



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

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

Muon: blue
Cells: Tiles, EMC

oltre la Scoperta del Bosone di Higgs

Roberto Ferrari
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

Liceo "Paciolo-D'Annunzio"
Fidenza, 18 marzo 2017

*forse ... un assaggio
di
fisica delle particelle
con
effetti collaterali*

Introduzione

chi sono:

Roberto Ferrari *[roberto.ferrari@pv.infn.it oppure roberto.ferrari@cern.ch]*

ricercatore dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (I.N.F.N.) a Pavia

laurea in fisica all'Università di Parma

liceo scientifico a Borgotaro ...

montanaro doc (nato e cresciuto a Bardi) *[nessuno è perfetto]*

dalla tesi di laurea in esperimenti al CERN (UA2, UA2', SPACAL, LHCTb, NOMAD, ATLAS, DREAM)

Quiz a risposte multiple: perché ho scelto di fare il fisico ?

1) perché sono matto o asociale ?

« alla società costa meno mantenerci al CERN che cercare di curarci »

2) perché è sempre meglio che lavorare ?

3) per cercare di capire le leggi dell'universo ?

altri punti di vista ...

Making things with
your own hands!

John



Scientific insight!

Richard



Having a fantastic
time with toys!

Massimo



Altri buoni motivi per fare questo mestiere:

- non si smette mai di imparare
- ambiente in generale positivo e costruttivo
- le gerarchie contano relativamente

capire l'universo ?

[programma vasto e ambizioso !]

è davvero possibile ?

se è possibile, allora è possibile capire ogni cosa

è possibile capire la natura

è possibile capire gli uomini

forse ... persino le donne !

per secoli si è ritenuto che non fosse così, ma un signore pisano, un giorno, ...

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

« 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: solo attraverso la
matematica si può capire il mondo
ovvero ...***

***chi rinuncia a capire la
matematica, rinuncia alla
possibilità di capire il mondo***

***Brutta notizia ?
Spero che nessuno ci sia rimasto male ...***

è davvero così ?

mica ovvio ...

Albert Einstein:

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

Louis de Broglie:

« 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 »

non c'è nessuna garanzia del fatto che il nostro cervello abbia le potenzialità per comprendere davvero, completamente, il mondo

ma l'unica è ... provarci ...

Propaganda

È uno sporco lavoro ma qualcuno lo deve pur fare ...



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

I.N.F.N.



promuove, coordina ed
effettua la ricerca in
fisica delle particelle
elementari in Italia

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

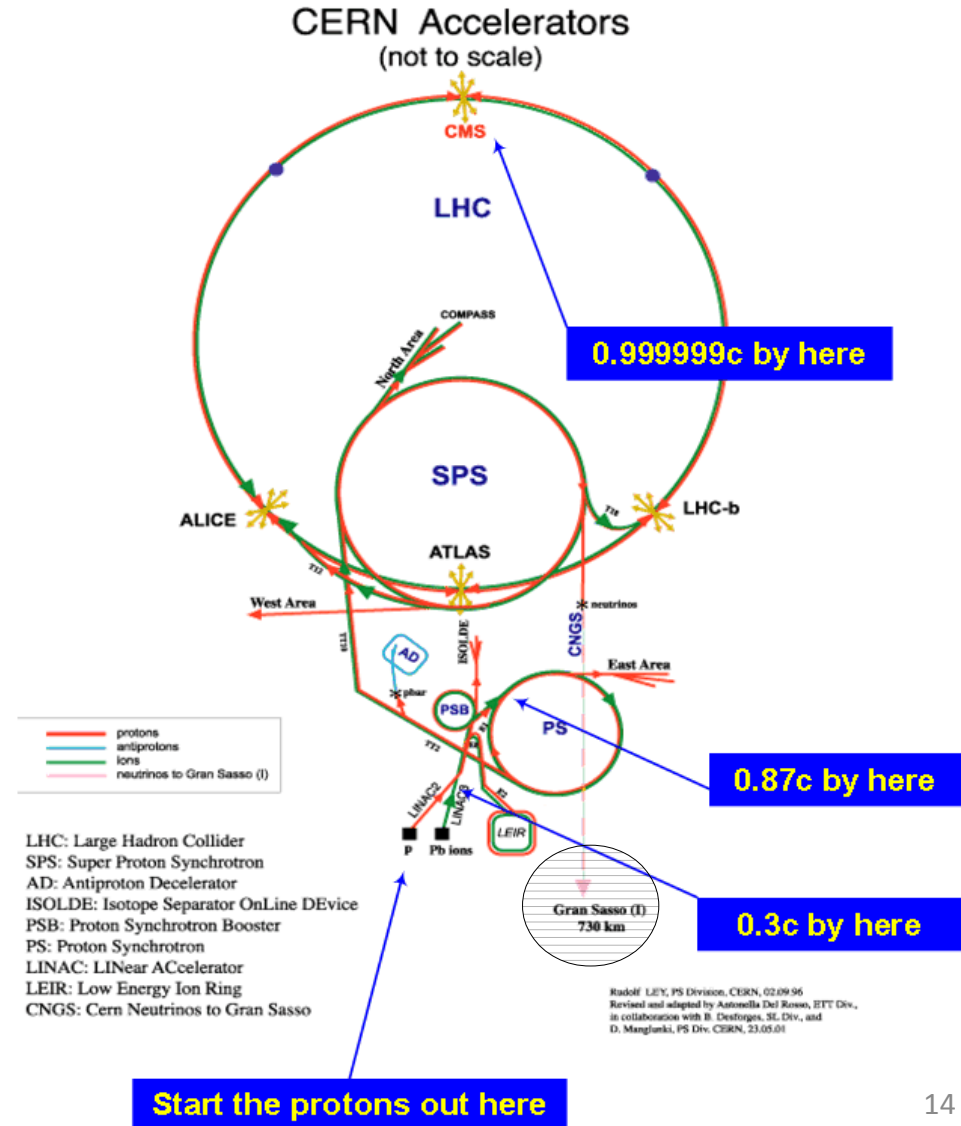
~ 5000 ricercatori, la
maggior parte universitari,
distribuiti in 16 regioni
diverse

CERN

European Organization for Nuclear Research

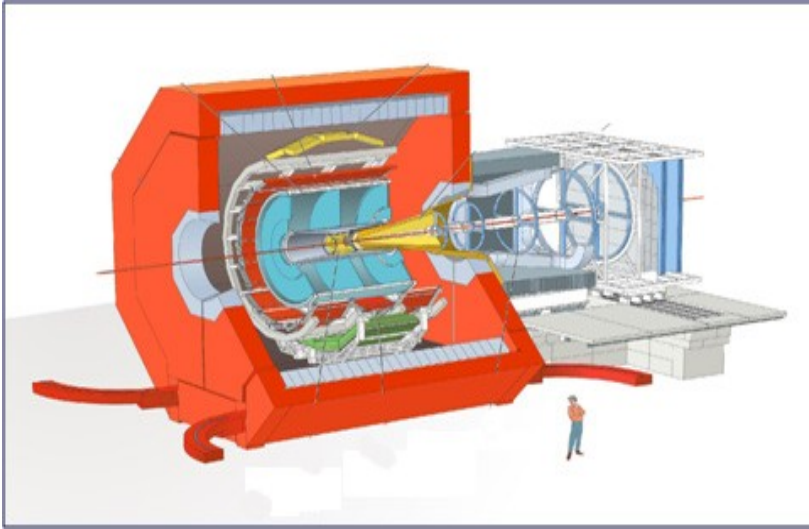
laboratorio europeo per la
fisica delle particelle
elementari

tanti diversi acceleratori: PS,
SPS, ..., LHC

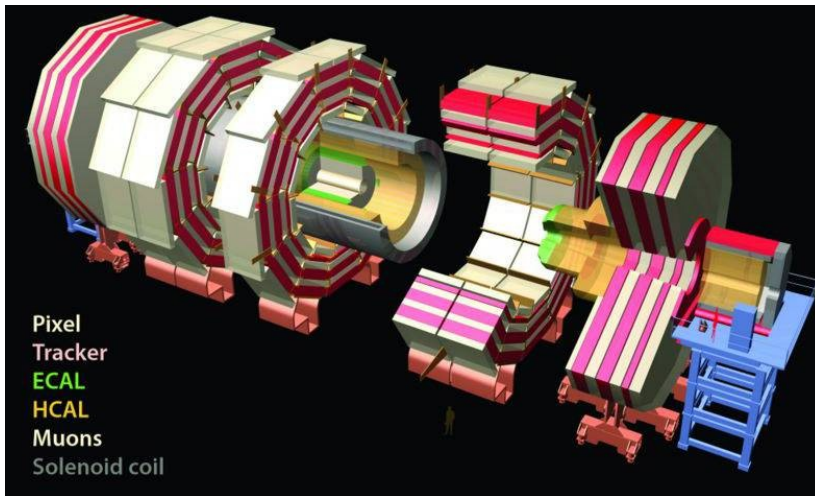


esperimenti @ LHC [portavoce 2011]

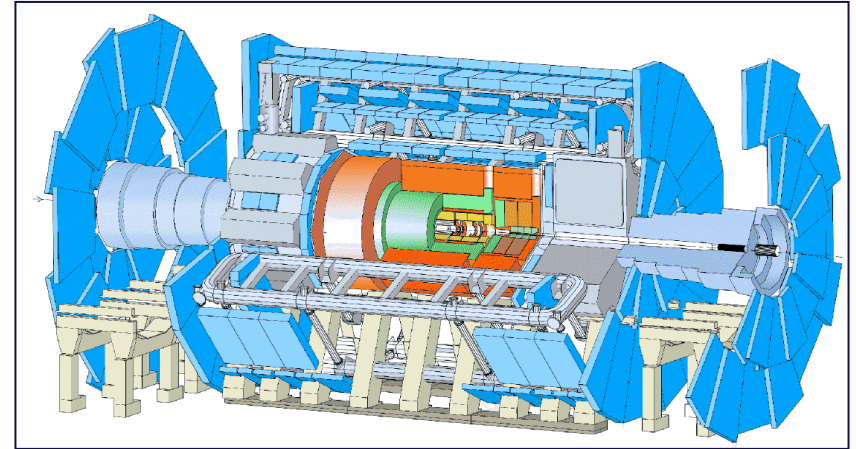
ALICE [Paolo Giubellino]



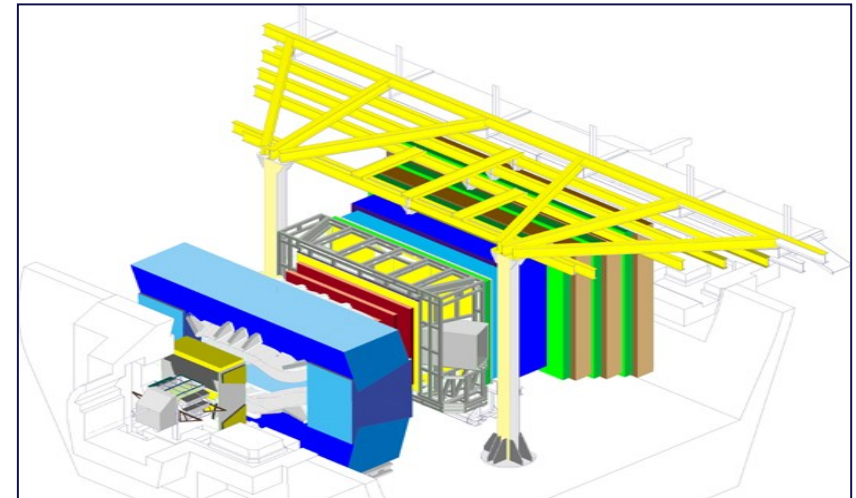
CMS [Guido Tonelli]



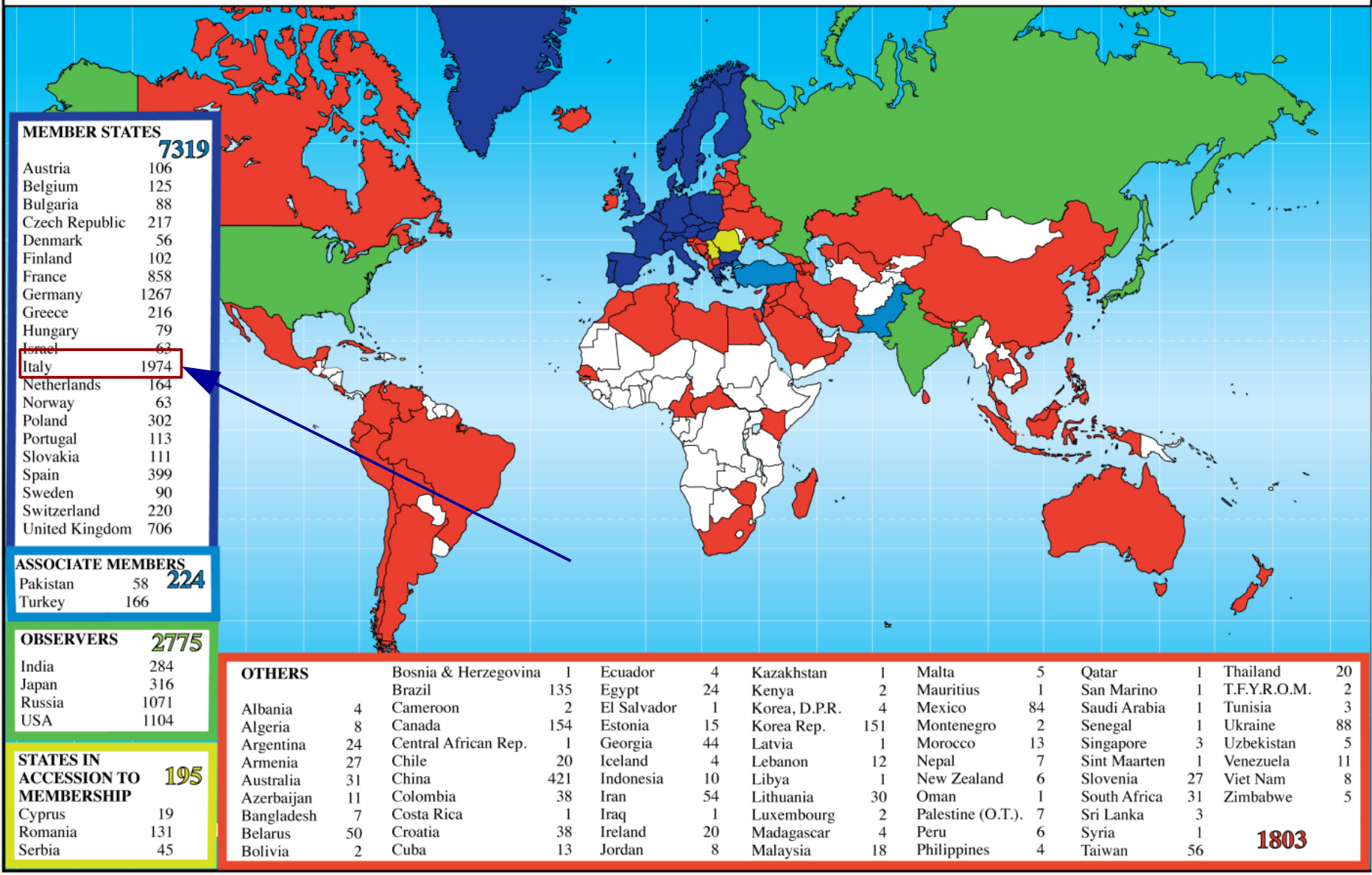
ATLAS [Fabiola Gianotti]



LHCb [Pierluigi Campana]



Distribution of All CERN Users by Nationality on 12 January 2016



Paradiso e Inferno

Il Paradiso è dove:

i cuochi sono francesi,
i poliziotti inglesi,
i meccanici tedeschi,
gli amanti italiani
e tutto è organizzato
dagli svizzeri

L'Inferno è dove:

i cuochi sono inglesi,
i poliziotti tedeschi,
i meccanici francesi,
gli amanti svizzeri
e tutto è organizzato
dagli italiani

a che serve la ricerca fondamentale?

