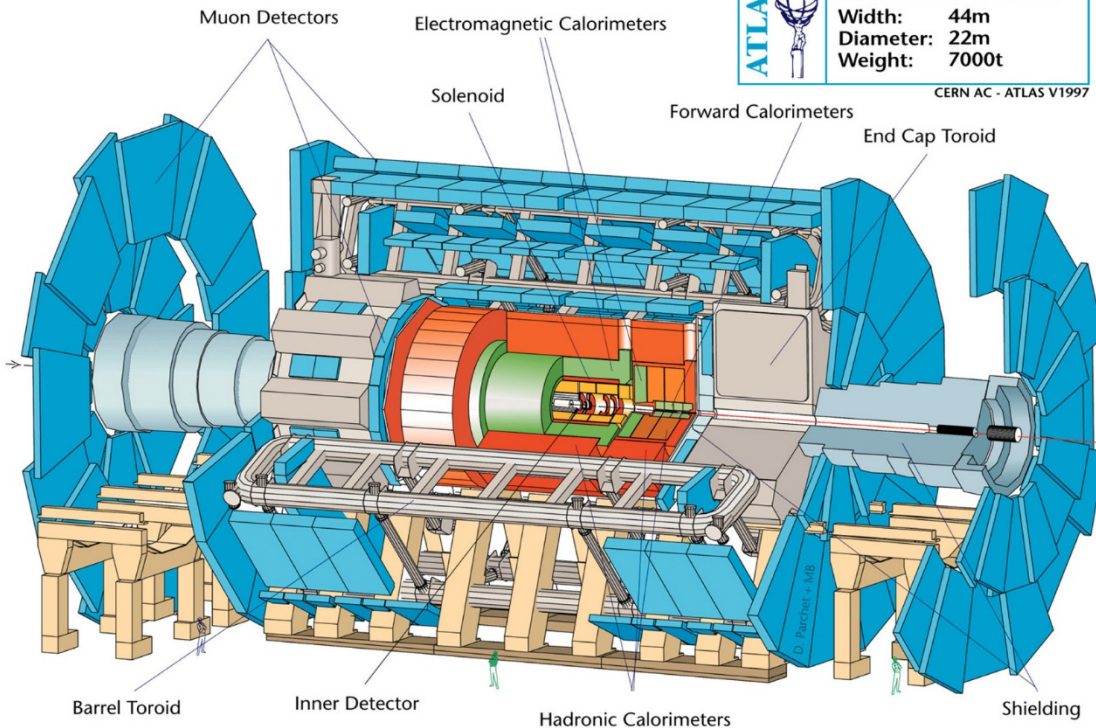


**Detector characteristics**

Width: 22m  
 Diameter: 15m  
 Weight: 14'500t

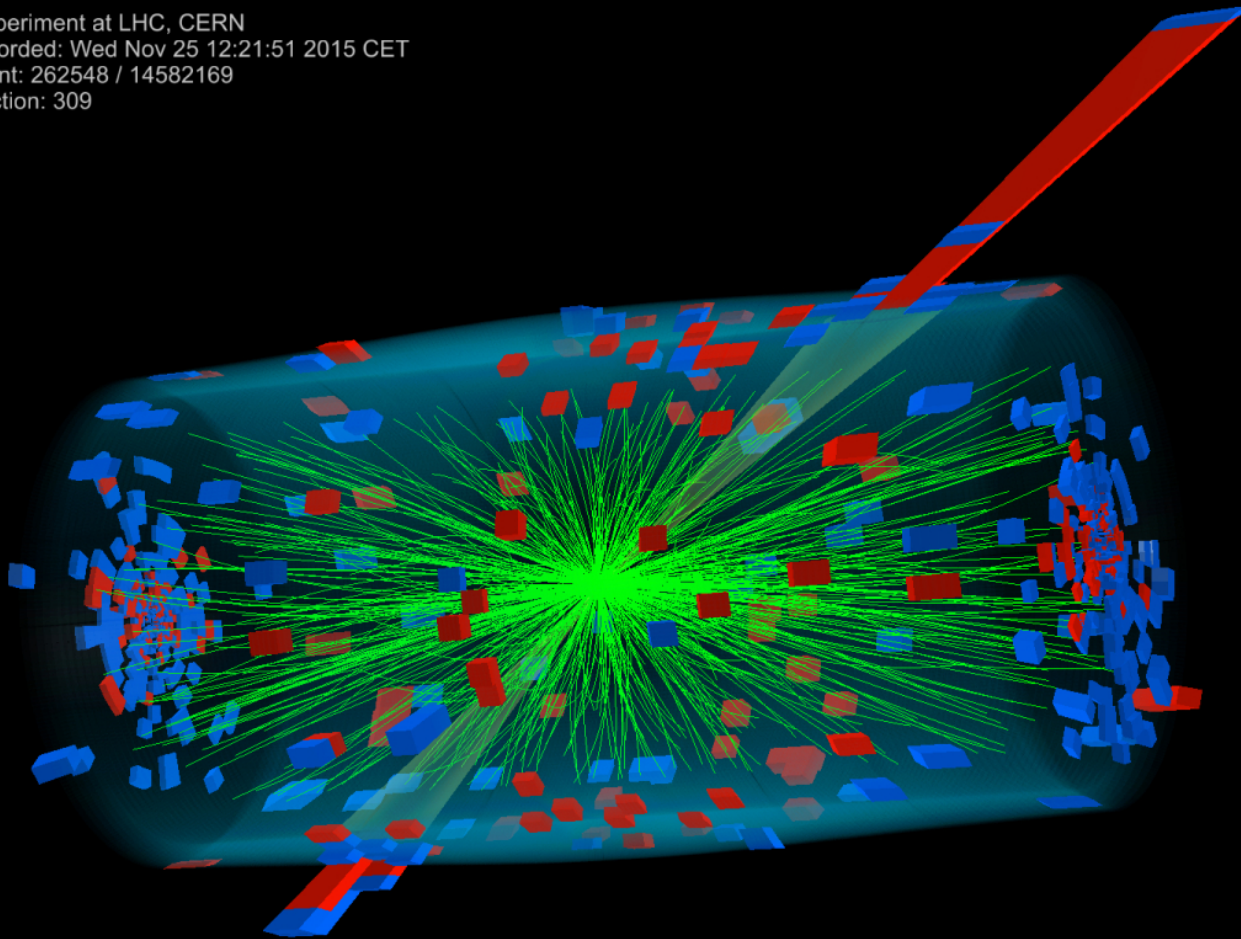
	<b>Detector characteristics</b>
	Width: 44m
	Diameter: 22m
	Weight: 7000t

