

»» L'INTERVISTA

OLTRE LE ASPETTATIVE DEL PIÙ POTENTE ACCELERATORE DEL MONDO

Intervista a Nadia Pastrone, ricercatrice della sezione INFN di Torino, responsabile nazionale, dal 2012 al 2014, dell'esperimento CMS, oggi presidente della Commissione Scientifica Nazionale 1 dell'INFN, che coordina le attività di ricerca in fisica delle alte energie.

Si è tenuta nel mese di agosto a Chicago la 38° edizione di ICHEP, la conferenza internazionale di fisica delle alte energie che ha messo a confronto fisici di tutto il mondo sui progressi della fisica delle particelle, dell'astrofisica e della cosmologia, nonché sui futuri sviluppi nel campo della costruzione di prossime macchine acceleratrici.

I riflettori sono stati puntati sul Large Hadron Collider (LHC) del CERN, oggi il più potente acceleratore di particelle al mondo, che in questi mesi ha sbalordito fisici e ingegneri per le sue altissime prestazioni, oltre le aspettative di progetto. Operando in questo modo, LHC ha messo gli esperimenti nelle condizioni di analizzare in pochi mesi una quantità di dati già pari a circa quattro volte quella della prima fase del RUN2 (2015). A conferma delle ottime prestazioni degli esperimenti oltre che dell'acceleratore, le collaborazioni sperimentali sono riuscite ad analizzare e a comprendere i nuovi dati in un tempo brevissimo e nel corso di ICHEP sono stati presentati da parte degli esperimenti più di un centinaio di nuove misure. L'Italia, con l'INFN, ha un ruolo di primo piano nella storia e nell'attualità di LHC e dei suoi esperimenti, con importanti ricadute anche sulle aziende italiane coinvolte nella costruzione di parti dell'acceleratore, degli apparati sperimentali e dei sistemi di calcolo. Abbiamo chiesto a Nadia Pastrone una sintesi dei risultati presentati a Chicago e una proiezione sul futuro prossimo e lontano di LHC.

Molti dei nuovi risultati di LHC presentati ad ICHEP emergono dall'analisi dei dati raccolti negli ultimi mesi di questa prima metà del 2016. Quali sono i principali?

Gli esperimenti a LHC, grazie alle straordinarie prestazioni dell'acceleratore all'energia più alta mai raggiunta in laboratorio, hanno registrato e analizzato da maggio a oggi un'enorme mole di dati. Con l'esplorazione della nuova frontiera dei 13 TeV si effettuano misure sempre più precise dei processi previsti dal Modello Standard (SM) e se ne studiano le anomalie che potrebbero evidenziare segnali indiretti della presenza di nuovi fenomeni fisici. La ricerca di produzione diretta

» L'INTERVISTA

di nuove particelle, previste da teorie esotiche di fisica oltre (Beyond) il Modello Standard (BSM), prosegue con sensibilità sempre più elevata grazie ad apparati sperimentali rinnovati e sempre più sofisticati e a nuove strategie di calcolo e di analisi.

Il bosone di Higgs di massa 125 GeV, scoperto nel 2012, è stato ora nuovamente osservato e misurato da ATLAS e CMS a 13 TeV nei processi di decadimento in due fotoni e in quattro leptoni con maggior significatività statistica (circa 10 sigma, ben oltre la soglia di osservazione che è fissata a 5 sigma). Restano da esplorare decadimenti e accoppiamenti rari che richiedono maggiori energia e quantità di dati, per consentire di individuare segni di nuova fisica o lo studio di altre particelle. In particolare, la ricerca del processo raro in cui un quark top emette o assorbe un bosone di Higgs, potrebbe presto dare nuove informazioni sul meccanismo di Higgs e sulla sua interazione. Molte sono state poi le misure che hanno confermato le predizioni teoriche del Modello Standard, ad esempio le sezioni d'urto di produzione di bosoni WW e WZ. È importante ricordare che LHC è una fabbrica di quark top, di cui si studia in dettaglio produzione e decadimenti.

