



# ESPERIENZA DA RICERCATORE DEL CERN

Di Bolognesi Matteo e Neri Matteo

14 FEBBRAIO 2011, BOLOGNA

# Di cosa si tratta

Questo Febbraio si è tenuto, per la prima volta a Bologna (e in Italia anche a Catania, Ferrara, Lecce, Napoli, Padova, Pisa, Roma “La Sapienza”, RomaTre, Torino e Udine), l'European Masterclasses 2011 coordinato dall'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) e in collegamento con il CERN di Ginevra.

L'iniziativa è stata pensata coinvolgendo circa 6000 studenti e 110 università o centri

di ricerca di 24 Paesi diversi.

Autentici ricercatori ci hanno accompagnato in un viaggio nelle proprietà delle particelle e ci hanno fatto scoprire i segreti delle grandi macchine che vengono costruite per trovare i componenti primi della materia.



**Il prof. Roberto Spighi intento a spiegarci la fisica delle particelle elementari**

# Svolgimento della mattina

- La prima parte svolta nella mattinata consisteva in una introduzione al mondo delle particelle elementari che compongono la materia o mediano le interazioni fondamentali (elettromagnetica, gravitazionale, nucleare forte e nucleare debole). La presentazione è stata molto interessante, ci è stato aperto un mondo, la cui esistenza difficilmente si sarebbe potuta immaginare! Ci sono stati mostrati anche gli obiettivi e la struttura del CERN attualmente.



Acceleratore LHC

Infatti è da poco tornato operativo LHC, il Large Hadron Collider con il quale si tenterà di verificare l'esistenza del cosiddetto bosone di Higgs, particella che darebbe coerenza matematica al Modello Standard, la teoria che descrive le particelle fondamentali e le forze attraverso le quali interagiscono .

# Il Modello standard

I fisici hanno elaborato una teoria, chiamata Modello Standard, che vuole descrivere sia la materia che tutte le forze dell'universo (esclusa la gravità). La sua bellezza sta nella capacità di spiegare centinaia di particelle e interazioni complesse con poche particelle e interazioni fondamentali.

**Particelle mediatrici di forza:** Ogni tipo di interazione fondamentale agisce "mediante" una particella mediatrice di forza (un esempio è il fotone).

**Particelle materiali:** Il Modello Standard sostiene che la maggior parte delle particelle materiali finora conosciute è composta di particelle più fondamentali, i quarks. C'è anche un'altra classe di particelle materiali fondamentali, i leptoni (un esempio è l'elettrone).

Insomma, ci sono due generi di particelle: particelle che sono materia (come gli elettroni, i protoni, i neutroni, e i quark) e particelle che mediano le interazioni (come i fotoni)

# Qualcosa sulle particelle subatomiche secondo il modello standard

**Il punto di forza del Modello Standard, quello che lo rende capace di spiegare così tante cose, è il riportare tutte le particelle osservate a:**

6 tipi di leptoni

6 tipi di quark, e...

particelle mediatrici di forza.

Ci sono sei leptoni, dei quali tre hanno carica elettrica e tre no. Il leptone carico più conosciuto è l'elettrone ( $e$ ). Gli altri due leptoni carichi sono il muone ( $\mu$ ) e il tau ( $\tau$ ), che sono fondamentalmente elettroni con molta più massa. I leptoni carichi sono tutti negativi.

Gli altri tre leptoni sono gli elusivi neutrini ( $\nu$ ). Non hanno carica elettrica, e hanno massa piccolissima. C'è un tipo di neutrino che corrisponde a ogni tipo di leptone con carica elettrica.

Ad oggi non sono state trovate particelle che compongono i leptoni,

Per ogni leptone esiste il leptone di antimateria

# I Quarks

I quarks sono di sei tipi, detti sapori, (up (u) , down (d), charm, strange, top, botton, con cariche  $+2/3$  e  $-1/3$ ). Per ciascuno di questi quark esiste il corrispondente quark di antimateria (antiquark con carica opposta).

I quarks hanno l'insolita caratteristica di avere carica elettrica frazionaria, di  $2/3$  o  $-1/3$ , diversamente dagli elettroni, che hanno carica  $-1$ , e dai protoni, che hanno carica  $+1$ . I quarks sono dotati anche di un altro tipo di carica, chiamata carica di colore.

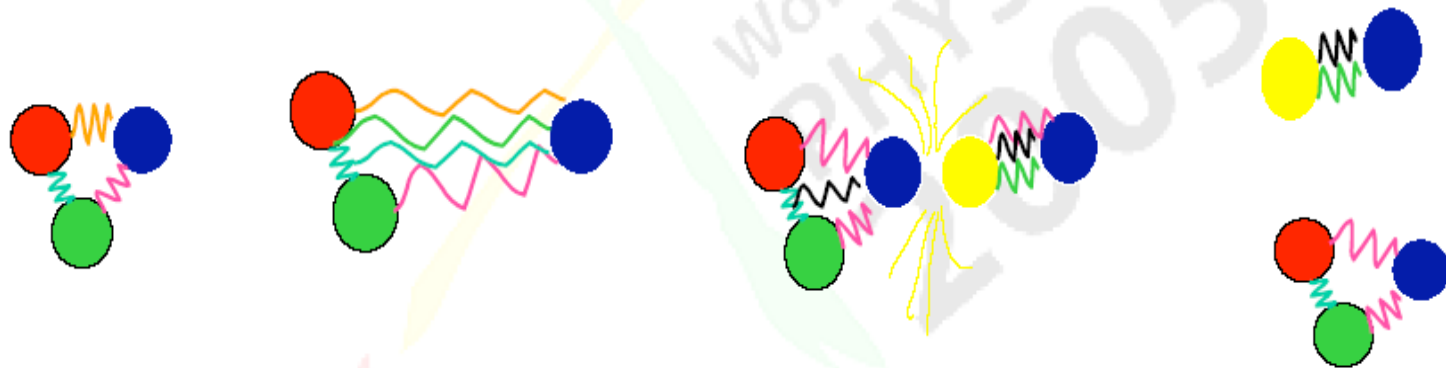
I quarks compongono, a gruppi di tre o di due, particelle come i protoni (quarks uud, carica totale  $+1$ ) oppure i neutroni (quarks udd, carica totale  $0$ ). I singoli quark non sono mai stati osservati direttamente perché i quarks non vanno mai in giro da soli; invece, si trovano “confinati” in gruppi a formare delle particelle composte, chiamate adroni (tra cui, appunto protoni e neutroni). La somma delle cariche elettriche dei quark che compongono un adrone è sempre un numero intero. Mentre ogni quark ha una carica di colore, gli adroni sono neutri di colore, perché le diverse cariche al suo interno si annullano tra loro.

