

La Fisica delle Particelle Elementari

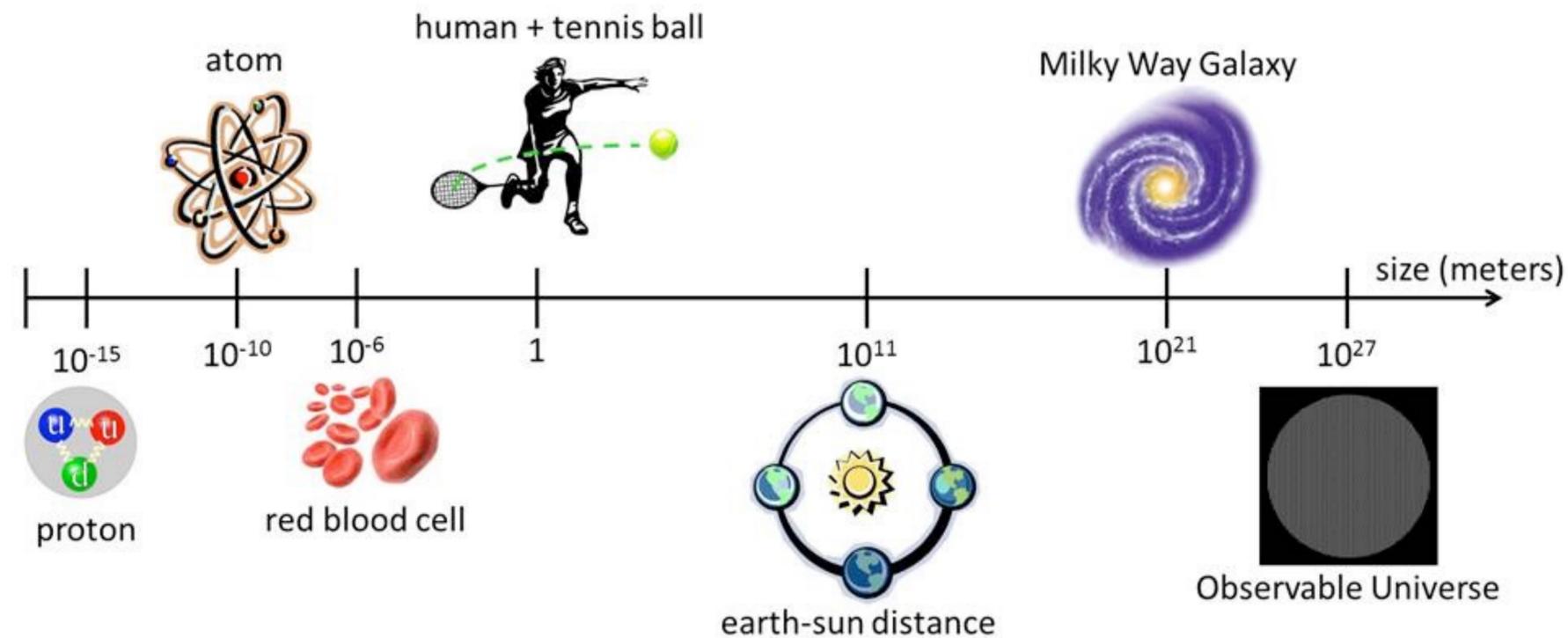
Maurizio Martinelli
Università di Milano Bicocca e INFN

LHCb Masterclass 2021
16.02.2021

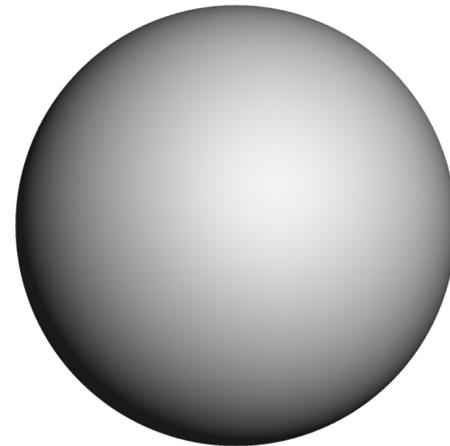
Nasce da alcune domande fondamentali

- Di cosa è fatto l'Universo?
- Cosa tiene insieme gli elementi che lo compongono?
- Come si è originato l'Universo?
- Come si evolverà in futuro?

La Fisica cerca di rispondere a queste domande utilizzando il metodo sperimentale per determinare le leggi fondamentali della Natura



Una Lunga Storia



VI secolo a.C
Anassimene da Mileto
Teoria degli Elementi



IV secolo a.C
Democrito
Atomismo

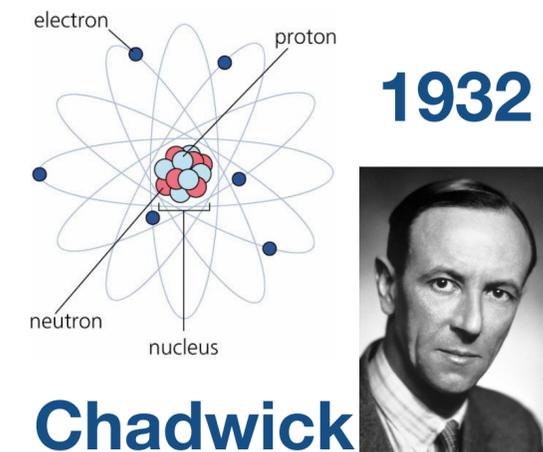
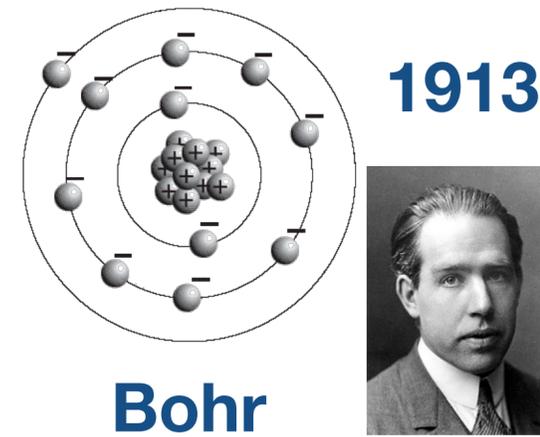
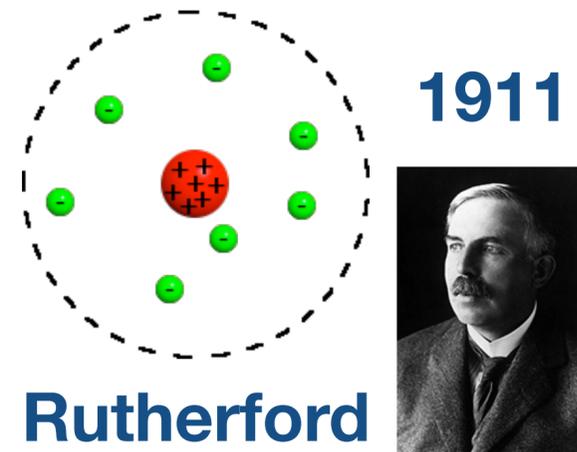
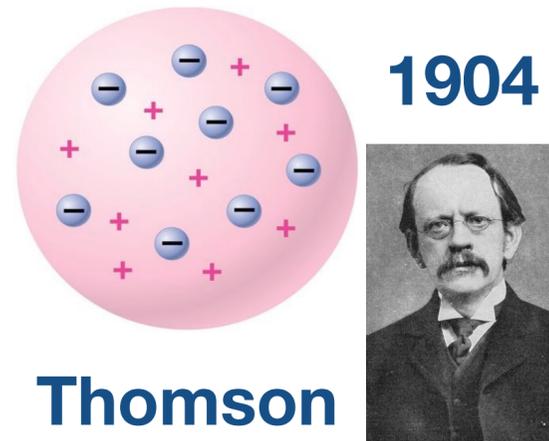


1800
Dalton
Teoria Atomica

Verso la Teoria Atomica Moderna

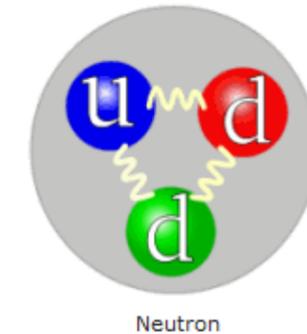
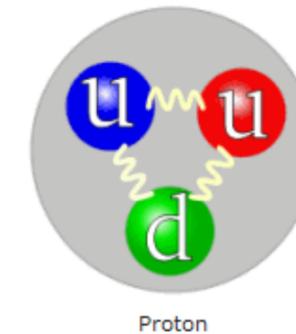
Moderno Modello Atomico

- Nucleo centrale costituito da protoni e neutroni
- Elettroni orbitano intorno al nucleo su orbite ellittiche a diversi livelli energetici



Fine della Storia?

- No! Protoni e neutroni sono composti da quark
- Dimostrato da numerosi studi tra gli anni '50 e '70
- Al momento non conosciamo elementi più fondamentali dei quark



Osservazione di Particelle - Elettroni



Faraday, 1838

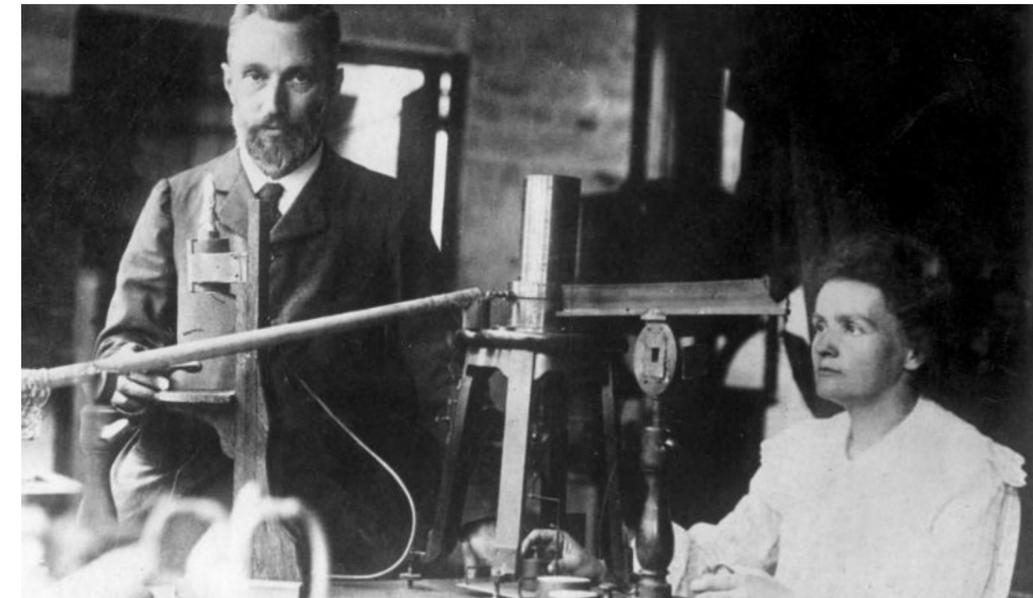
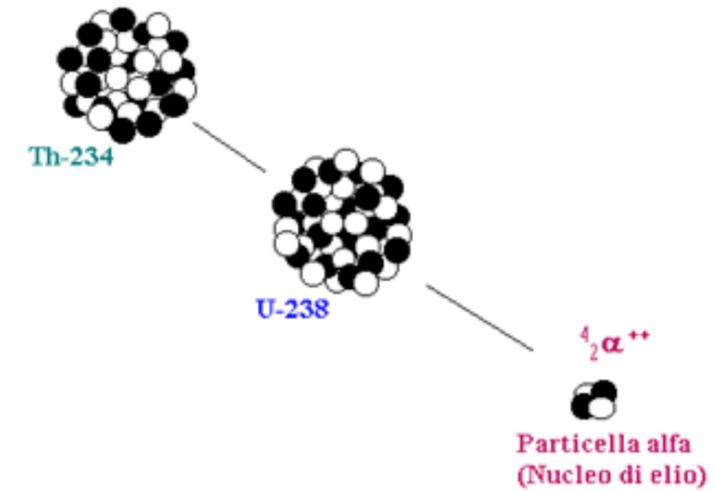
Radioattività



Bequerel (1896)



Roentgen (1895)

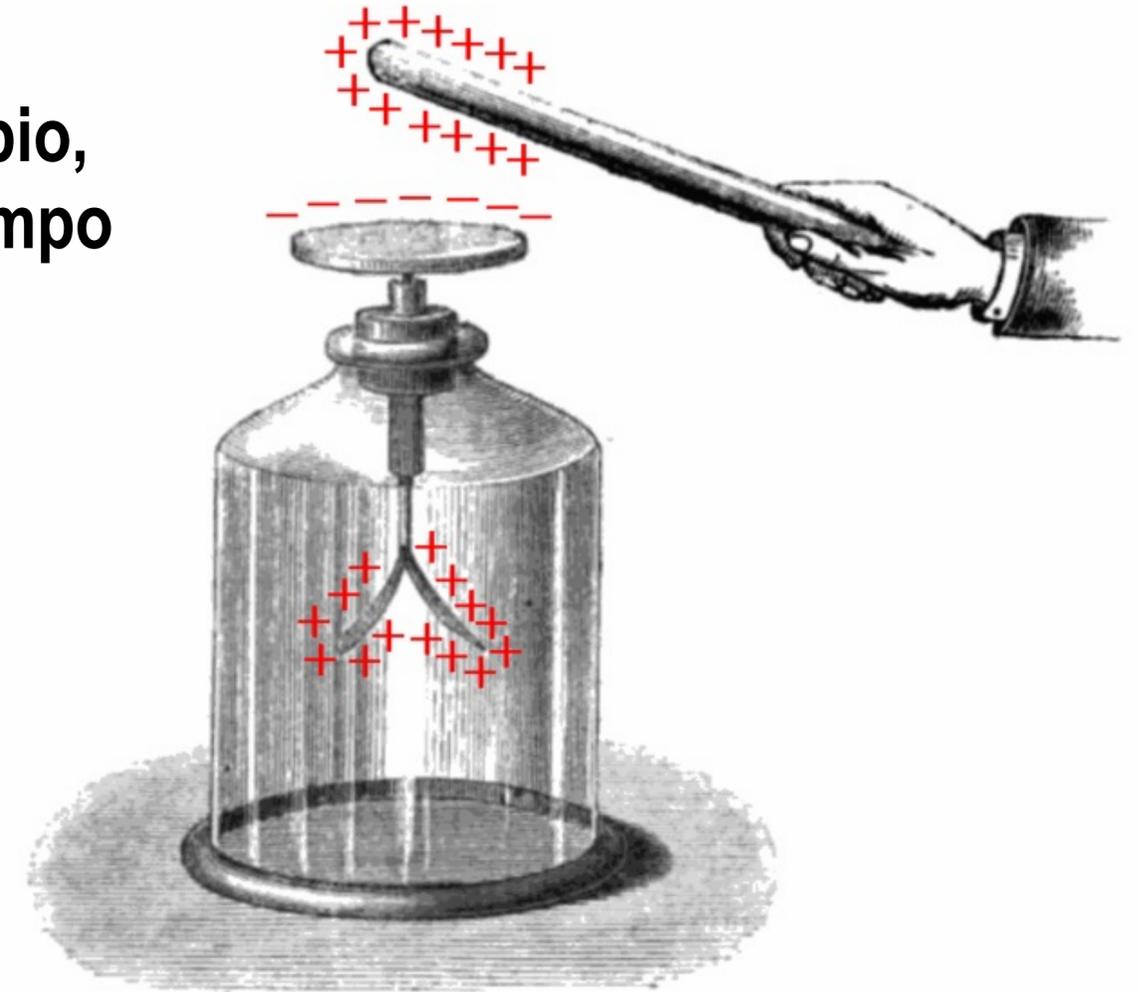


Marie et Pierre Curie (1898)