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

« No, non serve per la difesa militare del nostro paese, ma piuttosto a renderlo degno di essere difeso »

Michael Faraday (UK), a un politico, sull'induzione e.m. (1821):

« A cosa serve non lo so, ma so che, prima o poi, uno come te ci metterà una tassa sopra »

**il motore è la curiosità,
l'obiettivo la conoscenza ...**

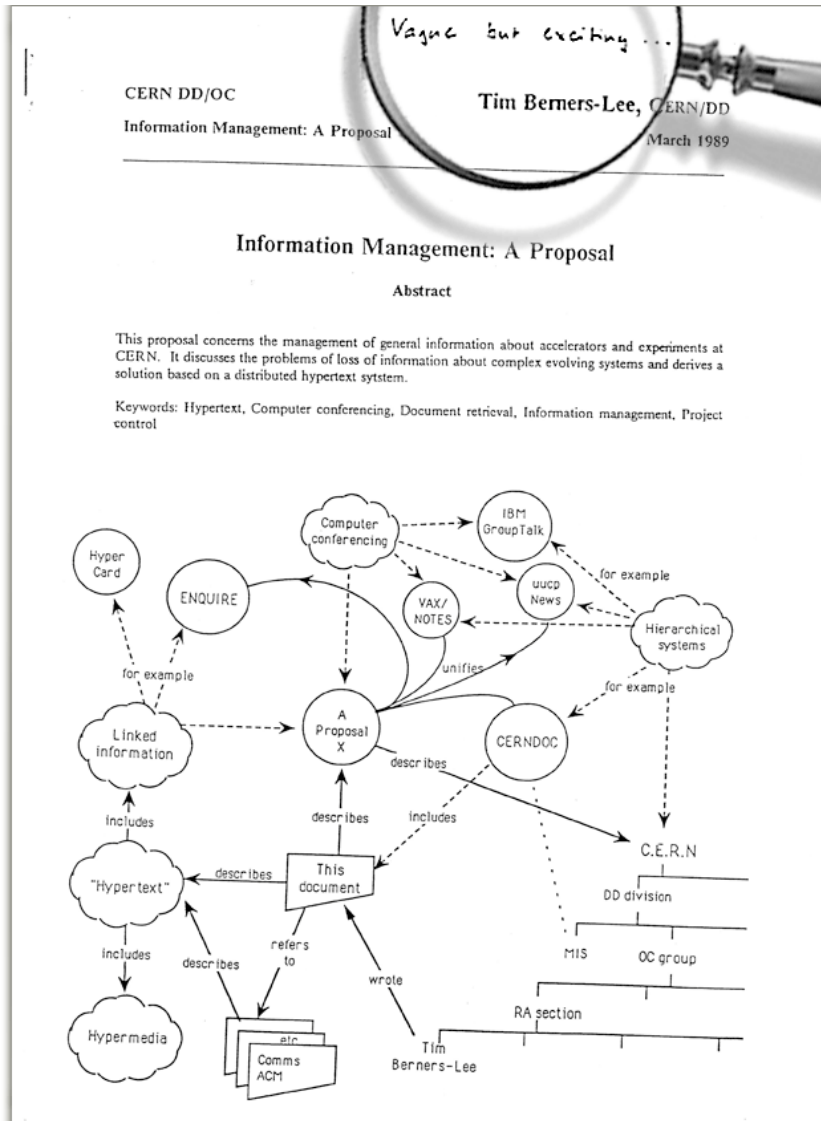
effetti collaterali →

dove è nato il Web ?

Tim Berners-Lee



la proposta iniziale ...



1989

“vague but exciting”

<http://first-website.web.cern.ch/>

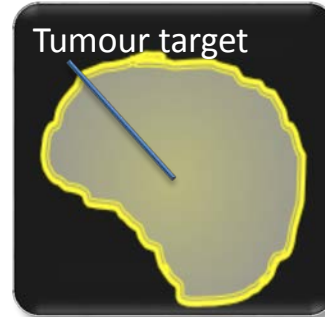
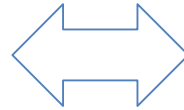
24 anni di web aperto e libero:

“On 30 April 1993 CERN published a statement that made World Wide Web technology available on a royalty free basis, allowing the web to flourish”

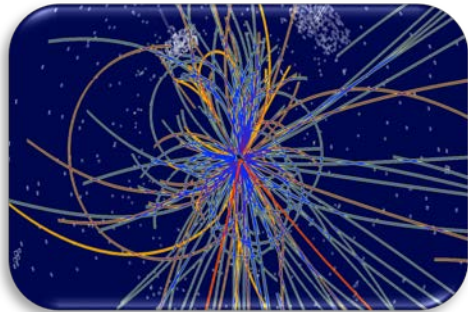
Il trasferimento tecnologico (o trasferimento di conoscenza)



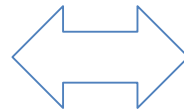
**Acceleratori
di particelle**



Radio-terapie



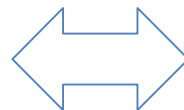
Rivelatori



**Diagnostica
per immagini**



**Calcolo
su grande
scala (Grid)**



**Gestione e analisi
di dati medici**

medical imaging



raggi X



Wilhelm Röntgen

1845-1923

premio Nobel nel 1901

8 novembre 1895:
scoperta

22 dicembre 1895:
prima radiografia

Courtesy of Roentgen museum

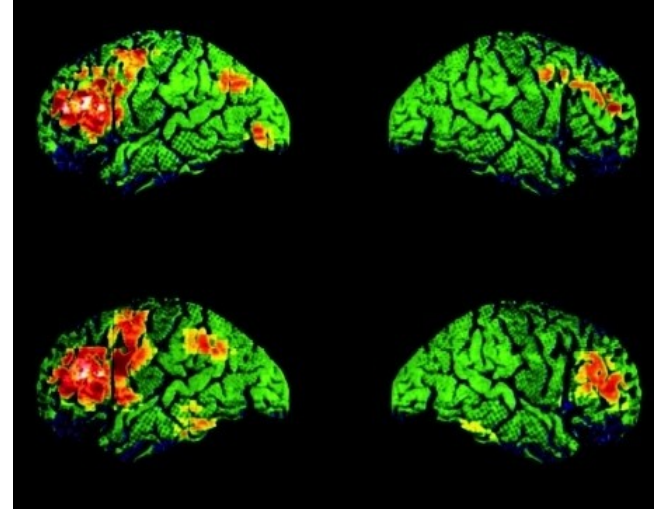
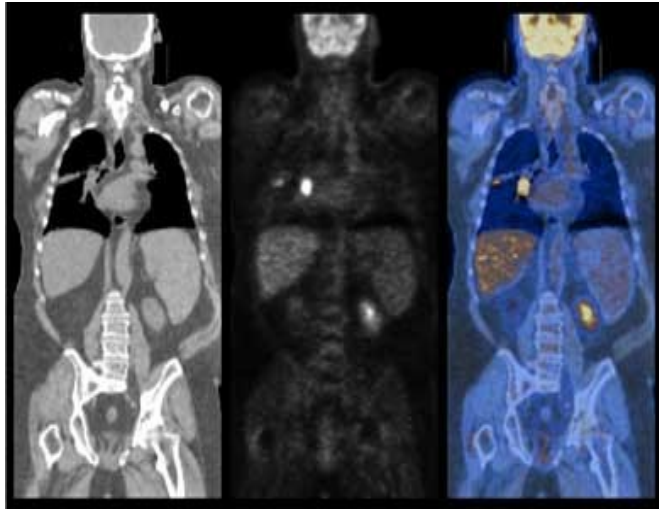


antimateria

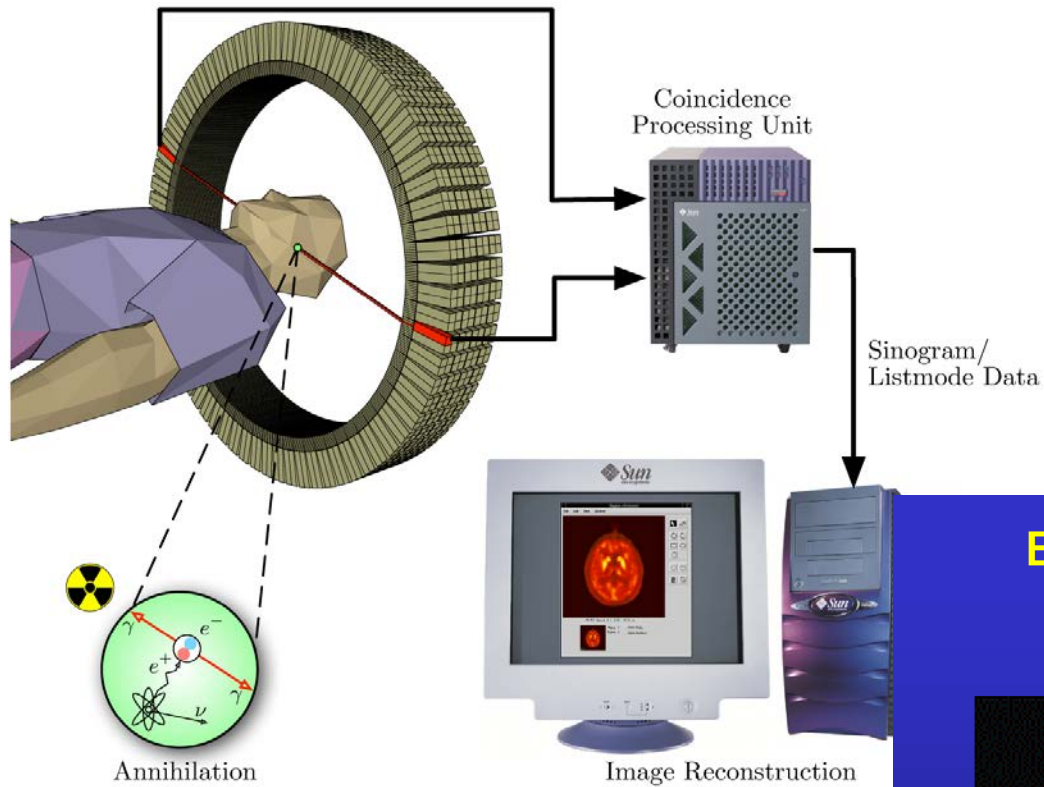


si usa solo a Hollywood ?

