

Raggi Cosmici e Acceleratori

l'Arte di Far Vedere l'Invisibile



Livio Lanceri
Dipartimento di Fisica
Università di Trieste

Trieste, 10-12-2010

Le tre frontiere

1 - MOLTO GRANDE

2 - molto piccolo

3 - molto complesso

2 - molto piccolo
Nuclei, Particelle

1 - MOLTO GRANDE
Astrofisica



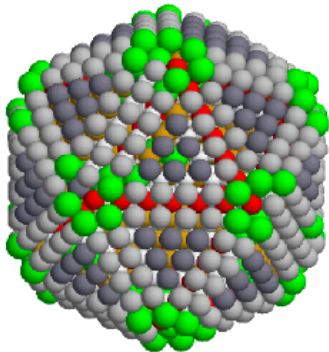
Acceleratori
Rivelatori

Occhio nudo

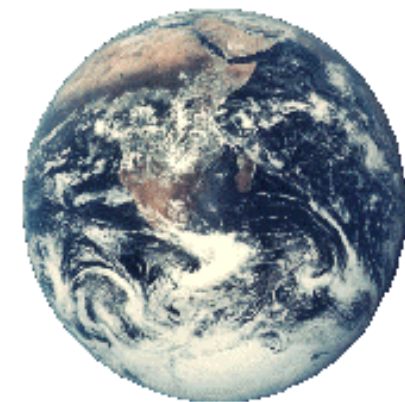
Telescopi ottici
Radiotelescopi

Microscopi

Binocolo
Cannocchiale



3 - molto complesso
Materia Condensata, Fluidi,
Geofisica, Climatologia ...



Un po' di storia

raggi cosmici

particelle

acceleratori

rivelatori

Raggi cosmici e particelle (1900-1950)

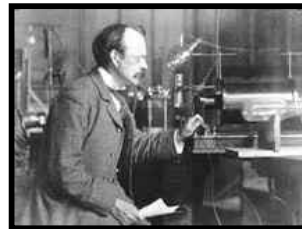
radioattività

H. Becquerel
M. and P. Curie



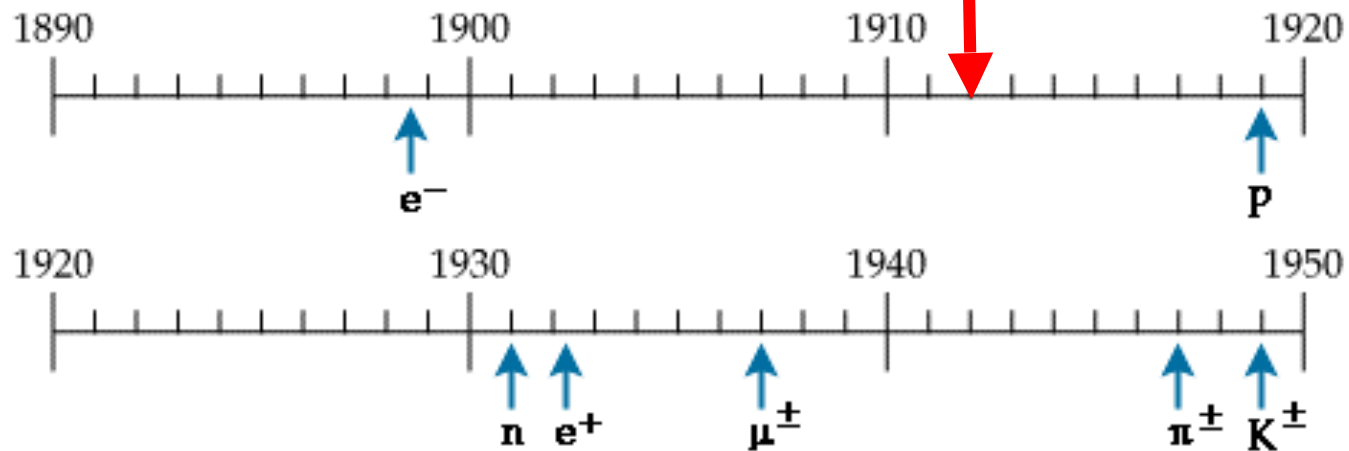
elettrone

J.J. Thomson



Raggi cosmici

Victor Hess



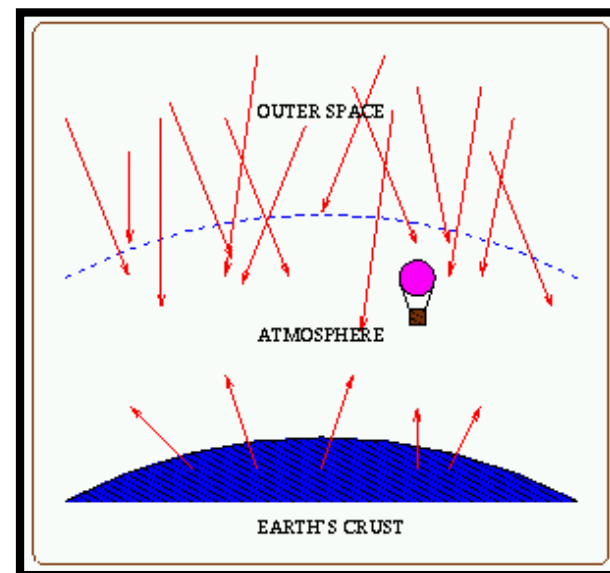
1912: Scoperta dei 'Raggi Cosmici'



- Victor Hess volò su pallone ad un altitudine di 5000 metri
- Misurò le radiazione con un elettroscopio...
- ... e trovò che questa aumentava con l'ascesa del pallone

grande sorpresa!

(inizialmente si pensava che questa radiazione provenisse solo da materiale radioattivo nella crosta terrestre)



1926: Millikan introdusse il nome di 'cosmic rays' (raggi cosmici)



Raggi cosmici e particelle (1900-1950)

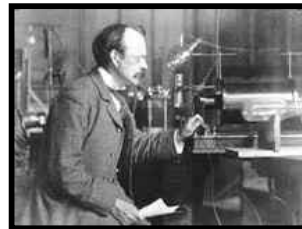
radioattività

H. Becquerel
M. and P. Curie



elettrone

J.J. Thomson



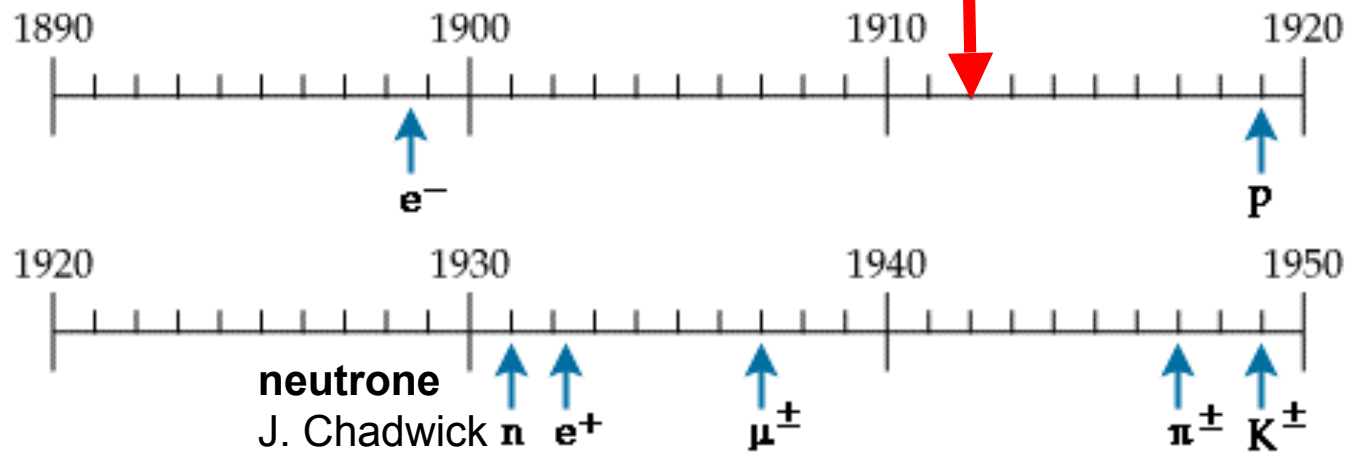
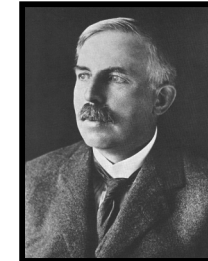
Raggi cosmici

Victor Hess



protone

E. Rutherford



neutrone

J. Chadwick

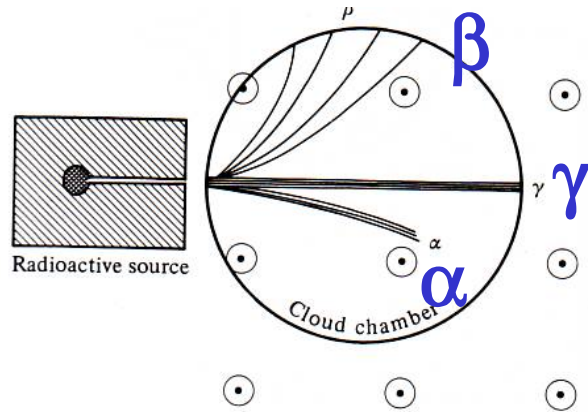


APM Nijmegen Library

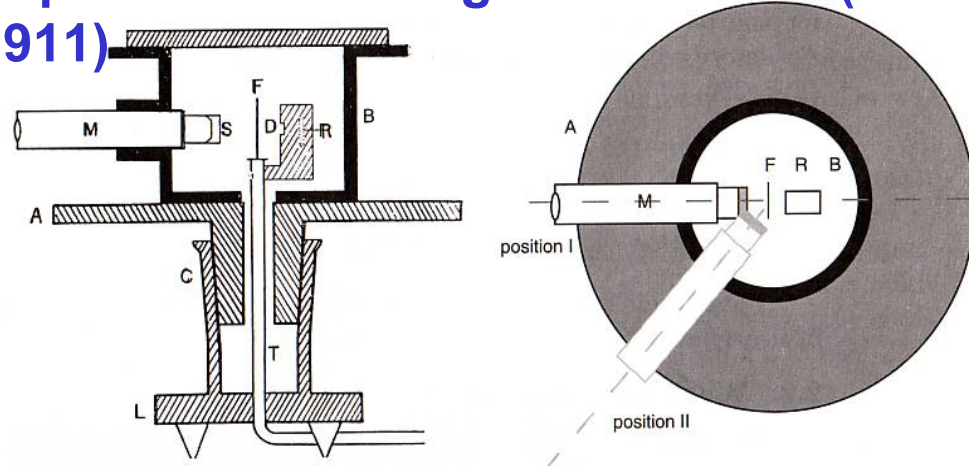


Rutherford e il nucleo atomico

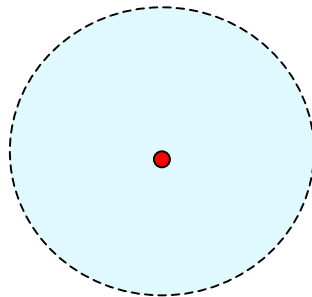
Radioattività naturale



Esperimento di Geiger e Marsden (1909-1911)

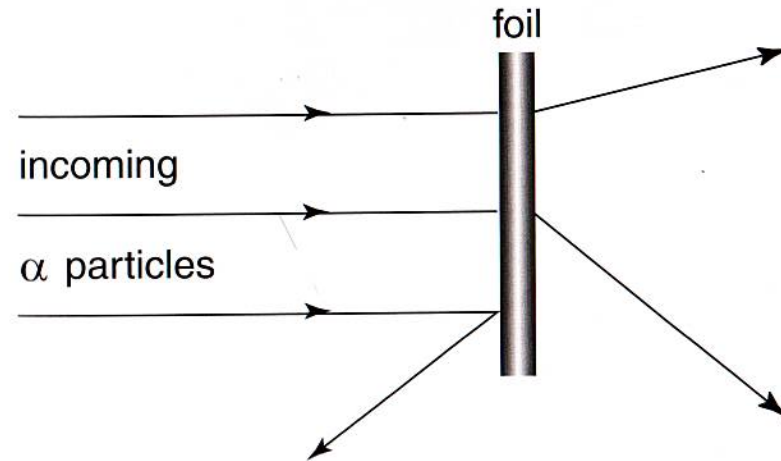


Particelle α usate come sonde
Solo poche vengono deviate
 \Rightarrow gli atomi sono quasi "vuoti" !



