

» **INTERVISTA**



**DAI RIVELATORI ALLA MATERIA OSCURA:
L'EUROPA PREMIA LA RICERCA CON GLI
ACCELERATORI DI PARTICELLE**

Intervista a Lorenzo Bianchini, ricercatore della Sezione INFN di Pisa, e ad Andrea Celentano, ricercatore della Sezione INFN di Genova, rispettivamente vincitori nel 2020 di un ERC Consolidator Grant e di un ERC Starting Grant, per un finanziamento complessivo di oltre tre milioni di euro.

Si chiamano ASYMOW e POKER i due progetti INFN premiati nel 2020 dall'European Research Council (ERC) per il loro carattere innovativo e per la validità dei loro proponenti, Lorenzo Bianchini, ricercatore della Sezione INFN di Pisa e Andrea Celentano, ricercatore della Sezione INFN di Genova. Obiettivi dei due progetti sono lo sviluppo di tecniche innovative per l'analisi dei dati ottenuti dalle collisioni nell'acceleratore LHC e lo studio della materia oscura leggera.

L'idea su cui si fondano gli ERC Grant è attribuire finanziamenti a progetti di ricerca promettenti seguendo un approccio bottom-up, coinvolgendo ricercatori di qualunque nazionalità ed età, che siano all'inizio della loro carriera o siano intenzionati a proseguire il loro percorso di ricerca sviluppando metodi non convenzionali. L'ERC Consolidator Grant, in particolare, è assegnato a ricercatori eccellenti con almeno sette e fino a dodici anni di esperienza dopo il dottorato. La sua assegnazione per il 2020 è valsa a Lorenzo Bianchini un finanziamento di 1.683.750 euro per il progetto ASYMOW Power to the LHC data - an ASYmptotically MOdel-independent measurement of the W boson mass, il cui principale obiettivo è lo sviluppo di una nuova metodologia di analisi dati e di tecniche di calibrazione del rivelatore CMS, uno dei quattro grandi esperimenti di LHC del CERN, che assieme all'esperimento ATLAS ha permesso la scoperta del bosone di Higgs.

Diversamente dal suo fratello maggiore, l'ERC Starting Grant è ideato per incentivare la fase iniziale della carriera di ricercatori eccellenti e destinato a ricercatori che abbiano da due a sette anni di esperienza dopo il dottorato. La sua assegnazione per il 2020 è valsa ad Andrea Celentano un finanziamento di quasi 1,5 milioni di euro, con il progetto POKER (POsitron resonant annihilation into darK mattER), dedicato alla ricerca di un particolare tipo di materia oscura: la materia oscura leggera.

» INTERVISTA

Lorenzo Bianchini, ci può spiegare il suo progetto e le sue premesse? A suo giudizio, perché è stato ritenuto promettente dall'ERC?

[LB] Il progetto ASYMOW vuole fornire una misura di precisione della massa del bosone W, una grandezza che riveste un ruolo fondamentale nella fisica delle particelle. La misura della massa del W non è di per sé nuova: la sua prima determinazione, con una precisione di circa 1 parte su 20, fu contestuale alla scoperta del bosone W nel 1983 (scoperta che l'anno successivo fu premiata con il Nobel a Carlo Rubbia e Simon van Der Meer, ndr.). Oggi la massa del W è nota con una precisione di circa 1,5 parti su 10000, eppure vorremmo spingerci ancora più in là. Ridurre anche solo della metà l'errore sperimentale sarebbe un risultato ambizioso e di vasta portata. Consentirebbe, ad esempio, un confronto più significativo con la predizione che il Modello Standard ci fornisce sulla massa del W: predizione che è ad oggi più precisa della misura e, anzi, in leggera tensione con essa. È proprio questa capacità intrinseca di mettere alla prova la teoria ad essere alla base del grande interesse che la massa del W ha da sempre suscitato nella fisica dei collisori. Oggi, tuttavia, questo programma di ricerca sembra essersi scontrato contro il muro delle incertezze sistematiche, nonostante l'acceleratore LHC abbia un enorme potenziale in questo campo. A questo proposito, ASYMOW propone un approccio nuovo che faccia leva sul grande potere statistico di LHC per aggirare il muro delle incertezze sistematiche di modellizzazione. L'analisi di una enorme mole di eventi richiederà un grosso sforzo sperimentale per capire a fondo il rivelatore e saperne interpretare tutti i dati. Credo che l'ambizione di coniugare il piccolo (incertezza sperimentale) con il grande (numero di dati) sia stata vista come un elemento di sfida inedito per questo tipo di misura e in grado di aprire opportunità future.

