

Osservazione di una nuova particella con massa di 125 GeV

Esperimento CMS, CERN

4 Luglio 2012

Sintesi:

Oggi al CERN di Ginevra, in un seminario congiunto con la conferenza "ICHEP 2012" [1] a Melbourne, la collaborazione dell'esperimento Compact Muon Solenoid (CMS) presso il Large Hadron Collider (LHC) ha presentato i risultati preliminari della ricerca del bosone di Higgs del modello standard (SM) delle interazioni fondamentali con i dati raccolti fino a giugno 2012.

CMS osserva un eccesso di eventi, rispetto alle previsioni del fondo sperimentale, ad una massa di circa 125 GeV [2] con una significatività statistica di cinque deviazioni standard (5 sigma) [3]. La probabilità che l'effetto sia dovuto unicamente ad una fluttuazione statistica del fondo ad un livello superiore o equivalente di significatività è pari ad un caso su tre milioni. Questa osservazione è più attendibile nei due stati finali con la migliore risoluzione sulla misura della massa invariante: per primo lo stato finale con due fotoni, seguito dallo stato finale con due coppie di leptoni carichi (elettroni o muoni). CMS interpreta questo effetto come dovuto alla produzione di una nuova particella con una massa di circa 125 GeV.

I dati di CMS permettono inoltre di escludere l'esistenza del bosone di Higgs SM per masse nell'intervallo 110-122,5 GeV e 127-600 GeV con un livello di confidenza del 95% [4]. Masse inferiori sono state già escluse, allo stesso livello di confidenza, dai risultati ottenuti al collider LEP del CERN.

Tenendo conto delle incertezze statistiche e sistematiche, i risultati ottenuti nei vari canali di ricerca sono consistenti con le aspettative del bosone di Higgs SM. Tuttavia, saranno necessari ulteriori dati per stabilire se questa nuova particella ha tutte le proprietà del bosone di Higgs SM. Nel caso contrario, ciò implicherebbe l'esistenza di nuovi fenomeni fisici non previsti dal modello standard.

LHC continua a produrre nuovi dati ad una velocità impressionante. Entro la fine del 2012, CMS spera di triplicare il suo campione di dati attuale. Con questi dati CMS potrà chiarire ulteriormente la natura della nuova particella osservata. Essi permetteranno inoltre di estendere la sensibilità di CMS per la ricerca di segnali di nuova fisica.

Strategia della ricerca a CMS

CMS ha analizzato l'intero campione di dati da collisioni protone-protone raccolti nel 2011 e nel 2012, fino al 18 giugno. La statistica accumulata ammonta a $5,1 \text{ fb}^{-1}$ di luminosità integrata [5], raccolta ad una energia nel centro di massa di 7 TeV nel 2011 e fino a $5,3 \text{ fb}^{-1}$ a 8 TeV nel 2012.

Il modello standard prevede che il bosone di Higgs si disintegri in un brevissimo tempo e che "decada" in altre particelle già note. CMS ha studiato cinque principali modalità di decadimento (cosiddetti *canali*) del bosone di Higgs. Tre canali consistono nel decadimento in

coppie di particelle bosoniche ($\gamma\gamma$, ZZ o WW) e due canali in coppie di particelle fermioniche (bb o $\tau\tau$). Il simbolo γ denota un fotone, Z e W denotano i portatori di forza dell'interazione debole, b denota un quark *bottom* (detto anche *beauty*), e τ indica il leptone tau. I canali $\gamma\gamma$, ZZ e WW hanno sensibilità simili per la ricerca di un bosone di Higgs con massa attorno a 125 GeV, mentre i canali di decadimento bb e $\tau\tau$ hanno sensibilità inferiori.

I canali $\gamma\gamma$ e ZZ sono di particolare importanza perché consentono di misurare con precisione la massa della nuova particella, grazie all'elevata risoluzione. Nel canale $\gamma\gamma$ la massa è determinata dalle energie e impulsi dei due fotoni ad alta energia misurati dal calorimetro elettromagnetico a cristalli di CMS (ECAL, Figura 1). Nel canale ZZ , la massa è determinata dal decadimento dei due bosoni Z in due coppie di elettroni, o due coppie di muoni, oppure una coppia di elettroni e una coppia di muoni (Figura 2). Questi vengono misurati da ECAL, dal tracciatore posto nella parte più interna di CMS e dai rivelatori di muoni esterni ai calorimetri.