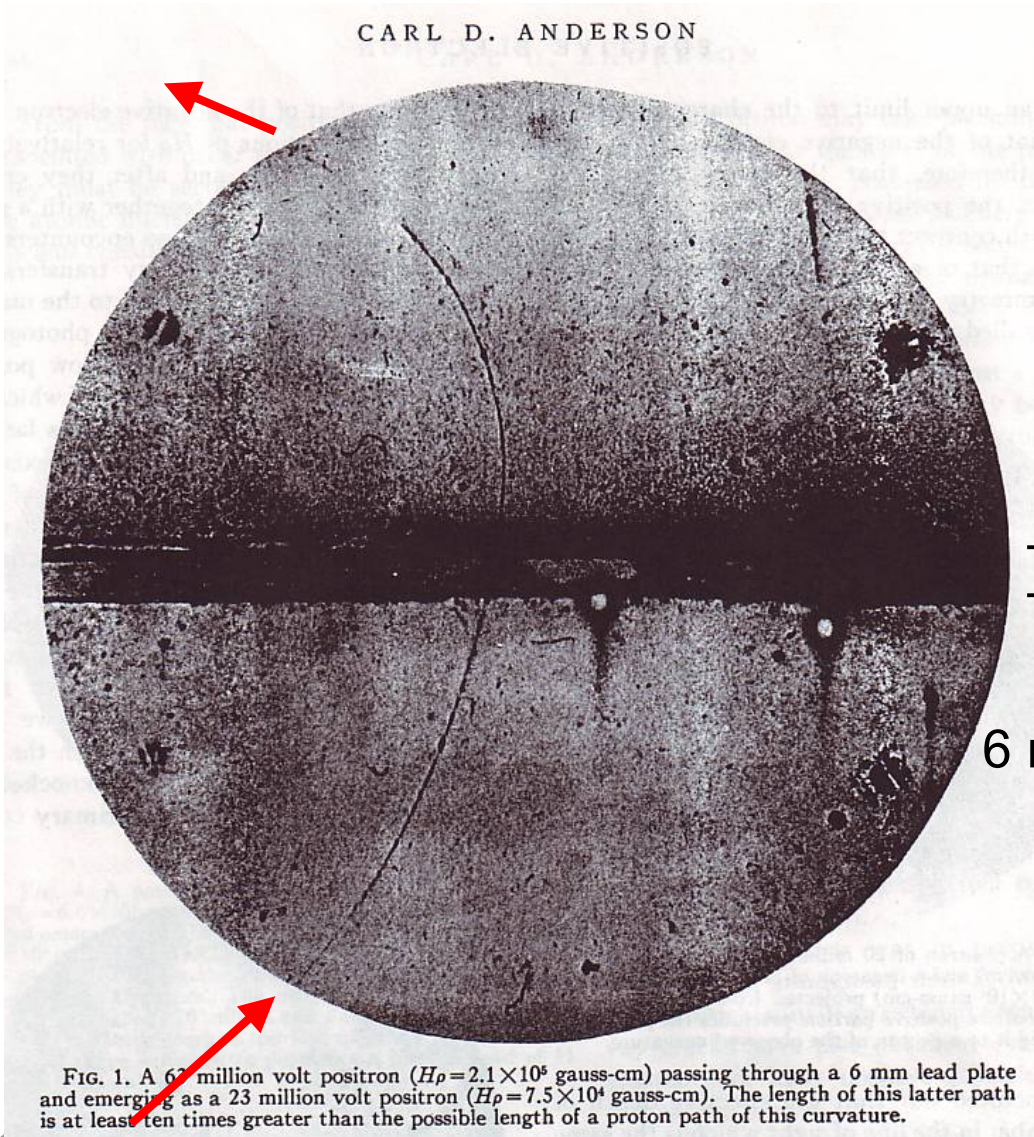
elettroni
"leggeri"

piccolo nucleo
"massivo"



Anderson e l'anti-materia

CARL D. ANDERSON



Previsione teorica
di P.A.M.Dirac:
anti-particella dell'
elettrone: il "positrone"

Raggi cosmici
e camera a nebbia,
Tracce di
particelle cariche
in campo magnetico

1933: scoperta dell'
"elettrone positivo" !

FIG. 1. A 62 million volt positron ($H\rho=2.1\times 10^5$ gauss-cm) passing through a 6 mm lead plate and emerging as a 23 million volt positron ($H\rho=7.5\times 10^4$ gauss-cm). The length of this latter path is at least ten times greater than the possible length of a proton path of this curvature.



Raggi cosmici e particelle (1900-1950)

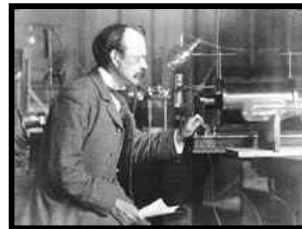
radioattività

H. Becquerel
M. and P. Curie



elettrone

J.J. Thomson



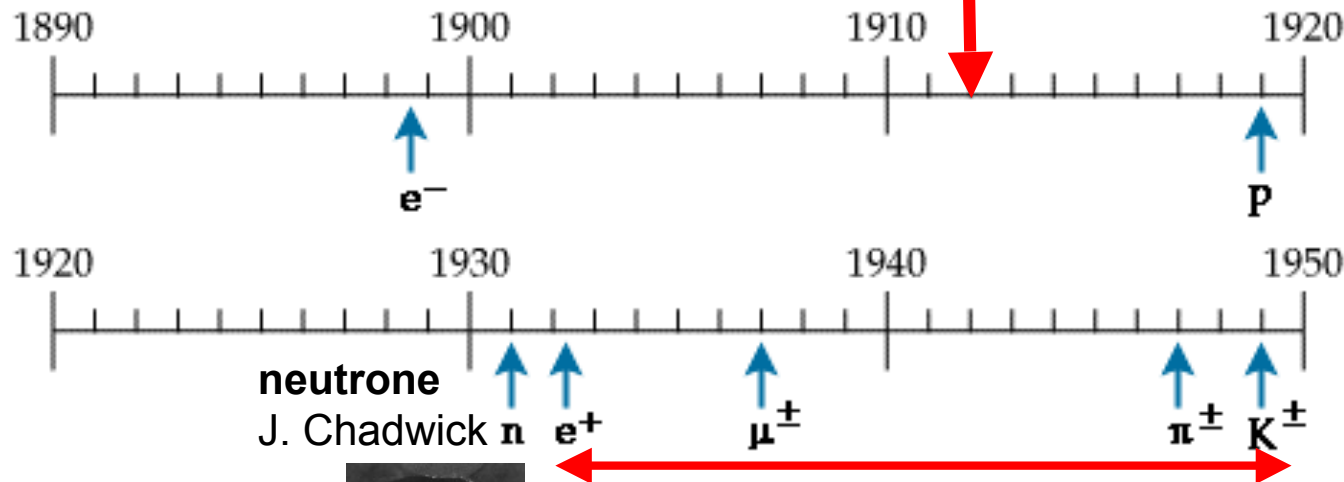
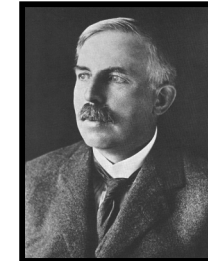
Raggi cosmici

Victor Hess



protone

E. Rutherford



qui inizia
l'avventura
degli
acceleratori

neutrone

J. Chadwick



Raggi cosmici

Strumenti: Camere a nebbia, emulsioni, ...

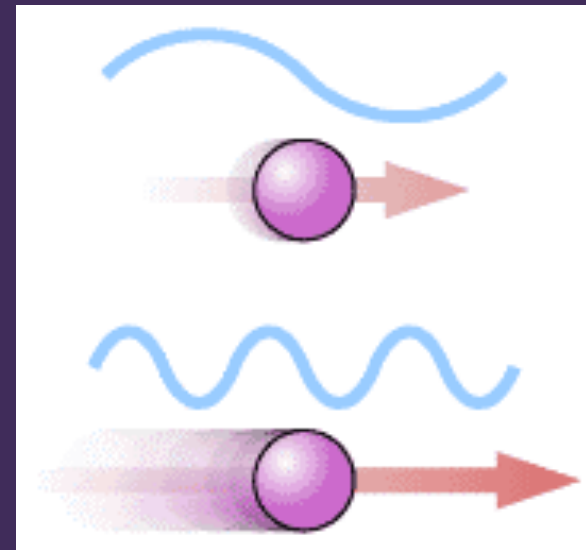
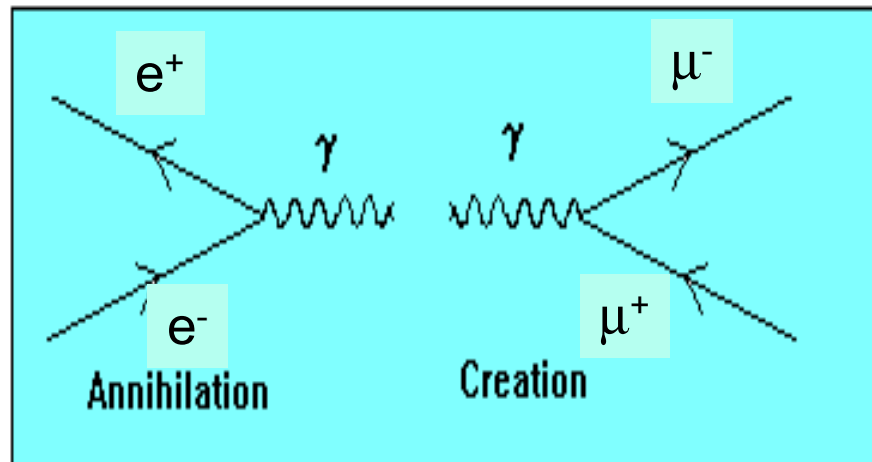
Scoperta di nuove particelle!



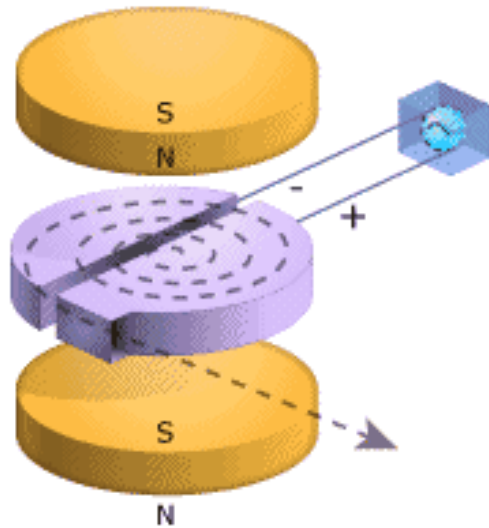
Acceleratori: perchè?

$$E = mc^2$$

$$\lambda = h/p$$



Acceleratori



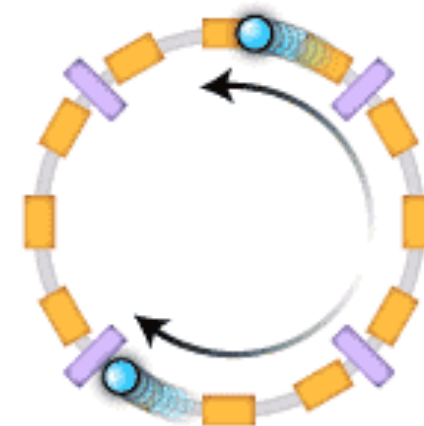
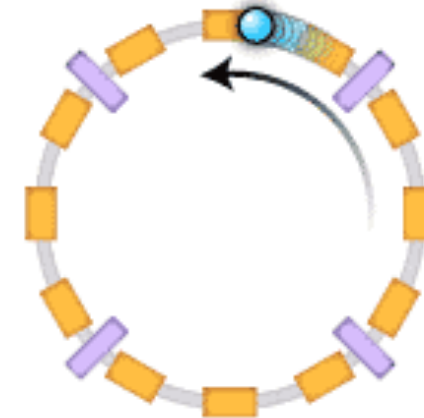
Cyclotron
1930 ~ 70KeV



E.Lawrence

**2 fattori chiave:
+ grande energia
+ particelle**

Synchrotron
(single beam)

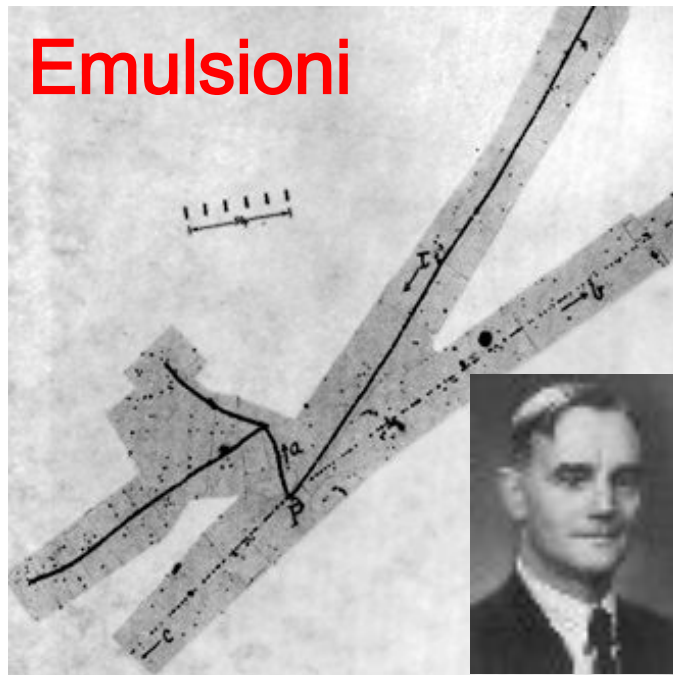


Synchrotron
(colliding beams)



Rivelatori ? dalle fotografie...

