

I MINI BIG BANG DEL “LARGE HADRON COLLIDER”¹

(ALLA SCOPERTA DELLE LEGGI CHE GOVERNANO L’UNIVERSO)

RINO CASTALDI

INFN, Sezione di Pisa

1. Introduzione

La conoscenza che abbiamo del nostro Universo e della sua evoluzione dal Big Bang ai giorni nostri è ancora molto limitata. Nell’ultimo secolo abbiamo capito molte cose della materia con cui si sono formati i pianeti, i soli e le galassie, ma questa materia è solo il 5% dell’energia totale che costituisce il nostro Universo.

Negli ultimi cinquant’anni i fisici subnucleari sono stati capaci di costruire una bellissima teoria, il così detto *Modello Standard*, che è in grado di descrivere con incredibile dettaglio tutte le proprietà delle particelle elementari di cui è costituita la materia. Le previsioni di questa teoria sono state verificate con grandissima precisione al grande acceleratore LEP del CERN di Ginevra in cui fasci di elettroni e di positroni venivano fatti scontrare dopo essere stati accelerati fino a raggiungere velocità di pochissimo inferiori alla velocità della luce. Al Fermilab di Chicago dallo scontro di fasci di protoni e di antiprotoni di altissima energia è stato possibile produrre e rivelare l’ultimo e più pesante quark, il top, sancendo definitivamente la validità delle previsioni del *Modello Standard*.

Nonostante questi incredibili successi del modello teorico, vani erano stati i tentativi di rivelare a queste grandi macchine acceleratrici quella particella, il così detto bosone di Higgs, che la teoria prevedeva dovesse esistere per poter dare coerenza a tutto il modello.

È stato proprio l’insuccesso di questa ricerca che ha spinto la comunità internazionale dei fisici subnucleari a progettare e costruire il *Large Hadron Collider* (LHC), l’acceleratore di particelle più grande e più potente del mondo.

2. Il Collisionatore *Large Hadron Collider*

Al CERN [1], nei pressi di Ginevra sul confine tra la Svizzera e la Francia, in un tunnel circolare di 27 Km di circonferenza, scavato cento metri sotto terra, negli ultimi due anni LHC ha permesso di ampliare la nostra conoscenza del mondo delle particelle subatomiche facendole scontrare ad altissima energia, riproducendo così quelli che possono essere considerati dei veri e propri mini-Big Bang.

¹ Lezione[6] tenuta a Sansepolcro (AR) presso il Liceo San Bartolomeo ex INPDAP il 17/01/2013, a Massa presso il Liceo Scientifico Enrico Fermi il giorno 7/12/2012 e a Grosseto presso il Liceo Scientifico G. Chelli il 21/11/2012.

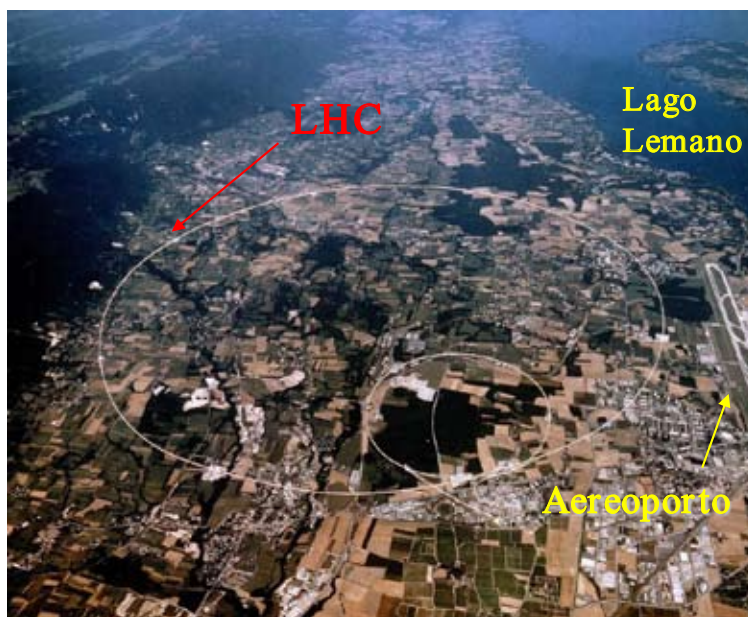


Figura 1. Veduta aerea della zona dove si trova LHC

In figura 1 la circonferenza del tunnel sotterraneo di LHC è tratteggiata sulla veduta aerea della zona dove sono ben visibili, a destra l'aeroporto di Ginevra e il lago Lemano (in Svizzera), e a sinistra le propaggini dei monti del Giura (in Francia). Nel tunnel di LHC due intensi fasci di particelle subatomiche vengono accelerati fino a raggiungere velocità di pochissimo inferiori alla velocità della luce, guidati su ben definite orbite da intensi campi magnetici generati dalle migliaia di grandi magneti superconduttori che costituiscono l'acceleratore.