L'esperimento CMS, come tutti gli esperimenti a LHC, subirà nei prossimi anni importanti *upgrade* per rispondere alle implementazioni previste per l'acceleratore. Come si inserisce ASYMOW in questo percorso di innovazione di LHC?

[LB] Gli *upgrade* dei rivelatori di LHC consentiranno a questi ultimi di reggere all'urto delle alte luminosità di HL-LHC. Mentre nuove opportunità di misure, oggi non possibili, si apriranno grazie a questa opera di *upgrade*, l'interesse per altre misure rischia di spegnersi perché, ad esempio, limitate da incertezze sistematiche teoriche o del rivelatore. Il paradigma di ASYMOW è proprio quello di riuscire a imbrigliare il potere statistico dei dati, imparando da questi ultimi ciò che i modelli teorici, o le simulazioni del rivelatore, non riescono a predire con sufficiente precisione. Se questa ambizione sarà soddisfatta, avremo una dimostrazione in più dell'importanza che LHC prosegua ancora a lungo nel suo processo di raccolta dati.

» INTERVISTA

Quali difficoltà ha previsto di dover affrontare nei cinque anni del progetto, in termini di limitazioni tecnologiche, di ostacoli nel processo di ricerca o di motivazione del suo team?

[LB] Quella della massa del W ai collisori adronici è storicamente una misura difficile, proprio per l'elevatissimo grado di precisione che esige sotto svariati aspetti. Volendo analizzare molti più dati di quanto fatto in simili misure del passato, e inoltre con un metodo nuovo, ASYMOW aggiunge ulteriori sfide. Sviluppi tecnologici recenti in molti ambiti di interesse per il progetto (penso ad esempio a recenti e più precisi calcoli teorici, nuove e più fruibili forme di accelerazione computazionale, *software* di analisi elaborati dalle grandi industrie dell'High-Tech, ecc...) forniscono opportunità ancora inesplorate che dovrò vagliare con cura. Riguardo agli obiettivi scientifici, il livello di sfida sperimentale è tale per cui non mi aspetto di vedere risultati immediati. Invece, dovremo mettere insieme i pezzi di questo *puzzle* con pazienza lungo tutto l'arco del progetto. Una sfida sarà quindi quella di elaborare e proporre al team di persone che lavoreranno con me un percorso di ricerca ricco e articolato, che offra opportunità di crescita individuale senza perdere di vista l'obiettivo ultimo. Sotto questo aspetto credo che sarà fondamentale il lavoro di squadra a tutti i livelli: tra i membri del team, tra il team e i gruppi di ricerca locali e nazionali (penso ad esempio alla comunità CMS Italia), e infine con la collaborazione CMS e gli altri esperimenti di LHC.

Quali risultati si aspetta al termine dei cinque anni?

[LB] L'obiettivo principale che mi aspetto di raggiungere al termine del progetto è quello di aver reso pubblica una misura della massa del W con una precisione di almeno 10 MeV, un fattore 2 più precisa del migliore singolo esperimento ad oggi. Una tale misura avrebbe un impatto sperimentale importante e, tra le altre, la capacità di gettare luce sull'attuale tensione con la predizione del Modello Standard. Ma non solo: mi piacerebbe progredire nello sviluppo di nuove tecniche di analisi dati e di calibrazione del rivelatore che possano essere usate nel futuro dall'esperimento CMS, o addirittura da esperimenti con acceleratori di futura generazione. Sarebbe per me un motivo di orgoglio se il progetto riuscisse a suscitare l'interesse di studenti e attirarli verso la fisica delle alte energie, un settore di ricerca per il quale si prospetta un futuro ricco di opportunità, come ribadito dall'ultimo aggiornamento della *European Strategy for Particle Physics*. Le risorse messe a disposizione dall'ERC sono consistenti e permettono il raggiungimento di obiettivi cosiddetti "*high risk, high gain*": mi piacerebbe che, oltre al guadagno scientifico, ASYMOW desse l'opportunità a giovani ricercatori di crescere e consolidarsi come scienziati, per far sì che l'immenso *know-how* che potranno acquisire durante la realizzazione del progetto resti e dia il suo frutto.

