

# ATLAS trova evidenze di un raro decadimento del bosone di Higgs in due leptoni e un fotone

Dalla scoperta del bosone di Higgs nel 2012, gli scienziati delle collaborazioni ATLAS e CMS al Large Hadron Collider (LHC) del CERN di Ginevra hanno lavorato duramente per caratterizzarne le proprietà e dare la caccia a tutti i diversi modi in cui questa particella può decadere. Dopo la ricostruzione del copioso ma sperimentalmente impegnativo decadimento in due b-quarks ( $H \rightarrow bb$ ), e del decadimento più raro ma con poco fondo in quattro leptoni ( $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4l$ ), ora ATLAS ha trovato la prima evidenza di un decadimento del bosone di Higgs in due leptoni (una coppia di elettroni o muoni con carica elettrica opposta) e un fotone. Questo è uno dei decadimenti del bosone di Higgs più rari mai visti ad LHC, con caratteristiche sorprendenti che hanno presentato sfide uniche per l'esperimento ATLAS.

Il bosone di Higgs può decadere in una coppia di leptoni e in un fotone in tre modi principali: quello in cui i leptoni vengono prodotti tramite un bosone Z intermedio ( $H \rightarrow Z\gamma \rightarrow ll\gamma$ ) oppure tramite un fotone virtuale ( $H \rightarrow \gamma^*\gamma \rightarrow ll\gamma$ ), oppure tramite un decadimento diretto del bosone di Higgs ( $H \rightarrow ll$ ) con uno dei due leptoni che irradia un fotone nello stato finale. Per questa misura, i fisici di ATLAS si sono concentrati in particolare sul decadimento mediato dal fotone virtuale. In contrasto con il familiare fotone stabile e senza massa, il  $\gamma^*$  è una particella virtuale che tipicamente ha una massa molto piccola (ma non nulla) e che decade pressoché istantaneamente in due leptoni.

I fisici di ATLAS hanno cercato eventi con due leptoni nello stato finale nell'intero campione di dati raccolto da LHC tra il 2015 e il 2018. In particolare, l'analisi si è concentrata su eventi in cui la massa invariante dei due leptoni ( $m_{ll}$ ) fosse inferiore a 30 GeV, ovvero in una regione in cui il processo di interesse  $H \rightarrow \gamma^*\gamma \rightarrow ll\gamma$  dovrebbe dominare sugli altri due processi descritti sopra.

## Quando i due leptoni diventano quasi inseparabili

Una caratteristica peculiare di questo canale di decadimento è che la maggior parte delle coppie di leptoni hanno una massa invariante molto piccola - meno di 1 GeV - e un momento trasverso relativamente alto. Ciò significa che viaggiano attraverso il rivelatore con traiettorie quasi identiche, separate solo da un piccolo angolo. Differenziare tra due muoni molto collimati non è un problema per il rivelatore interno ATLAS e i sistemi di tracciamento dello spettrometro a muoni. Ma per gli elettroni, che sono ricostruiti nel calorimetro elettromagnetico, due elettroni vicini possono depositare la loro energia entro pochi centimetri l'uno dall'altro.

Questo pone i fisici di fronte a una sfida, poiché l'energia tipica depositata nel calorimetro da un singolo elettrone è contenuta all'interno di un raggio di circa 10 cm. In questo caso, i segnali dei due elettroni spesso si sovrappongono l'uno all'altro, creando una segnatura sperimentale unica. La scelta di queste coppie di elettroni

ha richiesto una strategia di identificazione molto specifica, un'attenta calibrazione dell'energia e persino un trigger dedicato per catturare questa speciale tipologia di eventi.

Superate queste sfide, i fisici di ATLAS sono stati in grado di selezionare gli eventi contenenti una coppia di leptoni (elettroni o muoni) a bassa massa invariante e un fotone. Per migliorare la sensibilità della loro analisi, hanno classificato gli eventi in tre regioni cinematiche studiate per migliorare il rapporto segnale su fondo. Il segnale bosone di Higgs risultante, mostrato nella Figura 1, è stato estratto eseguendo un fit alla massa invariante del fotone e dei due leptoni. ATLAS ha misurato un rapporto di  $1.5 \pm 0.5$  tra il segnale misurato e quello atteso secondo le previsioni teoriche del Modello Standard. La possibilità che il segnale osservato sia stato causato da una fluttuazione statistica del fondo è di  $3,2\sigma$ , ovvero meno di 1 su 1000!

