



II CERN e la ricerca in fisica delle particelle elementari

**prof. Franco Bradamante
Universita' degli Studi di Trieste & Sezione INFN di Trieste**

**Dipartimento di Fisica
Trieste, 7 aprile 2014**

Hands on Particle Physics
International Masterclasses for High School Students



FISICA CLASSICA

XVI-XIX SECOLO

FISICA MODERNA

XX SECOLO

FISICA CLASSICA

GRAVITAZIONE

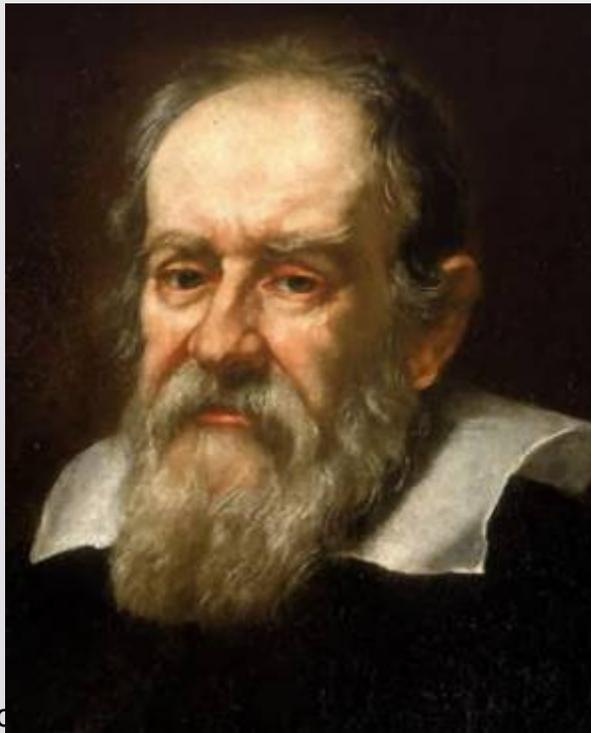
le osservazioni:

N. Copernico (1473-1543)

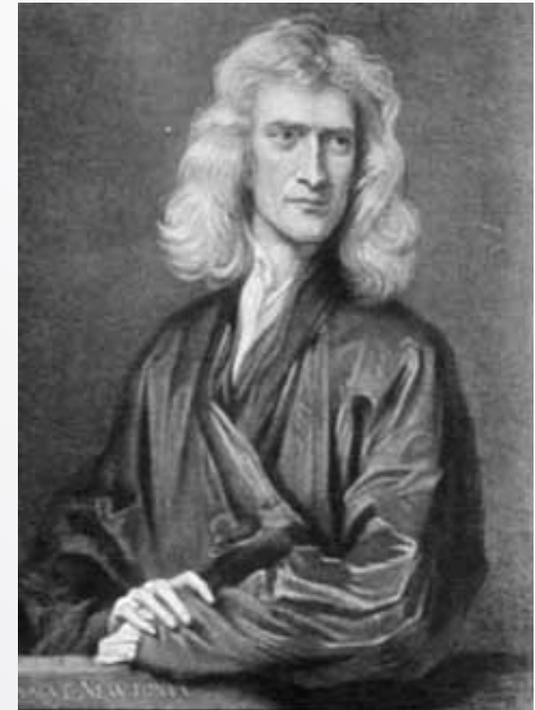
J. Kepler (1571-1630)

il metodo scientifico:

G. Galilei (1564-1642)



Franc



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)



J.C. Maxwell (1831-1879)
onde elettromagnetiche

J. Hertz, G. Marconi

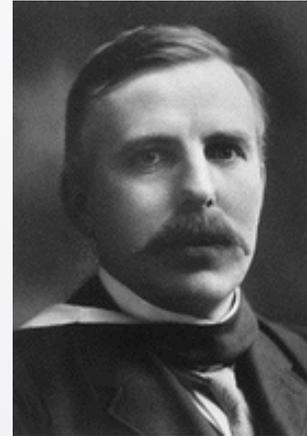
RIVOLUZIONE INDUSTRIALE

FISICA MODERNA

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

~1910 Fisica atomica

E. Rutherford, N. Bohr



Meccanica Quantistica

E. Schroedinger
W. Heisenberg
P.A. Dirac



Relatività

A. Einstein



NUOVA RIVOLUZIONE
scoperta dell'antimateria

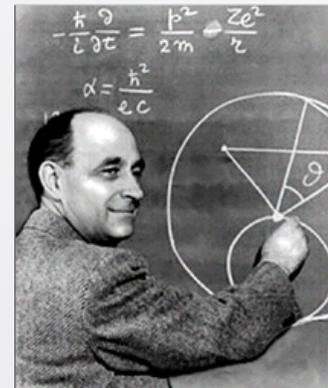
scoperte **due nuove forze** in natura, di corta portata:

forza “debole” ➔ **radioattività**

forza “forte” ➔ **trasmutazioni nucleari**

~1930 **fisica nucleare**

E. Fermi
H. Yukawa



~1950 **fisica delle particelle elementari**

~1950 **fisica delle particelle elementari**



- **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

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 →

Einstein →

Segrè →

.....

Pontecorvo →

poi dalla guerra

bisognava ripartire da zero ...

Italia:

nel **1951** viene creato l'INFN 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 del 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 più 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, 7 aprile 2014