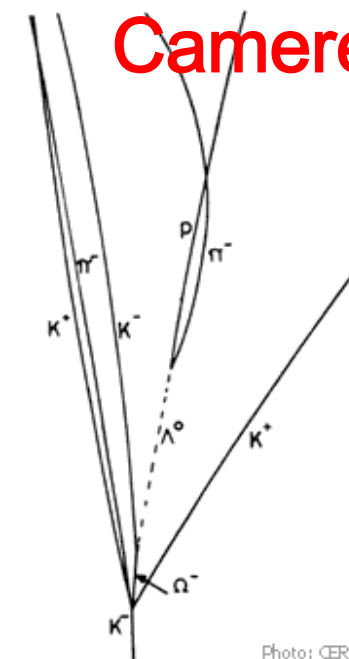
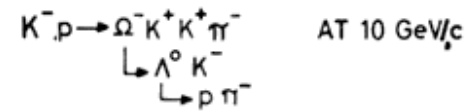
Tracce delle particelle in emulsioni o in liquidi in ebollizione: visualizzate e misurate con metodi fotografici



Emulsioni



Powell



Camere a bolle



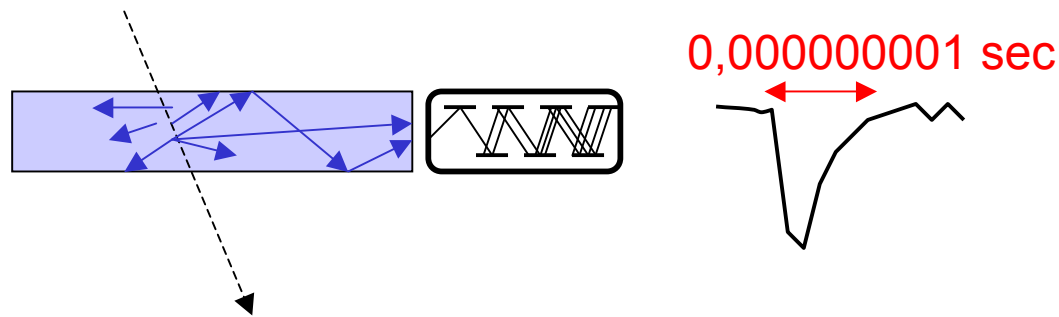
Alvarez



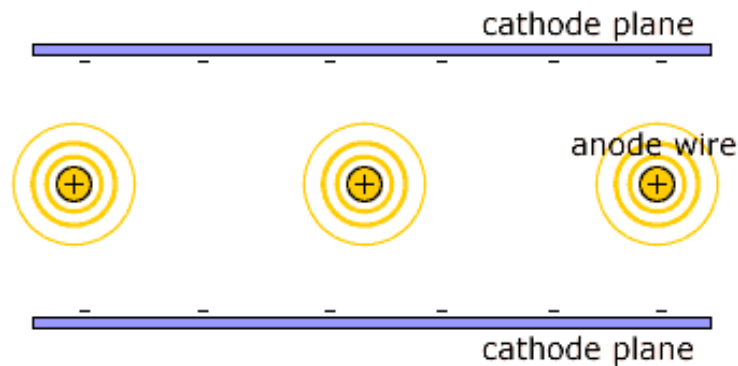
Glaser



... all'elettronica (qualche esempio)

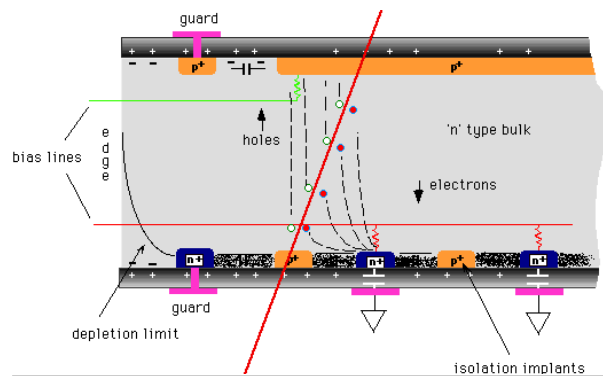


Scintillatori +
Fotomoltiplicatori



Charpak

Camere a fili



Rivelatori
a stato solido



Acceleratori, dal 1950: molte altre scoperte...

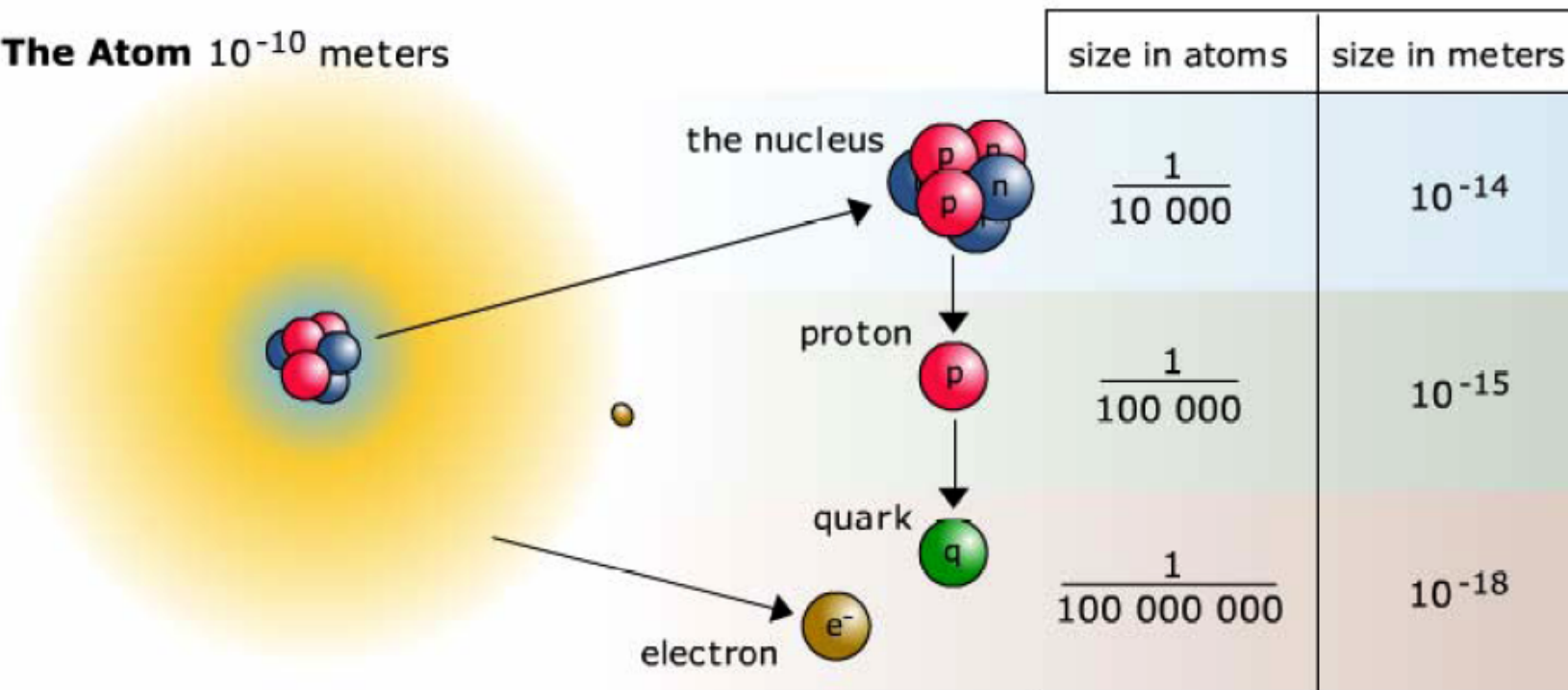


2010

Certezze acquisite...

atomi, nuclei, particelle elementari

The Atom 10^{-10} meters



[<http://www.nobel.se/physics/educational/matter>]

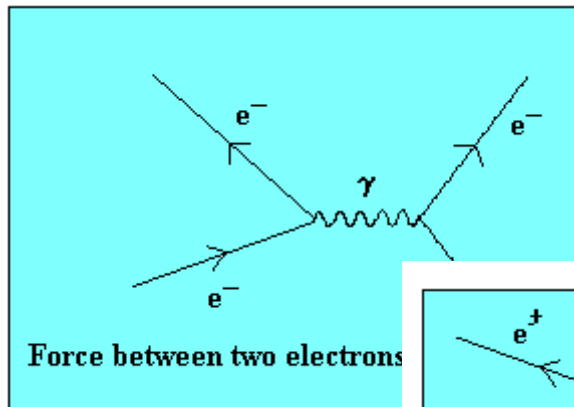
Quarks	} Particelle elementari (senza struttura)
Elettroni	



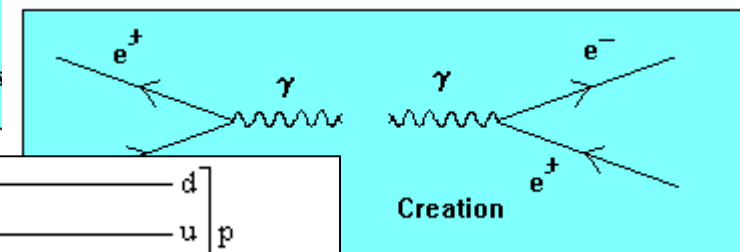
Quantum Field Theory

meccanica quantistica +
 + relatività ristretta + simmetrie =
 = *previsioni quantitative*
 dei fenomeni sub-atomici

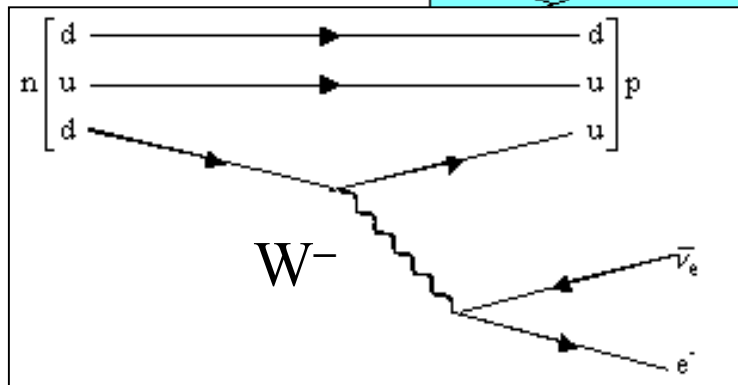
esempi :



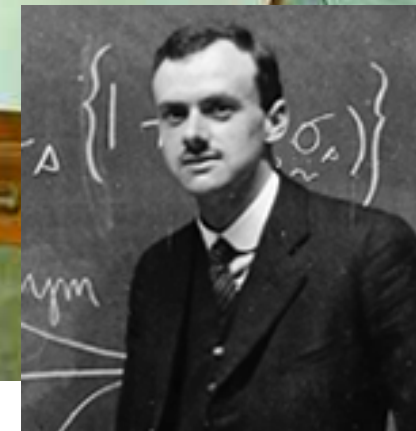
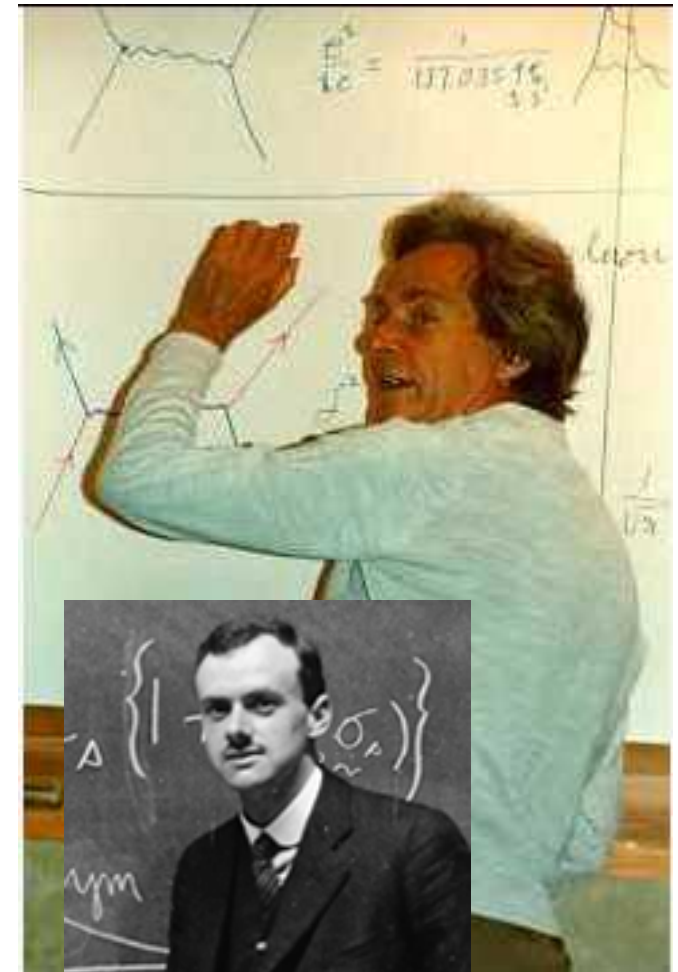
urto elastico



annichilazione

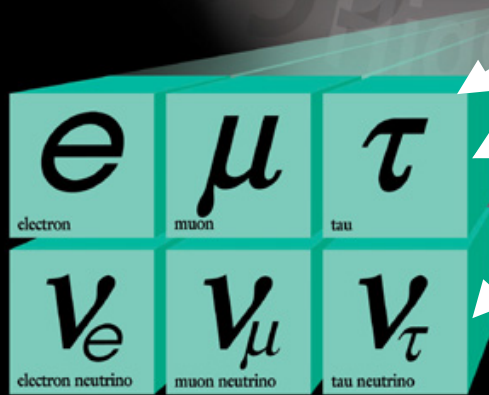
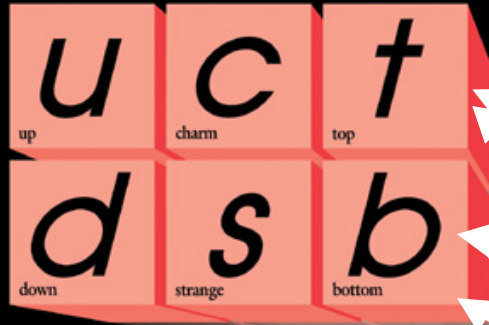


