Un commento al Nobel di Englert e Higgs

Un Laboratorio tutto per sé

C'è chi cerca la liberazione e

c'è chi scopre un'altra particella.

F. Battiato, Personal Computer

Il premio Nobel per la Fisica del 2013 è stato assegnato a due fisici ottuagenari, lo scozzese Peter Higgs ed il belga François Englert *"per la formulazione teorica di un meccanismo che contribuisce alla nostra comprensione dell'origine della massa delle particelle sub-atomiche e che recentemente è stata confermata dalla scoperta della prevista particella fondamentale negli esperimenti ATLAS e CMS all'acceleratore Large Hadron Collider del CERN"*, come annunciato dal Professor Staffan Normark, Segretario dell'Accademia Svedese delle Scienze, martedì 8 ottobre 2013.

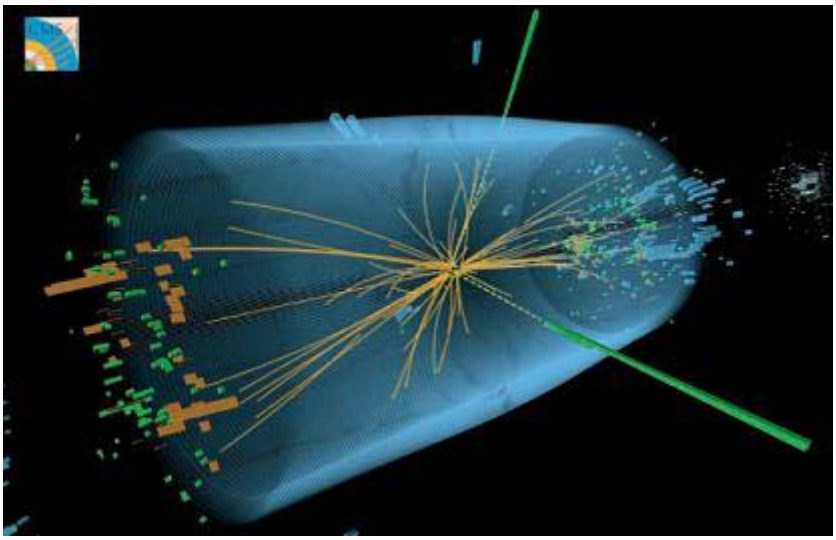
François Englert e Peter Higgs

Come risulta evidente dall'ascolto del sintetico comunicato, il premio Nobel è stato conferito a due dei presunti ideatori del meccanismo di generazione delle masse in una Teoria Quantistica di Campo con invarianza di gauge. Tale riconoscimento per uno studio ormai cinquantenario risulta giustificato dalla recente rilevazione dell'elusivo bosone scalare di Higgs da parte delle collaborazioni sperimentali ATLAS e CMS, che hanno analizzato i complessi processi d'urto tra protoni, indotti nell'acceleratore del CERN Large Hadron Collider (LHC), un macchinoso uroboro formato da due segmentate hula-hoop sovrapposte inserite in un tunnel circolare largo un paio di metri e lungo circa 27 chilometri, a cento metri di profondità al di sotto della campagna tra il Lago Lemano, Ginevra ed i monti dello Jura, dove qualche secolo fa era solito passeggiare Voltaire, sotto paesi dai nomi gentili: Meyrin, Saint Genis, Ferney, Prevessin.

Foto del tracciato dell'acceleratore LHC del CERN lungo il confine franco-svizzero presso Ginevra

Peter Higgs all'interno del tunnel dell'acceleratore del CERN

L'intreccio tra aspetti teorici e sperimentali è peculiare nella fisica che studia le particelle elementari e le interazioni fondamentali. Spesso, i fisici sperimentali ottengono risultati singolari a cui i fisici teorici forniscono un'interpretazione ed in altri casi i teorici formulano una predizione che occorre verificare con ingegnosi esperimenti, di cui l'affannosa ricerca del bosone di Higgs è un esempio eloquente. Ricercato per oltre quarant'anni, con predizioni sempre più accurate, la ricerca dell'atteso bosone di Higgs ha imposto la costosa sostituzione del precedente collider ad elettroni LEP ospitato nella cavità sotterranea intorno al CERN di Ginevra e la costruzione di enormi apparati sperimentali. Un'impresa titanica favorita dall'inclinazione alla collaborazione internazionale della Fisica e perseguita con la stessa determinazione di conoscere l'impossibile, illustrata nell'incipit dell'Odissea. Uno sforzo decennale culminato nel primo incerto annuncio della scoperta di una particella con caratteristiche simili al bosone di Higgs nel dicembre 2011, e nella conferma statisticamente risolutiva della storica presentazione nell'Auditorium principale del CERN il 4 Luglio 2012. Le ulteriori indagini presentate nel marzo 2013 hanno definitivamente confermato la natura scalare del bosone.