Il Novecento

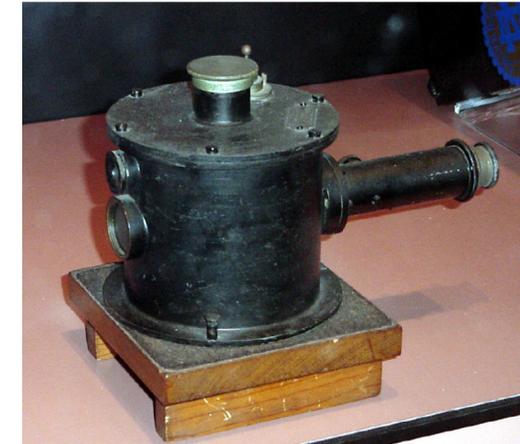
Rivelatori di Radiazione

- All'inizio del Novecento venne osservato che un elettroscopio, per quanto perfettamente isolato, perde la sua carica nel tempo
 - Effetto dovuto alla radioattività
 - La misura del tempo di scarica permette di determinare il livello di radiazione
- Minor tempo \implies maggiore radiazione



Fisica In Mongolfiera

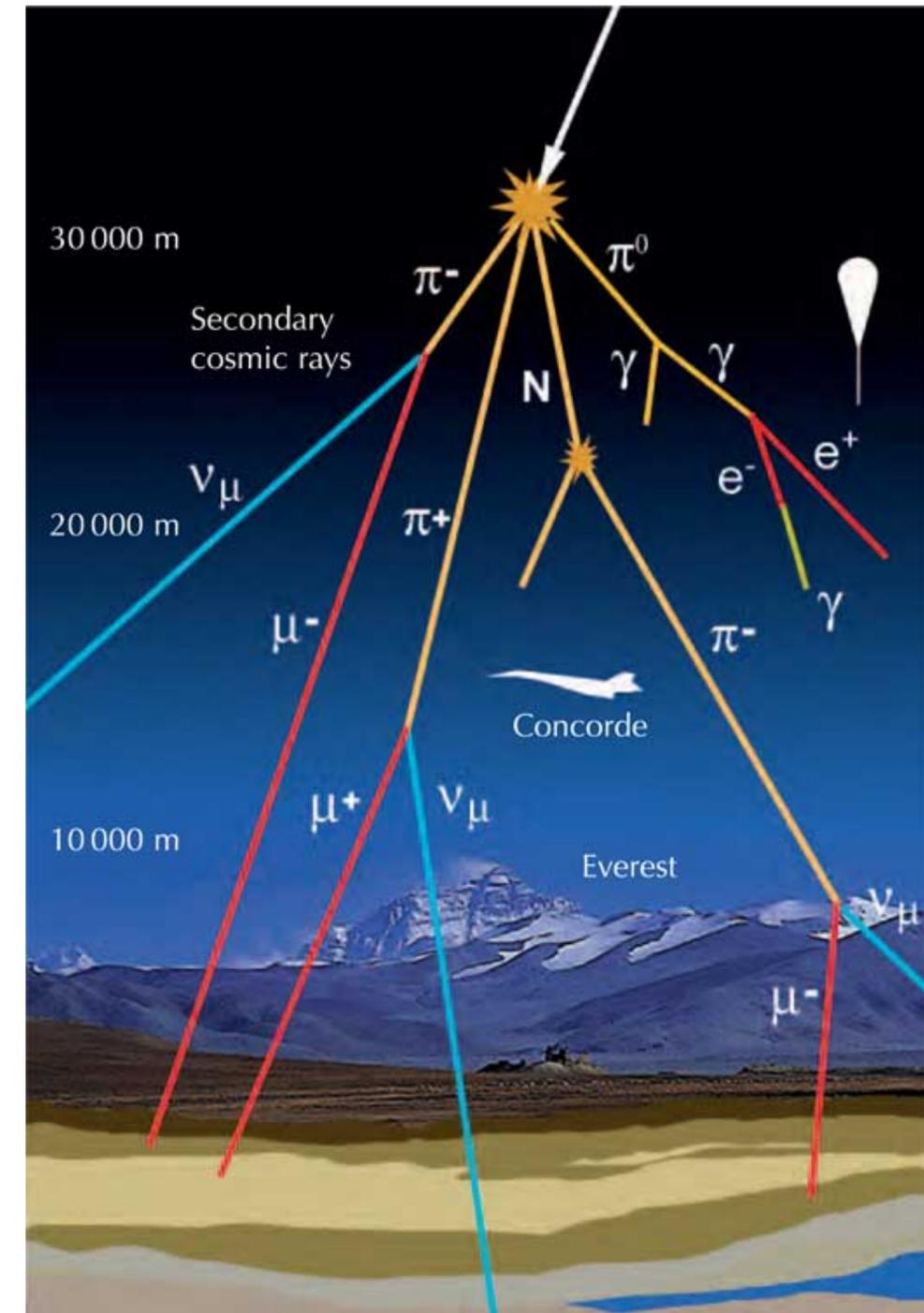
Victor Hess, 1923 (Nobel per la Fisica 1936)



La Sorgente Primaria di Particelle

Raggi Cosmici

- La Terra è costantemente bombardata da raggi cosmici
- Al suolo giunge solo parte dei raggi cosmici secondari, cioè prodotti a seguito di interazioni di particelle con l'atmosfera
- Le energie dei raggi cosmici primari possono raggiungere (e superare) i 10^{15} eV (LHC $\sim 10^{13}$ eV)



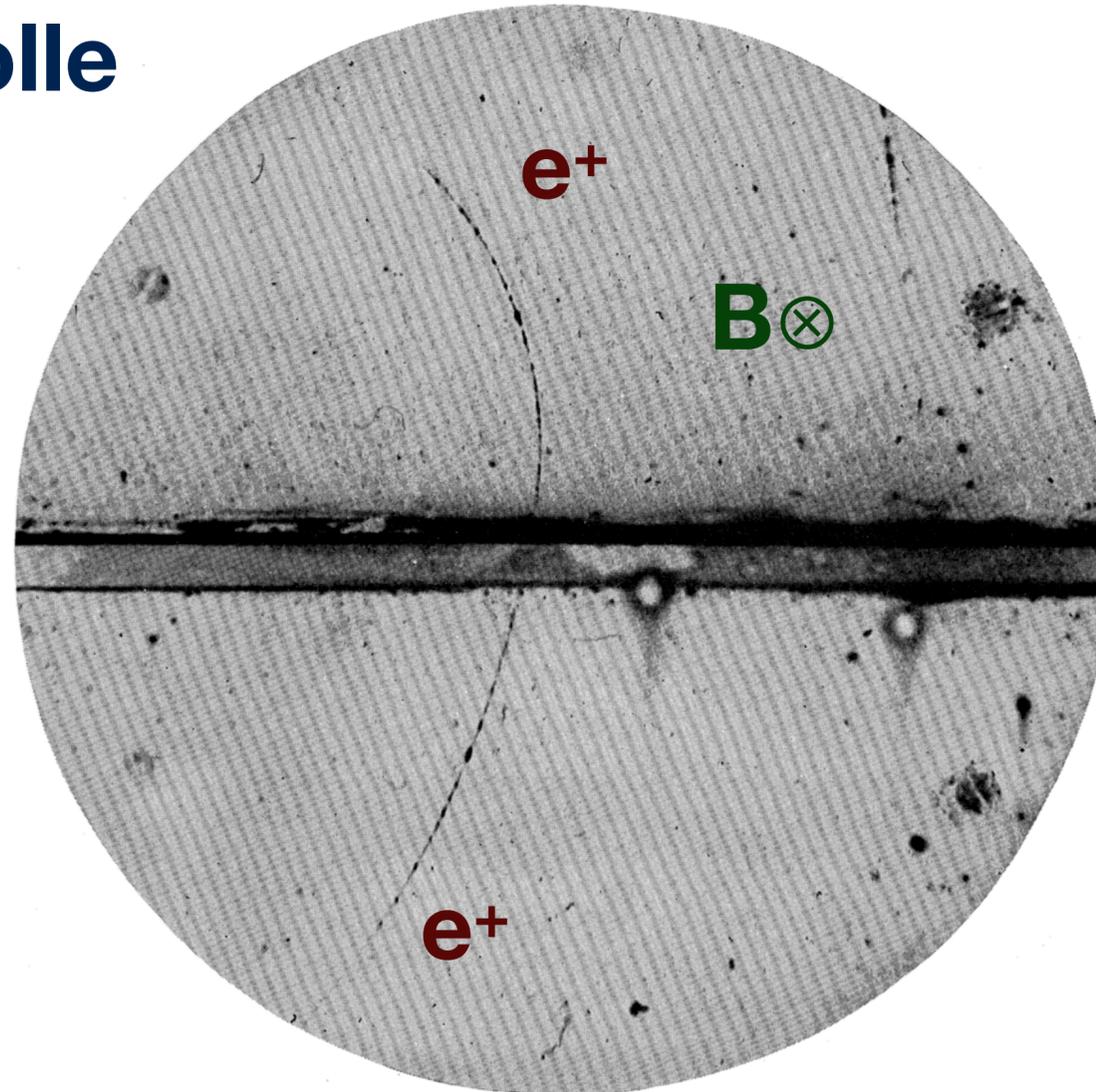
Scoperta del Positrone

Un Elettrone di Carica Positiva?!

Camera a bolle

PR43,491 (1933)

piombo



piombo

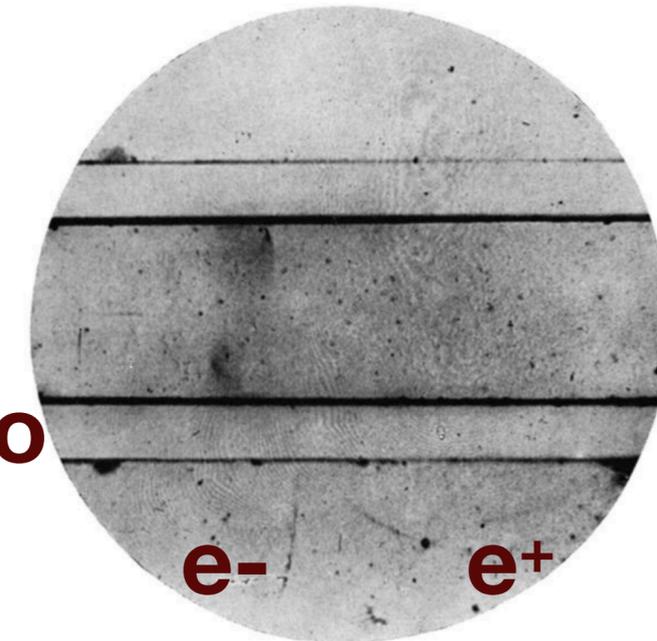


FIG. 2. A positron of 20 million volts energy ($H\rho=7.1 \times 10^4$ gauss-cm) and a negatron of 30 million volts energy ($H\rho=10.2 \times 10^4$ gauss-cm) projected from a plate of lead. The range of the positive particle precludes the possibility of ascribing it to a proton of the observed curvature.

FIG. 1. A 63 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.

Carl Anderson, 1933 (Nobel per la Fisica 1936)

Il Muone

Un Positrone Più Massivo

PR50,4 (1936)
PR51, 884 (1937)

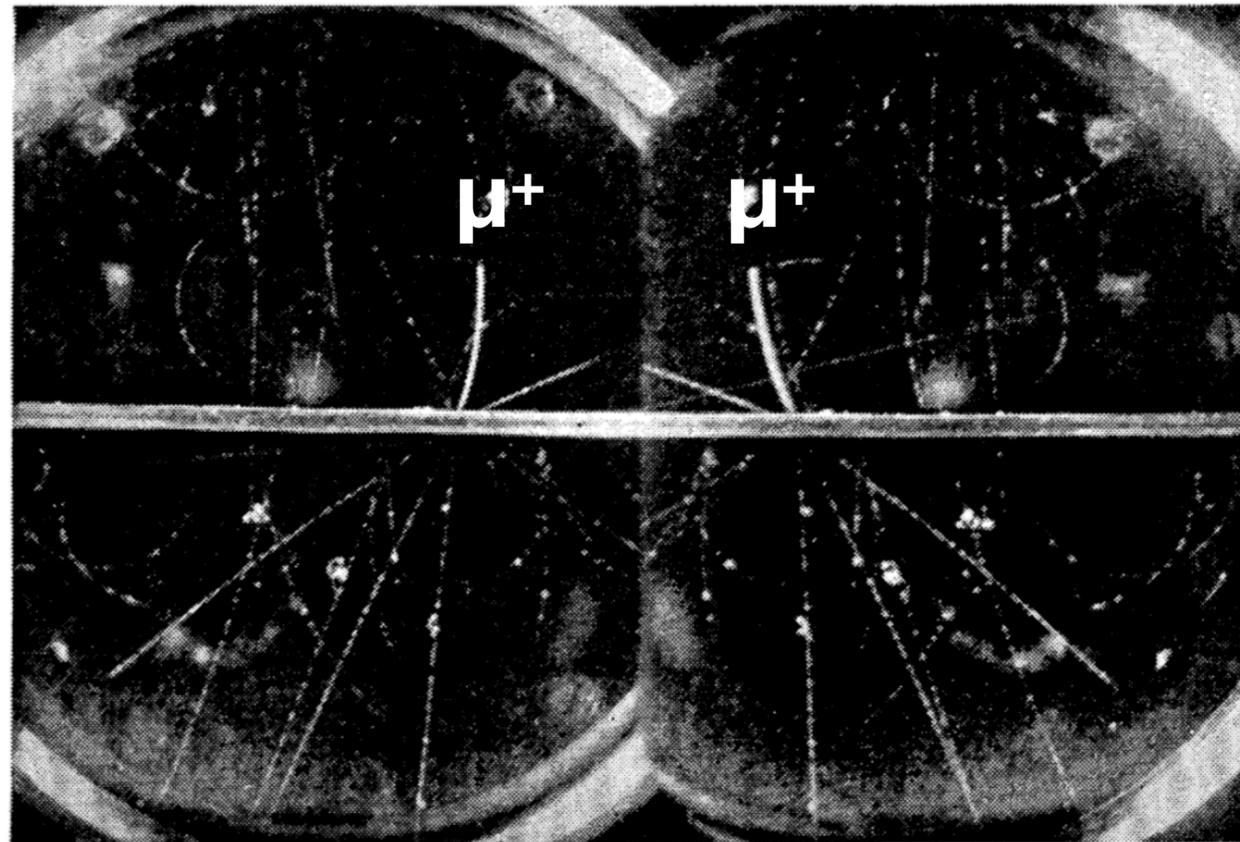


FIG. 12. Pike's Peak, 7900 gauss. A disintegration produced by a nonionizing ray occurs at a point in the 0.25 cm lead plate from which the muons are emitted.