CERN AC - ATLAS V1997





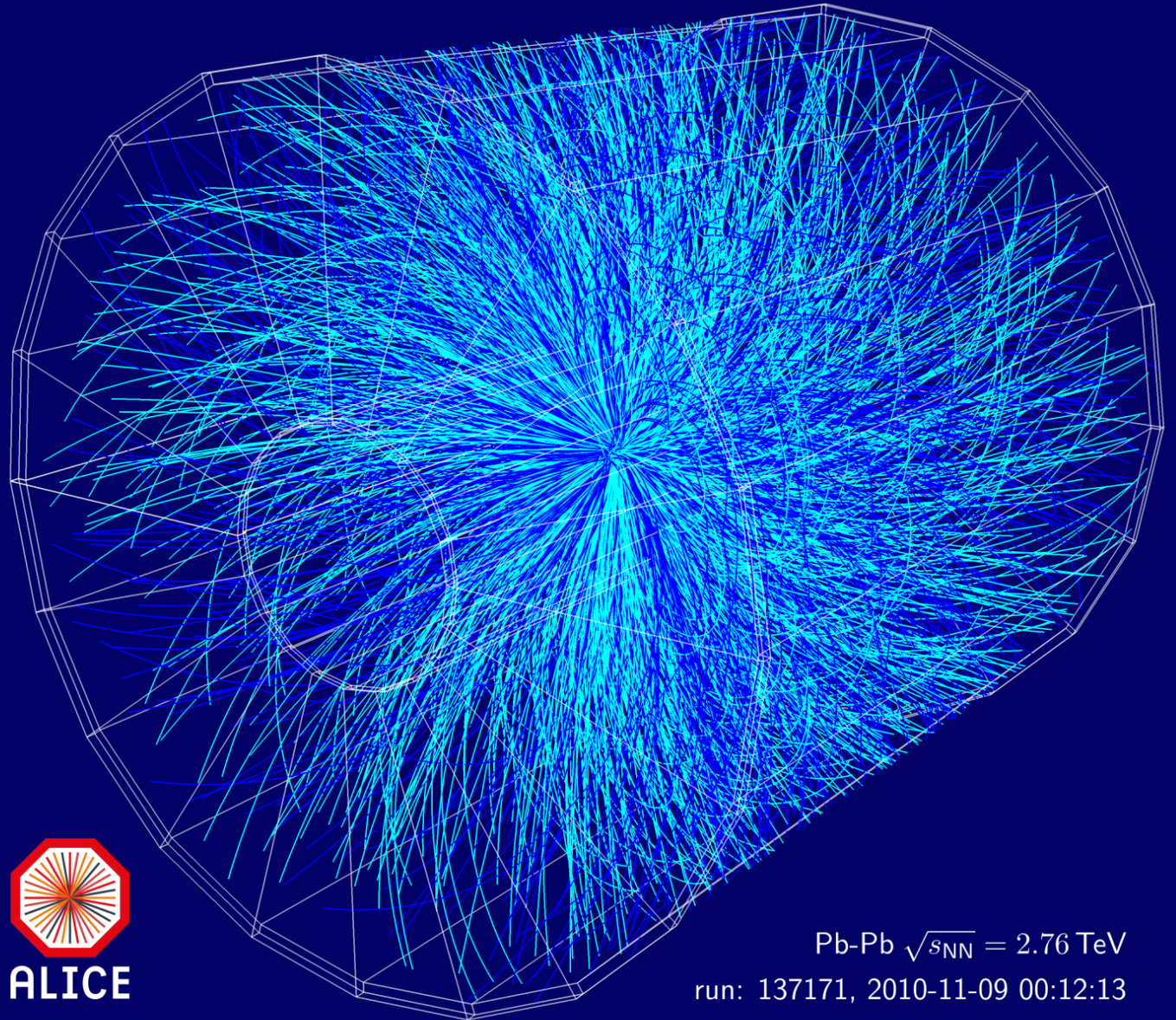
CMS Experiment at LHC, CERN  
Data recorded: Wed Nov 25 12:21:51 2015 CET  
Run/Event: 262548 / 14582169  
Lumi section: 309







CMS Experiment at LHC, CERN  
Data recorded: Wed Nov 05 10:21:51 2010 CET  
Run/Event: 262548 / 14  
Lumi section: 309