La ricostruzione della traccia di un decadimento del bosone di Higgs, elaborata dall'esperimento CMS ad LHC.

La rilevazione sperimentale è stata dunque essenziale per l'assegnazione del premio, che è da subito apparso un riconoscimento collettivo per l'impegno di migliaia di fisici di tutto il mondo, con un ruolo preminente della comunità dei ricercatori italiani dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, a cui è stato riconosciuto per lungo tempo il merito dell'incarico di portavoce dei due esperimenti con Fabiola Gianotti (formatasi con Luciano Mandelli al Dipartimento di Fisica di via Celoria a Milano) e Guido Emilio Tonelli (della prestigiosa scuola di fisica pisana). Non bisogna dimenticare il ruolo determinante di un altro illustre fisico italiano Luciano Maiani, il precedente Direttore del CERN che ha contribuito in modo risolutivo - contro tanti ostacoli - alla nuova fase delle ricerche con la costruzione di LHC.

Sebbene, sin dalla loro istituzione, le commissioni di selezione al Nobel non abbiano prediletto gli studiosi di problemi teorici, come testimoniano le eclatanti esclusioni dal premio Nobel di personalità come Volterra, Poincarè, Sommerfeld e sinora Witten, tuttavia, l'elaborazione teorica del Modello Standard rappresenta una felice singolarità. I premi Nobel per la Fisica legati alla formulazione del Modello Standard sono stati numerosi. Dopo le conferme sperimentali delle correnti deboli neutre nel 1973, il riconoscimento del Nobel ha premiato nel 1979 Sheldon Glashow, Steven Weinberg e Abdus Salam che negli anni Sessanta avevano progressivamente raffinato la teoria di unificazione tra interazioni elettromagnetiche e deboli risalente ad Enrico Fermi, elaborando il moderno paradigma del Modello Standard, con bosoni vettoriali di scambio ed il corredo dell'efficace meccanismo di Higgs, per giustificarne le masse. Curiosamente - come testimonia l'indagine bibliografica condotta nel 1979 da Sidney Coleman in un articolo apparso nella rivista *Science* – il modello di Weinberg del 1967, con il giusto ruolo del bosone di Higgs, rimase a lungo trascurato e cominciò ad affermarsi solo negli anni Settanta, dopo le accurate indagini fenomenologiche di Ben Lee, John Ellis e Mary K. Gaillard e soprattutto dopo l'efficente formulazione del meccanismo GIM di ortogonalità dal nome di Glashow, Iliopoulos e Maiani, in grado di giustificare operativamente l'assenza di fenomeni inattesi di cambiamento della natura delle particelle. Premiati dal Nobel nel 2008 risultarono anche i fisici teorici giapponesi

Kobayashi e Maskawa per il completamento del Modello Standard con la predizione di almeno tre famiglie di particelle elementari per giustificare la violazione dell'invarianza CP per mezzo del mixing tra i quark. Un'assegnazione molto contestata per la controversa esclusione dal premio del compianto Nicola Cabibbo, uno dei migliori esponenti di quel *think tank* rappresentato, dai tempi di Fermi, dai fisici dell'Istituto di Fisica dell'Università di Roma.

La soluzione della delicata questione di una dimostrazione formale che il Modello Standard fosse rinormalizzabile, non alterato dalle correzioni quantistiche, ebbe il riconoscimento del Nobel nel 1999 dei due fisici teorici olandesi Martin Veltman e Gerard't Hooft, con l'impiego intensivo del calcolo simbolico associato ai diagrammi di Feynman per teorie di gauge non abeliane, alla cui elaborazione ha partecipato anche il torinese Giampiero Passarino.

Anche la parallela formulazione della teoria delle interazioni forti fu premita dal Nobel. Elaborata secondo le linee guida di una teoria di gauge, assunse praticamente la formulazione corrente nel 1973-74 quando gli esperimenti confermarono la composizione degli adroni di quark con cariche frazionarie. La Quanto Cromo Dinamica (QCD) che descrive le interazioni forti presentava la caratteristica di ridursi singolarmente a corta distanza. Una preliminare giustificazione di questo fenomeno di libertà asintotica, fu illustrata – ma non pubblicata – da 't Hooft durante una conferenza a Marsiglia nel 1972 ed accuratamente analizzata da David Politzer e contemporaneamnete da David Gross e Frank Wilczek nel 1973. Questo studio valse loro il riconoscimento del Premio Nobel nel 2004.