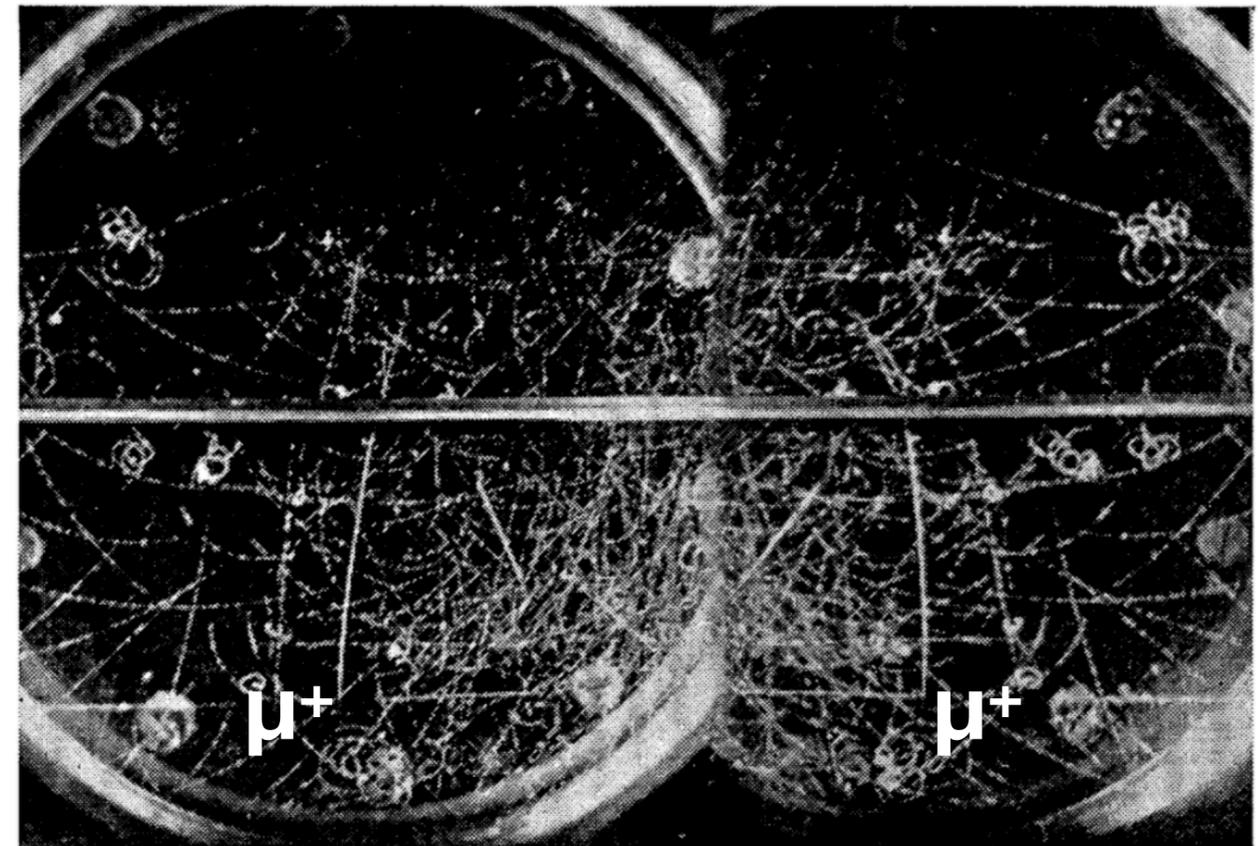


FIG. 13. Pasadena, 4500 gauss. A complex electron shower not clearly defined in direction, and three heavy

Seth Neddermeyer and Carl Anderson, 1936

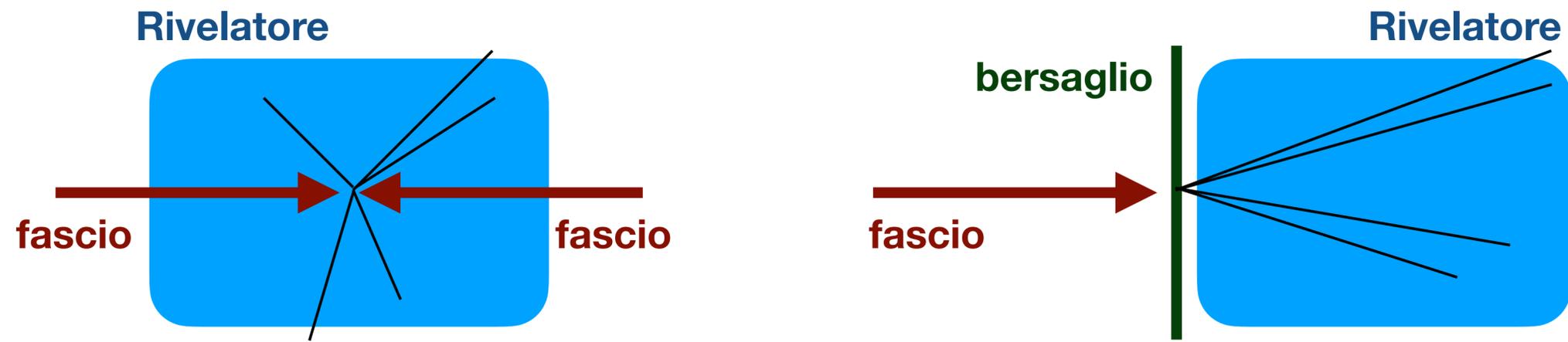
Gli Anni '50 - Il Boom degli Acceleratori

Numerosi Vantaggi

- Possibilità di far collidere fasci di elettroni o protoni di energia nota su bersaglio o tra loro
- Maggior numero di interazioni rispetto ai raggi cosmici
- Esperimenti in condizioni (facilmente) riproducibili

Laboratori

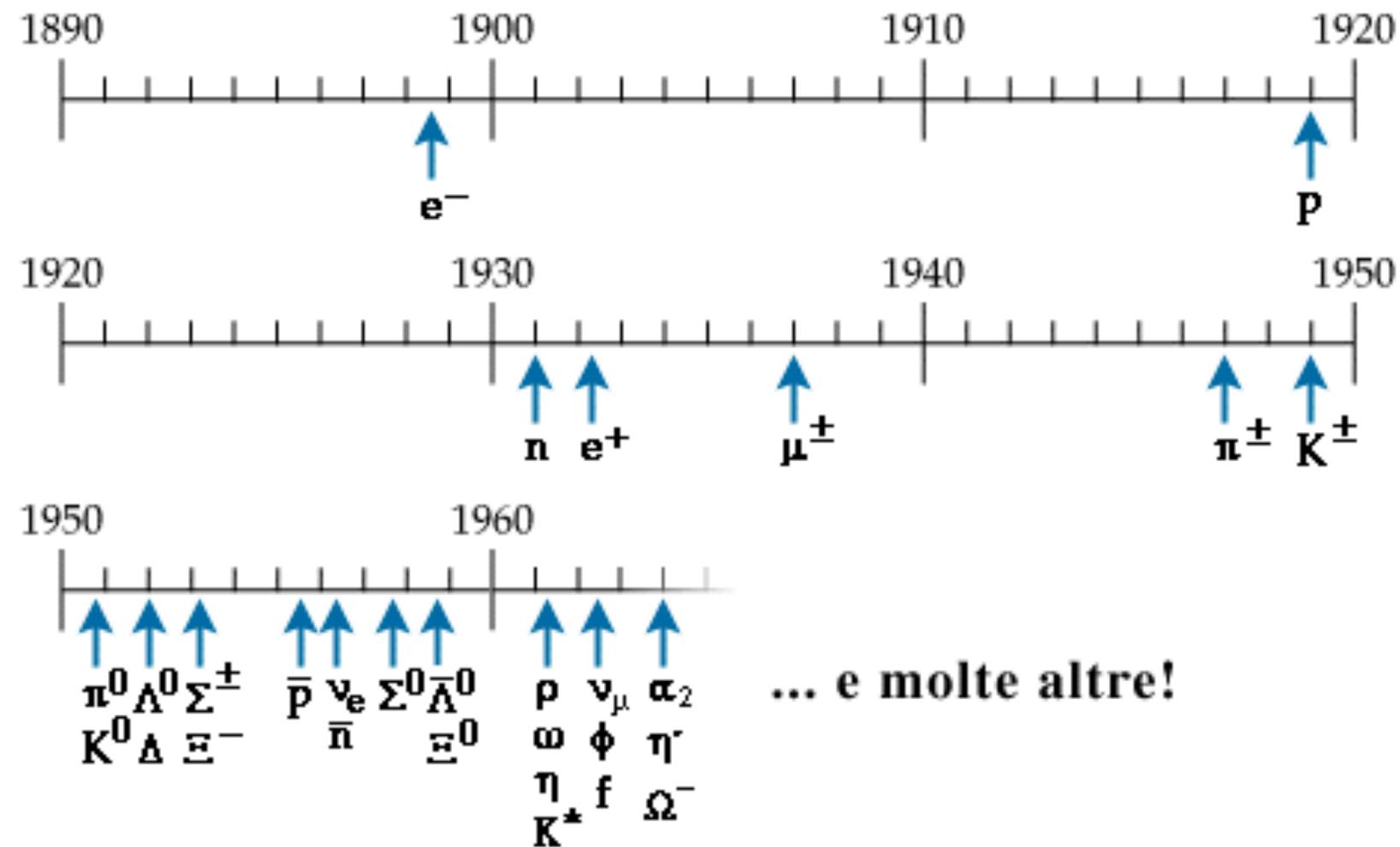
- USA (Brookhaven, Berkley, Stanford, Fermilab, Cornell, ...)
- Europa (CERN, Frascati, DESY, LAL, ...)
- Unione Sovietica (Novosibirsk, Protvino)
- Ma anche Cina, Giappone, Brasile... (lista completa)



Uno Zoo di Particelle

Catalogazione

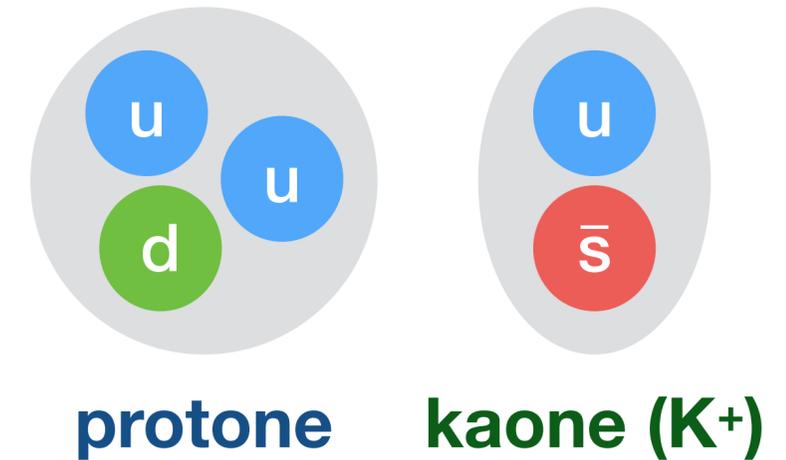
- Numerose particelle scoperte a partire dagli anni '30 da raggi cosmici ed esperimenti agli acceleratori
- La loro catalogazione misurandone le loro proprietà fondamentali permette di effettuare predizioni



Teoria dei Quark

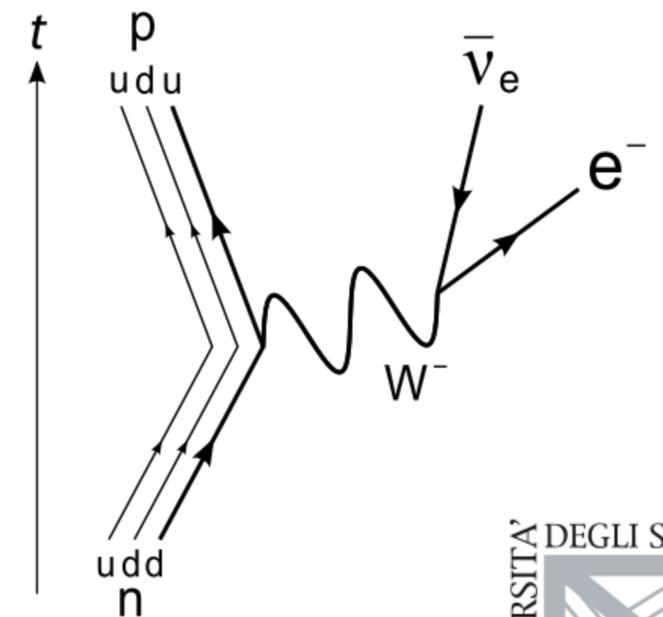
Nata per favorire la catalogazione delle particelle

- Inizialmente pensati come oggetti matematici per spiegare come mai alcune particelle venissero prodotte solamente in determinate reazioni - Murray Gell-Mann (Nobel 1969) and George Zweig
- Esperimenti successivi hanno dimostrato che corrispondono a delle particelle reali ma non osservabili singolarmente (es. Bjorken + Feynman 1969)
- All'inizio solo tre quark teorizzati (u, d, s)



Interazioni tra quark

- Il modo in cui i quark interagiscono permette di spiegare le interazioni tra particelle similmente a ciò che era stato teorizzato per i leptoni (e , μ)
- Per spiegare alcune reazioni osservate la teoria (in seguito nota come Modello Standard) deve essere estesa introducendo un nuovo quark (c)
- Fino alla metà degli anni '70 la teoria è circondata da scetticismo



Ascesa del Modello Standard

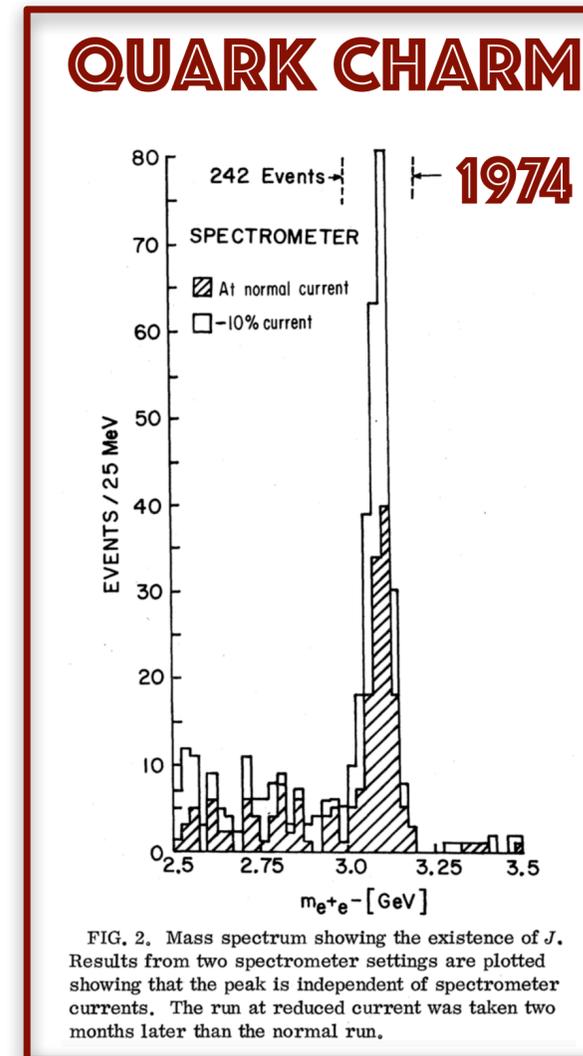
Una Serie di Successi

- Tutte le misure sperimentali che sono state fatte confermano il Modello..
- ... e ne esaltano le capacità predittive