# Il campo di forza colore

I quarks di un adrone si scambiano gluoni freneticamente. A questo si riferiscono i fisici quando parlano di **campo di forza di colore**, che consiste di gluoni che tengono insieme il gruppo di quarks.

**Se uno dei quark di un adrone** viene allontanato (vedi prossima slide) dai suoi compagni, il campo di forza di colore "si allunga" per mantenere il legame. In questa maniera cresce l'energia del campo di forza di colore, e cresce quanto più vengono allontanati i quarks tra loro. A un certo punto, è più economico, dal punto di vista energetico, che il campo di forza di colore si spezzi e liberi energia che si converta nella massa di due nuovi quarks: allora, al posto dell'adrone di partenza col campo "allungato", possono formarsi due nuovi adroni, e il campo di forza può "rilassarsi"

- La forza di colore diminuisce a piccole distanze e cresce al crescere delle distanze
- Cosa succede se si cerca di "spezzare" un adrone?
  - Se uno dei quark di un adrone viene allontanato dai suoi compagni, il campo di forza di colore "si allunga" per mantenere il legame.
  - In questa maniera cresce l'energia del campo di forza di colore, e cresce quanto più vengono allontanati i quark tra loro.

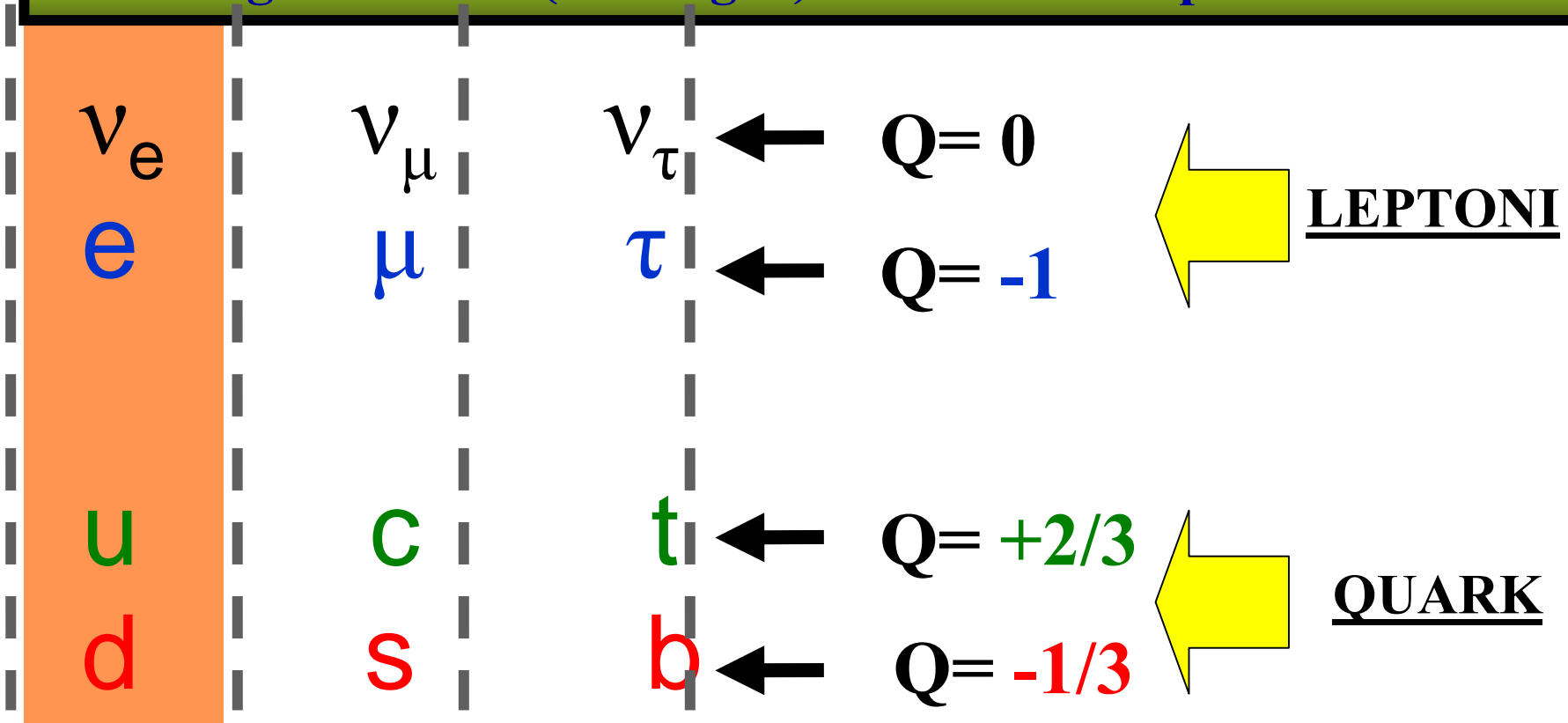


*Energia del campo di colore cresce...*

*$E=mc^2$  sufficiente per creare un'altra coppia quark-antiquark*



Le particelle fondamentali della natura si raggruppano in tre generazioni (o famiglie) e hanno tutte spin =  $\frac{1}{2}$



**3 famiglie**

...piu' le corrispondenti antiparticelle

- **Inoltre tutti i fenomeni che conosciamo sono interpretabili mediante 4 forze, o “interazioni” fondamentali.**