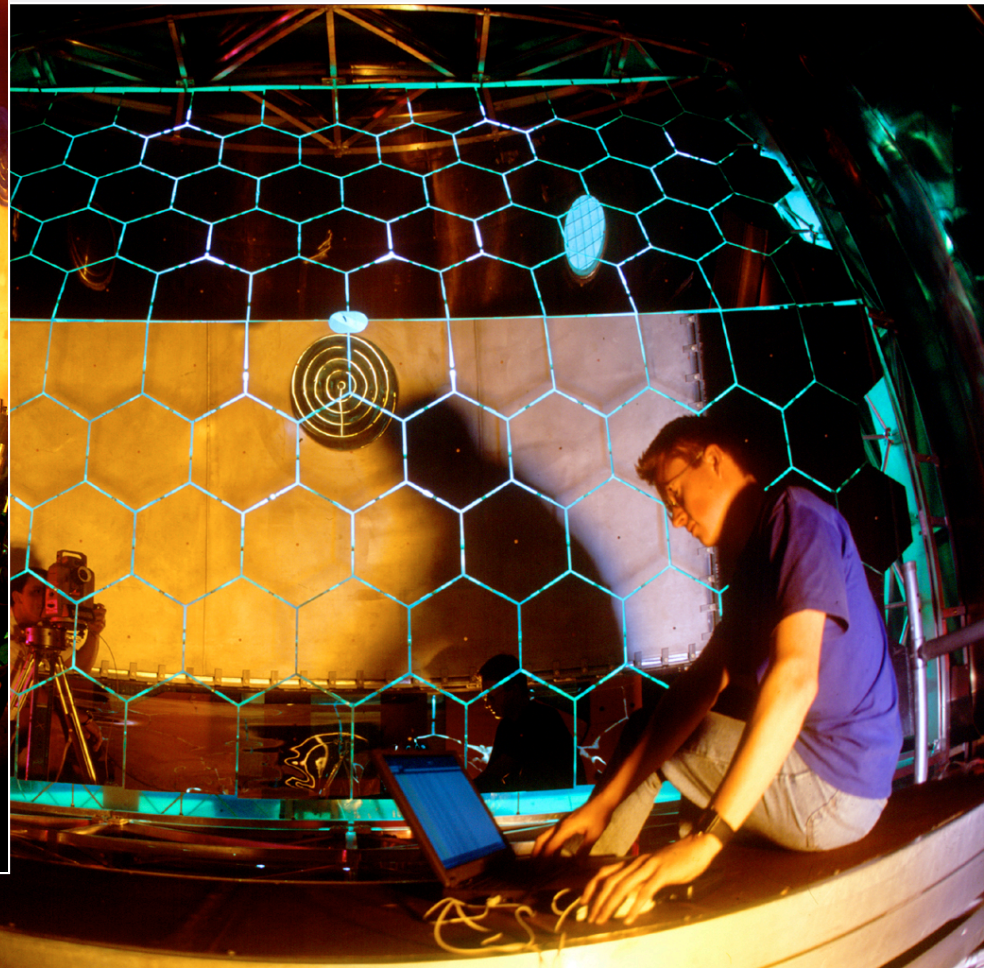