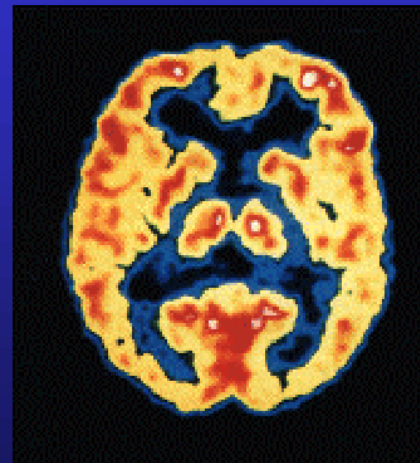
PET = Positron Emission Tomography



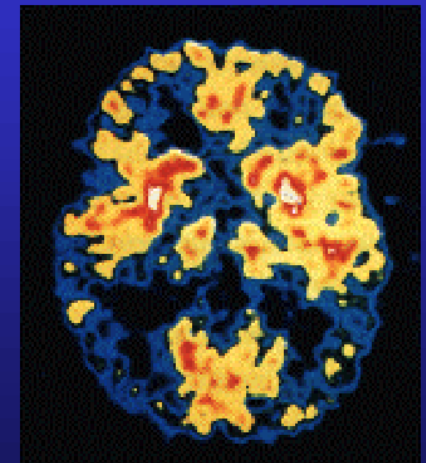
PET scan



Brain Metabolism in Alzheimer's Disease: PET Scan



Normal Brain



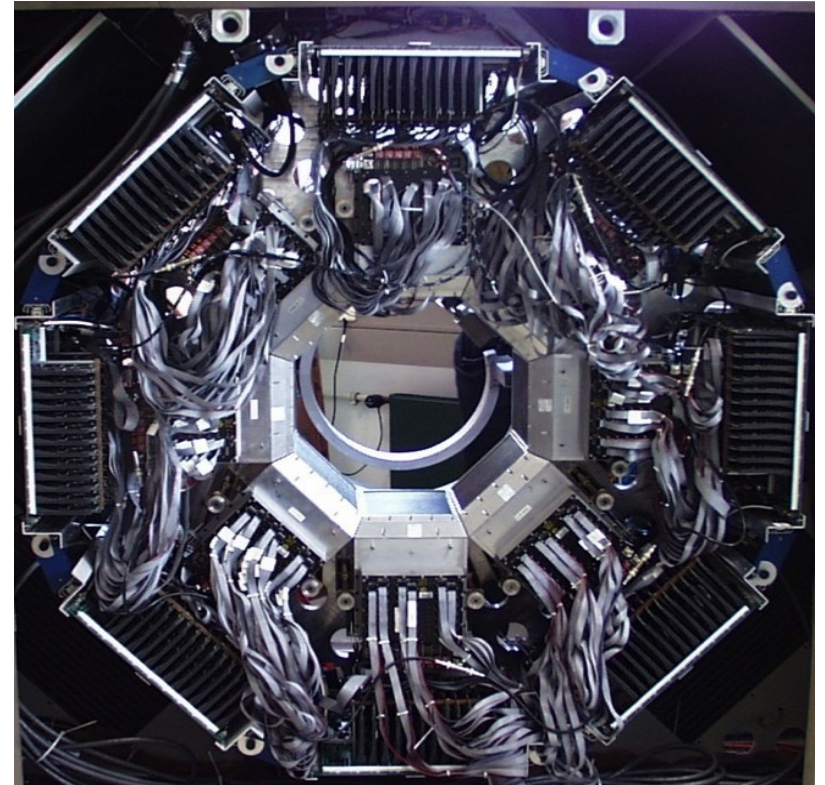
Alzheimer's Disease

rivelatori di particelle

fisica delle particelle



diagnostica medica

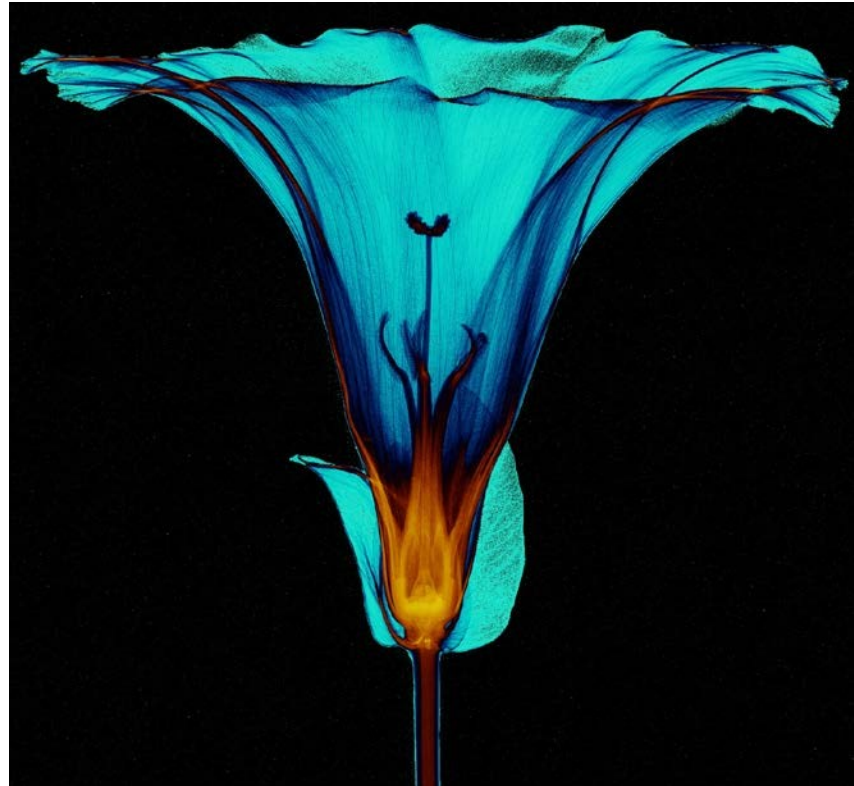


MediPix

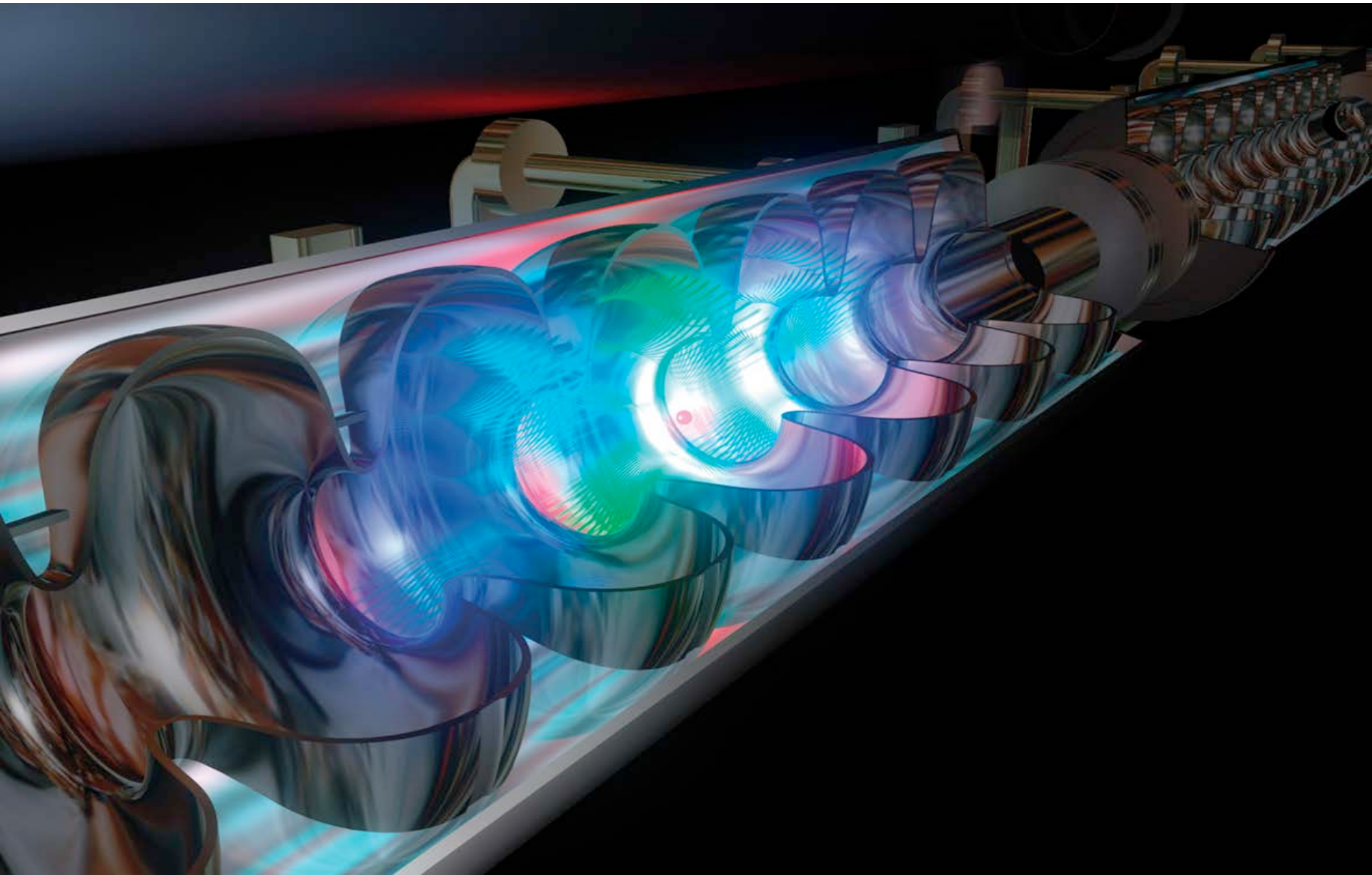


sviluppato per rivelare tracce di particelle

permette di ricostruire
immagini a colori
con raggi X



acceleratori per il trattamento di tumori



radioterapia

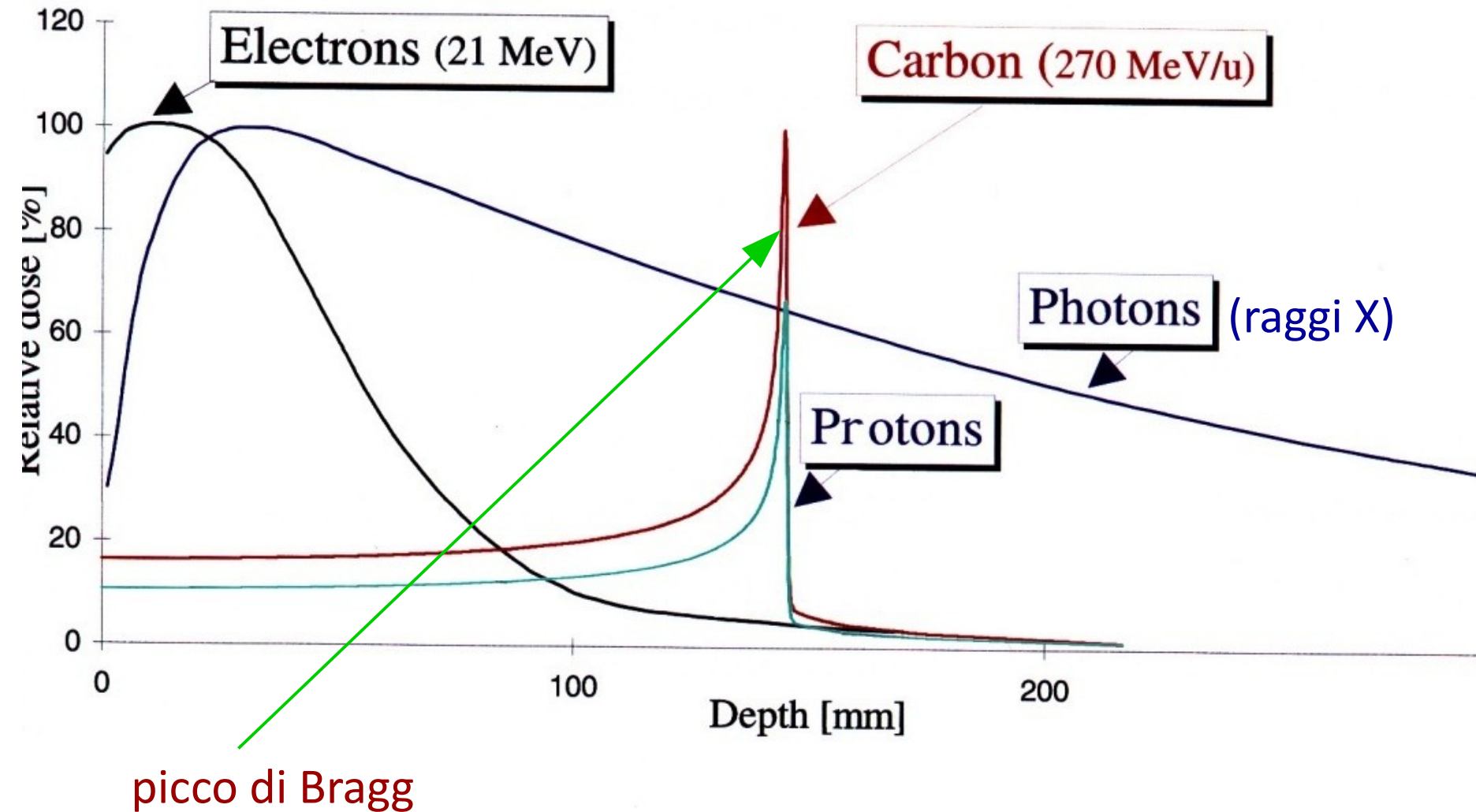
raggi X prodotti da un piccolo
acceleratore

(vedi "acceleratore lineare per radioterapia")

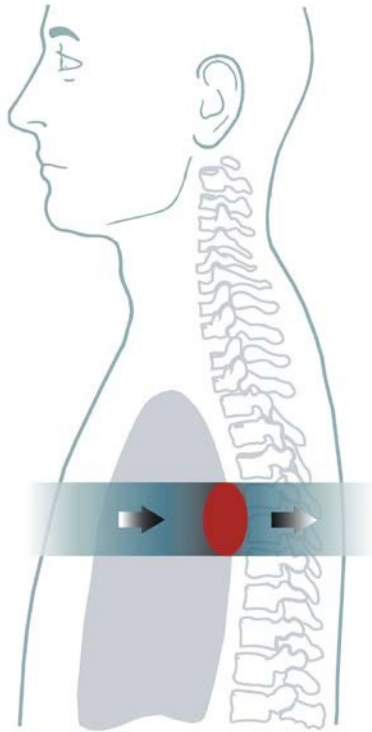
- trattamento dei tumori meno costoso
- buona efficacia (30-40% di successo)
- non invasivo, effetti collaterali limitati



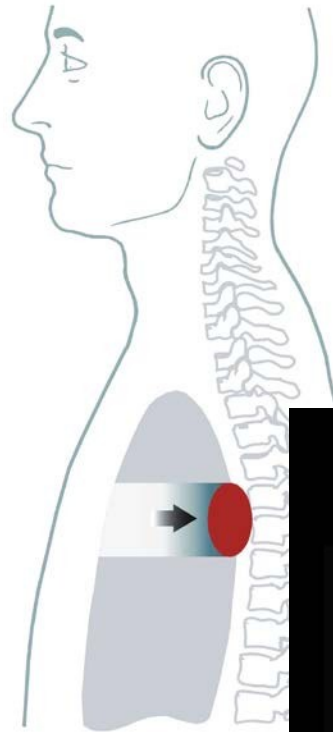
adroterapia



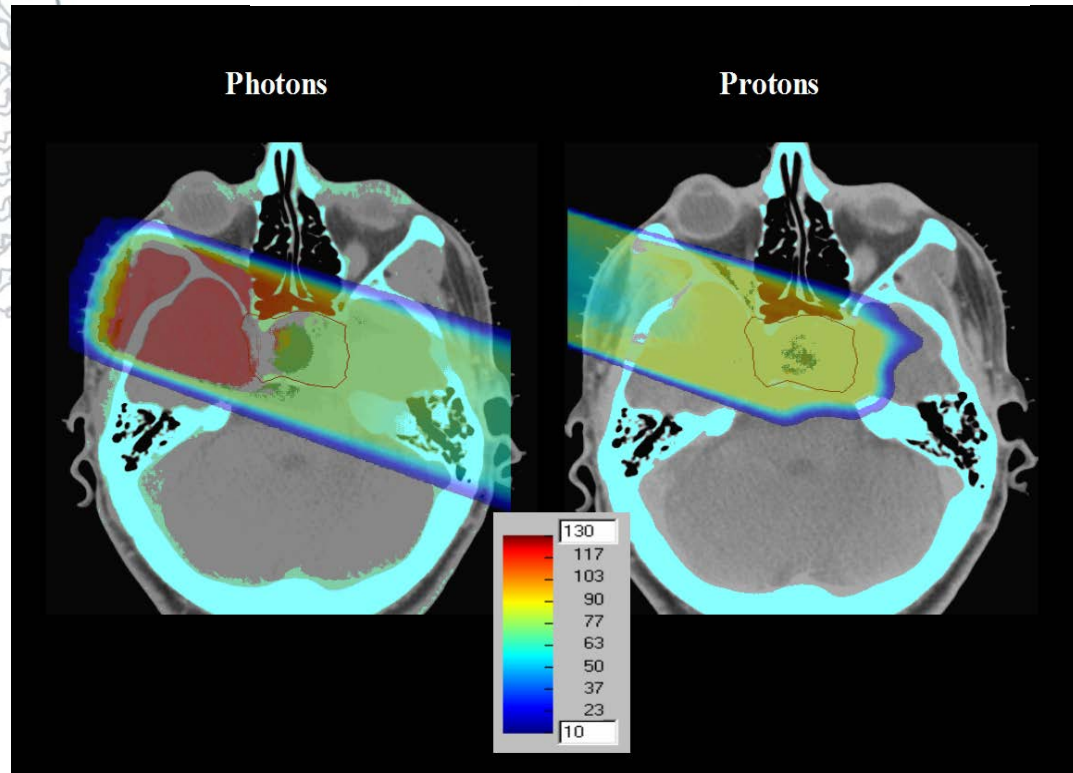
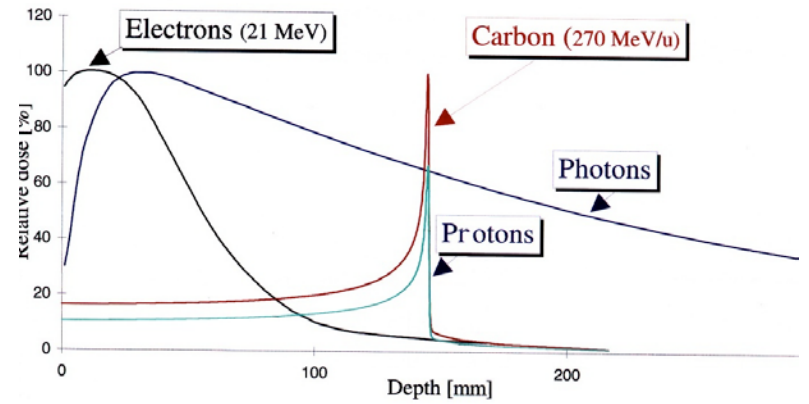
protoni o raggi X ?



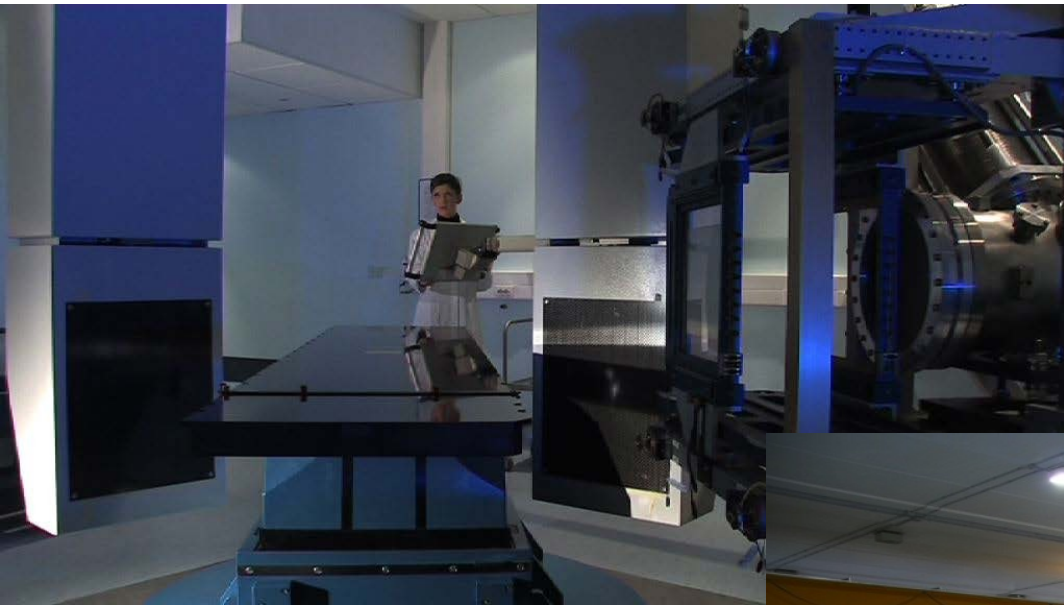
raggi X



protoni



dove si può fare ?



... a Pavia (CNAO)

Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica

Inaugurato ufficialmente il 15 febbraio 2010

Fasci di particelle (protoni e ioni carbonio) per la cura di tumori difficilmente operabili, radio-resistenti, ...

3 sale, ~20000 sedute per ~3000 pazienti l'anno

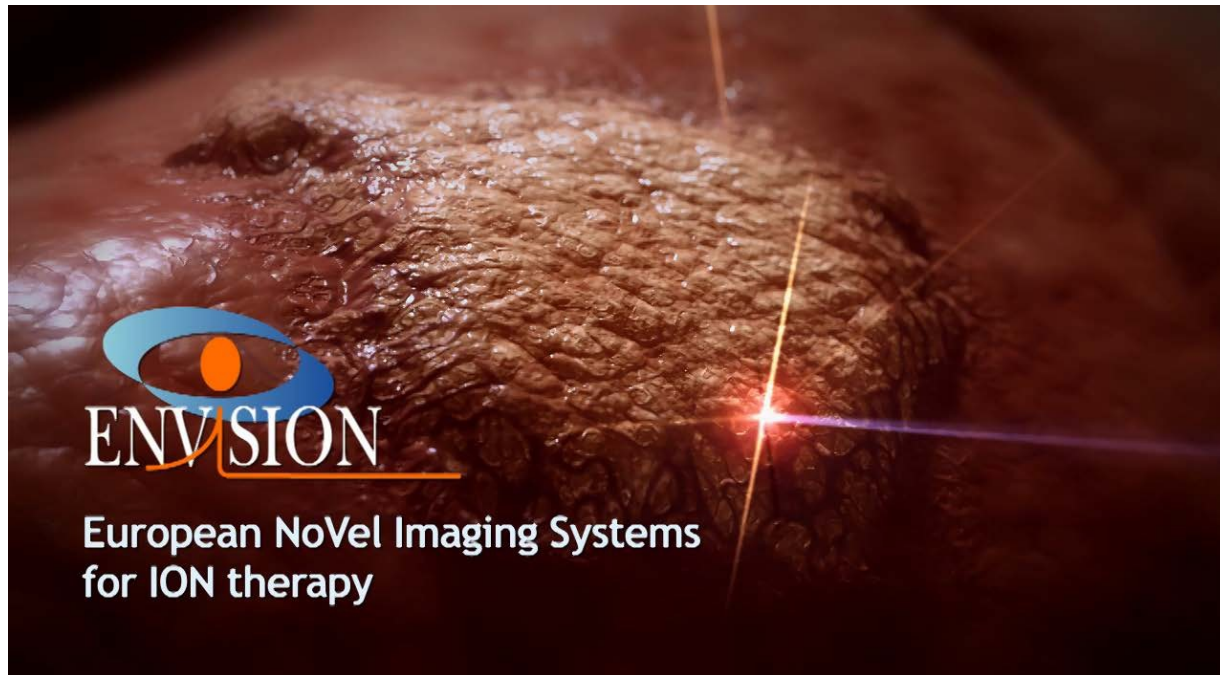
Tutta la parte di generazione e controllo dei fasci è responsabilità dell'INFN

MedAustron: centro gemello in Austria con la collaborazione di CERN, TERA, INFN, CNAO ... ***next: Dallas (USA)***

prossimi passi ?