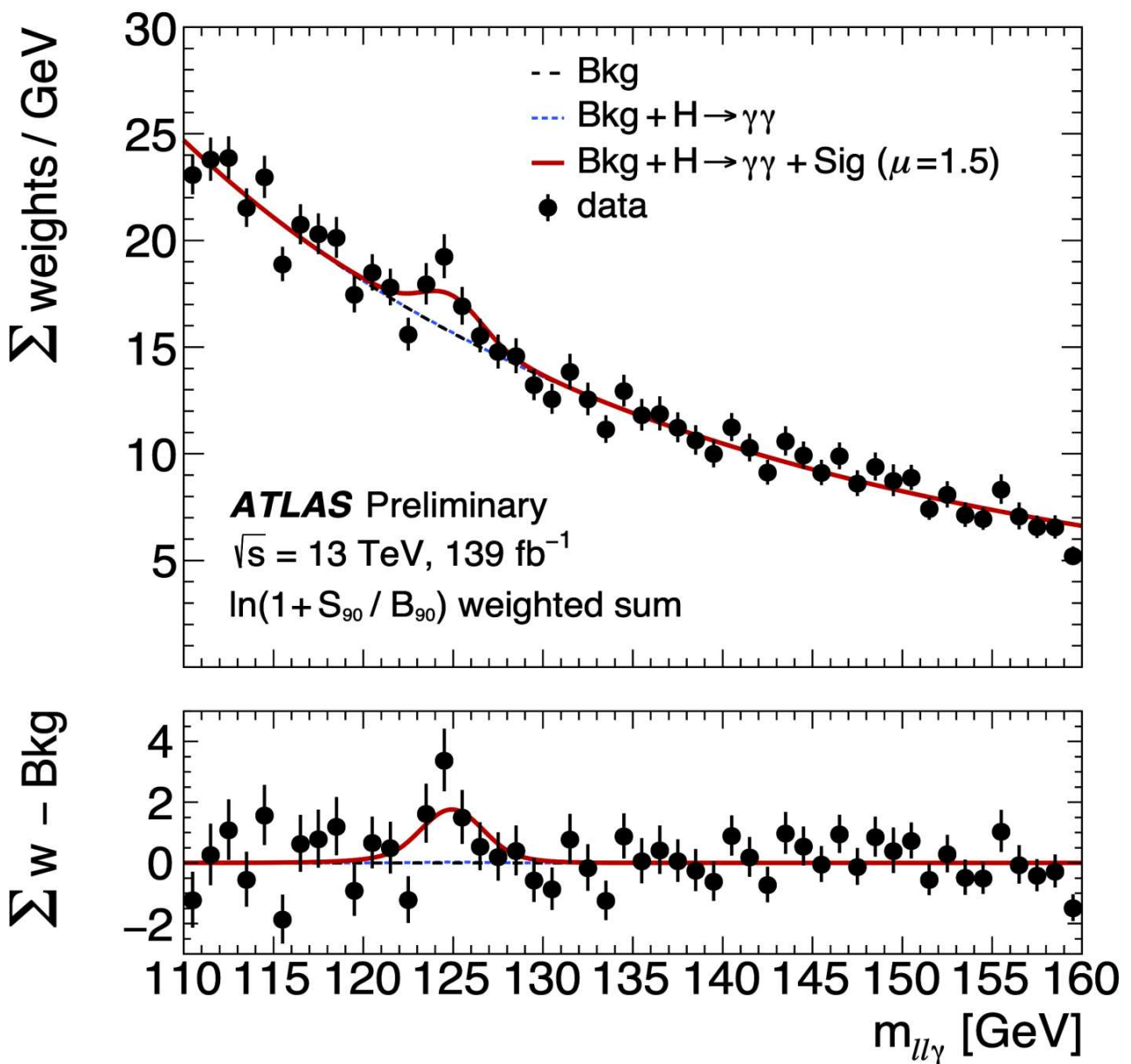


Figura 1: La massa invariante del sistema di leptoni+fotone nella regione analizzata. Gli eventi sono ponderati rispetto al potenziale di scoperta ("significanza") di ogni categoria di segnale, al fine di migliorare l'eccesso visto intorno a 125,09 GeV, ovvero la massa del bosone di Higgs. (Immagine: ATLAS Collaboration/CERN)

Con la grande quantità di dati attesi dal programma di [LHC ad alta luminosità](#), lo studio dei decadimenti rari del bosone di Higgs diventerà la nuova norma. Ciò consentirà ai fisici di condurre studi dettagliati sulle proprietà del bosone di Higgs, portando a test sempre più rigorosi del Modello Standard. In particolare, questo decadimento del bosone di Higgs in un fotone e una coppia leptonica ( $H \rightarrow \gamma^* \gamma \rightarrow \ell \bar{\ell}$  o  $H \rightarrow Z \gamma \rightarrow \ell \bar{\ell}$ ) **renderà possibile** per i fisici studiare possibili violazioni alla simmetria CP (ovvero la combinazione della simmetria di coniugazione di carica C e di parità P) nelle reazioni che coinvolgono il bosone di Higgs. La simmetria CP è un modo per dire che l'immagine speculare delle particelle interagenti, quando esse siano sostituite dalle loro anti-particelle, dovrebbe apparire esattamente la stessa rispetto all'interazione originale. Questa fu un'ipotesi considerata naturale fino al 1964, quando i fisici che studiavano alcune particelle particolari dette kaoni notarono - con loro grande sorpresa - che questo non è il caso nel mondo della fisica delle particelle. Da allora, i fisici hanno imparato che la violazione della simmetria CP è una firma dell'interazione elettrodebole e l'hanno incorporata nel Modello Standard.

Studiando questo decadimento del bosone di Higgs in tre particelle, due delle quali sono elettricamente cariche, i fisici saranno in grado di capire se tali decadimenti abbiano una direzione spaziale preferita (un altro modo di definire la violazione della simmetria CP). Tali studi permetteranno ai ricercatori di migliorare la loro comprensione delle origini della violazione della simmetria CP e soprattutto di cercare evidenze di fenomeni fisici nuovi e non previsti dal Modello Standard.

Collegamento al comunicato ufficiale dell'esperimento ATLAS: <https://atlas.cern/updates/briefing/evidence-rare-Higgs-decay>

Collegamento all'articolo che descrive la misura:

<https://atlas.web.cern.ch/Atlas/GROUPS/PHYSICS/CONFNOTES/ATLAS-CONF-2021-002/>