alcuni dei padri fondatori



il CERN oggi



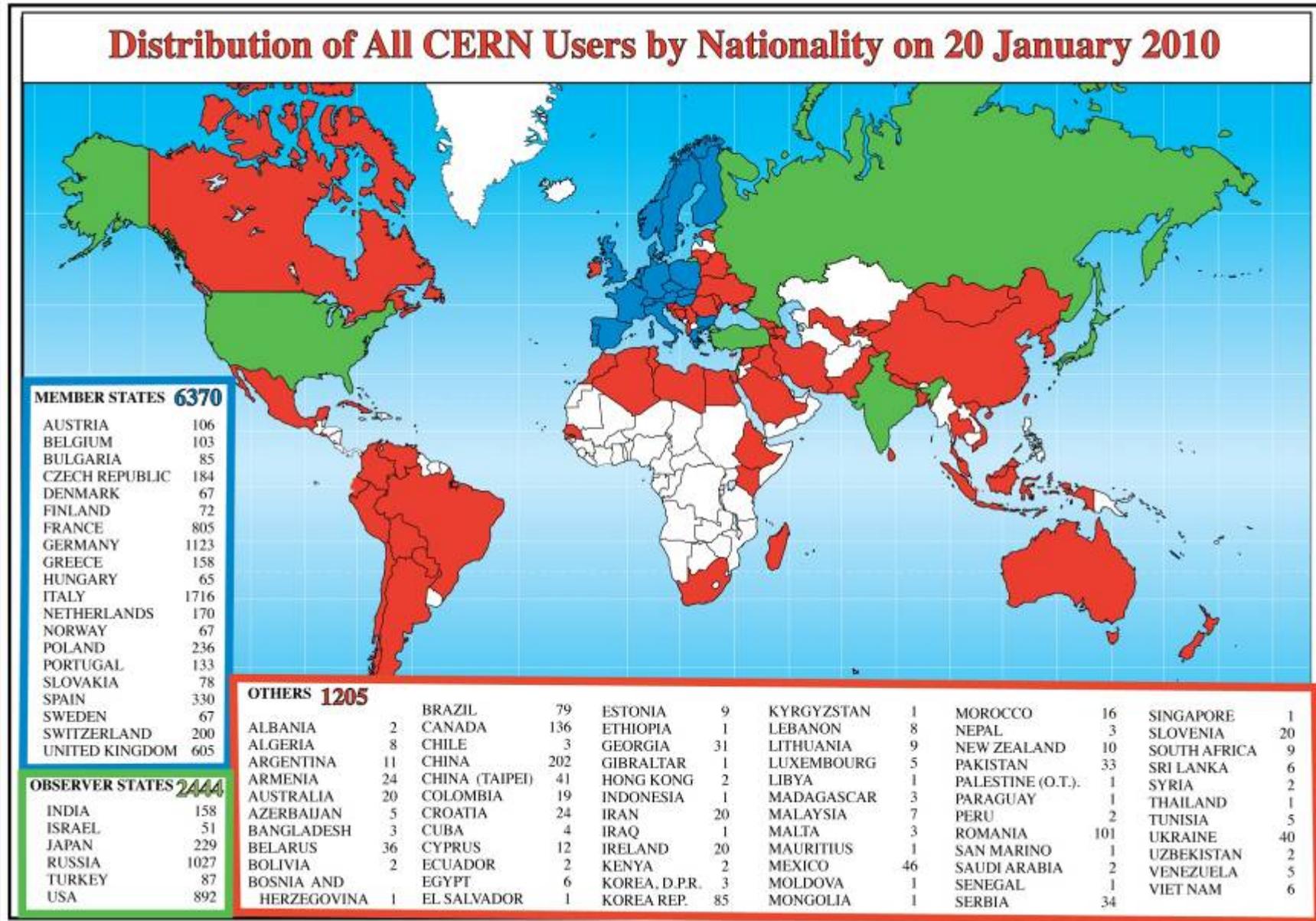
il CERN è gestito da 20 Stati Membri europei

**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 attività**



e partecipano anche Paesi non europei:





