

# Interviste Newsletter

## 10 ANNI DALLA SCOPERTA DEL BOSONE DI HIGGS

*Intervista a Stefano Giagu, ricercatore della sezione INFN di Roma, coordinatore della collaborazione italiana dell'esperimento ATLAS, e Lucia Silvestris, ricercatrice della sezione INFN di Bari, coordinatrice della collaborazione italiana nell'esperimento CMS.*



La scoperta del bosone di Higgs, di cui lo scorso 4 luglio è stato celebrato il decennale, ha indubbiamente rappresentato uno storico traguardo per la fisica delle particelle. Un risultato a cui l'INFN ha partecipato da protagonista e che, se da un lato ha completato la nostra teoria del Modello Standard, dall'altro ha aperto la strada verso la nuova fisica. A rappresentare il

percorso fin qui compiuto e le importanti future sfide da affrontare per cercare risposta alle domande ancora aperte, al CERN, le celebrazioni del 4 luglio per i dieci anni del bosone di Higgs passano il testimone all'avvio del nuovo programma di fisica (Run 3) al Large Hadron Collider (LHC), il 5 luglio, con le prime collisioni ad alta energia. La ripresa delle attività scientifiche del più potente acceleratore di particelle di sempre e dei suoi esperimenti segue un intenso periodo di lavori (Long Shutdown 2) durato quasi tre anni, durante il quale sia la catena di acceleratori sia i quattro grandi rivelatori sono stati sottoposti a significativi interventi di aggiornamento e manutenzione. Lavori che si tradurranno in un incremento del numero di collisioni tra protoni e di conseguenza in una maggiore statistica e dettaglio nelle misure delle proprietà delle particelle già note, e in un aumento della sensibilità rispetto a possibili indizi di nuova fisica. Tra le collaborazioni impegnate nella intensa attività di aggiornamento, anche ATLAS e CMS, protagoniste dieci anni fa della scoperta del bosone di Higgs, nell'ambito delle quali l'Italia ha svolto e continua a svolgere un ruolo centrale grazie all'INFN e alla sua comunità, rappresentata rispettivamente da Stefano Giagu, ricercatore della sezione INFN di Roma, e Lucia Silvestris, ricercatrice della sezione INFN di Bari.

**Quali sono state le tappe salienti del percorso che ha portato all'individuazione del bosone di Higgs? Quali sentimenti hanno prevalso all'interno delle comunità di ATLAS e CMS? E quali sono state, se ce ne sono state, le sorprese rispetto a ciò che vi aspettavate di osservare?**

[LS] La ricerca dell'Higgs era l'obiettivo primario di LHC e dei suoi esperimenti ATLAS e CMS. CMS, sin dalla sua concezione, è stato disegnato e ottimizzato per garantire una copertura completa in tutto il possibile spettro di massa dell'Higgs. Una delle prime importanti tappe è stato l'inizio della presa dati a 7 TeV a fine marzo 2010, che ha portato per la prima volta LHC a fornire agli esperimenti una quantità di collisioni utile per studiare le performance dei rivelatori. Tuttavia, è nel 2011 che LHC inizia a fornire dati con una luminosità così elevata da permettere ad ATLAS e a CMS di sondare processi con sezioni d'urto equiparabili con quelli di produzione del bosone di Higgs. I primi risultati delle analisi che iniziavano a essere sensibili alla presenza o all'assenza del bosone, e la prima combinazione dei vari canali di

decadimento della particella, furono presentati durante la conferenza della European Physics Society a Grenoble nel luglio del 2011, a cui fece seguito una presentazione congiunta tra le collaborazioni ATLAS e CMS nel dicembre dello stesso anno al CERN, nel corso della quale fummo già in grado di mostrare la presenza di un eccesso di eventi osservati nella regione di massa prevista per il bosone di Higgs di 120-127 GeV. Per accertare l'origine di questo eccesso fu tuttavia necessario attendere l'inizio del 2012, con la ripartenza della presa dati di LHC, con energia e luminosità ancora superiori, che portò all'individuazione di un segnale molto chiaro in uno dei canali di decadimento previsti, intorno alla regione di massa di 126 GeV. Arriviamo così al 4 luglio 2012, quando, in due seminari contemporanei svoltisi al CERN e a Melbourne, in occasione della conferenza ICHEP, gli spokesperson di ATLAS e CMS, Fabiola Gianotti e Joseph Incandela, presentarono i grafici che dimostravano come l'eccesso di CMS era diventato significativo in combinazione con i dati analoghi misurati da ATLAS. Fu quindi annunciato al mondo intero la scoperta della nuova particella, che confermava in modo quasi sorprendente le previsioni del Modello Standard. Una esperienza eccezionale e indimenticabile.

