

Bosone di Higgs: descrizione sintetica

Bosone di Higgs: Particella associata al campo scalare di Higgs come mediatrice delle interazioni tra il campo di Higgs e le particelle elementari. Poiché il campo di Higgs è un campo scalare, il **Bosone di Higgs** ha spin nullo e massa $m=125\text{ GeV}$ ($1\text{ GeV}=10^9\text{ eV}$). Il **Bosone di Higgs** è stato isolato per la prima volta il 3 luglio 2012 negli impianti del super acceleratore *Lhc* del *Cern* di Ginevra.

Che cos'è il **Bosone di Higgs**?

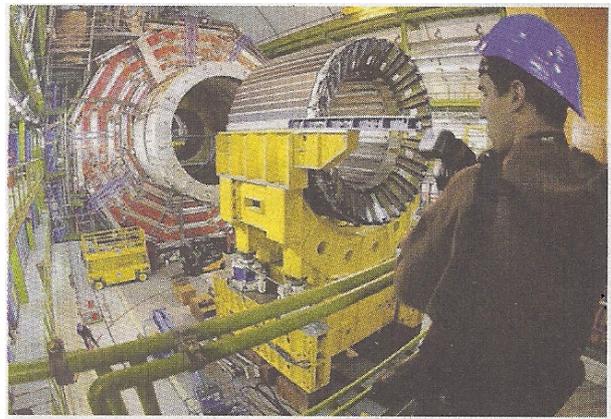
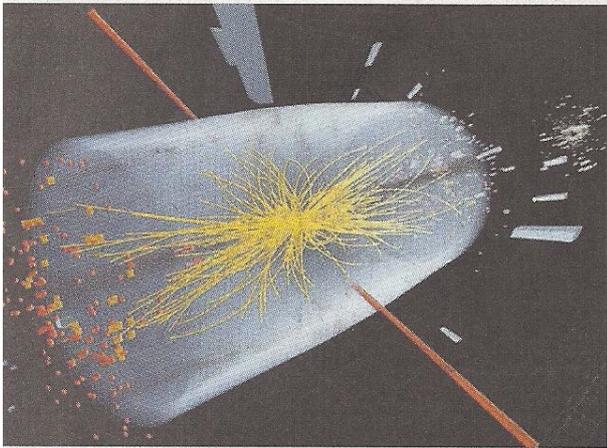
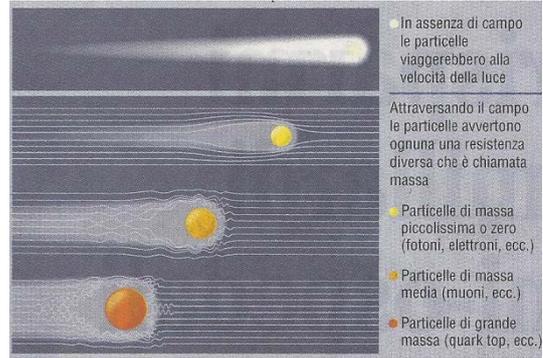
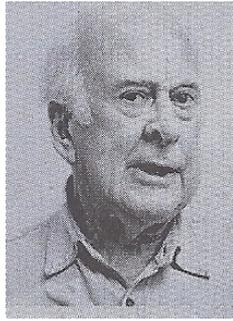
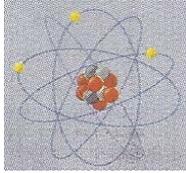
(01) Per spiegare come mai la materia abbia una massa, il fisico inglese Peter Higgs nel 1960 ha ipotizzato l'esistenza del **Bosone di Higgs**.

(02) Il **Bosone di Higgs** è la particella che dà la massa a tutte le altre particelle subatomiche della materia.

(03) La massa è acquisita dalle particelle quando queste si trovano immerse ed interagiscono con il campo di Higgs prodotto dai bosoni di cui è permeato l'universo.

(04) In assenza del campo di Higgs tutte le particelle viaggerebbero alla velocità della luce ed avrebbero massa nulla.

(05) Attraversando il campo scalare di Higgs tutte le particelle avvertono ognuna una resistenza diversa che è chiamata massa. I **fotoni** e gli **elettroni** sono particelle di massa piccolissima o nulla. I **muoni** ed altre particella hanno massa media. I **quark top** ed altre particelle hanno massa grande.