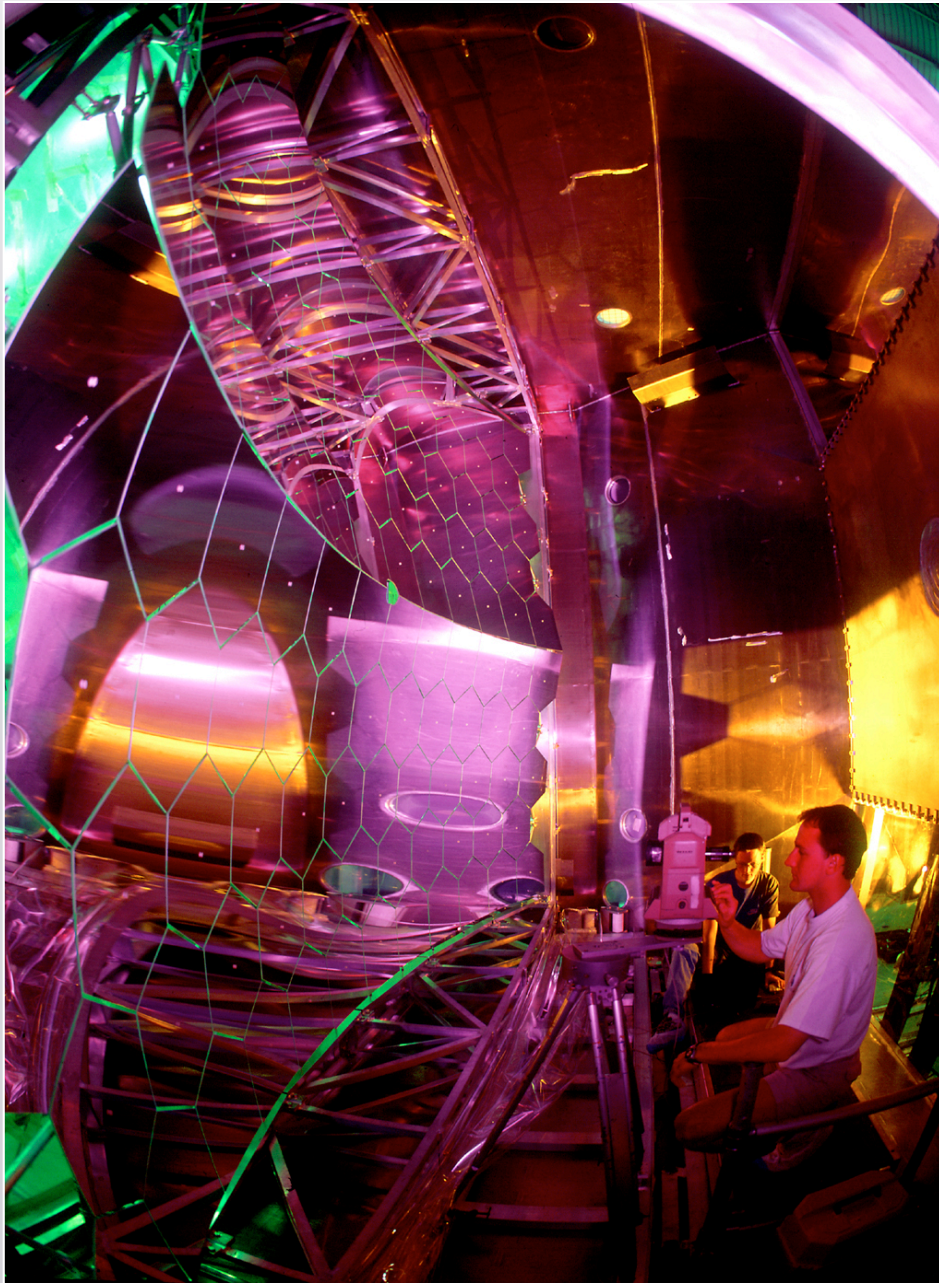