[SG] Spesso non ci si rende conto e non si riesce ad apprezzare il lungo e complesso processo che porta a una grande scoperta come quella del Bosone di Higgs, all'annuncio del 4 luglio 2012. Un percorso che ha richiesto 10 anni e lo sforzo di migliaia di persone, tra fisici, ingegneri, tecnici, per la realizzazione di ATLAS, e di tutti gli altri esperimenti, e ovviamente dello stesso LHC, indispensabile per la produzione dell'Higgs nelle collisioni tra protoni che avvengono al suo interno. Se LHC non fosse infatti riuscito ad arrivare alla massima energia e a raggiungere il numero interazioni necessarie per consolidare la statistica, sarebbe infatti stato impossibile osservare la particella. In parallelo alla realizzazione di questo potentissimo acceleratore, vi è stata l'altrettanto complessa attività di disegno, progettazione e costruzione dei due esperimenti ATLAS e CMS, che non si è conclusa con l'entrata in funzione degli apparati ma è proseguita con uno studio continuo per comprendere nel dettaglio le loro prestazioni e risposte. Questa è stata un'attività, durata anni, che è stata cruciale per riuscire a individuare un segnale raro come quello dell'Higgs nella moltitudine di eventi prodotti da LHC. Un lavoro che ha comportato lo stretto dialogo tra fisici sperimentali e teorici, per cercare di capire quale tipo di bosone di Higgs la teoria descrive e in quali segnali possa manifestarsi perché, finché una particella non viene scoperta, anche se prevista dai modelli teorici, essa rappresenta sempre nuova fisica. La scoperta ha infine avuto e continua ad avere delle profonde ricadute all'interno di tutta la comunità della fisica perché il bosone di Higgs sorregge l'intero modello standard, e il suo studio può perciò contribuire a migliorare le previsioni o a elaborare modelli alternativi. Partecipare a un simile percorso è stata un'esperienza incredibile, e quello che ha sorpreso di più, almeno dal mio punto di vista, è stato il fatto che la scoperta è arrivata prima di quanto ci aspettassimo, a dimostrazione del fatto che LHC ha funzionato meglio di quanto previsto e che le analisi preliminari sui possibili segnali in ATLAS e CMS fossero corrette.

**Su cosa si sono concentrate le attività di ricerca dei due esperimenti dopo il 4 luglio 2012? E quali altri risultati sono stati conseguiti?**

[SG] Dopo la scoperta del bosone dell'Higgs, l'attività di ATLAS è ovviamente proseguita. Abbiamo portato a termine tutto il secondo periodo di presa dati, il Run2, concluso nel 2018, che ha decuplicato la statistica disponibile sul numero di interazioni. Questo perché, pur avendo osservato una particella che era sicuramente il candidato ideale a occupare la casella del bosone di Higgs, è necessario poi costruire la carta d'identità di questa nuova particella del Modello Standard, ovvero andare a studiare nel dettaglio tutte le sue proprietà, per confermare quanto descritto dalla teoria e confutare i vari modelli alternativi, che prevedevano bosoni di Higgs con caratteristiche diverse o che addirittura descrivevano più bosoni di Higgs. La misura delle proprietà del bosone di Higgs è stata un processo molto lungo ma necessario: abbiamo misurato, per esempio lo spin della particella, verificando che è uno scalare, come previsto dal Modello Standard, la sua massa con grande accuratezza, e tutti i suoi possibili accoppiamenti con ogni altra particella nota.

[LS] Oltre alle attività di analisi rivolte alla fisica del quark top, alla fisica del sapore, alla ricerca diretta di nuova fisica, e allo studio delle collisioni con ioni pesanti, le attività legate allo studio del bosone di Higgs sono continuate senza sosta. Dopo la scoperta si sono utilizzati i dati raccolti misurando al meglio possibile le proprietà dell'Higgs, perché anche piccole tensioni rispetto alle previsioni potrebbero evidenziare nuova fisica. Usando i dati del 2011 e 2012 si è inoltre concluso che il bosone osservato ha un comportamento che assomiglia molto a quello predetto dal modello standard. Non tutti gli accoppiamenti sono stati però subito evidenziati, poiché le corrispondenti analisi erano ancora limitate dalla statistica a disposizione. Si sono aggiunti più canali, sono state sviluppate nuove tecniche di analisi e nuovi framework per combinare i risultati, e si è continuato a indagare spazi delle fasi sensibili a mostrare la presenza di nuove risonanze come previsto da teorie oltre il modello standard.

