

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare^{*} (INFN)

Roberto Ferrari
Pavia, 13 maggio 2022

**promuove, coordina e realizza la ricerca fondamentale
sui costituenti ultimi della materia dell'universo, ovvero
la ricerca in fisica nucleare, subnucleare e astroparticellare*

- ma non solo -

l'INFN nel territorio



Nasce nel 1951

19 sezioni, 11 gruppi,
4 laboratori nazionali,
~ 1850 dipendenti

~ 5000 ricercatori, la maggior
parte universitari,
distribuiti in 16 regioni diverse

l'organizzazione

5 linee di ricerca coordinate dalle “Commissioni Scientifiche Nazionali”:

CSN 1: particelle (fisica delle alte energie → acceleratori)

CSN 2: astroparticelle (raggi cosmici e neutrini)

CSN 3: fisica nucleare (sonde di “bassa energia”)

CSN 4: fisica teorica

CSN 5: ricerca tecnologica

+ divulgazione scientifica (C3M)

& trasferimento tecnologico (TT)

Ricerca senza frontiere

Esperimenti attivi a Pavia (CSN 1-3):

ALICE (CSN 3), ATLAS e CMS (CSN 1) @ LHC (CERN)

MEG (CSN 1) @ PSI (Villingen, Svizzera)

MuonE (CSN 1) @ SPS (CERN)

RD_FCC @ future circular colliders (CERN, CHINA, ?) - 100 km tunnel

RD_MUCOL@ future muon colliders (??)

GAPS (CSN 2) @ pallone stratosferico (Antartide)

HERD_DMP (CSN 2) @ CSS (China Space Station)

ICARUS (CSN 2) @ Fermilab neutrino facility (US)

XRO (CSN 2) @ satelliti (NASA, China)

FAMU (CSN 3) @ RAL (Regno Unito)

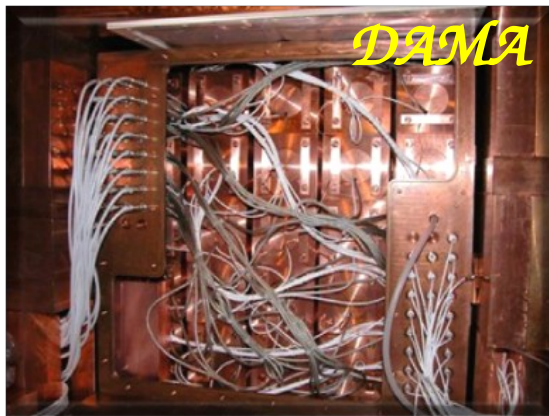
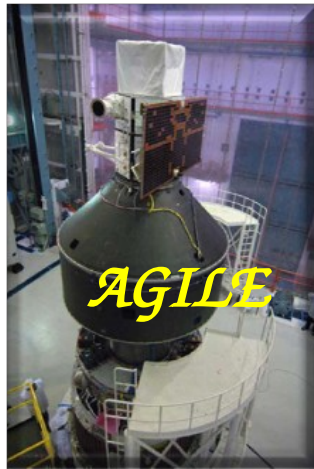
JLAB12 (CSN 3) @ JLAB (US)

LEA (CSN 3) @ LEAR (CERN)

MAMBO (CSN 3) @ MAMI (Mainz, Germania)

N-TOF (CSN 3) @ PS (CERN)

Astroparticelle → terra, aria, acqua (ghiaccio)



a che serve la ricerca fondamentale?

Robert Wilson (US), a proposito del Fermi National Laboratory,
al comitato sull'energia atomica (1969):

« No, non ha nulla a che vedere con la difesa del nostro paese,
eccetto di renderlo degno di essere difeso »

Michael Faraday (UK), al cancelliere dello scacchiere,
sull'induzione e.m. (1821):

« A cosa serva non lo so ma sono sicuro che, prima o poi,
qualcuno al posto tuo ci metterà una tassa sopra »

Ricerca fondamentale

- *non un frutto pronto*
- *un seme che in qualche caso produrrà un albero con frutti inimmaginabili*

l'obiettivo principale?

capire come funziona l'universo ...



È davvero possibile?

« *La filosofia è scritta in questo grandissimo libro che continuamente ci sta aperto innanzi a gli occhi
(io dico l'universo),
ma non si può intendere se prima non s'impara
a intender la lingua, e conoscer i caratteri, ne' quali è scritto.*

Egli è scritto in lingua matematica,
*e i caratteri son triangoli, cerchi, ed altre figure geometriche,
senza i quali mezzi è impossibile a intenderne umanamente parola;
senza questi è un aggirarsi vanamente per un oscuro laberinto. »*

Galileo Galilei, a.d. 1623, Il Saggiatore, Cap. VI

È comunque una scommessa

Il pensiero di un paio di anziani colleghi:

« il mistero più grande è che il mondo sia comprensibile »

(Albert Einstein)

« non ci meravigliamo abbastanza del fatto che una scienza sia possibile, cioè che la nostra ragione ci fornisca i mezzi per comprendere almeno certi aspetti di ciò che accade attorno a noi »

(Louis de Broglie)