Ascesa del Modello Standard

Una Serie di Successi

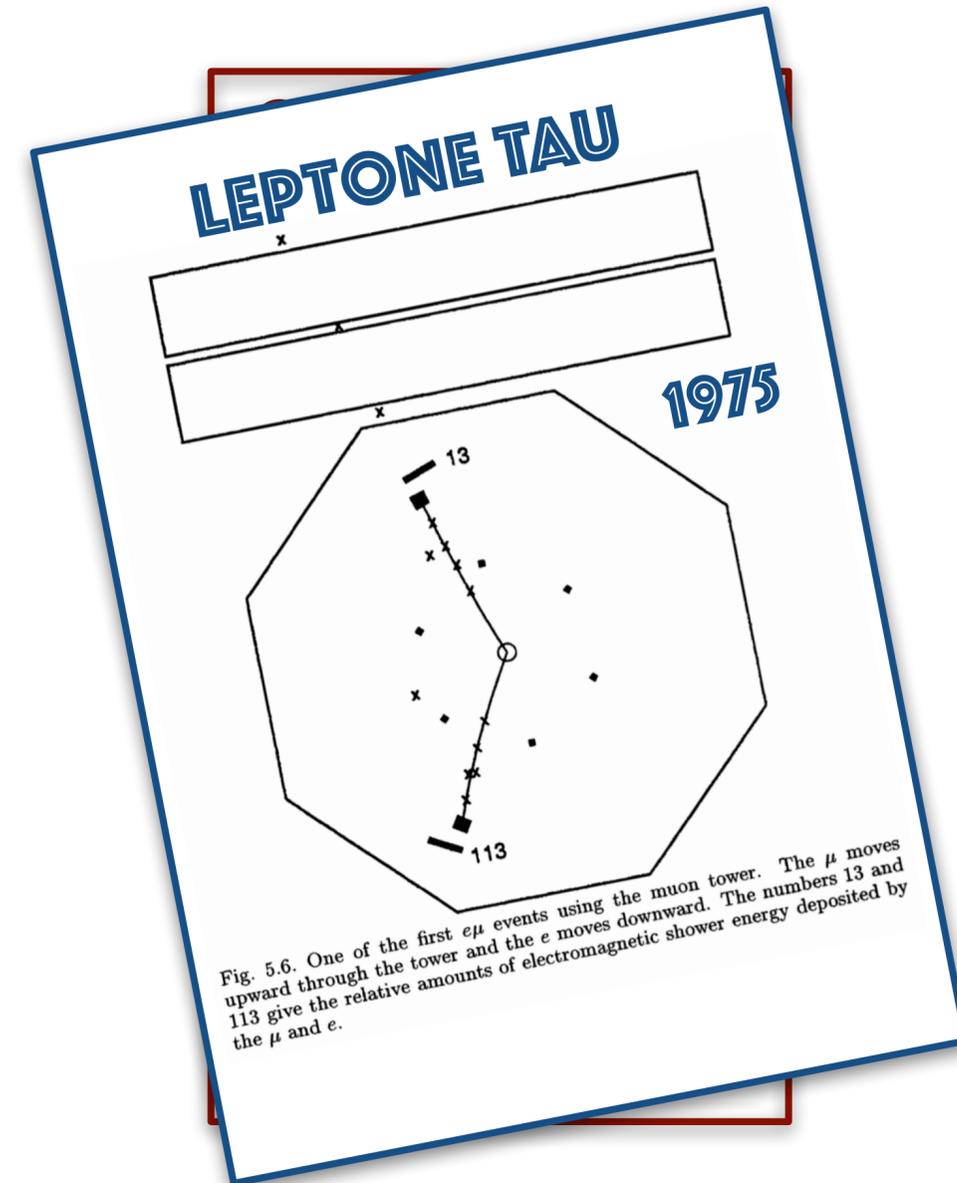
- Tutte le misure sperimentali che sono state fatte confermano il Modello..
- ... e ne esaltano le capacità predittive



Ascesa del Modello Standard

Una Serie di Successi

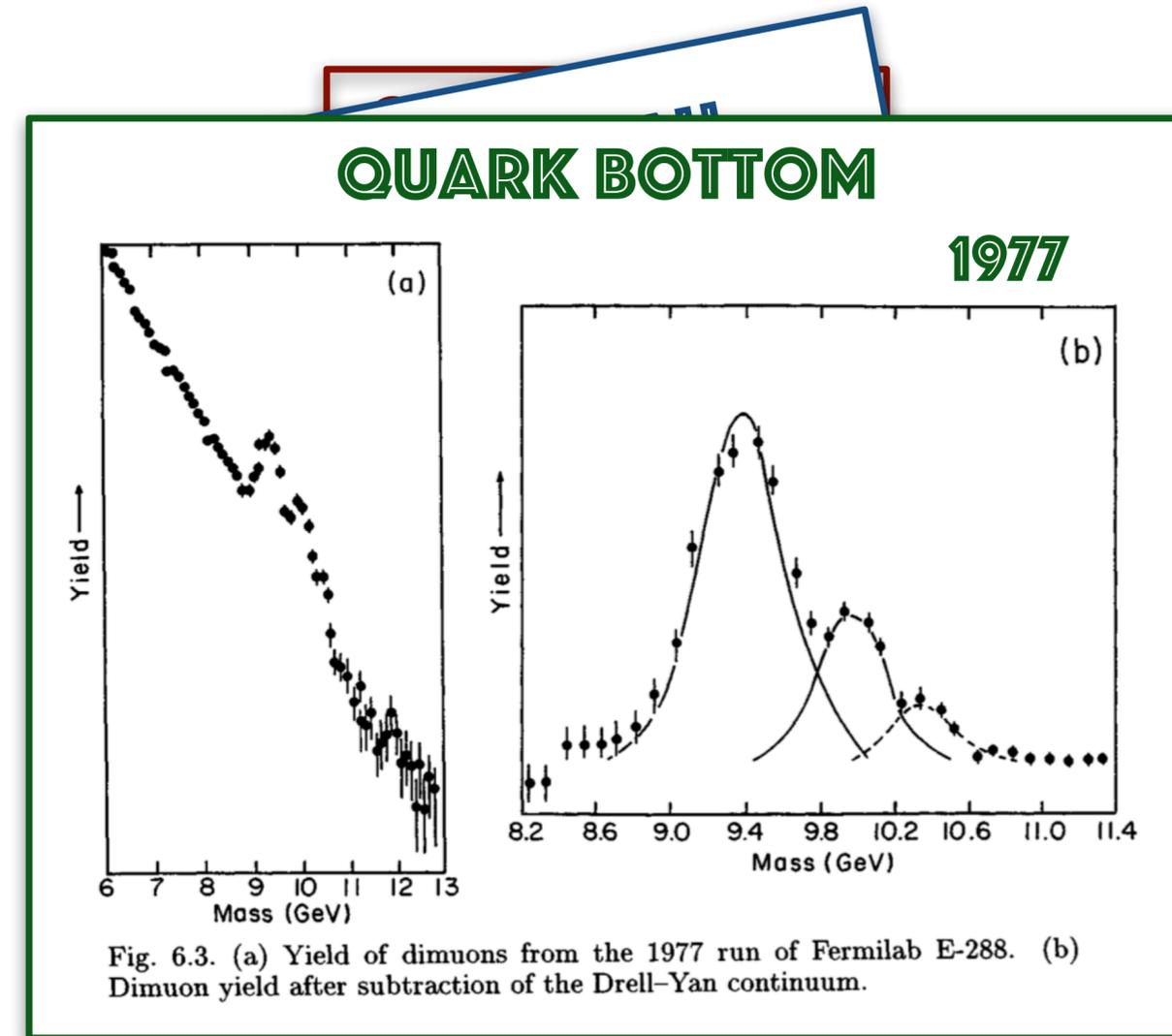
- Tutte le misure sperimentali che sono state fatte confermano il Modello..
- ... e ne esaltano le capacità predittive



Ascesa del Modello Standard

Una Serie di Successi

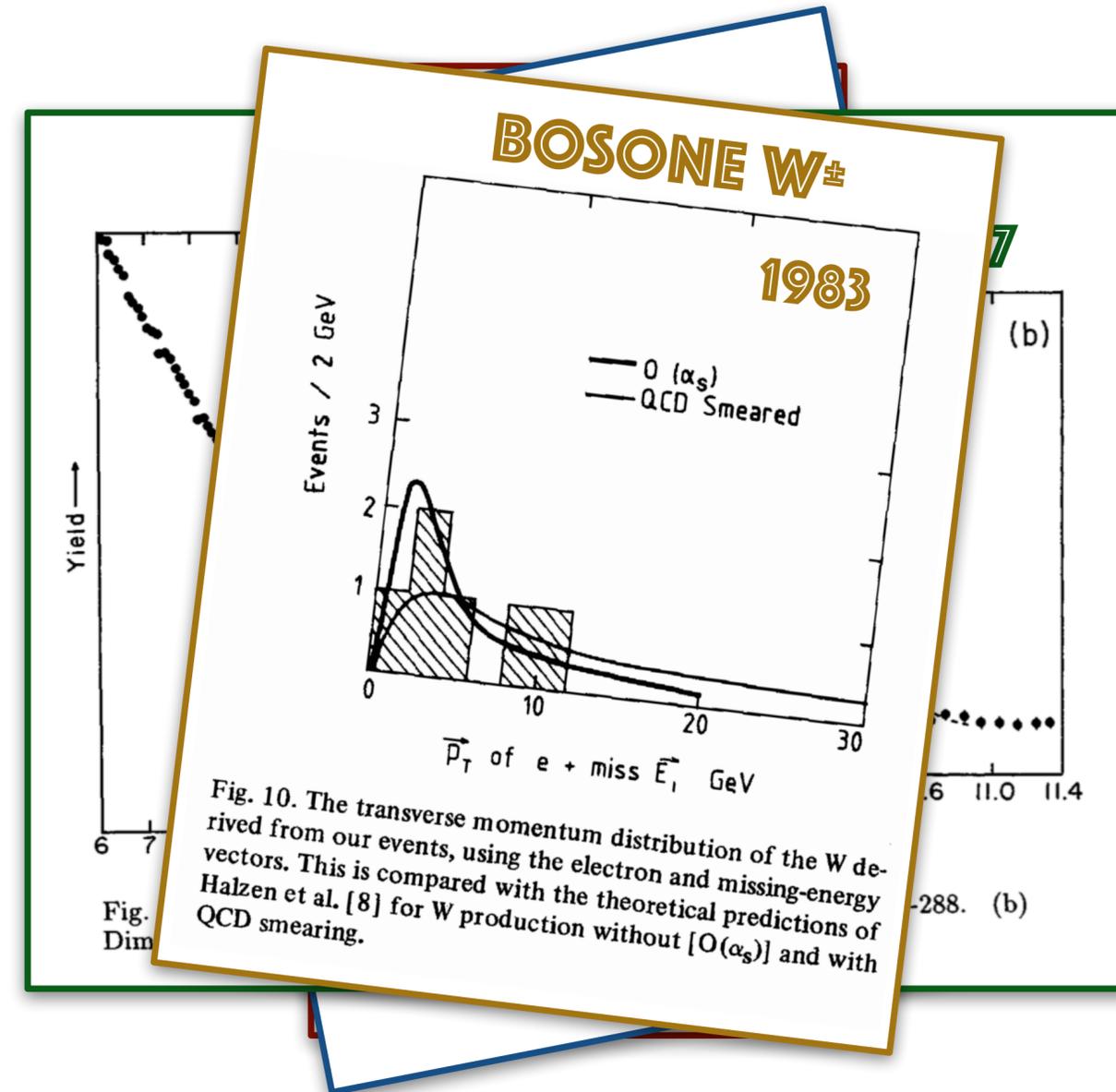
- Tutte le misure sperimentali che sono state fatte confermano il Modello..
- ... e ne esaltano le capacità predittive



Ascesa del Modello Standard

Una Serie di Successi

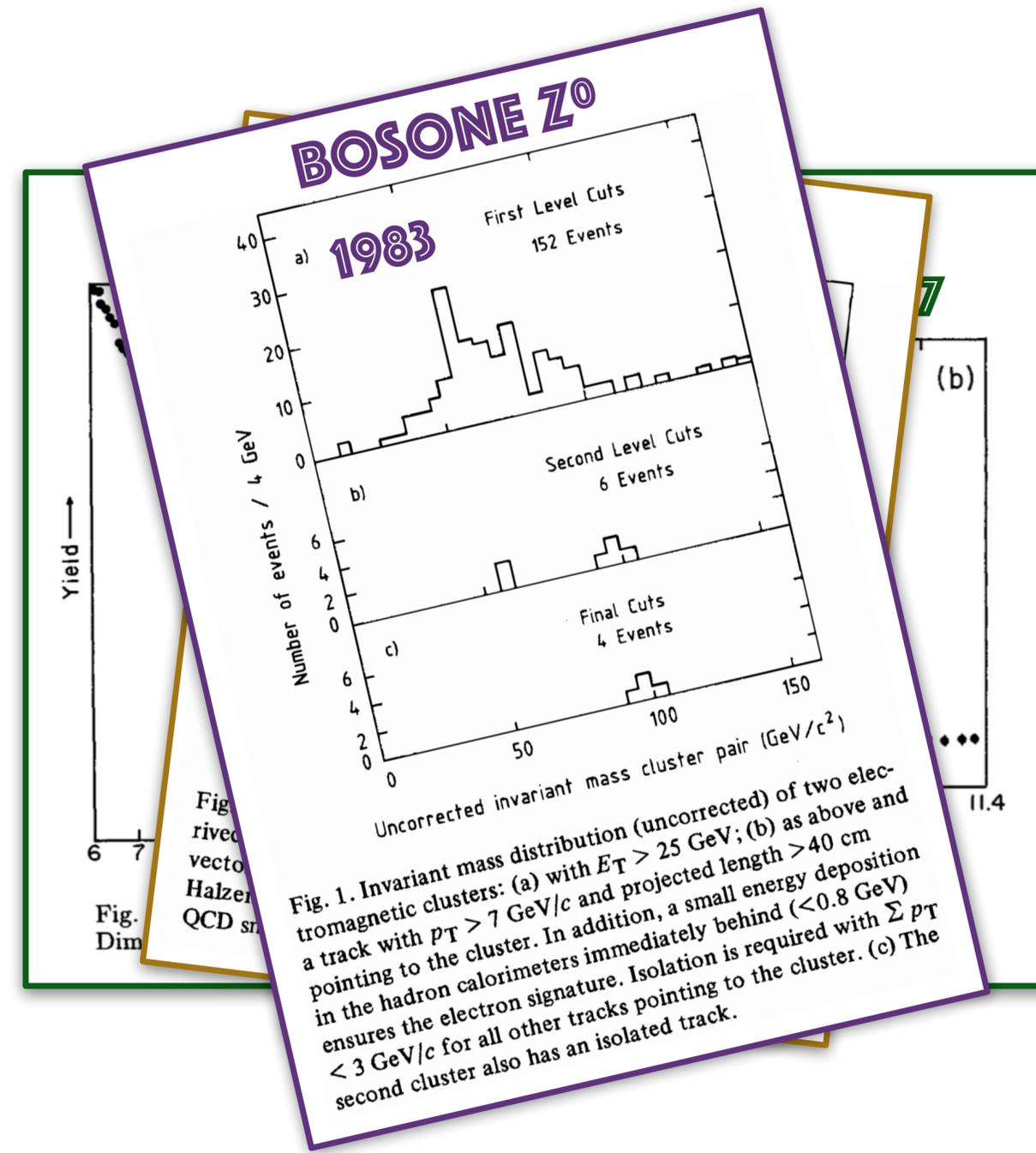
- Tutte le misure sperimentali che sono state fatte confermano il Modello..
- ... e ne esaltano le capacità predittive