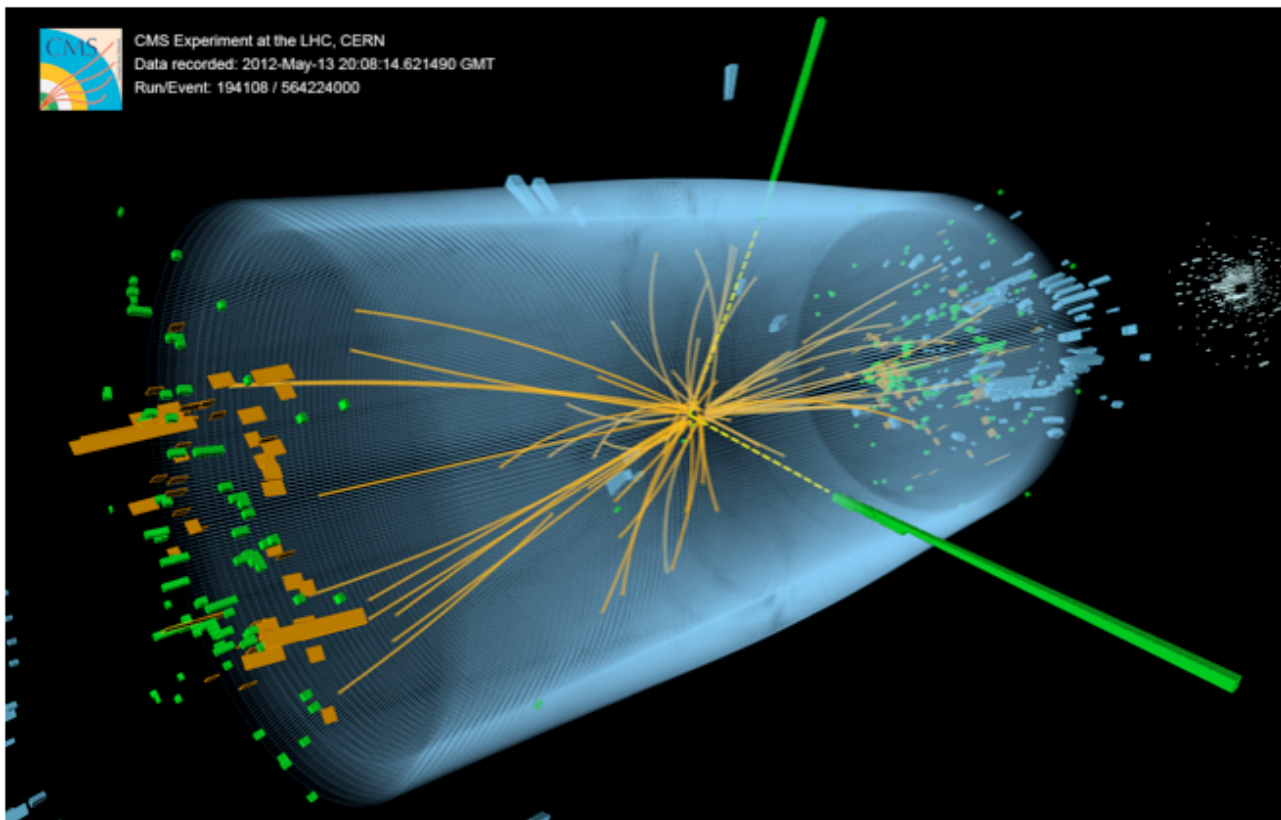


Figura 1. Evento registrato dal rivelatore CMS nel 2012 ad un'energia del centro di massa di 8 TeV nella collisione protone-protone. L'evento mostra caratteristiche attese per il decadimento del bosone di Higgs SM in una coppia di fotoni (linee tratteggiate gialle e torri verdi). L'evento potrebbe anche essere spiegato da uno dei processi noti nella fisica del modello standard.