decadimento beta



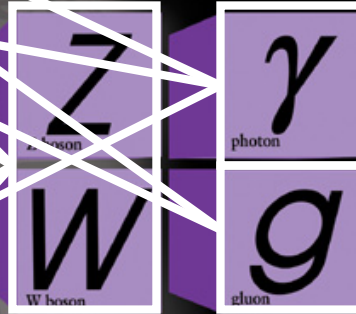
interazioni

Quarks



Leptons

Forces



Elettro-
magnetica

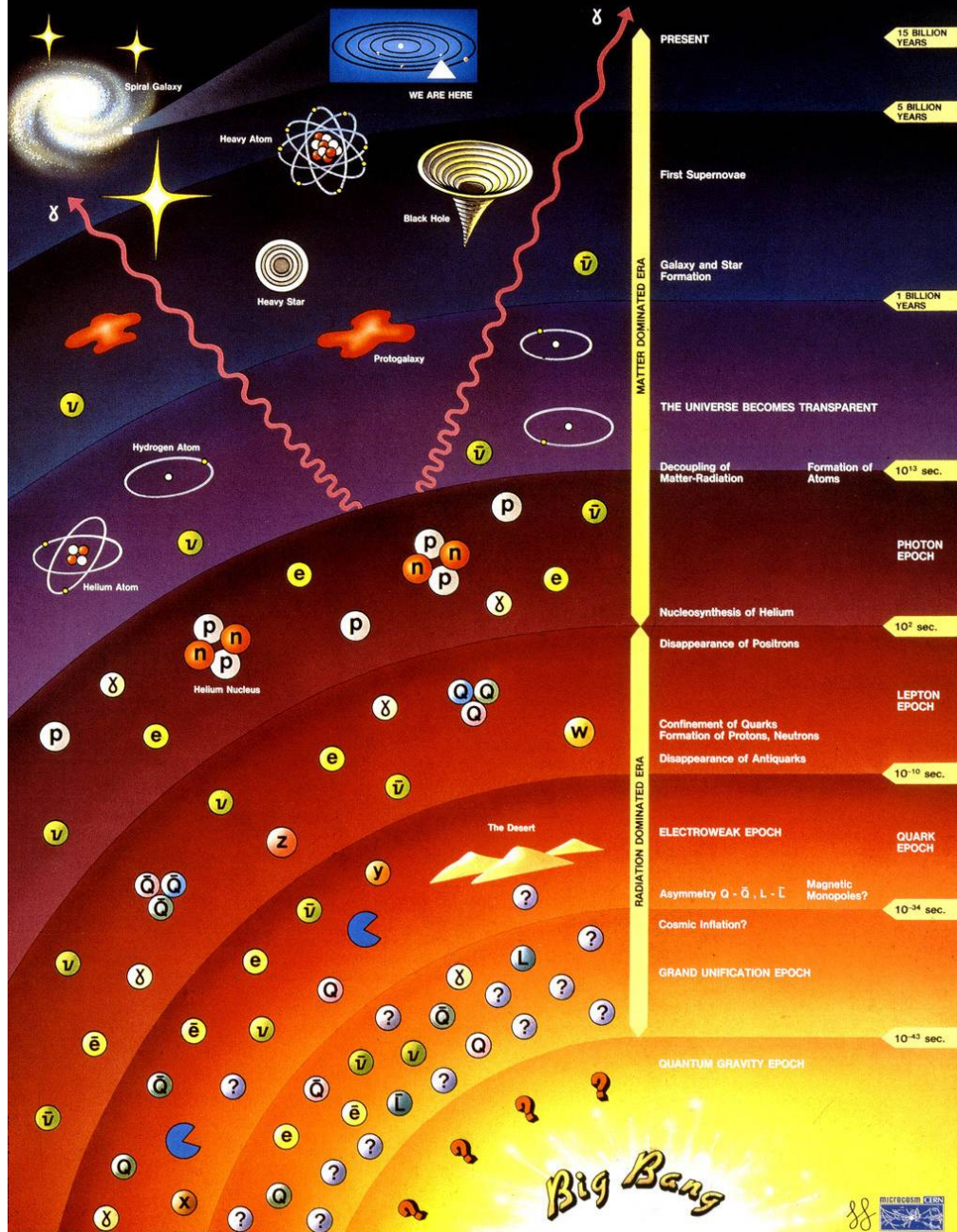
Debole

Forte

masse

Higgs ??

History of the Universe



Particelle e Cosmologia

“Archeologia” dell’Universo

L’Universo si sta *espandendo* e *raffreddando*

L’Astrofisica esplora il *passato* dell’Universo guardando *lontano*

La Fisica delle Particelle lo esplora riproducendo *energie elevate*, cioè *altissime temperature*

LHC: $E \approx 10^{13}$ eV
 $T \approx 10^{17}$ K
 $t \approx 10^{-14}$ sec

I raggi cosmici "primari"

generano "sciami" nell'atmosfera

Protoni e neutroni

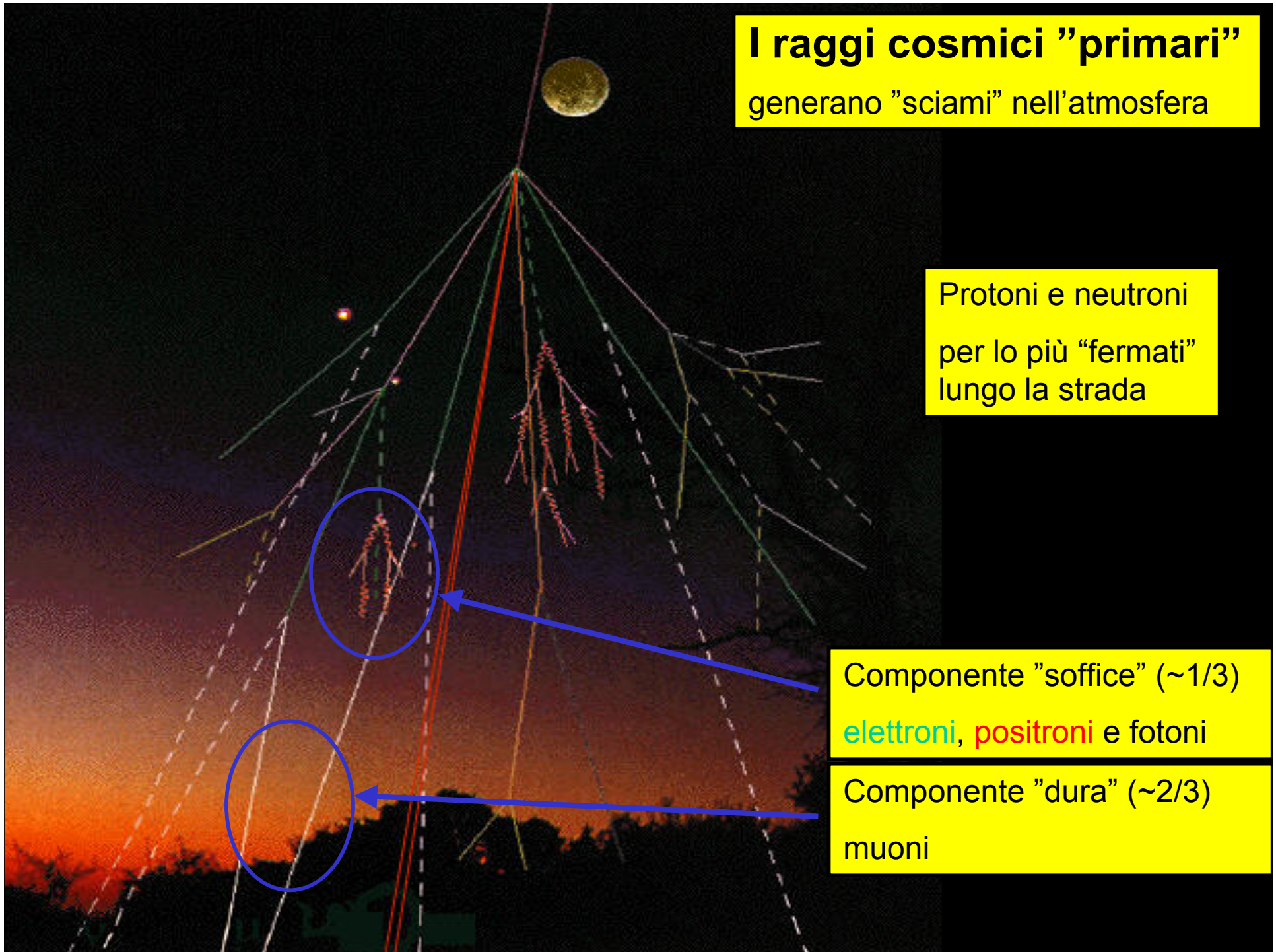
per lo più "fermati"
lungo la strada

Componente "soffice" ($\sim 1/3$)

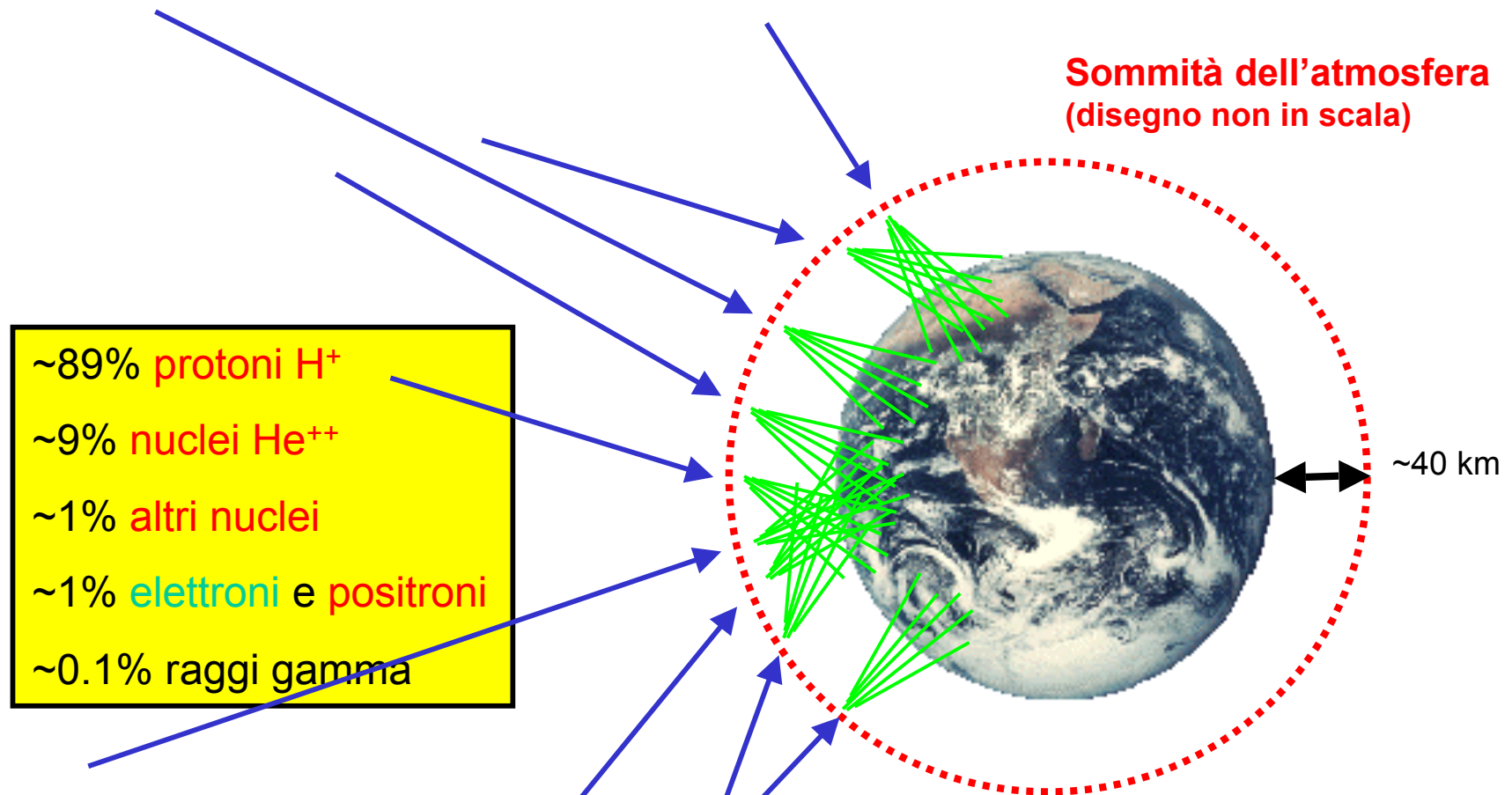
elettroni, positroni e fotoni

Componente "dura" ($\sim 2/3$)

muoni



raggi cosmici primari

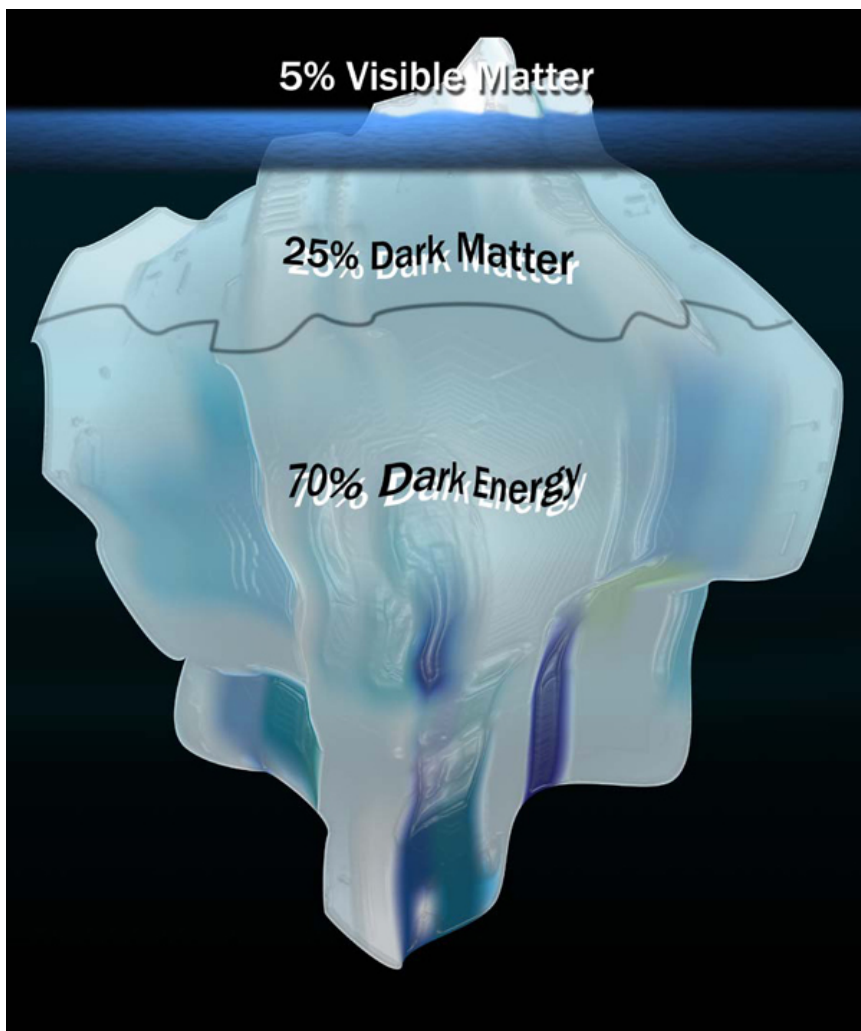


2010

**... e alcuni dei
misteri da svelare**

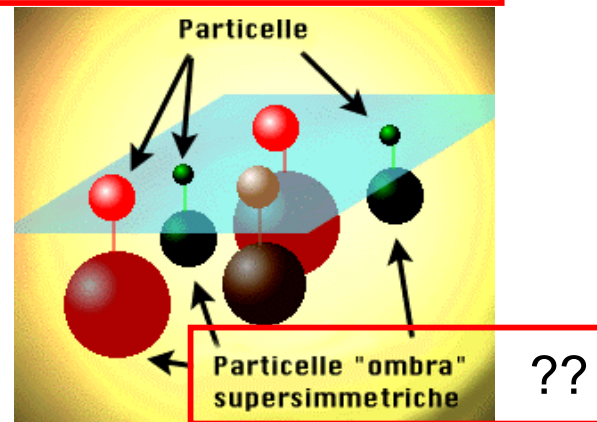
“Materia oscura”, “energia oscura”