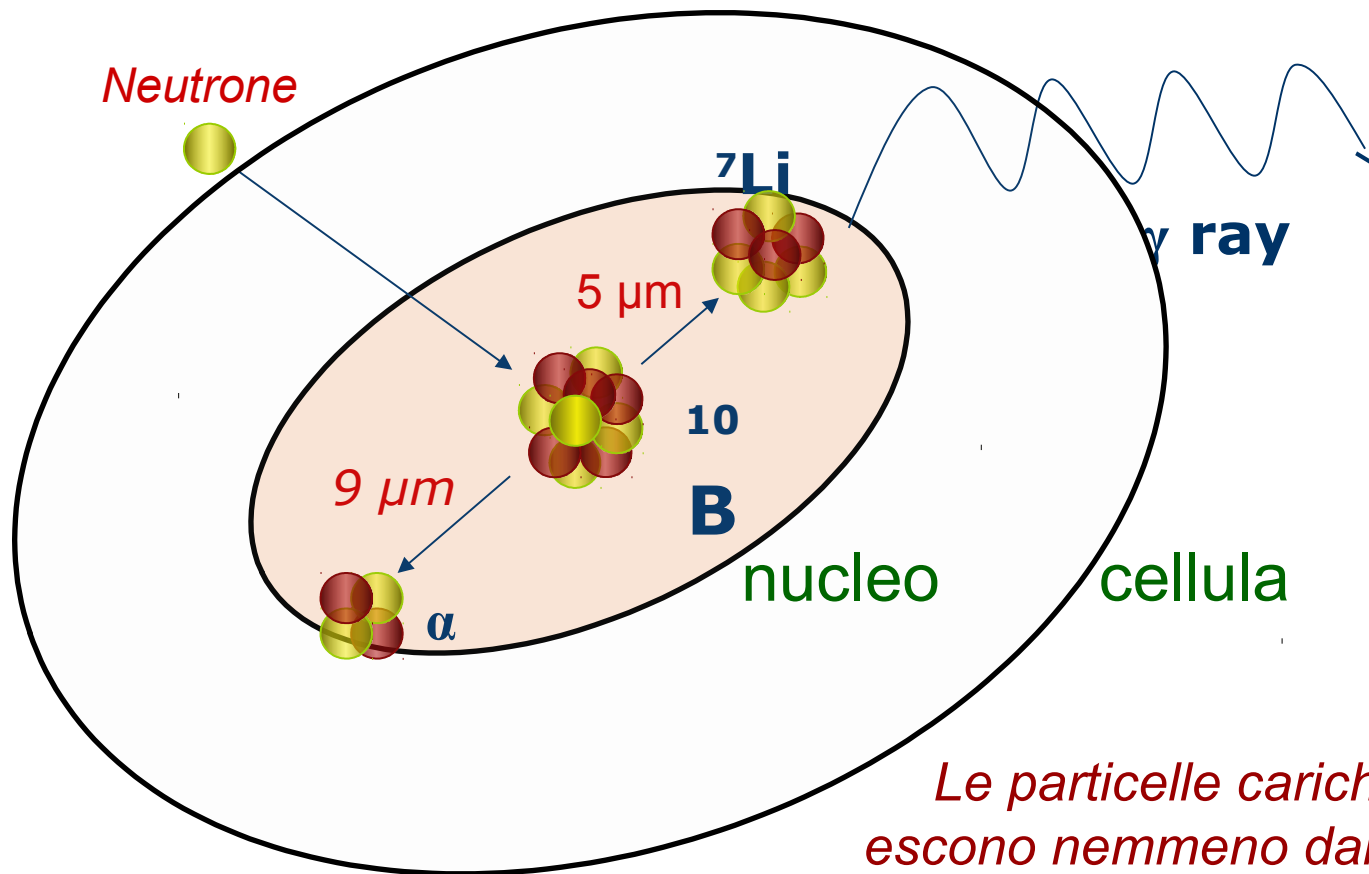
Colpire tumori in movimento (terapia con diagnostica in tempo reale):
progetto europeo ENVISION (CERN, INFN, TERA, ...)

(<https://cds.cern.ch/record/1611725>)



e contro tumori diffusi (metastasi) ?

Boron Neutron Capture Therapy (BNCT)

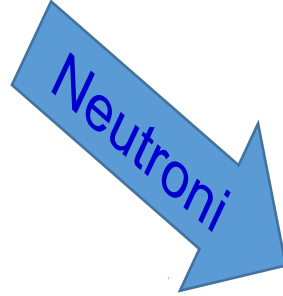


Le particelle cariche non escono nemmeno dalla cellula in cui sono state prodotte

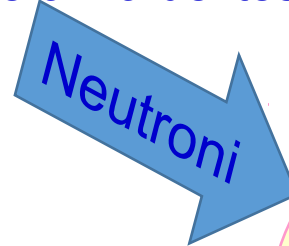
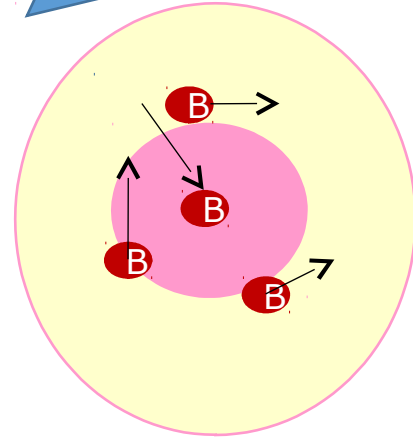
Selettività

Dose assorbita proporzionale alla concentrazione di boro

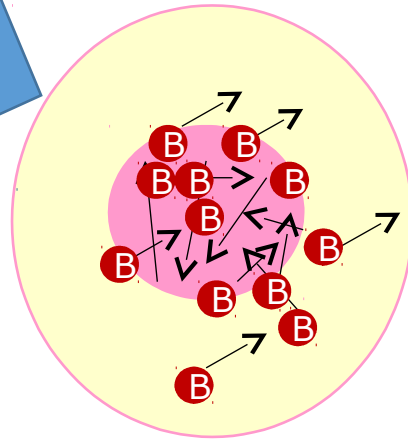
Irraggiamento calibrato per restare sotto le soglie di tolleranza dei tessuti normali



Cellula normale



Cellula tumorale



Adroterapia interna alla cellula

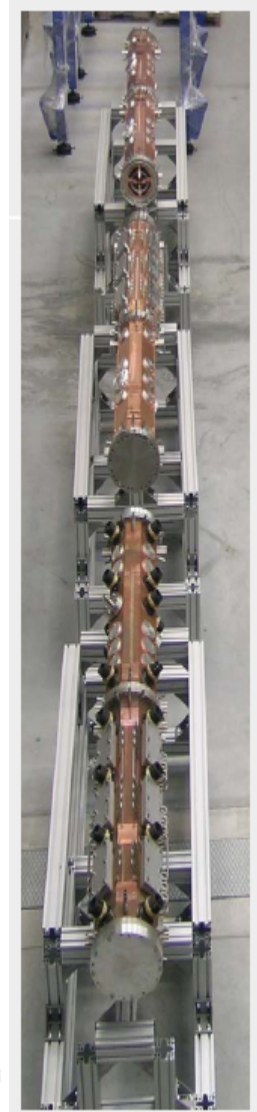
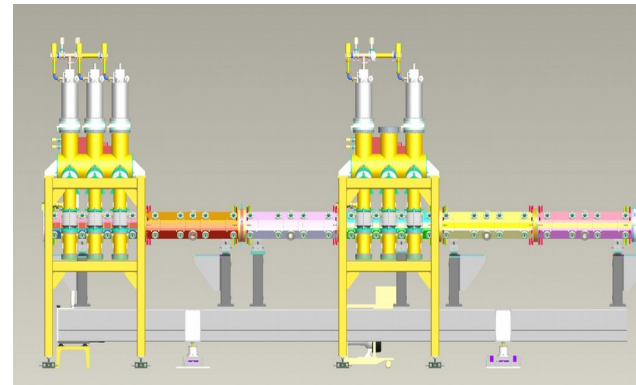
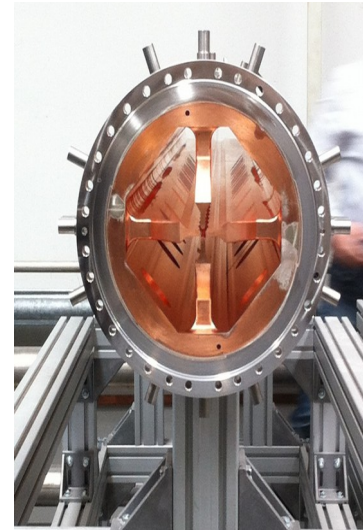
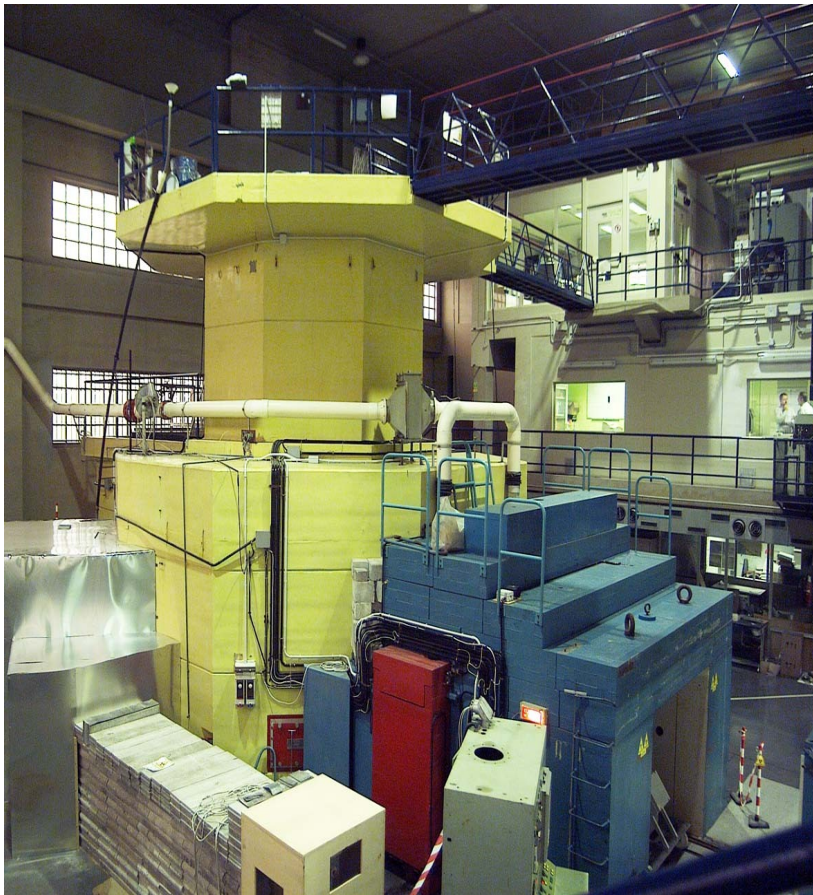
BNCT sola opzione di Radioterapia per:

- *metastasi*
- *tumori infiltrati,*
- *cellule cancerogene isolate*

Yesterday

a Pavia

Tomorrow



BNCT@ **fondazione CNAO**
Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica per il trattamento dei tumori

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 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>

offerte (CERN) per studenti universitari

<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)

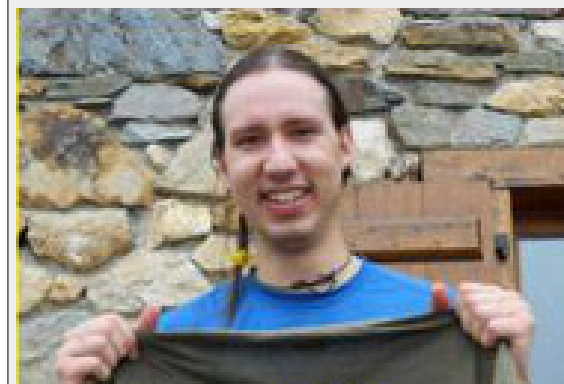
facce che potreste incontrare o avere incontrato ...



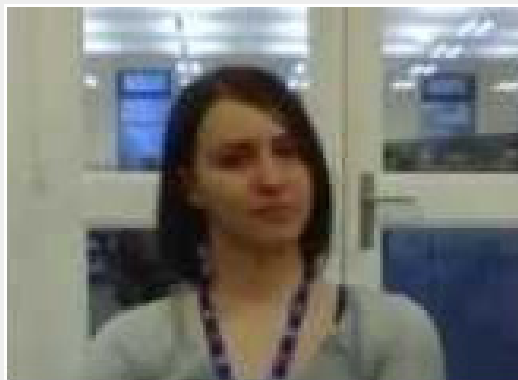
Martino - liceo sc. Marconi
ingegnere
informatico (PR)



Daniele - liceo sc. Marconi
ingegnere
meccatronico (RE)



Leo - ITC Fossati (SP)
ingegnere
informatico (PR)



Giulia - liceo sc. Ulivi
ingegnere delle
telecomunicazioni (PR)



Wainer - ITIS Sassuolo
fisico (PR)

andiamo al punto!

la Ricerca del Bosone di Higgs

1. perché ?

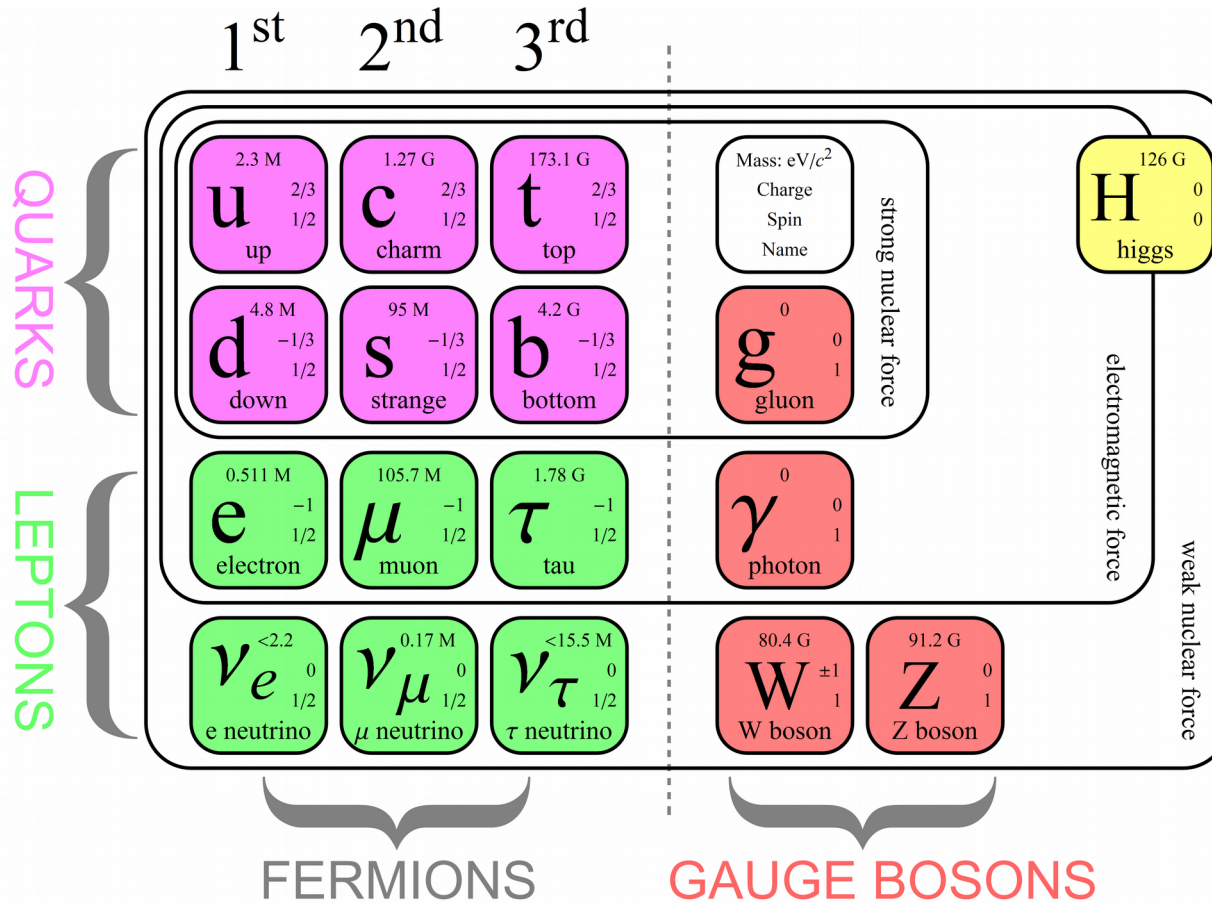
2. come ?