Ginevra: In alto le immagini della “particella di Dio” (Bosone di Higgs) e gli impianti del super acceleratore *LHC* (Large Adron Collider) del *CERN* .

Il **Bosone di Higgs** ha una massa di circa 125 miliardi di elettronvolt, cioè la sua massa è 125 volte maggiore della massa del protone. $m=125 \cdot 10^9 \text{ GeV}$.

L’idea che sta alla base del Modello Standard della fisica contemporanea è che nei primissimi istanti dell’Universo, quando le particelle non avevano ancora una massa e si muovevano nello spazio alla velocità della luce, i **Bosoni di Higgs** riempivano lo spazio ed erano in grado di attirare quasi tutte le particelle, tranne i fotoni che non erano influenzati dalla loro presenza.

Campo di Higgs: E’ creato dai bosoni di Higgs ed è presente nello spazio. Esso è presente nello stesso modo ovunque, sulla Terra, nelle galassie più remote e negli

spazi cosmici che separano le galassie. Il **Campo di Higgs** interagendo con le particelle elementari conferisce loro una massa tanto più grande quanto più è intensa l'interazione.

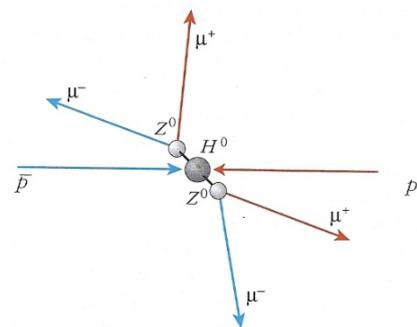
Massa nulla: solo una particella che va alla velocità della luce ha massa nulla.

Esistenza del campo di Higgs: Senza campo di Higgs non potrebbero esistere gli aggregati di materia (nucleoni, nuclei, atomi, molecole ed altro).

Le diverse masse delle particelle sono dovute al fatto che ciascuna di esse interagisce con il campo scalare di Higgs con una propria specifica intensità. I fisici dicono che il campo di Higgs dà la massa a tutte le particelle, ma non ai fotoni ed ai gluoni, che con tale campo non interagiscono.

L'esistenza del **Bosone di Higgs:** Isolare il bosone di Higgs significa comprendere l'origine della massa, proprietà che le particelle hanno in comune con i corpi del nostro mondo.

I fisici riveleranno la sua esistenza attraverso i prodotti secondari del suo decadimento. Infatti dalla collisione di un protone e di un antiprotone si crea il **Bosone di Higgs** H^0 e da essa hanno origine due particelle Z^0 (bosone instabile); queste decadranno in 4 muoni le cui quattro tracce divergenti rappresentano tutto quello che può essere osservato nella realtà. Tutto questo è stato osservato per la prima volta col super acceleratore *LHC* del *CERN* di Ginevra.



Una **particella elementare** è un elemento di materia della quale non si conosce la struttura. Agli esordi della fisica delle particelle si riteneva che i costituenti ultimi della materia fossero soltanto 4: il **protone**, il **neutrone**, l'**elettrone** ed il **fotone**. Dei due nucleoni è stata successivamente teorizzata una struttura interna formata da quark, mentre le altre 2 particelle conservano nel modello teorico più accreditato, il **Modello Standard**, il carattere di elementarità.

Il **Modello Standard** descrive le interazioni fra le particelle e spiega la composizione subnucleare della materia osservabile mediante un limitato numero di costituenti elementari. Il modello teorizza l'esistenza del **Campo di Higgs**, creato dal **Bosone di Higgs** e responsabile di fornire la massa alle particelle. La ricerca del **Bosone di Higgs** è uno degli scopi principali degli attuali esperimenti ad alta energia. Il 3 luglio 2012 la ricerca ha raggiunto il suo scopo avendo isolato il misterioso, fantastico, straordinario **Bosone di Higgs**.