Le particelle dei due fasci, una volta raggiunta l'energia massima dell'acceleratore, vengono fatte scontrare tra loro riportando i quark di cui sono costituite nelle stesse condizioni di temperatura e di densità in cui si erano trovati pochi milionesimi di miliardesimi di secondo dopo che il *Big Bang* dette origine al nostro Universo quattordici miliardi di anni fa.

Per mantenere stabilmente i fasci di particelle sulle orbite circolari dell'acceleratore sono necessari ben 1232 dipoli magnetici superconduttori di 15 metri di lunghezza disposti lungo tutta la circonferenza della macchina. Uno scorcio del tunnel dell'acceleratore con alcuni di questi dipoli è mostrato in figura 2. Ciascun dipolo è in grado di generare su tutta la sua lunghezza un campo magnetico di 8 tesla, un campo cioè che è ben duecentomila volte più intenso del campo magnetico terrestre.



Figura 2. Tunnel di LHC con un “dipolo superconduttore” in primo piano

Altri 392 quadrupoli magnetici superconduttori sono necessari per mantenere i fasci ben focalizzati lungo tutta la traiettoria delle particelle, mentre molti altri magneti di tipo sestupolo, ottupolo, decapolo etc. per un totale di circa 9600 magneti disposti lungo l’anello sono necessari per far funzionare correttamente l’acceleratore.

La realizzazione di una macchina così complessa ha richiesto lo sviluppo di tecnologie raffinatissime e la necessità di utilizzare strumenti di analisi e sistemi di controllo altamente sofisticati. Per ottenere le prestazioni necessarie i magneti superconduttori devono lavorare alla temperatura dell’elio superfluido cioè ad una temperatura di 1,9 gradi Kelvin (circa -271 gradi centigradi) che è molto vicina allo zero assoluto. Questi magneti risultano pertanto essere gli oggetti più freddi di tutto l’Universo trovandosi ad una temperatura più bassa di quasi un grado rispetto a quella che si trova negli spazi vuoti extragalattici. Inoltre a LHC i quark delle particelle, quando queste sono accelerate alla massima energia, si scontrano a temperature equivalenti a miliardi di volte le temperature che ci sono sul Sole. Pertanto, meraviglia della tecnologia, all’interno dell’acceleratore vengono create, contemporaneamente e a piccolissime distanze le une dalle altre, le temperature più fredde e quelle più calde di tutto l’Universo.

E’ proprio in questi scontri tra particelle di energia altissima, ben diecimila miliardi di volte superiore all’energia dei fotoni emessi da una lampadina, che si cercano delle risposte alle molte domande che ancora oggi i fisici subnucleari si pongono sulla natura del nostro Universo.

3. Gli apparati sperimentali

Due apparati sperimentali di enormi dimensioni (CMS e ATLAS) [2], insieme a due apparati di dimensioni intermedie (ALICE e LHCb) [3] e ad altri due di dimensioni più piccole ma non per questo meno importanti (TOTEM e LHCf) [4], frutto del lavoro di più di quindici anni da parte di migliaia di fisici e ingegneri provenienti da ogni parte del mondo, registrano gli eventi che avvengono in questi scontri ad altissima energia tra i costituenti ultimi della materia come fossero delle enormi e sofisticate macchine fotografiche.

In ciascuno di questi scontri vengono prodotte alcune centinaia di particelle elementari di varia natura. Quando l'acceleratore funziona al massimo delle sue potenzialità, di questi scontri ne avvengono ben 100 milioni al secondo producendo quindi decine di miliardi di particelle ogni secondo. Gli apparati sperimentali devono essere in grado di riconoscere ogni tipo di tutte queste particelle prodotte e misurarne con grande precisione l'energia e l'impulso con cui emergono dall'interazione per poter capire la natura degli eventi prodotti. Per riuscire in questa non semplice operazione sono necessari degli apparati sperimentali molto complessi costituiti da vari sotto-rivelatori ciascuno specializzato per identificare e misurare i diversi tipi di particelle.

Questi giganteschi apparati, alti quanto un palazzo di cinque piani e pesanti anche più di 12000 tonnellate, hanno una struttura a strati con i sotto-rivelatori uno all'interno dell'altro come in una matryoska e sono posizionati dove le particelle dei fasci di LHC si scontrano, cioè nei punti da dove emergono le particelle prodotte in questi scontri.