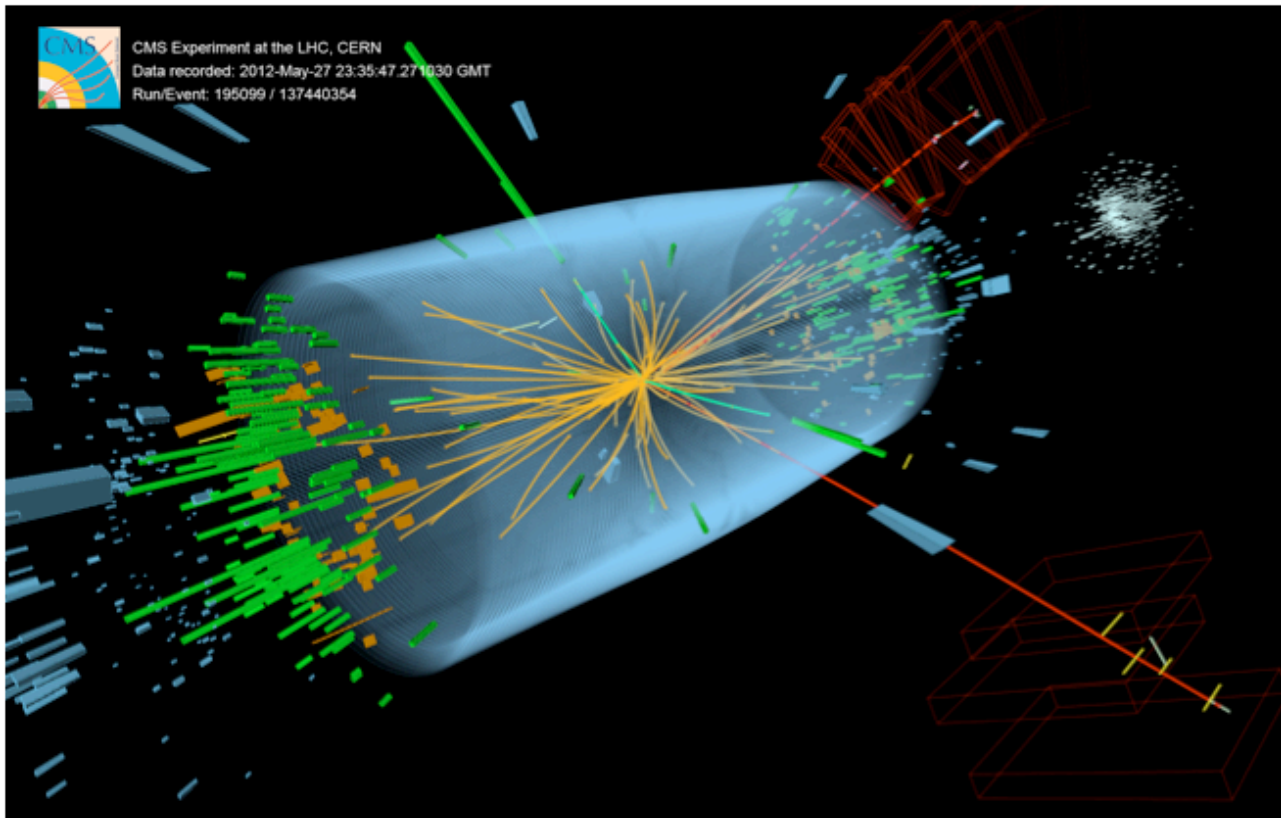


Figura 2. Evento registrato dal rivelatore CMS nel 2012 ad un'energia del centro di massa di 8 TeV nella collisione protone-protone. L'evento mostra caratteristiche attese per il decadimento del bosone di Higgs SM in una coppia di bosoni Z, uno dei quali successivamente decade in una coppia di elettroni (linee e torri verdi) mentre l'altro Z decade in una coppia di muoni (linee rosse). L'evento potrebbe anche essere spiegato da uno dei processi noti nella fisica del modello standard.

Il canale WW è più complesso. Ogni bosone W è identificato attraverso il suo decadimento in un elettrone e un neutrino, oppure un muone e un neutrino. I neutrini attraversano i rivelatori di CMS senza lasciare alcun segnale, in particolare riguardo alla loro energia. Il decadimento del bosone di Higgs SM nel canale WW si manifesta pertanto come un eccesso distribuito su un ampio intervallo di massa, piuttosto che come un picco stretto. Il canale bb ha fondi considerevoli provenienti da vari processi previsti dal modello standard. Per ridurre questi fondi l'analisi ricerca eventi in cui viene prodotto un bosone di Higgs in associazione con un W (che decade a sua volta in un elettrone/muone e un neutrino) o Z (che decade producendo coppie di elettroni o muoni). Il canale $\tau\tau$ viene misurato osservando i decadimenti del τ in elettroni, muoni o adroni.

I risultati di CMS

Se il bosone di Higgs non esistesse, il campione di dati di CMS dovrebbe essere sufficiente per escludere completamente l'intervallo di massa 110-600 GeV, ad un livello di confidenza del 95%. In effetti, i dati di CMS permettono di escludere l'esistenza del bosone di Higgs SM in due intervalli di massa, 110-122,5 GeV e 127-600 GeV con un livello di confidenza del 95%.