Bosone di Higgs: descrizione estesa

- La sua esistenza fu teorizzata dal fisico inglese Peter Higgs nel 1964. Serviva per risolvere un problema del modello standard della fisica: **perché le particelle fondamentali hanno una massa?**
- La soluzione di Higgs: l'Universo è permeato da un campo di forze detto **campo di Higgs**. Un campo è come una melassa che invischia le particelle e ne ostacola il movimento.
- Questa azione di ostacolo è quello che noi chiamiamo **massa**. Più una particella interagisce col **campo di Higgs**, più fatica a muoversi cioè maggiore è la sua massa.

- La fisica prevede che un campo di forze si esprima sempre attraverso una particella. La particella che corrisponde al campo di Higgs è il **bosone di Higgs**.
- Particelle di massa piccolissima o nulla: **elettroni, fotoni**
- Particelle di massa media: **muoni**
- Particelle di grande massa: **quark top**
- Il campo di Higgs non esisteva subito dopo il Big Bang. Si è formato quando l'universo si è raffreddato e la materia è diventata pesante, cioè ha acquistato massa.
- *LHC* (**Large Hadron Collider**) è l'acceleratore di particelle più grande del mondo. Si tratta di un anello sotterraneo vicino Ginevra lungo *27 km*. Il Large Hadron Collider ha il compito di accelerare i protoni portandoli ad una velocità prossima a quella della luce e li fa scontrare tra loro. Nelle collisioni può formarsi un **bosone di Higgs**. La probabilità che si formi un **bosone di Higgs** è di 1 su 100 milioni.
- L' *LHC*, in 3 anni di attività, ha prodotto 2 mila trilioni di collisioni fra i protoni veloci quasi come la luce. Negli scontri si sono formati circa 400 **bosoni di Higgs**. Dopo una esistenza di un istante, queste particelle si disintegrano, ed è osservando i frammenti della disintegrazione che i fisici ne ricostruiscono l'identikit.
- **Il meccanismo di Higgs**: Secondo il Modello Standard delle particelle elementari e delle forze fondamentali la differenza di massa fra le particelle elementari è dovuta al fatto che in tutto l'Universo è presente una entità diffusa ed impalpabile detta **campo scalare** o **campo di Higgs**. Esso è presente nello stesso modo ovunque, sulla Terra, nelle galassie più lontane e negli spazi cosmici che separano le galassie. Le particelle elementari, muovendosi nello spazio, interagiscono diversamente con questo campo scalare. Il **fotone** non interagisce ed ha massa nulla mentre le altre particelle sono rallentate da queste continue interazioni di modo che la loro velocità non può essere la velocità della luce.ma è necessariamente minore. Dal punto di vista sperimentale, il fatto che una particella elementare si muova ad una velocità minore della velocità *c* della luce implica che essa ha una massa. Tutte le particelle elementari in uno spazio veramente vuoto dovrebbero avere massa nulla. E' il campo scalare o campo di Higgs che dà la massa a tutte le particelle che

interagiscono con esso. I fotoni ed i gluoni che con tale campo non interagiscono hanno massa nulla. L'esistenza del **bosone di Higgs** può essere provata attraverso i prodotti secondari del suo decadimento. La nascita di un **bosone di Higgs** è testimoniata dalla produzione di 4 muoni.

- Una **particella elementare** può essere considerata come un elemento di materia della quale non si conosce la struttura. Agli esordi della fisica delle particelle, si riteneva che i costituenti ultimi della materia fossero solo quattro: il protone, il neutrone, l'elettrone ed il fotone. Dei due nucleoni è stata successivamente teorizzata una struttura interna formata da **quark**, mentre le altre due particelle conservano tuttora, nel modello teorico più accreditato, il **Modello Standard**, il carattere di elementarità. Il **bosone di Higgs** descrive le interazioni fra le particelle e spiega la composizione subnucleare della materia osservabile mediante un limitato numero di costituenti elementari. Tale modello teorizza la presenza del campo di Higgs creato dal **bosone di Higgs** e responsabile di fornire la massa alle particelle. E' recente la creazione artificiale del **bosone di Higgs**.

Nella fisica nucleare il **Bosone** è una particella il cui comportamento è governato dalla statistica di **Bose-Einstein**. Sono **bosoni** i **fotoni**, i **mesoni** ed i **nucleoni** con numero atomico pari come le **particelle alfa**.