Ascesa del Modello Standard

Una Serie di Successi

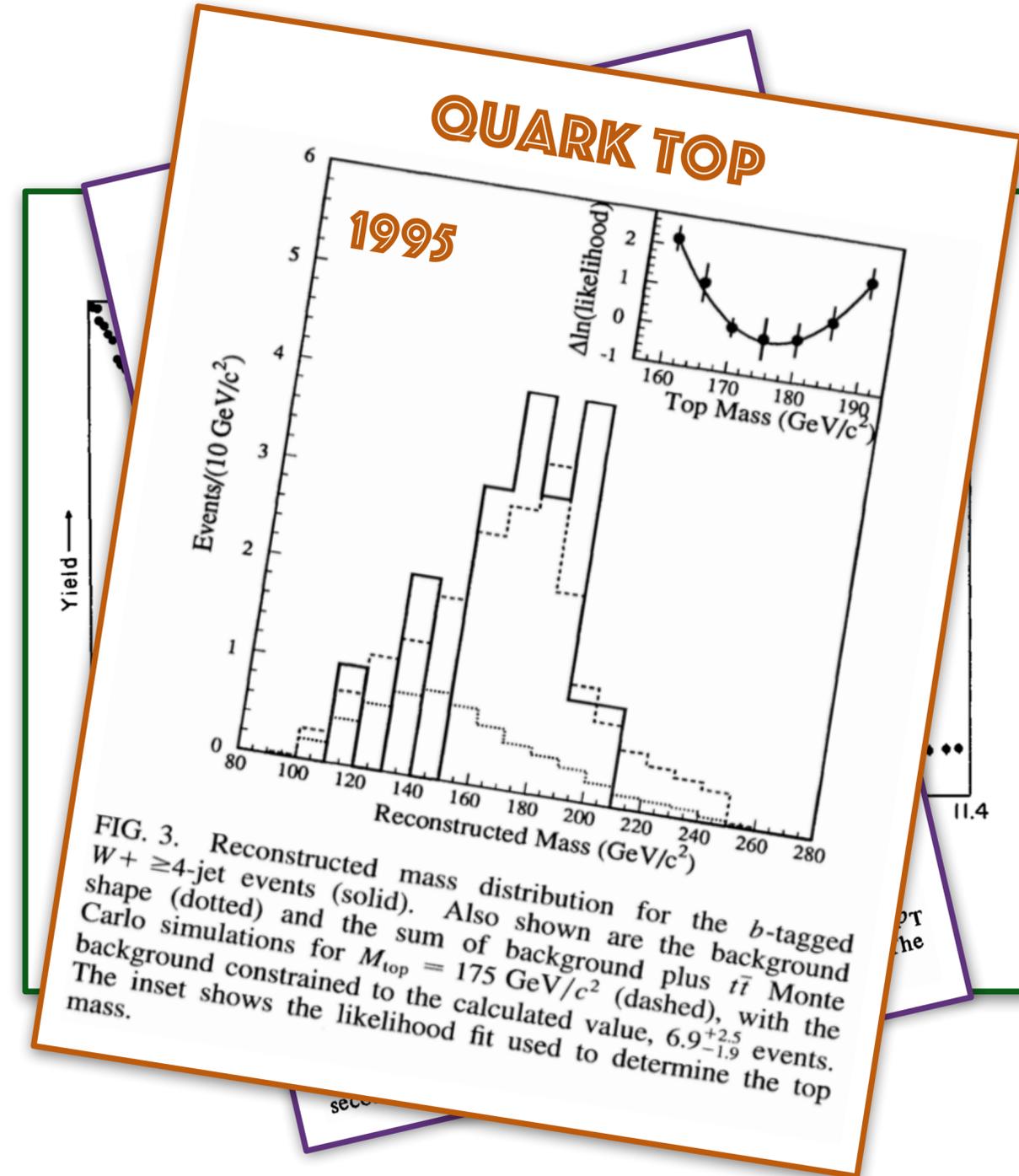
- Tutte le misure sperimentali che sono state fatte confermano il Modello..
- ... e ne esaltano le capacità predittive



Ascesa del Modello Standard

Una Serie di Successi

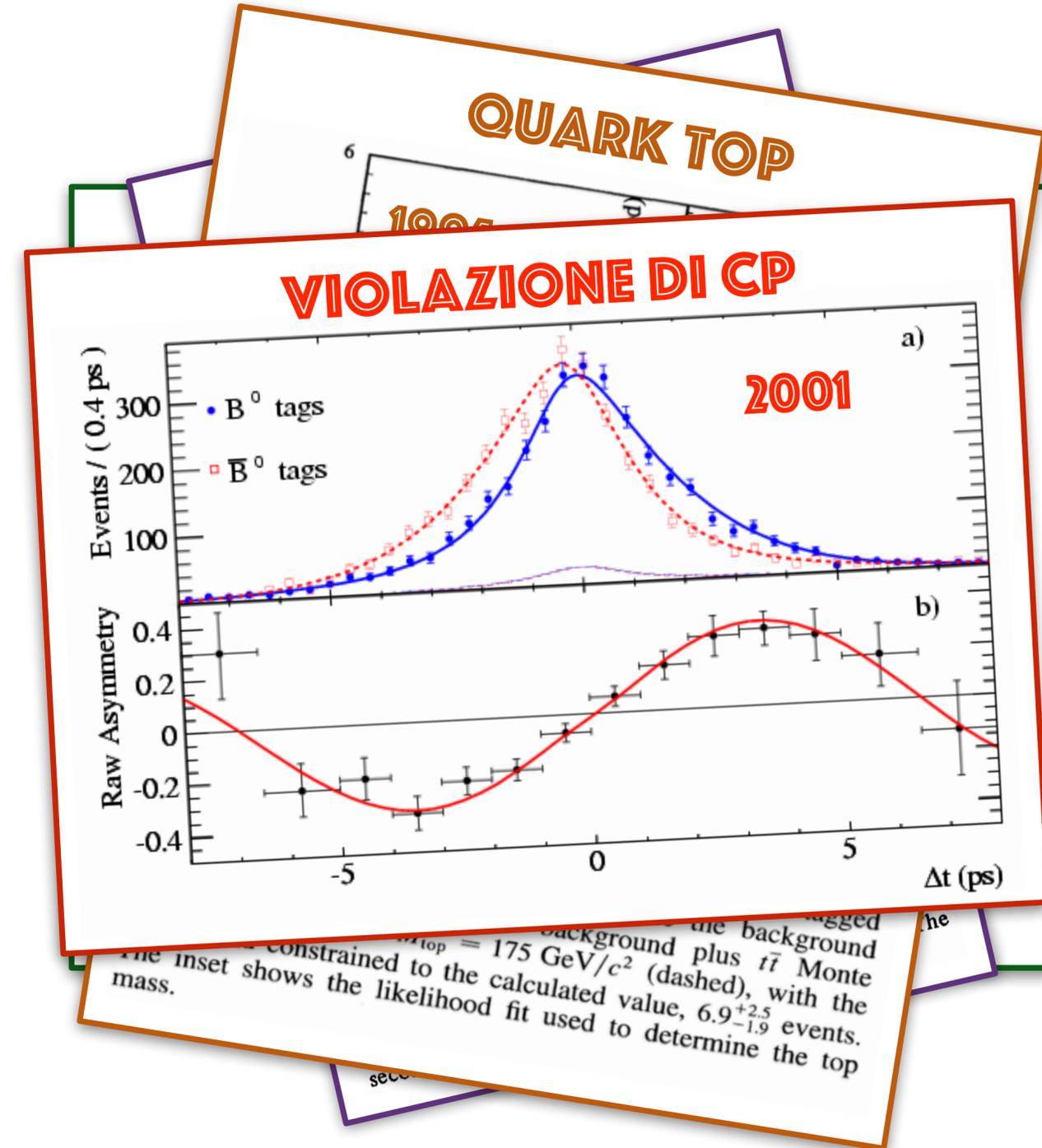
- Tutte le misure sperimentali che sono state fatte confermano il Modello..
- ... e ne esaltano le capacità predittive



Ascesa del Modello Standard

Una Serie di Successi

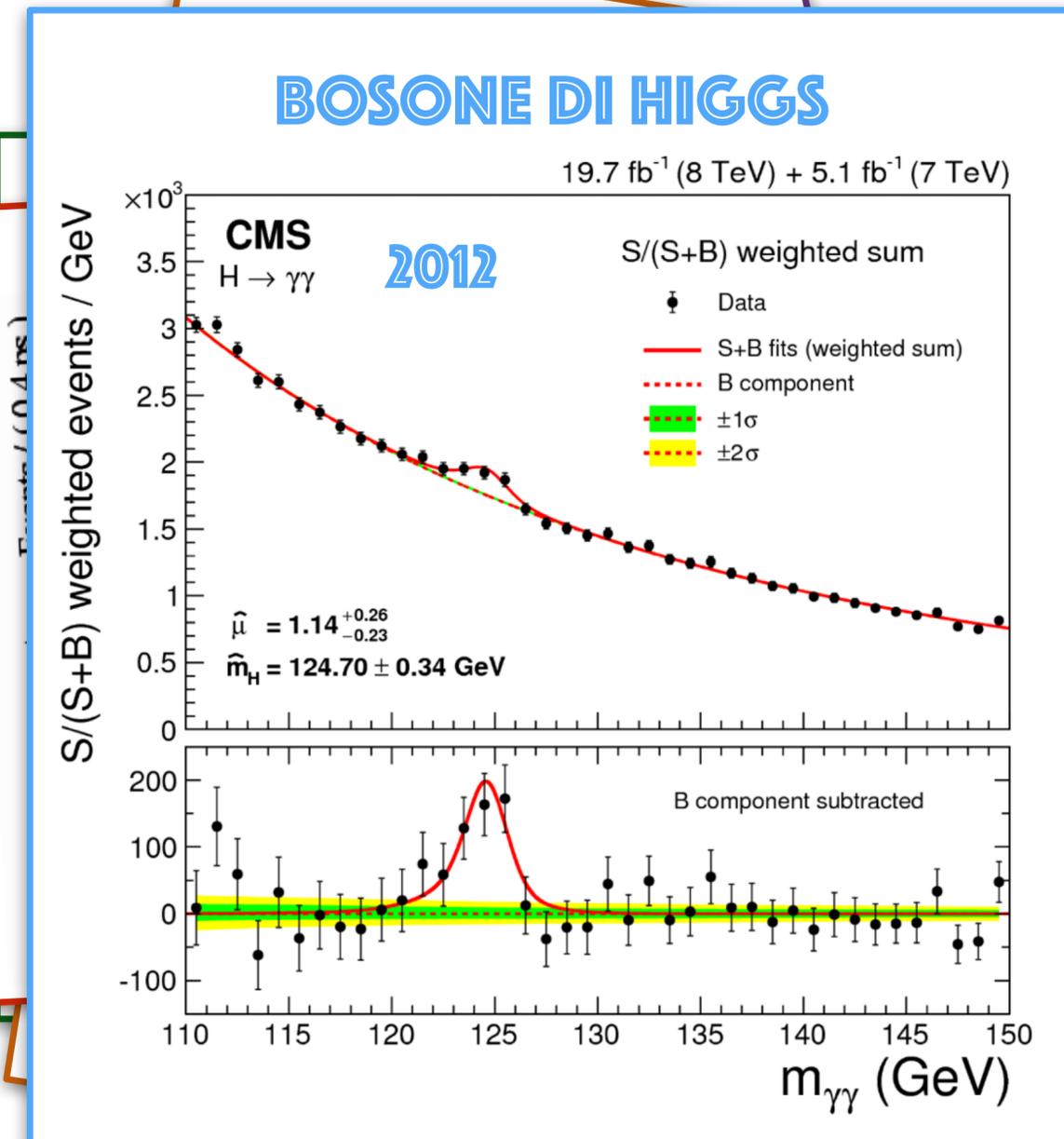
- Tutte le misure sperimentali che sono state fatte confermano il Modello..
- ... e ne esaltano le capacità predittive



Ascesa del Modello Standard

Una Serie di Successi

- Tutte le misure sperimentali che sono state fatte confermano il Modello..
- ... e ne esaltano le capacità predittive



Il Modello Standard - Quark e Leptoni

Quark



Leptoni



Elementi Fondamentali

- 6 quark
- 6 leptoni
- Ciascuno ha una corrispondente antiparticella
- Ciascun gruppo si divide in 3 famiglie

Il Modello Standard - Portatori della Forza

Interazione
Elettromagnetica



Interazione Forte
(tiene insieme il nucleo)



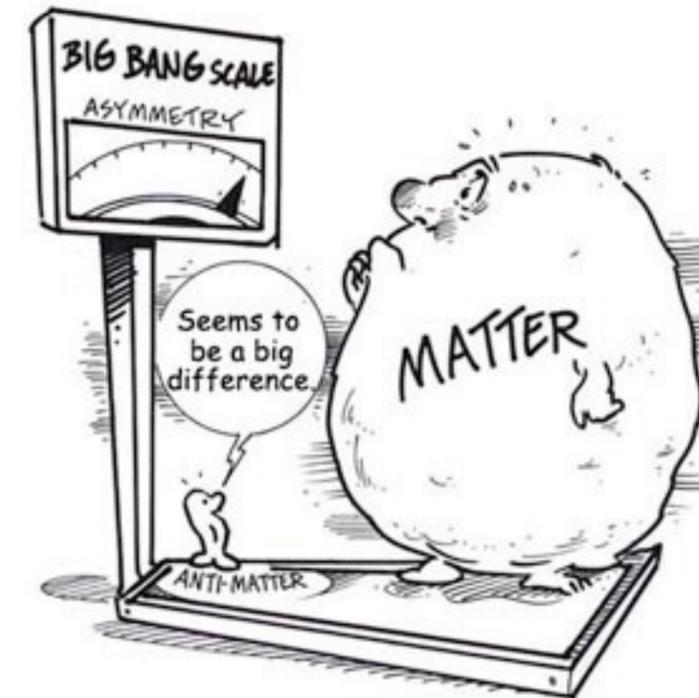
Interazione Debole
(Decadimento neutroni)