L'intervallo 122,5-127 GeV non può essere escluso perché si osserva un eccesso di eventi in tre dei cinque canali di decadimento analizzati:

- **canale $\gamma\gamma$:** la distribuzione della massa delle coppie $\gamma\gamma$ è mostrata in Figura 3. Vi è un eccesso di 4,1 sigma al di sopra del fondo atteso, ad una massa di circa 125 GeV.

L'osservazione del decadimento in due fotoni implica che la nuova particella è un bosone, non un fermione, e che non può essere una particella di spin pari a 1.

- **canale ZZ:** la Figura 4 mostra la distribuzione di massa per i quattro leptoni (due coppie di elettroni, o due coppie di muoni, o coppie di elettroni e di muoni). Tenendo conto anche delle caratteristiche degli angoli determinati dalle traiettorie dei leptoni di decadimento, un eccesso di 3,2 sigma al di sopra del fondo è visibile ad una massa di circa 125 GeV.

- **canale WW :** si osserva un eccesso su un ampio intervallo di massa al livello di 1,5 sigma.

- **canale bb e $\tau\tau$:** in questi canali non si osserva alcun eccesso.

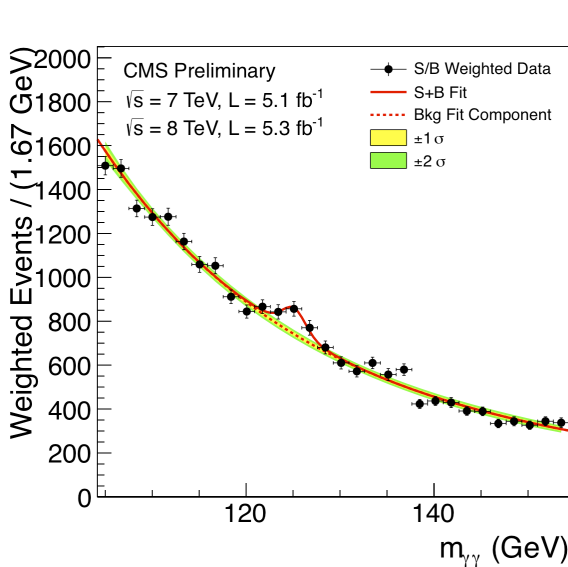


Figura 3. Distribuzione della massa invariante della coppia di fotoni ottenuta con i dati di CMS raccolti nel 2011 e 2012 (punti neri con barre d'errore). I dati sono ripesati dal rapporto segnale-rumore per ogni categoria di eventi. La linea rossa rappresenta il fit per la somma di segnale e fondo; la linea tratteggiata rossa rappresenta il solo fondo.

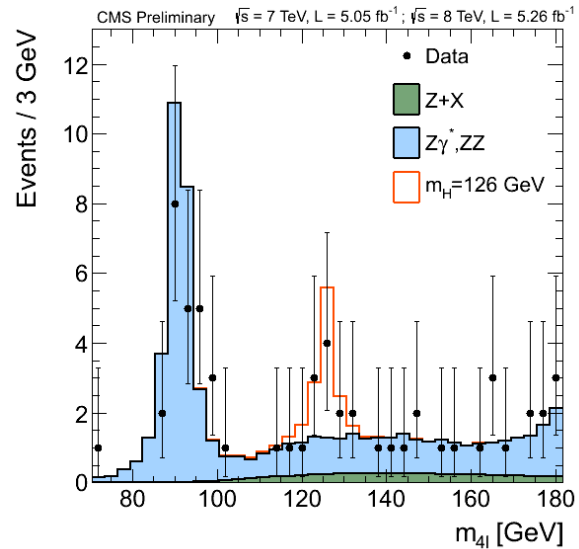


Figura 4. Distribuzione della massa invariante ricostruita dai quattro leptoni per la somma dei canali $4e$, 4μ , e $2e2\mu$. I punti rappresentano i dati, gli istogrammi colorati e vuoto rispettivamente il fondo e il segnale attesi. Le distribuzioni sono rappresentate come istogrammi sovrapposti. La misura corrisponde all'intero campione di dati raccolti alle energie nel centro di massa di 7 TeV e 8 TeV.