Il **bosone di Higgs** è chiamata la particella di Dio perché grazie ad essa ogni cosa ha una massa e la materia esiste così come la conosciamo. I fisici preferiscono chiamarlo **bosone di Higgs**, dal nome del fisico britannico **Peter Higgs**, che nel **1964** ne aveva previsto l'esistenza. Grazie al **bosone di Higgs** tutte le particelle dell'universo, originariamente tutte prive di massa, acquistano ognuna la propria massa. Il **bosone di Higgs** da coerenza matematica al **Modello Standard**, la teoria che descrive le particelle fondamentali e le forze attraverso le quali interagiscono. Higgs ha proposto che tutto lo **spazio-tempo** sia permeato da un campo, il **campo di Higgs**, simile per certi aspetti al campo elettromagnetico. Quando le particelle si muovono nello **spazio-tempo** anche nel **campo di Higgs** e, interagendo con esso, acquisiscono una massa.

Il bosone di Higgs

L'esistenza del bosone di Higgs ci spiega cosa è successo un attimo dopo il Big Bang. Quando la temperatura dell'universo si è abbassata le particelle elementari hanno iniziato ad acquisire una massa. Anziché schizzare via alla velocità della luce, senza speranza di interagire fra loro, i mattoni fondamentali della materia hanno rallentato e per effetto della gravità hanno formato combinazioni via via più complesse fino a fare nascere la Terra e gli esseri viventi.

Quando le particelle che viaggiano alla velocità della luce attraversano il campo di Higgs rallentano ed acquistano una massa, il cui valore dipende dalla natura delle particelle. Infatti i **fotoni**, e gli **elettroni** rallentano di poco la loro velocità ed hanno massa piccolissima; i **muoni** diminuiscono abbastanza la loro velocità ed acquistano massa media; i **quark top**, riducendo la loro velocità moltissimo, acquistano una grande massa.

Il **bosone di Higgs** è la particella che, un decimo di miliardesimo di secondo dopo il Big Bang, ha dato la massa a tutte le altre particelle presenti nell'universo.

Per spiegare come mai la materia ha una massa il fisico inglese **Peter Higgs** nel 1964 ha ipotizzato l'esistenza del **bosone di Higgs**.

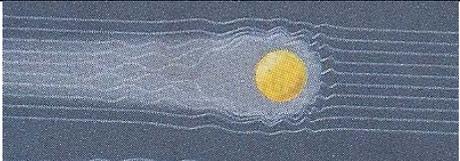
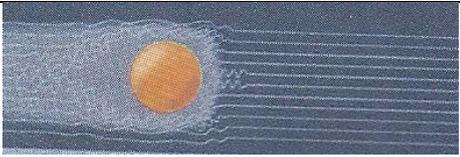
Il **bosone di Higgs** è la particella che dà la massa a tutte le altre particelle subatomiche della materia della quale anche noi siamo formati.

La massa è acquisita dalle particelle quando queste si trovano immerse ed interagiscono con il **campo di Higgs** prodotto dai bosoni di cui è permeato l'universo.

Immediatamente dopo il Big Bang si formano i bosoni; queste particelle generano nell'universo un particolare campo, detto **campo di Higgs** che ha la proprietà di conferire a tutte le particelle una proprietà fisica che è la massa.

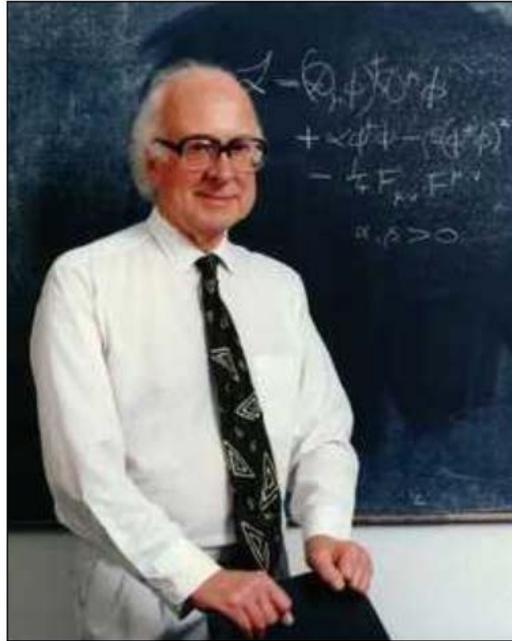
Attraversando il **campo di Higgs** le particelle avvertono ognuna di esse una resistenza al movimento diversa chiamata massa.