In figura 3 è raffigurato come vengono rivelati i vari tipi di particelle in un settore di una sezione trasversale di CMS. Una figura del tutto analoga si otterrebbe con un equivalente settore di ATLAS dato che i due apparati ricostruiscono con risoluzioni simili, anche se con tecnologie diverse, gli eventi di LHC.

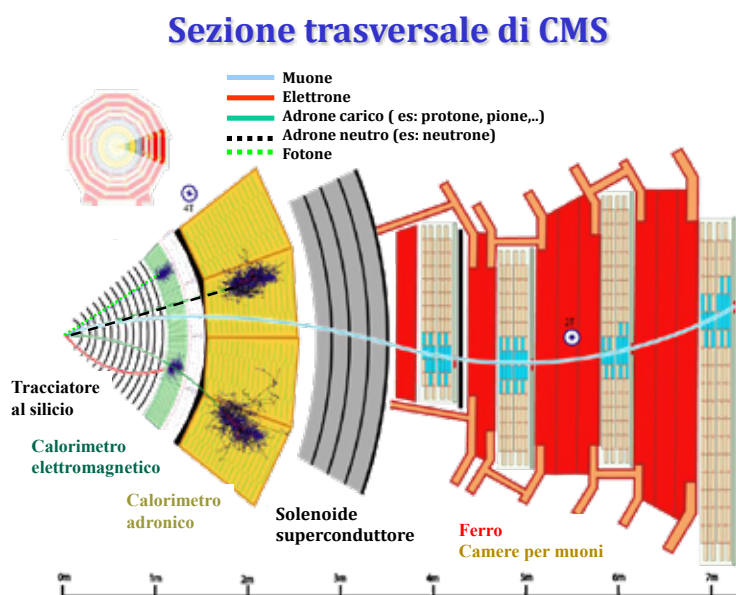


Figura 3. Metodo di rivelazione dei vari tipi di particelle

Il primo rivelatore che le particelle prodotte incontrano emergendo dal punto di interazione è il così detto “tracciatore” capace di ricostruire le traiettorie di tutte le particelle cariche prodotte nell’evento. Nello strato successivo si trova il “calorimetro elettromagnetico” necessario per la misura dell’energia degli elettroni e dei fotoni. Ancora dopo viene il “calorimetro adronico” capace di misurare l’energia dei così detti “adroni” quali per esempio i protoni, i neutroni, i pioni e altri tipi di particelle che interagiscono nel calorimetro in modo simile a questi. La parte più esterna dell’apparato sperimentale è riservata al “rivelatore per muoni”, particelle simili agli elettroni ma che, avendo una massa molto più alta, sono capaci di penetrare tutto il denso materiale dell’apparato. Il tracciatore, ma talvolta come nel caso di CMS anche i calorimetri, è immerso in un forte campo magnetico che permette di misurare l’impulso delle particelle cariche misurandone con precisione le relative traiettorie.

4. La scoperta del Bosone di Higgs

Dopo vent’anni da quando questo progetto ha preso forma, il 04/07/2012, è stato annunciato al mondo che i due esperimenti CMS e ATLAS indipendentemente hanno osservato [5] una nuova particella con una massa di circa 125-126 GeV che potrebbe verosimilmente essere il bosone ipotizzato da Higgs. I due esperimenti hanno successivamente acquisito molti altri dati fino alla fine del 2012 riconfermando l’esistenza di questa nuova particella e mostrando che le sue caratteristiche sono proprio quelle che ci si aspetta dal bosone di Higgs. L’osservazione di questa nuova particella costituisce quindi un piccolo ma certamente significativo passo avanti verso una sempre più approfondita conoscenza del mondo fisico.

Il Modello Standard

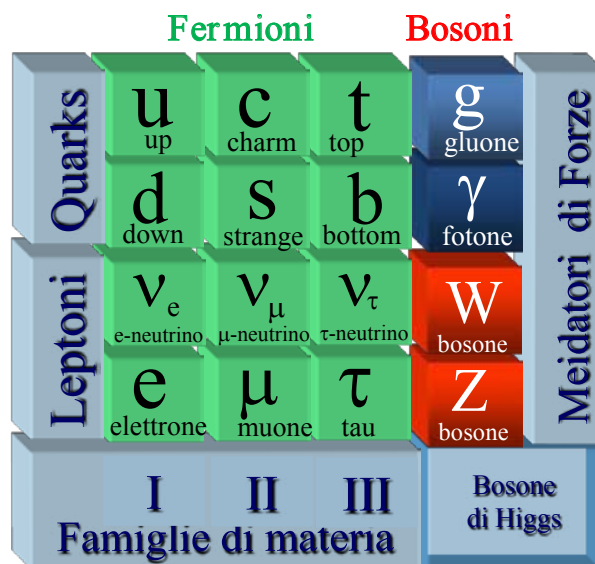


Figura 4. Rappresentazione pittorica del Modello Standard

Una delle questioni più dibattute degli ultimi cinquant’anni è stata quella di quale fosse l’origine della massa delle particelle elementari e del perché alcune avessero masse