**1)Int. GRAVITAZIONALE**

**2)Int. ELETTROMAGNETICA**

**3)Int. DEBOLE**

**4)Int. FORTE (o nucleare, o “di colore”)**



# Le particelle mediatrici delle forze fondamentali

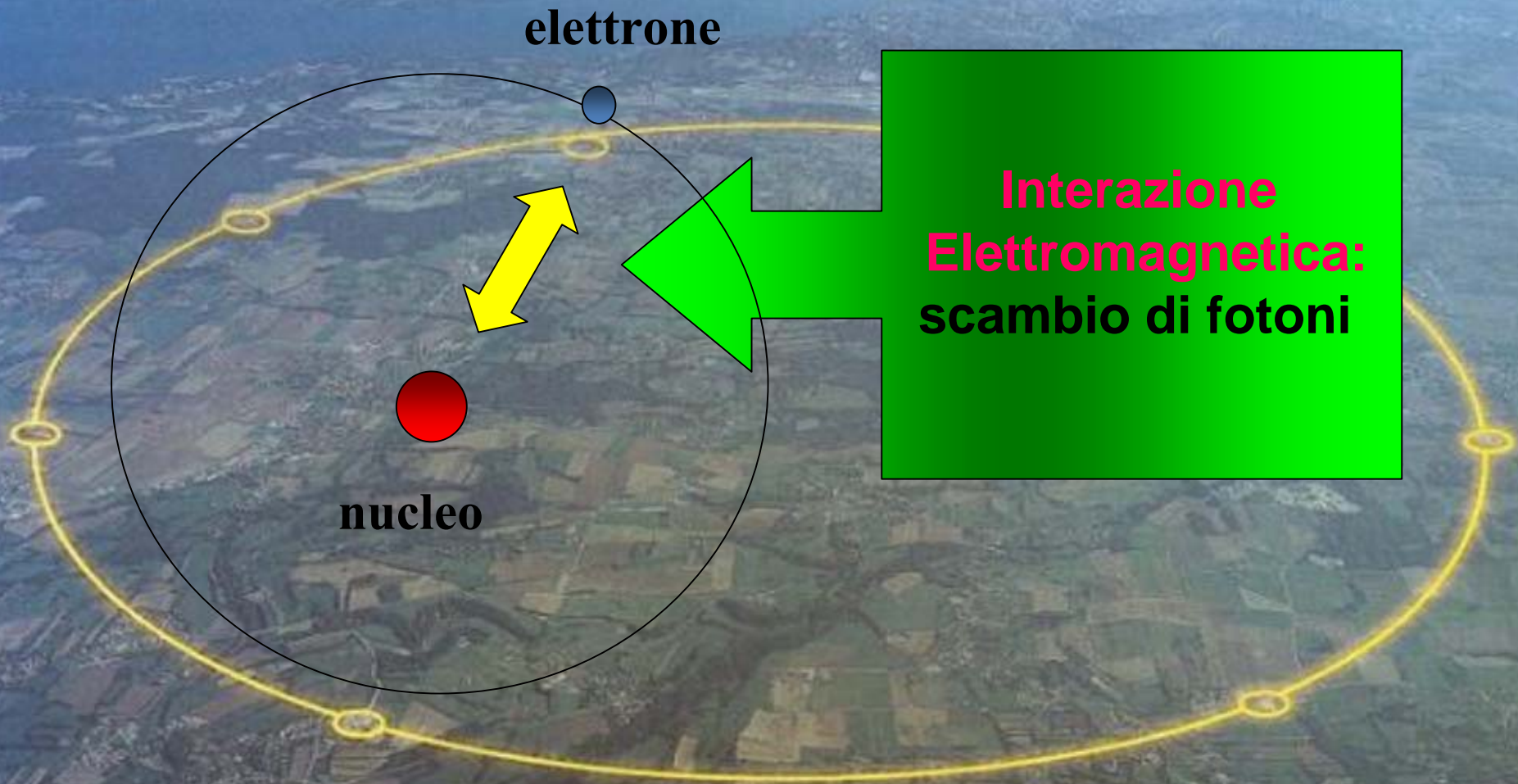
Le interazioni avvengono mediante scambio di particelle di spin intero (1 o 2), che si chiamano “**portatori della forza**”

Int. **elettromagnetiche** → fotoni

Int. **deboli** → particelle  $W^+$ ,  $W^-$ ,  $Z$

Interazioni **forti** o di colore → gluoni

# Esempio: l'atomo



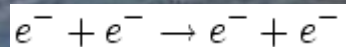
# I diagrammi di Feynman

Con questi diagrammi, che non sono semplici rappresentazioni, ma veri e propri strumenti matematici, possono esser rappresentati tutti i possibili modi in cui una, due o più particelle possono interagire...Ogni diagramma ha una sua ampiezza, che rappresenta la probabilità che quel determinato processo avvenga

ad ogni particella è associata una particolare linea

Dunque il diagramma rappresenta l'evoluzione temporale e spaziale dell'interazione: ecco un semplice schema per comprendere meglio quello che succede durante una interazione e per capire meglio come interpretare i diagrammi.

In questo caso l'interazione rappresentata è:



ed il diagramma corrispondente è:



# Int. debole: $W^+$ , $W^-$ , $Z^0$

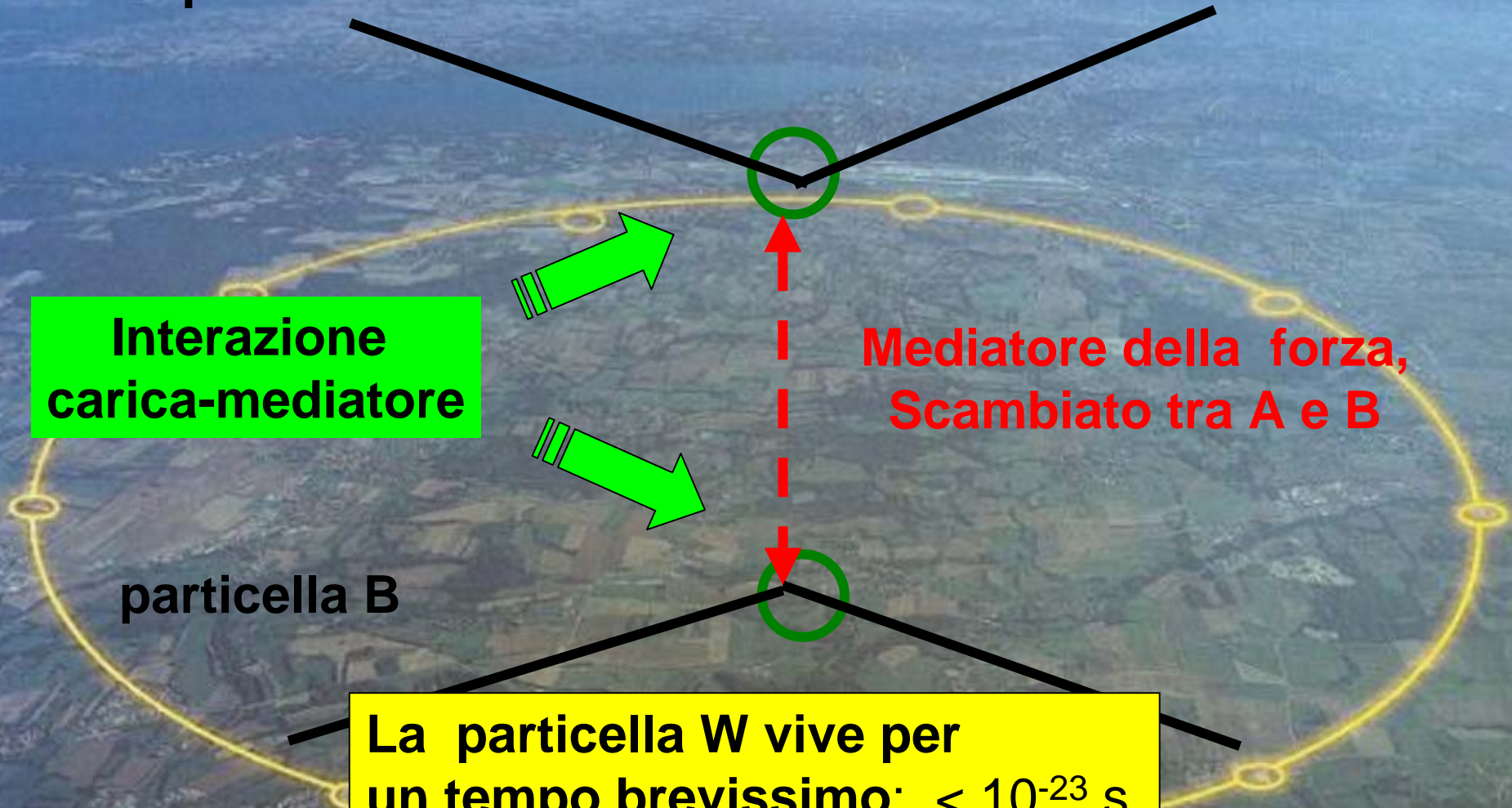
particella A

**Interazione  
carica-mediatore**

**Mediatore della forza,  
Scambiato tra A e B**

particella B

**La particella W vive per  
un tempo brevissimo:  $< 10^{-23}$  s.  
E' quindi assolutamente invisibile**



- **Successivamente ci è stato spiegato che cosa avviene in un urto fra due protoni**
- **due protoni vengono fatti urtare fra loro ad altissima energia (accelerati da un acceleratore), dopo l'urto viene liberata energia e vengono creati nuovi tipi di particelle.**

• **L'urto segue la conservazione dell'energia su tempi maggiori, ma non in tempi piccolissimi; infatti subito dopo l'urto viene creata più energia di quella che teoricamente si potrebbe produrre, per poi tornare nei livelli standard.**



## Scopo del nostro esercizio:

Studiare i decadimenti "leptonici" (elettroni e muoni) della particella  $W^+$  e  $W^-$  prodotte negli urti fra protoni a LHC (esperimento ATLAS).

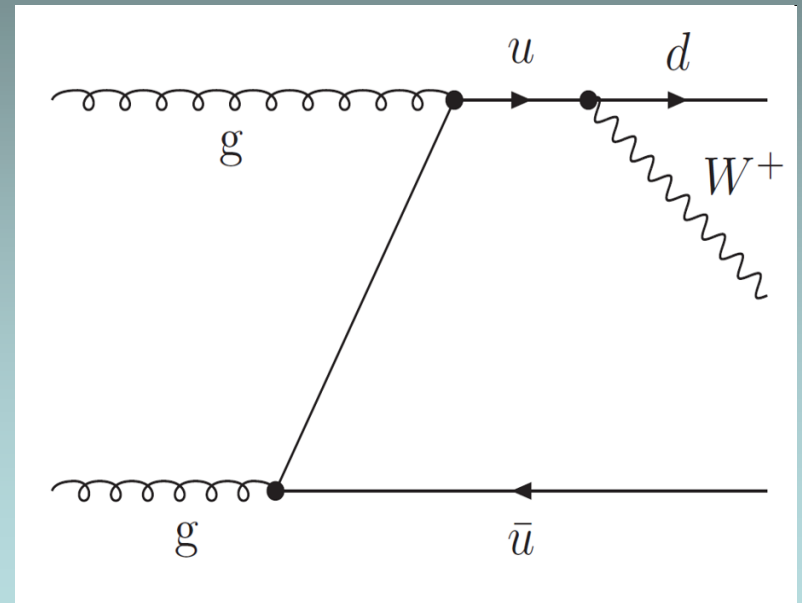
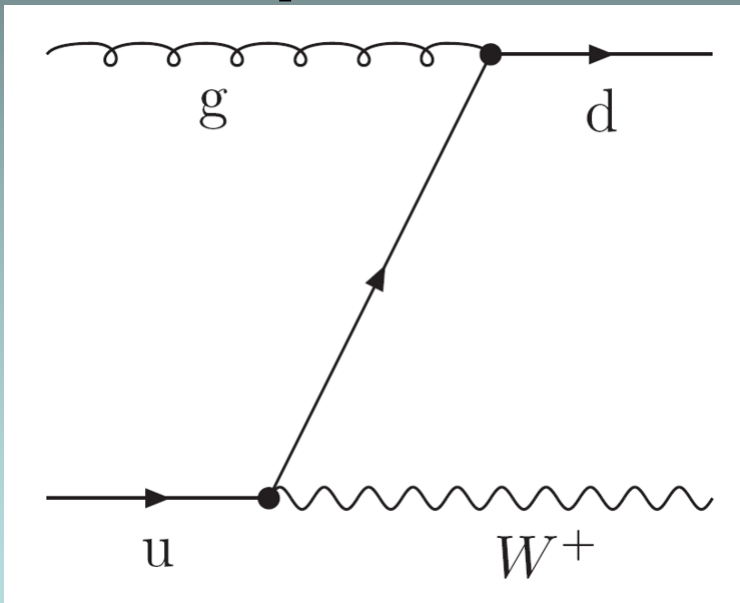
Da questo studio e' possibile ottenere informazioni sulla struttura interna dei protoni

Per fare questo e' necessario **riconoscere quando un evento contiene un decadimento di una  $W^+$  o  $W^-$  in elettrone o muone (+ neutrino)**