La massa di ogni particella è la resistenza che incontra ciascuna di esse quanto attraversa il **campo di Higgs**.

<p>In assenza di campo di Higgs le particelle viaggerebbero tutte alla velocità della luce.</p>	
<p>Attraversando il campo di Higgs le particelle incontrano una resistenza detta massa, il cui valore dipende dalla natura della particella</p>	
<p>Particelle di massa piccolissima o nulla: fotoni, elettroni.....</p>	
<p>Particelle di massa media: muoni</p>	
<p>Particelle di grande massa: quark top</p>	

Bosone di Higgs

Ma cos'è questo famigerato bosone di Higgs? Si tratta di una particella prevista dalla teoria quantistica dei campi e teorizzata per la prima volta dal fisico britannico **Peter Higgs** negli anni Sessanta del ventesimo secolo. Il ruolo di questa particella sarebbe quello di mediatore del cosiddetto campo di Higgs, il cui compito è quello di conferire massa alle altre particelle.



Peter Higgs

Andiamo però con ordine. Quando ci si imbatte nella teoria quantistica dei campi bisogna porsi

preliminarmente una domanda: cos'è un campo? Per capirlo basta pensare per esempio al campo elettrico, con il quale abbiamo a che fare quotidianamente.

La corrente elettrica alla base della tecnologia moderna altro non è che uno spostamento di particelle cariche elettricamente attraverso un materiale in grado di permettere tale movimento (i cosiddetti materiali *conduttori*). Ciò che mette in moto le particelle cariche è il campo elettrico. Esso è quindi una proprietà dello spazio che permette il propagarsi di una particolare forza di interazione, che nel nostro esempio mette in moto le particelle cariche dando luogo alla corrente elettrica.

Ogni campo di interazione è caratterizzato, nella teoria quantistica dei campi, da una o più particelle che hanno lo scopo di propagare nello spazio l'interazione associata al campo stesso, comunicandone la presenza alle particelle che incontrano nel loro percorso. In pratica è come se tali particelle fossero i messaggeri dell'azione del campo, o meglio i suoi *mediatori*. Tali mediatori, detti anche *quanti* del campo, fanno parte della famiglia di particelle che prendono il nome di *bosoni*.

Per ognuna delle interazioni fondamentali della natura è possibile ipotizzare l'esistenza di bosoni mediatori. Nel caso dell'interazione elettromagnetica il mediatore è il *fotone*, per l'interazione forte abbiamo i *gluoni*, per l'interazione debole i bosoni W^+ , W^- e Z , mentre per l'interazione gravitazionale esistono ipotesi sull'esistenza di un mediatore chiamato *gravitone* (mai scoperto sperimentalmente, al contrario degli altri bosoni mediatori già citati, per i quali esistono evidenze sperimentali sulla loro esistenza).

Ma veniamo al nostro Higgs. Questa particella è mediatrice di un particolare campo che permea lo spazio, il cosiddetto *campo di Higgs*. Tale campo ha il ruolo di conferire la massa alle particelle. In pratica, l'interazione di una particella con il campo di Higgs (ovvero con il suo bosone mediatore) fa sì che essa, sotto certe condizioni descritte dal cosiddetto *meccanismo di Higgs*, possa acquisire massa. La teoria iniziale prevede l'implementazione del meccanismo di Higgs per spiegare le masse dei già citati bosoni W e Z

dell'interazione debole, ma si può estendere anche alle particelle note come *fermioni*, che prendono il nome dal fisico italiano e premio Nobel Enrico Fermi e che sono, in pratica, i mattoncini costituenti la materia a noi conosciuta.

Il bosone di Higgs è diventato nel tempo un tassello fondamentale in quel grande mosaico che prende il nome di **Modello Standard**, un insieme di teorie che tentano di spiegare il funzionamento del mondo a noi conosciuto almeno a livello quantistico. Per anni si è discusso sulla validità della teoria di Higgs e non sono di certo mancati gli scettici che l'hanno messa in dubbio. Nonostante questo, la coerenza di questa teoria e il fatto che si incastra così bene con le teorie di campo già note, ha convinto la maggior parte degli scienziati che essa debba essere corretta.