L'esperimento LHCb ha presentato molti nuovi risultati sulla fisica del sapore (la caratteristica che definisce le diverse famiglie di quark e leptoni). Degna di nota la scoperta del decadimento del mesone B neutro in due kaoni, il più raro decadimento mai osservato del mesone B in uno stato finale adronico. Si studia inoltre con estrema precisione la violazione di CP, il fenomeno che dà ragione della prevalenza in natura della materia sull'antimateria. LHCb, per le caratteristiche del suo apparato sperimentale, studia la produzione di nuovi processi che potrebbero rivelare presto anomalie dalle attuali predizioni teoriche.

La quantità di dati raccolti da LHC negli ultimi mesi ha superato di 5 volte quella di tutto il 2015. Vi aspettavate queste prestazioni sin dall'inizio della nuova fase di presa dati, il RUN2?

La macchina acceleratrice più grande del mondo ha superato le più rosee aspettative, raggiungendo le prestazioni di disegno e poi superandole del 20%. A giugno, infatti, LHC ha registrato il suo ultimo record di luminosità superando il valore di progetto: con 2.000 pacchetti di protoni accelerati per fascio, la macchina può produrre ora più di un miliardo di collisioni al secondo.

La produzione dei dati ha messo a dura prova gli esperimenti e la potenza di calcolo a disposizione che hanno dovuto registrare, calibrare, ricostruire e analizzare circa 50 petabyte di dati accumulati dall'inizio dell'anno.

Si è discusso anche del cosiddetto "eccesso di eventi" alla massa di 750 GeV comparso nei primi dati a 13 TeV del 2015, che si è rivelato una fluttuazione statistica, anziché il segnale di una nuova particella ...

Nei primi dati raccolti a 13 TeV da ATLAS e CMS nel 2015 fu osservato da entrambe gli esperimenti un eccesso di eventi (detto bump) di modesta significatività statistica di coppie di fotoni che avrebbe potuto essere il primo indizio della presenza di una risonanza di massa di circa 750 GeV.

» L'INTERVISTA

L'eccitazione nella comunità scientifica nei primi mesi del 2016 ha scatenato il dibattito tra i teorici che hanno scritto oltre 400 articoli e gli sperimentali pronti ad analizzare i nuovi dati che avrebbero potuto confermare un risultato veramente "nuovo". I dati del 2016 hanno provato che si trattava di una fluttuazione statistica. Come in altri casi la ricerca diretta di nuove particelle porta a identificare degli eccessi che devono essere studiati con attenzione, verificati con ulteriori dati e confermati da entrambi gli esperimenti, prima che si possa dichiarare una "scoperta".

LHC sta dunque esplorando un territorio nuovo della fisica delle alte energie. Quali scenari di Nuova Fisica potrà spalancare?

LHC ha raccolto solamente un decimo dei dati previsti alle energie di 13-14 TeV, che saranno prodotti prima di apportare modifiche sostanziali alla macchina, nel 2024-25. Mancano ancora circa due mesi di presa dati di collisioni protone-protone, nel 2016, che precederanno la presa dati di collisioni protone-piombo prima dello stop di fine anno. La ricerca sperimentale copre un ampio spettro di misure, che comprendono la ricerca di particelle pesanti previste dalla Supersimmetria (SUSY) e da vari modelli teorici esotici. Spetta all'acume degli sperimentali individuare indizi su un territorio ancora da esplorare e soprattutto riuscire a vedere anche con occhi nuovi l'inatteso, mantenendo il rigore sulla presa dati, la selezione e l'analisi per continuare a produrre risultati di altissima qualità.

Che cosa potrà dirci LHC sulla materia oscura, sulle origini dell'universo o sulla natura stessa della materia subito dopo il Big Bang?

