

La fisica delle particelle

Luisa Alunni Solestizi



Particelle ad alta energia

- La Fisica delle Particelle studia i costituenti fondamentali della materia e le loro interazioni, si basa su un modello teorico noto come **Modello Standard**.
- Detta anche Fisica delle Alte Energie: per produrre particelle pesanti serve uno scontro ad **alta energia**:

$$E = mc^2$$



Chi fornisce tutta questa energia?

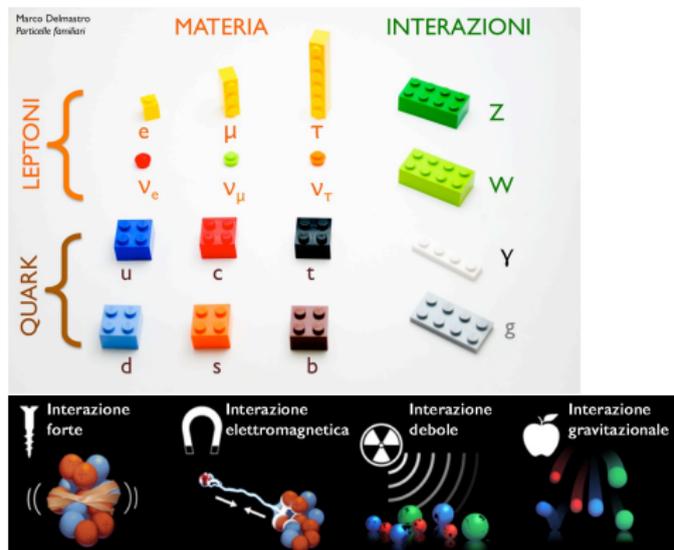
- L'uomo: **acceleratori** di particelle;
- La natura: **raggi cosmici**.

Modello Standard

Negli ultimi 50-60 un grande sforzo teorico e sperimentale
→ sviluppato il **Modello Standard** della Fisica delle Particelle.

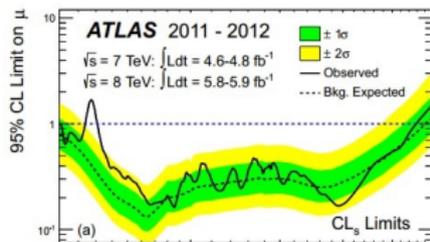
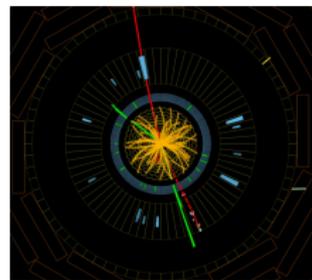
- misure sempre più precise a conferma del Modello;
- 3 famiglie di **leptoni**,
3 famiglie di **quark**;
- 4 **forze** fondamentali: forte, elettromagnetica, debole e gravitazionale.
- Recente new entry il **Bosone di Higgs**: premio Nobel per la Fisica 2013.

Domande aperte: come includere la gravità nella teoria? ... incompleto
(**Nuova Fisica** = fisica che va oltre il MS).



Un bosone da Nobel

- 4 luglio 2012: gli esperimenti **ATLAS** e **CMS** afferenti al Large Hadro Collider presso il CERN di Ginevra annunciano la scoperta di un nuovo bosone con massa intorno a 125 GeV.
- 8 ottobre 2013: premio **Nobel** per la Fisica a **François Englert** e **Peter Higgs** "for the theoretical discovery of a mechanism that contributes to our understanding of the origin of mass of subatomic particles and which recently was confirmed through the discovery of the predicted fundamental particle".
- Consistente (?) con il bosone di Higgs del Modello Standard.

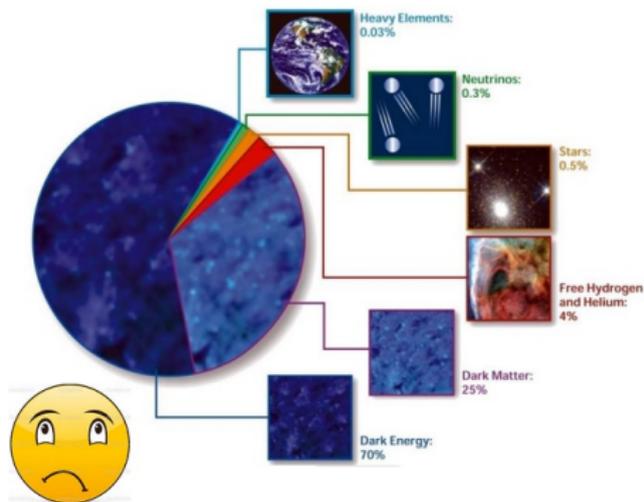


L'Universo oscuro

La materia descritta dal Modello Standard rappresenta solo il 4% della composizione dell'Universo.