Bilancio di materia ed energia nell’Universo:

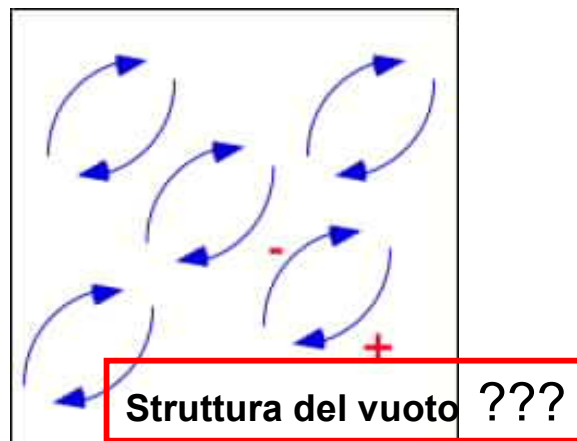


← Materia “ordinaria” \approx 5%

← ??



← ???



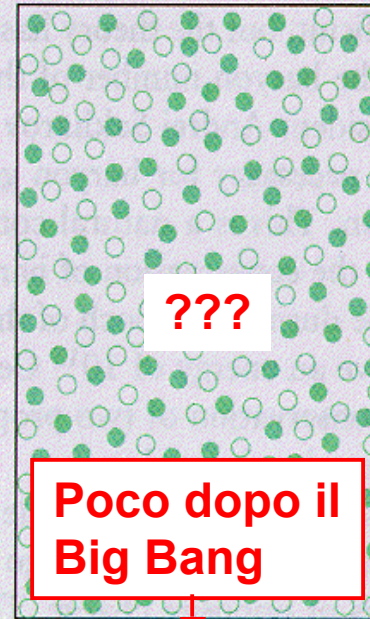
Dov'è finita l'anti-materia ???

Particelle ● →
Antiparticelle ○ → $E = mc^2$
Fotoni →

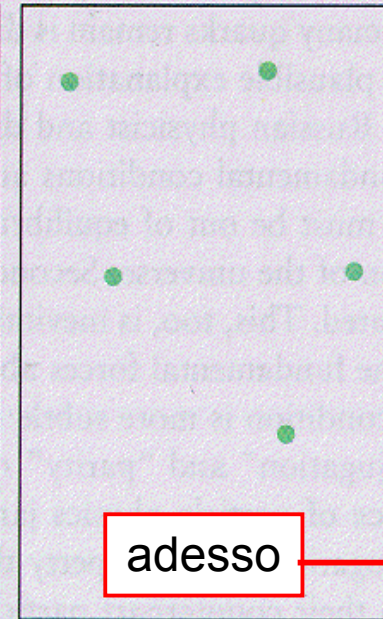


sempre a coppie !
(particella - antiparticella)

Perchè adesso vediamo quasi solo particelle “spaiate” ?



Poco dopo il Big Bang



1,000,000,001 particelle
+ 1,000,000,000 anti-particelle

= 1 particella
+ 1,000,000,000 fotoni



Gravità quantistica: extra-dimensioni ?

Perchè la gravità è tanto più debole delle altre forze e si avverte solo vicino a grandi masse (stelle, pianeti)?

Secondo alcune ipotesi, forse perchè lo spazio ha “dimensioni nascoste” oltre alle tre conosciute...

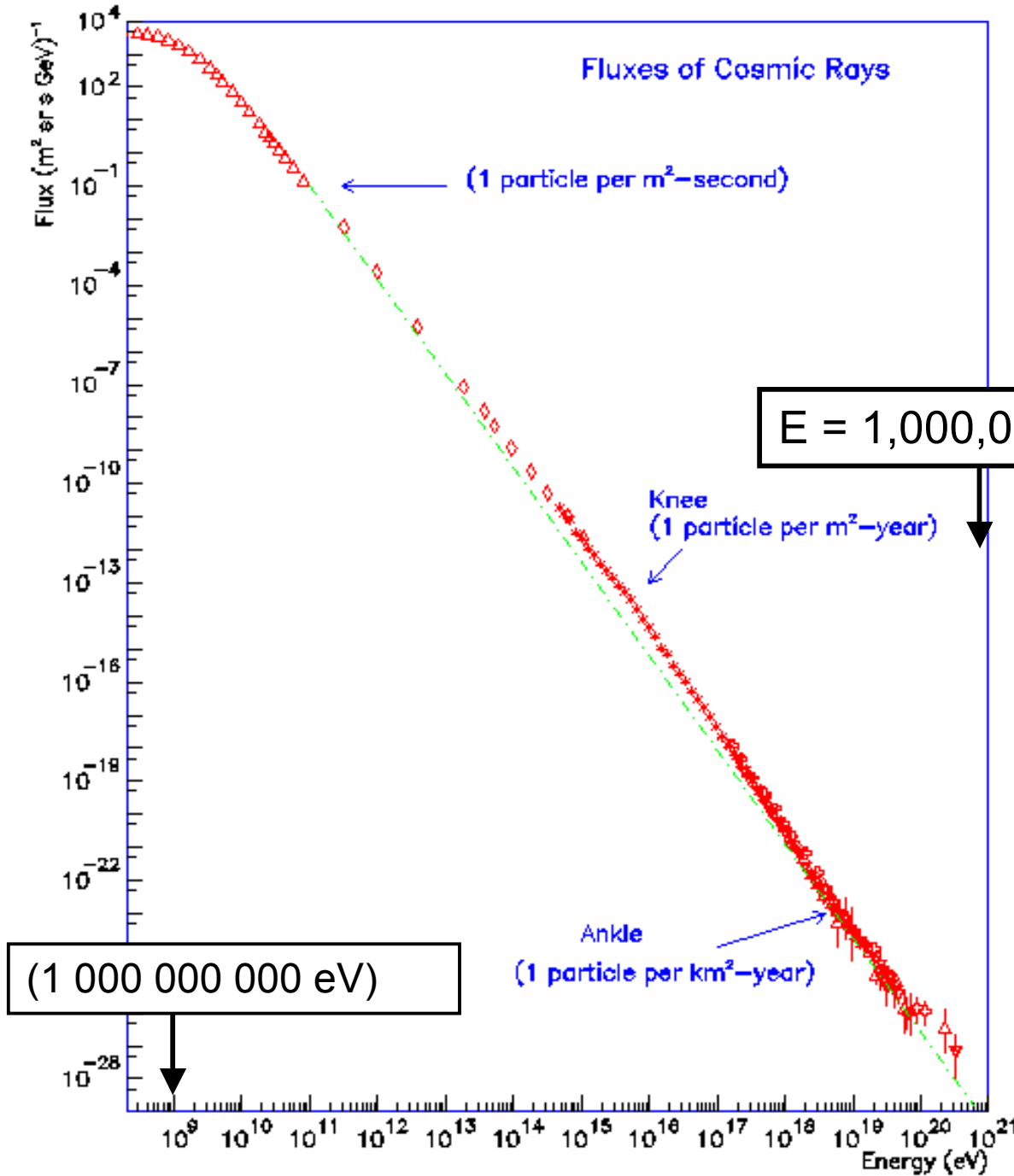
In esperimenti ad alte energie, le “dimensioni nascoste” potrebbero forse manifestarsi p.es. con la creazione e “scomparsa” di alcune particelle (gravitoni)



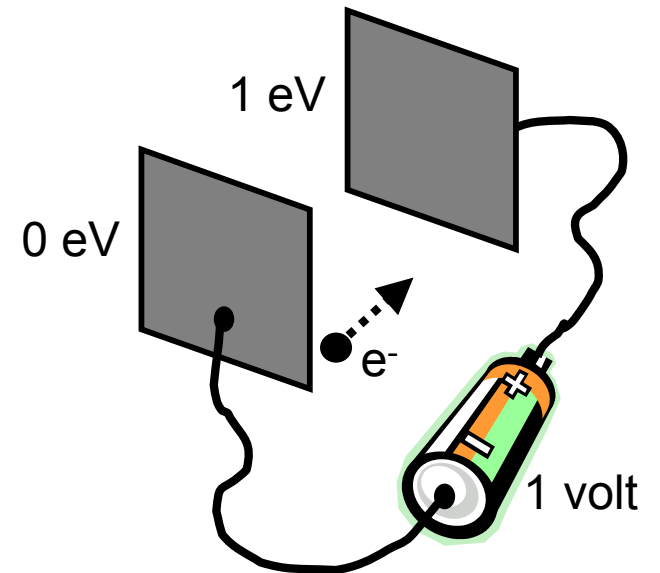
Raggi cosmici: energia ???

Osservati raggi cosmici
con energia:

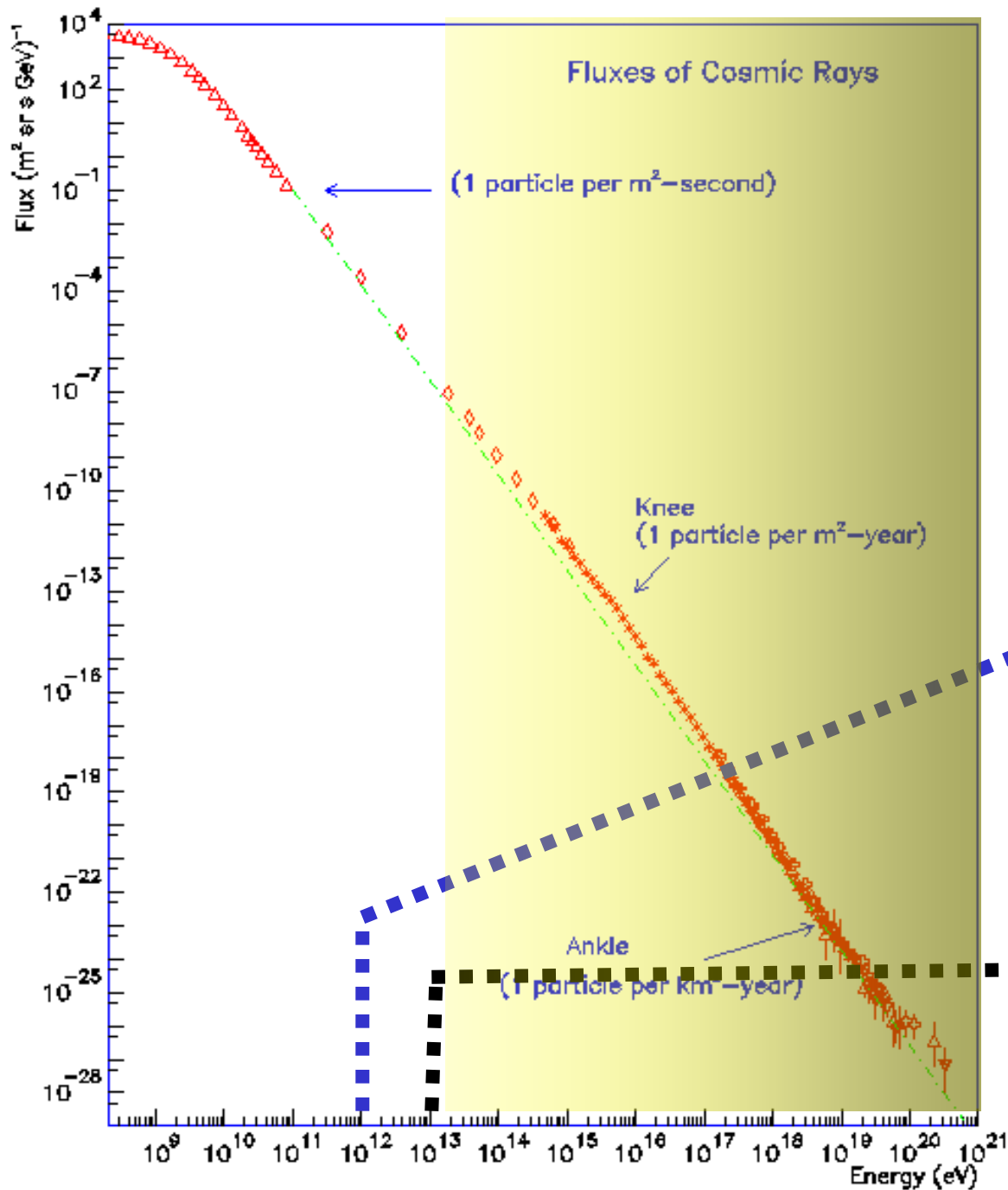
$$E = 1,000,000,000,000,000,000,000 \text{ eV}$$



$$1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ Joules}$$



**Uno sguardo
verso il futuro**



Gara tra acceleratori e raggi cosmici: A che punto siamo?