**LHC e i suoi quattro grandi esperimenti hanno appena avviato il terzo periodo di presa dati. Quali sono stati i più importanti interventi a cui sono stati sottoposti i rivelatori ATLAS e CMS e su che cosa si concentrerà il loro prossimo programma scientifico?**

[LS] I principali interventi di aggiornamento su CMS svolti durante il secondo Long Shutdown (LS2) hanno riguardato molte delle componenti principali dell'esperimento, a iniziare dal rivelatore di tracciamento a pixel, responsabile della ricostruzione dei percorsi delle particelle cariche ad alta energia e anche del decadimento di particelle di brevissima durata, in cui è stato sostituito lo strato più interno, che dovrà resistere alla maggiore radiazione associata all'aumento delle collisioni all'interno di LHC. L'attività si è inoltre concentrata sull'installazione di tre sottosistemi di nuova generazione dedicati alla misurazione della luminosità e delle condizioni del fascio, essenziali per la misura del tasso di collisioni in tempo reale in CMS, e di una nuova elettronica nella regione centrale del calorimetro adronico, costituita da nuovi fotomoltiplicatori al silicio (SiPM), che hanno un'efficienza di rilevamento dei fotoni tre volte superiore e un guadagno 200 volte superiore rispetto ai precedenti. Molti sono stati inoltre gli interventi in vista della prossima fase di alta luminosità di LHC (High Luminosity), che pone sfide davvero uniche. Pertanto, durante LS2 abbiamo iniziato la fase di aggiornamento prevista per i rivelatori di muoni, installando nuovi rivelatori GEM (Gas Electron Multiplier) e rivelatori di muoni CSC (Cathode Strip Chamber) di nuova concezione, dedicati a sondare le regioni in avanti del sistema di muoni. Sempre nell'ambito delle attività di preparazione alla fase di alta luminosità, è stato inoltre sostituito il tubo in cui circolano i fasci con uno nuovo compatibile con il futuro aggiornamento del rivelatore di tracciamento, migliorando il vuoto e riducendo l'attivazione.

[SG] Durante LS2, ATLAS è stato sottoposto a importanti interventi, aggiornando o sostituendo quasi totalmente le sue componenti di rivelazione. Sono stati infatti inseriti nuovi rivelatori in avanti per muoni, è stato ricostruito il misuratore di luminosità e sono stati aggiornati i calorimetri elettromagnetici, il calorimetro adronico, lo spettrometro a muoni e tutto il cosiddetto sistema di trigger, che consente di selezionare in tempo reale gli eventi. Per non dimenticare il software dell'esperimento, che consentirà di migliorare il processamento dei dati. Grazie a questi interventi, che incrementeranno la precisione delle misure, nel corso del Run 3 uno degli obiettivi perseguiti sarà proseguire lo studio di come l'Higgs si accoppia con le altre particelle e si protrarrà anche nella fase di alta luminosità di LHC. Un orizzonte temporale che non sarà tuttavia sufficiente a esplorare nel dettaglio questo aspetto, poiché l'informazione più interessante su cui si concentreranno i prossimi programmi di fisica è quella relativa a come l'Higgs interagisce con sé stesso, ovvero i propri autoaccoppiamenti, che hanno una probabilità di verificarsi molto ridotta, e per cui ci sarà necessario disporre di macchine in grado di raggiungere intensità molto elevate. Nonostante ciò, speriamo di poter fornire le prime risposte con il periodo di alta luminosità di LHC. Contemporaneamente a questo tipo di indagini, nel Run 3, così come è stato fatto nel corso del Run 2, ATLAS, insieme a CMS, si occuperà anche di fisica di altro tipo, nel tentativo di individuare effetti riconducibili a fenomeni o particelle non inclusi nel modello standard, per poter rispondere ai problemi ancora aperti, come quelli che riguardano la natura della materia oscura.