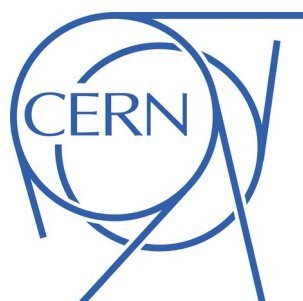
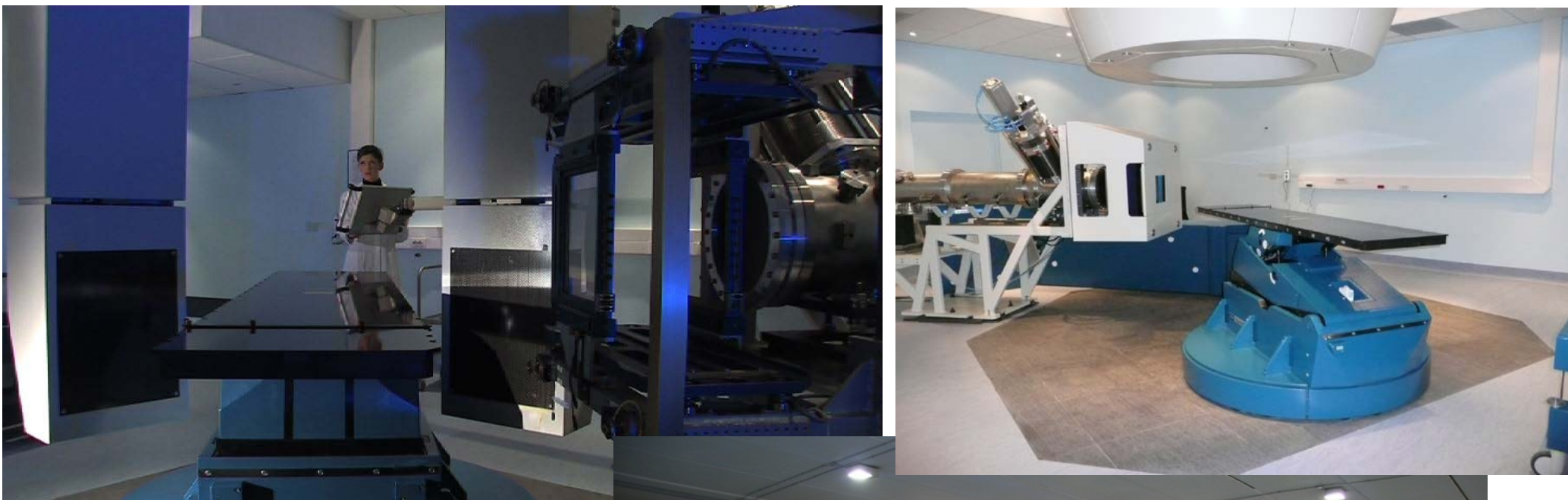
qualche effetto collaterale ...

dove è nato il Web ?

Tim Berners-Lee

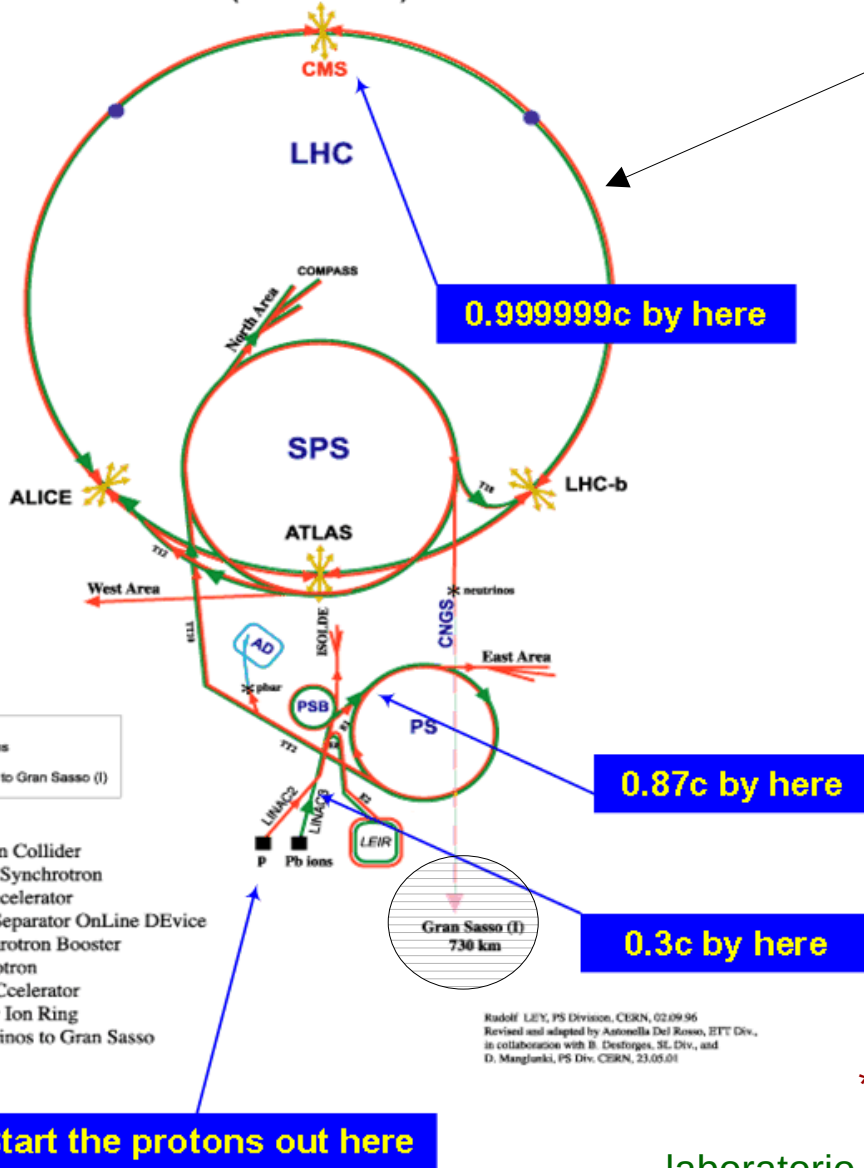


Acceleratori per la cura dei tumori → CNAO



CERN*

CERN Accelerators (not to scale)