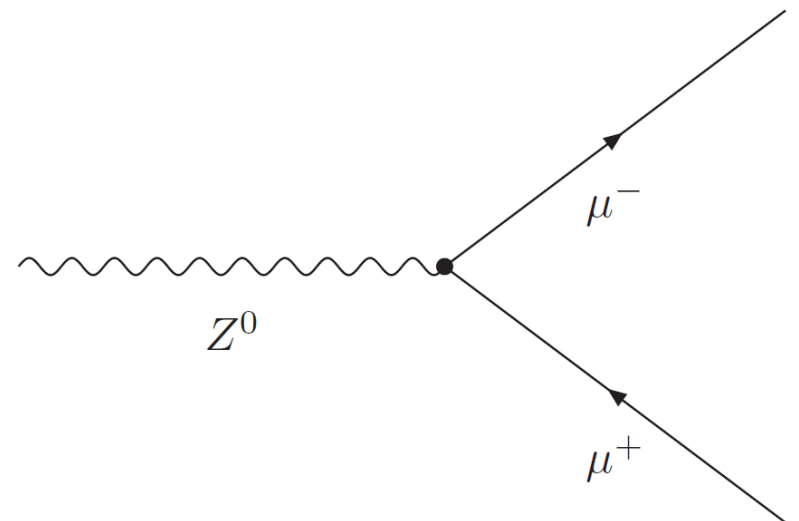
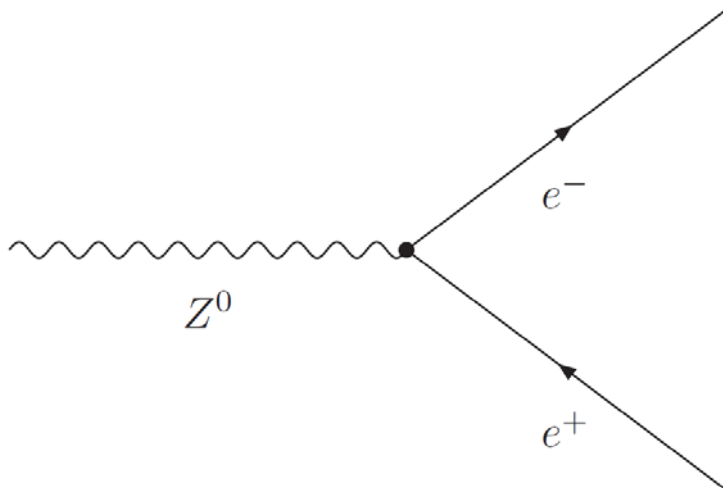
Per riconoscere un decadimento di  $W$  in elettrone o muone e' necessario saper **riconoscere come appare un elettrone o un muone nell'apparato sperimentale ATLAS.**



- L'urto tra due protoni è in realtà un “urto” tra un gluone di un protone e un gluone o un quark dell'altro protone. Ad esempio:



- Il bosone  $W$  a sua volta può decadere in elettroni e anti-elettroni o muoni e anti-muoni e loro neutrini o anti-neutrini (in modo che la carica totale sia 0). **N.B.** i neutrini si manifestano come **energia trasversa mancante** (MET) nell'evento
- Altri possibili stati finali con elettroni e muoni, ma considerati eventi di fondo sono:



# finanziamenti



- Nella mattinata ci è stata spiegata la situazione economica della ricerca.
- Effettivamente la ricerca è finanziata (altrimenti esperimenti colossali come il LHC non sarebbero mai potuti nascere), ma in minima parte rispetto ai soldi “buttati via” in altri settori di utilità minore.

LHC, pagato in **10 anni** dall'intera comunita' scientifica internazionale, costa come:

**Una settimana di guerra in Iraq**

**Un centesimo di quanto stanziato dagli USA per contrastare il crack delle banche**

**Quanto viene speso al mondo in una settimana, per pubblicita'**

**Quattro bombardieri B-2**

**Meno di un centesimo della spesa militare mondiale annua**

# Il Tier 1

- Il masterclasses è poi continuato con la visita al centro di calcolo Tier 1 (centro di calcolo di primo livello) dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare che si occupa dell'elaborazione e dell'archiviazione dei milioni di dati che vengono prodotti dai 4 esperimenti dell'LHC.



Parte del dedicata alla scrittura di dati.

- E' una struttura imponente, uno dei soli undici centri di calcolo Tier 1 nel mondo in grado di connettersi elaborare informazioni e salvare file con velocità impensabili per un comune computer.

# Parte pomeridiana

- Dopo il pranzo, gentilmente offertoci, abbiamo iniziato la parte operativa della giornata. Il nostro compito era, divisi in gruppetti di due studenti, quello di riconoscere 50 eventi di collisioni e catalogarli, utilizzando il programma grafico interattivo che i fisici delle particelle usano nei laboratori ATLAS del CERN. I dati da analizzare erano veri eventi provenienti dalle collisioni protone-protone nel LHC del CERN di Ginevra, più qualche simulazione di evento dalla quale si poteva dedurre l'esistenza del Bosone di Higgs (evento ricercato negli esperimenti CMS e ATLAS del Cern) .

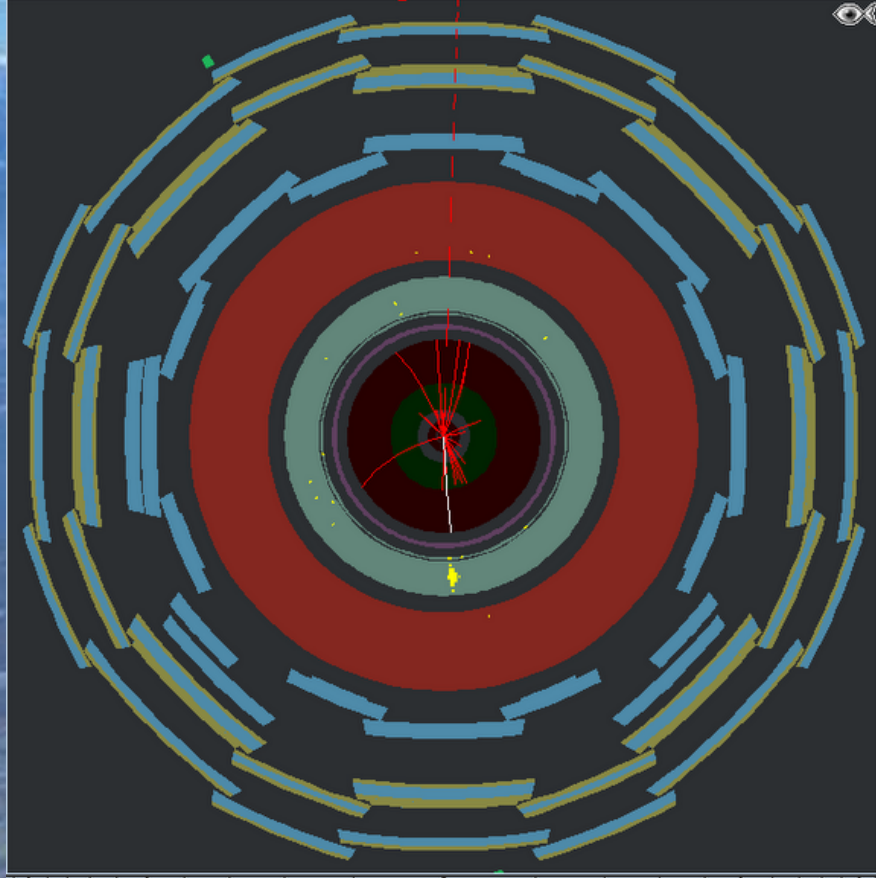


**Studenti  
intenti nella  
ricerca del  
bosone di  
Higgs**

- La ricerca del bosone dell'interazione debole  $W$  avveniva in maniera indiretta poiché questa decade istantaneamente e i rilevatori non riescono a individuarla.
- Le particelle in cui decade sono coppie di elettroni e relativo neutrino o muoni e neutrino più ovviamente le coppie formate dalle relative antiparticelle (uguali alle particelle, ma di carica elettrica opposta).
- L'individuazione di neutrini avveniva anch'essa in maniera indiretta ovvero attraverso la ricerca di energia mancante presente in direzione opposta a quella dello elettrone o muone.