**il complesso
degli
acceleratori
al CERN**

Lago Lemanno

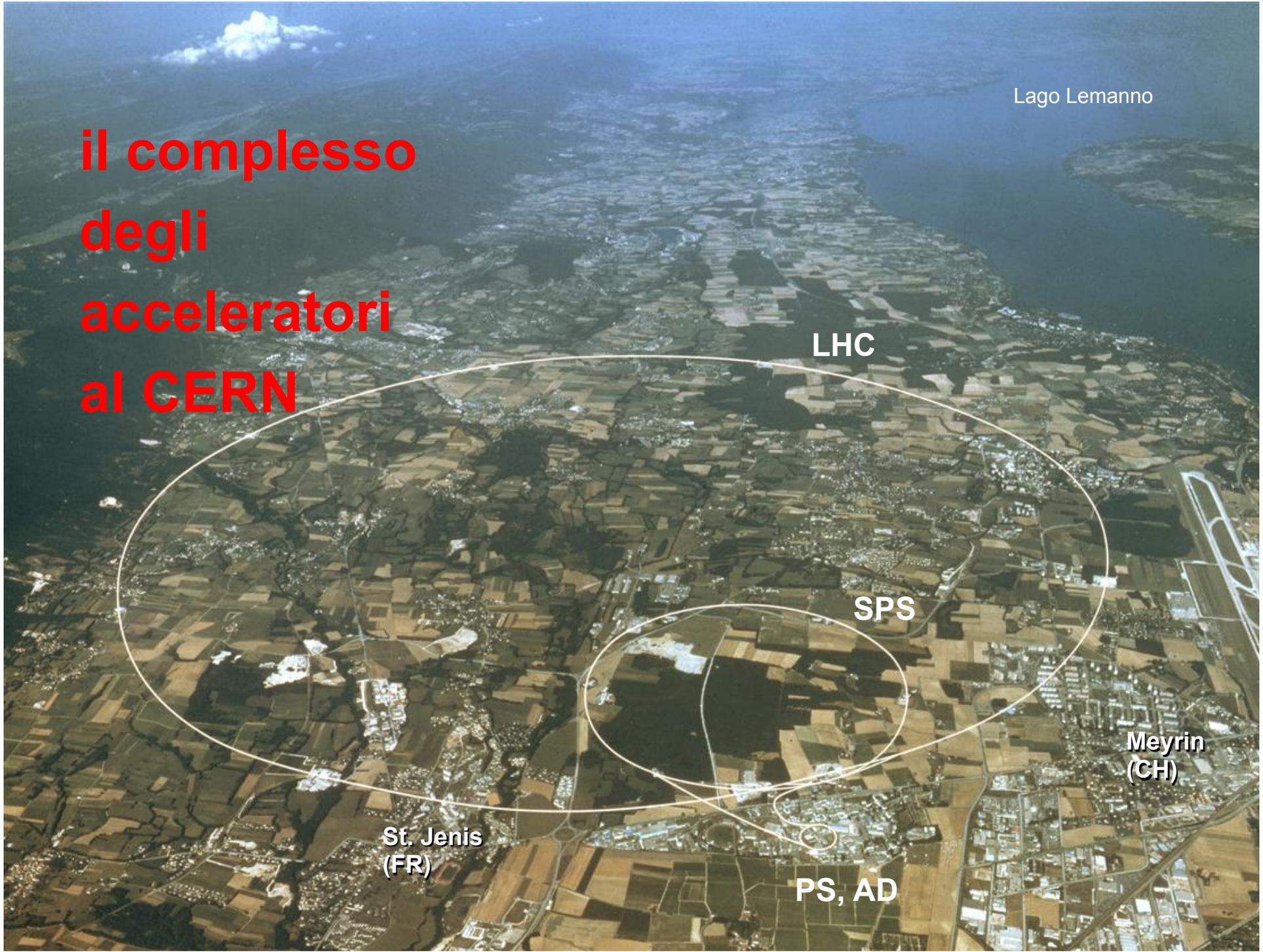
LHC

SPS

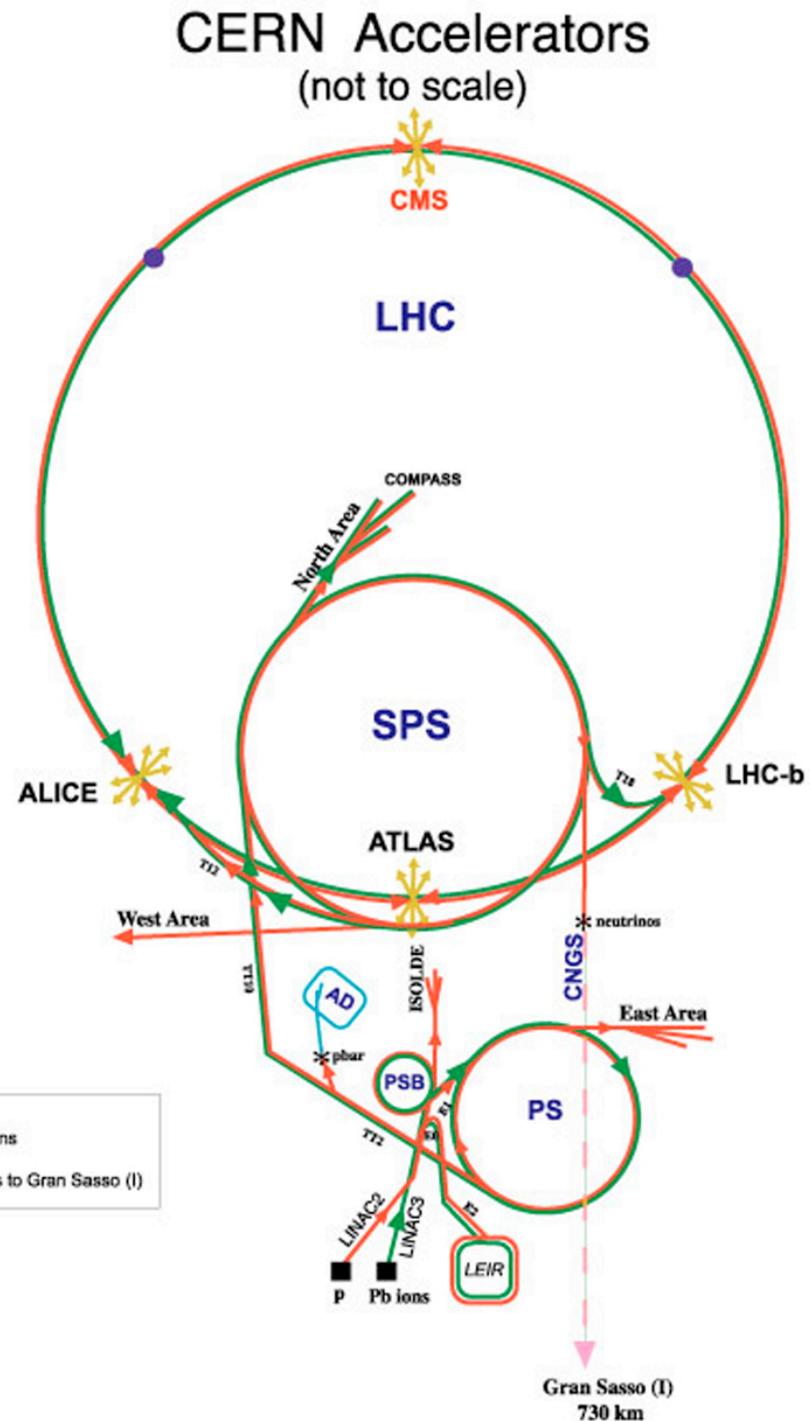
Meyrin
(CH)

St. Jenis
(FR)

PS, AD



il complesso degli acceleratori al CERN



RICERCA :

DIVERSIFICAZIONE è garanzia di SUCCESSO

grazie ad un parco acceleratori eccezionale il CERN ha sempre (quasi) sostenuto diverse linee di ricerca

PS , ISR, SPS, SppbarS, LEAR, AD, LEP, LHC



PS

- [AD-2](#) (*ATRAP*) Cold Antihydrogen for Precise Laser Spectroscopy
- [AD-3](#) (*ASACUSA*) Atomic Spectroscopy and Collisions Using Slow Antiprotons The ASACUSA Collaboration
- [AD-4](#) (*ACE*) Relative Biological Effectiveness and Peripheral Damage of Antiproton Annihilation
- [AD-5](#) (*ALPHA*) Antihydrogen Laser Physics Apparatus
- [AD-6](#) (*AEGIS*) Antihydrogen Experiment Gravity Interferometry Spectroscopy
- [PS212](#) (*DIRAC*) Lifetime Measurements of $\pi^+\pi^-$ and π K Atoms to Test Low-Energy QCD Predictions
- [PS215](#) (*CLOUD*) A Study of the Link between Cosmic Rays and Clouds with a Cloud Chamber at the CERN PS
- [nTOF1](#) European Collaboration for High-Resolution Measurements of Neutron Cross Sections between 1 eV and 250 MeV
-
- [nTOF17](#) The neutron capture cross section of the s-process branch point isotope ^{63}Ni