LHC ~ 27 km di circonferenza

a) tanti diversi acceleratori:

PS, SPS, ..., LHC

b) tantissimi diversi esperimenti

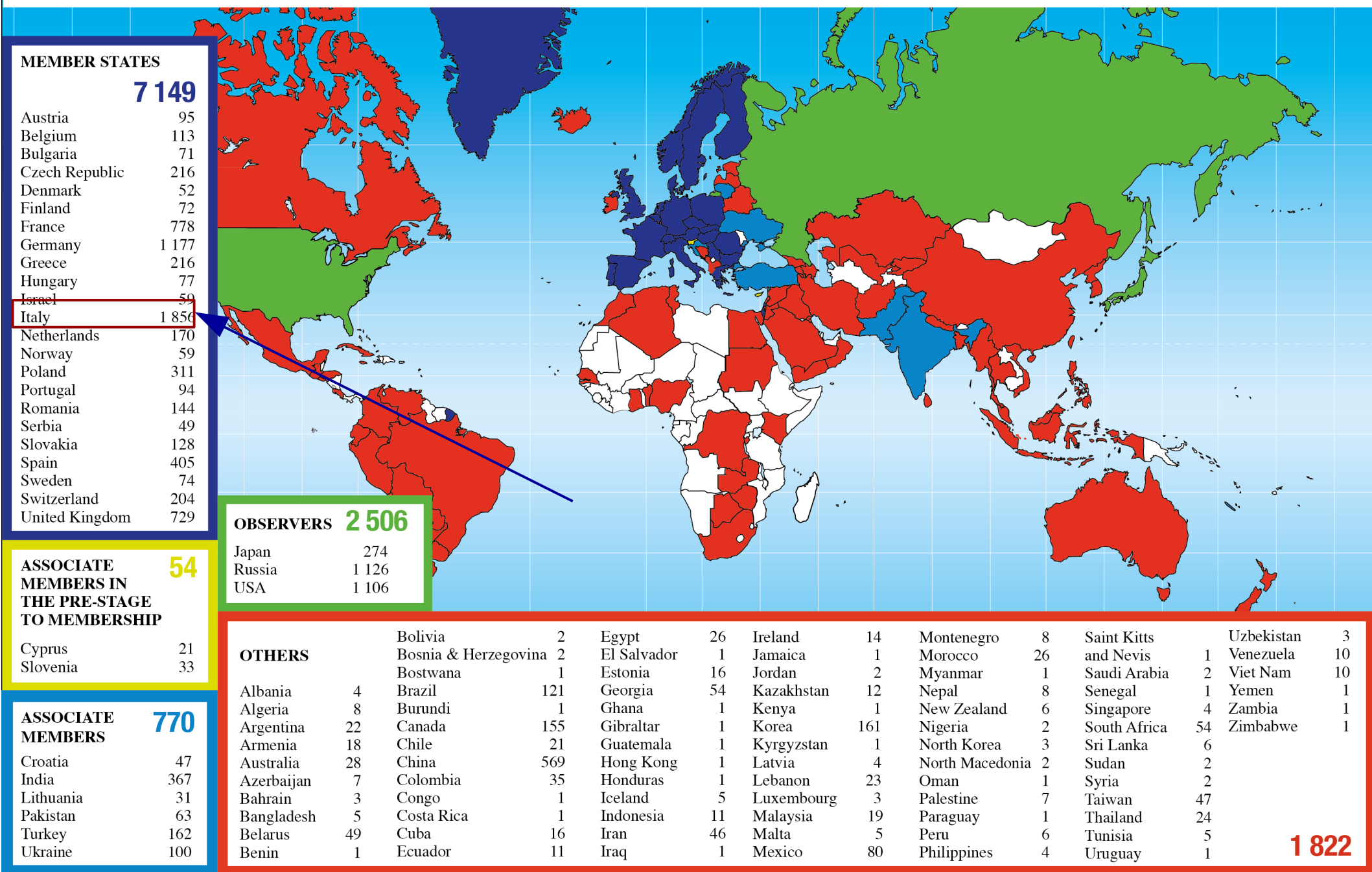
gli acceleratori sono del CERN

gli esperimenti sono di chi li fa

*European Organization for Nuclear Research