• Il tutto scegliendo di analizzare solo elementi con un'energia trasversa (ovvero con un'energia perpendicolare alla direzione dell'urto) superiore ai 25 GeV (l'energia delle particelle in un'esplosione nucleare è 1000 volte meno!).

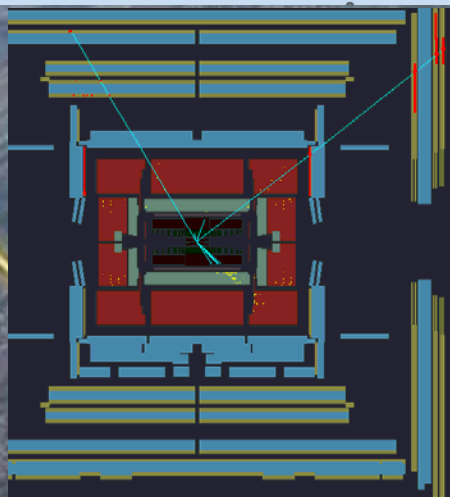




File Previous Event Next Event Show Simulated

Event: Event009.xml Run: 5144 Event: 11243  
 ETMis: 9.713 GeV  $\phi$ : 1.539 rad ( Collection : MET\_Final )

RecTracks		Sim ID Tracks		RecMuonTracks		
Track	Type	E [GeV]	Et [GeV]	$\phi$	$\theta$	
SimChargedTrack 0	e-	87.89	49.14	4.772	2.164	
SimChargedTrack 1	e+	108.49	39.97	1.656	1.948	
SimChargedTrack 2	e-	87.89	49.14	4.772	2.164	
SimChargedTrack 3	e+	108.49	39.97	1.656	1.948	
SimChargedTrack 13	K+	68.53	10.85	4.697	1.412	
SimChargedTrack 14	$\pi^-$	19.01	1.90	5.340	1.471	
SimChargedTrack 15	$\pi^+$	22.63	3.50	5.206	1.416	
SimChargedTrack 19	$\pi^-$	48.90	4.70	2.355	1.475	
SimChargedTrack 20	K-	21.80	1.95	1.570	1.481	
SimChargedTrack 21	$\pi^+$	26.88	2.07	1.925	1.494	
SimChargedTrack 27	$\pi^-$	3.69	1.48	1.877	1.158	
SimChargedTrack 44	$\pi^+$	12.55	1.26	5.819	1.671	
SimChargedTrack 45	$\pi^-$	14.05	1.28	0.152	1.662	
SimChargedTrack 47	$\pi^+$	17.83	2.18	0.439	1.693	
SimChargedTrack 54	$\pi^-$	9.27	3.63	1.325	1.973	
SimChargedTrack 57	$\pi^-$	6.89	1.84	1.137	1.841	
SimChargedTrack 58	$\pi^-$	4.18	1.82	1.131	2.021	
SimChargedTrack 63	$\pi^+$	6.85	1.01	5.091	1.423	
SimChargedTrack 64	$\pi^-$	9.93	1.13	5.071	1.457	
SimChargedTrack 65	$\pi^+$	15.98	2.37	5.154	1.422	
SimChargedTrack 66	$\pi^-$	11.40	1.51	4.950	1.438	
SimChargedTrack 75	$\pi^-$	16.04	1.57	2.329	1.473	
SimChargedTrack 76	$\pi^+$	15.59	1.48	1.916	1.476	
SimChargedTrack 77	$\pi^+$	67.40	6.56	1.919	1.473	
SimChargedTrack 88	$\pi^-$	1.18	1.04	3.375	0.482	
SimChargedTrack 96	K+	7.76	1.42	1.557	1.387	
SimChargedTrack 97	K-	7.92	1.60	1.629	1.367	
SimChargedTrack 587	e-	86.20	48.18	4.772	2.164	
SimChargedTrack 588	e+	101.74	37.49	1.656	1.948	
SimChargedTrack 726	e+	100.67	37.10	1.656	1.948	
SimChargedTrack 788	e+	99.24	36.58	1.656	1.948	
SimChargedTrack 813	e+	88.87	32.76	1.656	1.948	
SimChargedTrack 831	e+	86.11	31.74	1.656	1.948	