La significatività statistica del segnale, ottenuta con un'analisi (fit) combinata di tutti i cinque canali (Figura 5), è di 4,9 sigma sopra il fondo. Combinando con un fit i due canali più sensibili e ad alta risoluzione di massa ($\gamma\gamma$ e ZZ) si ottiene una significatività statistica di 5,0 sigma. La probabilità che l'effetto sia dovuto unicamente ad una fluttuazione statistica del fondo ad un livello superiore o equivalente di significatività è approssimativamente un caso su tre milioni.

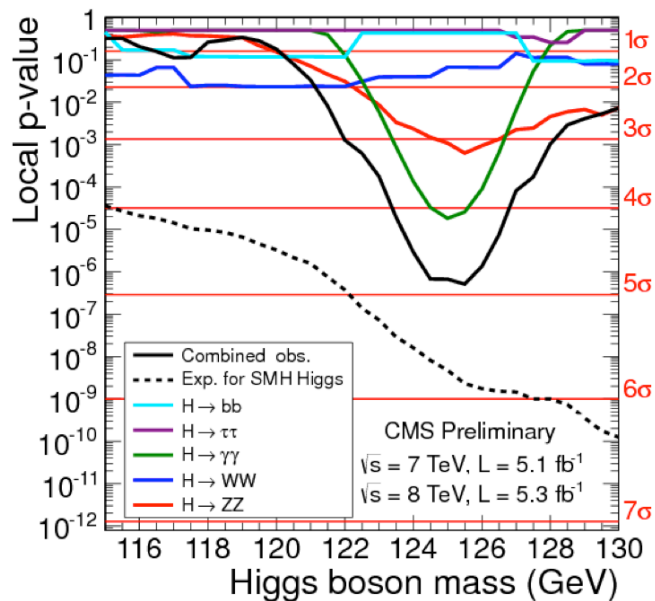


Figure 5. Probabilità (p-value) che l'ipotesi di solo fondo produca lo stesso numero o un numero superiore di eventi osservati nei dati di CMS, in funzione della massa del bosone di Higgs per i cinque canali considerati. La linea continua nera rappresenta il p-value locale per tutti i canali combinati.

CMS determina una massa per la nuova particella di $125.3 \pm 0.6 \text{ GeV}$, indipendentemente da qualsiasi ipotesi sul contributo relativo atteso da ciascun singolo canale. Il numero di eventi prodotti misurati (tasso di produzione o σ_{DATI}) di questa nuova particella è consistente con quello predetto (σ_{SM}) per il bosone di Higgs SM $\sigma_{\text{DATI}}/\sigma_{\text{SM}} = 0.80 \pm 0.22$.

Grande attenzione si è prestata alla comprensione dei numerosi dettagli di funzionamento del rivelatore, alla selezione degli eventi, alla determinazione dei fondi e altre possibili fonti di errori sistematici e statistici. L'analisi dei dati raccolti nel 2011 [6] mostrava già un eccesso di eventi ad una massa di circa 125 GeV. Per evitare di influenzare la scelta dei criteri di selezione dei dati nel 2012, che avrebbe potuto determinare un eccesso artificialmente prodotto, si è effettuata una cosiddetta analisi "cieca" [7]: ciò significa che la regione di massa di interesse non viene esaminata finché tutti i criteri di analisi non sono stati completamente scrutinati e approvati.

Come controllo definitivo generale, le analisi sono state effettuate da almeno due gruppi indipendenti di ricercatori. Ulteriori considerazioni rafforzano la confidenza nei risultati ottenuti:

- L'eccesso compare a circa 125 GeV sia nel campione di dati del 2011 (7 TeV) che nel campione di dati del 2012 (8 TeV);
- L'eccesso è evidente alla stessa massa in entrambi i canali di decadimento ad alta risoluzione ($\gamma\gamma$ and ZZ);
- L'eccesso osservato nei canali WW è consistente con quello che si otterrebbe in presenza di una particella di 125 GeV di massa;
- L'eccesso si osserva in diversi stati finali con fotoni, elettroni, muoni e adroni.

I risultati preliminari presentati oggi saranno finalizzati con l'intento di pubblicare verso fine estate.

Piani futuri

La nuova particella osservata a circa 125 GeV è compatibile, data la precisione statistica attuale, con le predizioni teoriche del bosone di Higgs SM. Comunque, è necessario un campione statistico più ampio per misurarne le proprietà, come ad esempio la frazione dei decadimenti nei vari canali ($\gamma\gamma$, ZZ, WW, bb and $\tau\tau$) e le sue caratteristiche intrinseche di spin e parità. Solo in questo modo si potrà distinguere se l'osservazione è da attribuirsi al bosone di Higgs SM o piuttosto dovuto a nuovi fenomeni fisici oltre il modello standard.