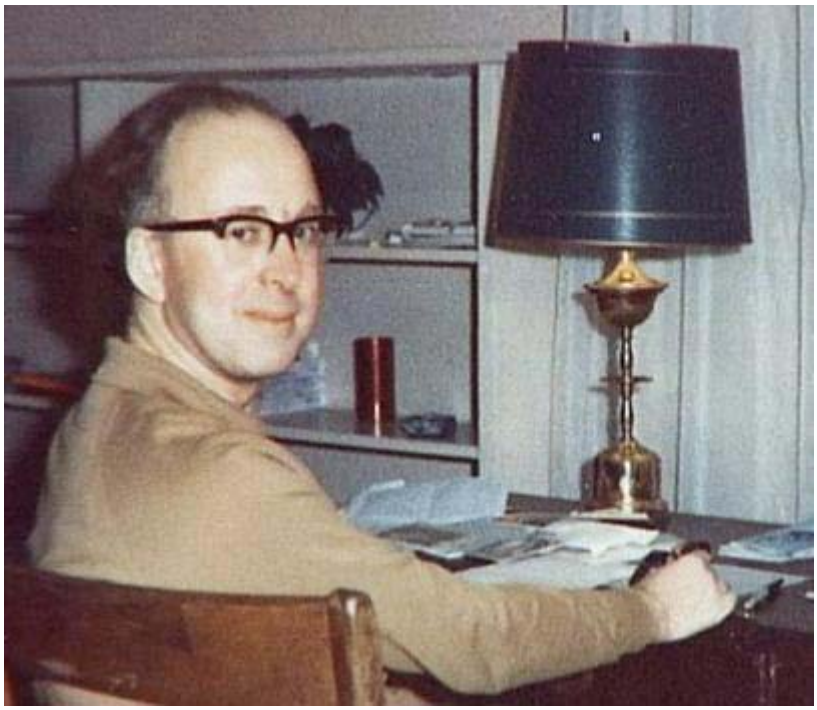
Una breve storia del meccanismo di Higgs

Il presente è il futuro del passato

T.S. Eliot

Il Modello Standard è fondato sull'invarianza di gauge che permette di predire la forma con cui le particelle interagiscono scambiandosi bosoni vettoriali senza massa come fotoni e nel contempo mediatori vettoriali massivi neutri Z e carichi W. Ogni seria teoria di campo con una simmetria di gauge locale non riesce a giustificare simultaneamente mediatori senza e con massa. Inoltre, la simmetria di gauge per descrivere i decadimenti indotti dalle interazioni nucleari deboli deve essere chirale, con una predilezione ad accoppiarsi a particelle sinistrorse (cioè tali che la rotazione di spin è in senso orario rispetto alla direzione del moto). Una caratteristica che appare incompatibile con campi dotati di massa.

La soluzione della dicotomia tra invarianza di gauge e la massa delle particelle fisiche rappresenta il contenuto di un meccanismo teorico proposto inizialmente in un paio di lavori del 1964 di Peter Higgs, risolvendo l'ulteriore problema previsto nel 1962 da Goldstone nella rottura spontanea delle simmetrie di evitare la presenza di particelle (pseudo)scalari senza massa, non osservate sperimentalmente.



Il fisico Peter Higgs ai tempi della formulazione del meccanismo di rottura spontanea della simmetria in teorie relativistiche di gauge

Il problema fu affrontato quasi contemporaneamente da Francois Englert e Robert Brout (deceduto nel 2011) che per primi ipotizzarono l'emersione di una particella scalare neutra dotata di massa. Alcuni mesi dopo, Gerald Guralnik, Carl Hagen e Tom Kibble, all'Imperial College di Londra mostrarono come il meccanismo di generazione della massa per i bosoni vettoriali avesse numerose similarità con la descrizione di Philip Anderson,