Una delle grandi sfide, non solo per la fisica agli acceleratori, riguarda oggi la scoperta della natura della materia oscura, la cui esistenza si evince solamente dagli effetti gravitazionali sulla materia visibile nel cosmo. La materia che conosciamo e "vediamo", di cui sono costituite tutte le stelle e le galassie corrisponde al 5% di tutta la massa dell'universo. La materia oscura sembra essere di un fattore 6 più abbondante della materia visibile: sembra costituire, cioè, circa un quarto di tutta la materia dell'universo. Che cos'è quindi la materia oscura? Molti modelli teorici prevedono particelle di materia oscura con massa sufficientemente bassa da poter essere create all'energia di LHC. Non interagendo con la materia "visibile", si prevede che tali particelle non lascino negli apparati sperimentali alcuna traccia del loro passaggio, se non il segno di una mancanza nel conteggio totale di energia e impulso. Proprio un "segnale" di energia (impulso) "mancante" potrebbe fornire l'evidenza sperimentale necessaria a provare una delle teorie che prevedono fisica BSM come la supersimmetria o le extra dimensioni.

Inoltre, importanti indizi possono essere raccolti dai quattro esperimenti principali di LHC sulla natura dello stato della materia subito dopo il Big Bang. Tutti e quattro gli esperimenti hanno presentato nuovi risultati sulle collisioni di ioni pesanti, che permettono di misurare le proprietà del plasma di quark e gluoni, esistente pochi milionesimi di secondi dopo il Big Bang. L'esperimento

» L'INTERVISTA

ALICE, che studia nel dettaglio come le forze nucleari sono modificate in questo stadio primordiale della materia, ha misurato la viscosità del plasma alla nuova energia. Si osserva un comportamento analogo a quello a più bassa energia: questo significa che il plasma è un liquido ideale, omogeneo e a viscosità nulla.

LHC ha appena iniziato la sua nuova avventura scientifica all'energia record di 13 TeV. Intanto, i fisici delle alte energie stanno già guardando oltre. Qual è il futuro del superacceleratore del CERN di Ginevra?

Gli acceleratori come LHC, in cui collidono adroni (protoni o ioni di piombo), sono macchine di "scoperta". Si esplorano energie sempre più alte dove si possono formare particelle di massa via via maggiore in base alla nota equazione $E=mc^2$. I processi coinvolti sono tipicamente rari e pertanto si richiedono statistiche enormi: questo motiva progetti per l'incremento della luminosità dell'acceleratore. Il CERN ha approvato la fase ad alta luminosità di LHC, HiLumi LHC (HL-LHC), che è prevista a partire dal 2026 per aumentare ancora di un fattore 10 i dati raccolti entro il 2035. Per questa fase si stanno sviluppando magneti superconduttori di nuova generazione che permetteranno di ottimizzare le zone di collisione. Questa tecnologia sarà indispensabile per gli acceleratori futuri e permetterà di raggiungere campi magnetici di 16 Tesla.

Ma se si vogliono studiare con attenzione le caratteristiche di queste nuove particelle rare, sono più efficaci macchine che accelerano elettroni e positroni, ad alta intensità. Le nuove macchine acceleratrici che da qualche tempo fanno discutere la comunità dei fisici delle alte energie appartengono a queste due categorie. La tecnologia attuale ci permetterebbe di costruire un acceleratore lineare o circolare elettrone-positrone per raggiungere energie tali da studiare nel dettaglio tutta la fisica del bosone di Higgs o di qualsiasi particella fosse scoperta alla massa del TeV a LHC. Una macchina adronica a 100 TeV, con le tecnologie attuali prevede un anello di 100 km di circonferenza e richiederebbe un contributo economico internazionale notevole.

L'accelerazione con i plasmi, su cui l'Italia sta dando un grosso contributo non è ancora pronta a confrontarsi con i traguardi di LHC. Una strada nuova e stimolante per le sfide tecnologiche che comporta riguarda la possibilità di realizzare un collisionatore con fasci di muoni: che sia questa la strada giusta? ■