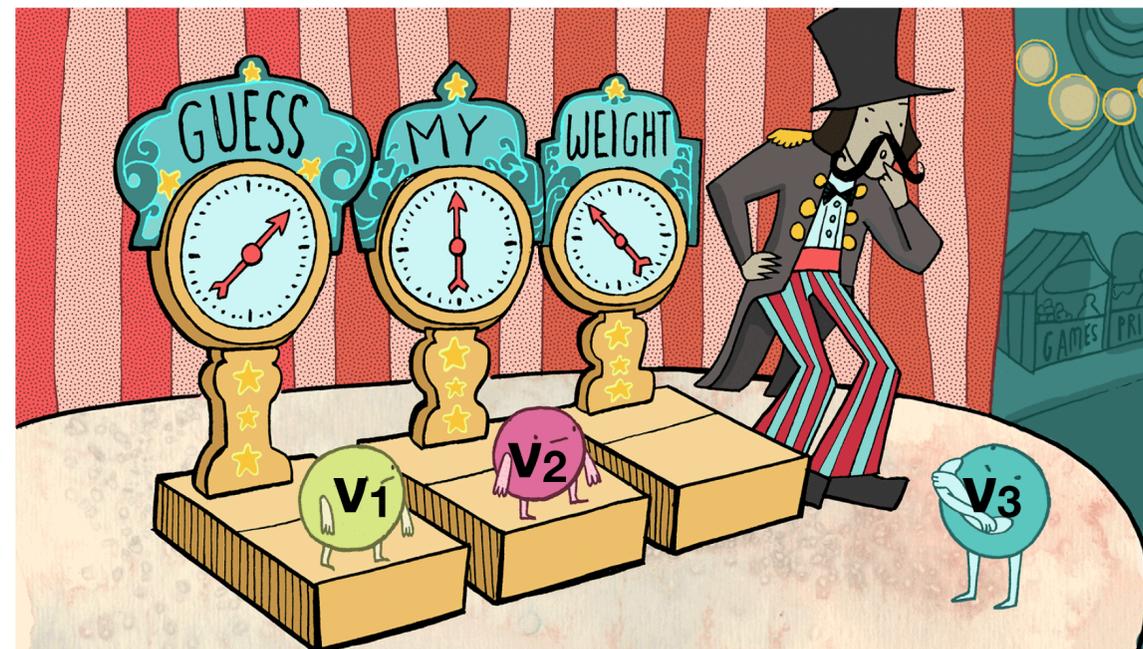
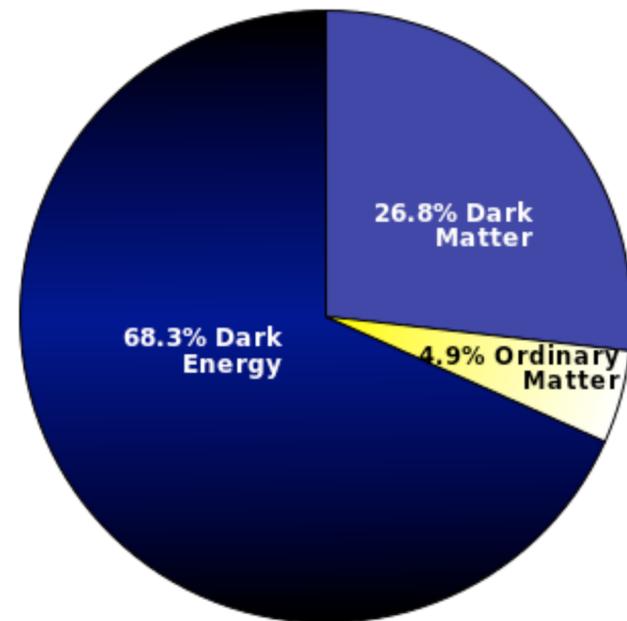
Fornisce massa
alle particelle



Fine della Storia?



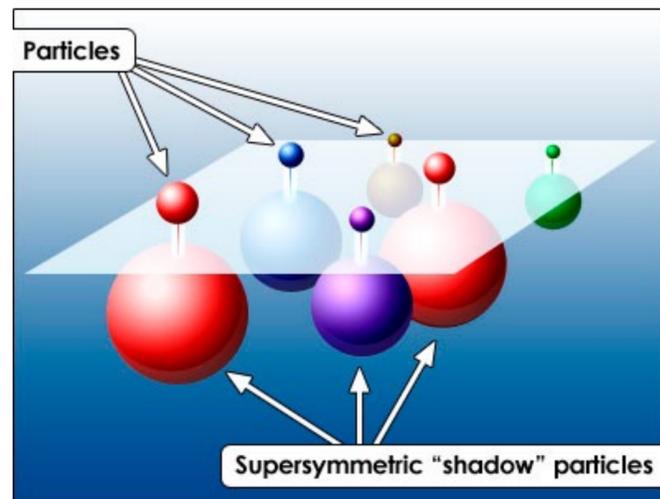
?



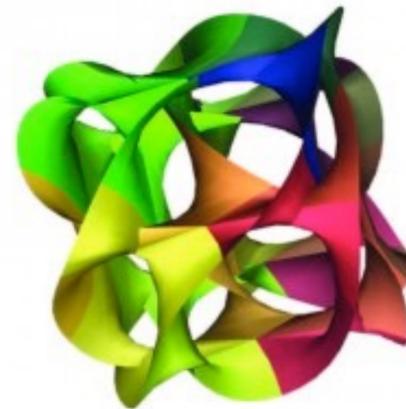
Nuovi Modelli?

Modello Standard Incompleto

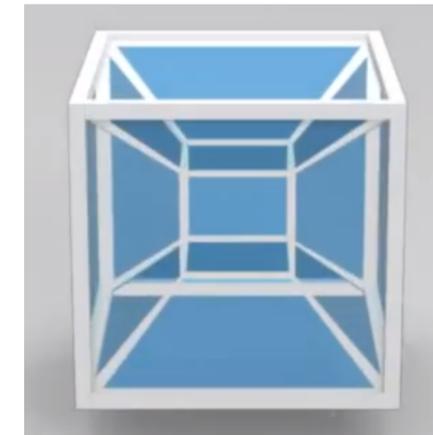
- Sia chiaro, descrive il mondo in cui viviamo nei suoi processi microscopici con estrema precisione
- Ma ci sono alcune cose che non riesce a spiegare
- I fisici cercano di ipotizzare e verificare teorie che possano estendere il modello introducendo nuovi paradigmi



Supersimmetria
A ciascuna particella
corrisponde un partner
che interagisce in
maniera diversa



Stringhe
La realtà 4D che
osserviamo è solo un
sottoinsieme delle
dimensioni che
descrivono l'Universo

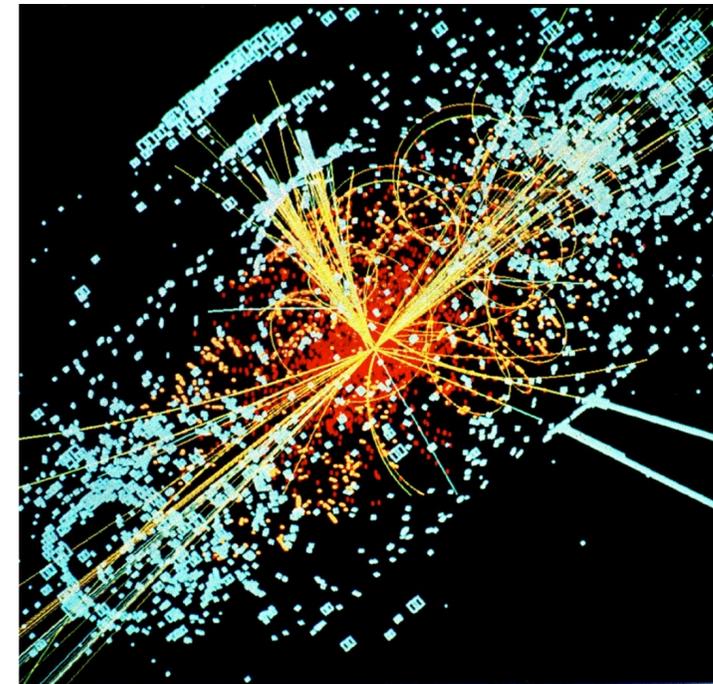
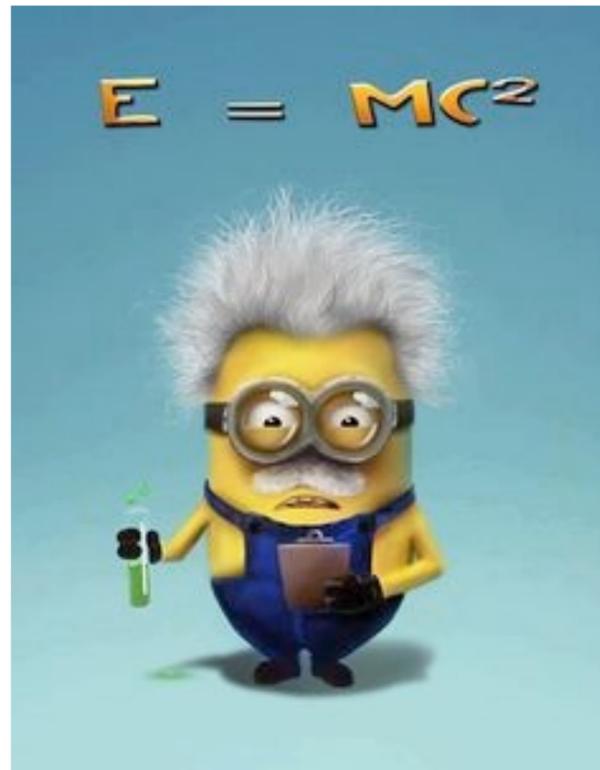


Multidimensioni
Estensioni
multidimensionali della
realtà che osserviamo

Fisica delle Particelle Oggi

Verifica del Modello Standard e ricerca di nuovi fenomeni

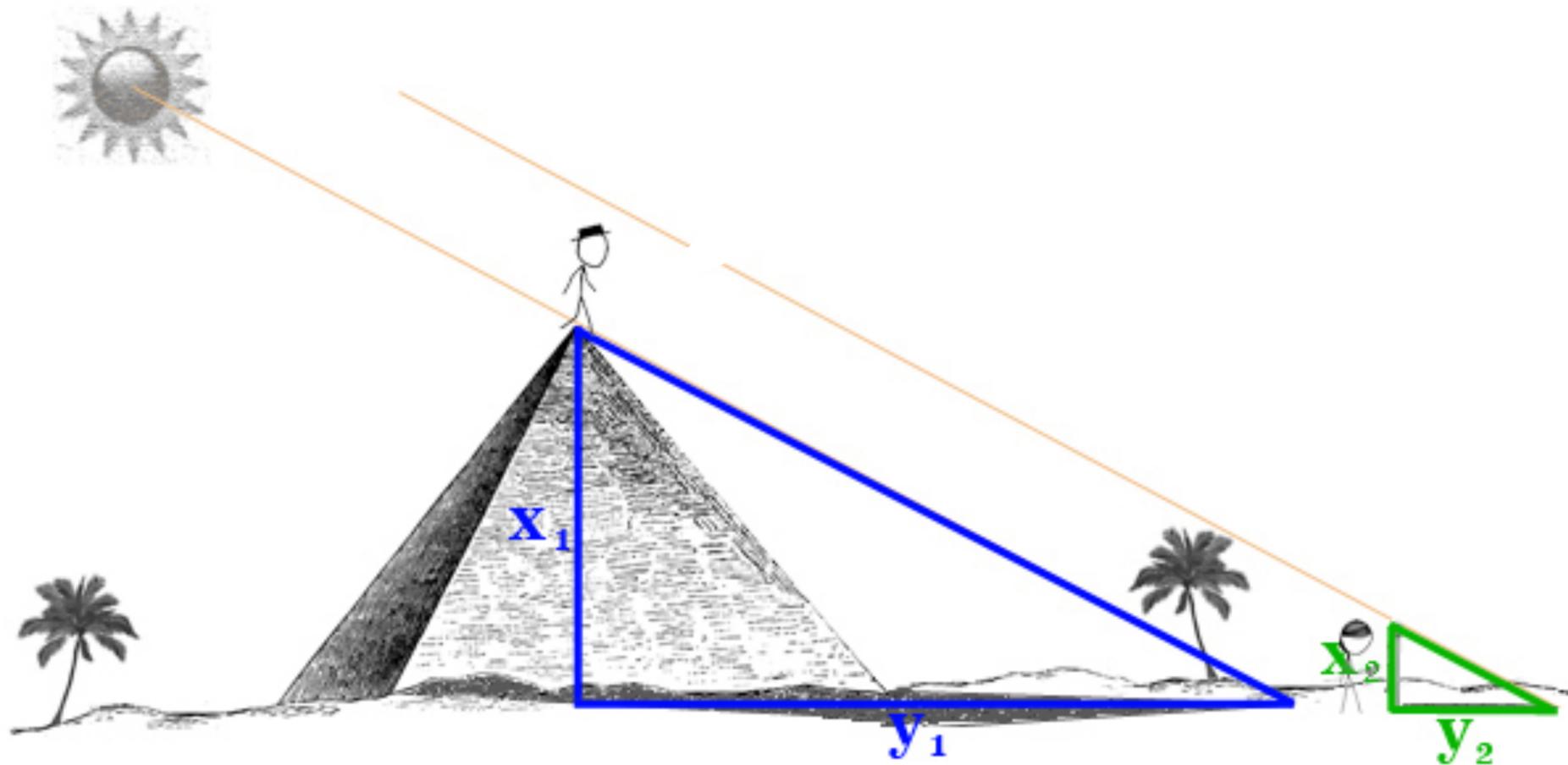
- Sono eventi molto rari
- Bisogna accumulare molti dati
- Bisogna porsi nelle migliori condizioni per studiarli
- Nel tempo i fisici hanno costruito macchine acceleratrici sempre più potenti per raggiungere le energie più elevate e raccogliere il maggior numero di eventi