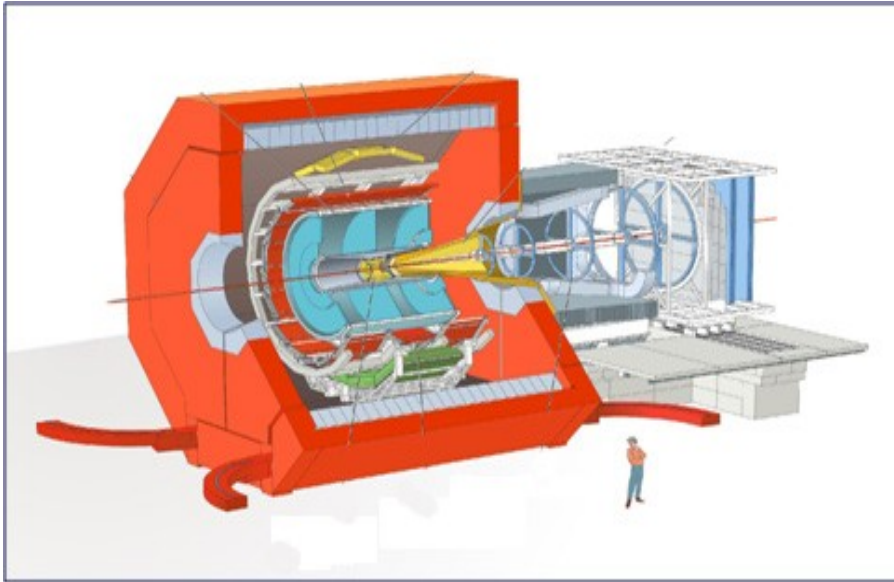
laboratorio europeo per la ricerca in fisica delle particelle elementari

Distribution of All CERN Users by Nationality on 27 January 2020

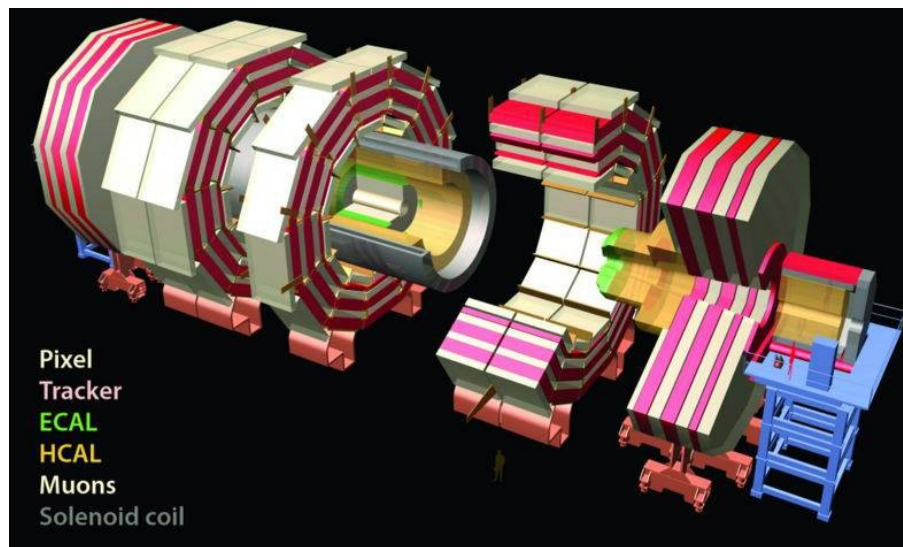
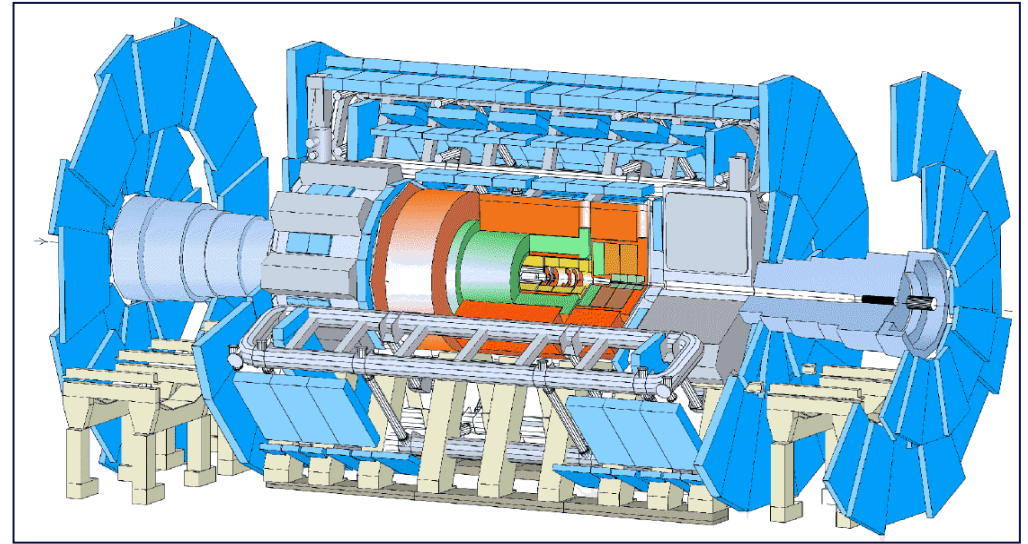