» INTERVISTA

Andrea Celentano, quale percorso l'ha condotta a dedicarsi alla ricerca della materia oscura? E che cosa si intende con materia oscura leggera?

[AC] L'ipotesi della "materia oscura leggera" è una spiegazione alternativa per la natura della materia oscura, complementare rispetto a quella legata alle WIMP. Secondo questa ipotesi, la materia oscura è costituita da nuove particelle leggere, di massa simile o inferiore a quella del protone, che interagiscono con la materia ordinaria tramite una nuova forza presente in natura, con caratteristiche simili a quella elettromagnetica ma di intensità molto ridotta.

Proprio a causa della piccola massa di queste particelle, le tecniche tradizionali di misura utilizzate per la ricerca di WIMP hanno una ridotta sensibilità a questa nuova ipotesi, che può invece essere investigata efficacemente tramite esperimenti realizzati con gli acceleratori di particelle, utilizzando fasci intensi di media energia, in particolare in configurazione di bersaglio fisso.

Io ho iniziato a lavorare alla ricerca di materia oscura leggera all'interno dell'esperimento HPS (*Heavy Photon Search*) presso il *Jefferson Laboratory* negli Stati Uniti durante l'ultimo anno della mia tesi di dottorato, cioè praticamente dagli albori di questo recente campo di indagine. In tal modo, ho avuto la possibilità di partecipare attivamente al suo sviluppo e alla crescita della sua comunità sia come co-proponente per nuovi esperimenti, come BDX (*Beam Dump eXperiment*) presso il *Jefferson Laboratory*, sia con idee per nuove ricerche, come quella alla base di POKER.

Ci può spiegare il suo progetto e le sue premesse? A suo giudizio, perché è stato ritenuto promettente dall'ERC?

[AC] Attualmente, la ricerca di materia oscura leggera con fasci di particelle su bersaglio spesso si basa su due tecniche sperimentali. Negli esperimenti di *beam-dump* si misura il rinculo della materia oscura leggera prodotta nel bersaglio su un rivelatore posto oltre quest'ultimo, mentre in quelli di *missing-energy* il rivelatore è il bersaglio stesso, che misura l'energia depositata al suo interno da ogni particella del fascio incidente: la produzione di eventuali particelle di materia oscura, che porterebbero con sé una grande frazione dell'energia primaria, verrebbe osservata come una differenza tra l'energia misurata e quella nominale del fascio.

POKER studierà la fattibilità di un nuovo approccio per affrontare questo problema di fisica, utilizzando un fascio energetico di positroni su un bersaglio spesso attivo, per sfruttare la produzione di materia oscura leggera tramite l'annichilazione risonante elettrone-positrone.

Il fascio di positroni è la chiave di POKER. L'idea innovativa del suo impiego in un *setup* di tipo *missing-energy* nasce dal contatto con la comunità dei Laboratori Nazionali di Frascati dell'INFN, dove è stata sviluppata la base teorica dell'annichilazione risonante e dove è realizzato PADME (*Positron Annihilation*

» INTERVISTA

into *Dark Matter Experiment*), esperimento che cerca la materia oscura leggera con un fascio di positroni su bersaglio sottile.

Tramite l'utilizzo dei positroni, POKER potrà sfruttare i punti di forza di entrambi gli approcci descritti prima: la grande intensità del segnale tipica della configurazione *missing-energy* e l'intrinseca capacità di eliminazione degli eventi di fondo che caratterizza i *beam-dump*. A mio avviso, questo è il maggior punto di forza del progetto, che ha permesso di ottenere il prestigioso finanziamento ERC.

Come impiegherà il finanziamento ottenuto? Condividi il progetto con una squadra di lavoro?

[AC] L'obiettivo di POKER è quello di eseguire una misura dimostrativa sfruttando il fascio di positroni di 100 GeV disponibile presso la linea H4 al CERN, con la quale l'esperimento NA64 sta attualmente realizzando una misura di tipo *missing-energy* con un fascio di elettroni di caratteristiche simili.