L'astronomo Fritz Zwicky studiò il moto di ammassi di galassie. Stimò la massa di tutte le galassie basandosi sulla loro luminosità e sulla loro velocità. La seconda stima di massa era 400 volte più grande!!!

Esiste una materia oscura?



"È una situazione alquanto imbarazzante dover ammettere che non riusciamo a trovare il 90% della materia dell'Universo."

L'anti-materia

Nel 1928 il fisico britannico **Paul Dirac** scrive un'equazione che descrive elettroni quantistici e relativistici:

$$(\not{\partial} + m) \psi = 0$$

Due soluzioni: elettroni con $E > 0$ e con $E < 0$ (?).

Suppone che per ogni particella ($E > 0$) esista un' anti-particella ($E < 0$) con stessa massa e proprietà fisiche cambiate di segno.



Nel 1932 **C.D.Anderson** osservò il primo anti-elettrone nei raggi cosmici e lo chiamò **positrone**.

Il Big Bang produsse stessa quantità di materia e di anti-materia.

Ma allora ... come si è estinta o dov'è finita l'anti-materia?

CERN

1954 - nasce il CERN

(Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire)

un'organizzazione europea per la ricerca nella fisica delle particelle
(allora erano quelle subatomiche).

1957 - Parte il primo acceleratore;

1965 - prodotto il primo antinucleo;

1981 - prima collisione protone-antiprotone nel mondo;

1983 - scoperte W e Z;

1990 - il primo sito WEB;

1995 - prodotto anti-idrogeno;

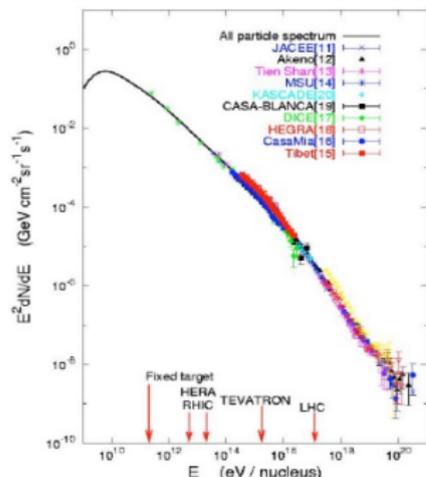
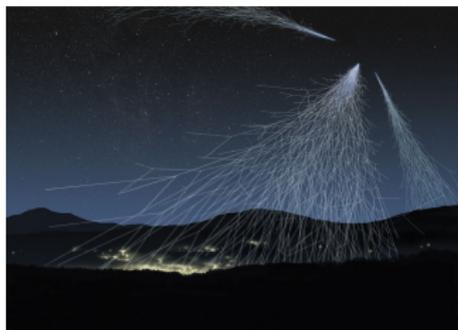
2008 - parte LHC;

2012 - scoperto il bosone di Higgs

2014 - eletta la prima direttrice donna

Oggi - lo studio si è esteso a tutti i costituenti e le forze fondamentali che reggono l'universo, è il più importante laboratorio europeo della fisica delle particelle.

Raggi cosmici



Tra il 1907 e il 1911 **Victor Hesse** e **Domenico Pacini** condussero esperimenti misurando la radiattività a diverse profondità ed altitudini con risultati inattesi.

Un flusso omogeneo e isotropo di particelle colpisce la terra, le sorgenti sono fenomeni astrofisici di origine galattica o extragalattica.

Lo spettro in energia copre 10 ordini di grandezza e si misurano particelle a energie oltre 1'000 volte superiori rispetto a quelle riproducibili in laboratorio (nei grandi collisori adronici).

Alpha Magnetic Spectrometer

AMS: collaborazione internazionale con 16 stati membri, operante sulla Stazione Spaziale Internazionale dal 19 Maggio 2011 con a capo il premio Nobel Samuel J. Ting.

OBIETTIVI

Ricerca di antimateria di origine primordiale e di segnali di materia oscura;
comprensione di origine e composizione dei raggi cosmici.