CERN - esperimenti @ LHC : portavoce 2011

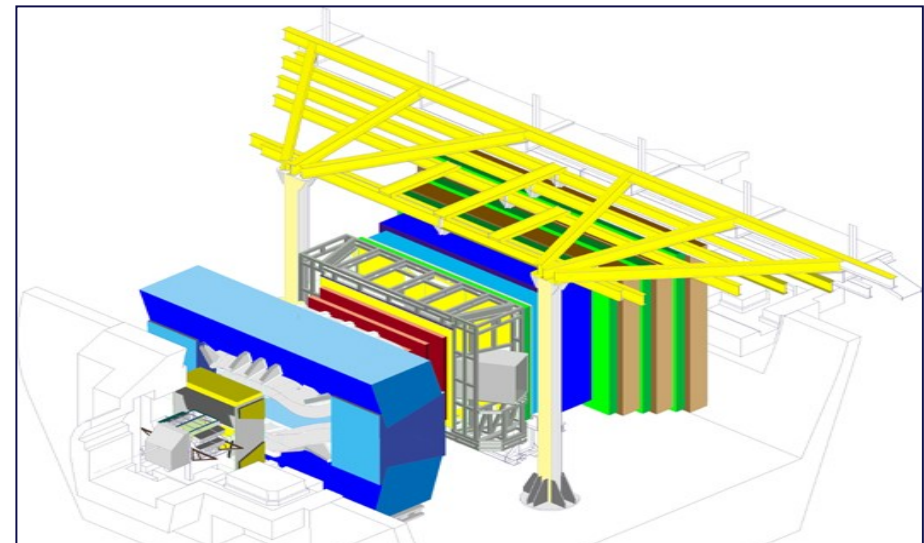
ALICE : Paolo Giubellino



ATLAS : Fabiola Gianotti

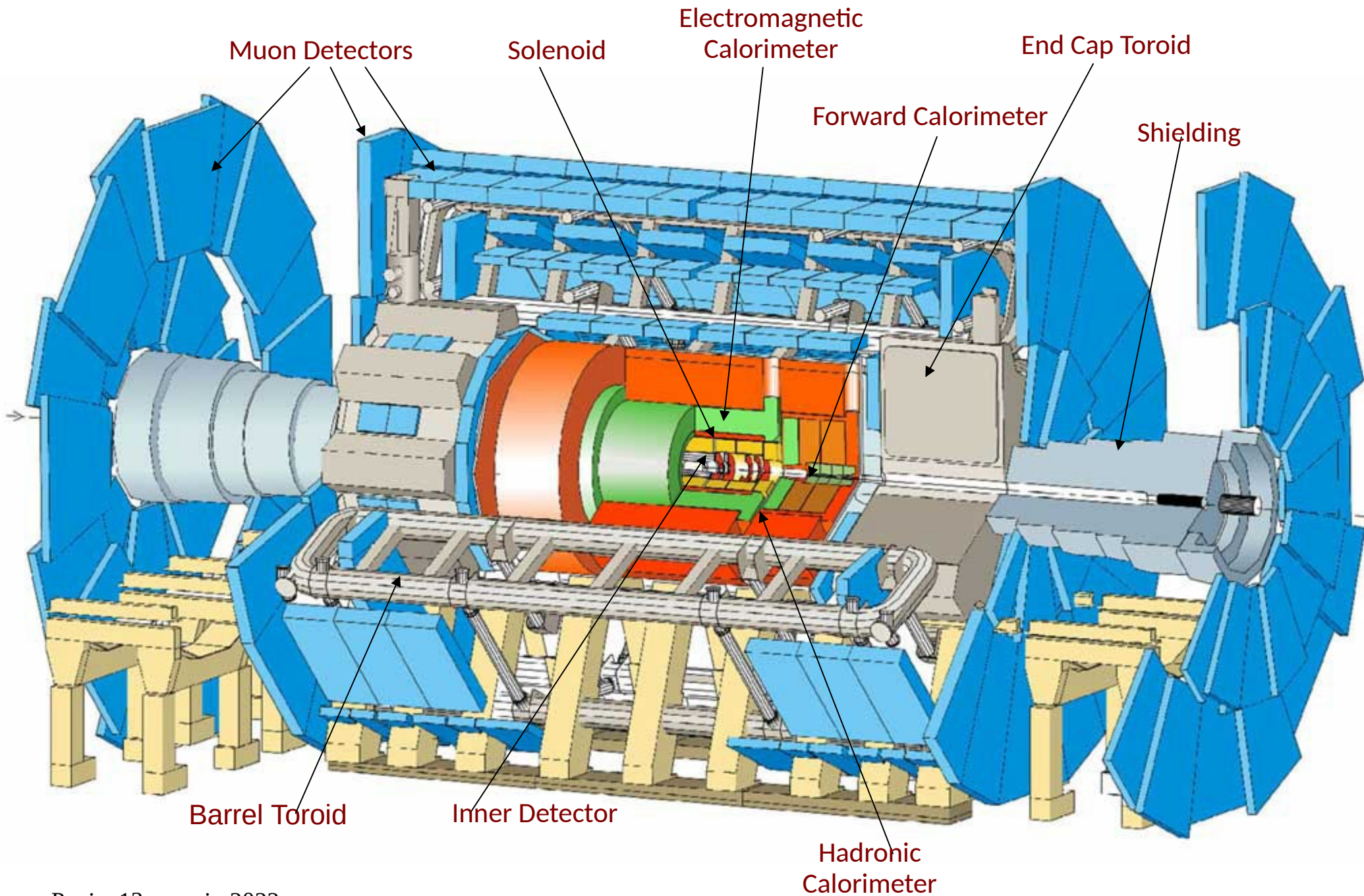


CMS : Guido Tonelli



LHCb : Pierluigi Campana

ATLAS: un microscopio alto 25 e lungo 46 m

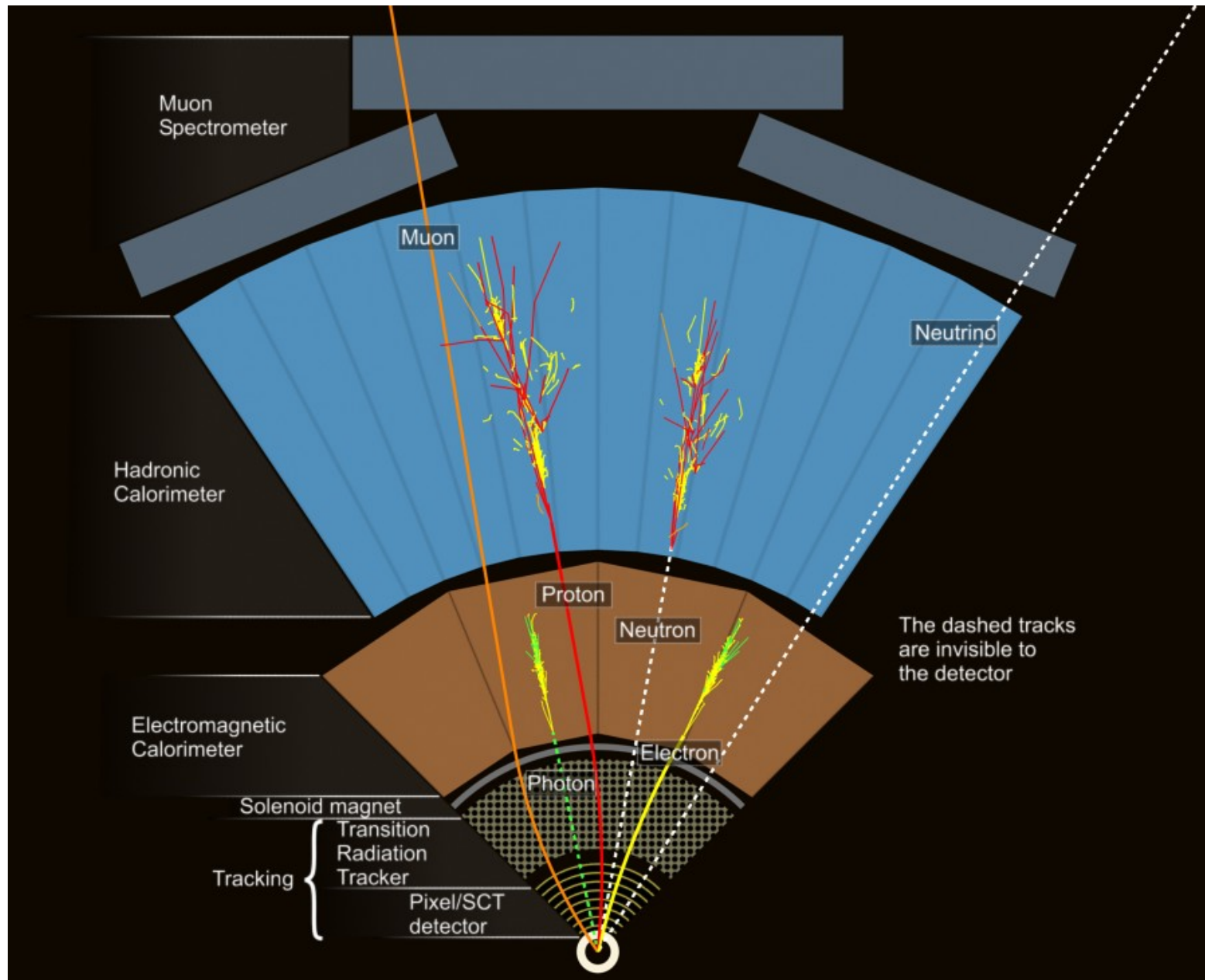


come funziona ?

- 1) si fermano le particelle di bassa “energia” (magnete solenoidale superconduttore)
- 2) si identificano tutte le altre (cariche, neutre, leggere, pesanti)
- 3) si misura la loro energia

poche proprietà fondamentali
determinano il comportamento
di ogni particella “quasi stabile”

tante (diverse) macchine fotografiche



domande senza risposta

(nel “modello standard” della fisica delle particelle)

a) Cariche elettriche ?

$Q(n) = Q(v) = 0 ! ??$

b) Masse delle particelle ?

Perché sono così diverse ?

c) Famiglie ?

Sono 3 o di più ? Perché ?

d) Antimateria ?

Dove è finita ?

e) Materia oscura ?

Di cosa è composta ?

f) Energia oscura ?

????

g) Forza di gravità →

non pervenuta! Relatività generale???

Per concludere

C'è del lavoro che vi aspetta

Ci servono le vostre idee e il vostro aiuto

il Problema !

Universo (interazioni gravitazionali):

Relatività Generale

Particelle (interazioni elettrodeboli e forti):