molto grosse, altre invece fossero leggerissime e altre ancora addirittura prive di massa. L'esistenza di questa particella con le caratteristiche giuste avvalorava l'ipotesi molto convincente, proposta dal fisico Peter Higgs contemporaneamente a F. Englert e R. Brout, secondo la quale le particelle elementari avrebbero masse così diverse solo perché così diverse sono le loro interazioni con un campo di forza, appunto il campo di Higgs, di cui è permeato tutto lo spazio fisico. Così, con la scoperta del bosone di Higgs, la particella responsabile di questo campo, si completa finalmente la teoria del *Modello Standard*.

In figura 4 viene rappresentato pittoricamente l'essenza del Modello Standard con le tre generazioni dei fermioni (i quark e i leptoni) raffigurati come i mattoni fondamentali che costituiscono la materia e che interagiscono tra di loro con delle forze mediate dai rispettivi bosoni di scambio (il fotone, i gluoni, lo Z^0 ed i W^\pm) e con, finalmente, il bosone di Higgs che determina i valori delle loro masse.

5. I misteri dell'Universo

Nell'Universo, così come ci appare, esistono altri fatti sconcertanti e assolutamente misteriosi a cui la fisica moderna non sa dare una risposta. Sappiamo dalle più recenti osservazioni di astrofisica che tutte le cose che vediamo, dal granello di sabbia più insignificante fino all'immensità delle galassie più lontane, costituiscono meno del 5% dell'energia di cui il nostro Universo è formato. Questo fatto è mostrato pittoricamente in figura 5 dettagliando le percentuali delle varie forme di materia/energia esistenti nell'Universo. In particolare i dati astrofisici in nostro possesso ci dicono che tutte le galassie che vediamo sono immerse in una specie di materia misteriosa, la così detta *materia oscura*, che nonostante sia cinque volte più abbondante della materia ordinaria, finora non siamo riusciti a capire in cosa consista.

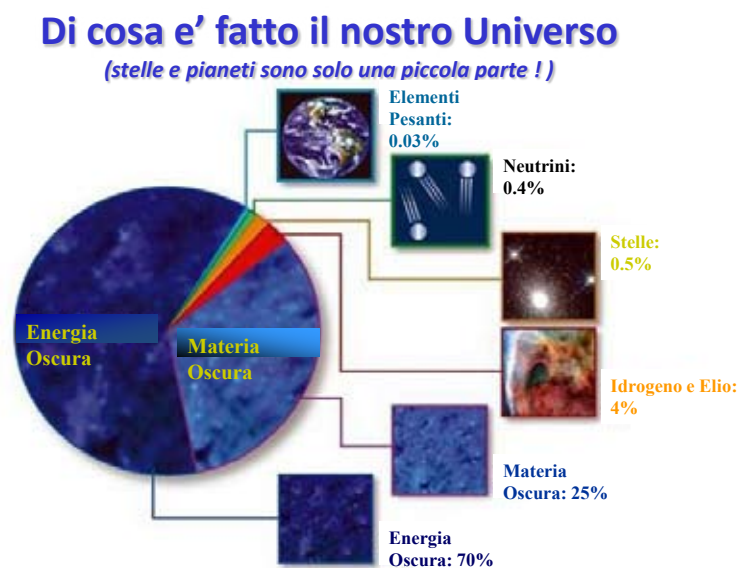


Figura 5. Percentuali delle varie forme di energia che compongono l'Universo

A LHC anche questo mistero potrebbe essere finalmente svelato. Esistono infatti teorie abbastanza convincenti, ma non ancora verificate, che prevedono l'esistenza nel nostro mondo di particelle molto pesanti, chiamate nel gergo dei fisici *particelle supersimmetriche*.

Queste particelle sarebbero altrettanto numerose e di tipo speculare alle particelle elementari che costituiscono la materia visibile (si veda la figura 6) ma, interagendo con essa molto debolmente e avendo delle masse molto più alte, non sarebbero state mai osservate, nemmeno a LHC, perché fino ad ora nemmeno questo potentissimo acceleratore ha avuto l'energia sufficiente per poterle creare.