Prevedo di utilizzare parte dell'infrastruttura sperimentale di NA64 per la misura, come ad esempio la parte di diagnostica e monitoraggio del fascio, mentre prevedo di utilizzare una parte significativa del finanziamento ottenuto per realizzare un bersaglio attivo ad hoc per la misura: un calorimetro elettromagnetico ad alta risoluzione costituito da cristalli di tungstato di piombo. Tutti i costi legati a questa attività – l'acquisto dei cristalli, dei relativi fotosensori e dell'elettronica di lettura, nonché la costruzione dello stesso e l'integrazione presso l'infrastruttura sperimentale – sono parte integranti del progetto.

Inoltre, tramite le risorse ERC potrò costruire la squadra di lavoro con la quale portare avanti POKER, aprendo diverse posizioni post-doc durante i cinque anni previsti per il progetto.

Quali risultati si aspetta al termine dei cinque anni?

[AC] Credo che POKER potrà essere considerato un successo se, tra cinque anni, la mia squadra di lavoro ed io saremo stati capaci di completare la prima misura esplorativa al CERN, dimostrando così il potenziale di scoperta della nuova tecnica sperimentale. Questo permetterà di pianificare e realizzare un programma completo di misure future di tipo *missing-energy* con fasci di positroni per investigare completamente lo spazio dei parametri della materia oscura leggera. Anche la misura dimostrativa stessa, in effetti, sarà potenzialmente capace di sondare un intervallo ad oggi incognito – ma non mi aspetto alcuna sorpresa in tal senso, se non l'introduzione di limiti di esclusione più stringenti di quelli attuali.

Infine, penso che l'assegnazione di un finanziamento ERC a un progetto legato alla ricerca di materia oscura leggera con acceleratori possa accrescere l'interesse e il coinvolgimento della comunità verso questo nuovo campo d'indagine, nel quale già oggi l'INFN svolge un ruolo primario con la partecipazione e la direzione di diversi esperimenti dedicati.

» INTERVISTA

Andrea Celentano si è laureato in fisica all'Università degli Studi di Genova nel 2010 e ha conseguito nel 2014 il dottorato di ricerca presso la stessa università. Dal 2017 è ricercatore della Sezione di Genova dell'INFN. La sua attività scientifica è iniziata nel contesto della fisica adronica, con l'esperimento CLAS al Jefferson Laboratory, negli Stati Uniti. Dal 2013 è impegnato in attività di ricerca sperimentale nel campo della materia oscura leggera con gli acceleratori, partecipando all'esperimento HPS al Jefferson Laboratory e proponendo, presso lo stesso laboratorio, l'esperimento BDX (*Beam Dump Experiment*). Dal 2015 è promotore della serie di conferenze "*Light Dark Matter at Accelerators*" (LDMA). È inoltre impegnato in attività di design e sviluppo di nuovi rivelatori per esperimenti di fisica delle particelle, tra i quali diversi calorimetri elettromagnetici in cristalli di tungstato di piombo, la cui tecnologia è alla base del rivelatore proposto per il progetto POKER (*POsitron resonant annihilation into dark mattER*), vincitore nel 2020 di un ERC Starting Grant.

Lorenzo Bianchini, sposato e padre di due bambine, è nato a Firenze nel 1985. Dopo la laurea triennale in fisica all'Università degli Studi di Firenze, ha proseguito gli studi come allievo del corso ordinario della Scuola Normale Superiore di Pisa, ottenendo la licenza e la laurea magistrale in fisica nel 2009. Ha conseguito il dottorato di ricerca presso l'École Polytechnique nel 2012 con una tesi sulla ricerca del bosone di Higgs nella via di decadimento in una coppia di leptoni tau, lavoro che ha fornito un contributo diretto alla scoperta della particella di Higgs da parte di CMS. Ha proseguito il suo lavoro di ricerca come post-doc al Politecnico Federale di Zurigo (ETH Zurich), occupandosi principalmente della misura della sezione d'urto ttH, processo che permette di stabilire l'accoppiamento diretto del bosone di Higgs con il quark top. Dal 2017 è ricercatore a tempo indeterminato presso la Sezione INFN di Pisa, dove ha proseguito il suo impegno nell'esperimento CMS, sia per quanto riguarda gli aspetti di potenziamento della Fase2 del rivelatore, sia per le analisi di fisica. In quest'ultimo ambito, Bianchini ha focalizzato il suo interesse sulle misure di precisione elettrodebole ■