SPS

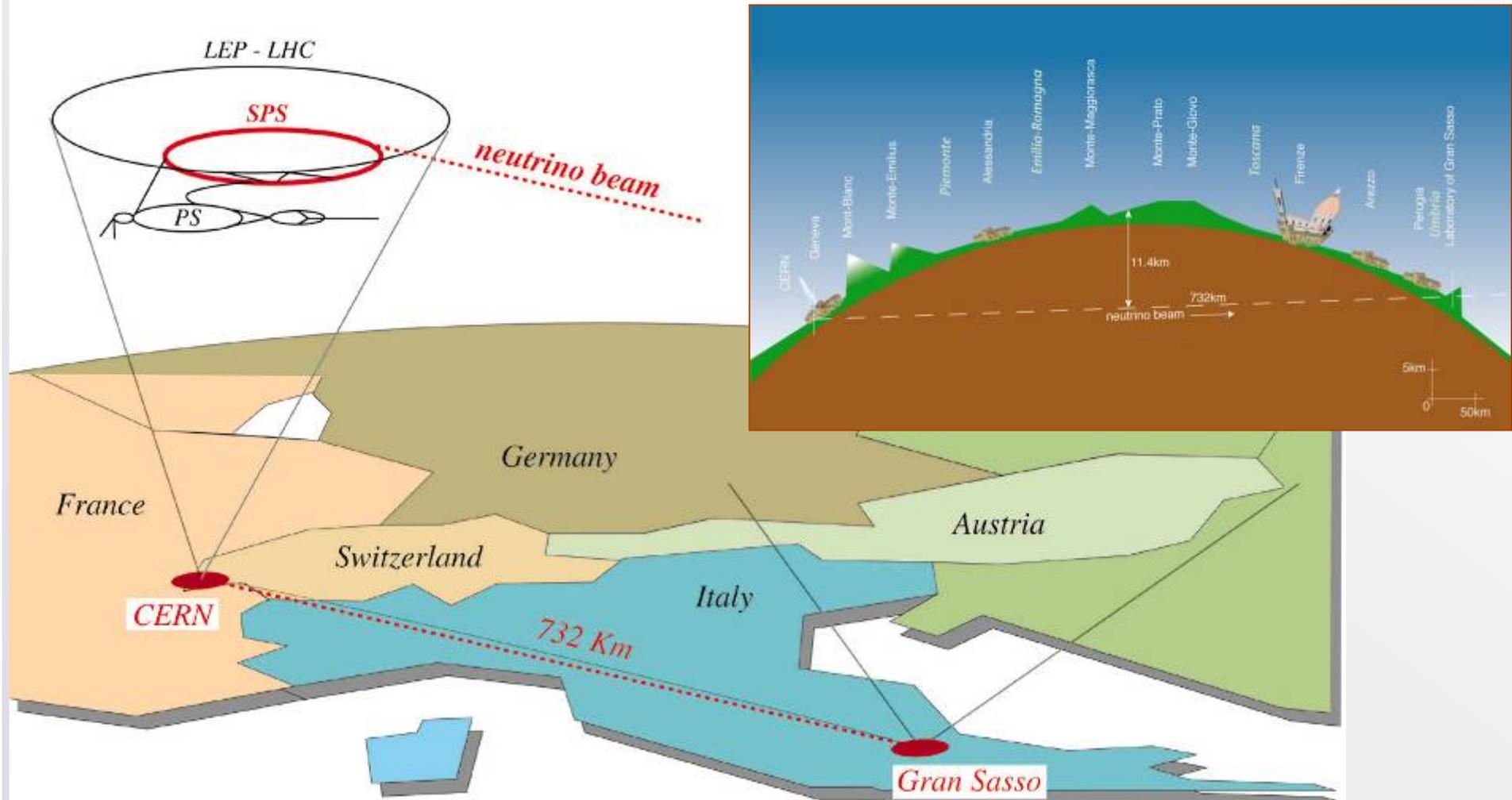
- [CNGS1](#) (*OPERA*) An Appearance Experiment to Search for $\nu_{\mu} \rightarrow \nu_{\tau}$ Oscillations in the CNGS Beam
- [CNGS2](#) (*ICARUS*) A search programme of explicit ν -oscillations with the Icarus detector...
- [NA58](#) (*COMPASS*) COmmon Muon and Proton Apparatus for Structure and Spectroscopy
- [NA61](#) (*SHINE*) Study of Hadron Production in Hadron-Nucleus and Nucleus-Nucleus Collisions
- [NA62](#) Proposal to Measure the Rare Decay $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$
- [NA63](#) Electromagnetic Processes in strong Crystalline Fields

LHC

- [ALICE](#) - A Large Ion Collider Experiment
- [ATLAS](#)
- [CMS](#) - The Compact Muon Solenoid
- [LHCb](#)
- [LHCf](#) - measurement of forward neutral particle production for cosmic ray research
- [MoEDAL](#) - Monopole and Exotics Detector at the LHC
- [TOTEM](#) - Total Cross Section, Elastic Scattering and Diffraction Dissociation