3. cosa ?

4. quindi ?

1. la ricerca del bosone di Higgs - perché ?

il modello standard



statistica di Fermi-Dirac
(principio di esclusione di Pauli)

statistica di Bose-Einstein

il modello standard

i mattoni “fondamentali” dell’universo

3 forze (forze di gauge) \pm ben conosciute: forza forte, forza e.m, forza debole

- Agiscono sulle particelle “cariche”
- Rendono possibili le interazioni (in particolare i trasferimenti di energia)

materia: 3 + 3 famiglie di “fermioni” (quark e leptoni)

- Permettono (grazie a forze attrattive) la costruzione di elementi più complessi e più stabili

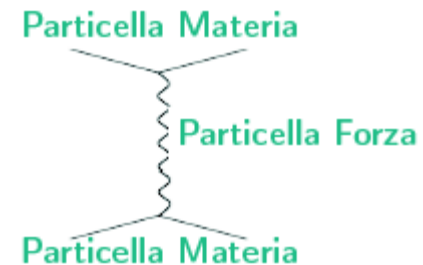
forza di Brout-Englert-Higgs:

- Dà origine alla massa delle particelle elementari

particelle & forze → interazioni

Forza (o interazione) → lavoro ovvero trasferimento energia

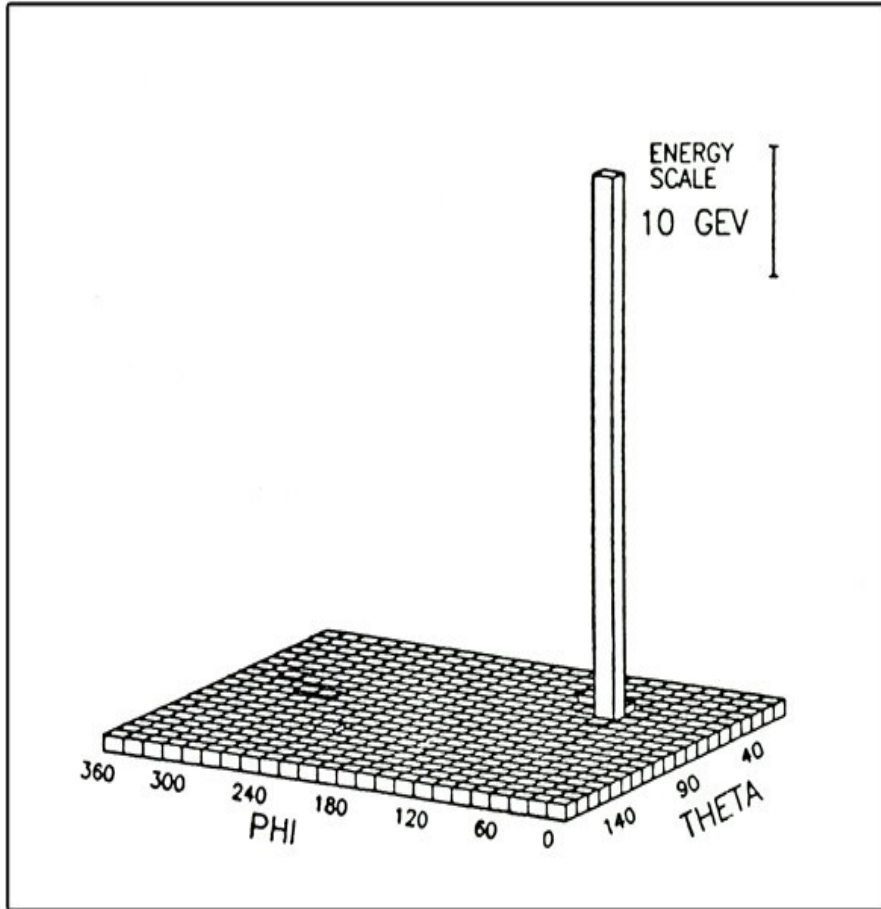
Azione a distanza ? No → si sfruttano dei mediatori ...



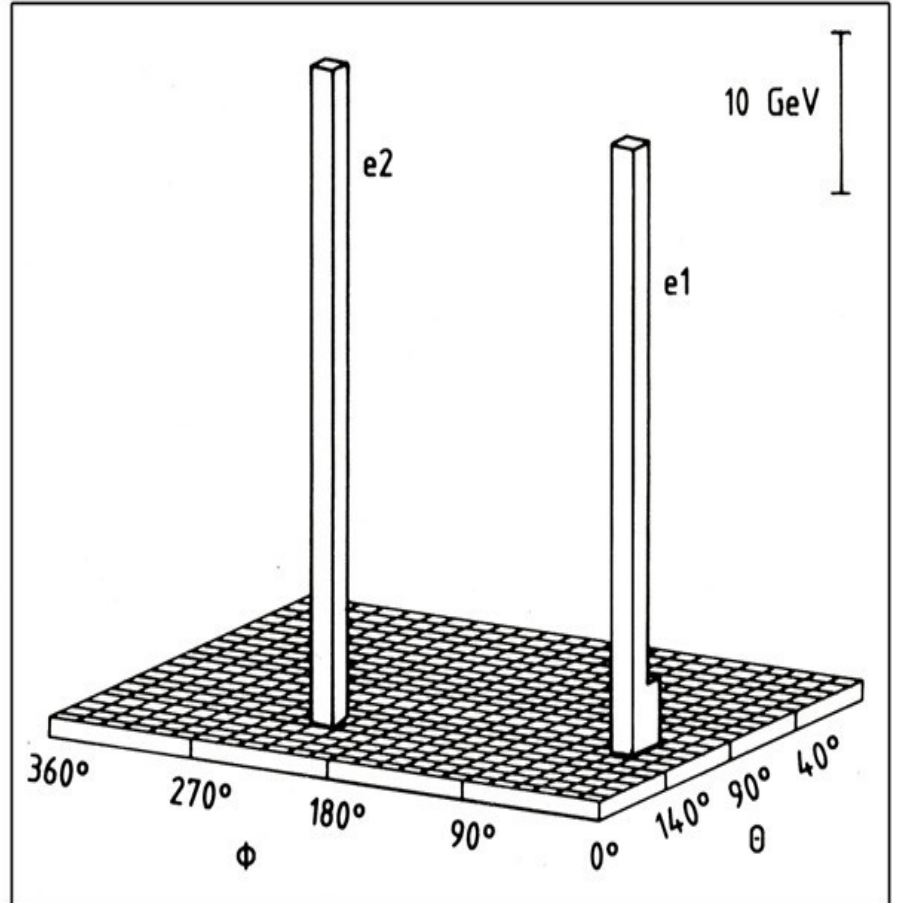
le Particelle Materia emettono e assorbono Particelle Forza
creando un campo di interazione

interazioni di gauge → si propagano alla velocità della luce
→ mediatori con massa a riposo nulla ...

i bosoni vettoriali W^\pm/Z^0 (1983)



$$p\bar{p} \rightarrow W^\pm \rightarrow e^\pm \nu$$



$$p\bar{p} \rightarrow Z \rightarrow e^+e^-$$

CERN $p\bar{p}$ Collider

la massa dei bosoni W/Z ?

$$M_W \sim 80 \times M_{\text{protone}}$$

$$M_Z \sim 90 \times M_{\text{protone}}$$

quasi due volte la massa di un nucleo di ferro

→ il campo debole non si propaga alla velocità della luce

Senza la forza di B-E-H, i modelli teorici non stanno in piedi: violano un principio fondamentale ["l'unitarietà"]

Soluzione proposta: una nuova forza un po' speciale e (almeno) un nuovo mediatore associato

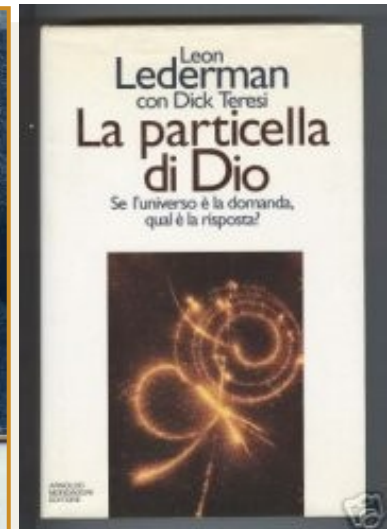
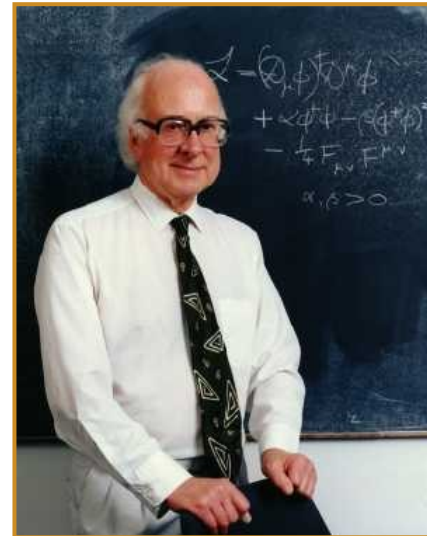
meccanismo di Brout-Englert-Higgs

- un campo frena le particelle, come la gelatina frena un proiettile



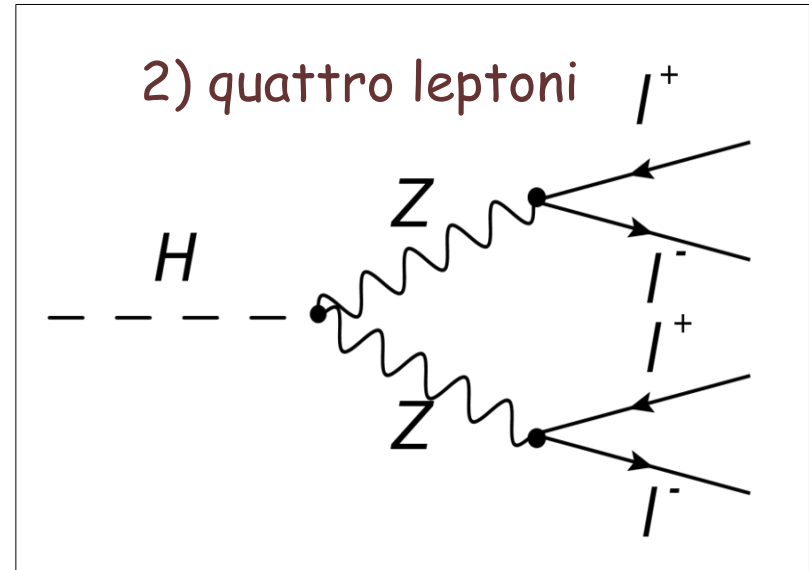
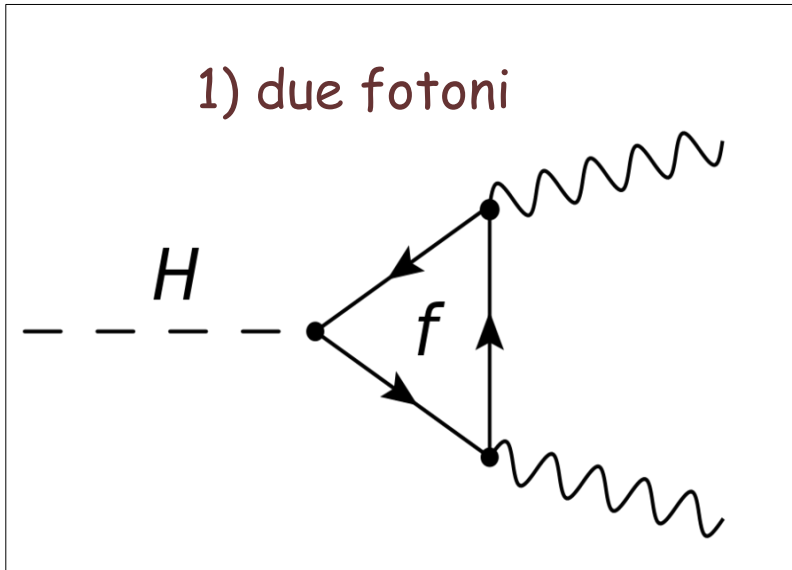
- rallentare una particella equivale a farle acquisire una massa
- particelle indifferenti a questo campo di forza restano di massa zero

- la “forza” è trasportata da una particella nuova (mediatore):
il bosone di Higgs



una vita spericolata

- massa grande (> 110 GeV) ma sconosciuta (prima del 2012) !
- decade immediatamente in particelle più leggere
- molte possibilità (secondo il Modello Standard)
 - fra le più importanti:



- come tutte le particelle molto instabili, viene riconosciuto e ricostruito dai (possibili) prodotti dei decadimenti

carta d'identità del bosone di Higgs

Cognome Bosone
Nome Higgs
nato il $\sim 10^{-30}$ s dopo il BigBang
(atto n. P. S.)
a Ovunque (.....)
Cittadinanza Nostro universo
Residenza Ovunque
Via.....
Stato civile Assai poligamo
Professione Spacciatore di massa

CONNOTATI E CONTRASSEGNI SALIENTI

Statura Da 125 GeV v
Spin 0
Parità +1

Segni particolari Sfuggente

Accoppiamento con le particelle
proporzionale alla loro massa



Firma del titolare Decado in $\gamma\gamma$, WW , ZZ , bb , cc , $\tau\tau$, ecc

Impronta del dito indice sinistro

IL SINDACO Peter Higgs



2. la ricerca del bosone di Higgs - come ?

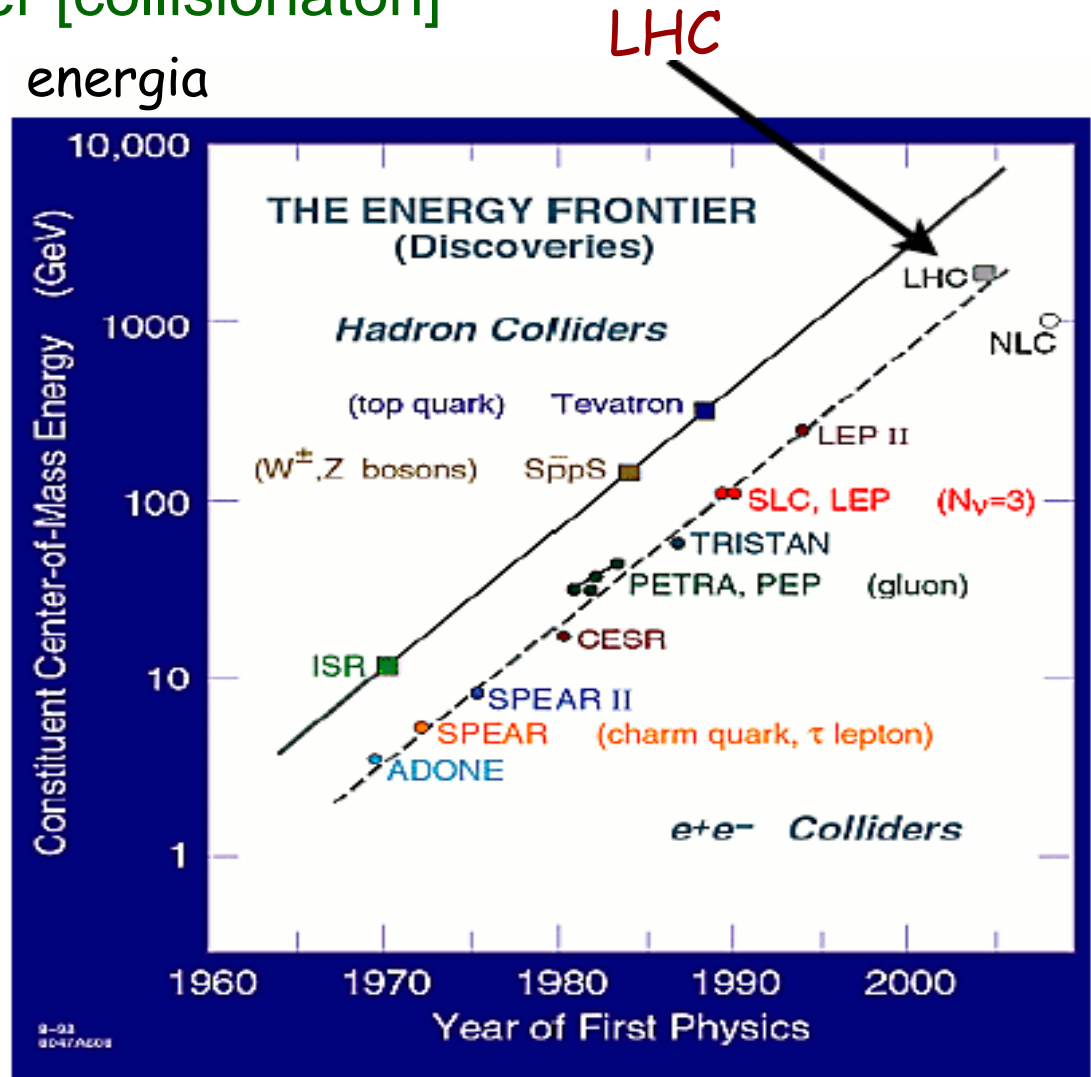
per scoprirlo bisogna prima crearlo $\rightarrow E = mc^2$

acceleratori \rightarrow collider [collisionatori]

due categorie:

e^+e^-

$pp/pp\bar{p}$



anno

Microscopio per particelle

Maggiore energia degli urti

→ migliore capacità di risoluzione
del “microscopio”

LHC ($\sim 10^{-20}$ m) microscopio più potente mai costruito !