Ma, come si sa, le teorie richiedono una conferma empirica per poter essere considerate giuste. Era quindi necessario scoprire il bosone di Higgs in laboratorio per accertarsi che la teoria fosse valida. Per questo (e non solo) è stato costruito **LHC** (Large Hadron Collider), l'immenso acceleratore di particelle

situato nel sottosuolo al confine tra Francia e Svizzera e gestito dal Cern, il centro di ricerca internazionale che accoglie scienziati da ogni parte del mondo. Le dimensioni di questo apparato e le tecnologie alla base della sua costruzione permettono di raggiungere livelli di energia tali da permettere ai vari esperimenti a esso collegati di svolgere misure su fenomeni mai osservati prima. Sono proprio due di questi esperimenti, Atlas e CMS, ad aver fornito le prime evidenze sperimentali dell'esistenza del bosone di Higgs.

Gli scienziati rimangono ancora cauti e stanno continuando ad analizzare i dati che gli esperimenti hanno raccolto, ma la confidenza statistica raggiunta dalle misure supera il limite imposto dalla comunità scientifica per proclamare una nuova scoperta. In sostanza, è possibile affermare che al Cern è stato scoperto il bosone di Higgs.

Possiamo inoltre affermare che il nostro Paese ha avuto un importantissimo ruolo

Ecco cos'è il Bosone di Higgs. Come un vip in una sala, attira la materia

I componenti della materia sarebbero inanimati senza una massa: è il bosone di Higgs che li costringe a interagire tra loro e ad aggregarsi. Le particelle che attraversano il campo di Higgs interagiscono fra loro, vengono rallentate dall'attrito, non viaggiano più alla velocità della luce e acquisiscono una massa

Il **bosone di Higgs** è chiamato "**particella di Dio**" perché grazie ad essa ogni cosa ha una **massa** e la materia esiste così come la conosciamo. E' l'ultimo mattone del quale la fisica contemporanea ha bisogno per completare la principale delle sue teorie, chiamata **Modello Standard**. Questo è una sorta di "catalogo della materia" che prevede l'esistenza di tutti gli ingredienti fondamentali dell'universo così come lo conosciamo. Comprende dodici particelle elementari organizzate in due famiglie: i **quark** e i **leptoni**, che sono i veri e propri mattoni della materia, presenti nell'infinitamente grande, come nelle galassie, negli stessi esseri umani come nel mondo microscopico. Comprende inoltre una famiglia di altre dodici particelle, che sono i messaggeri delle tre forze della natura che agiscono nell'infinitamente piccolo, chiamate forza forte, elettromagnetica e debole. Di queste particelle-messaggero fanno parte i **componenti elementari** della luce chiamati fotoni, e i gluoni, che sono la colla che unisce fra loro i mattoni della materia, come i quark nel nucleo dell'atomo.

Tutti questi componenti della **materia** sarebbero inanimati senza una **massa**: è il bosone di Higgs che li costringe a interagire tra loro e ad aggregarsi. Per questo in una delle descrizioni più celebri paragona il bosone di Higgs ad un **personaggio famoso** che entra in una sala piena di persone, attirando intorno a sé gran parte dei presenti. Mentre il personaggio si muove, attrae le persone a lui più vicine mentre quelle che lascia alle sue spalle tornano nella loro posizione originale e questo affollamento aumenta la resistenza al movimento. Vale a dire che il personaggio acquisisce massa, proprio come fanno le particelle che attraversano il campo di Higgs: le particelle interagiscono fra loro, vengono rallentate dall'attrito, non viaggiano più alla velocità della luce e acquisiscono una massa.