[Tevatron / Fermilab]



[LHC / CERN]



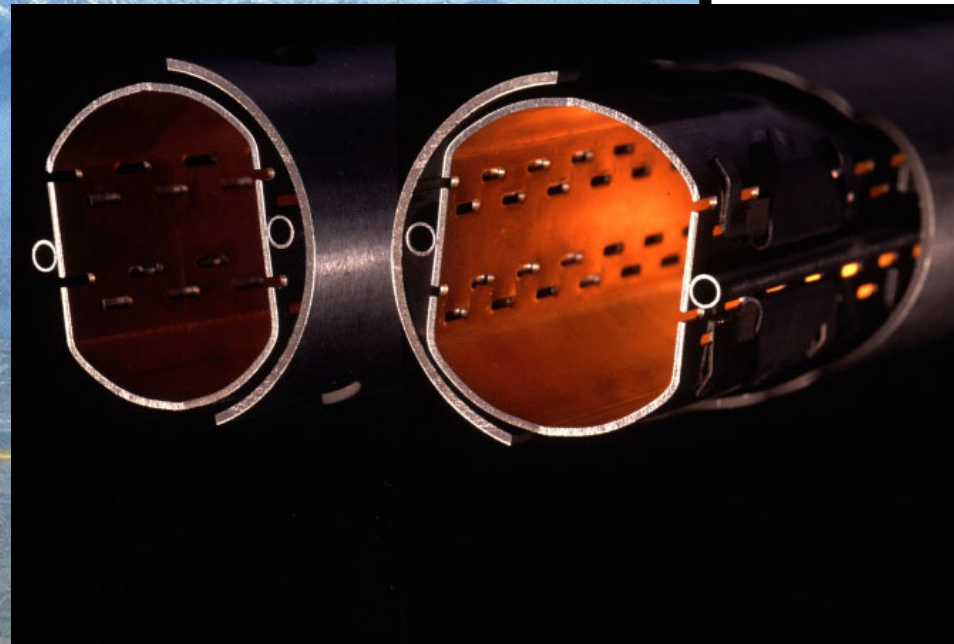
[LHC / CERN]



Migliaia di miliardi di protoni al 99.9999991% della velocità della luce percorrono l'anello di 27km più di 11000 volte al secondo



[LHC / CERN]



VUOTO: Per accelerare i protoni quasi alla velocità della luce, nell'anello deve esserci un vuoto simile a quello interplanetario: la pressione del gas residuo è 10 volte inferiore a quella che si misura sulla Luna.



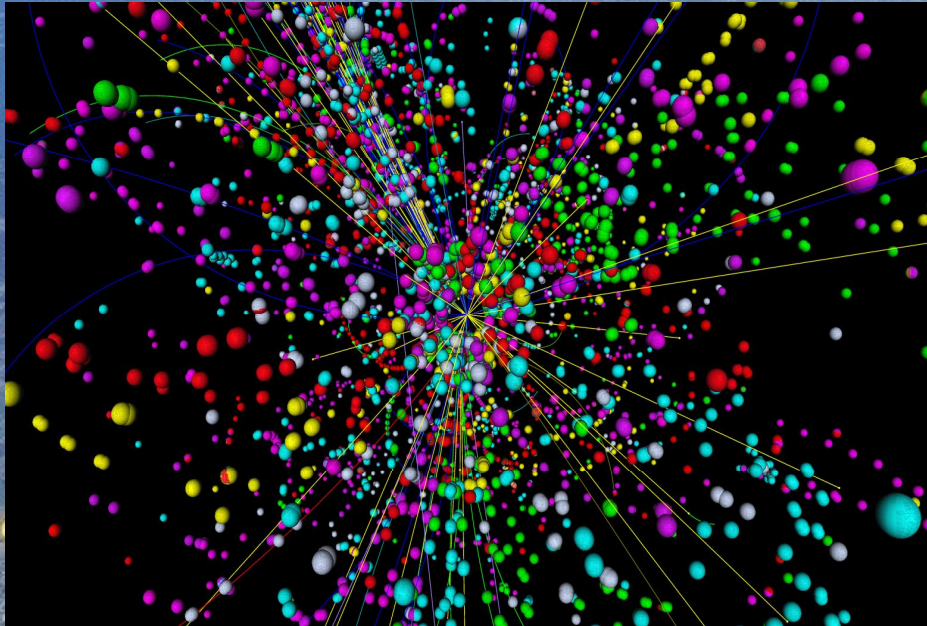
[LHC / CERN]



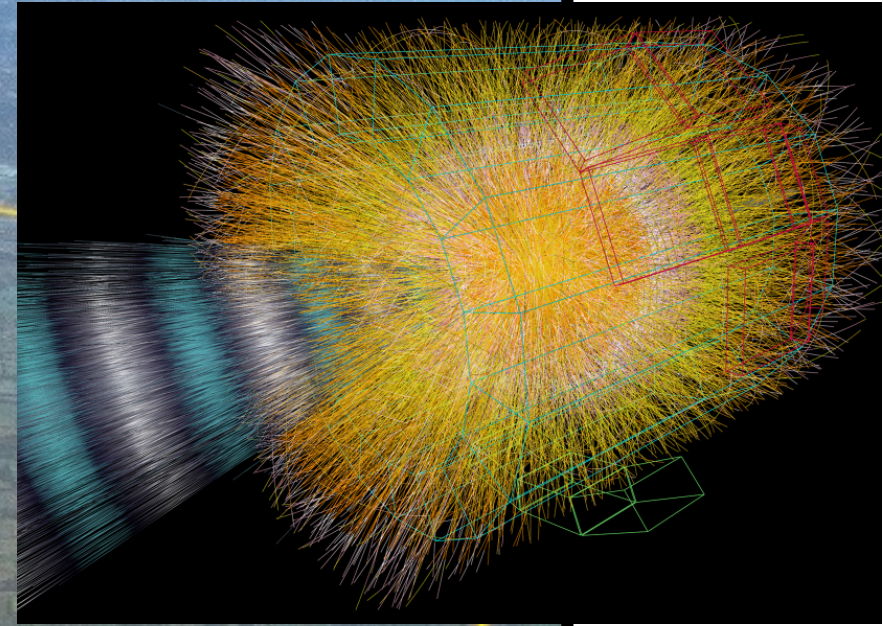
FREDDO: con una temperatura di -271°C , cioè 1.9 gradi sopra lo zero assoluto, LHC è più freddo dello spazio interstellare.



[LHC / CERN]



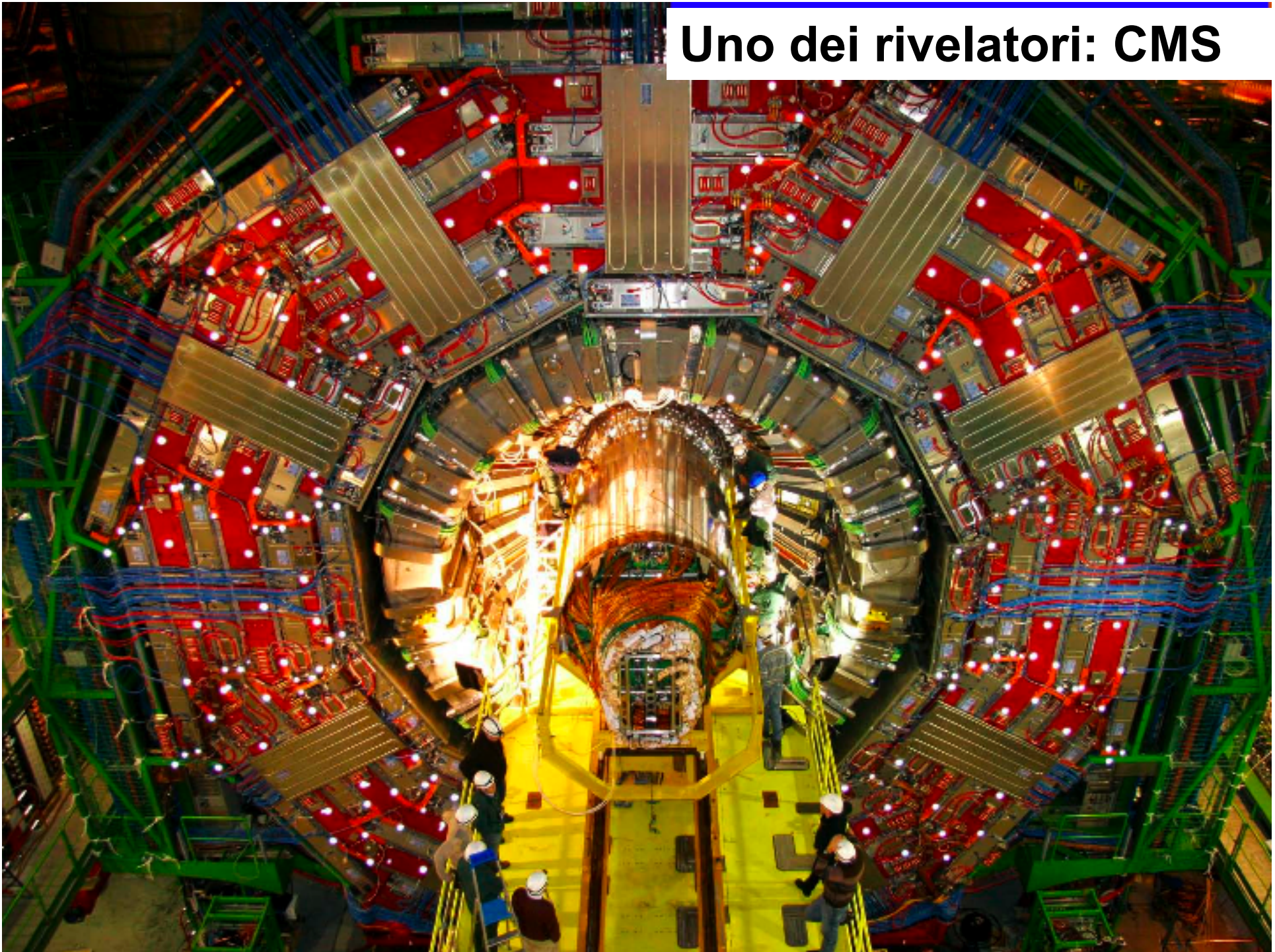
Simulazione di una collisione nell'esperimento CMS



Simulazione di una collisione nell'esperimento ALICE

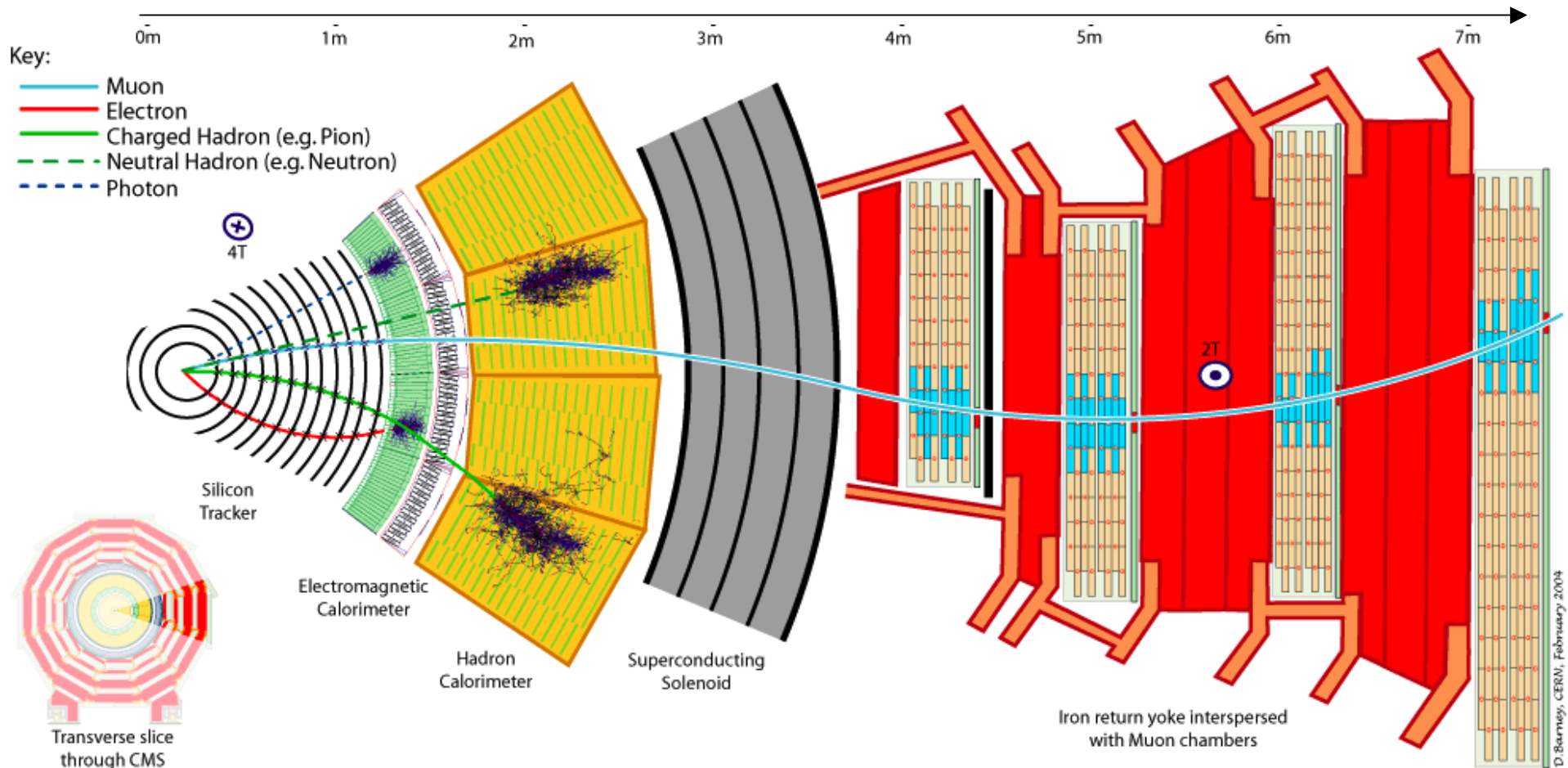
Uno dei punti più **CALDI** della Galassia: quando due fasci di protoni collidono, essi generano in un minuscolo volume, temperature più di un miliardo di volte maggiori di quelle che si possono trovare al centro del Sole.