Come se guardassimo un campo da calcio dai confini
dell'universo

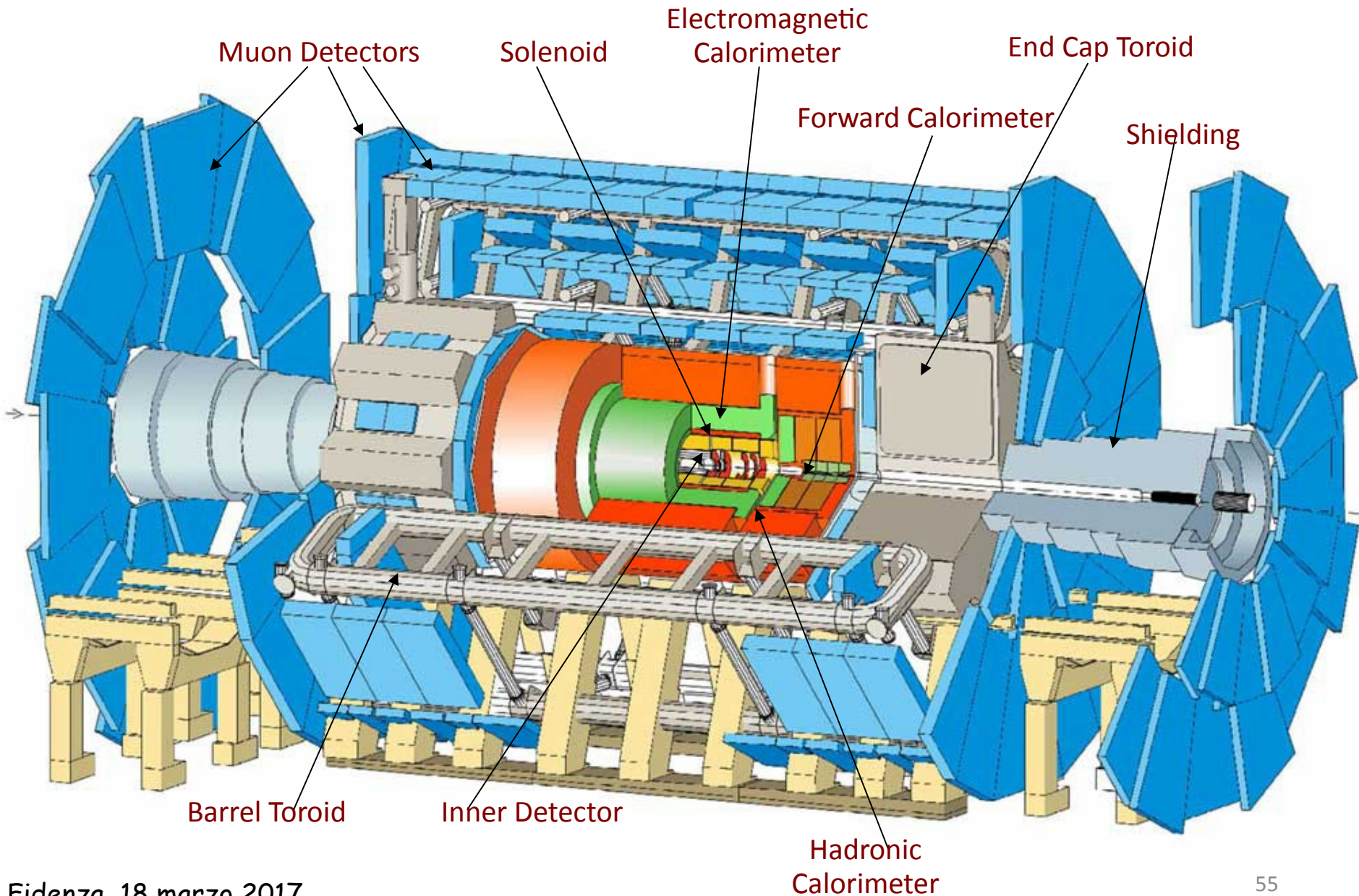
nuove particelle ?

sottostruttura dei quark ?

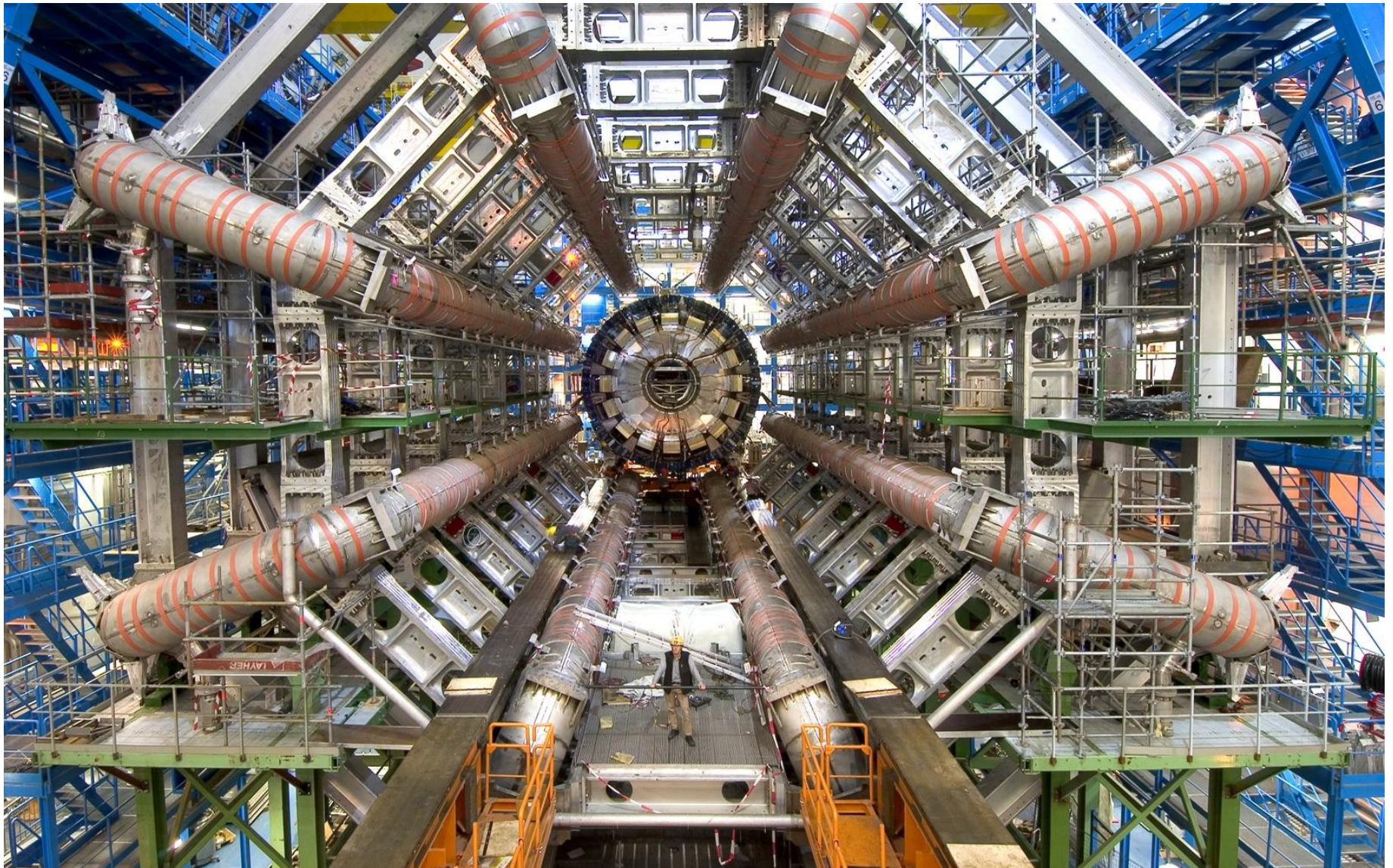
dimensioni extra ?

stringhe ?

ATLAS: un microscopio alto 25 e lungo 46 m



il toroide centrale (barrel)



**~ 3000 scienziati di 174 istituti da 38 paesi diversi
più di 1000 studenti di dottorato!**



Argentina	Morocco
Armenia	Netherlands
Australia	Norway
Austria	Poland
Azerbaijan	Portugal
Belarus	Romania
Brazil	Russia
Canada	Serbia
Chile	Slovakia
China	Slovenia
Colombia	South Africa
Czech Republic	Spain
Denmark	Sweden
France	Switzerland
Georgia	Taiwan
Germany	Turkey
Greece	UK
Israel	USA
Italy	CERN
Japan	JINR

ATLAS
Collaboration



la sua storia

1987-1990 : gruppi di lavoro su LHC

1990-1995 : ricerca e sviluppo per i rivelatori

1994 : si firma l'atto di nascita di ATLAS

1994-1997 : costruzione prototipi

1997-2004 : costruzione rivelatore

2004-2008 : installazione

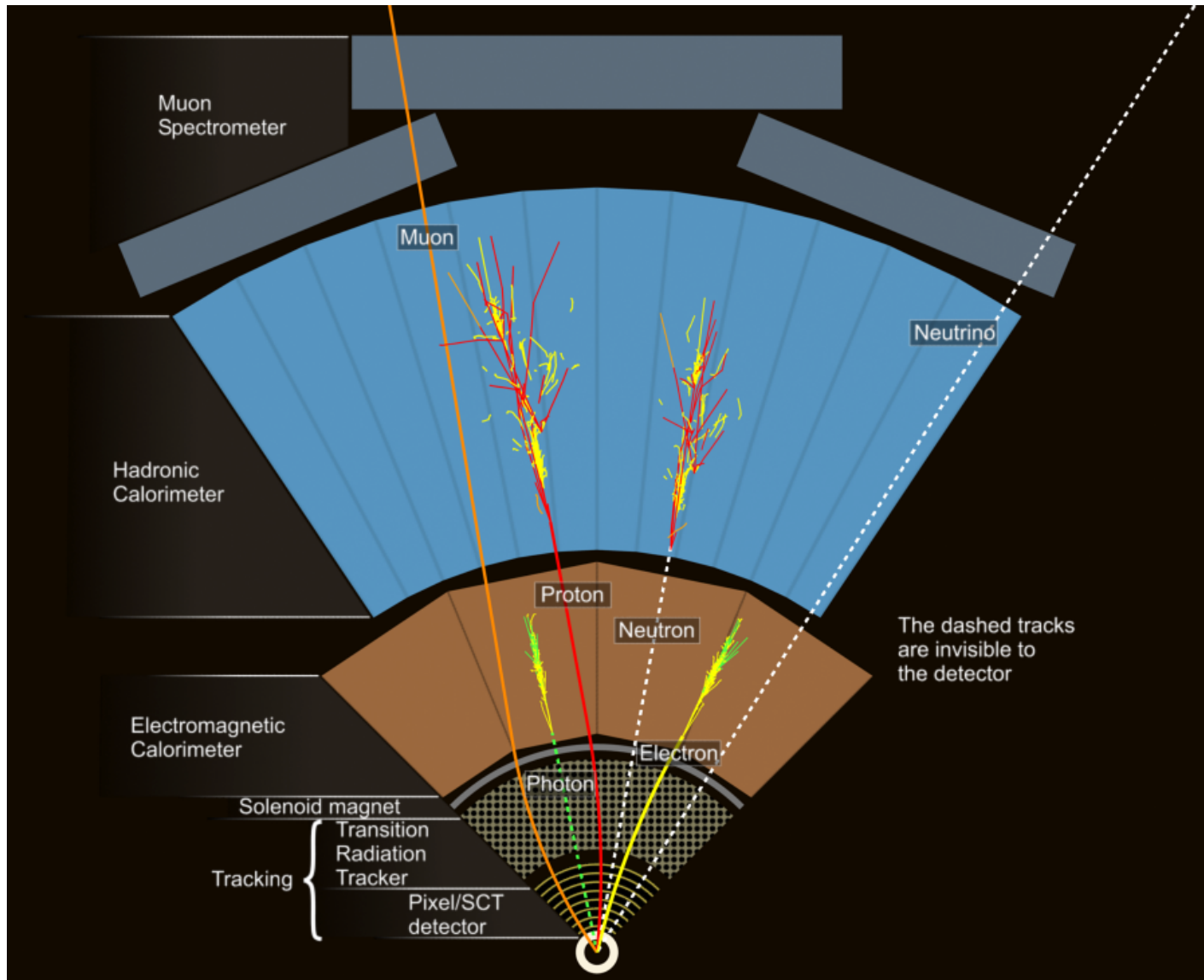
(fine)2009-? : presa dati

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



i segnali del Bosone di Higgs, se anche ci sono, sono

1) rarissimi

2) sommersi dal “fondo” di altra origine fisica

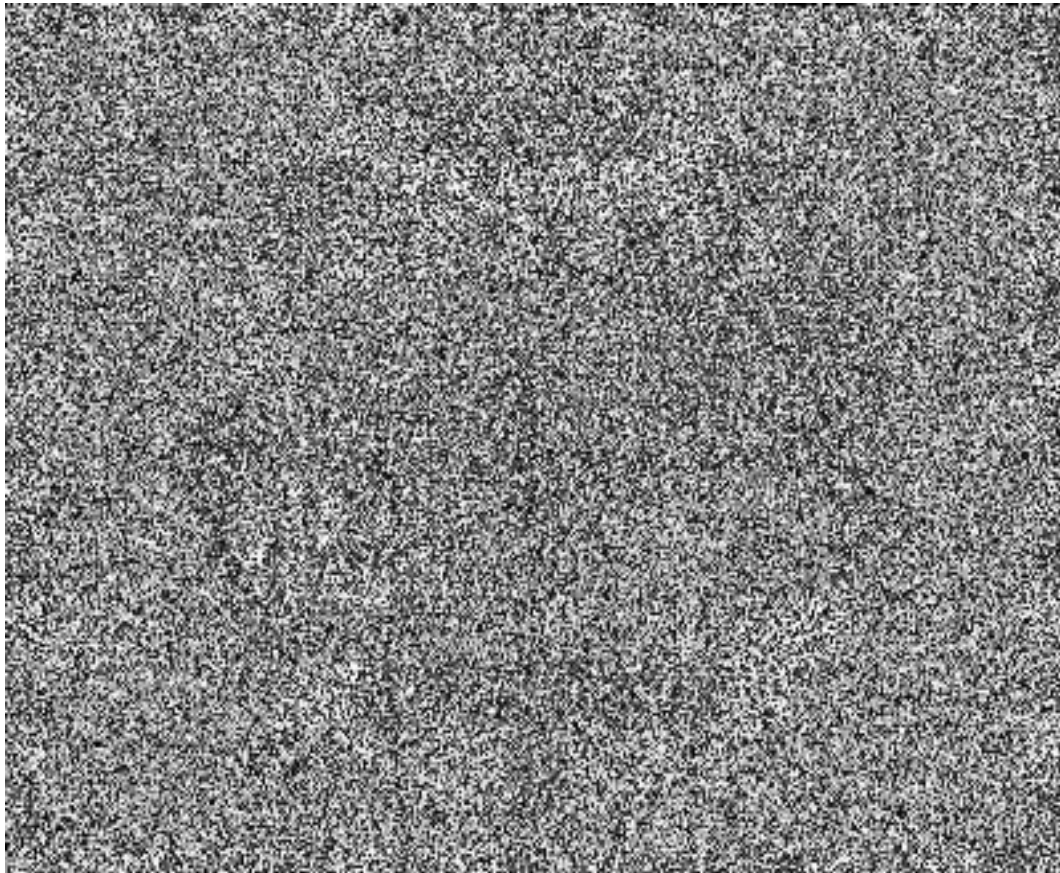
(per analogia con i segnali elettronici, il fondo è anche chiamato “rumore”)

non è un ago in un pagliaio, è un ago in miliardi di pagliai

servono tantissimi dati (“statistica”)