**ALICE**

Pb-Pb  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV  
run: 137171, 2010-11-09 00:12:13



# il RICH di COMPASS



# anni 60

formulazione del **modello a quark**

barioni  $qqq$

mesoni  $q\bar{q}$

	Q/e	B
<b>u</b>	<b>+2/3</b>	<b>1/3</b>
<b>d</b>	<b>-1/3</b>	<b>1/3</b>
<b>s</b>	<b>-1/3</b>	<b>1/3</b>

# 50 anni dopo

Tre generazioni della materia (fermioni)

	I	II	III	
massa →	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV	0
carica →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
nome →	<b>u</b> up	<b>c</b> charm	<b>t</b> top	<b><math>\gamma</math></b> fotone
Quark	4.8 MeV	104 MeV	4.2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	<b>d</b> down	<b>s</b> strange	<b>b</b> bottom	<b>g</b> gluone
Leptoni	2.2 eV	0.17 MeV	15.5 MeV	91.2 GeV <sup>0</sup>
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	<b><math>\nu_e</math></b> neutrino elettronico	<b><math>\nu_\mu</math></b> neutrino muonico	<b><math>\nu_\tau</math></b> neutrino tauonico	<b>Z</b> forza debole
Bosoni (Forze)	0.511 MeV	105.7 MeV	1.777 GeV	80.4 GeV
	-1	-1	-1	$\pm 1$
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	<b>e</b> elettrone	<b><math>\mu</math></b> muone	<b><math>\tau</math></b> tauone	<b>W<sup>±</sup></b> forza debole

**+ antiparticelle**

**e molti problemi aperti**

masse ?

3 famiglie ?

QCD



# i successi del CERN

1958 Teoria V-A

1974 CORRENTI NEUTRE

1983 W, Z<sup>0</sup>

Premio Nobel

C. Rubbia e  
S. Van Der Meer



1989 SPIN del protone

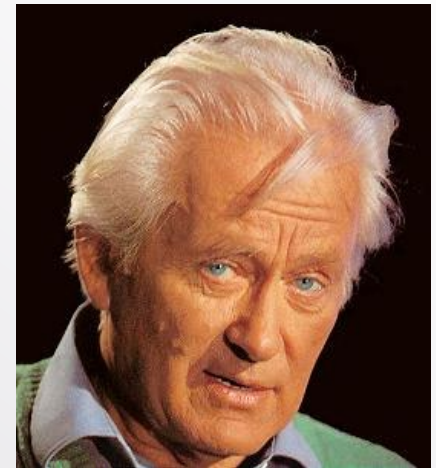
1994 larghezza Z<sup>0</sup> al LEP

1971 ISR

COOLING  
STOCASTICO

1992 MWPC

Premio Nobel



G. Charpak

1993 WordWideWeb

GRID

2013 scoperta del  
Bosone di Higgs a LHC



**il CERN ha sviluppato un programma  
(il **WordWideWeb**) che il 30 aprile 1993 e' stato  
messo a disposizione di tutti**

**Tim Bernes-Lee,  
l'inventore del Web,  
con Fabiola Gianotti  
nel 2019, per i  
30 anni del Web**



**dopo 10 anni il Web e' diventato uno strumento  
indispensabile del mondo della comunicazione**