Uno dei rivelatori: CMS



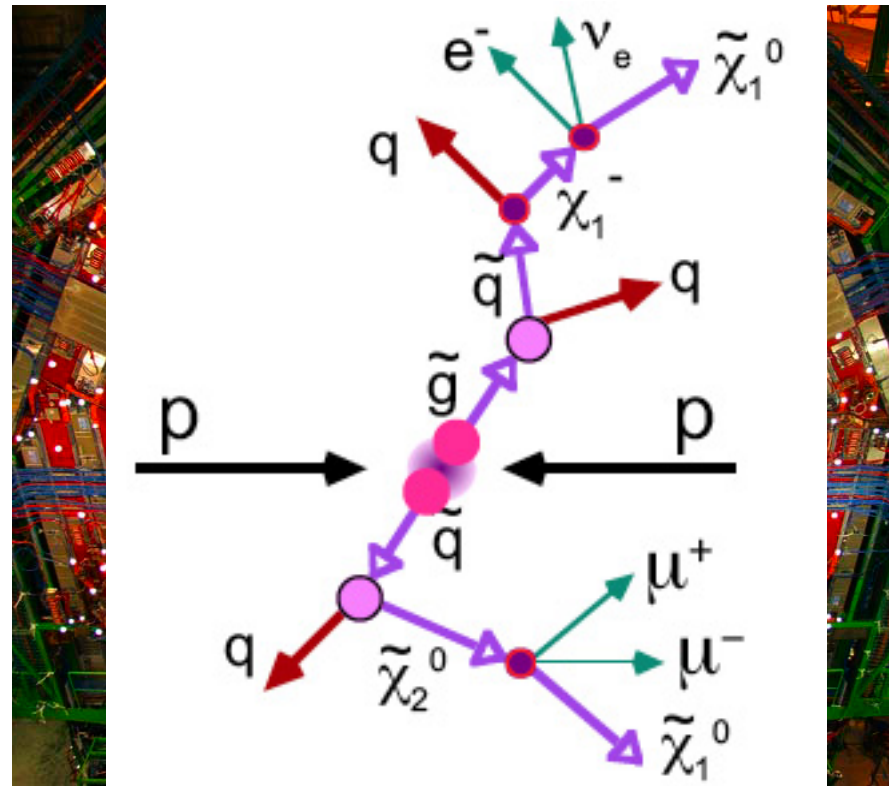
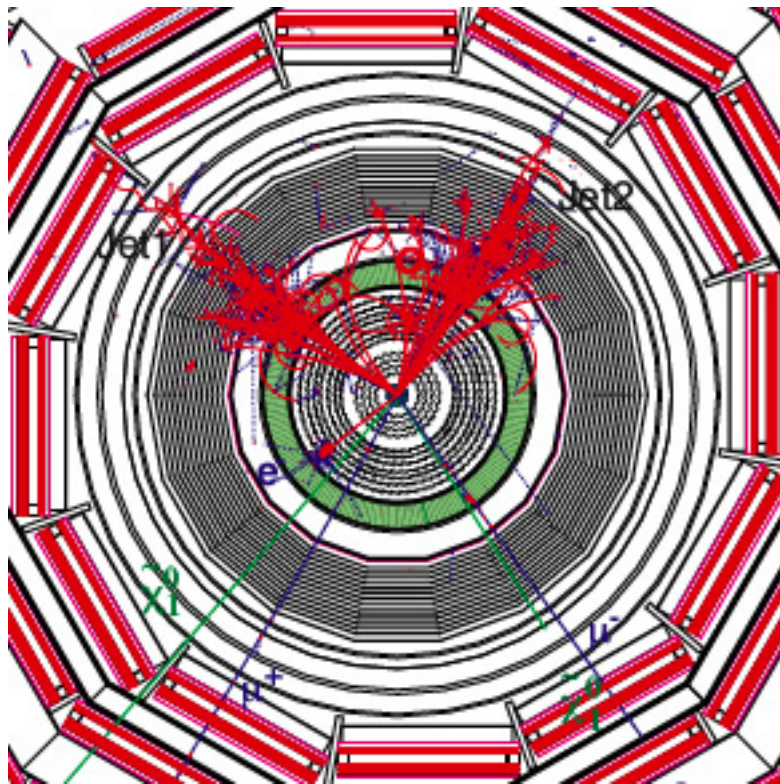
UNO SPICCHIO DEL RIVELATORE

Le particelle prodotte vengono tracciate, misurate e riconosciute



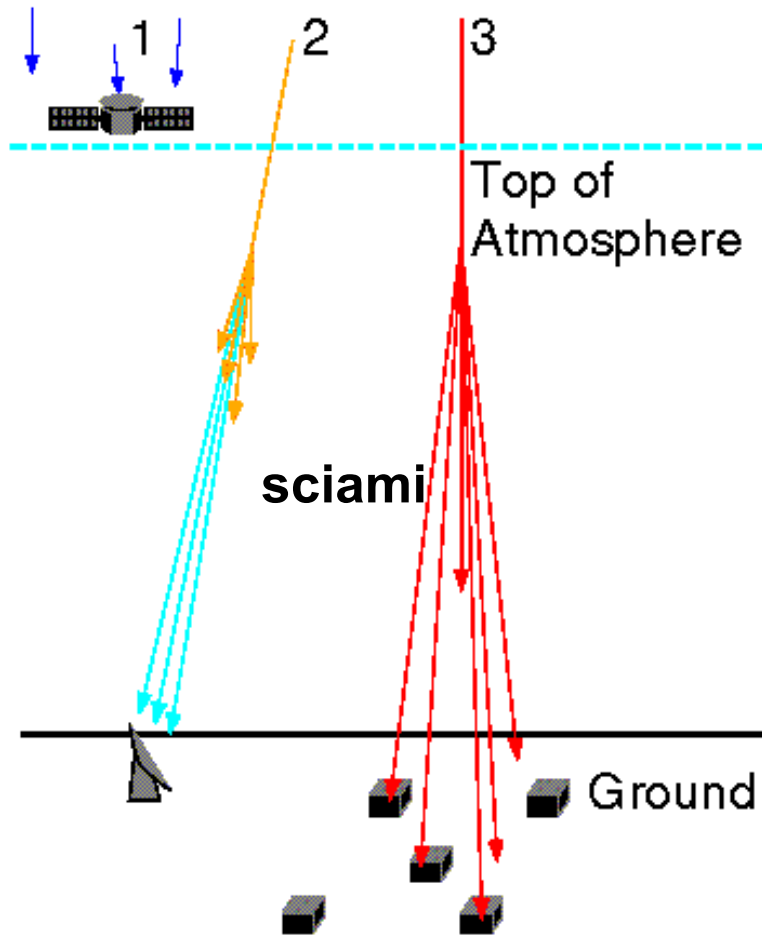
Esempio: ricerca di materia oscura

Simulazione di una collisione protone-protone in CMS che produce due particelle di ipotetica “materia oscura”

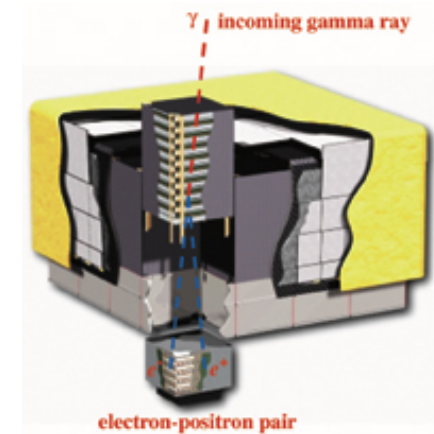


Raggi cosmici: esperimenti (esempi)

Raggi cosmici primari



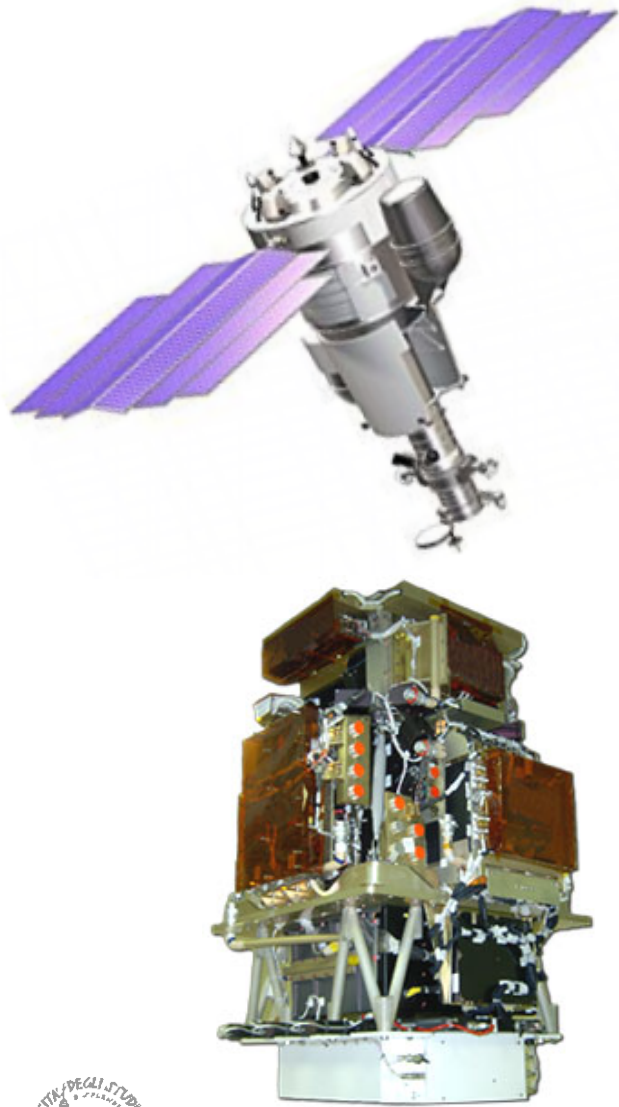
1. Fermi Gamma-ray space telescope



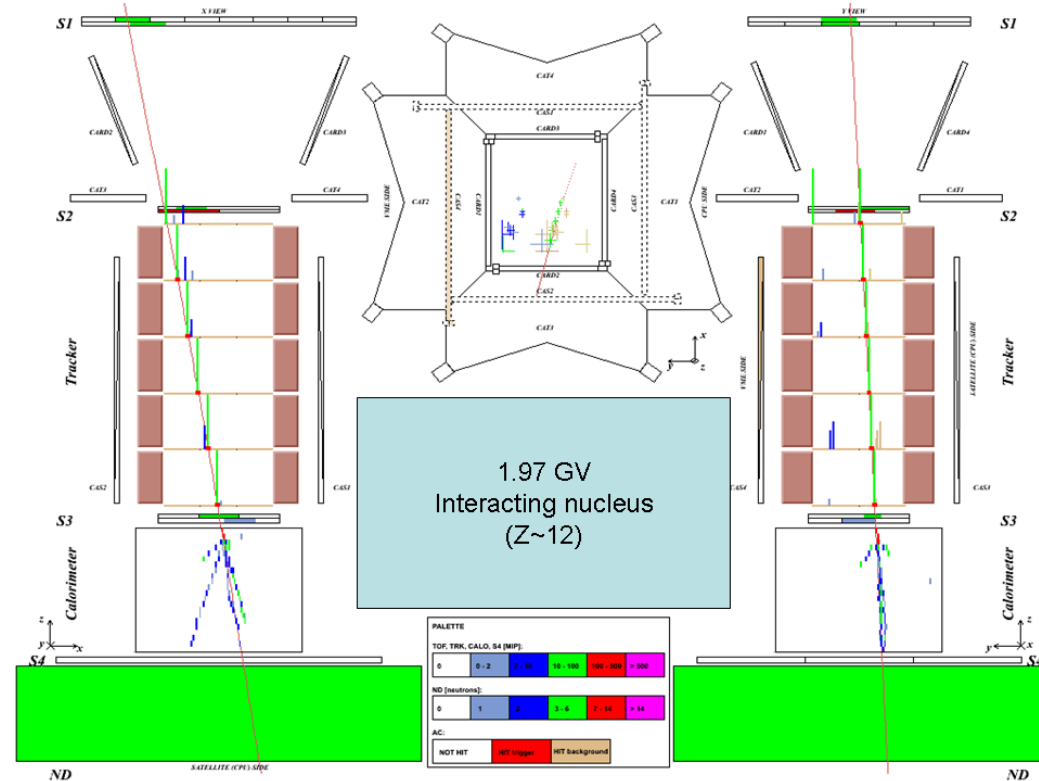
2. MAGIC ground-based gamma telescopes



Un altro esempio: Pamela



**Missione spaziale PAMELA:
alla ricerca di anti-materia primordiale
dallo spazio**



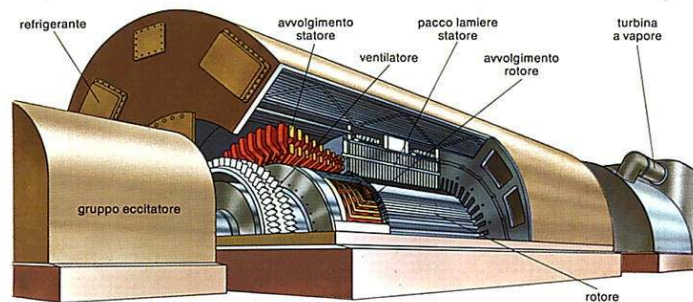
conclusioni

... a cosa serve ?