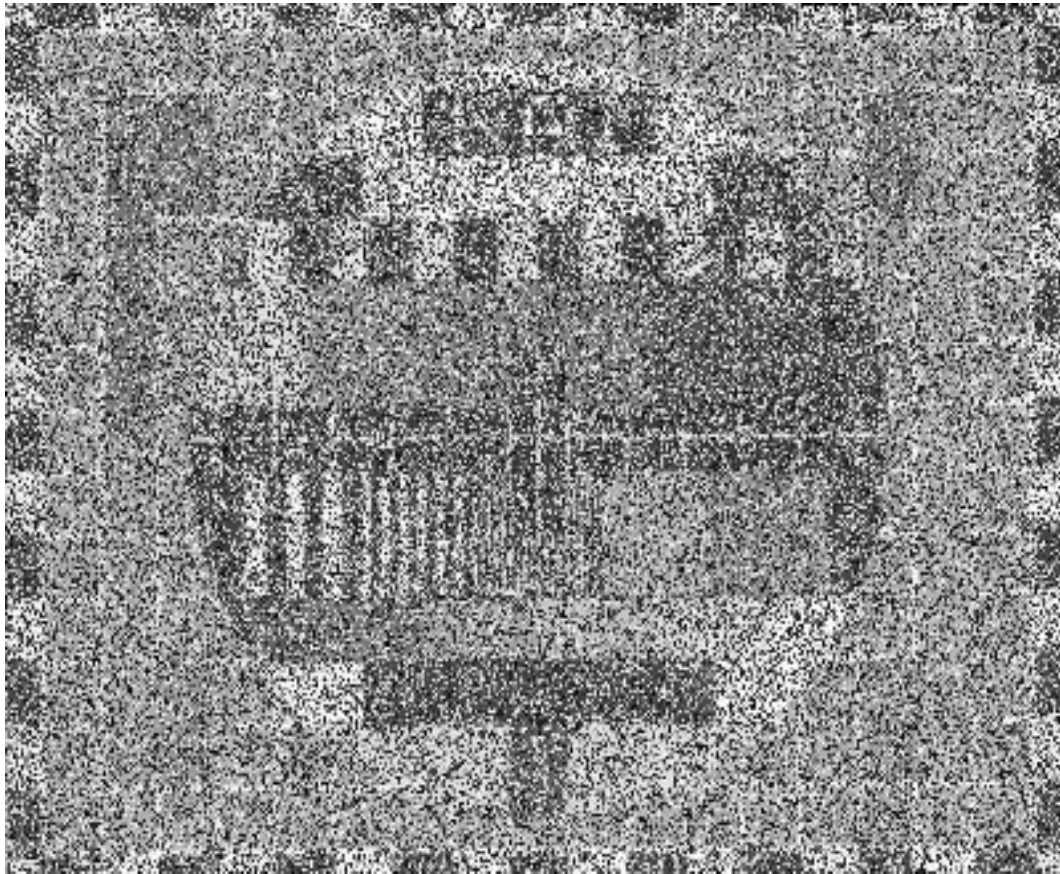
segnale e rumore (1)

- Il segnale c'è ma è completamente nascosto dal rumore di fondo



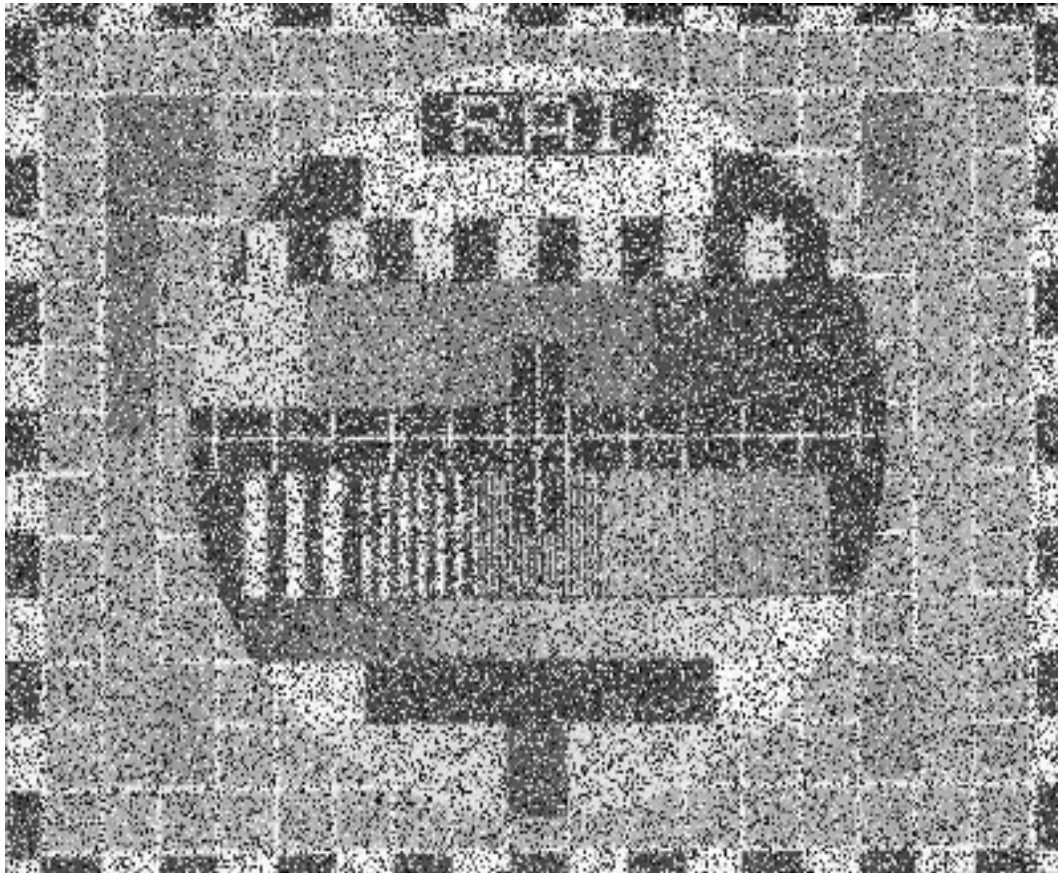
segnale e rumore (2)

- Se sommo (“integro”) tante schermate il rapporto segnale/rumore migliora



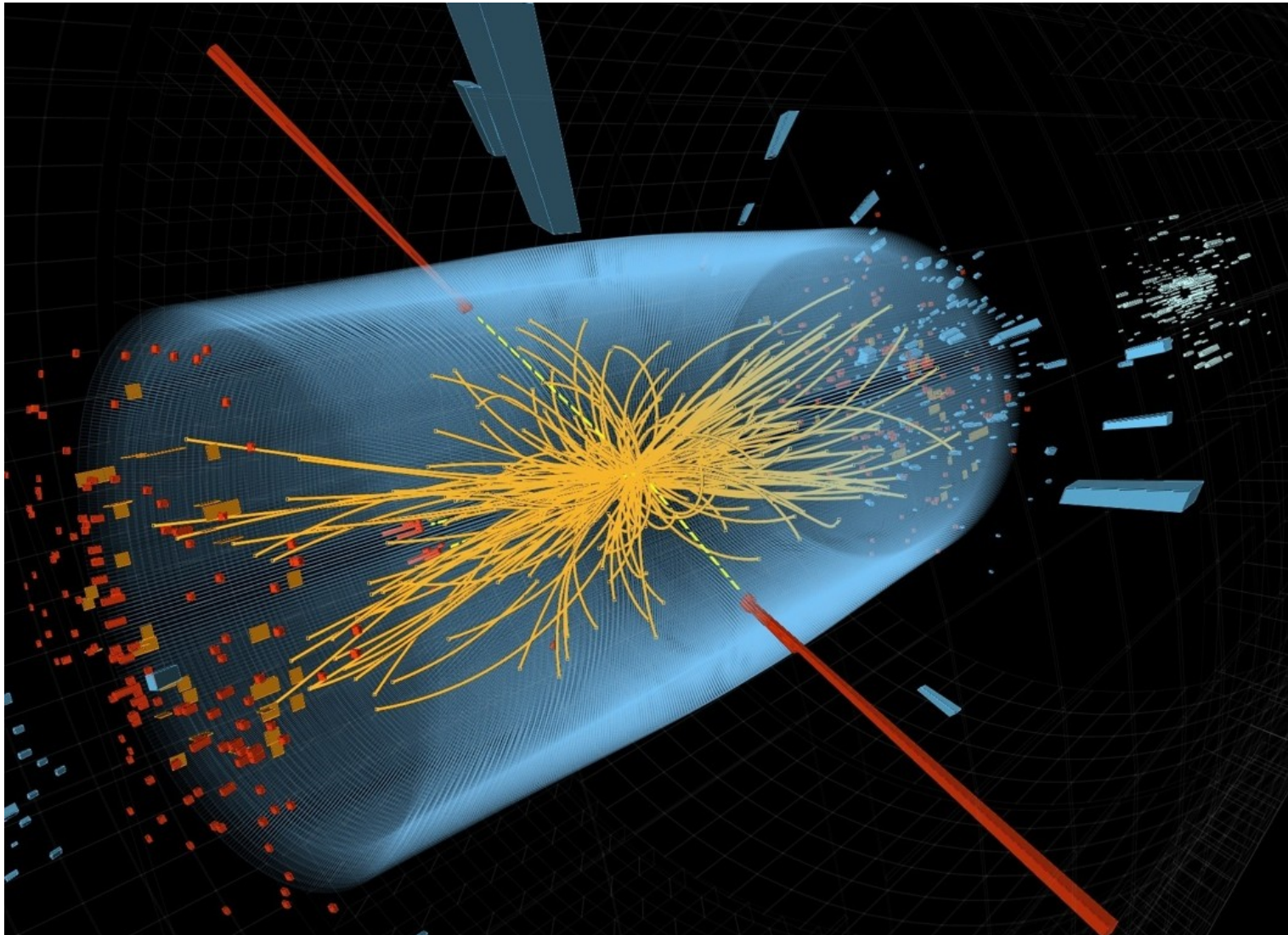
segnale e rumore (3)

- Aumentando ancora la “statistica” (integrando più a lungo) il segnale diventa riconoscibile

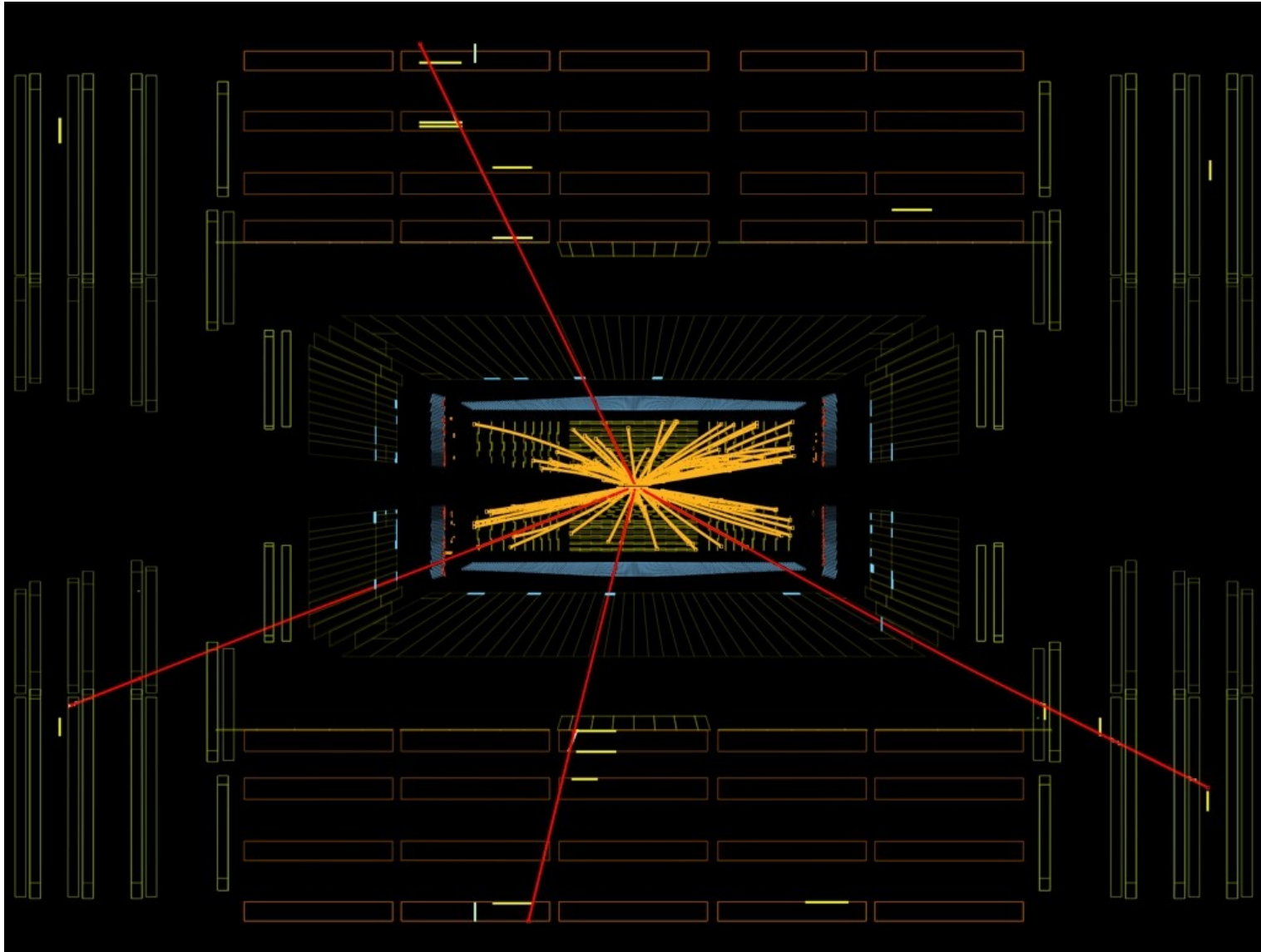


3. la ricerca del bosone di Higgs - cosa ?

evento candidato $H \rightarrow \gamma\gamma$

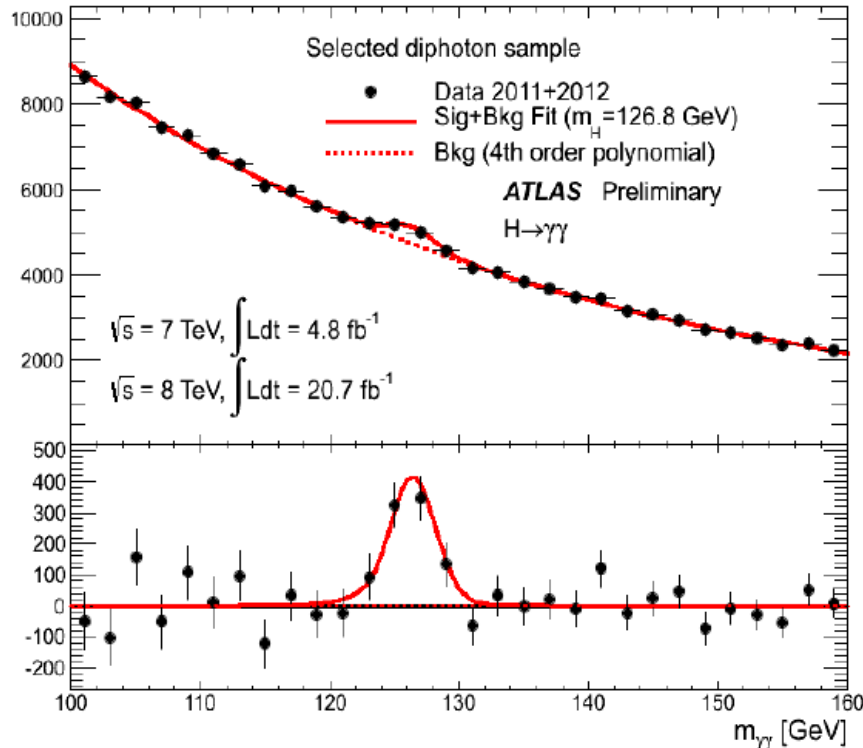


evento candidato $H \rightarrow 4\mu$



risultati 2010-2012 ATLAS

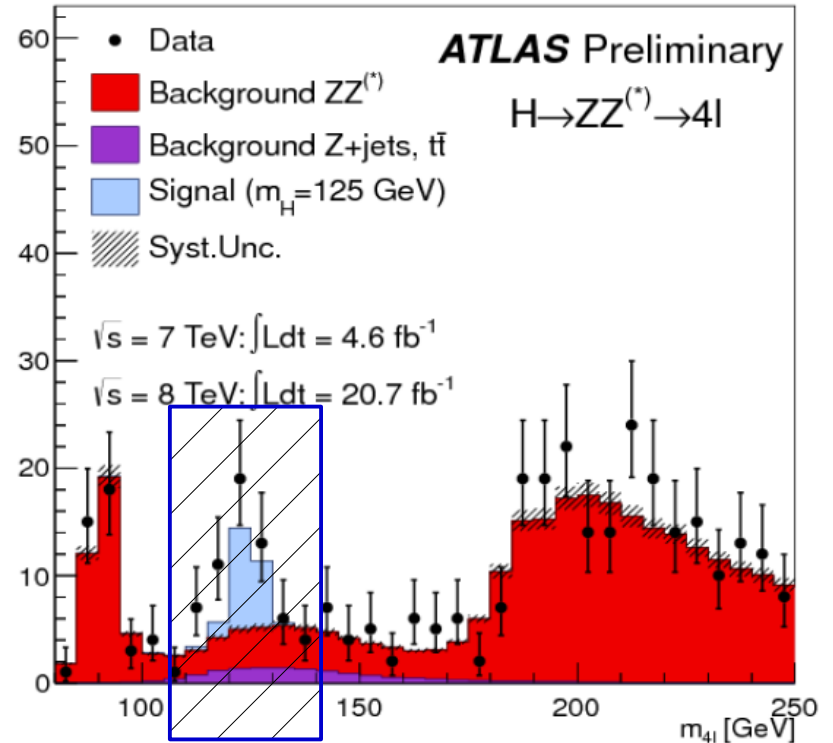
Energia nel centro di massa di coppie di fotoni