Meccanica Quantistica Relativistica

1. entrambe le teorie funzionano alla grande
(fin troppo) nei rispettivi campi
2. ad oggi * NON COMPATIBILI *

eq. relatività generale:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}$$

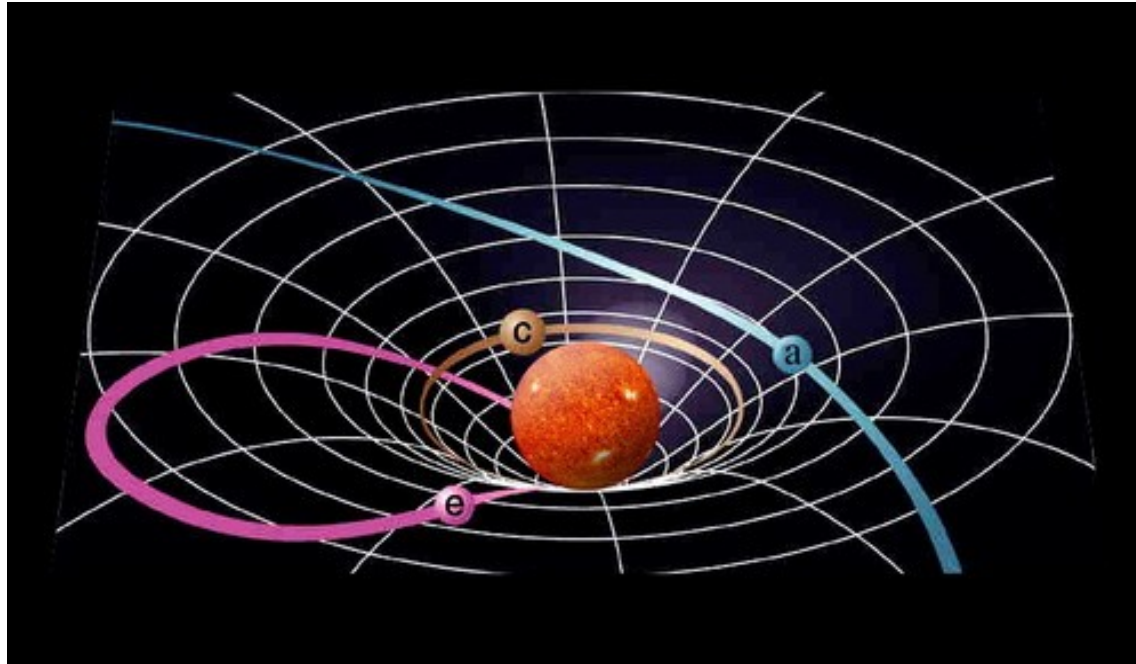
spazio-tempo *materia-energia*

eq. modello standard:

$$\begin{aligned}
 \mathcal{L} = & -\frac{1}{4}B_{\mu\nu}B^{\mu\nu} - \frac{1}{8}tr(\mathbf{W}_{\mu\nu}\mathbf{W}^{\mu\nu}) - \frac{1}{2}tr(\mathbf{G}_{\mu\nu}\mathbf{G}^{\mu\nu}) & (\text{U(1), SU(2) and SU(3) gauge terms}) \\
 & +(\bar{\nu}_L, \bar{e}_L) \tilde{\sigma}^\mu i D_\mu \begin{pmatrix} \nu_L \\ e_L \end{pmatrix} + \bar{e}_R \sigma^\mu i D_\mu e_R + \bar{\nu}_R \sigma^\mu i D_\mu \nu_R + (\text{h.c.}) & (\text{lepton dynamical term}) \\
 & -\frac{\sqrt{2}}{v} \left[(\bar{\nu}_L, \bar{e}_L) \phi M^e e_R + \bar{e}_R \bar{M}^e \bar{\phi} \begin{pmatrix} \nu_L \\ e_L \end{pmatrix} \right] & (\text{electron, muon, tauon mass term}) \\
 & -\frac{\sqrt{2}}{v} \left[(-\bar{e}_L, \bar{\nu}_L) \phi^* M^\nu \nu_R + \bar{\nu}_R \bar{M}^\nu \phi^T \begin{pmatrix} -e_L \\ \nu_L \end{pmatrix} \right] & (\text{neutrino mass term}) \\
 & +(\bar{u}_L, \bar{d}_L) \tilde{\sigma}^\mu i D_\mu \begin{pmatrix} u_L \\ d_L \end{pmatrix} + \bar{u}_R \sigma^\mu i D_\mu u_R + \bar{d}_R \sigma^\mu i D_\mu d_R + (\text{h.c.}) & (\text{quark dynamical term}) \\
 & -\frac{\sqrt{2}}{v} \left[(\bar{u}_L, \bar{d}_L) \phi M^d d_R + \bar{d}_R \bar{M}^d \bar{\phi} \begin{pmatrix} u_L \\ d_L \end{pmatrix} \right] & (\text{down, strange, bottom mass term}) \\
 & -\frac{\sqrt{2}}{v} \left[(-\bar{d}_L, \bar{u}_L) \phi^* M^u u_R + \bar{u}_R \bar{M}^u \phi^T \begin{pmatrix} -d_L \\ u_L \end{pmatrix} \right] & (\text{up, charmed, top mass term}) \\
 & +(\overline{D_\mu \phi}) D^\mu \phi - m_h^2 [\bar{\phi} \phi - v^2/2]^2 / 2v^2. & (\text{Higgs dynamical and mass term})
 \end{aligned}$$