L'allora Primo Ministro britannico Sir Robert Peel (1788-1850), dopo aver visto una dimostrazione dell' *effetto dinamo*, chiese a Faraday quale fosse l'utilità della sua scoperta.



Faraday rispose:
“I know not, but I wager that one day your government will tax it.”



Applicazioni pratiche !

**Diagnostica
medica**

**Studio di
materiali**

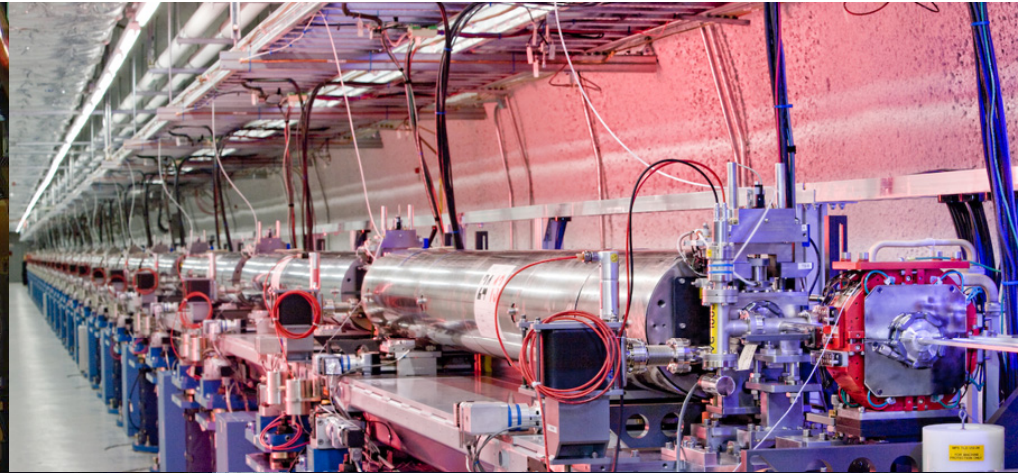
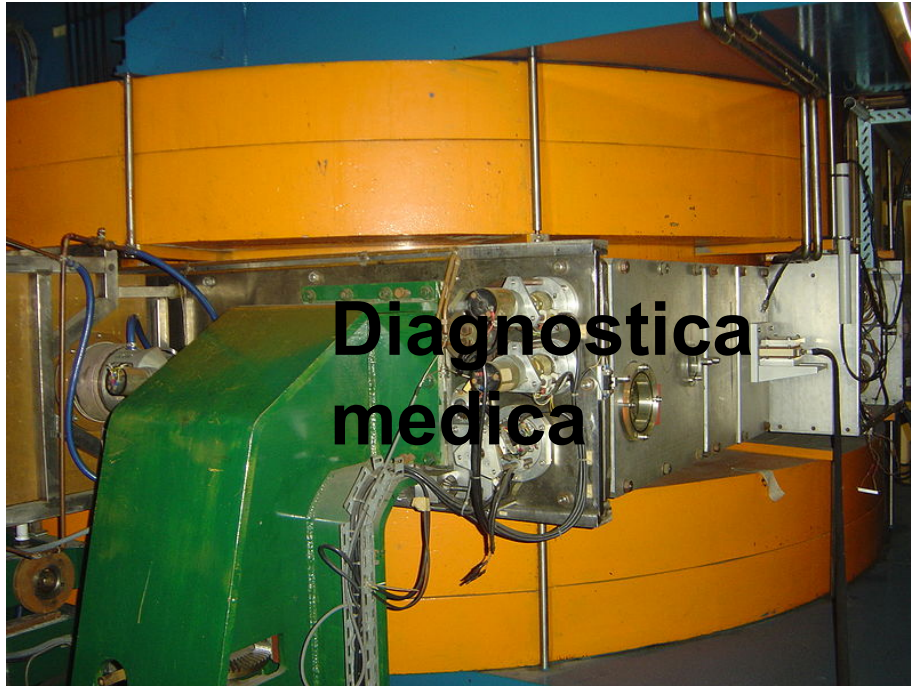
biologia

**Informatica,
internet**

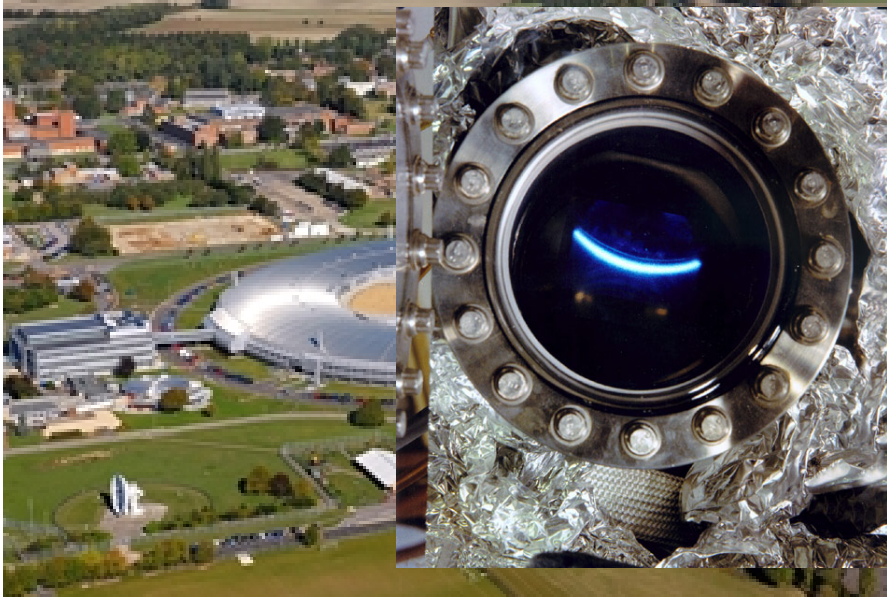
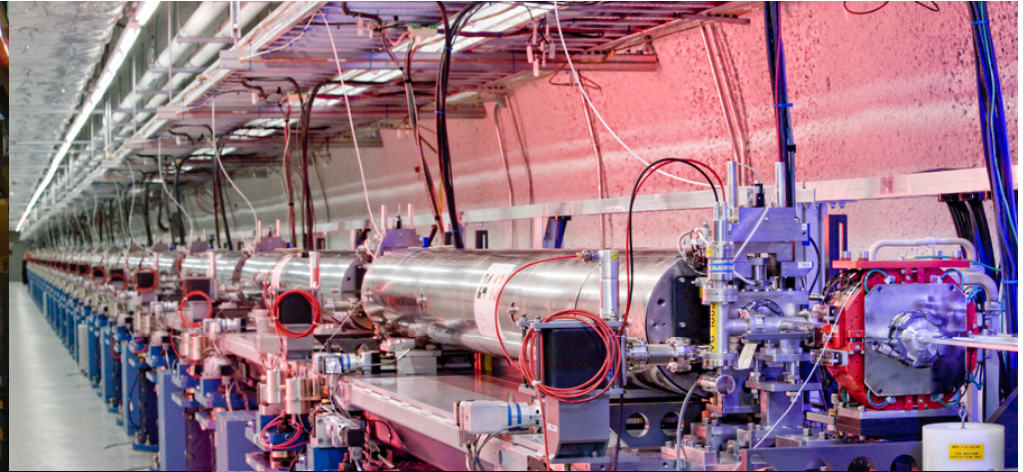
etc...



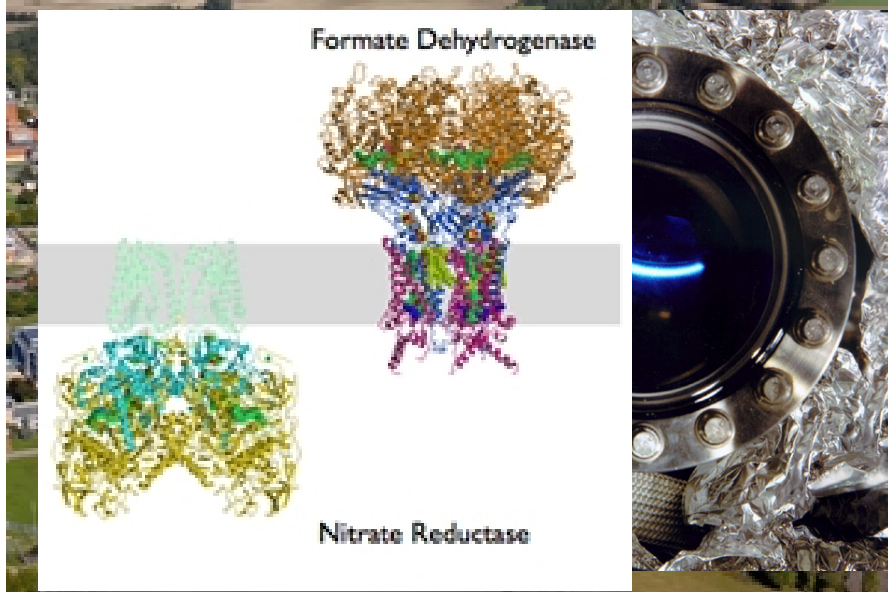
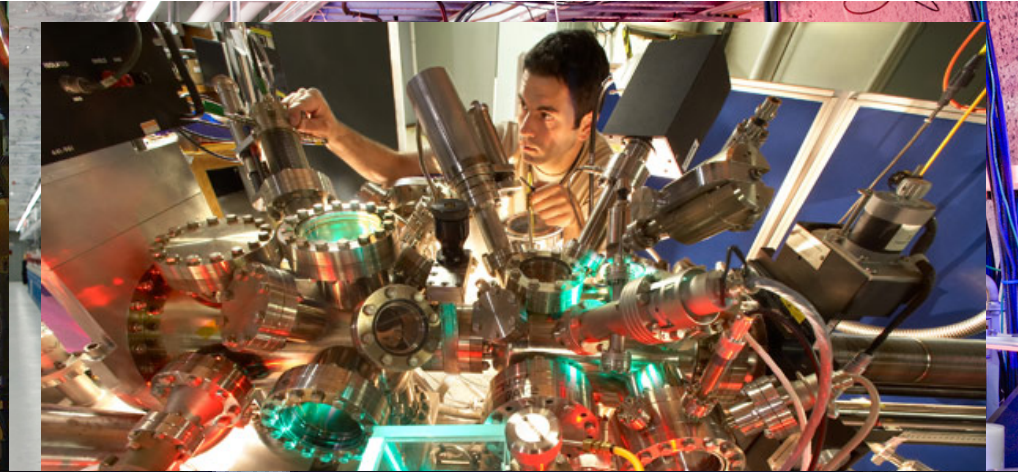
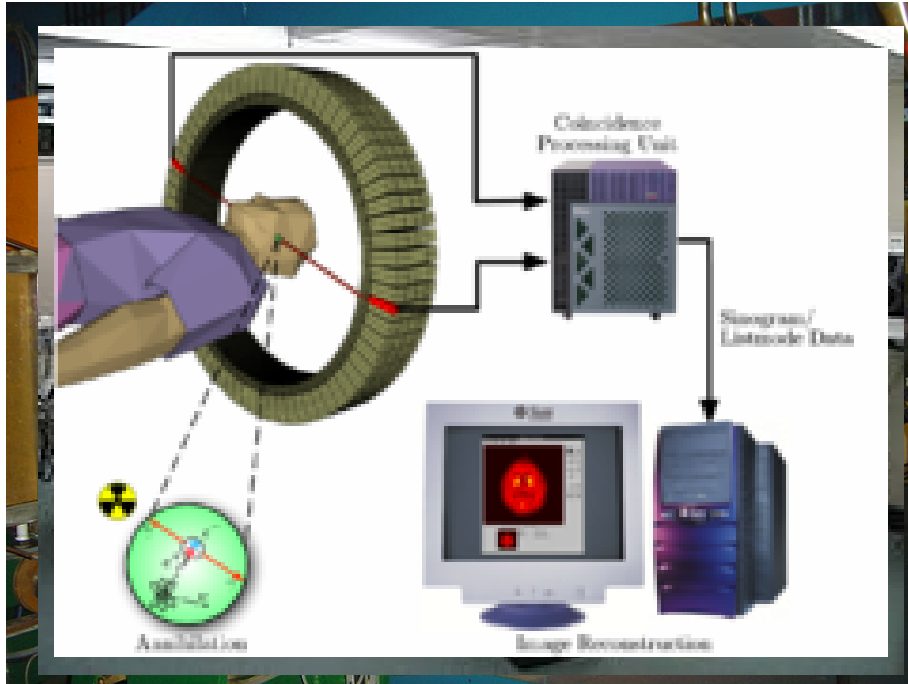
Applicazioni pratiche !



Applicazioni pratiche !



Applicazioni pratiche !



« "O frati," dissi, "che per cento milia
perigli siete giunti a l'occidente,
a questa tanto picciola vigilia

d'i nostri sensi ch'è del rimanente
non vogliate negar l'esperienza,
di retro al sol, del mondo senza gente.

Considerate la vostra semenza:
**fatti non foste a viver come bruti,
ma per seguir virtute e conoscenza". »**

(Ulisse racconta a Dante il suo arrivo
ai confini del Mediterraneo:
Dante Alighieri, *La Divina Commedia*,
Inferno, Canto XXVI, vv. 112-120)