COSA MISURA?

Identificazione di particelle,
misura della carica elettrica: tracker;
misura accurata dell'energia: calorimetria.
Alta statistica per la componente rara: lungo tempo di esposizione (almeno fino al 2024!)



Large Hadron Collider

ALICE



ATLAS



CMS



LHC-b

Un tunnel circolare lungo **27 km** scavato alla profondità media di **100 m**
Presso il CERN di Ginevra, al confine tra Svizzera e Francia.

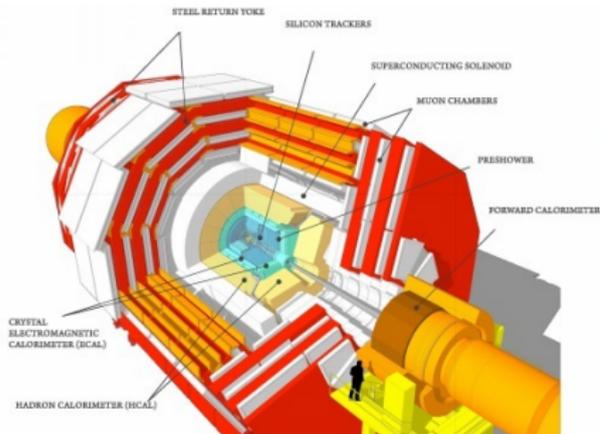
E' il collisore di adroni più grande e più potente mai costruito al mondo.

Due **fasci di protoni** (o ioni pesanti) percorrono l'anello in senso
opposto in due cavità distinte per poi scontrarsi nei 4 grandi rivelatori.

Compact Muon Solenoid

Peso 12500 t
Diametro 15 m
Lunghezza 21.5 m
Campo Magnetico 4 Ta

Compact
Muon
Solenoid



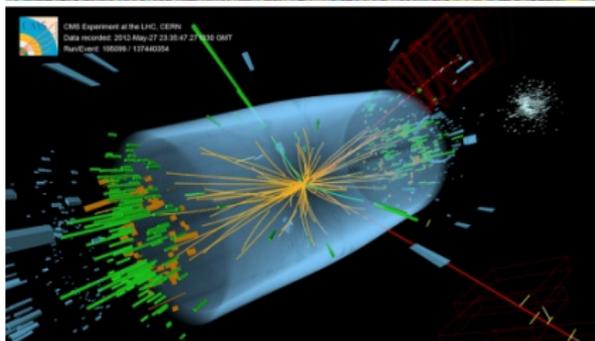
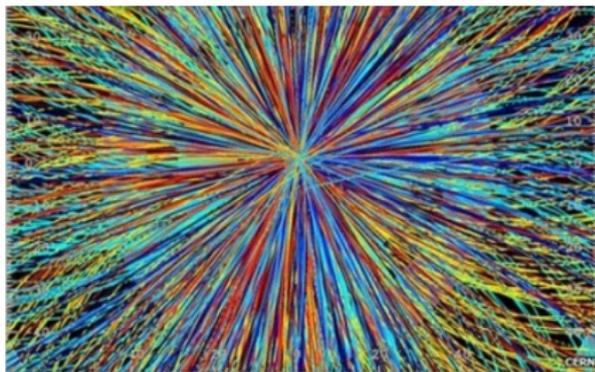
L'esperimento CMS è stato sviluppato a partire dal suo potente **magnete** solenoidale e superconduttore (4 Tesla!)

Organizzato **a strati**: un sotto-rivelatore dentro l'altro

Il più **pesante** tra i 4 esperimenti (12'500 t) ma molto **compatto**, alto SOLO come un palazzo di 4 piani

Le particelle meglio osservate sono i **muoni** (elettroni pesanti)

Collisioni



Raggiunta l'energia voluta avviene lo scontro.

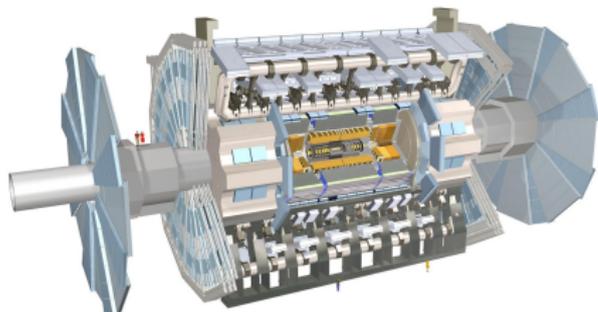
Un miliardo di collisioni al secondo e solo alcune centinaia sono interessanti (Trigger = selezione degli eventi).