L'acceleratore di protoni LHC continua a produrre nuovi dati con ottime prestazioni. Per la fine del 2012, CMS si aspetta di aver più che triplicato la statistica del suo campione di dati, e quindi di poter misurare meglio la natura di questa nuova particella. Nel caso non si trattasse del bosone di Higgs SM, CMS avrà modo di studiare la natura della nuova fisica che questa osservazione comporta: questo potrebbe implicare l'esistenza di nuove particelle, osservabili a LHC. Se invece questa particella fosse il bosone di Higgs SM, le sue proprietà verrebbero studiate in dettaglio. In ogni caso, si continuerà la ricerca di nuove particelle o nuove forze che possano essere osservate nella nuova presa dati di LHC a più alte energie ed elevate intensità dei fasci di protoni.

Informazioni sull'esperimento CMS

Ulteriori informazioni sull'esperimento CMS sono disponibili sul sito:

<http://cern.ch/cms> oppure contattando: cms.outreach@cern.ch.

CMS è uno dei due esperimenti installati presso l'acceleratore di particelle LHC, costruiti per cercare fenomeni di fisica oltre il modello standard. L'esperimento è concepito per rivelare un ampio spettro di particelle e fenomeni, generati dalle collisioni ad alta energia tra protoni o ioni pesanti prodotti al LHC. L'esperimento aiuterà a dare risposta a domande fondamentali della scienza, come ad esempio "Di che cosa è fatto l'Universo e quali sono le forze che agiscono al suo interno?" oppure "Cosa dà massa a tutto ciò che ci circonda?". Oltre a cercare fenomeni nuovi e sconosciuti, l'esperimento misura le proprietà di particelle già note con una precisione senza precedenti. Questo tipo di ricerca scientifica non solo migliora la nostra conoscenza del funzionamento dell'Universo ma, come è già successo in passato, può condurre allo sviluppo di nuove tecnologie che cambiano il mondo in cui viviamo.

Il primo progetto dell'esperimento CMS risale al 1992. La costruzione del gigantesco rivelatore di particelle (con un diametro di 15 metri, lunghezza di 29 m, per un peso totale di 14000 tonnellate) ha richiesto ad una delle più grandi collaborazioni scientifiche internazionali mai realizzate circa 16 anni di lavoro. 3275 fisici (inclusi 1535 studenti) e 790 ingegneri e tecnici, provenienti da 179 istituti e laboratori di ricerca, distribuiti in 41 paesi in tutto il mondo hanno lavorato al progetto.

Note

[1] ICHEP è la 36esima Conferenza Internazionale di Fisica delle Alte Energie, Melbourne, Australia (4-11 luglio 2012). I risultati verranno presentati in contemporanea al CERN e, con un collegamento video, a ICHEP.

[2] L'electron-Volt (eV) è una unità di misura di energia. 1 GeV è 1,000,000,000 eV. In fisica delle particelle massa ed energia sono frequentemente scambiate. Comunemente l'eV/c²

viene usato come unità di misura della massa (dalla ben nota equazione $E=mc^2$, ove c è la velocità della luce nel vuoto). Ancor più comune è l'utilizzo del sistema di cosiddette *unità naturali*, in cui $c=1$ (e dunque $E=m$). In questo sistema l'eV e il GeV diventano unità di misura della massa.

[3] La deviazione standard è un indice di dispersione delle misure sperimentali, vale a dire è una stima della variabilità di una popolazione di dati o di una variabile casuale. In fisica la deviazione standard è spesso chiamata 'sigma'. Un elevato valore di sigma corrisponde ad una incompatibilità dei dati con una data ipotesi. Tipicamente, per una scoperta in fisica delle particelle si richiede di osservare un effetto pari a 5-sigma o superiore di incompatibilità con la non esistenza dell'effetto.

[4] Il livello di confidenza è una misura statistica della percentuale di risultati che sono attesi in un determinato intervallo di valori. Ad esempio, un livello di confidenza del 95% indica che il risultato di una misura darà quel valore statisticamente il 95% delle volte.

[5] <http://news.stanford.edu/news/2004/july21/femtobarn-721.html> (in Inglese)

[6] <http://cms.web.cern.ch/news/cms-search-standard-model-higgs-boson-lhc-data-2010-and-2011> (in Inglese)

[7] <http://cms.web.cern.ch/news/blinding-and-unblinding-analyses> (in Inglese)