Relatività generale

Spazio-Tempo e Materia



la materia dice allo spazio-tempo come curvarsi



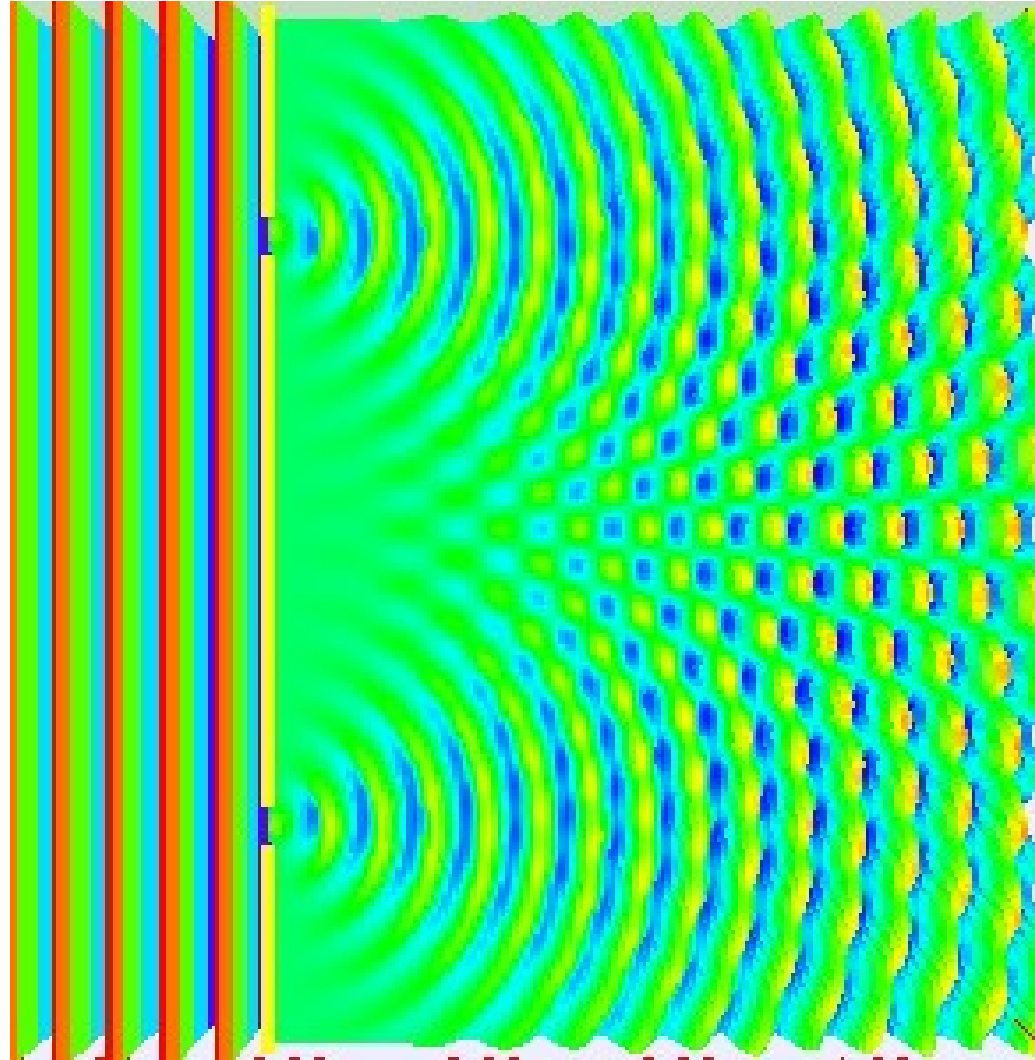
la curvatura dello spazio-tempo dice alla materia come muoversi

Meccanica Quantistica

Spazio-Tempo e Materia

- a) particelle (materia) → comportamento probabilistico (non prevedibile con certezza a priori, nemmeno disponendo di tutte le informazioni possibili)
- b) l'osservazione sperimentale (es. la misura di una posizione) modifica in modo irreversibile la probabilità con cui le particelle si stanno “propagando”
- c) lo spazio-tempo è il contenitore in cui l'evoluzione e le osservazioni avvengono

particella $\rightarrow$ onda



mettendo assieme le due teorie ...

1) la materia deforma lo spazio-tempo

2) la materia si comporta in modo probabilistico

3) la misura sperimentale ne cambia la distribuzione di probabilità



a) lo spazio tempo è probabilistico

b) la misura cambia la distribuzione di probabilità per lo spazio-tempo

?? un bel rompicapo

Outreach - iniziative per scuole superiori

(per studenti e docenti)

Masterclass / stage (INFN):

<http://masterclass.infn.it/> → *ricercatori per un giorno*

<http://edu.Inf.infn.it/> ...

Beam Line for Schools (CERN):

<http://beamline-for-schools.web.cern.ch/>

S'Cool LAB (CERN):

<http://scool.web.cern.ch/>

Divulgazione:

<http://scienzapertutti.Inf.infn.it>

<http://home.web.cern.ch/students-educators>

<http://outreach.web.cern.ch/outreach/>

... siti infn e universitari ...

+ visite al CERN, laboratori, università ...

offerte (CERN) per studenti universitari

(oltre a tesi di laurea)

<https://jobs.web.cern.ch/join-us/students>

Stage @ CERN:

- 1) openlab students (2 months)
- 2) summer students (2-3 m)
- 3) technical students (6-12 m)
- 4) doctoral students (3-36 m)

Scuole (fra molte altre):

- 1) European school of high-energy physics (2 weeks)
- 2) CERN school of computing (2 w)
- 3) CERN accelerator school (2 w)
- 4) International School of Trigger and Data Acquisition (10 days)

offerte (CERN) per docenti

<https://teacher-programmes.web.cern.ch/>

→ *Italian Teacher Programme:*

<https://teacher-programmes.web.cern.ch/ntp/italian-teacher-programme>

→ *International Teacher Programmes:*

<https://teacher-programmes.web.cern.ch/itp/international-teacher-programmes>