Atlantis, programma utilizzato  
 nello studio dei fenomeni tra le  
 particelle



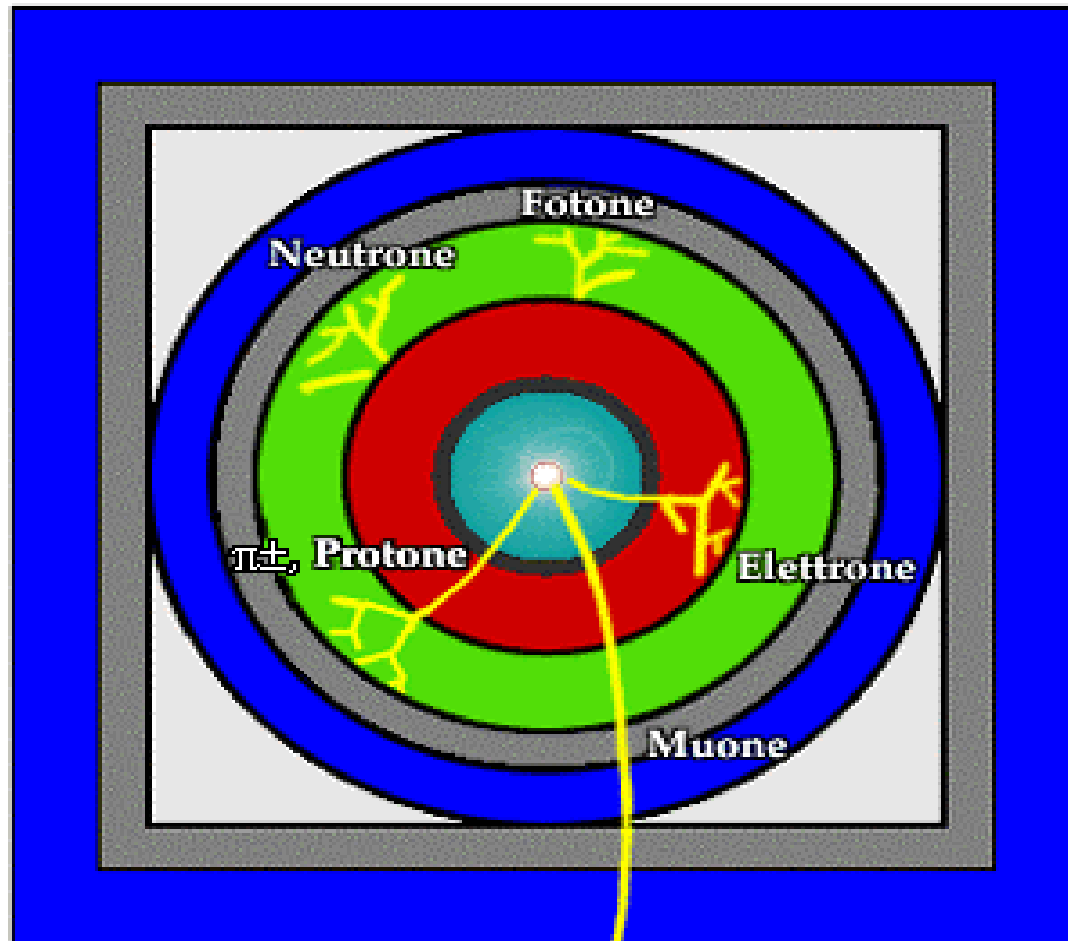
# FUNZIONAMENTO DI ATLANTIS

- Il programma Atlantis (ovvero quello utilizzato nell'analisi dei dati dell'esperimento Atlas del CERN) è molto facile da utilizzare e soprattutto intuitivo, grazie alla grafica che evidenzia solo gli eventi fondamentali.
- Possono infatti essere posti dei tagli ai dati (come energia trasversale  $>25$  GeV, come già detto in precedenza), che permettono di eliminare lo studio di molti eventi insignificanti.
- Cliccando sopra alle rette (continue o tratteggiate, rosse o blu), si possono inoltre conoscere alcune caratteristiche sulla particella selezionata:
  - La carica (positiva o negativa)
  - La direzione rispetto all'energia trasversale

- Osservando il grafico potevamo anche dedurre la natura della particella che stavamo analizzando, infatti particelle diverse si arrestano in rivelatori diversi a seconda del loro tipo (come nella figura seguente).

### Sezione di un rivelatore, con indicate tracce di particelle

- Fascio (al centro)
- Camera a tracce
- Bobina del magnete
- Calorimetro E-M
- Calorimetro per adroni
- Acciaio magnetizzato
- Camere per muoni



## Un elettrone si riconosce da:

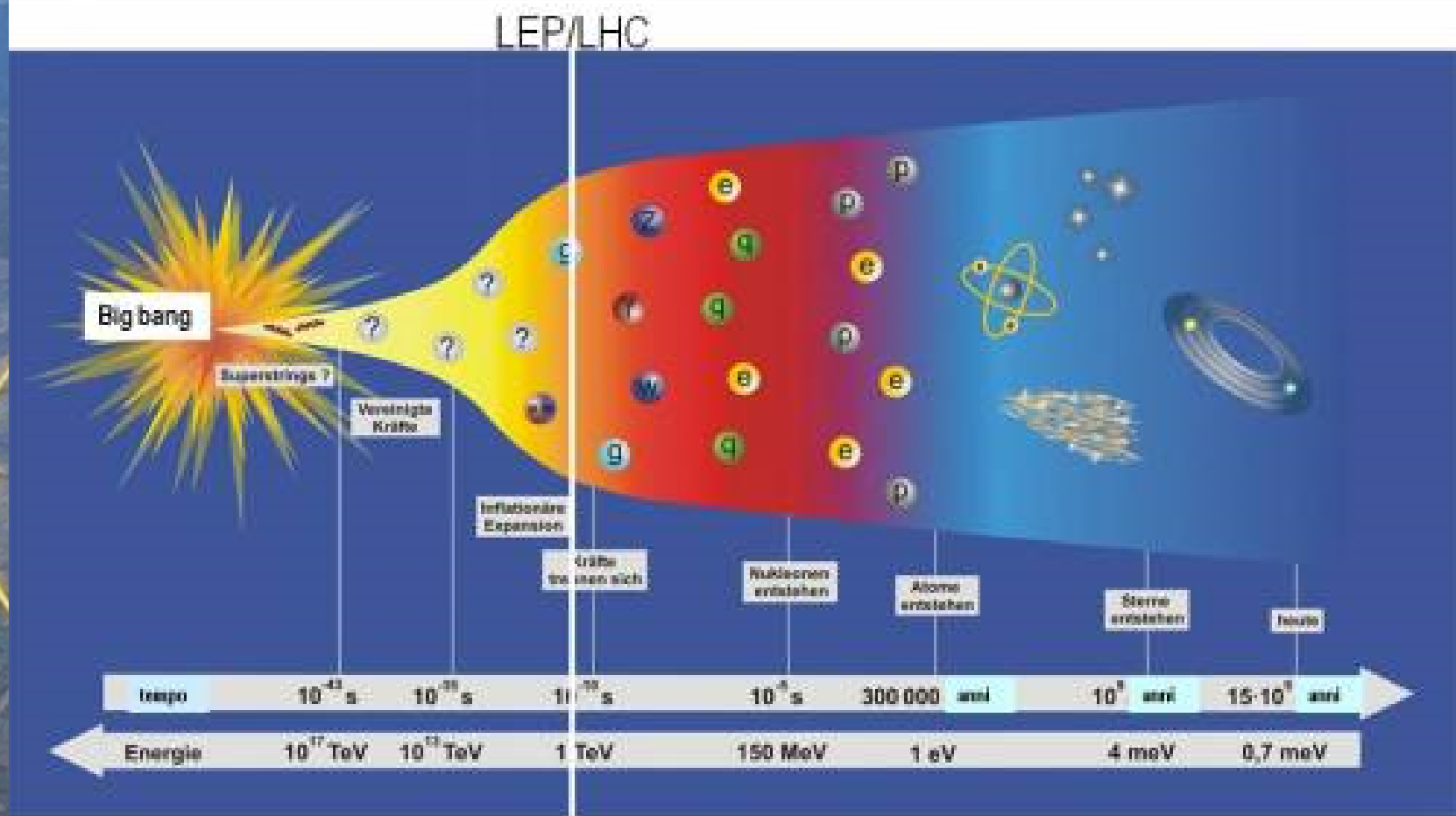
- Una traccia nel tracciatore interno
- Un importante deposito di energia nel calorimetro elettromagnetico
- Nessun deposito di energia nel calorimetro adronico
- Nessun segnale nelle camere a muoni