La Materia Oscura è costituita da particelle supersimmetriche ?

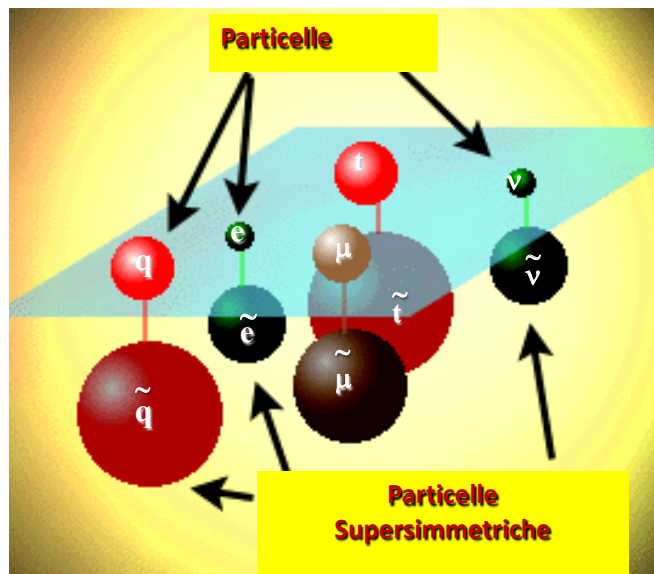


Figura 6. La “Supersimmetria” prevede per ogni particella elementare l'esistenza di una particella-partner supersimmetrica

6. Il futuro di LHC

Attualmente LHC non sta funzionando perché sono in corso dei complessi lavori di potenziamento che dovrebbero permettere, quando l'acceleratore tornerà di nuovo a funzionare all'inizio del 2015, di avere energie di collisione fino a quasi due volte le energie che sono state fino ad oggi disponibili.

La speranza è che a queste nuove energie sia possibile produrre in abbondanza anche le particelle supersimmetriche. Se sarà così, potremo capire la natura di queste elusive particelle e svelare finalmente il mistero dell'energia oscura. E le speranze dei fisici non finiscono qui, ma LHC, con queste nuove altissime energie, potrebbe dare una risposta a molte altre domande.

Noi viviamo in un mondo fatto di sola materia, ma al momento del Big Bang materia e antimateria dovevano essere presenti in ugual misura; e allora, che fine ha fatto tutta l'antimateria?

Noi crediamo che i mattoncini ultimi e indivisibili con cui è costruito il mondo

siano i leptoni e i quark; ma se avessero essi stessi una struttura interna? Pensiamo che anche questa struttura potrebbe rivelarsi alle nuove energie di LHC.

E ancora: Einstein ha mostrato che le tre dimensioni dello spazio sono intimamente connesse col tempo e che quindi la natura evolve in un mondo quadridimensionale di spazio-tempo. Sono stati proposti interessanti modelli teorici che potrebbero gettare luce sulla incompatibilità tra la teoria della gravità e le attuali teorie quantistiche. Tali modelli ipotizzano l'esistenza in natura di altre dimensioni spaziali oltre alle tre percepibili dalla nostra esperienza quotidiana. I segni di queste extra-dimensioni, se esistessero, potrebbero essere visibili alle nuove altissime energie di LHC.

7. Conclusione

La scoperta del bosone di Higgs è stata certamente un passo fondamentale per la comprensione delle leggi che hanno determinato l'evoluzione dell'Universo durante i 13.7 miliardi di anni della sua esistenza, ma la storia non finisce qui e molti sono gli interrogativi che ancora attendono una risposta. Forse, nel 2015, quando gli esperimenti di LHC inizieranno di nuovo a prendere dati sarà possibile dare risposta anche a qualche altro di questi affascinanti interrogativi.

SITOGRAFIA

- [1] <http://home.web.cern.ch/>
- [2] <http://cms.web.cern.ch/> ; <http://atlas.web.cern.ch/Atlas/Collaboration/>
- [3] <http://aliweb.cern.ch/> ; <http://lhcb.web.cern.ch/lhcb/>
- [4] <http://totem.web.cern.ch/Totem/> ; <http://www.stelab.nagoya-u.ac.jp/LHCf/LHCf/index.html>
- [5] <http://webshop.elsevier.com/campaigns/higgsParticle/HiggsBooklet.pdf>
- [6] http://www.pi.infn.it/~castaldi/Liceo_studenti-Insegnanti/Liceo_SanSepolcro_all.ppt