

# Evidence for a particle produced in association with weak bosons and decaying to a bottom-antibottom quark pair in Higgs Boson searches at the Tevatron

*CDF Collaboration and D0 Collaboration,*

Article published in "Physical Review Letters" (Received 26 July 2012; published 14 August 2012)

**ABSTRACT.** We combine searches by the CDF and D0 Collaborations for the associated production of a Higgs boson with a W or Z boson and subsequent decay of the Higgs boson to a bottom-antibottom quark pair. The data, originating from Fermilab Tevatron  $p\bar{p}$  collisions at  $\sqrt{s} = 1.96$  TeV, correspond to integrated luminosities of up to  $9.7 \text{ fb}^{-1}$ . The searches are conducted for a Higgs boson with mass in the range 100–150 GeV/ $c^2$ . We observe an excess of events in the data compared with the background predictions, which is most significant in the mass range between 120 and 135 GeV/ $c^2$ . The largest local significance is 3.3 standard deviations, corresponding to a global significance of 3.1 standard deviations. We interpret this as evidence for the presence of a new particle consistent with the standard model Higgs boson, which is produced in association with a weak vector boson and decays to a bottom-antibottom quark pair.

**KEYWORDS:** CERN/LHC, Dedicated experiment, Discovery, Fermilab -Tevatron, Higgs boson, Standard Model

## Remarks

Almost simultaneously, but independently, the two experiments at Fermilab - Tevatron, CDF and D0, on July 3, and Atlas and CMS experiments at CERN / LHC, on July 4, announced the discovery of the Higgs boson and rapidly published the discovery on scientific Journals. While on one hand the results of the CERN represent a sharper measure, on the other the results of the Tevatron has a great importance not only as an independent confirmation of the

presence of the signal, but also because the measure confirms that the particle is very similar to the Higgs of the **Standard Model**. The final proof or denial will require years of study and most likely the construction of a new machine and a dedicated experiment. Introduced in the Standard Model to explain the emergence of the masses in a universe of massless particles, the Higgs boson has undergone several changes of features in order to meet the needs of different theories, supersymmetric or not and could have different charged and neutral states.

Depending on the mass that at the beginning of the search was unknown and just limited to be less than 1000 times as much that of a nucleus of hydrogen, the Higgs boson is produced in various ways and prefers different decays. At a mass of 125 GeV a standard model Higgs boson would decay predominantly into pairs of  $b\bar{b}$  quarks and only to a lesser extent in  $\gamma\gamma$ ,  $W^+W^-$  etc.. At larger masses  $W^+W^-$  decay becomes the predominant one and the  $b\bar{b}$  vanishes. Different forms of Higgs behave differently and for this reason it is very important to observe the presence in all possible channels of decay. The two machines that have been used for the discovery have very different characteristics. Although designed for various and larger purposes than to detect the Higgs boson, the two colliders are somehow not ideal for a Higgs of 125 GeV. LHC is "brute force" machine. It produces a lot of events, and several Higgs, but in an extremely confused manner so that at least now the presence of bosons can be seen only in the  $\gamma\gamma$  and  $W^+W^-$  channels because the quark channel is very difficult to analyze in a crowded detector. In this sense, the LHC has been designed to see a Higgs of 600 GeV and can distinguish the one of 125 only in  $\gamma\gamma$  and  $W^+W^-$  channels. Conversely, the Tevatron has been optimized to produce top quarks and can see the decay of a Higgs of 125 GeV almost solely in the two jet decay channel produced by the two quark  $b\bar{b}$ . The results of the two laboratories CERN and Fermilab, therefore, are not in competition but in synergy. The larger evidence of the measure performed at CERN is supported by the one performed at Fermilab of the main channel of decay. This discovery that involves the whole scientific community will probably justify the development of new experiments, accelerators and technologies that on the one hand can enlarge the knowledge of the nature and on the other can contribute to the material improvement of the human condition.

### Commento

Quasi contemporaneamente ma certamente in maniera indipendente, i due esperimenti del Fermilab/Tevatron, CDF e D0, il 3 luglio, e CMS ed Atlas del CERN/LHC, il 4 di luglio hanno annunciato la scoperta del bosone di Higgs ed in rapida successione l'hanno portata alle stampe. Se da un lato i risultati del CERN rappresentano una misura più evidente, dall'altra la presenza della misura del Tevatron ha un grande rilievo non solo come conferma indipendente della presenza del segnale, ma soprattutto nel testimoniare che la particella trovata somiglia molto all'Higgs dello Standard Model.

La certezza o il diniego definitivo richiederanno anni di studio e molto probabilmente la costruzione di una macchina e di un esperimento dedicato. Introdotto nello Standard Model per spiegare l'insorgere delle masse in un universo di particelle che ne erano prive, il bosone di Higgs ha poi subito diverse mutazioni ed è stato inglobato, ma con caratteristiche diverse a seconda del tipo di teoria supersimmetrica o no, in numerose varianti cariche e neutre. A seconda della massa, all'inizio della ricerca del tutto incognita ma certamente minore di 1000 volte tanto quella di un nucleo di idrogeno, esso viene prodotto e predilige diversi decadimenti. Alla massa di 125 GeV un bosone di Higgs standard model dovrebbe decadere prevalentemente in coppie di quark  $b\bar{b}$  e solo in misura minore in  $\gamma\gamma$ ,  $W^+W^-$  etc.; a masse più grandi il canale  $W^+W^-$  diventa preponderante e quello in  $b\bar{b}$  svanisce. Diverse forme di Higgs si comporterebbero però in maniera diversa e per questo motivo è molto importante osservarne la presenza in tutti i canali possibili.

Le due macchine che sono state utilizzate per la scoperta hanno caratteristiche molto diverse. Pur essendo state progettate per scopi diversi e certamente più ampi, esse sono in qualche modo non ideali per misure che riguardino un Higgs di 125 GeV e sono tali per motivi contrapposti.

LHC è una macchina di forza bruta che produce moltissimi eventi, e quindi in una parte di essi numerosi Higgs, ma in uno stato estremamente confuso e quindi diagnosticabile solo in presenza di decadimenti  $\gamma\gamma$ ,  $W^+W^-$  ma non di quark perché è molto difficile vederne i prodotti (Jets) in un rivelatore affollatissimo. In questo senso LHC è stato progettato per vedere bene un Higgs di 600

Gev e può vederne uno di 125 solo in canali secondari senza raggiungere la certezza che si tratti proprio di quello dello Standard Model. Viceversa il Tevatron è stato ottimizzato per produrre **top quarks** e può vedere il decadimento di un Higgs di 125 Gev quasi esclusivamente nel canale più probabile a quella energia e cioè in due Jets prodotti da due quark  $b\bar{b}$ . I risultati dei due laboratori dunque, Cern e Fermilab non sono in concorrenza ma in sinergia. Alla maggiore evidenza del CERN corrisponde la misura del canale principale di decadimento effettuata al Fermilab. Una scoperta che coinvolge tutta la comunità scientifica del settore e che con ogni probabilità giustificherà lo sviluppo di nuovi esperimenti, acceleratori e tecnologie capaci da un lato di approfondire la conoscenza della natura e dall'altro di contribuire al miglioramento materiale della condizione umana.

***Giovanni Maria Piacentino***