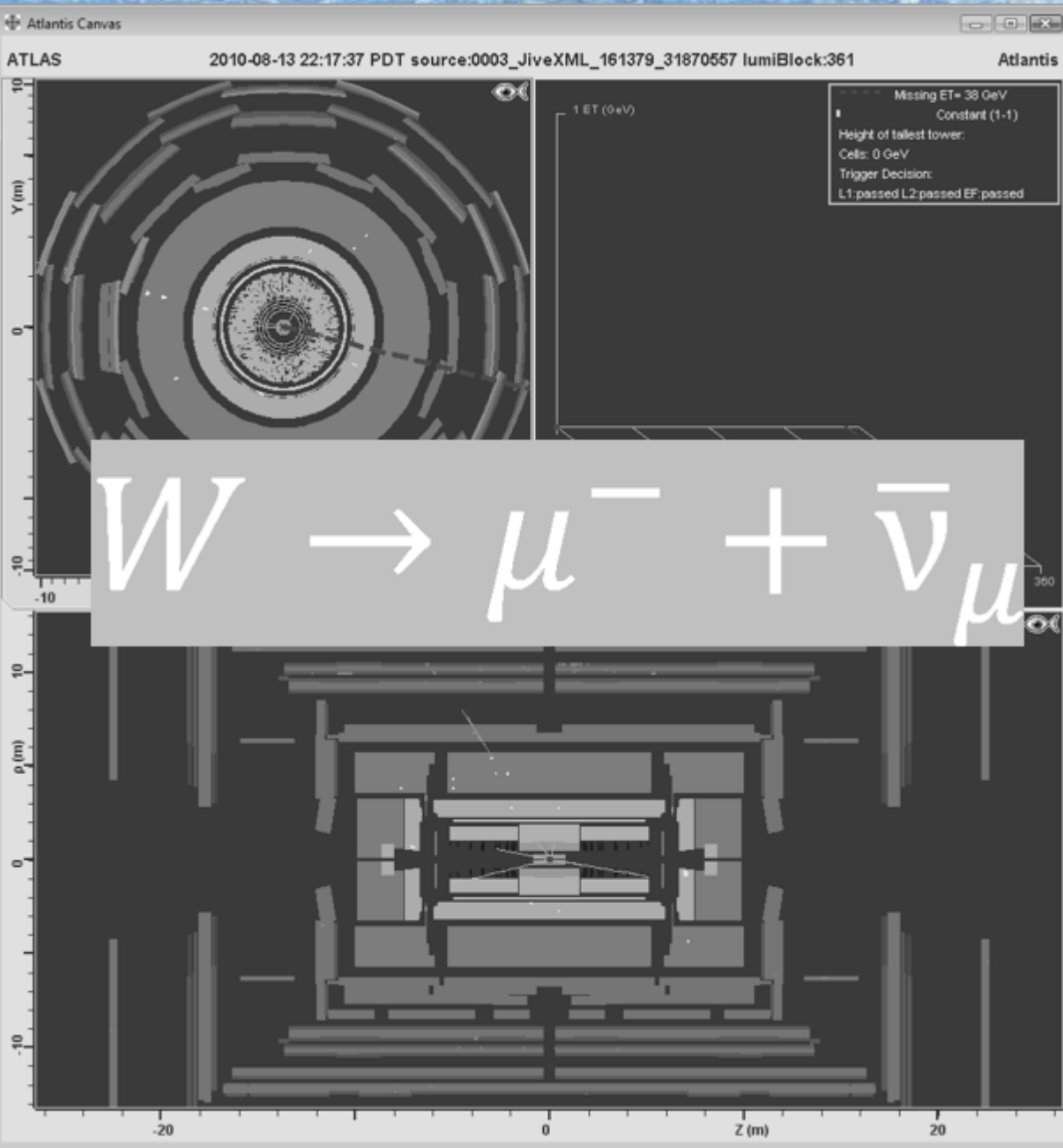
## Un muone si riconosce da:

- Una traccia nel tracciatore interno
- Un modesto deposito di energia nel calorimetro elettromagnetico
- Un modesto deposito di energia nel calorimetro adronico
- Segnali in una o piu' camere del rivelatore a muoni

- Per trovare il bosone di Higgs, avremmo dovuto osservare esattamente leptoni (elettroni o muoni) con carica elettrica opposta, isolati.
- ciascuno doveva avere un impulso trasverso di almeno 20 GeV.
- Inoltre deve esserci anche un impulso trasverso mancante di almeno 40 GeV.

## *L'evoluzione dell'universo e alcuni parametri importanti*





- **Qualsiasi altro evento non segnalato dal programma, o perché non possedeva abbastanza energia trasversale, o perché non presentava particelle degne di nota, veniva identificato come “fondo”.**
- **I “fondi” sono numerosi, poiché in pochi istanti avvengono un numero molto elevato di scontri tra particelle, molti dei quali insignificanti nella scoperta di nuove particella**

# Collegamento col CERN

- **Finite le esercitazioni pratiche c'è stato un confronto con gli altri partecipanti europei e con il CERN in videoconferenza e un quiz a cui tutti e due i gruppi di cui facevamo parte hanno risposto bene!**



**Videoconferenza con il programma "Einstein"**

# Nuovi orizzonti

- L'esperienza è stata molto interessante e ci ha fatto capire cosa può fare e come può lavorare un fisico delle particelle e ci ha fatto intravedere cosa succede in realtà attorno a noi continuamente!



Le magliette vinte nella gara a quiz che il CERN ci ha mandato, con rappresentata la Lagrangiana del modello standard per saperne di più:

<http://www.fe.infn.it/~bettoni/particelle/Lezione6-7.pdf>

A sinistra la nostra accompagnatrice, prof.ssa Parolin Sara, già stata al CERN per un corso di aggiornamento

# Per saperne di più:

informazioni sulle masterclasses: <http://www.physicsmasterclasses.org/>

Programma:

<http://www.physicsmasterclasses.org/index.php?cat=schedule>

• Università italiane coinvolte:

<http://www.physicsmasterclasses.org/index.php?cat=country&page=it>

Esercizi:

• ATLAS: <https://kjende.web.cern.ch/kjende/it/index.htm>

• CMS: <http://www.physicsmasterclasses.org/exercises/CMS/cmsit.html>

• ALICE:

<http://www.physicsmasterclasses.org/exercises/ALICE/MasterClassWebpage.html>



<http://www.bo.infn.it/MasterClass/2011/index.html> sito infn sezione Bologna del masterclasses 2011 con le presentazioni e numerose foto delle giornate

<http://education.web.cern.ch/education/> nel sito del CERN, materiali di divulgazione e presentazioni sulla fisica delle particelle

<http://www.galileonet.it/articles/4db82b1e72b7ab591e000070>

Le ultime notizie sulla ricerca del bosone di Higgs



•Di Matteo Neri  
(5<sup>^</sup>Cs) e  
Matteo Bolognesi  
(4<sup>^</sup>Es)