Il bosone di Higgs è anche l'unica particella che conosciamo che prende la sua massa interagendo con se stesso. Anche il bosone di Higgs, come tutte le altre particelle massicce, prende massa "navigando" e interagendo con il suo campo. Proprio il valore di questa interazione, l'**attrito sperimentato** dal bosone di Higgs quando nuota nel "mare" da lui stesso prodotto, determina alla fine la stabilità o meno del vuoto in cui il nostro **Universo** si trova. Una massa del bosone di Higgs pari a 126 volte la massa del protone (il valore che sembra emergere dai risultati di Lhc) è, di pochissimo, inferiore a quella che garantirebbe che l'Universo in cui viviamo possa rimanere nello stato in cui siamo per sempre nel suo **futuro**. In altre parole, il nostro Universo ha evitato uno stato rigidamente stabile. Il fatto, però che saremmo così vicini a una situazione di stabilità "forte" implica che il tempo richiesto al nostro Universo per compiere il passaggio dallo stato in cui oggi viviamo a quello in cui non ci sarebbero più le condizioni necessarie per la nostra *esistenza*, diventa molto più lungo dei 13 miliardi di anni e passa trascorsi dal Big Bang iniziale. Insomma, è come un **pallone** che colpisce il palo: se il bosone di Higgs avesse avuto un centesimo di massa in più il pallone sarebbe entrato in rete, cioè l'Universo sarebbe stato stabile in tutta la sua evoluzione futura; un centesimo in meno, e il pallone sarebbe clamorosamente uscito, cioè l'Universo avrebbe imboccato la strada di uno stato di vuoto "instabile" in cui non ci sarebbe stato posto per la nostra esistenza.

Il bosone di Higgs è una particella, ma anche un **campo** (diffuso ovunque nello spazio) attraverso cui passano le altre particelle, cioè gli elettroni, i quark, i fotoni, ecc. Tutte queste particelle, tranne i fotoni, vengono rallentate dal campo di Higgs: è come se ci fosse un **attrito** tra loro e il campo. Queste particelle non viaggiano più alla velocità della **luce** (tranne i fotoni) perché si sono "appesantite", cioè hanno acquistato massa. Alcune sono rallentate moltissimo e hanno assunto quindi una massa grande, come il quark top o il bosone W, altre invece attraversando il campo più velocemente, rimangono più leggere, come ad esempio gli **elettroni**.

Ora che è stata scoperta l'ultima particella chiave del **Modello Standard**, la ricerca in fisica non è finita. Una volta appurato che abbiamo veramente scoperto il bosone di Higgs, bisognerà innanzitutto rispondere a un quesito-chiave per il futuro della fisica: si tratta del bosone di Higgs previsto nel Modello Standard che descrive le **forze elettromagnetiche** e deboli (quelle responsabili della radioattività), oppure è un bosone simile ma diverso e quindi araldo di una **nuova fisica** al di là del Modello Standard? E' una domanda a cui potrebbe essere molto difficile o addirittura impossibile rispondere nell'ambito della fisica. Attraverso il suo ente di ricerca che si occupa di questo tipo di fisica, cioè l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (Infn), le sue università, ma anche alcune delle sue industrie di **tecnologia avanzata**, il nostro paese ha dato un enorme contributo alla ricerca della particella di Higgs. Ora tale ricerca viene condotta in esperimenti alla macchina acceleratrice Lhc del Cern di Ginevra: tali esperimenti sono portati avanti da vastissime collaborazioni internazionali con migliaia di fisici. Tra questi ci sono centinaia di nostri connazionali, appartenenti all'Infn, a **università italiane** o anche "emigrati" in istituzioni straniere. Molte parti di Lhc sono dovute a nostre industrie che si sono aggiudicate commesse attraverso un'aspra competizione internazionale.

Prima di approfondire il discorso e' opportuno ricordare che cosa e' un bosone.

In natura esistono due tipi essenziali di particelle: i fermioni e i bosoni. I primi sono caratterizzati dal fatto di avere spin semiintero ($1/2, 3/2, \dots$) e di obbedire al principio di esclusione di Pauli, secondo il quale in un sistema di fermioni, due o piu' particelle (elettroni ad esempio) non possono trovarsi nello stesso stato.

I bosoni invece hanno spin intero ($0, 1, 2, \dots$) e possono occupare lo stesso stato in maniera arbitraria (solitamente, ed erroneamente, per capire cosa e' lo spin, si immagina che ogni particella sia assimilabile ad una piccola trottola che gira dotata quindi di un suo momento angolare).

Il bosone che ha spin uguale a zero è chiamato "bosone scalare" e quello di Higgs appartiene a questo gruppo. I bosoni che hanno spin diverso da zero sono detti "bosoni vettoriali".