Ricerche Dirette e Indirette

Due Categorie di Ricerche Sperimentali

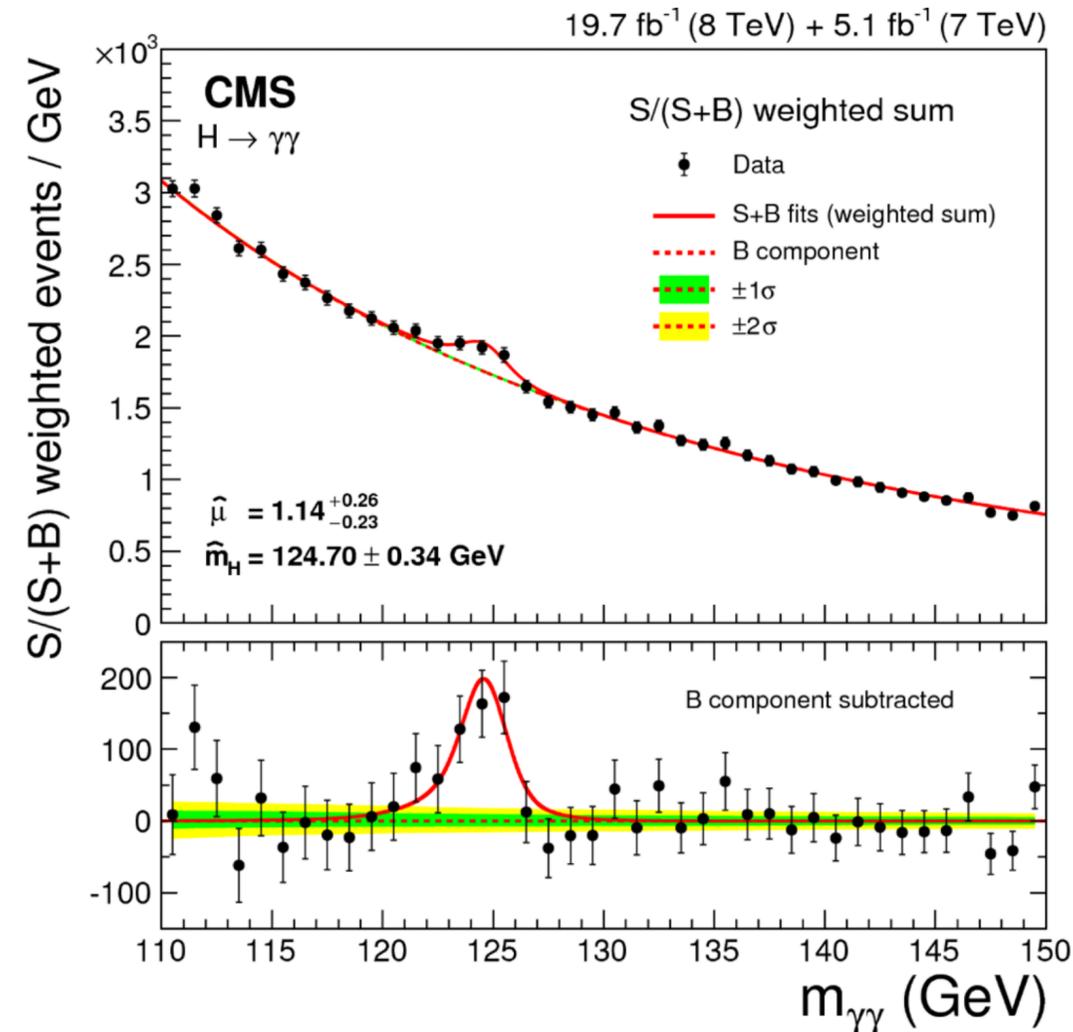
- **Ricerche dirette**
cercare direttamente le nuove particelle sfruttando tutta l'energia a disposizione
- **Ricerche indirette**
cercare gli effetti (sottili) che nuove particelle possono indurre su fenomeni noti



Ricerche Dirette

Il Bosone di Higgs

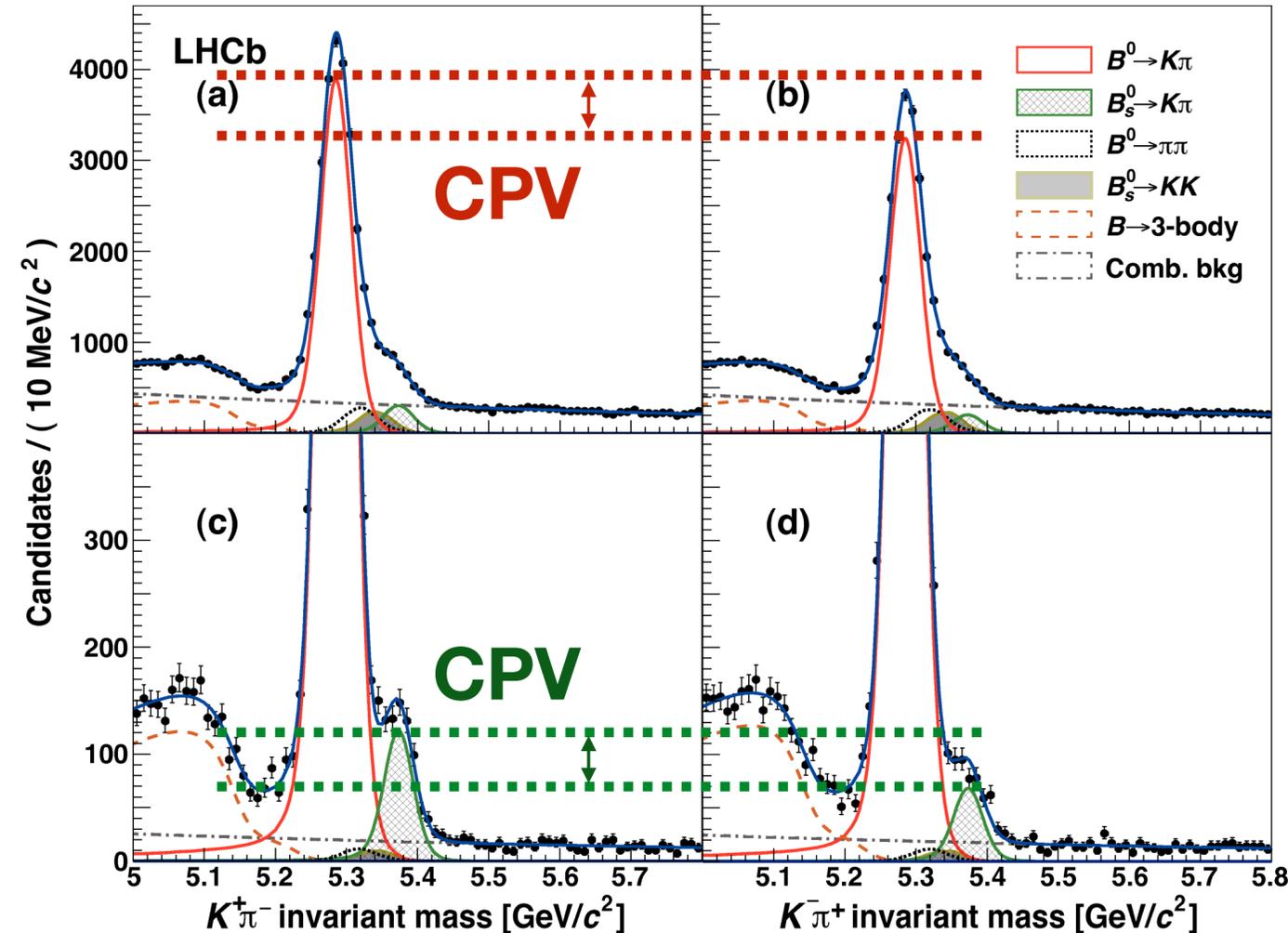
- Classico esempio di ricerca diretta
- Si ricostruiscono i prodotti di un processo molto semplice ($H^0 \rightarrow \gamma\gamma$) e si cerca di osservare un segnale sul fondo atteso



Ricerche Indirette

Violazione di CP

- Nel Modello Standard i mesoni B^0 (B^0_s) e la loro antiparticella si comportano in modo lievemente differente: non c'è totale simmetria
- Misure di alta precisione potrebbero segnalare effetti non predetti dal Modello Standard



Collaborazioni Scientifiche

Crescita degli Esperimenti

- Nella storia della fisica delle particelle abbiamo osservato una crescita di complessità che ha portato gli scienziati a collaborare più che ad essere in competizione singola tra loro
- È comunque auspicabile che i risultati scientifici siano verificati da almeno due esperimenti indipendentemente per affermarsi

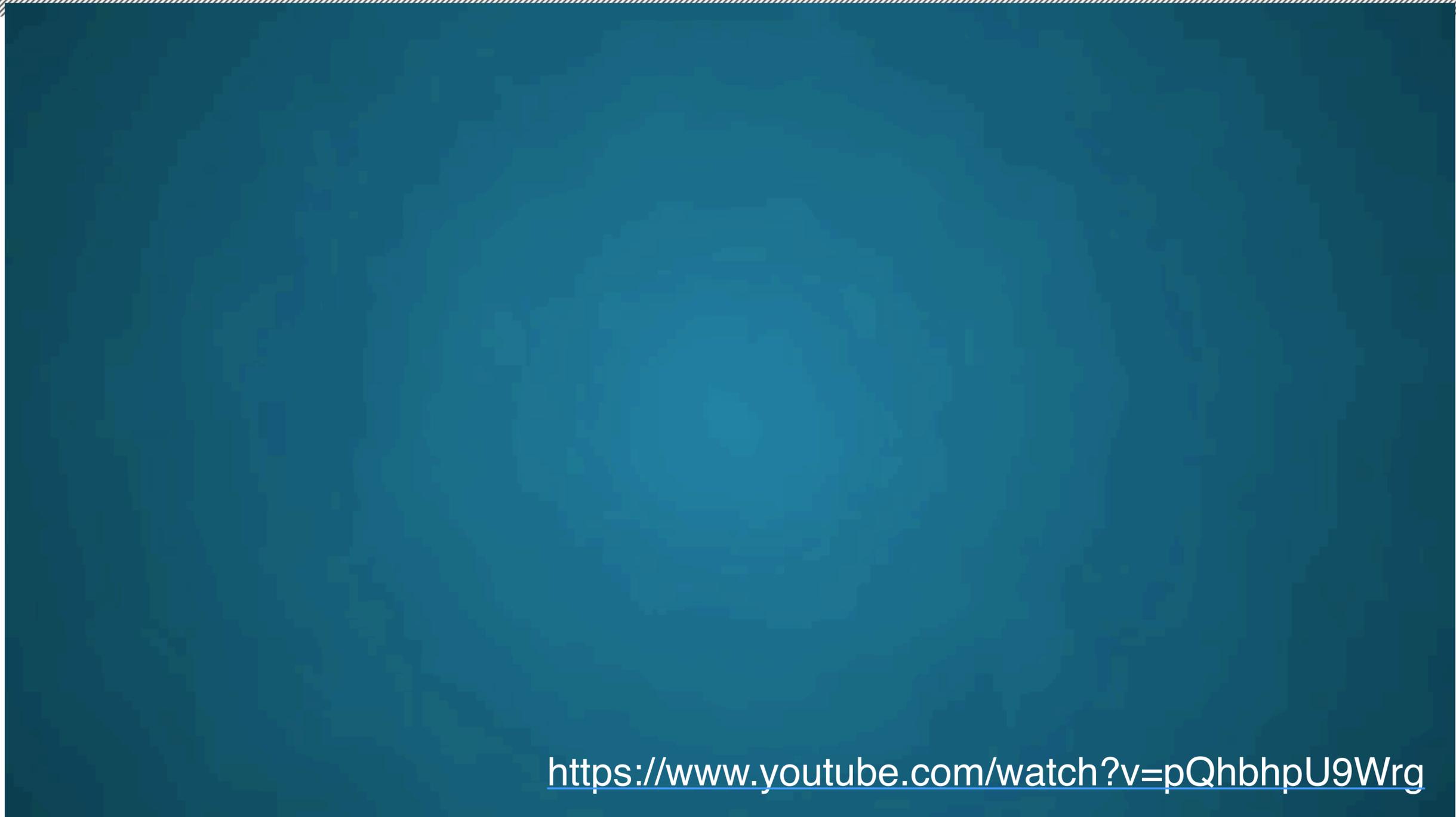
Un Impegno Globale

- Gli obiettivi che ci poniamo come scienziati sarebbero irraggiungibili senza la formazione di collaborazioni internazionali
ATLAS e CMS (~4000), LHCb (~800), DUNE (>1000)...
- I laboratori come il CERN fungono da aggregatore per favorire la formazione di collaborazioni e la discussione tra gli scienziati
- Un modello unico nell'ambiente scientifico
... che comincia a fare scuola (e.g. Human Brain Project)

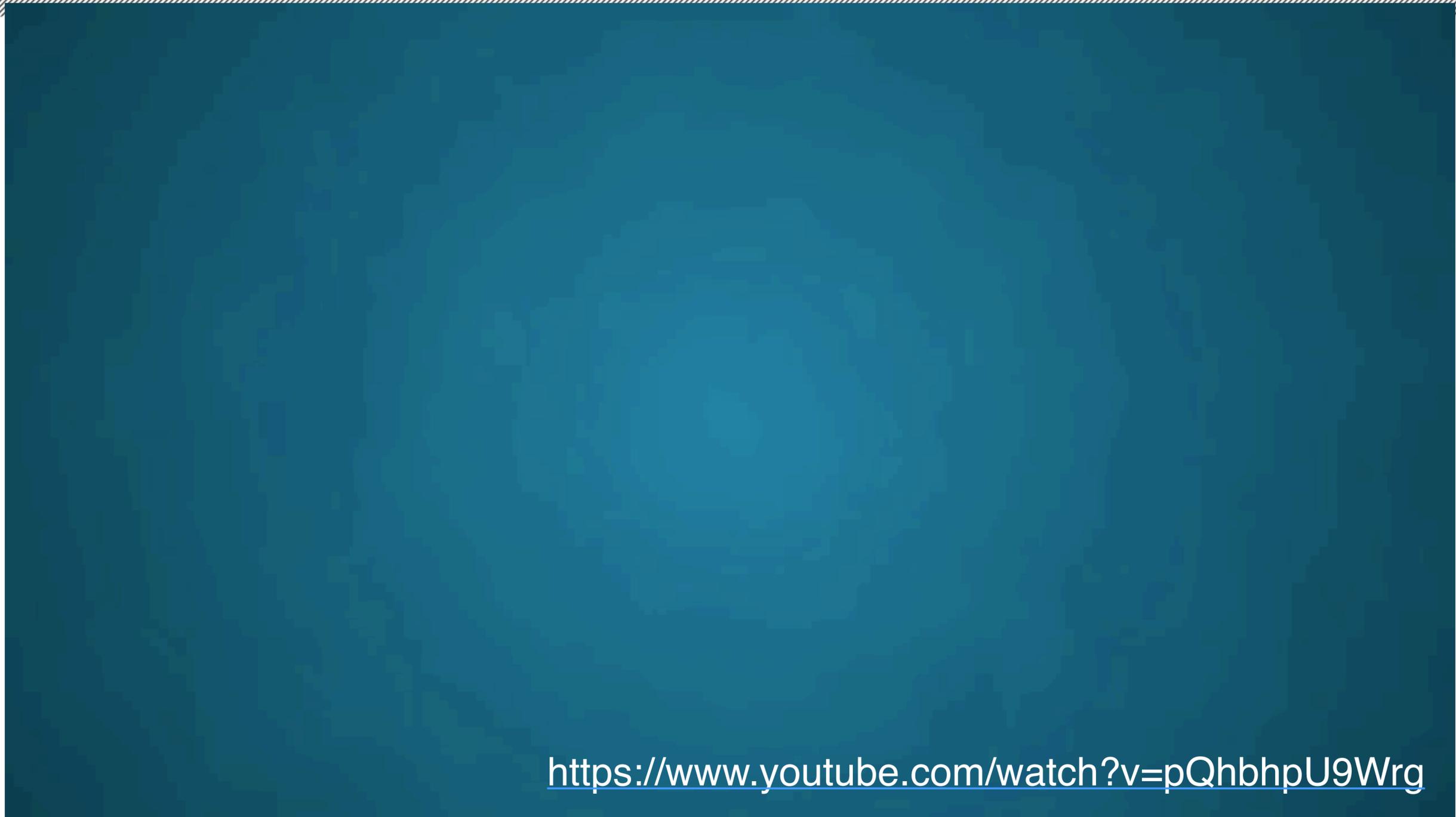
LHC al CERN

- Il più grande e potente acceleratore di particelle al mondo
- Attivo da fine 2009
- Collisioni protone-protone a 7 TeV (2011), 8 TeV (2012) e 13 TeV (2015-2018)
- Quattro esperimenti principali: ALICE, ATLAS, CMS e LHCb