Si ricreano le condizioni iniziali dell'Universo.

Parte dell'energia accumulata è convertita in massa di particelle che in natura non sono più visibili:
 $E = mc^2$.

Queste decadono in frazioni di secondo e i loro frammenti attraversano i rivelatori

ATLAS



ATLAS, l'altro rivelatore "general purpose" presso LHC.

Gemello e complementare di CMS.

Caratterizza il bosone di Higgs e cerca segnali di Nuova Fisica.

Sei sotto-rivelatori circondano a strati il punto centrale della collisione.

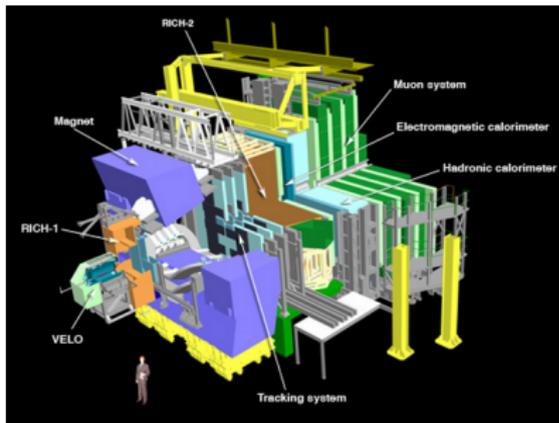
Diverso sistema magnetico, sotto-rivelatori, trigger e tecniche di ricostruzione rispetto a CMS.

Si misurano tracce, momento carica ed energia delle particelle.

Lungo 46 m, alto 25 m e largo 25 m. Pesa 7'000 t. Caverna a 100 m di profondità, presso Meyrin, in Svizzera.

Più di 3'000 scienziati provenienti da 174 istituzioni e da 38 paesi.

LHCb



Lo scopo di LHCb è chiarire perché appena un secondo dopo il Big Bang la simmetria tra materia e anti-materia si sia rotta lasciando prevalere la materia. Si misurano i decadimenti di particelle contenenti quark b e anti-quark b, noti come mesoni B. Filtra queste particelle e i loro prodotti di decadimento.

I bosoni B e loro prodotti rimangono vicini alla linea del fascio: l'esperienza non è costruita intorno al punto di collisione ma "in avanti".

Peso: 4'500 t, lungo 20 m. Profondità 100 m.

Ogni sotto-rivelatore misura una certa caratteristica delle particelle. Nel complesso: identità, traiettoria, momento ed energia.

700 scienziati, 52 istituzioni.

ALICE



ALICE (A Large Ion Collider Experiment) rivela le collisioni di fasci di ioni pesanti ad LHC.

Studia il **plasma di quark e gluoni**, una fase molto densa di materia che si forma ad alta energia, presente dopo il Big Bang.

Mai osservati quark isolati, sempre legati e confinati negli adroni. Temperature di collisione: 100'000 volte maggiori di quella del centro del sole, condizioni simili agli albori dell'Universo: protoni e neutroni "si fondono" e lasciano quark e gluoni liberi.

Studiare questa fase e le sue proprietà è una chiave per capire la teoria delle interazioni forti (QCD).

Peso: 10'000 t, lungo 26 m e alto 16 m. Profondità: 56 m.
A St Genis-Pouilly in Francia, 1'000 scienziati, 30 paesi.

NA62



Misura il rate dei decadimenti rari dei kaoni, per confermare il MS o scoprire evidenze di NF.

Per produrre fasci di kaoni si bombarda un target di berillio con fasci di protoni accelerati dal Super Proton Synchrotron (SPS), il fascio risultante contiene il 6% di kaoni.

Un rivelatore al silicio a pixel misura la posizione delle particelle, che entrano poi in un cilindro vuoto, un rivelatore di luce Cherenkov determina l'identità della particella. Uno spettrometro magnetico misura le tracce dal decadimento dei kaoni, "straw tracker" tracciatore di ultima generazione.

In 2 anni attesi 80 decadimenti rari dei kaoni, se le previsioni SM sono corrette. La quantità stimata è $|V_{td}|$, cioè la probabilità che un quark top decada in quark down.