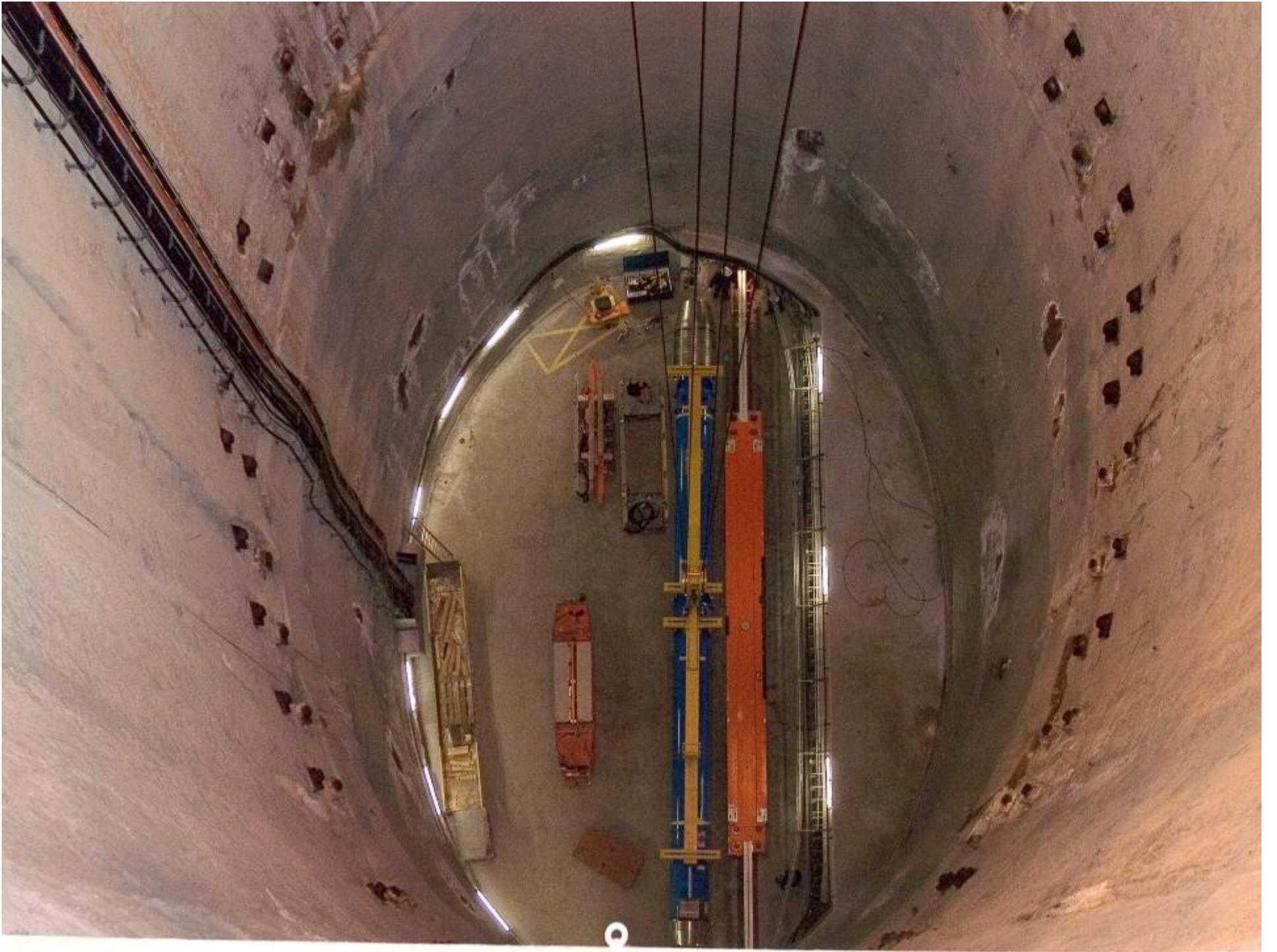
UN PROGETTO INTERESSANTE

CERN to Gran Sasso Neutrino Beam









selezione di
IMMAGINI DELLA
STRUMENTAZIONE
UTILIZZATA



CMS: magnete superconduttore di 223.5 t

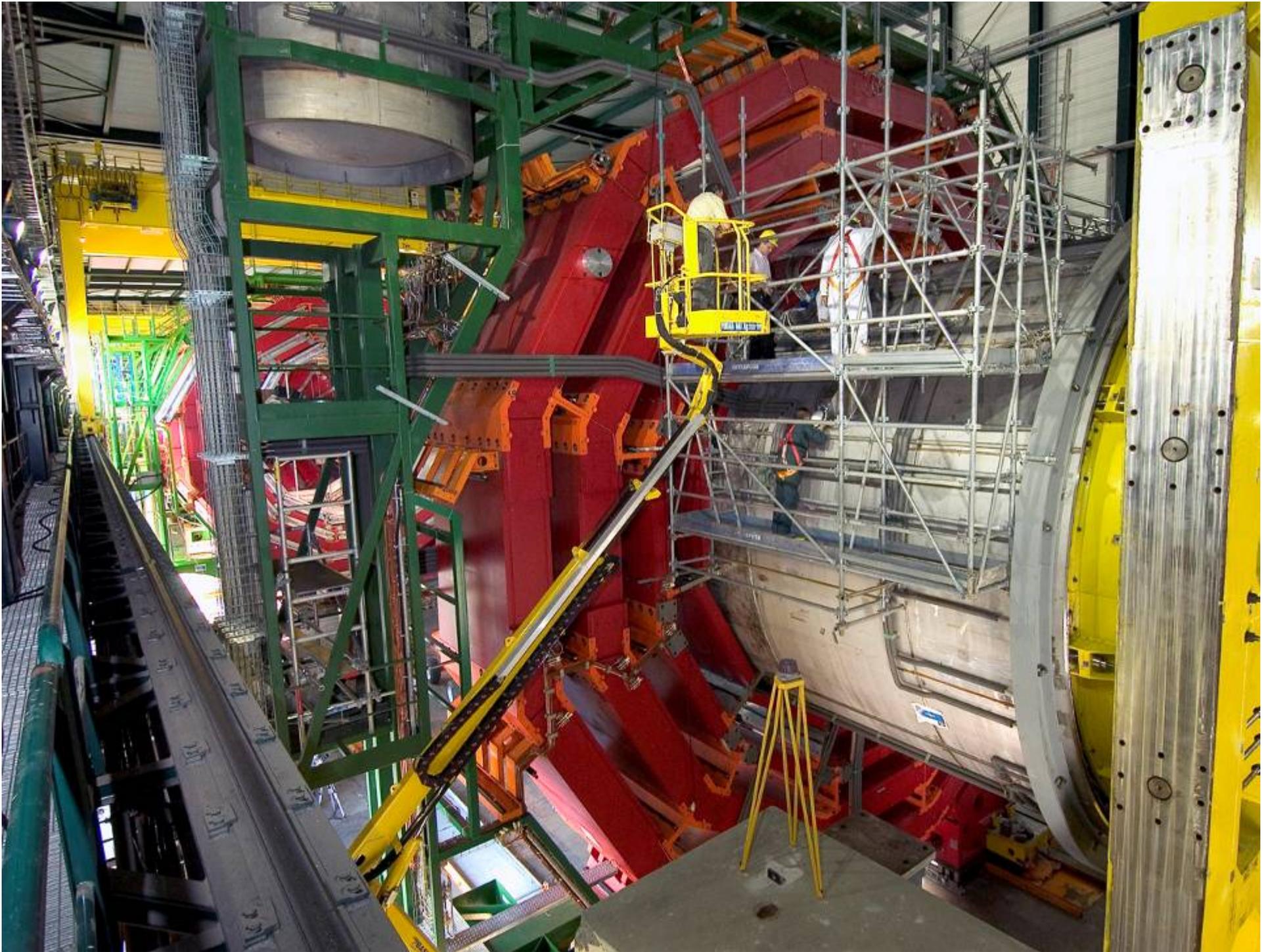
- **14.5 t di cavo
superconduttore**
- **74 t di Al puro**
- **126 t di lega di Al**
- **9 t di isolante**

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

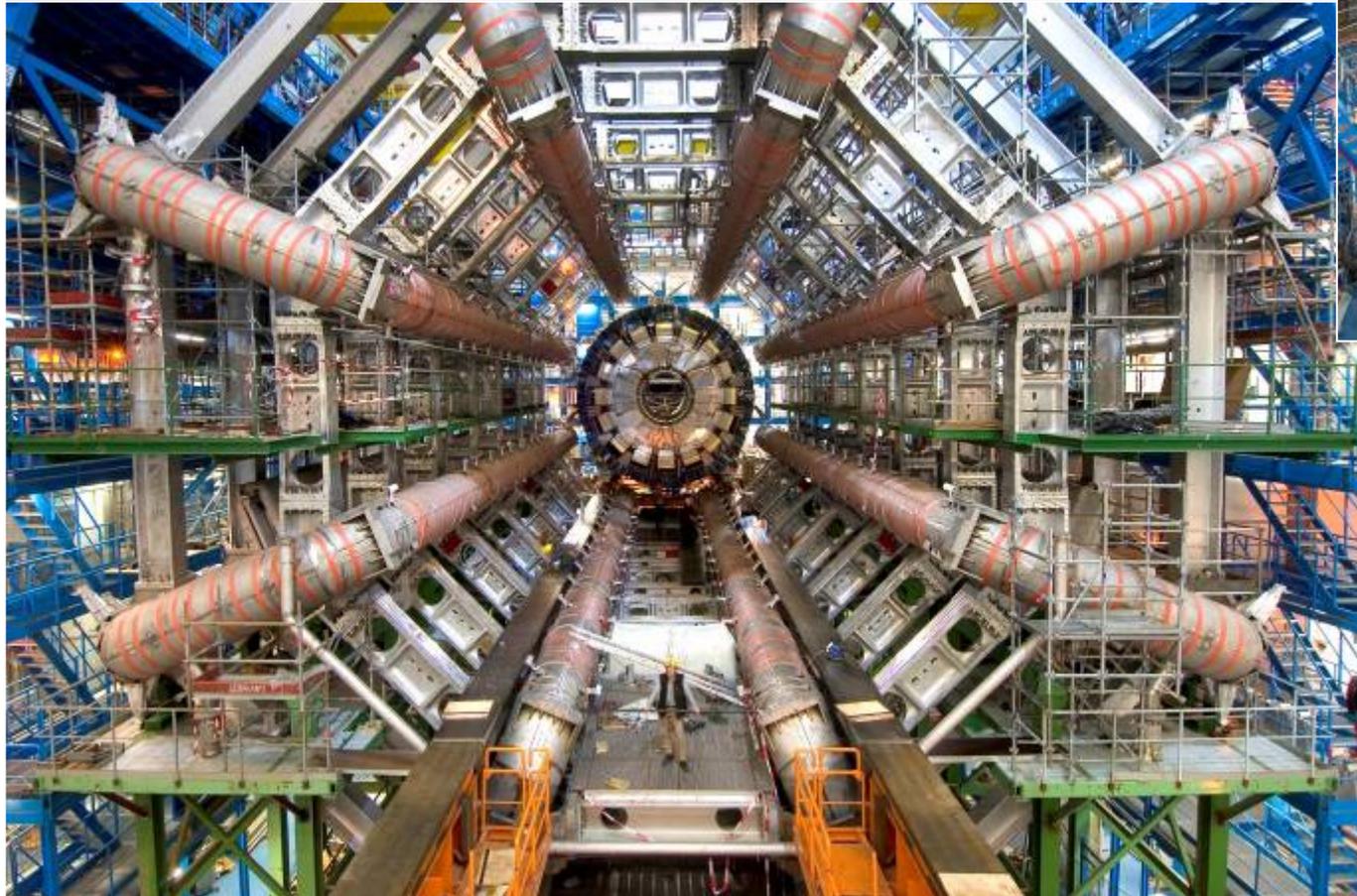
**$B = 4 \text{ T}$ (100000 volte il campo
magnetico terrestre)**