“picco”:

~900 eventi in eccesso
~30000 eventi di fondo

Energia nel centro di massa di sistemi con 4 leptoni 4e/4μ/2e2μ



“picco”:

~16 eventi in eccesso
~11 eventi di fondo

stato dell'arte

ATLAS e CMS indipendentemente (e con forte anticipo rispetto alle attese) hanno trovato che:

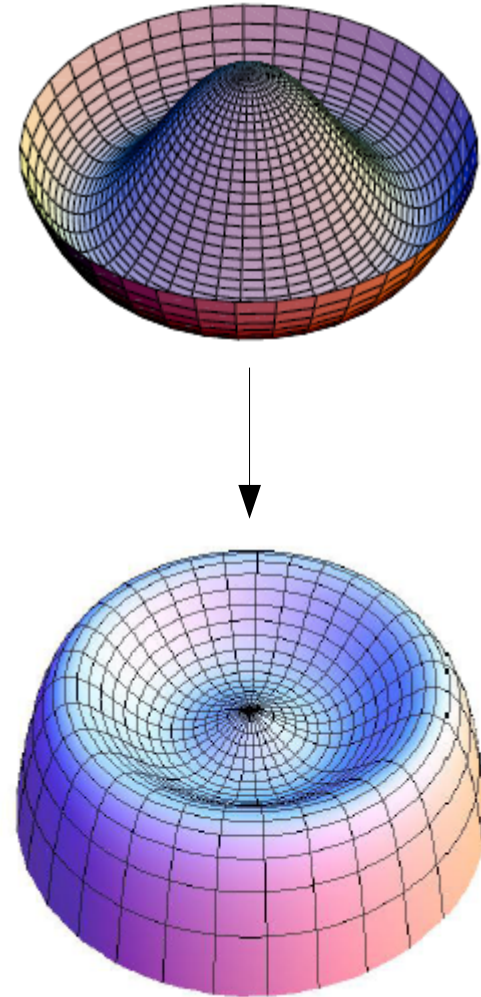
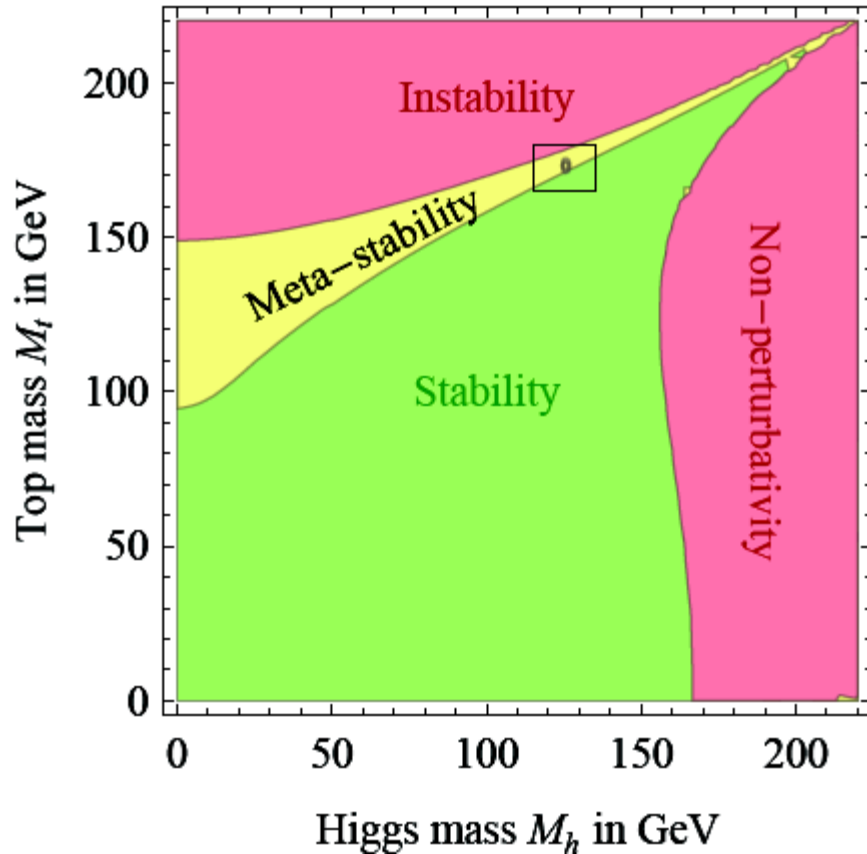
- c'è una nuova particella
- è un bosone scalare (momento angolare = 0, decade in 2 fotoni)
- è compatibile con il bosone di Higgs del Modello Standard

→ fondamentale la misura accurata di tutte le sue proprietà

Q: È esattamente il bosone del M.S. ?

4. la ricerca del bosone di Higgs -
quindi ?
cosa non capiamo ancora ?

problema aperto: viviamo pericolosamente ?



domande senza risposta (nel M.S.):

- a) Cariche elettriche ? $Q(n) = Q(v) = 0 ! ??$
- b) Masse ? 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

il Problema !

Universo (interazioni gravitazionali):

Relatività Generale

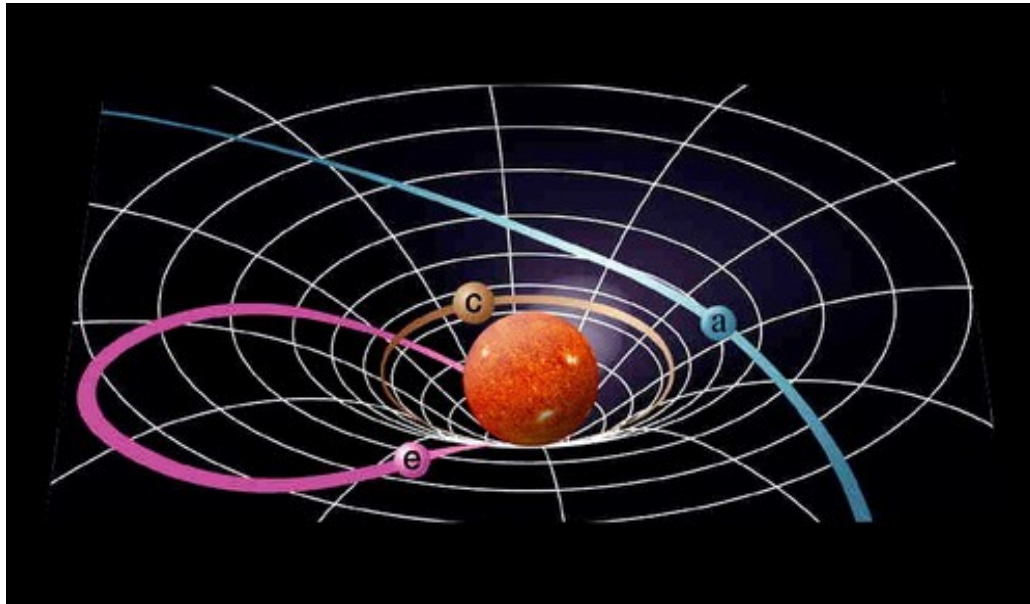
Particelle (interazioni elettrodeboli e forti):

Meccanica Quantistica Relativistica

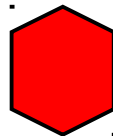
1. entrambe le teorie funzionano alla grande
(fin troppo) nei rispettivi campi
2. purtroppo, ad oggi sono * INCONCILIABILI *

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

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

il futuro

Approvato: HL-LHC (alta statistica, 2025-2040)

→ studio bosone di Higgs, canali rari

in discussione:

1) HE-LHC (raddoppio energia) → CERN

2) Future Circular Collider (e+e- e/o pp) → CINA/CERN

3) International Linear Collider (e+e-) → Giappone

4) Compact Linear Collider (e+e-) → CERN

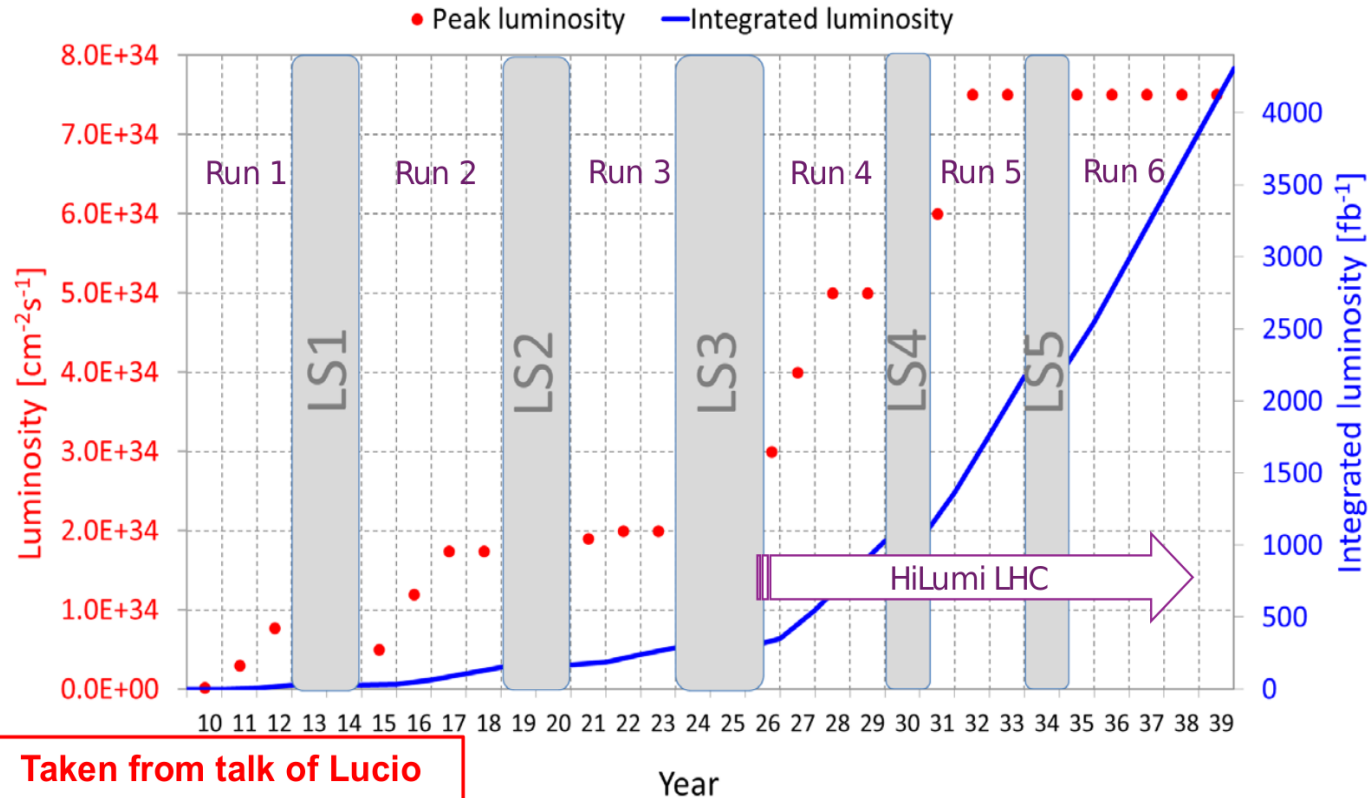
5) Muon Collider ($\mu^+\mu^-$) → ???

e+e- ~ misure di precisione del bosone di Higgs

pp ~ ricerca particelle sconosciute ancora più pesanti

HL-LHC: programmi fino al ~2040

Ultimate scenario $7.5 \cdot 10^{34}$: $320 \text{ fb}^{-1}/\text{y}$ for 160 days
 Ion collisions end at LS4
 Physics days: 160 Run4 → 200 Run5 → 220 Run6



Taken from talk of Lucio Rossi at Sept HL-LHC Coordination Meeting

K. Einsweiler - Lawrence Berkeley Lab

Ultimate scenario assume 5% higher efficiency than nominal
 Last run with 220 days and 5% higher efficiency: $440 \text{ fb}^{-1}/\text{y}$
10/20/2016

forza bruta ?

servono nuove idee ?

certamente sarebbero benvenute



WE LIKELY NEED YOU !

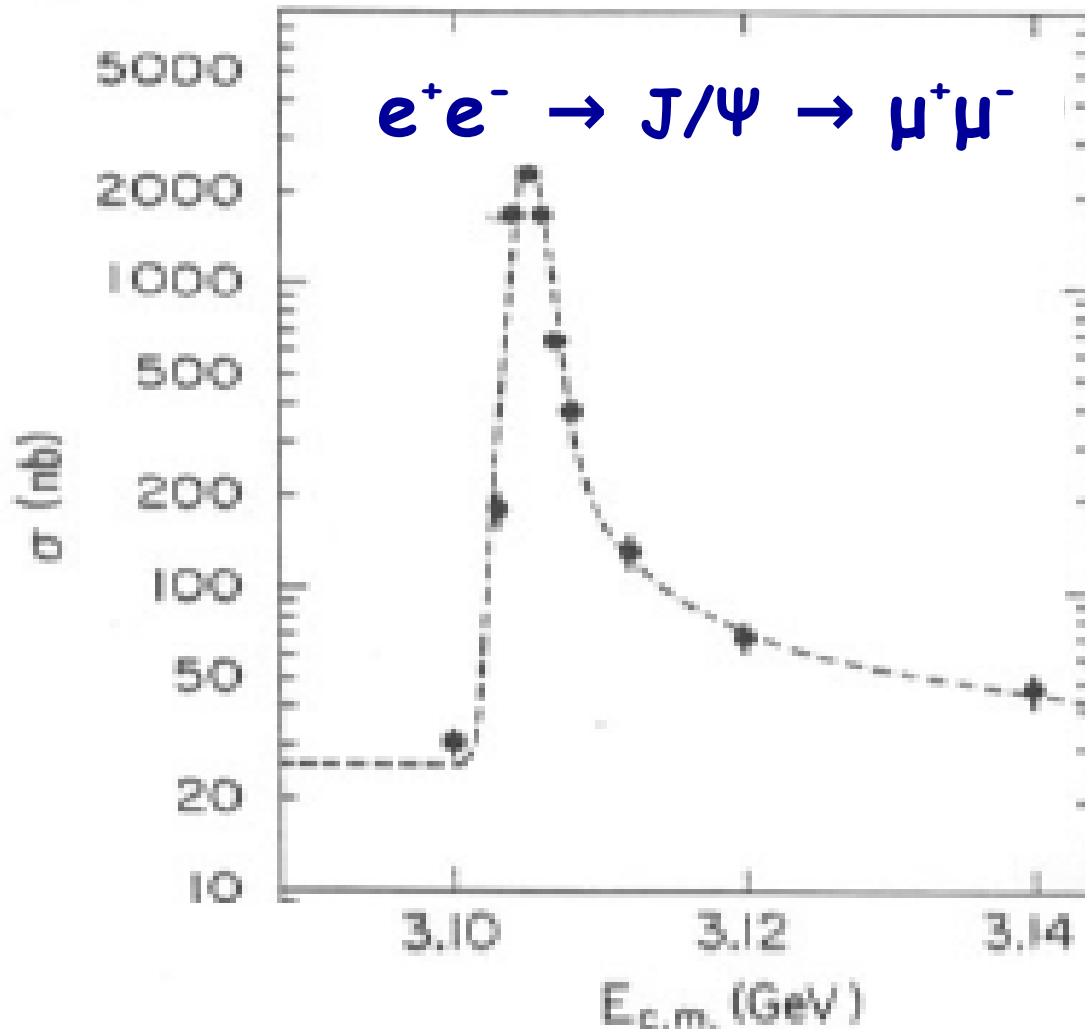
Grazie per la pazienza

Adone (LNF)



1974: il quark charm

SLAC e^+e^- ring (SPEAR)



distribuzione della
energia nel centro di
massa di coppie $\mu^+\mu^-$

J/ψ (stato legato $\bar{c}c$)

... quando la
sfiga ...



i dipoli



le cavità a radiofrequenza