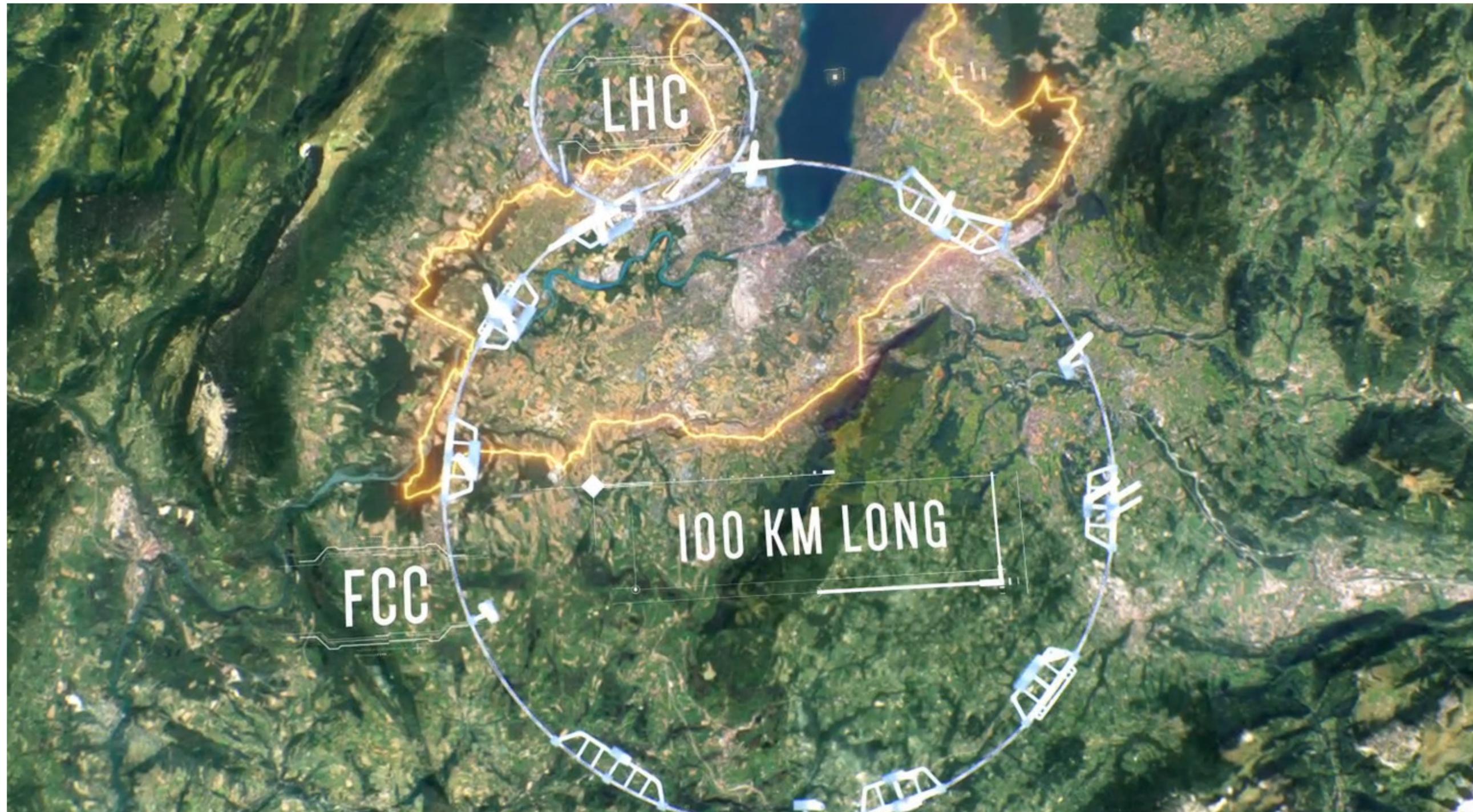


<https://www.youtube.com/watch?v=pQhbhpU9Wrg>

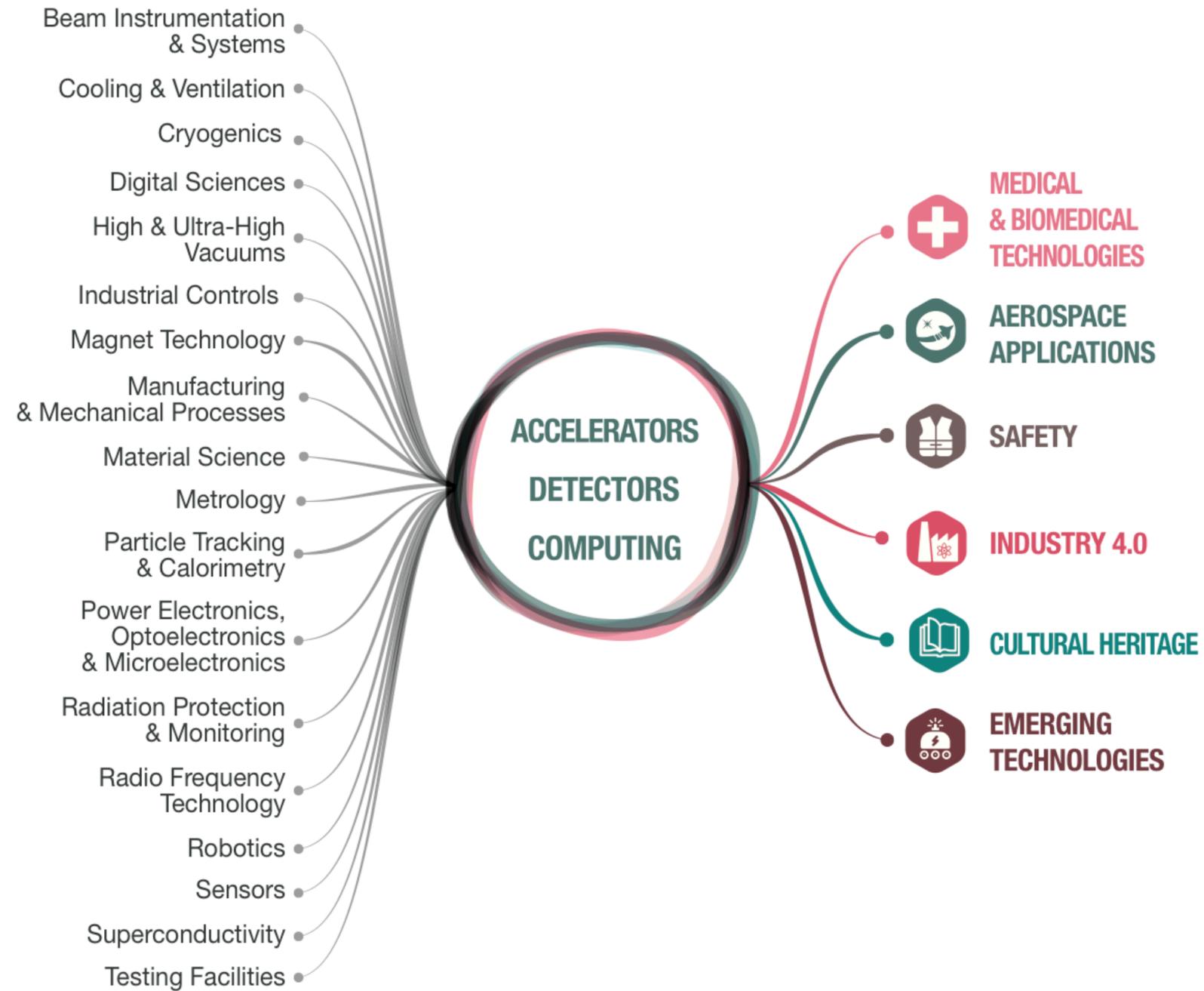


<https://www.youtube.com/watch?v=pQhbhpU9Wrg>

Il Futuro?

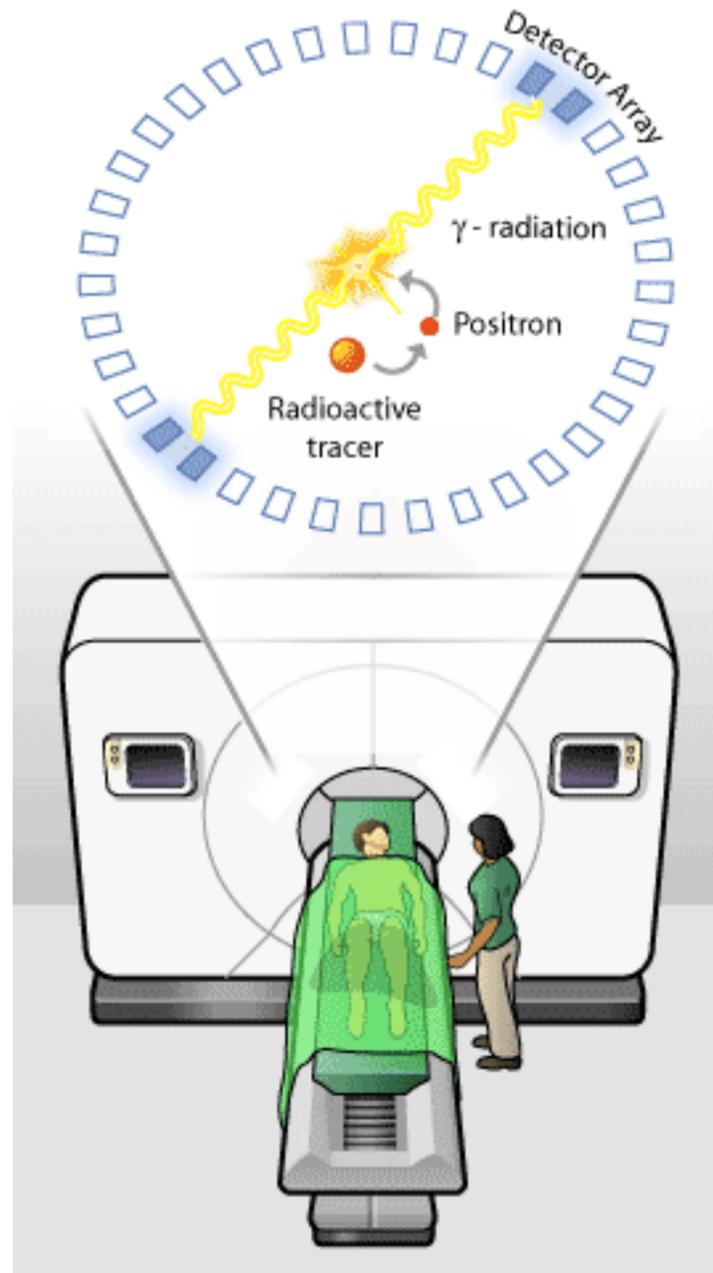


Fisica delle Particelle e Società



Tecnologie Mediche

PET



RADIO- e PROTO-TERAPIA



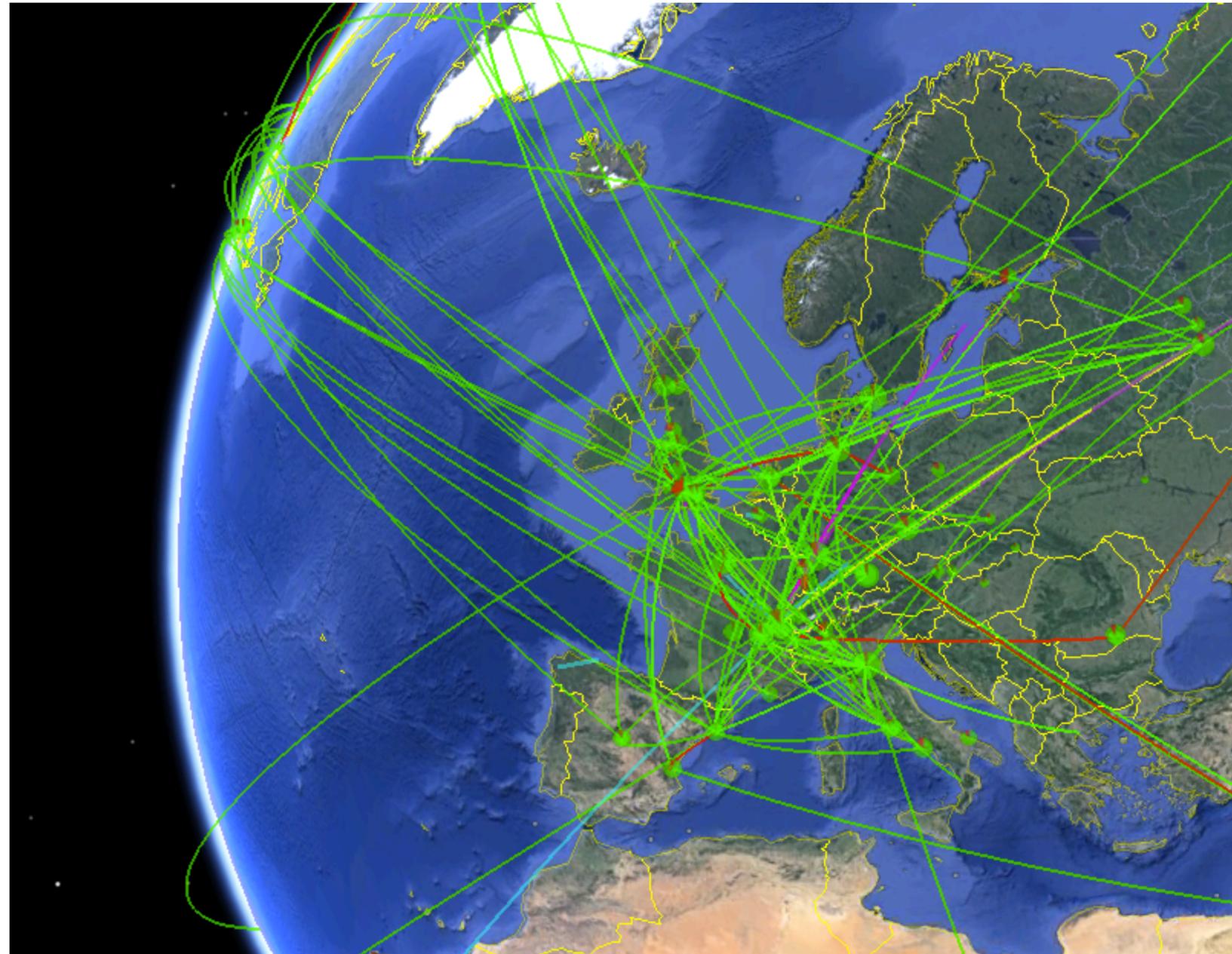
Patrimonio Culturale



CERN and INFN are developing a new transportable accelerator, which will be used to analyse works of art at the laboratories of the Opificio delle Pietre Dure in Florence. (Image: INFN)

Connettività

World Wide Web, Cloud Computing



Laboratori di Pace



Quiz!

**Collegatevi a kahoot.it dal vostro telefono o terminale
e inserite il PIN che vedrete sullo schermo**