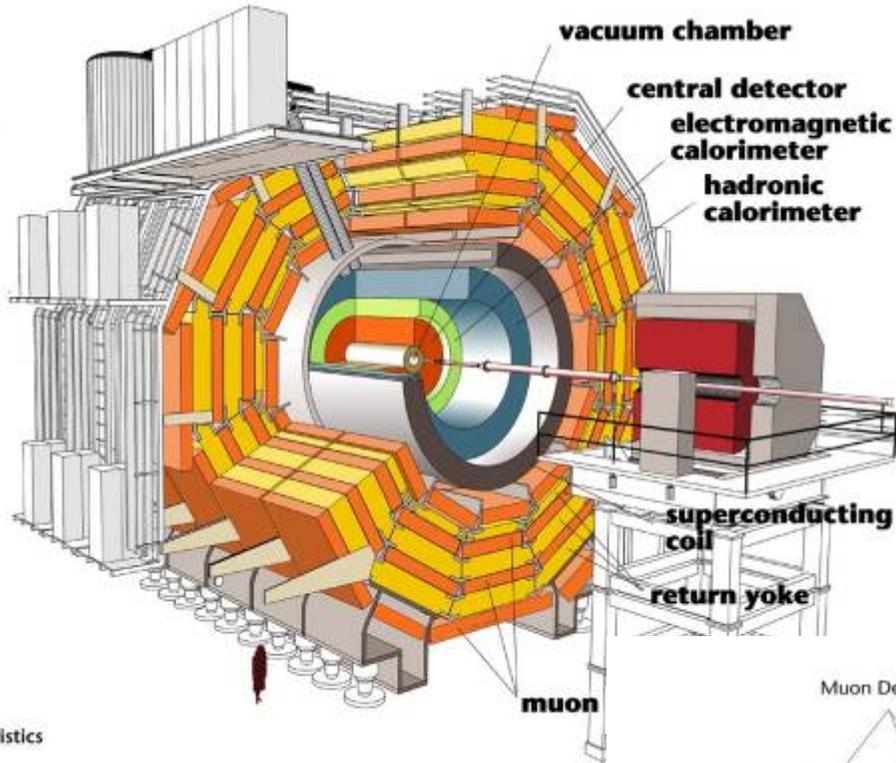
$E = 2.7 \text{ GJ}$

(sufficienti a liquefare 18 t di oro)