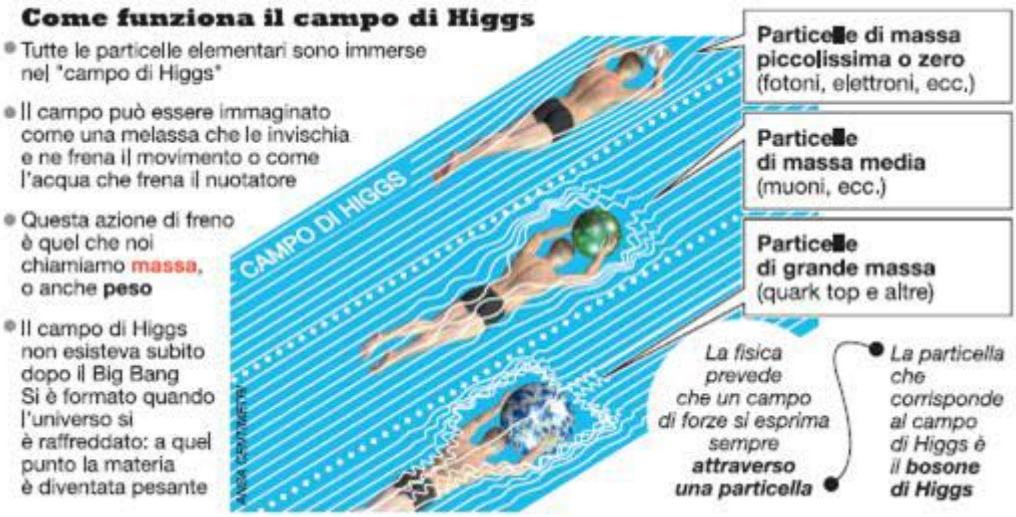
dell'effetto non-relativistico di Meissner in superconduttività, in cui la simmetria di gauge locale viene violata spontaneamente ed i modi di Goldstone (i plasmoni) acquistano massa (fotoni con componenti longitudinali) per effetto delle interazioni di gauge. In seguito estesero la loro trattazione in modelli con invarianza relativistica di Lorentz, confrontandosi con i problemi del teorema di Goldstone.

E' facile immaginare sia come i tre gruppi di studio nel tempo abbiano esaltato il proprio contributo e la propria precedenza sia, soprattutto, il disagio della Commissione di selezione della Fondazione Nobel per l'abbondanza dei candidati. In questa ricostruzione posso solo far notare che l'esistenza di tante alternative dimostra che in certi momenti della storia della fisica alcuni problemi diventano maturi per una soluzione.

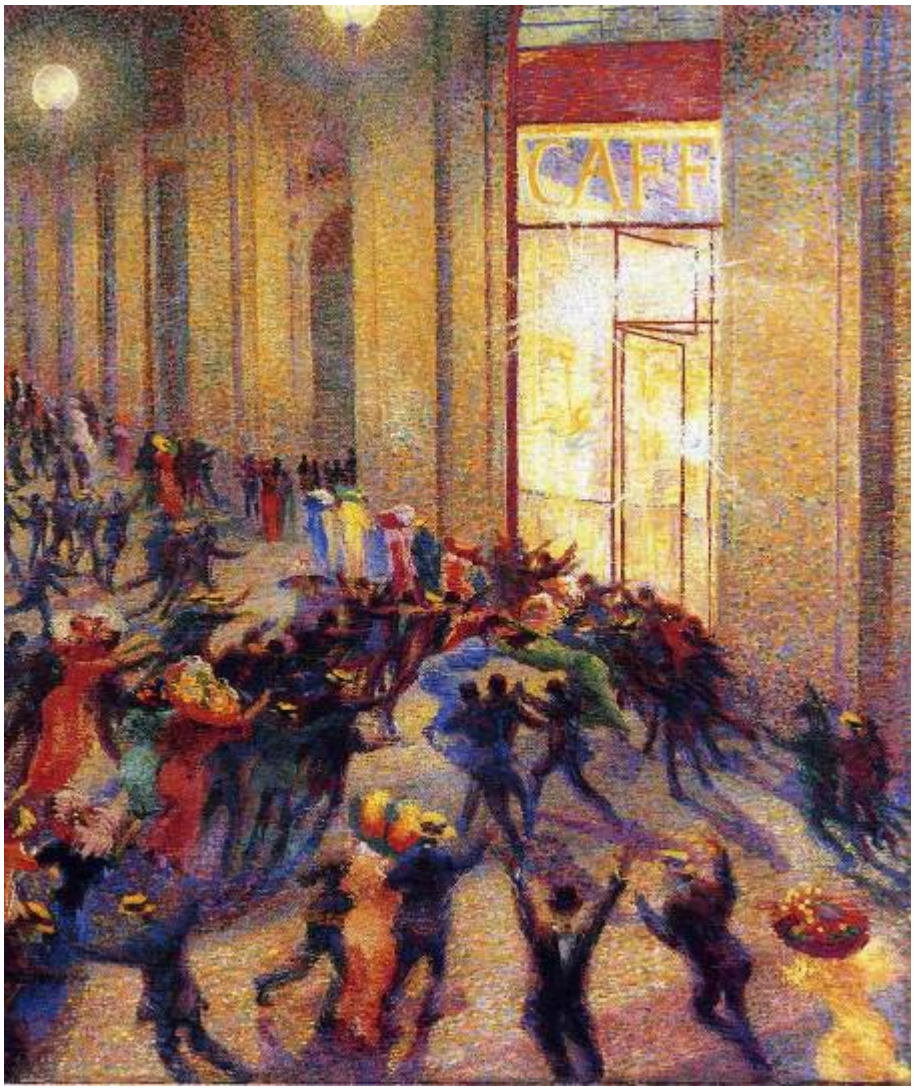
Il meccanismo destinato a denominarsi di Higgs–Englert&Brout prevede l'esistenza di un bosone scalare con il ruolo esclusivo di fornire la massa tramite la sua interazione a tutti i costituenti elementari, cioè i leptoni ed i quark. Le masse dei leptoni e delle diverse specie di quark sono tutte generate dall'interazione di queste particelle con il campo di forze associato al bosone di Higgs. Il suo ruolo è ulteriormente quello di compensare il diverso comportamento delle particelle sinistrorse nelle interazioni deboli. Ogni tentativo ulteriore di far comprendere meglio il meccanismo di generazione delle masse nelle