il magnete di ATLAS



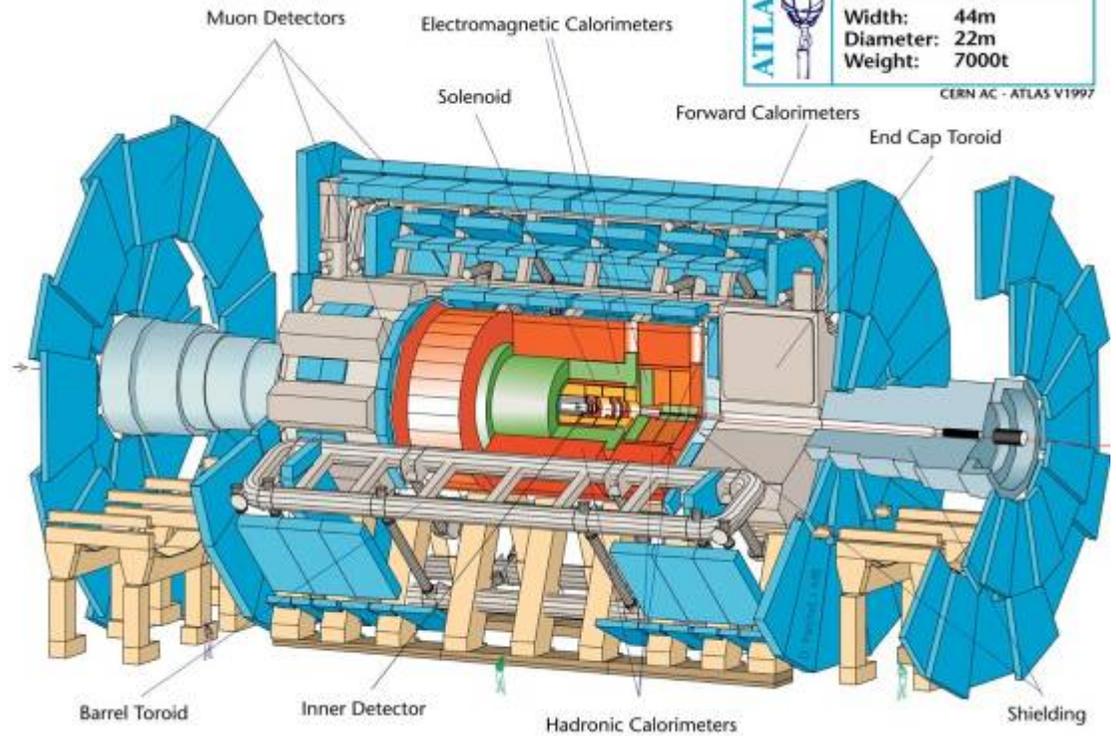


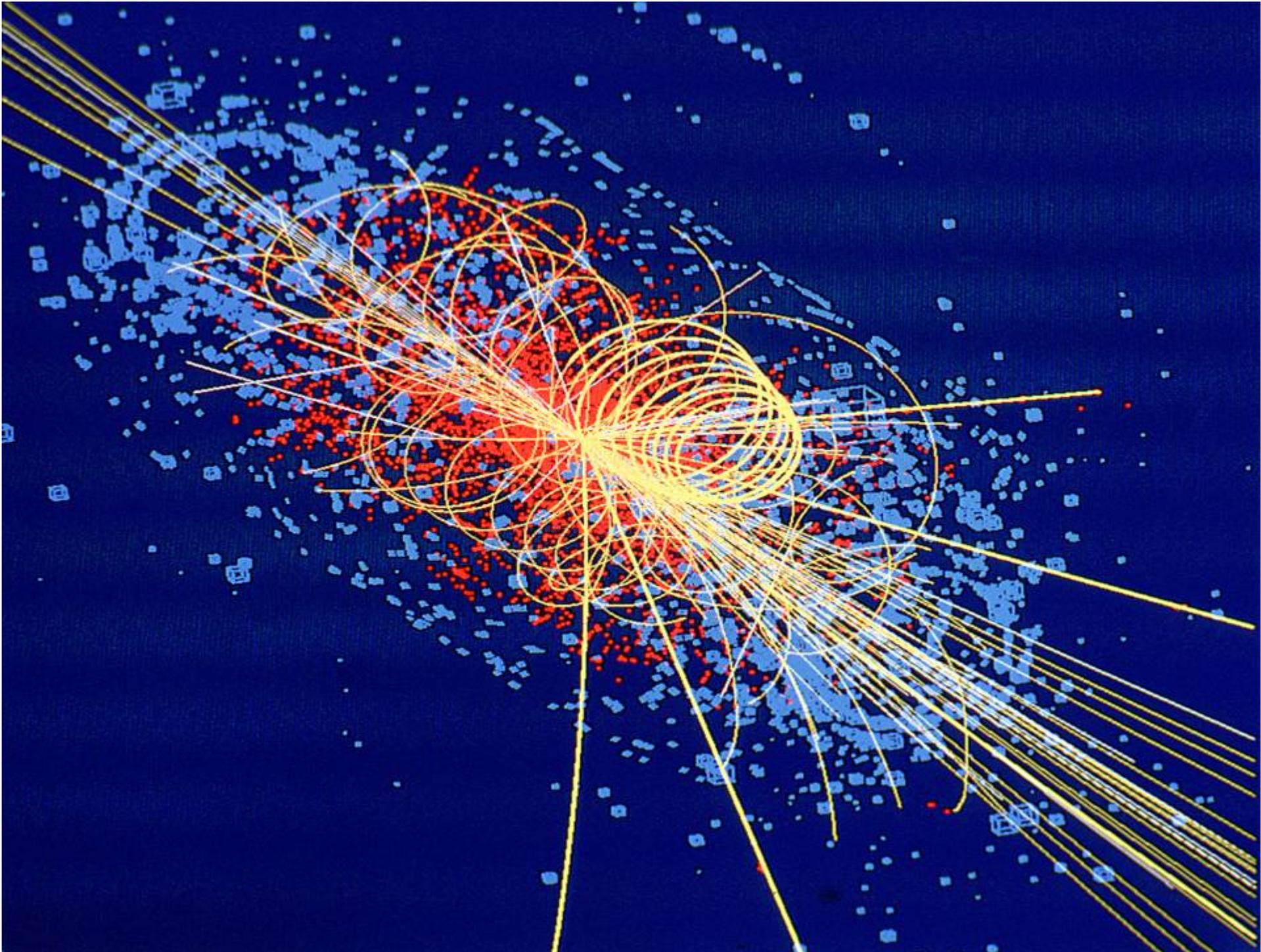
Detector characteristics

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



	Detector characteristics	
	Width:	44m
	Diameter:	22m
	Weight:	7000t
CERN AC - ATLAS V1997		





il RICH di COMPASS



Franco Bradamante, 7 aprile

PERCHE' FARE TUTTO QUESTO SFORZO ?

COS'E' LA NUOVA FISICA?

FISICA CLASSICA

- campo gravitazionale
- campo elettromagnetico

azione istantanea

FISICA MODERNA

- nessun segnale si può propagare con velocità $> c$
- il campo è “quantizzato”

FISICA CLASSICA

- campo gravitazionale
- campo elettromagnetico

azione istantanea

FISICA MODERNA

- nessun segnale si può propagare con velocità $> c$
- il campo è “quantizzato”

campo elettromagnetico \rightarrow fotoni

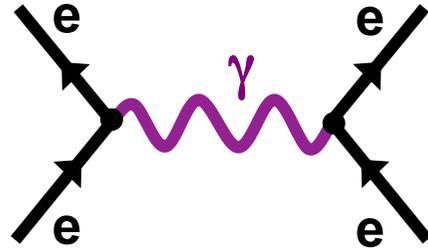
$$\varepsilon = h\nu \quad h = 6.626 \cdot 10^{-34} \quad \text{costante di Plack}$$

$$\text{se } \lambda = \frac{c}{\nu} = 650 \text{ nm (rosso),} \quad \varepsilon = 63 \cdot 10^{-19} \text{ J} \cong 2 \text{ eV}$$

$$\text{massa} = 0$$

$$\text{velocita}' = c = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

trasmissione della forza:



1. emissione del fotone
2. propagazione del fotone
3. assorbimento del fotone

FISICA MODERNA

- nessun segnale si può propagare con velocità $> c$
- il campo è “quantizzato”

campo elettromagnetico → fotoni

la QUANTIZZAZIONE del campo vale anche per le forze che agiscono all'interno della materia nucleare

INTERAZIONE FORTE

INTERAZIONE DEBOLE

interazione forte - teoria di Yukawa



le forze nucleari agiscono su piccole distanze (10^{-15} m = 1 fm)

→ la particella scambiata ha massa

previsione di Yukawa: DEVE ESISTERE il PIONE

$$m_{\pi} \approx 105 \text{ MeV} \approx \frac{1}{7} m_N c^2$$

nel 1947 scoperti π^+ , π^- , π^0

interazione forte - teoria di Yukawa



le forze nucleari agiscono su piccole distanze (10^{-15} m = 1 fm)

→ la particella scambiata ha massa

previsione di Yukawa: **DEVE ESISTERE IL PIONE**

$$m_{\pi} \approx 105 \text{ MeV} \approx \frac{1}{7} m_N c^2$$

nel 1947 scoperti π^+ , π^- , π^0

IL PIONE ESISTE !

NON ERA LA PRIMA VOLTA CHE VENIVA PREVISTA L'ESISTENZA DI UNA PARTICELLA

1930: Ipotesi di W. PAULI sull'esistenza del **neutrino**

1931: Ipotesi di P. DIRAC sull'esistenza dell' **antimateria**

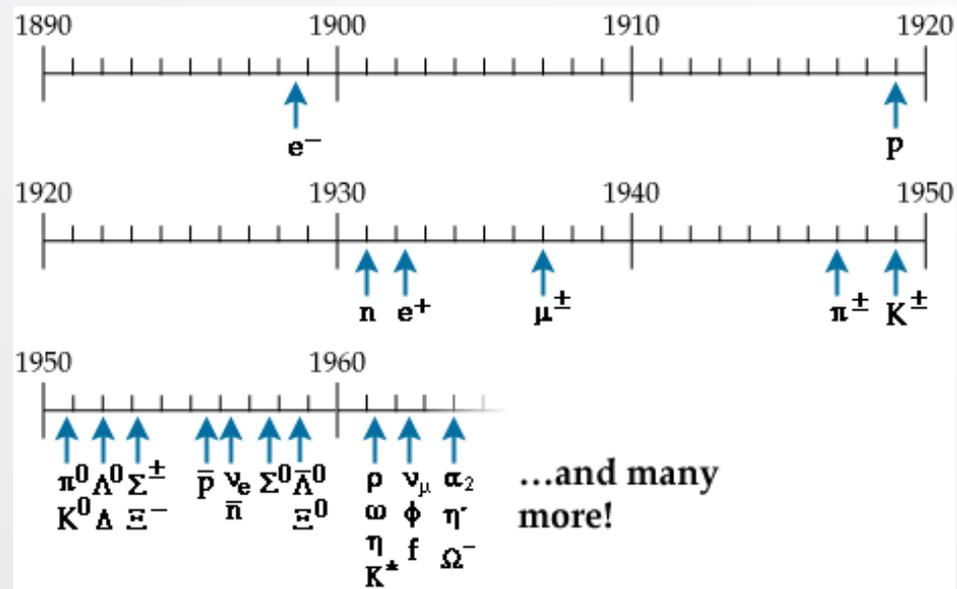
anni 60

- costruzione dei primi acceleratori di particelle di alta energia

PS al CERN

AGS a BNL

- scoperte tantissime “**particelle**” create nelle interazioni nucleari alle alte energie
- scoperti i **mediatori delle forze deboli**
- scoperti i **mediatori delle forze nucleari**



anni 60

- costruzione dei primi acceleratori di particelle di alta energia

PS al CERN

AGS a BNL

- scoperte tantissime “**particelle**”
create nelle interazioni nucleari
alle alte energie
- scoperti i **mediatori**
delle forze deboli
- scoperti i **mediatori**
delle forze nucleari
- formulazione del **modello a quark**

barioni qqq

mesoni $q\bar{q}$

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

anni 60

formulazione del **modello a quark**

barioni qqq

mesoni $q\bar{q}$

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

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 →	u up	c charm	t top	γ fotone
	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
Quark	d down	s strange	b bottom	g gluone
	2.2 eV	0.17 MeV	15.5 MeV	91.2 GeV
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	ν_e neutrino elettronico	ν_μ neutrino muonico	ν_τ neutrino tauonico	Z⁰ forza debole
	0.511 MeV	105.7 MeV	1.777 GeV	80.4 GeV
	-1	-1	-1	± 1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Leptoni	e elettrone	μ muone	τ tauone	W[±] forza debole
				Bosoni (Forze)

+ antiparticelle

e molti problemi aperti

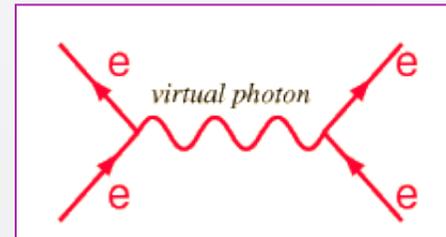
masse ?

3 famiglie ?

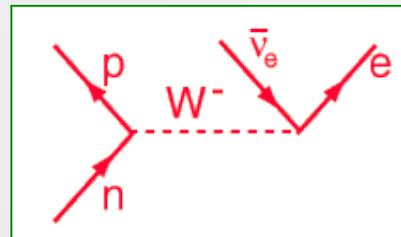
QCD

TUTTE LE INTERAZIONI IN NATURA AVVENGONO TRAMITE SCAMBIO DI QUANTI DEL CAMPO

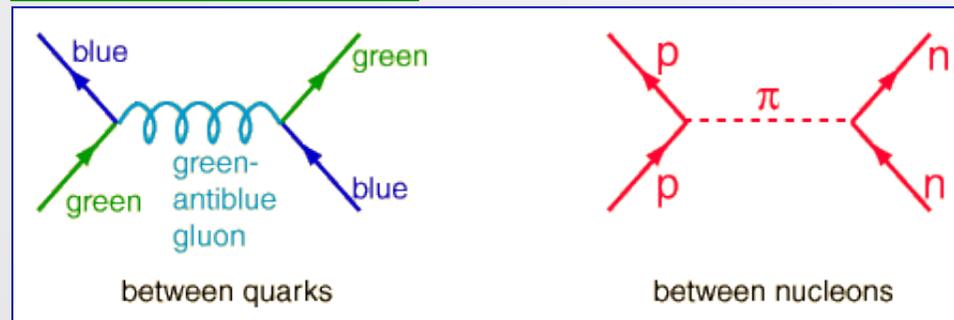
- forze **ELETTROMAGNETICHE**
FOTONI



- forze **DEBOLI**
 W^+ W^- Z^0



- forze **FORTI**
GLUONI



Ma: ancora molto da capire sulle forze forti (QCD)
(cromo dinamica quantistica)

i successi del CERN

1958 V-A

1974 CORRENTI NEUTRE

1983 W, Z⁰

Premio Nobel



1989 SPIN del protone

1994 larghezza Z⁰ al LEP

2012 Bosone di HIGGS

1971 ISR

COOLING STOCASTICO

MWPC



1992

Premio Nobel

G. Charpak

1993 WorldWideWeb

GRID

**il CERN ha sviluppato un programma
(il **WorldWideWeb**) che il 30 aprile 1993 è stato
messo a disposizione di tutti**

**Tim Bernes-Lee
l'inventore del Web**



**da molti anni il Web è uno strumento indispensabile
del mondo della comunicazione**