teorie di gauge rinormalizzabili, come il Modello Standard, ha indotto azzardate metafore. Einstein criticava il fascino della semplificazione, ammonendo che bisogna avere cautela nell'usare analogie troppo semplificatrici. Einstein ammoniva che si poteva rendere semplice ogni argomento, anche il più sofisticato, ma facendo attenzione a non confondere con una eccessiva semplificazione.

L'analogia fluidodinamica del meccanismo di Higgs-Englert&Brout considera la dinamica di un veloce proiettile in una vasca di melassa densa. Nella teorie relativistiche esiste una radicale differenza tra particelle con e senza massa, queste ultime nel vuoto tutte alla velocità della luce. Nel regime di rottura della simmetria, il campo di Higgs più interagisce con una particella, più questa acquista massa. Secondo questa analogia, il campo di Higgs agisce come melassa in grado di rallentare particelle che a regime diventano "ruvide". Particelle viscide sono insensibili e (analogamente al non-interagente fotone) non vengono rallentate.



Ulteriore rappresentazione della metafora fluido-dinamica del meccanismo di Higgs



L'effetto agglomerante delle interazioni indotte dal campo di Higgs nell'analogia fluidodinamica, ha suggerito a David Miller – in un tentativo di spiegazione ai politici inglesi – la metafora del rallentamento causato dall'affollamento intorno ad una celebrità, che Leonardo Colletti dell'Università di Bolzano, ha associato al quadro di Umberto Boccioni, Rissa in Galleria (1910), esposto alla Pinacoteca di Brera a Milano.

Un nuovo inizio

Quando finisce un esperimento?

Scritta murale al CERN, 1982

Il Novecento è stato un secolo di rivoluzioni scientifiche degne dell'età di Galilei e Newton, coronato dalla formulazione del Modello Standard. Nonostante la lunga caccia al bosone di Higgs sia conclusa e le collaborazioni scientifiche ATLAS e CMS abbiano ormai confermato l'evidenza di una particella che si manifesta proprio come un bosone scalare di Higgs, tuttavia, questa scoperta non rappresenta la fine

della storia. Come ricordava Shakespeare *"Scomodo giace il capo che indossa una corona"*: il Modello Standard non riposa sugli allori. L'attribuzione di una massa di 126 GeV/c^2, risulta alla soglia per assicurare un'equilibrata ripartizione dei vari componenti del Modello e con accoppiamenti tali da lasciare poche speranze per giustificare correttamente masse e mixing dei neutrini e dei quark.

Questo sembra segnare il crepuscolo del paradigma rappresentato dal Modello Standard: una teoria che presenta diversi irrimediabili difetti assiomatici ed induce a ritenere che la scoperta della nuova particella sia solo una prima manifestazione di nuova fisica tutta da esplorare.

E se tanti difetti ne preannunciano la crisi ed il declino, tuttavia la teoria non è stata ancora scalzata dal trono, probabilmente per il disagio verso l'abbondanza dei rimedi proposti dalle teorie alternative. Le prospettive dei prossimi esperimenti sono indirizzate a misurare con grande precisione le proprietà del bosone di Higgs per farci comprendere quanto le predizioni del Modello Standard siano attendibili e se esistono indicazioni di nuovi fenomeni. La scoperta del bosone di Higgs ha fornito alcune risposte, ma l'esigenza irrimediabile di nuova fisica ha posto un gran numero di nuove domande.

Versione ON-LINE
http://matematica.unibocconi.it/articoli/un-commento-al-nobel-di-englert-e-higgs